UNIVERSITÁ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

DIPARTIMENTO DI AGRARIA

Dottorato di ricerca in

Sustainable agricultural and forestry systems and food security

XXXIII CICLO

Risposta fisiologica, produttiva e qualitativa del vitigno Aglianico (*Vitis vinifera* L.) alla cimatura tardiva applicata in combinazione con diversi livelli di irrigazione

Tutor:

Prof. Boris Basile

Coordinatore:

Albino Maggio

Dottorando:

Alessandro Mataffo

Sommario

Riassunto 2
Introduzione 4
Materiali e metodi 14
Sito e materiale vegetale 14
Dati metereologici 14
Trattamenti e disegno sperimentale 15
Misure di area fogliare 16
Composizione dell'uva alla raccolta e componenti della produzione 17
Potenziale idrico del germoglio e scambi gassosi 18
Misure di fertilità e allegagione 19
Analisi dei polifenoli 19
Analisi statistica 20
Risultati 21
Andamento climatico 21
Area fogliare 22
Fabbisogno idrico 22
Umidità del suolo 23
Potenziale idrico del germoglio a mezzogiorno 23
Velocità di fotosintesi 24
Componenti della produzione 25
Dimensione e composizione dell'acino 26
Polifenoli 28
Analisi della correlazione tra parametri misurati 30
Discussione 31
Conclusioni 42
Figure e tabelle 44
Bibliografia 65

Riassunto

Negli ultimi anni sta crescendo l'interesse per la definizione di nuove strategie di gestione del vigneto che permettano l'adattamento della viticoltura mediterranea ai cambiamenti climatici. Questi ultimi stanno infatti, in modo sempre più evidente, avendo un impatto negativo su diversi parametri qualitativi delle uve alla raccolta. Uno di questi effetti è l'accelerazione dell'accumulo dei solidi solubili nell'uva durante la maturazione, laddove la sintesi dei composti polifenolici risulta invece meno influenzata. Questo si sta traducendo in uno sbilanciamento fra il contenuto di zuccheri e polifenoli a favore dei primi, fenomeno che è conosciuto come disaccoppiamento fra la maturazione tecnologica e la maturazione fenolica. Questo a sua volta porta alla produzione di vini molto alcolici ma che sono insoddisfacenti dal punto di vista del profilo fenolico e sensoriale. Fra le strategie proposte per rallentare l'accumulo dei solidi solubili, la cimatura tardiva è stata riportata essere molto promettente, in particolare sul vitigno Aglianico, che è il vitigno oggetto di studio di questa tesi. Però è stato altresì mostrato in altri studi come l'efficacia di questo tipo di intervento vari in base a diversi fattori ambientali e fisiologici e, tra questi, lo stato idrico della pianta sembrerebbe svolgere un ruolo importante nella modulazione di questi effetti della cimatura tardiva. Lo scopo di questa tesi era di studiare gli effetti dell'interazione tra la cimatura tardiva e l'irrigazione in post-invaiatura sulle *performance* fisiologiche, produttive e qualitative del vitigno Aglianico. Inoltre, con questo lavoro di tesi ci si propone di studiare gli effetti *carry-over* dell'applicazione delle cimature e delle irrigazioni sulle componenti della produzione negli anni successivi alla loro applicazione. È stato pertanto svolto un esperimento che prevedeva l'applicazione di nove trattamenti imposti quando le uve avevano raggiunto i 12 °Brix e questi consistevano in tre livelli di cimatura combinati con tre livelli di irrigazione applicati per quattro anni consecutivi. I tre livelli di cimatura consistevano in un trattamento non cimato, un trattamento cimato ad una intensità intermedia (riduzione dell'area fogliare del 36%) e un trattamento che prevedeva un livello di cimatura più intenso (riduzione dell'area fogliare del 58%). I tre trattamenti irrigui prevedevano un trattamento non irrigato, un trattamento con una restituzione del 50% del fabbisogno idrico (calcolato come ETc al netto delle piogge), e infine un trattamento che prevedeva la restituzione del 100% del fabbisogno idrico. I risultati hanno mostrato come le cimature tardive inducano effetti dipendenti dall'intensità della loro applicazione. È stato infatti osservato che quando queste sono di lieve intensità si assiste ad un incremento del contenuto di solidi solubili alla raccolta, mentre le cimature di maggiore intensità inducono una significativa riduzione del contenuto in solidi solubili alla raccolta. Le

irrigazioni hanno mostrato in generale di favorire l'accumulo di solidi solubili negli acini. Sono stati però riscontrati diversi effetti interazione fra i diversi trattamenti sperimentali e l'anno di applicazione. Le cimature intense hanno portato inoltre ad un abbassamento della produzione negli anni successivi all'applicazione dei trattamenti. L'irrigazione per contro ha mitigato gli effetti negativi sulla produzione causati dalle cimature intense e in parte ha mitigato anche l'effetto negativo che la siccità dell'annata ha indotto sulla produzione dell'anno successivo. Inoltre, è stato evidenziato che anche il contenuto polifenolico delle uve è stato influenzato dagli interventi di cimatura e di irrigazione mostrando anche diverse interazioni tra i fattori. In particolare, i risultati suggeriscono che le cimature molto intense possono causare un ritardo nella maturazione fenolica delle uve. In generale, i risultati di questo lavoro di tesi forniscono informazioni che possono aiutare a chiarire gli effetti complessi che le interazioni fra gestione in verde della chioma, stato idrico della pianta e parametri ambientali hanno sulle *perfomance* produttive e qualitative dell'Aglianico.

Introduzione

L'andamento delle temperature a livello globale sta mostrando negli ultimi anni un trend crescente (IPCC, 2013). Diversi stati stanno mettendo in atto politiche volte ad assicurare la mitigazione del cambiamento climatico e tra i più noti accordi internazionali che puntano a limitare l'impatto dell'uomo sul clima del pianeta c'è il protocollo di Kyoto, che si prefiggeva come obiettivo principale quello di ridurre l'emissione dei gas serra. L'accordo più recente è invece quello noto come accordo di Parigi (ONU, 2015), che si prefigge di limitare l'aumento delle temperature entro la soglia di 1,5 °C rispetto al livello di temperature preindustriali. Questo obiettivo, sebbene molto ambizioso, risulta strettamente necessario per impedire che le conseguenze del cambiamento climatico siano disastrose, specialmente per gli areali più fragili del pianeta. Fra gli ecosistemi più a rischio vi sono tutti gli areali a clima mediterraneo, come l'Europa meridionale, la California, parti del Cile e del Sud Africa (Aschmann, 1973). La particolare fragilità di questi ecosistemi risiede nel fatto che sono soggetti a correnti anticicloniche, che limitano le precipitazioni nei periodi estivi. Secondo la maggior parte dei modelli attualmente a disposizione questi areali tenderanno, con il cambiamento climatico, a divenire più aridi e più caldi alla fine del XXI secolo (Allam et al., 2020; Gao and Giorgi, 2008). Come già precedentemente evidenziato però, questo processo è già in atto da qualche decennio e per questo motivo si iniziano ad osservare le prime conseguenze legate ai cambiamenti climatici. In letteratura molti modelli econometrici riportano infatti perdite in termini di PIL e di *welfare* per ogni grado di aumento della temperatura (Stern, 2008; Tol, 2009). Uno fra i settori più colpiti dal cambiamento climatico è sicuramente quello agricolo, poiché l'agricoltura fa stretto affidamento sui parametri climatici come pochi altri settori economici. Sono state infatti prodotte numerose stime che prevedono abbassamenti drastici sulla produzione nei prossimi decenni (Lobell et al., 2018; Moore et al., 2017; Van Meijl et al., 2018). Il cambiamento climatico oltre ad avere evidenti effetti sul comparto agricolo, può comportare seri problemi di approvvigionamento alimentare se non adeguatamente mitigato (Campbell et al., 2016; Gregory et al., 2005; Schmidhuber and Tubiello, 2016; Wheeler and von Braun, 2021). Fra le specie più sensibili a queste fluttuazioni climatiche c'è la vite (Carteni et al.,

2019; Keller, 2010). La vite europea (*Vitis vinifera* L.), sebbene sia una specie originaria delle coste del mar Nero (Keller, 2020a; Terral et al., 2010), risulta perfettamente adattata alla coltivazione nel bacino del mediterraneo dove è coltivata da circa 3000 anni (Buono and Vallariello, 2002; Terral et al., 2010). Questo rende l'idea rispetto a quanto in realtà la pianta di vite presenti un'elevata plasticità genetica (Carvalho and Amâncio, 2019; Santo et al., 2013). Uno però degli effetti principali del cambiamento climatico sulla produzione vitivinicola è l'impatto sulla composizione delle uve alla raccolta. I parametri qualitativi delle uve sono infatti estremamente sensibili all'influenza dei fattori climatici (Honorio et al., 2018; Poni et al., 2018; Sadras and Moran, 2012). La particolare sensibilità della vite a questi ultimi ha portato diversi autori a proporre l'utilizzo delle date di raccolta dell'uva come dato per descrivere il clima del passato (Chuine et al., 2004; Daux et al., 2012; Etienne et al., 2009). Molte delle componenti che vanno a determinare nel loro complesso la composizione delle uve prima, e dei vini poi, sono il risultato di specifici equilibri pedoclimatici. L'alterazione di questi equilibri anche in una singola delle loro componenti può avere effetti (spesso indesiderati) sulla qualità delle uve. La delicatezza e l'estrema specificità che compongono questi equilibri hanno dato origine ai concetti di *terroir* e tipicità che, sebbene spesso mistificati (Matthews, 2016), sono estremamente importanti per coloro i quali si approcciano al vino considerandolo nella sua complessità e diversità. Sono infatti numerosi gli effetti che il cambiamento climatico sta avendo sulla fisiologia della vite. Il primo fra tutti è la modifica del ciclo annuale della pianta che sta portando ad un anticipo delle diverse fasi fenologiche (Costa et al., 2019; Duchêne and Schneider, 2005), che porta a sua volta ad una variazione dei fattori che hanno una notevole influenza sulla qualità delle uve. In particolare la maturazione dei frutti si sta spostando progressivamente verso periodi dell'anno più caldi e siccitosi e quindi meno favorevoli per l'accumulo nelle bacche di molte sostanze fenoliche ed aromatiche che sono invece fondamentali per la produzione di vini di elevata qualità (Duchêne and Schneider, 2005; Neethling et al., 2017; Webb et al., 2007; Poni et al., 2018). Inoltre, sono state riportate in molti importanti areali vitivinicoli evidenti prove di una tendenza all'anticipo della fase di germogliamento della vite (Costa et al., 2019; Duchêne and Schneider, 2005), che può causare ad esempio la maggiore vulnerabilità delle

piante a gelate tardive (Sgubin et al., 2018). In realtà questi fenomeni, oltre ad essere sotto osservazione da parte della comunità scientifica, sono guardati con preoccupazione crescente anche dai viticoltori stessi. Alcuni studi hanno infatti riportato come in diverse zone vitivinicole, in particolare in quelle più antiche, esista una notevole consapevolezza da parte dei viticoltori degli effetti potenzialmente dannosi del cambiamento climatico (Battaglini et al., 2009; Neethling et al., 2017). D'altra parte, le opinioni a riguardo risultano spesso contrastanti in quanto in determinate zone prima considerate al limite degli areali vitivinicoli, molti produttori vedono degli incrementi nella produzione di uve di qualità e quindi occasione di investimento (Maciejczak and Mikiciuk, 2019; Nesbitt et al., 2016). Molti autori difatti ipotizzano che è molto probabile, nel caso non avvenga una inversione di tendenza nell'intensità dei cambiamenti climatici, uno slittamento verso latitudini e altitudini più elevate dell'areale di coltivazione della vite (Allam et al., 2020; Fraga et al., 2013, 2012). Questo spostamento si tradurrà quindi con ogni probabilità nella perdita di numerosi areali di produzione della vite, in particolare a latitudini più basse con climi più caldi. Inoltre, fra i diversi fenomeni evidenziati come conseguenza del cambiamento climatico si annovera il cosiddetto disaccoppiamento della maturazione fenolica da quella tecnologica. Questo fenomeno è il risultato dell'aumento della velocità accumulo degli zuccheri nelle bacche dovuto all'aumento delle temperature dell'aria e della concentrazione di CO_2 nell'atmosfera (Keller, 2020b; Parra et al., 2010; Schultz, 2000). Molti autori riportano infatti come elevati livelli di CO_2 aumentino la fotosintesi (Parra et al., 2010) e quindi la sintesi dei carboidrati, che a sua volta si traduce in una maggiore loro ripartizione agli acini (Mira de Orduña, 2010). Inoltre le elevate temperature stanno inducendo un'accelerazione dell'accumulo degli zuccheri rispetto al contenuto polifenolico (Sadras and Moran, 2012) e un abbassamento dell'acidità delle uve (Rienth et al., 2021), risultando in effetti significativi anche sul profilo sensoriale del vino (Bonada et al., 2013; Varela et al., 2015). Il disaccoppiamento tra maturazione tecnologica e fenolica sembrerebbe essere il risultato di un più precoce inizio dell'accumulo degli zuccheri (Sadras and Petrie, 2011), mentre le temperature più elevate limiterebbero la sintesi di polifenoli ed in particolare quella degli antociani (Teixeira et al., 2013). Queste molecole, seppure preposte alla protezione dell'acino

da elevate radiazione e temperature, sono negativamente influenzate da temperature relativamente elevate (30-35 °C) e da elevata radiazione solare che ne facilitano la degradazione (Teixeira et al., 2013). Una possibile soluzione per permettere un'adeguata sintesi dei polifenoli potrebbe essere quella di una vendemmia tardiva, che però si tradurrebbe in un incremento della concentrazione degli zuccheri nell'acino anche a causa della disidratazione dello stesso (Bondada et al., 2017; Tilbrook and Tyerman, 2008). Questo sbilanciamento fra solidi solubili e polifenoli porta alla produzione di vini con elevato grado alcolico e un profilo sensoriale insoddisfacente (Poni et al., 2018; Varela et al., 2015). Vini con tali caratteristiche non sono apprezzati dalla maggior parte dei consumatori, poiché questi si stanno orientando verso vini meno alcolici ma con profili sensoriali più complessi (Saliba et al., 2013; Varela et al., 2015). Un altro problema derivato dall'alto grado alcolico dei vini è di natura legislativa, poiché molti paesi stanno ponendo dei limiti per il contenuto alcolico dei vini, per esempio l'Unione europea e la Svizzera hanno posto come limite il 15% vol. di alcool (CE, 2009). Questo limite può essere particolarmente limitante per molte aree del sud del mediterraneo che includono areali di estremo pregio dal punto di vista vitivinicolo. Fra questi areali di coltivazione estremamente antichi spicca la Campania. Diverse sono le testimonianze infatti che fanno risalire la viticoltura campana fino ai tempi prima dei greci e poi dei romani (Allevato et al., 2015, 2012). Il vitigno Aglianico è spesso considerato il vitigno a bacca nera più importante della regione Campania e rientra nella produzione di due dei cinque vini DOCG e di diversi vini DOC. L'Aglianico è un vitigno tardivo che viene raccolto tendenzialmente fra l'ultima decade di ottobre e la prima di novembre. Le uve sono note per avere un elevato contenuto in polifenoli, in particolare un elevato contenuto in tannini. Diverse sono state le strategie proposte per ridurre il grado alcolico dei vini. Fra queste ci sono la rimozione dell'alcol tramite tecniche di filtraggio con membrane microporose, estrazione supercritica dell'alcol e distillazione sottovuoto. Da queste strategie emergono due principali problematiche, una di tipo legislativo, poiché l'Unione europea ha fissato il limite di tale estrazione ad un massimo di 2% vol. di grado alcolico (CE, 2009). Un'altra criticità che emerge da questo tipo di tecniche è che esse non rimuovono solo l'alcool ma anche molti altri composti, in particolare quelli polifenolici e

aromatici sia di origine primaria che secondaria (Aguera et al., 2010), con evidenti ripercussioni negative sulla qualità del prodotto finale (Diban et al., 2008; Gomez-Plaza et al., 1999; Varavuth et al., 2009). Sono state inoltre proposte per la dealcolazione della birra alcuni lieviti non-*Saccharomyces* che producono inferiori quantità di alcool, ma spesso queste birre riportavano un basso livello di apprezzamento dal punto di vista sensoriale (Bellut and Arendt, 2019). Questo tipo di strategia sembra essere poco esplorata nel settore vitivinicolo e, sebbene alcuni autori abbiano riportato risultati incoraggianti (Rolle et al., 2018), altri studi hanno messo in evidenza la presenza di *off-flavour* nei vini prodotti da questi lieviti e questo ne limita la diffusione su vasta scala (Padilla et al., 2016).

Sono state proposte invece diverse tecniche per ridurre direttamente in vigneto l'accumulo dei solidi solubili negli acini. Una di queste è l'applicazione sulle foglie di molecole antitraspiranti che sono solitamente a base di resine vegetali o sostanze minerali derivate dal caolino (Brillante et al., 2016). Queste tecnologie hanno l'obiettivo di ridurre la fotosintesi e migliorare lo stato idrico della pianta inducendo la chiusura stomatica (del Amor et al., 2010). Questo tipo di approccio si è dimostrato valido nel ridurre il contenuto zuccherino delle uve alla raccolta (Brillante et al., 2016; Di Vaio et al., 2020, 2019; Silvestroni et al., 2020), ma uno dei limiti di questo tipo di soluzione può risiedere nel potenziale dilavamento di questi prodotti in caso di pioggia (Palliotti et al., 2013), che richiederebbe quindi successive applicazioni in caso di eventi meteorici avversi. Questo potrebbe incrementare i costi di applicazione. Inoltre, risultano poco studiati i loro effetti sulle fermentazioni e sulla composizione del vino. Un altro filone di ricerca invece si è basato sullo sfruttamento di teli ombreggianti per ridurre la fotosintesi della pianta, portando anche a risultati incoraggianti (Kliewer et al., 1967). I problemi che potrebbero però sorgere in seguito all'utilizzo dell'ombreggiamento sono da una parte l'insorgenza di malattie fungine stimolate dall'aumento dell'umidità nella zona del grappolo e dall'altra le reazioni della pianta che, per sottrarsi alle condizioni di ombreggiamento, mette in atto quelle risposte che nel loro complesso portano il nome di *shade avoidance syndrome* (SAS) (Franklin, 2008). La reazione della pianta a queste condizioni di solito è quella di incrementare l'area fogliare, che può tradursi però in un eccessivo affastellamento della vegetazione e quindi in

una conseguente scarsa ventilazione e maggiore insorgenza di malattie fungine (Kraus et al., 2018). Molti sforzi sono stati volti ad individuare invece un corretto rapporto fra chioma e produzione che possa rallentare l'accumulo di solidi solubili alla raccolta senza alterare il profilo fenolico delle uve (Caccavello et al., 2019, 2017; De Toda et al., 2013; Filippetti et al., 2015; Kliewer and Dokoozlian, 2005; Palliotti et al., 2014; Parker et al., 2015; Valentini et al., 2018). In generale questo tipo di approccio si basa sulla rimozione di area fogliare in modo da ridurre la superficie fotosintetizzante e quindi di conseguenza ridurre l'apporto di carboidrati a disposizione per l'acino. I diversi autori che hanno studiato questi aspetti hanno cercato di comprendere quanta area fogliare rimuovere (Bondada et al., 2016; Caccavello et al., 2017), quando rimuoverla (Caccavello et al., 2019; Pastore et al., 2013; Poni and Giachino, 2000) e quale tipo di foglie sia meglio rimuovere (Caccavello et al., 2017; Pastore et al., 2013; Poni and Giachino, 2000). In letteratura sono stati trovati effetti differenti al modificarsi di una di queste tre componenti. È stato dimostrato da diversi autori come con la defogliazione applicata al di sopra della zona dei grappoli sia stato effettivamente possibile ridurre il contenuto in solidi solubili alla raccolta quando questa è applicata in post-invaiatura (Buesa et al., 2019; Caccavello et al., 2017; Palliotti et al., 2013). Per contro altri autori hanno riportato come la defogliazione applicata precocemente tenda a favorire l'accumulo degli zuccheri (Palliotti et al., 2012, 2011; Vanderweide et al., 2020). Questa apparente contraddizione è spiegata dal fatto che l'applicazione della defogliazione precoce influenza anche il numero di acini per grappolo (Basile et al., 2015) e quindi ciò che si osserva probabilmente è l'effetto di una migliore ripartizione dei carboidrati a favore dei frutti rimasti. Per contro all'invaiatura la possibilità di variare la produzione è molto limitata, poiché i frutti, che sono ormai in fase di maturazione, sono dei *sink* di carbonio molto forti e quindi in un eventuale *trade-off* non potrebbe essere sacrificata la produzione. Le defogliazioni basali invece hanno il limite di esporre il grappolo alla radiazione solare quindi accelerando la degradazione degli acidi organici e influendo quindi negativamente sulla potenziale conservabilità del vino ottenuto (Kliewer and Schultz, 1964). Per quanto riguarda le cimature, il principio è simile a quello della defogliazione, in quanto l'obiettivo è rimuovere superficie fotosintetizzante al fine di limitare l'accumulo degli zuccheri, ma tra

le due tecniche esistono delle differenze sostanziali. La rimozione di area fogliare tramite cimatura avviene a carico delle foglie più giovani del germoglio a differenza della defogliazione dove vengono eliminate le foglie basali, quindi le più vecchie. Questo distingue i due tipi di intervento in termini di ripercussioni sulla fisiologia della pianta. Le cimature precoci non hanno avuto effetti concordi nei diversi vitigni, mostrando in alcuni casi incrementi e in altri casi riduzioni in solidi solubili (Cartechini et al., 2000; Poni et al., 2014), queste differenze sono probabilmente frutto di diversi tassi di ricrescita delle femminelle e quindi diverse capacità di compensazione di area fogliare o competizione fra la crescita delle femminelle e frutti. Per quanto riguarda le cimature tardive, queste sono state proposte da diversi autori come una valida soluzione per ridurre il contenuto in solidi solubili senza alterare il profilo polifenolico delle uve alla raccolta (Caccavello et al., 2019, 2017). Questa strategia di gestione dell'area fogliare si basa sulla scarsa possibilità che la pianta ha, in fase di post-invaiatura, di ridirezionare le risorse verso la crescita delle femminelle, rendendo poco probabile, specialmente in ambienti caldo-aridi, che si possa verificare una compensazione di area fogliare. Inoltre se questa ricrescita si verificasse, difficilmente potrebbe ricostituire l'area fogliare rimossa ma anzi creerebbe ulteriore competizione che si andrebbe a ripercuotere sul contenuto in zuccheri alla raccolta (Caccavello et al., 2017; Santesteban et al., 2017). Nonostante ciò non tutti gli esperimenti riportati in letteratura hanno mostrato i medesimi effetti quando le cimature tardive sono state applicate ripetutamente negli anni (Filippetti et al., 2015; Herrera et al., 2015). Questa strategia si è però rivelata efficace sul vitigno Aglianico (Caccavello et al., 2019, 2017), così come riportato in letteratura per altri vitigni più precoci (Allegro et al., 2016; Filippetti et al., 2015; Pastore et al., 2017). Un'altra variabile che si è rivelata estremamente importante per l'accumulo dei solidi solubili è lo stato idrico (Canoura et al., 2018; Chaves et al., 2010; Keller, 2005; Smith and Holzapfel, 2009). Gli effetti però riscontrati sull'accumulo di solidi solubili è notevolmente complesso e spesso contraddittorio. È infatti stato riportato come l'irrigazione possa incrementare (Rubio et al., 2004), ridurre (Buesa et al., 2019; Zarrouk et al., 2012) oppure portare ad effetti differenti in base al momento di applicazione (Intrigliolo and Castel, 2010) e dello stato idrico della pianta (Basile et al., 2012, 2011; Girona et al., 2009).

Un'ulteriore possibile spiegazione di questa complessa risposta fisiologica risiede probabilmente nella plasticità genetica delle piante di vite. Infatti, a differenza di molte altre specie, i diversi vitigni presentano un'enorme eterogeneità di comportamento nei confronti dello stress idrico. Da una parte ci sono i vitigni considerati a comportamento anisoidrico, cioè che manifestano una progressiva riduzione del potenziale idrico man mano che incrementa lo stress, tra cui si annoverano il Syrah (Schultz, 2003; Soar et al., 2006), il Sangiovese (Dal Santo et al., 2016) e Cabernet Sauvignon (Chaves et al., 2010). Invece i vitigni considerati isoidrici, quindi con un più veloce controllo stomatico, sono la Grenaccia (Cannonau) (Soar et al., 2006), il Montepulciano (Dal Santo et al., 2016) e la Falanghina (Giorio et al., 2007). Questo fornisce un'idea dell'estrema complessità che si cela dietro le relazioni idriche delle diverse varietà. I diversi effetti sulla composizione dell'uva indotti dall'irrigazione sono imputabili ad incrementi del tasso fotosintetico (Cifre et al., 2005) o a miglioramenti del flusso linfatico floematico e quindi del trasporto degli zuccheri (Coombe and McCarthy, 2000). Sono inoltre stati riscontrati casi nei quali l'irrigazione ha indotto una riduzione dei solidi solubili, questi effetti sono imputabili ad una diluizione o mancata concentrazione della soluzione all'interno dell'acino (Walker et al., 2005; Zhang and Keller, 2015). Inoltre, molti autori hanno sottolineato come queste interazioni dipendano anche dai volumi di acqua somministrati alle piante con l'irrigazione (Ojeda et al., 2002; Santesteban and Royo, 2006). Molti autori hanno mostrato come uno stress idrico moderato stimoli l'accumulo di solidi solubili nell'acino (Pastenes et al., 2014). Sono invece limitati gli studi che hanno investigato le interazioni fra stato idrico e cimature (Abad et al., 2019) e ancor di meno quelli sull'interazione fra diversi livelli di stress idrico della pianta e diverse intensità di cimatura. Nonostante sia riportato come le cimature tardive applicate a 12 °Brix siano risultate efficaci nel ridurre il contenuto zuccherino su Sangiovese (Poni et al., 2013) e su Aglianico (Caccavello et al., 2019), è stato altresì riportato come in diverse annate caratterizzate da diversi regimi pluviometrici le cimature portavano a risultati diversi o diversa efficacia (Caccavello et al., 2017; Filippetti et al., 2015). È stato inoltre descritto come le cimature stesse contribuiscano alla riduzione dello stress idrico da parte della pianta, e come questo effetto non sia costante tutti gli anni (Abad et al., 2019). Santesteban e Royo

(2006) hanno mostrato come gli interventi irrigui su piante con diverse aree fogliari possano incrementare il peso dell'acino. Inoltre, dalla letteratura si evince come la composizione degli acini e la produzione non sono solo il risultato delle condizioni di crescita dell'anno in corso ma anche degli effetti delle condizioni dell'anno precedente. Inoltre, alcuni autori riportano come sia le cimature che le irrigazioni possano causare effetti *carry-over* nell'anno successivo (Guilpart et al., 2014). Infatti, molti sono i fattori che possono influenzare direttamente o indirettamente la composizione dell'acino alla raccolta e tra questi si annoverano: la produzione (Guilpart et al., 2014), le dimensioni dell'acino (Bravdo et al., 1984; Naor et al., 2002) e il numero di acini (Bondada et al., 2016). Queste componenti della produzione sono per l'appunto spesso definite da eventi avvenuti l'anno precedente. È infatti possibile ipotizzare che diverse intensità di cimatura e diversi livelli irrigui possano influire sull'induzione e differenziazione a fiore (Kittikorn et al., 2010). Inoltre, non è da escludere che anche le riserve del legno possano giocare un ruolo importante nelle risposte della pianta alle cimature (Rossouw et al., 2017), delineando così un quadro estremamente complesso di risposte fisiologiche che la pianta attua in risposta a variazioni dell'area fogliare e dello stato idrico. Molti autori, infatti, hanno riportato come anche la fotosintesi possa essere influenzata dalla rimozione di area fogliare (Basile et al., 2015; Buesa et al., 2019; Caccavello et al., 2017), che spesso induce un incremento del tasso fotosintetico per unità di area fogliare (Bobeica et al., 2015). Quindi non è possibile generalizzare sostenendo che le cimature possano avere sempre lo stesso effetto quando ripetute per più anni di seguito, anzi in letteratura è stato in alcuni casi riportato l'opposto (Filippetti et al., 2015). Inoltre, è da sottolineare come anche gli effetti dell'irrigazione possano variare in annate consecutive, in quanto ad influire sullo stato idrico della pianta non è solo la quantità di acqua disponibile nel suolo ma anche la radiazione solare (Poni and Intrieri, 2001), il deficit di pressione di vapore (VPD), la composizione, la natura e la copertura del suolo (Coniberti et al., 2018; Kabinett, 1993) e il vento (Renison and Suarez, 2020). Queste sono solo alcune delle variabili che possono contribuire a determinare lo stato idrico della pianta. È possibile, inoltre, ipotizzare che queste possano anche variare indipendentemente le une dalle altre moltiplicando quindi gli scenari possibili delle risposte fisiologiche della pianta agli

interventi di cimatura. Allo stesso modo è importante evidenziare che in letteratura l'effetto delle cimature sulle sostanze polifenoliche nelle uve non è sempre concorde. Anche in questo caso sono stati riportati casi in cui si è osservata una riduzione nei polifenoli (Bubola et al., 2016; Keller et al., 1999), un incremento (Tessarin et al., 2018) oppure nessun effetto indotto dalle cimature (Caccavello et al., 2019, 2017; Filippetti et al., 2015). È anche ampiamente descritto in letteratura come il contenuto di polifenoli sia influenzato dallo stato idrico della pianta, ma anche in questo caso la letteratura non è sempre concorde (Intrigliolo and Castel, 2010, 2008; Pérez-Álvarez et al., 2021). Questo fa supporre che anche l'effetto dell'irrigazione sia estremamente variabile a seconda della varietà, degli aspetti pedoclimatici della zona, dei volumi irrigui e della fase fenologica in cui questi vengono somministrati (Santesteban and Royo, 2006).

L'analisi dello stato dell'arte ha messo in evidenza che lo studio dell'interazione fra l'intensità di cimatura tardiva ed il livello irriguo durante la maturazione dell'uva è ancora poco esplorato. L'obiettivo di questa tesi è quello di studiare le risposte del vitigno Aglianico in termini fisiologici, produttivi e di composizione dell'uva all'applicazione di cimature tardive imposte in diversi regimi irrigui durante quattro anni consecutivi. Questo può consentire di ottenere un quadro sufficientemente esaustivo relativamente agli effetti dell'applicazione di diverse intensità di cimatura in piante di Aglianico sottoposte a diversi livelli di irrigazione, in modo da poter delineare strategie valide per modulare l'accumulo di solidi solubili nelle uve di questo vitigno in funzione dei diversi obiettivi enologici in annate caratterizzate da diverse condizioni climatiche. In particolare, si è voluto studiare l'effetto delle interazioni fra cimature, irrigazioni e l'anno di applicazione su tali parametri in modo da verificare se le cimature permettono di rallentare l'accumulo degli zuccheri garantendo però un'adeguata maturazione fenolica ed un'adeguata produzione. Inoltre, questo lavoro di tesi ha mirato a studiare eventuali effetti *carry-over* dei trattamenti imposti sulle componenti della produzione dell'anno successivo, con particolare enfasi sugli effetti che le cimature e le irrigazioni possono avere sulla fertilità nell'anno successivo all'applicazione dei trattamenti e l'effetto cumulato di questi ultimi una volta effettuati per quattro anni consecutivi. Infine, in questo studio di tesi si è cercato di mettere in luce

eventuali correlazioni esistenti fra lo stato fisiologico della pianta, le componenti della produzione e la composizione dell'acino in termini di contenuto zuccherino e polifenolico tenendo inoltre in considerazione gli eventi che hanno caratterizzato l'annata precedente. Per perseguire questi obiettivi, in questa tesi si presentano i risultati di un esperimento della durata di quattro anni di cui solo gli ultimi tre ricadevano effettivamente nel periodo del dottorato, ma allo scopo di analizzare in modo più completo gli effetti dei fattori oggetto di studio, nel mio dottorato mi sono occupato anche dell'analisi dei dati raccolti nel primo anno di questa sperimentazione.

Materiali e metodi

Sito e materiale vegetale

L'esperimento è stato svolto nell'arco di quattro anni (dal 2017 al 2020) in un vigneto commerciale sito in Mirabella Eclano (41°03'42'' N, 14°58'53'' E; Avellino, Campania, Italia) ad un'altitudine di 392 m s.l.m. L'orientamento dei filari era N-S, il suolo era franco-sabbioso-argilloso (Sabbia = 59,1%; Argilla = 25,9%; Limo = 15%; triangolo della tessitura, USDA) e presentava una pendenza del 12%. Il vigneto è stato impiantato nel 2004 con viti del vitigno Aglianico (*Vitis vinifera* L.) innestate su portinnesto K5BB (*Vitis berlandieri* × *V. riparia*). Le viti erano allevate a cordone speronato bilaterale. Sulle piante durante la potatura invernale sono stati lasciati 4 speroni per cordone permanente (otto speroni per pianta), con due gemme franche ciascuno, corrispondente a una carica di 16 gemme per pianta. Le viti erano impostate ad un'altezza dal suolo di 0,80 m ed il sesto di impianto era di 2,5 m × 1,0 m, corrispondente ad una densità di 4000 ceppi/ha.

Dati metereologici

I dati di temperatura dell'aria, pioggia, umidità relativa dell'aria, velocità del vento e radiazione solare dal 2010 al 2020 sono stati raccolti con frequenza oraria tramite una stazione meteo posta a meno di 1 km dal sito sperimentale. I dati medi giornalieri di temperatura dell'aria, umidità relativa dell'aria, velocità del vento e la radiazione solare totale giornaliera sono stati usati per calcolare l'evapotraspirazione di riferimento (ETo) tramite l'equazione di Penman-Monteith (Allen et al., 1998). L'evapotraspirazione così

calcolata è stata poi moltiplicata per il coefficiente colturale relativo a viti adulte (Kc = 0,45) (Allen et al., 1998). A questo valore di ETc è stato poi sottratto il quantitativo di piogge utili (> 5 mm) al fine di ottenere così il fabbisogno irriguo. I dati di evapotraspirazione e pluviometrici sono inoltre stati usati per calcolare il *Dryness index* come indicato da Tonietto and Carbonneau (2004). I dati di temperatura media, minima e massima sono stati usati per calcolare la temperatura media, massima e minima dal 1° aprile al 31 ottobre. Sono state inoltre calcolate le piogge cumulate annuali e quelle del solo periodo di crescita vegetativa (dal 1° aprile al 31 ottobre). La temperatura media è stata inoltre utilizzata per calcolare le somme termiche dal 1° aprile al 31 ottobre utilizzando l'indice di Winkler (Jones et al., 2010). Le temperature medie sono state inoltre utilizzate per calcolare l'indice eliotermico di Huglin dal 1° aprile al 30 settembre (Jones et al., 2010).

Trattamenti e disegno sperimentale

Il disegno sperimentale era a blocchi completamente randomizzati con nove trattamenti e quattro blocchi (un totale di 36 blocchi). Ogni blocco era costituito da 40 piante poste su 4 filari (10 piante per filare). All'interno del singolo blocco sono state scelte due file adiacenti aventi 10 piante per fila e su 8 di queste piante sono state effettuate tutte le misurazioni, mentre le due piante esterne sulla fila sono state considerate come bordo. Anche le due file esterne a quelle impiegate per le misure sono state considerate bordi ed hanno ricevuto il medesimo trattamento sperimentale delle file usate per le misure. I trattamenti sperimentali prevedevano la combinazione di tre livelli di intensità di cimatura con tre diversi volumi irrigui, entrambi applicati una volta che il contenuto in solidi solubili (CSS) negli acini aveva raggiunto i 12 °Brix. Nei quattro anni della sperimentazione, questa fase si è verificata il 18 agosto 2017 (giorno dell'anno, GdA, 230), il 24 agosto 2018 (GdA 236), il 2 settembre (GdA 245) e il 4 settembre 2020 (GdA 248). I trattamenti di cimatura prevedevano la rimozione tramite taglio effettuato manualmente della parte apicale dei germogli. I trattamenti di cimatura previsti erano: (i) un controllo non cimato C0 dove non è stata rimossa area fogliare; (ii) un trattamento con una cimatura intermedia C30 dove il germoglio è stato tagliato ad una altezza dalla base di circa 95 cm; (iii) l'ultimo trattamento che prevedeva una

cimatura più intensa dove il germoglio veniva tagliato ad un'altezza dalla base di circa 65 cm.

I trattamenti irrigui erano: (i) un controllo non irrigato, I0; (ii) un trattamento con irrigazione ridotta, I50, dove era prevista la restituzione del 50% del fabbisogno;(iii) un trattamento con una irrigazione doppia rispetto al precedente I100 dove è stata prevista la restituzione del 100% del fabbisogno (Tabella 3). L'irrigazione è stata fornita tramite sub-irrigazione con tubi interrati a circa 20 cm di profondità, i tubi inoltre erano provvisti di valvole auto-compensanti in modo da ottenere un'irrigazione omogenea lungo le ali gocciolanti. A seguito di una grave siccità che ha colpito l'areale dove è stato effettuato l'esperimento nel 2017 e che ha causato notevoli difficoltà di approvvigionamento idrico, è stato installato nel 2018 un ulteriore serbatoio di raccolta delle acque per poter irrigare anche in caso di siccità. I nove trattamenti sono stati ottenuti combinando i tre livelli di cimatura ed i tre trattamenti irrigui. I trattamenti saranno indicati con i seguenti codici: C0I0, C0I50, C0I0, C30I0, C30I50, C30I100, C75I0, C75I50 e C75I100). I trattamenti sono stati applicati per i quattro anni dell'esperimento sempre sulle stesse piante.

Misure di area fogliare

Le misure di area fogliare sono state effettuate su sei germogli selezionati per ogni blocco prima dell'applicazione dei trattamenti (il 27 luglio 2017, GdA 208; il 21 agosto 2018, GdA 233; il 28 agosto 2019, GdA 240; il 4 settembre 2020, GdA 248) e subito dopo l'applicazione delle cimature (il 22 agosto 2017, GdA 234; il 21 agosto 2018, GdA 233; il 4 settembre 2019, GdA 247; e l'8 settembre 2020, GdA 252). Sono stati misurati per ognuno dei germogli selezionati l'altezza del germoglio, il numero di foglie per germoglio e il numero di foglie per femminella di ogni germoglio. Inoltre, su un germoglio per blocco sono state misurate la larghezza nel punto di massimo diametro delle foglie principali, la larghezza delle foglie delle femminelle e la lunghezza di ognuna delle foglie delle femminelle. Nelle date in cui si sono svolte le misure di area fogliare sono stati inoltre prelevati 10 germogli di lunghezza variabile e portati prontamente in laboratorio. Su questi germogli è stata misurata la larghezza di ogni singola foglia del germoglio principale e delle femminelle.

Successivamente queste stesse foglie sono state fotografate ed è stata calcolata l'area della singola foglia tramite software dedicato (Easy Leaf area, University of California Davis, USA) come descritto da Easlon and Bloom (2014). La relazione tra l'area fogliare (AF) così misurata e la larghezza della foglia (LF) è stata calcolata tramite analisi di regressione utilizzando come modello una funzione esponenziale separatamente per le foglie del germoglio principale ($AF = 11.0709e^{0.1725 \cdot LF}$; $R^2 = 0,87$; $P<0,001$) e per quelle delle femminelle ($AF = 8,6986e^{0,1992 \cdot LF}$; $R^2 = 0,85$; $P<0,001$). Queste relazioni fra larghezza e area della singola foglia sono state utilizzate per stimare l'area fogliare dei germogli per i quali era stata precedentemente misurata la larghezza delle foglie. È stata quindi calcolata una relazione lineare fra il numero di foglie (NF) e area fogliare (AG) separatamente per i germogli principali ($AG = 125,4438 \cdot NF - 3,0857$; $R^2 = 0,77$; $P<0,001$) e le femminelle ($AG = 61,2779 \cdot NF - 35,8014$; $R^2 = 0,85$; $P<0,001$). L'area fogliare per germoglio stimata è stata poi moltiplicata per il numero di germogli per pianta in modo tale da ottenere l'area fogliare per pianta.

Composizione dell'uva alla raccolta e componenti della produzione

A partire da tre settimane dalla data prevista per la raccolta sono stati campionati settimanalmente 15 acini per blocco. Questi acini sono poi stati sottoposti ad analisi sensoriale da un panel di sei esperti in accordo con il metodo riportato da Rousseau (2001). Questo prevedeva l'analisi di diverse caratteristiche meccaniche, visive e sensoriali di tutte le componenti dell'acino (polpa, buccia e semi). Il metodo prevedeva la valutazione di 20 descrittori (colore dell'acino, comprimibilità dell'acino, facilità di distaccamento del pedicello, adesione buccia-polpa, dolcezza, acidità, natura degli aromi, colore dei semi e astringenza dei tannini), che venivano poi valutati su una scala da 1 a 4 in cui valori di 1 indicavano che l'acino era molto acerbo in relazione al descrittore considerato, valori di 4 indicavano la maturità massima in relazione al descrittore considerato. Questi valori sono poi stati sommati per ottenere il punteggio totale. Quando questo raggiungeva il valore di circa 55, le uve erano considerate pronte per la raccolta come precedentemente descritto da Caccavello et al. (2019, 2017) sempre su Aglianico. Indipendentemente dal trattamento, questo punteggio è stato raggiunto da tutte le uve approssimativamente nella stessa data e pertanto la raccolta è stata effettuata in tutti i trattamenti nelle stesse date (il 10 ottobre 2017,

GdA 283; il 15 ottobre 2015, GdA 288; il 28 ottobre 2019, GdA 301; e il 29 ottobre 2020, GdA 303). Alla raccolta è stato contato il numero di grappoli per pianta ed è stato misurato il peso della produzione per pianta usando una bilancia da campo. Questi dati sono stati usati per calcolare il peso medio del grappolo. I grappoli dei germogli utilizzati per le misure di area fogliare sono invece stati raccolti separatamente e usati per contare il numero di acini per grappolo nel 2018, 2019 e 2020.

Alla raccolta è stato inoltre prelevato un campione di 30 acini per blocco, gli acini sono stati prelevati omogeneamente da tutte le parti del grappolo. Venti di questi acini sono stati utilizzati per misurare il peso fresco dell'acino ed il diametro dell'acino. Quindici di questi acini sono stati invece utilizzati per misurare il peso dell'acino tramite una bilancia analitica (Crystal 1000, Gibertini Elettronica, Novate Milanese), il diametro dell'acino tramite un calibro digitale ed il contenuto in solidi solubili (CSS) tramite un rifrattometro digitale (HI96811, Hanna Instruments, Carrollton, TX, USA). Il succo dei rimanenti dieci acini è stato estratto, filtrato ed utilizzato per misurare pH e acidità titolabile (AT) usando un pHmetro digitale (GLP 21, Crison, Alella, Barcelona, Spain). L'acidità titolabile è stata misurata titolando il succo con una soluzione 0,1 N di NaOH fino ad un pH di 8,2. Il risultato è stato poi espresso come g/L di acido tartarico.

Potenziale idrico del germoglio e scambi gassosi

Il potenziale idrico del germoglio è stato misurato in quattro date nel 2017 (09/08, 01/09, 06/09, 22/09), 2018 (27/07, 31/08, 12/09, 26/09) e 2019 (27/08, 06/09, 30/09, 17/10) e in tre date nel 2020 (11/08, 27/08, 02/10). Le misure sono state svolte tutti gli anni sia prima che dopo l'applicazione dei trattamenti. Le misure sono state effettuate tra le 11:00 e le 13:00 (ora solare) su due foglie per blocco. Le foglie utilizzate per le misure sono state selezionate fra le foglie basali dei germogli e preventivamente chiuse all'interno di una busta ermetica ricoperta di alluminio per almeno un'ora. Il potenziale del germoglio è stato quindi misurato utilizzando una camera a pressione di Scholander (3005F01, Soilmoisture equipment corp., Santa Barbara, CA, USA).

Le misure degli scambi gassosi sono state effettuate intorno al mezzogiorno solare (tra le 11:00 e le 13:00). In ciascuno degli anni (tranne che nel 2020), queste sono state effettuate in una data dopo l'applicazione dei trattamenti (28/08/2017, 31/08/2018, 06/09/2019). Per la misurazione è stato usato un analizzatore di scambi gassosi (LCA 4, ADC BioScientific, Hoddesdon, England). Le misure sono state effettuate su sei foglie per trattamento, tre foglie principali e tre foglie dalle femminelle, queste erano tutte foglie completamente distese e mature. Nel 2020 le misure degli scambi gassosi non sono state effettuate a causa di problemi tecnici che hanno interessato l'analizzatore.

Misure di fertilità e allegagione

Nei quattro anni, la fertilità è stata valutata contando su otto piante per blocco il numero di grappoli per pianta, il numero totale di germogli, il numero di germogli fertili e il numero di gemme totale. Il numero di grappoli è stato poi diviso per il numero di germogli così da ottenere l'indice di fertilità potenziale della pianta.

A partire dal 2018, al momento della fioritura sono state inoltre fotografate le infiorescenze dei sei germogli per blocco selezionati per le misure di area fogliare. Successivamente nelle foto è stato contato il numero di fiori visibili in foto in ciascuna infiorescenza. Inoltre, ulteriori 30 infiorescenze sono state fotografate (per contare il numero di fiori visibili in foto) e poi raccolte per contarne il numero reale di fiori. La relazione tra i fiori contati in foto e quelli effettivamente presenti nell'infiorescenza è stata calcolata tramite regressione lineare ($y = 1,4877x$ $R^2 = 0,99$; $P<0,001$). Questa relazione è stata utilizzata per stimare il numero di fiori reali portati dalle infiorescenze selezionate in campo. Alla vendemmia questi grappoli sono stati raccolti e il loro numero di acini è stato contato. Il numero di acini per grappolo ed il numero di fiori per infiorescenza sono stati utilizzati per calcolare la percentuale di allegagione.

Analisi dei polifenoli

Alla raccolta è stato prelevato un campione di cinque grappoli per blocco. Da questi grappoli è stato prelevato un sub-campione di 200 g di acini prelevati in maniera casuale da tutte le porzioni del grappolo. Le bucce di questi acini sono state separate dai vinaccioli e dalla

polpa, quest'ultima poi è stata scartata. Bucce e vinaccioli sono poi sono stati pesati e immersi separatamente in una soluzione idroalcolica a 12% alcool contenente 100 mg/L di SO_2 e 5 g/L di acido tartarico, e portata quindi tramite titolazione con NaOH ad un pH di 3,2 seguendo il protocollo proposto da Mattivi et al. (2002). La determinazione degli antociani totali è stata effettuata tramite HPLC (HPLC Shimadzu LC10 ADVP, Shimadzu Italia, Milano, Italia). L'intensità del colore dei campioni (Assorbanza 420 nm + Ass 520 nm + Ass 620 nm) e della tonalità (Ass 420 nm/Ass 520 nm) sono stati analizzati tramite spettrofotometria utilizzando uno spettrofotometro UV (Shimadzu UV-1800 Kyoto, Japan). Tutte le analisi sono state svolte analizzando due repliche per campione. Si è utilizzata la reazione con il ferro per la determinazione del contenuto in polifenoli totali. Per la determinazione dei tannini ad alto grado di polimerizzazione si è utilizzato il saggio di Adams-Harbertson (A-H) (Harbertson et al., 2003). I tannini a basso grado di polimerizzazione (Flavani reattivi alla vanillina, FRV) sono stati determinati come riportato in precedenza da Gambuti et al. (2015). Tutte le misurazioni sono state svolte considerando due repliche sperimentali e quattro repliche biologiche.

Analisi statistica

L'analisi della varianza (ANOVA) a tre vie è stata utilizzata per studiare la significatività dell'effetto dell'anno (A), della cimatura (C), dell'irrigazione (I) e delle interazioni tra questi fattori (C×I, C×A, I×A e C×I×A) su tutte le componenti della produzione (produzione per pianta, numero di grappoli per pianta, peso del grappolo, numero di grappoli per germoglio, numero di acini per grappolo), diametro, peso fresco dell'acino, CSS, AT, pH, composizione fenolica delle bucce e dei vinaccioli. L'analisi della varianza a due vie è stata usata per studiare l'effetto della cimatura (C) e dell'irrigazione (I) sul potenziale idrico a mezzogiorno nelle diverse date e sul tasso fotosintetico. La separazione delle medie è stata poi eseguita tramite il test post-hoc di Duncan. È stata effettuata inoltre un'analisi delle correlazioni di Pearson fra i dati aggregati dei diversi anni e dei diversi trattamenti. Per tutte le analisi è stato usato il software SPSS (IBM, Chicago, IL, USA).

Risultati

Andamento climatico

Durante l'esperimento la temperatura media annuale è risultata molto simile nel 2018, 2019 e 2020 (mediamente 15,3 °C), mentre è risultata più bassa di circa 1 °C nel 2017 (14,5 °C) (Tabella 1). Nel 2017 e 2018 la temperatura media massima nel periodo fra aprile e ottobre è stata pari a 26,4 °C, mentre nel 2019 e 2020 è stata rispettivamente di 26,0 e 25,7 °C. La media delle minime più bassa è stata registrata nel 2017 con un valore di 12,9 °C, negli altri tre anni sono state circa pari a 14 °C (14,1, 14,3 e 13,9 °C rispettivamente nel 2018, 2019 e 2020). Il totale delle precipitazioni annuali è risultato molto variabile nei quattro anni analizzati, risultando compresa tra un minimo di 647 mm (2017), che corrisponde al 17,6% in meno rispetto alla piovosità media dell'areale (784,5 mm considerando la pioggia dal 2010 al 2020) ed un massimo di 989 mm (2018), corrispondente al 26,1% in più rispetto alla media. Negli ultimi due anni dell'esperimento (2019 e 2020), le precipitazioni annuali si sono attestate su valori intermedi (rispettivamente 799,96 e 745,84 mm), risultando più simili alle medie dell'areale. La temperatura media durante la stagione vegetativa (1° aprile - 31 ottobre) si è attestata nei quattro anni intorno ai 19,5 °C. L'anno con i valori più bassi di questo parametro è risultato il 2017 (19,2 °C), mentre il 2019 ha presentato la stagione vegetativa più calda (19,7 °C). L'indice eliotermico di Huglin è variato da un minimo di 2498 °C nel 2019 ad un massimo di 2606 °C nel 2018 collocando la zona di produzione nella fascia *"Warm"* (Jones et al., 2010), mentre i valori calcolati per l'indice termico di Winkler consentono di classificare l'areale oggetto di studio nella regione di produzione IV (Jones et al., 2010). L'indice di aridità invece ha mostrato notevole variabilità durante gli anni andando da un minimo di -107 nel 2017, che, in accordo con Tonietto & Carbonneau (2004), è da considerare un anno molto arido, ad un massimo di 51 nel 2018, anno da considerarsi sub-umido. Il 2019 e 2020 possono essere invece classificati come annate moderatamente aride.

Il diagramma di Walter mostra come nel 2017 e nel 2019 le precipitazioni siano state poco frequenti durante la stagione vegetativa (Figura 1) ed in particolare è possibile osservare che nel 2017 questa condizione si sia verificata anche nei mesi precedenti all'inizio della stagione

di crescita vegetativa. Nel 2018 e 2020 invece è possibile notare come, fatta eccezione per il mese di luglio, le piogge siano state ben presenti durante la stagione estiva. Inoltre, nel 2020 il periodo di aridità è iniziato intorno a maggio per poi concludersi nel mese di agosto, contrariamente a quanto verificatosi negli altri tre anni per i quali in generale questo periodo è iniziato verso il mese di giugno.

Area fogliare

L'area fogliare misurata prima dell'applicazione dei trattamenti non è risultata influenzata dai trattamenti irrigui e di cimatura, dall'anno e dall'interazione tra questi fattori, attestandosi mediamente su valori pari a 4,37 m^2/pianta (Tabella 2). Dopo l'applicazione della cimatura (ed inizio dei trattamenti irrigui), tale parametro è stato invece influenzato solo dalla cimatura, mentre l'effetto dell'irrigazione, dell'anno e dell'interazione tra tutti i fattori non è risultato significativo (Tabella 2). Mediamente, dopo l'applicazione dei trattamenti di cimatura l'area fogliare per pianta è risultata pari a 4,44, 2,79 e 1,74 m^2/pianta rispettivamente per le piante non cimate (C0) e le piante C30 e C75. Pertanto, i trattamenti C30 e C75 hanno mediamente determinato una riduzione dell'area fogliare pari rispettivamente al 36% e 58%.

Fabbisogno idrico

Nel 2017 il fabbisogno irriguo totale (al netto delle piogge) è risultato di 57,50 mm (nelle cinque settimane di applicazione del trattamento irriguo), mentre la restituzione irrigua è stata di 17,13 mm per l'I100 e di 8,45 mm per l'I50 che corrispondevano rispettivamente al 30% e al 15% del fabbisogno. Come già specificato nei Materiali e Metodi, nel 2017 si è verificata una grave carenza idrica che ha interessato l'intero areale e che, compromettendo l'approvvigionamento idrico, ha consentito la restituzione con l'irrigazione solo di un terzo della quota di acqua preventivata. Nel 2018 il fabbisogno irriguo totale nelle sei settimane interessate dal trattamento è stato di 57,30 mm e sono stati restituiti rispettivamente per l'I100 e l'I50 il 90% e il 45% del fabbisogno. Nel 2019 il periodo interessato dall'intervento irriguo è stato il più lungo fra tutti gli anni (otto settimane) con un fabbisogno stimato di 53,89 mm, mentre sono stati quindi restituiti 63,74 mm per l'I100 e 30,65 mm per l'I50 che

corrispondevano rispettivamente al 118% e al 57% del fabbisogno del periodo. Nel 2020 il periodo di intervento si è protratto per sei settimane con un fabbisogno di 67,56 mm che è stato soddisfatto per il 72% e il 32% rispettivamente per l'I100 e l'I50 (Tabella 3), la restituzione inferiore durante l'ultimo anno è dovuta alle frequenti piogge che hanno caratterizzato il periodo di maturazione dell'uva.

Umidità del suolo

Le misure di umidità del suolo non hanno fatto registrare differenze significative fra i diversi trattamenti irrigui prima dell'applicazione dell'irrigazione nel 2019 e 2020 (Figura 2). Mediamente nel 2019 prima dell'applicazione delle irrigazioni il suolo presentava un'umidità media del 19%. Successivamente all'applicazione dei trattamenti irrigui nel 2019 si sono osservate differenze significative in umidità del suolo che è progressivamente aumentato all'aumentare del volume di irrigazione applicato, facendo registrare percentuali di umidità del suolo del 16%, 19% e 24% rispettivamente per i trattamenti I0, I50 e I100. Nel 2020 per contro non sono state registrate differenze significative né prima né dopo l'applicazione dei trattamenti irrigui mostrando il 26% di umidità del suolo prima dell'applicazione dell'irrigazione e del 28% dopo l'applicazione dell'irrigazione.

Potenziale idrico del germoglio a mezzogiorno

Nel 2017 non si sono osservate differenze significative prima dell'applicazione dei trattamenti con un potenziale idrico medio pari a -1,06 MPa (Tabella 4). Nelle due date seguenti all'applicazione dei trattamenti si è osservato un aumento progressivo del potenziale del germoglio a mezzogiorno all'aumentare dell'irrigazione applicata che ha determinato un incremento significativo del potenziale idrico delle piante irrigate rispetto alle non irrigate del 19% e del 20% rispettivamente il 1° agosto 2017 e il 6 settembre 2017. Il 22 settembre 2017 non si sono osservate differenze significative fra i diversi trattamenti. Nel 2018 non sono state osservate differenze significative fra i diversi trattamenti né irrigui né di cimatura prima dell'applicazione dei trattamenti (Tabella 5). È stata invece osservata nella prima data successiva all'applicazione dei trattamenti un aumento del potenziale idrico del

germoglio (+19%) nei trattamenti C75 rispetto ai trattamenti cimati C30. Non sono state invece osservate differenze significative fra i diversi trattamenti nelle date successive dove sono registrati in media potenziali di -0,51 MPa e -0,42 MPa rispettivamente il 12 settembre 2018 e il 26 settembre 2018. Nel 2019, come avvenuto negli altri anni, non sono state osservate differenze significative prima dell'applicazione dei trattamenti dove si è osservato un potenziale idrico del germoglio medio di -0,67 MPa. In modo simile nella data immediatamente successiva all'applicazione dei trattamenti (6 settembre 2019) non si è osservata alcuna differenza significativa con una potenziale idrico medio pari a -0,63 MPa (Tabella 6). Sono state invece osservate differenze significative fra i diversi trattamenti irrigui il 30 settembre 2019 dove il potenziale idrico è aumentato progressivamente all'aumentare dell'irrigazione applicata con valori di -0,67 e -0,58 MPa rispettivamente per i trattamenti I0 e I100, che corrispondono ad un incremento del potenziale nei trattamenti irrigati del 13% rispetto ai trattamenti non irrigati. Queste differenze non sono state osservate invece nella data successiva (17 ottobre 2019) dove si è registrato in media un potenziale idrico di -0,39 MPa. Non sono state registrate invece differenze significative nel 2020 sia prima che dopo l'applicazione dei trattamenti (Tabella 7). Non sono inoltre stati riscontrati effetti significativi su tale parametro delle interazioni fra i trattamenti irrigui e di cimatura in nessuna delle date dei quattro anni di studio.

Velocità di fotosintesi

La velocità di fotosintesi (Tabella 8) media misurata dopo il trattamento ha mostrato nel 2017 un incremento all'aumentare della quantità di acqua restituita con l'irrigazione. Si sono registrati valori di 5,90, 6,69 e 7,94 $\mu mol/m^2s$ rispettivamente nei trattamenti I0, I50 e I100 con un incremento del 26% del tasso fotosintetico nelle piante del trattamento irriguo I100 rispetto a quelle non irrigate. Non sono state osservate invece differenze significative tra i trattamenti di irrigazione e di cimatura nel 2019 e nel 2020, dove sono stati registrati valori di fotosintesi in media di 8,67 e 10,16 $\mu mol/m^2s$ rispettivamente nel 2019 e 2020. Nei diversi anni, non sono stati inoltre mai osservati effetti significativi sul tasso fotosintetico delle interazioni fra i trattamenti irrigui e di cimatura.

Componenti della produzione

La produzione per pianta (Tabella 9) è risultata influenzata dalla cimatura (C), dall'anno (A) e dalle interazioni C×A e C×I×A, mentre il numero di grappoli per pianta è stato influenzato dalla cimatura, dall'anno e dall'interazione I×A. Per il peso medio del grappolo è invece stato registrato un effetto significativo solo della cimatura e dell'anno (Tabella 9). L'irrigazione non ha invece influenzato nessuno di questi parametri. In particolare, la cimatura più intensa (C75) ha determinato una riduzione della produzione per pianta (-19%), il numero di grappoli per pianta (-10%) e il peso medio del grappolo (-7%) rispetto al controllo non cimato e alle piante C30. Per quanto riguarda l'effetto dell'anno, la produzione per pianta più alta (1,70 kg/pianta) è stata registrata nel 2019, mentre quella più bassa si è misurata nel 2018 e 2020 (mediamente 1,09 kg/pianta). Valori intermedi di produzione sono stati invece ottenuti nel 2017 (1,45 kg/pianta). In modo simile il peso medio del grappolo è risultato massimo nel 2019 (199,6 g/grappolo), mentre i valori più bassi di questa componente della produzione sono stati ottenuti nel 2018 (129,3 g/grappolo). Il numero maggiore di grappoli per pianta è stato invece misurato nel 2017 (12,0 grappoli/pianta), mentre quello minore si è registrato nel 2020 (7,2 grappoli/pianta).

Nel primo anno di sperimentazione (2017) non è stata riscontrata alcuna differenza tra i trattamenti nella produzione per pianta, il numero di grappoli per pianta e il peso medio del grappolo, che sono risultati mediamente pari a 1,45 kg/pianta, 12,0 grappoli/pianta e 156,6 g/grappolo (Tabella 9, Figure 3A e 4A). Nel 2018 nelle piante non irrigate (I0) la produzione per pianta è stata significativamente ridotta dalla cimatura più intensa (C75) rispetto alle piante C0I0 e C30I0 (-46%), mentre la cimatura non ha avuto effetti significativi su tale parametro nelle piante esposte agli altri due trattamenti irrigui (I50 e I100). Nel 2019 e nel 2020, invece, la cimatura più intensa (C75) ha determinato una riduzione della produzione non solo nelle piante non irrigate (2019: -21%; 2020: -30%), ma anche nelle piante dei trattamenti irrigui I100 (2019: -34%; 2020: -30%). In entrambi gli anni le cimature non hanno influenzato la produzione nelle piante I50. Per il numero di grappoli per pianta, risultati simili a quelli della produzione per pianta sono stati ottenuti negli anni 2018, 2019

e 2020 fatto eccezione il fatto che nel 2019 le differenze tra le cimature sono state significative solo nelle piante I100 (Figure 3, 4).

La fertilità potenziale è risultata significativamente influenzata dalla cimatura, dall'irrigazione e dall'anno, mentre gli effetti su tale parametro delle interazioni tra questi fattori non sono risultati significativi. In particolare, il trattamento C75 ha determinato una riduzione significativa della fertilità potenziale (-10%) rispetto agli altri due trattamenti di cimatura (C0 e C30), mentre il trattamento I100 ha indotto un incremento di tale parametro (+7%) rispetto ai trattamenti I0 e I50 (Tabella 9). Inoltre, la fertilità potenziale è risultata massima nel 2017 (0.94 grappoli/germoglio) e minima nel 2018 e 2020 (mediamente 0,65 grappoli per pianta).

Il numero di acini per grappolo è risultato significativamente influenzato dalla cimatura, dall'irrigazione, dall'anno e da tutte le interazioni tra questi fattori (Tabella 9, Figura 5). La cimatura più intensa (C75) ha determinato, rispetto agli altri trattamenti di cimatura, una riduzione significativa del numero di acini per grappolo (Tabella 5) nel 2018 nelle piante non irrigate (I0) (-46%) e nel 2019 nelle piante I100 (-34%). Le piante C75I50, invece, presentavano nel 2019 un numero di acini per grappolo maggiore rispetto a C0I50 (+23%). Tale componente della produzione è stata invece incrementata dal trattamento irriguo I50 rispetto a I100 (+6%). Il numero di acini per grappolo è risultato massimo nel 2019 (142,7 acini/grappolo) e minimo nel 2020 (57,0 acini/grappolo).

Dimensione e composizione dell'acino

Il diametro ed il peso fresco dell'acino alla raccolta sono risultati influenzati significativamente dalla cimatura (non nel caso del diametro), dall'irrigazione, dall'anno e da tutte le interazioni tra questi fattori (Tabella 10). In particolare, il diametro ed il peso fresco dell'acino sono risultati lievemente (ma significativamente da un punto vista statistico) maggiori nei trattamenti non irrigati (I0) rispetto a I50 e I100. Le piante C75 presentavano invece un peso fresco dell'acino alla raccolta significativamente minore rispetto alle piante non cimate (-2%). Anche l'anno ha influenzato questi parametri in modo significativo. Infatti, il diametro ed il peso fresco dell'acino alla raccolta sono risultati

massimi nel 2018 (rispettivamente 16,2 mm e 2,8 g), mentre i valori più bassi si sono registrati nel 2017 (14,4 mm e 2,2 g).

Nelle piante non irrigate, l'effetto della cimatura sul diametro dell'acino alla raccolta è variato a seconda dell'anno (Figura 6). Infatti, nel 2017 tale parametro è risultato maggiore nelle piante cimate (C30I0: 14,3 mm; C75I0: 15,0 mm) rispetto al controllo non cimato (C0I0: 14,1 mm), mentre nel 2018 e 2019, sempre nelle piante non irrigate, la cimatura più intensa (C75I0) ha indotto una riduzione del diametro dell'acino rispetto alle piante C0I0 (-2,7% nel 2018 e -4,9% nel 2019). Per quanto riguarda il peso fresco dell'acino sono stati registrati effetti dell'interazione C×I×A abbastanza simili a quelli appena descritti per il diametro dell'acino (Figura 7).

Il contenuto in solidi solubili alla raccolta è stato significativamente influenzato dalla cimatura, dall'irrigazione, dall'anno e dall'interazione C×A (Tabella 10). In generale il CSS è risultato ridotto in modo significativo dal trattamento di cimatura più intenso (C75) rispetto agli altri due trattamenti C0 e C30 (rispettivamente -2,1% e -3,3%). Il trattamento C30, invece, a seconda dell'anno, ha presentato valori del CSS pari (2017 e 2018) o significativamente maggiori del trattamento non cimato (2019 e 2020) (Figura 8A). L'applicazione dell'irrigazione ha determinato invece un incremento significativo del CSS rispetto a testimone non irriguo (+1,5%). Per quanto riguarda le differenze tra gli anni, valori di CSS più elevati sono stati misurati nel 2017 (25,6 °Brix), mentre quelli più bassi si sono registrati nel 2018 (22,5 °Brix). Valori intermedi sono stati misurati nel 2019 e 2020 (rispettivamente 24,0 e 23,1 °Brix).

L'acidità titolabile è risultata lievemente ma significativamente maggiore solo nelle piante C75 rispetto ai trattamenti C30 e C0 solo nel 2020 (Figura 8B), mentre negli altri anni non si sono registrate differenze significative tra i trattamenti di cimatura. Per quanto riguarda invece il pH del succo, nel 2017 le piante C30 tendevano, indipendentemente dal livello di irrigazione, a presentare valori più elevati di questo parametro, mentre nel 2018 nelle piante I100 le cimature hanno indotto un incremento del pH. Nessun effetto significativo dei trattamenti si è registrato nel 2019 (Figura 9).

Polifenoli

Per quanta riguarda la frazione polifenolica delle bucce, i polifenoli totali, gli antociani, i tannini a catena lunga e quelli a catena corta sono stati influenzati significativamente dalla cimatura, l'irrigazione (tranne i flavani reattivi alla vanillina), l'anno e tutte le interazioni tra i fattori (tranne C×I nel caso dei flavani reattivi alla vanillina) (Tabella 11).

Mediamente il trattamento C30 ha indotto un incremento dei polifenoli totali delle bucce rispetto alle piante C0 (+9%), mentre il trattamento C75 presentava valori intermedi (Tabella 11). L'applicazione dell'irrigazione ha invece indotto un incremento dei polifenoli rispetto al trattamento non irrigato, I0 (+14%). I valori più alti dei polifenoli totali sono stati misurati nel 2017 (830,0 mg/L), mentre quelli più bassi si sono ottenuti nel 2018 (352,3 mg/L). Complesse sono state invece le interazioni tra i fattori. Nel 2017, nelle piante I100 non si sono verificate nei polifenoli totali differenze significative tra i trattamenti di cimatura, mentre nelle piante I50 e I0 l'applicazione della cimatura C30 ha indotto un incremento significativo di questo parametro rispetto a C0 e C75 (Figura10A). Nel 2018 e 2019 invece l'effetto della cimatura sui polifenoli totali è variato a seconda del trattamento irriguo (Figura 10B, C). In particolare, nel 2018 nelle piante I100 le cimature hanno incrementato i polifenoli totali (C75I00: +35%; C30I100: +21%), mentre nelle piante I50 e I0 l'effetto è stato tendenzialmente opposto. Tale effetto di riduzione dei polifenoli totali indotto dalle cimature è stato confermato nel 2019 nelle piante esposte ad irrigazione I50 (C75I50: +19%; C30I50: +22%).

Le cimature hanno ridotto la concentrazione degli antociani totali nelle bucce e tale effetto è risultato essere una funzione dell'intensità di applicazione dei trattamenti (C30: -6%; C0: -13%) (Tabella 11). L'applicazione del trattamento I100 ha invece incrementato gli antociani rispetto ai trattamenti irrigui (+9%). Le differenze negli antociani delle bucce tra gli anni sono invece state simili a quelle precedentemente descritte per i polifenoli totali. Molto complesso è invece risultato l'effetto delle interazioni tra fattori su tale parametro. Nel 2017 (in tutti i trattamenti irrigui) e nel 2018 (solo nel trattamento irriguo I50) le cimature hanno tendenzialmente ridotto gli antociani delle bucce, mentre un effetto opposto delle cimature si è ottenuto nel 2018 nelle piante I100 e nel 2019 nelle piante I0 (Figura 10D, E, F).

Le concentrazioni dei tannini ad elevato grado di polimerizzazione nelle bucce sono state incrementate significativamente dalle cimature di intensità intermedia (C30) rispetto agli altri trattamenti (Tabella 11), mentre i valori più bassi sono stati misurati nelle piante C75. Questo effetto generale è stato molto evidente nelle piante esposte ad irrigazione I50 nel 2017 (Figura 10G). L'applicazione dell'irrigazione (indipendentemente dal livello irriguo) ha invece incrementato la concentrazione dei tannini condensati rispetto al trattamento I0 (+15%). Inoltre, tale parametro è risultato più elevato nel 2019, intermedio nel 2017 e più basso nel 2018.

La cimatura di intensità più elevata ha determinato una riduzione significativa della concentrazione dei tannini a basso grado di polimerizzazione nella buccia rispetto ai trattamenti C0 e C30 (-16%), mentre l'irrigazione non ha avuto effetto significativo su questo parametro (Tabella 11). L'effetto dell'anno sui tannini a basso peso molecolare è risultato simile a quello già descritto per i tannini condensati. L'effetto della cimatura sui tannini a basso grado di polimerizzazione è stato molto evidente nel 2017 (indipendentemente dall'irrigazione applicata) e nel 2018 nelle piante I50 e I0, mentre tale effetto è stato meno chiaro o non significativo negli altri casi (Figura 10L, M, N).

Per quanta riguarda la frazione polifenolica dei vinaccioli, i polifenoli totali, i tannini a catena lunga e quelli a catena corta sono stati influenzati significativamente dalla cimatura, l'irrigazione (tranne tannini ad elevato grado di polimerizzazione), l'anno e tutte le interazioni tra i fattori (Tabella 12). Tutti i parametri sono risultati significativamente maggiori nel 2018, mentre i valori più bassi sono stati misurati nel 2017. Nel 2019 si sono invece registrati valori intermedi per i tre parametri. Anche l'effetto dell'irrigazione è risultato simile per questi tre parametri considerati. Infatti, i valori più bassi delle concentrazioni sono stati misurati nel trattamento irriguo I50 rispetto a I0 e I100 (-11%). L'effetto della cimatura è invece variato a seconda del parametro considerato. Infatti, la concentrazione dei polifenoli totali nei vinaccioli è risultata mediamente minore nel trattamento C30 rispetto a C0 e C75 (mediamente -9%), mentre i polifenoli a basso peso molecolare sono risultati maggiori nelle piante sottoposte alla cimatura più intensa, C75,

rispetto a C0 e C30 (+11%). Non si sono invece registrate differenze tra i trattamenti di cimatura nei polifenoli condensati. Anche nel caso dei polifenoli dei vinaccioli, si sono osservate complesse interazioni tra i fattori. Per quanto riguarda i polifenoli totali e i tannini ad alto peso molecolare, gli effetti più evidenti delle cimature si sono evidenziati nel 2017 nei trattamenti irrigui I100 eI50 con una riduzione progressiva della loro concentrazione all'aumentare dell'intensità della cimatura (Figura 11A, C). Diversi ed in qualche misura opposti sono stati invece gli effetti delle cimature su questi parametri nel 2018 e 2019 (Figura 11B, D, E, F). Per quanto riguarda i tannini a basso grado di polimerizzazione invece, l'analisi dell'interazione tra i fattori, mette in evidenza che nel 2017, nelle piante del trattamento irriguo I100, la cimatura C30 ha determinato una riduzione significativa di tale parametro rispetto a C0 e C75 (Figura 11G). I trattamenti di cimatura più intensi (in differenti condizioni irrigue) hanno determinato in generale un incremento dei tannini a basso grado di polimerizzazione nei vinaccioli (Tabella 12).

Analisi della correlazione tra parametri misurati

Il test delle correlazioni di Pearson tra i parametri climatici misurati in un determinato anno oggetto di studio e le componenti della fertilità e della produzione misurati nell'anno successivo (Figura 12) ha messo in evidenza che esiste una forte correlazione positiva fra indice di aridità (ID) e la percentuale di allegagione ($r=0,689$, $p<0,001$), il numero di acini per grappolo ($r=0,687$, $p<0,001$), la carica di frutti espressa come numero di acini per pianta ($r=0,658$, $p <0,001$) ed il peso della produzione per pianta ($r=0,651$, $p<0,001$). Questi stessi parametri risultavano a loro volta correlati positivamente anche al potenziale minimo del germoglio registrato nell'anno precedente (rispettivamente $r=0,466$, $p<0,001$; $r=0,664$, $p<0.001$; $r=0,664$, $p<0.001$; $r=0,683$, $p<0,001$) che, a sua volta, è risultato correlato positivamente con l'ID dell'anno precedente ($r=0,959$, $p<0,001$). Per quanto riguarda la dimensione dell'acino misurata in termini di diametro e peso del singolo acino, il numero di acini è risultato correlato negativamente con il diametro ($r =-0,394$, $p = 0,042$), il numero di acini ($r=-0,448$, $p=0,019$), mentre l'allegagione è risultata correlata negativamente con il peso dell'acino ($r=-0,408$, $p=0,034$). Il potenziale idrico minimo stagionale del germoglio misurato a mezzogiorno (dell'anno in corso) è risultato correlato negativamente sia con la

produzione per pianta (r=-0,537, p=0,001) che con la carica (r=-0,811, p<0,001). La concentrazione zuccherina (CSS) è risultata correlata negativamente con il diametro (r=-0,862, p<0,001) e con il peso dell'acino (r=-0,774, p<0,001).

Anche le sostanze fenoliche delle uve misurate in un determinato anno sono risultate correlate con i parametri climatici e fisiologici misurati nell'anno precedente e con il contenuto polifenolico delle uve alla raccolta misurato nello stesso anno. La concentrazione di polifenoli nelle bucce è risultata correlata positivamente con la produzione per pianta (r=0,605, p=0,001), il numero di acini per pianta (r=0.838, p < 0.001), il peso del grappolo (r=0,559, p=0,002) e il numero di acini per grappolo (r=0,805, p<0,001). Sono state riscontrate invece correlazioni negative fra il contenuto in polifenoli totali delle bucce e il diametro dell'acino (r=-0,484, p = 0.011) e il peso di quest'ultimo (r=-0,528, p=0,005). Diverse correlazioni sono state osservate per quanto riguarda il contenuto polifenolico dei vinaccioli in particolare il contenuto polifenolico totale è risultato correlato negativamente con il peso del grappolo (r=-0,402, p=0,037), il numero di acini per grappolo (r=-0,579, p = 0,001) ed il numero di acini per pianta (r=-0,645, p=0,001). La concentrazione polifenolica nei vinaccioli è risultata poi positivamente correlata con il peso dell'acino (r=0,528, p=0,005). Le componenti polifenoliche delle bucce sono sempre risultate negativamente correlate invece con quelle dei vinaccioli (polifenoli totali: r=-0,569, p=0,002).

Discussione

I risultati di questo studio confermano che la cimatura tardiva è una strategia di gestione della chioma in grado di modulare l'accumulo degli zuccheri nelle bacche di vite, ma questo effetto è influenzato in modo significativo dall'interazione tra il livello della cimatura e l'anno di applicazione (Tabella 10). In tutti gli anni oggetto di studio, le cimature più intense (C75) hanno ridotto il CSS alla raccolta e questo risultato è in accordo con quanto riportato sullo stesso vitigno, l'Aglianico, da Caccavello et al. (2017). A differenza però di quanto riportato da questi autori, in questo lavoro di tesi, la cimatura tardiva meno intensa (C30), che prevedeva una rimozione di area fogliare simile a quella applicata in uno dei trattamenti di Caccavello et al. (2017), ha indotto un incremento dei solidi solubili rispetto al testimone

non cimato (Tabella 10, Figura 8). Questo suggerisce che, rispetto allo studio di Caccavello et al (2017), nelle condizioni del nostro studio la cimatura di media intensità ha indotto una migliore ripartizione dei carboidrati agli acini e questo potrebbe essere il risultato di una maggiore disponibilità di zuccheri nelle piante cimate rispetto a quelle non cimate (nonostante la rimozione di area fogliare) e/o di un più favorevole rapporto tra organi *source* e *sink*. La maggiore disponibilità di carboidrati potrebbe essere riconducibile ad una compensazione del tasso fotosintetico in risposta alla rimozione dell'area fogliare come descritto in altri studi su diversi vitigni quali il Sangiovese (Bobeica et al., 2015) e il Cabernet Sauvignon (Hunter and Visser, 1988). Questa ipotesi non sembra però confermata nel nostro studio in quanto non si sono registrate differenze tra i trattamenti nella fotosintesi in seguito all'applicazione dei trattamenti di cimatura (Tabella 8). Questa mancanza di risposta fotosintetica compensativa è in accordo con quanto già riportato per l'Aglianico in studi precedenti (Basile et al., 2015; Caccavello et al., 2019, 2017). È possibile, pertanto, che vitigni differenti abbiano risposte fotosintetiche diverse alla rimozione di area fogliare. Un'altra ipotesi per spiegare la differenza tra i risultati ottenuti in questa tesi e quelli di Caccavello et al. (2017) circa l'effetto in Aglianico della cimatura tardiva di media intensità sul CSS alla raccolta, potrebbe essere riconducibile alla differenza nella forma di allevamento adottata nei due studi, che nel caso di Caccavello et al. (2017) era un Guyot, mentre le piante utilizzate per questo lavoro di tesi erano allevate a cordone speronato. È noto, infatti, che il cordone speronato, a parità di altri fattori, tende ad avere una quantità di organi permanenti maggiore rispetto al Guyot. Considerando che questo potrebbe significare anche una maggiore disponibilità di organi di riserva nel cordone speronato rispetto al Guyot, questo potrebbe incrementare la disponibilità di carboidrati da rimobilizzare nei casi in cui la richiesta superi l'offerta da parte dell'apparato fotosintetico. Diversi studi hanno riportato che la rimozione di area fogliare può portare ad una rimobilizzazione delle riserve e ad una compensazione della mancata fotosintesi a favore dei frutti (Candolfi-Vasconcelos et al., 1994; Holzapfel et al., 2006; Rossouw et al., 2017; Silva et al., 2017; Smith and Holzapfel, 2009; Valentini et al., 2018). Differente è invece il caso delle piante sottoposte alla cimatura più intensa in cui probabilmente la rimobilizzazione delle riserve non è stata sufficiente a

sopperire alla drastica riduzione della disponibilità dei carboidrati causata dall'intensa rimozione fogliare. Inoltre questo effetto potrebbe spiegare quanto trovato da altri autori (Filippetti et al., 2015; Herrera et al., 2015) che hanno evidenziato una riduzione dell'effetto della cimatura tardiva quando questa viene effettuata per più anni consecutivi. È da evidenziare infatti che entrambi gli esperimenti sopracitati si sono svolti su piante gestite a cordone speronato. Nel nostro caso, a differenza di Filippetti et al., (2015) ed Herrera et al. (2015) la compensazione è stata osservata sin dal primo anno di applicazione delle cimature. Questo effetto potrebbe essere dovuto ad una relativa precocità dei vitigni Sangiovese e Merlot rispetto all'Aglianico e questo ridurrebbe il tempo a disposizione per poter compensare la carenza di disponibilità di zuccheri con le riserve. Questa ipotesi è in accordo con quanto riportato da Caccavello et al. (2019) che hanno mostrato come la durata della privazione di area fogliare in realtà sia inversamente correlata con l'impatto di quest'ultima sull'accumulo dei solidi solubili. La compensazione osservata non sembra invece spiegata da una ricrescita vegetativa (e quindi di area fogliare) in risposta alle cimature (Abad et al., 2019; Caccavello et al., 2017). Nel caso delle cimature in post-invaiatura di media intensità, da escludere è anche l'ipotesi secondo la quale la migliore ripartizione dei carboidrati ai frutti sia il risultato di un più favorevole rapporto *source-sink* in quanto questi trattamenti non hanno determinato nessuna variazione della produzione per pianta (Tabella 9, Figura 3). A differenza di quanto riportato da Abad et al. (2019) ma in accordo con Caccavello et al. (2017) e Filippetti et al. (2015), il livello di cimatura più intenso ha invece portato ad un deficit intenso nella disponibilità dei carboidrati e questo si è tradotto in una riduzione significativa di tutte le componenti della produzione (Tabella 9). L'abbassamento della produzione per pianta che si è osservato in questo trattamento (C75) è stato causato in parte da una ridotta fertilità potenziale, che si è tradotto in un ridotto numero di grappoli per pianta come indicato dall'analisi degli effetti generali (Tabella 9). Questo è stato particolarmente evidente nel trattamento C75I0 nel 2018 e nel C75I100 nel 2019. Questa riduzione è sicuramente dovuta ad un effetto *carry-over* dell'applicazione della cimatura negli anni precedenti. Infatti, la rimozione di area fogliare in una fase fenologica in cui i *sink* più forti sono gli acini può aver ridotto la disponibilità di carboidrati a supporto della

differenziazione delle infiorescenze. La limitazione dei *source* (*source limitation*), avendo interessato le fasi tardive del ciclo annuale (la fase di maturazione dell'uva ed il post-raccolta), potrebbe aver influenzato negativamente l'accumulo di carboidrati negli organi di riserva. È noto come le riserve vengano utilizzate durante l'inizio del ciclo vegetativo per ultimare la differenziazione a fiore (Bennett et al., 2005; Greer and Weston, 2010; Santesteban et al., 2017). A supporto di questa ipotesi è stata osservata in campo una notevole presenza di viticci parzialmente fertili (viticci che portavano alcuni fiori) in questi trattamenti (dato non mostrato), che indicano una parziale differenziazione a fiore. La produzione per pianta inoltre è risultata influenzata dall'interazione C×I e C×I×A. Quest'ultima interazione è riconducibile al fatto che nel 2017 era il primo anno della sperimentazione ed è noto che in post-invaiatura, quando sono applicati i trattamenti, due delle componenti della produzione (il numero di infiorescenze ed il numero degli acini per grappolo) è già definito e generalmente non modificabile (Vasconcelos and Koblet, 1990) (tranne che in quei vitigni che sono soggetti a cascola dei frutti nella fase finale della maturazione, ma questo non è il caso dell'Aglianico). D'altra parte, la significatività dell'effetto dell'interazione C×I è spiegabile dal fatto che la riduzione della produzione si è registrata principalmente nel trattamento C75I0 e questo indica che la limitazione di carboidrati è risultata particolarmente significativa quando i trattamenti di cimatura e di deficit irriguo sono stati applicati contemporaneamente alla massima intensità. A conferma di questa ipotesi è stata riscontrata infatti una correlazione fra la produzione e l'indice di aridità dell'anno precedente o il potenziale minimo stagionale dell'anno precedente (Figura 12) e questo risultato è in accordo con Guilpart et al. (2014). Nel nostro studio infatti, indipendentemente dal trattamento, le piante sono state interessate da un abbassamento della produzione nel 2018 proprio come conseguenza delle condizioni di siccità che hanno caratterizzato il 2017. Come già precedentemente indicato, le cimature di maggiore intensità hanno inoltre significativamente ridotto il contenuto in solidi solubili nella quasi totalità dei casi. Questo effetto è in accordo con quanto riportato precedentemente in letteratura (Abad et al., 2019; Buesa et al., 2019; Caccavello et al., 2017; Filippetti et al., 2015; Martínez De Toda et al., 2014; Valentini et al., 2018). Infatti, la cimatura tardiva applicata ad una intensità così elevata

(rimozione di circa il 60% di area fogliare) ha indotto uno sbilanciamento permanente del rapporto *source/sink*, che si è tradotto in un deficit di carboidrati che la pianta non è probabilmente riuscita a sopperire né tramite una compensazione fotosintetica né tramite la rimobilitazione delle riserve. Neanche la riduzione della produzione che si è registrato nelle piante C75 a partire dal secondo anno della sperimentazione non sembra aver consentito di ribilanciare il rapporto *source-sink* e di supportare l'accumulo dei solidi solubili come invece evidenziato da Filippetti et al. (2015). Tale effetto non sembra invece riconducibile ad una riduzione della fotosintesi causato dalla ridotta domanda per i carboidrati (*carbon demand*) tipica delle piante con scarsa carica di frutti (Naor et al., 1997) (Tabella 8), ma, come già discusso, la riduzione di solidi solubili nei C75 sembra riconducibile esclusivamente alla riduzione degli organi *source* (*carbon supply*).

L'effetto dell'irrigazione nel suo complesso è stato invece quello di incrementare il contenuto in solidi solubili nelle bacche alla raccolta (Tabella 8). Questo effetto è probabilmente dovuto al miglioramento indotto dall'irrigazione nello stato idrico della pianta o nella disponibilità di acqua in generale, favorendo quindi la traslocazione degli zuccheri per via floematica all'acino (Coombe and McCarthy, 2000; Keller et al., 2015). Oppure è possibile ipotizzare che nei trattamenti meno irrigati le foglie abbiano ridotto l'esportazione degli zuccheri verso altri organi vegetali in modo da poter mantenere a livello fogliare il turgore cellulare e la macchina fotosintetica attiva (Medici et al., 2014). Questa ultima ipotesi sembra anche in accordo con la mancanza di differenze fra i diversi trattamenti nel tasso fotosintetico, se non nel 2017, l'anno più arido, dove le piante irrigate hanno fatto registrare un aumento del tasso fotosintetico (Tabella 8). A questo proposito è interessante notare come nelle piante C75 l'irrigazione sia stata efficace nel mitigare l'effetto negativo che lo stato idrico verificatosi nel 2017 ha avuto sulla produzione del 2018 (Tabella 4, 9 e Figura 3). A conferma di questo effetto si può osservare come nel 2019 ci sia stato un incremento della produzione notevole rispetto all'anno precedente. Questo effetto è probabilmente il risultato dell'azione combinata di più fattori: l'elevata piovosità e temperatura dell'anno precedente (2018) (Tabella 1, Figura 1), condizioni che sono state riportate stimolare la prima parte dell'induzione e differenziazione a fiore (Junquera et al.,

2012; Srinivasan and Mullins, 1980) e le basse temperature nella primavera del 2019, che invece possono favorire le fasi finali della differenziazione a fiore che portano all'antesi (Figura 1) (Buttrose and Hale, 1973; Keller et al., 2010).

È interessante notare come in questo lavoro di tesi le piante non irrigate, contrariamente a quanto già riportato in letteratura (Coombe and McCarthy, 2000; Mccarthy, 1997) abbiano incrementato le dimensioni dell'acino, sia in termini di peso che di diametro (Tabella 10 e Figure 6 e 7). Nonostante questo effetto possa sembrare a prima vista inatteso, è possibile che esso sia in qualche modo legato alla riduzione della fertilità misurata nelle piante non irrigate (I0) (dal 2018 in poi), che può aver stimolato la crescita dell'acino così come riportato da altri autori (Bravdo et al., 1984; Naor et al., 2002). Questo potrebbe spiegare, quindi, perché le piante non irrigate, nonostante avessero una fertilità minore rispetto alle piante irrigate, non hanno presentato alcuna variazione significativa nella produzione totale per pianta (Tabella 9). Un fenomeno simile è stato riscontrato nelle piante I50 dove però l'effetto di compensazione è stato osservato a carico del numero di acini per grappolo. A conferma di ciò, come già evidenziato in altri studi (Keller et al., 2008; Lescourret et al., 2016; Sadras, 2007), la dimensione e il peso dell'acino sono risultati negativamente correlati col numero di acini per grappolo (Figura 12). Questo effetto è definito *trade-off* fra la dimensione dell'organo vegetale ed il numero degli organi stessi. Pertanto, nei casi in cui non si verificano condizioni di eccessivo stress idrico, il numero degli acini tende ad essere negativamente correlato con la dimensione di quest'ultimo (Keller et al., 2008). I trattamenti pienamente irrigati (I100) invece hanno presentato un aumento di fertilità (Tabella 9) e probabilmente per questo motivo non si è osservato un incremento del diametro dell'acino a seguito dell'irrigazione. Inoltre, l'effetto di riduzione dei solidi solubili indotto dai trattamenti I0 potrebbe essere stato causato da un effetto diretto, quindi dovuto al trasporto degli zuccheri nell'acino, ma anche da effetti indiretti come suggerito dalla correlazione negativa tra la dimensione dell'acino ed il contenuto in solidi solubili (Figura 12). Questa correlazione fra la dimensione dell'acino e il contenuto in solidi solubili è già stata descritta da altri autori (Gil et al., 2015; Roby et al., 2004) e può essere determinata sia da un effetto di diluizione a carico degli acini di maggiori dimensioni, o al contrario, da un effetto

concentrazione dovuto alla maggiore superficie relativa esposta negli acini di dimensioni inferiori, che quindi potrebbe aver favorito una disidratazione dell'acino più spinta (Chen et al., 2018; Gil et al., 2015; Poni et al., 2018). Le differenze in pH e acidità titolabile non mostrano delle variazioni concordi e anche in letteratura sono presenti spesso risultati contrastanti (Caccavello et al., 2017; De Toda et al., 2013). In particolare, in questo lavoro di tesi, le differenze più significative sono state riscontrate fra i diversi anni. In particolare nel 2018, che è stato l'anno meno arido, sono stati registrati i valori di acidità più elevati. Tale effetto, come ampiamente riportato in letteratura, è riconducibile ad una minore radiazione e/o temperatura che riducono il tasso di respirazione cellulare all'interno dell'acino (Kliewer and Schultz, 1964). È interessante però osservare che nel 2020, anno caratterizzato da elevate temperature ambientali durante la maturazione dell'uva, si sono registrati valori di elevata acidità titolabile ed un basso pH (Tabella 10 e Figure 8 e 9) e questo potrebbe essere il risultato di uno sbilanciamento del rapporto acido malico/tartarico a favore dell'acido tartarico come conseguenza della respirazione dell'acido malico (Kliewer, 1964; Kliewer and Schultz, 1964).

I risultati ottenuti in questo studio relativamente ai polifenoli presenti nelle bucce sembrano concordi con quanto osservato per i solidi solubili alla raccolta (Tabella 11). Il contenuto in polifenoli totali è infatti stato aumentato dal trattamento C30 e ridotto nel C75 rispetto ai controlli non cimati. Molti autori, a differenza di quanto osservato in questo studio, hanno riportato come la cimatura tardiva non abbia influito sul contenuto polifenolico delle uve alla raccolta nel vitigno Sangiovese (Filippetti et al., 2015; Valentini et al., 2018), per contro in questo studio ed in quello di Caccavello et al. (2017) sono state riscontrate in Aglianico differenze nel contenuto polifenolico delle uve di piante sottoposte a cimature tardive. Pertanto, queste differenze potrebbero essere dovute alla diversa sensibilità specifica dei due vitigni alla cimatura. Come riportato da diversi autori, la sintesi dei polifenoli è comunque legata al metabolismo dei carboidrati (Larronde et al., 1998; Salminen and Karonen, 2011; Vitrac et al., 2000). Per questo motivo non si può escludere l'ipotesi che anche la maggiore precocità di maturazione del Sangiovese rispetto all'Aglianico possa aver ridotto gli effetti negativi della carenza di carboidrati sulla sintesi degli antociani della

buccia. In modo simile, Herrera et al. (2015) hanno riportato che in un'altra varietà precoce come il Merlot l'applicazione della cimatura tardiva ha determinato una riduzione del CSS alla raccolta senza influenzare gli antociani. È possibile ipotizzare quindi che l'Aglianico, in quanto vitigno tardivo, possa compensare o mitigare l'effetto della rimozione di area fogliare sui solidi solubili rimobilizzando le riserve del legno, ma allo stesso modo investa meno nella sintesi dei composti polifenolici delle bucce rendendo quindi evidenti le differenze non riscontrabili invece nei vitigni più precoci. Questo effetto suggerisce che la decisione circa l'intensità e la specifica fase fenologica di applicazione della cimatura tardiva dipende dalla varietà (Filippetti et al., 2015; Parker et al., 2015; Valentini et al., 2018) e dalla forma di allevamento (Caccavello et al., 2017; 2019). Santesteban et al. (2017) hanno evidenziato per esempio che l'applicazione precoce della cimatura (in post-allegagione) ha determinato una riduzione significativa degli antociani nel vitigno Tempranillo.

Riguardo la relazione fra stato idrico della pianta e contenuto polifenolico delle uve, la letteratura non è sempre concorde in quanto diversi studi riportano che quest'ultimo può essere aumentato dall'applicazione dell'irrigazione (Intrigliolo and Castel, 2010), mentre altri autori riportano effetti opposti (Bucchetti et al., 2011; Ojeda et al., 2002; Pérez-Álvarez et al., 2021). Questo sembra suggerire che l'impatto dello stato idrico della pianta sul contenuto polifenolico delle bucce dipenda dalla varietà, il sito, la fase fenologica, la durata e l'intensità dello stress idrico applicato. L'opinione più diffusa in letteratura è comunque quella di ritenere che livelli di stress idrico moderato influiscano positivamente sul contenuto in polifenoli (Leeuwen et al., 2009) poiché questi possono attivare meccanismi di protezione dallo stress senza però che vi siano delle reali carenze di carboidrati o altri assimilati che potrebbero portare ad una limitazione della sintesi dei polifenoli (Keller, 2005; Rienth et al., 2021). Quanto osservato in questo esperimento è che in generale il contenuto delle bucce in polifenoli totali, antociani e tannini è stato incrementato dall'irrigazione (Tabella 11 e Figura 10). Questi parametri sono stati però influenzati dall'interazione C×I×A. Infatti, è stato osservato come uno stress idrico moderato in combinazione con cimature di intensità moderata possa incrementare il contenuto in polifenoli totali, in particolare nelle annate più siccitose (Tabella 11 e Figura 10). Questo è in accordo con quanto ipotizzato in

precedenza per quanto riguarda la rimobilizzazione dei carboidrati indotta dallo stress idrico e dalle cimature. È stata inoltre osservata una più spinta condensazione dei tannini nelle uve del C30I50 (nel 2017) e questo può essere interpretato come una maturazione più avanzata delle uve in questo trattamento, in quanto la riduzione della concentrazione dei tannini a basso grado di polimerizzazione a favore di tannini a più elevato peso molecolare è solitamente associata ad un più elevato grado di maturazione (Allegro et al., 2016; Braidot et al., 2008). Per quanto riguarda i vinaccioli, il contenuto polifenolico totale è stato influenzato dalla potatura, l'irrigazione e l'interazione di tutti i fattori (C×I; C×A; I×A; C×I×A). L'analisi delle correlazioni di Pearson (Figura 12) indica che questo fattore risulta negativamente correlato con il numero di acini per grappolo. Questo suggerirebbe che le differenze in polifenoli totali osservate nei tre anni fra i diversi trattamenti possano essere il risultato di una ripartizione dei carboidrati verso i semi variabile a seconda della carica di frutti per pianta. Studi precedenti hanno però evidenziato che questo tipo di compensazione sembra non avere luogo nella vite (Fanzone et al., 2011; Filippetti et al., 2015).

Nei vinaccioli delle piante C75 si sono misurati i valori più elevati della concentrazione dei tannini a basso grado di polimerizzazione rispetto agli altri trattamenti, mentre non si registrate differenze tra questi trattamenti nei tannini ad alto grado di polimerizzazione (Tabella 12 e Figura 11). Considerando che i tannini a basso grado di polimerizzazione sono maggiormente presenti nei semi meno maturi (Montealegre et al., 2006), questo risultato suggerisce che le cimature di intensità maggiore abbiamo indotto un ritardo di maturazione fenolica delle uve. Questa ipotesi è concorde con i risultati Santesteban et al. (2017). Inoltre, in questo lavoro di tesi è stato osservato un aumento di polifenoli dei semi nei trattamenti C0, ed in particolare nel C0I100 nel 2017 e questo effetto potrebbe essere legato all'auto-ombreggiamento che spesso si può verificare nelle piante non cimate. Ristic et al. (2007) hanno riportato che l'ombreggiamento può indurre un incremento dei polifenoli presenti nei semi senza però influenzare il contenuto di antociani. Questa ipotesi è in parte indirettamente confermata dall'effetto dell'anno, poiché nel 2018, che è stato l'anno con una più elevata nuvolosità, si sono osservati i più bassi contenuti sia di polifenoli nelle bucce e i contenuti più elevati invece di questi composti nei vinaccioli. I dati a disposizione in questo

lavoro di tesi non consentono però di separare l'effetto dell'ombreggiamento dall'eventuale effetto delle scarse escursioni termiche probabilmente legate alla nuvolosità (Cohen and Kennedy, 2010; Teixeira et al., 2013).

L'analisi della varianza a tre vie, utilizzata per studiare gli effetti dei trattamenti applicati per quattro anni consecutivi sui diversi parametri misurati, ha messo in evidenza la presenza di complesse interazioni tra i fattori studiati. Ciò ha evidenziato il possibile coinvolgimento di complessi effetti *carry-over* derivanti dall'applicazione dei trattamenti con ripercussioni che si manifestano da un anno al successivo. Allo scopo di cercare di meglio comprendere questa intricata sequenza di effetti, è stata utilizzata l'analisi di correlazione tra parametri fisiologici, produttivi e qualitativi misurati in anni consecutivi. La produzione per pianta è risultata correlata positivamente con il *dryness index* misurato nell'anno precedente (quindi più siccitoso è stato uno specifico anno, minore è risultata la produzione nell'anno successivo), mentre non è risultato correlato con il *dryness index* misurato nello stesso anno (Figura 12). In modo simile la produzione è risultata positivamente correlata con il potenziale minimo stagionale dell'anno precedente. Queste correlazioni sono probabilmente riconducibili al fatto che nelle piante legnose decidue, come ampiamente riportato in letteratura, il ciclo di fruttificazione si svolge a cavallo di due anni solari consecutivi (Smith and Samach, 2013; Wilkie et al., 2008). Queste correlazioni sono in accordo con Guilpart et al.,(2014) i quali hanno riportato che la produzione è influenzata negativamente dallo stress idrico registratosi nell'anno precedente. Questo effetto si è verificato sia considerando la produzione per pianta nel suo complesso che considerando le singole componenti della produzione come il numero di fiori, il numero di acini per grappolo e la percentuale di allegagione. È inoltre emerso che il *dryness index* e il potenziale minimo dell'anno precedente sono maggiormente correlati con la fertilità potenziale che con il numero di fiori per grappolo, che invece risulta positivamente correlato solo con il potenziale dell'anno precedente. Questo risultato, come già discusso in precedenza, potrebbe essere dovuto agli effetti differenziali dei fattori analizzati sulle prime fasi dell'induzione/differenziazione delle infiorescenze, che si verificano nell'anno precedente alla raccolta, e quelli sulla seconda parte della differenziazione a fiore, che si

verificano invece a partire dal risveglio vegetativo (Keller, 2010). Questi meccanismi potrebbero essere alla base dell'alternanza di produzione osservata tra gli anni in cui si è svolto l'esperimento di questa tesi. La presenza di questa alternanza sembra confermata dalla significativa correlazione negativa fra la produzione dell'anno precedente e quella dell'anno successivo (Figura 12). Tale correlazione, come già discusso in precedenza, sembrerebbe indicare una relazione di tipo indiretto tra questi parametri (che sono invece influenzati direttamente dallo stato idrico della pianta nell'anno precedente), anche se è ampiamente riportato in diversi fruttiferi che la carica dei frutti possa influire sull'induzione a fiore e quindi sulla fertilità della pianta nell'anno seguente (Kittikorn et al., 2010; Samuolienė et al., 2016). Studi precedenti hanno evidenziato inoltre che la carica di frutti può determinare una riduzione del potenziale del germoglio e questo effetto sembrerebbe dovuto alla domanda di acqua che esercitano i frutti (Marsal et al., 2010). Di conseguenza, questi autori hanno proposto il diradamento dei frutti come tecnica di gestione per la mitigazione dello stress idrico.

La dimensione dell'acino è invece risultata negativamente correlata con il contenuto in solidi solubili come riportato da altri autori (Gil et al., 2015; Roby et al., 2004). Inoltre, in accordo con lavori precedenti (Intrigliolo and Castel, 2010; Pérez-Álvarez et al., 2021), in questo lavoro di tesi la dimensione dell'acino è stata ridotta e il CSS incrementato all'aumentare del deficit idrico. L'acidità titolabile è risultata correlata positivamente con il potenziale idrico del germoglio misurato nell'anno in corso e questo è in accordo con quanto riportato da altri autori (Kliewer, 1964; Kliewer and Schultz, 1964).

Quanto visto per i solidi solubili sembra essere simile a quanto osservato per i polifenoli delle bucce alla raccolta. Il potenziale idrico dell'annata in corso è risultato negativamente correlato con il contenuto in polifenoli totali delle bucce. I polifenoli provenienti dalla buccia sono inoltre negativamente correlati con il diametro ed il peso dell'acino come è stato anche evidenziato in altri lavori (Gil et al., 2015; Ojeda et al., 2002; Walker et al., 2005). Quindi, secondo quanto discusso in precedenza per i solidi solubili, anche il contenuto in polifenoli

delle bucce sembra essere soggetto a fluttuazioni che dipendono in modo indiretto dagli eventi e dalle condizioni climatiche verificatisi anche l'anno precedente.

La frazione polifenolica dei vinaccioli (Figura 12) per contro sembra rispondere diversamente rispetto al contenuto zuccherino e ai polifenoli presenti nelle bucce. Infatti tutte le frazioni polifenoliche dei vinaccioli sono risultate positivamente correlate con la dimensione degli acini (sia in termini di peso che di diametro), probabilmente perchè la dimensione dell'acino è sempre ben correlata con il numero di semi (Roby et al., 2004). Inoltre, la correlazione positiva tra il contenuto polifenolico dei vinaccioli (sia totale che nelle singole frazioni) ed il potenziale minimo stagionale dell'anno in corso suggerisce che negli anni in cui lo stress idrico è stato più intenso si sia verificato un anticipo della maturazione fenolica. Questo effetto è in accordo con quanto riportato da Kennedy et al. (2000a) che mostra come l'ossidazione dei polifenoli dei vinaccioli sia rallentata nelle piante irrigate, questo effetto potrebbe essere dovuto principalmente al rallentamento della frequenza di eventi ossidativi legati a specie reattive dell'ossigeno generati da eventi di stress idrico (Keller, 2020c). Inoltre, sempre in accordo con quanto riportato da Kennedy et al. (2000a), in questo lavoro di tesi è stato osservato che i tannini ad alto grado di polimerizzazione sono meno suscettibili alle variazioni di potenziale rispetto a quelli a basso grado di polimerizzazione.

Conclusioni

Alla luce delle notevoli interazioni fra i trattamenti e correlazioni fra le diverse variabili è stato possibile delineare la risposta generale dell'Aglianico sottoposto a cimature tardive e diversi livelli di irrigazione per anni consecutivi. L'Aglianico allevato a cordone speronato quando sottoposto a cimature tardive di media intensità tende ad incrementare i solidi solubili e il contenuto polifenolico delle uve, mentre cimature più spinte per contro riescono con successo a ridurre il contenuto in solidi solubili, ma con effetti di riduzione della produzione nell'anno successivo, in particolare quando lo stress idrico risulta molto spinto. In generale invece le irrigazioni tendono a migliorare lo stato idrico e il trasporto degli zuccheri nell'acino, e tendono a migliorare il contenuto polifenolico e la colorazione della

bacca quando effettuate in combinazione con delle cimature di media intensità. Inoltre, le irrigazioni effettuate in fase di maturazione dell'acino tendono a mitigare gli effetti negativi che possono portare ad una riduzione della fertilità della pianta durante l'anno successivo. I risultati ottenuti in questa sperimentazione consentono di fornire quindi delle indicazioni circa l'applicazione di interventi di gestione della chioma per modulare l'accumulo dei solidi solubili in diverse annate e a seconda dei diversi obiettivi enologici. Questo è particolarmente interessante per quei comprensori come il Mezzogiorno d'Italia in cui si stanno manifestando intensamente gli effetti del cambiamento climatico in quanto può anche fornire informazioni circa gli effetti di questi interventi negli anni successivi all'applicazione in particolare sulle componenti della produzione. Inoltre, questi risultati contribuiscono alla comprensione della fisiologia del vitigno Aglianico andando a mettere in luce le complesse reazioni di adattamento messe in atto dalla pianta a seguito della rimozione di area fogliare e all'adozione di diversi regimi irrigui. I dati raccolti durante questa tesi possono essere utilizzati per la modellizzazione delle risposte del vitigno Aglianico alle cimature e alle irrigazioni in post-invaiatura. Tali modelli potrebbero essere integrati nello sviluppo e/o nell'implementazione di sistemi di supporto alle decisioni che utilizzano come input previsioni climatiche di medio periodo, rappresentando uno strumento che i viticultori possono impiegare per adattare la tecnica viticola alle specifiche condizioni climatiche dell'annata e consentendo di mitigare gli effetti negativi del cambiamento climatico sulla coltivazione dell'Aglianico. È emerso però che sono necessari ulteriori studi, in particolare su altri vitigni tardivi, per poter verificare se sia possibile delineare in base alla classe di precocità diversi tipi di comportamento dei vitigni sottoposti a cimatura e diversi livelli di irrigazione. Sarebbe inoltre necessario investigare l'effetto delle cimature su piante gestite con diverse forme di allevamento.

Figure e tabelle

Tabella 1. Temperatura media annuale, totale pioggia annuale, temperatura media, massima, minima dell'aria e piogge durante il periodo di crescita vegetativa e indici bioclimatici. Tutti i dati sono riferiti al vigneto sito in Mirabella Eclano negli anni 2017, 2018, 2019 e 2020.

Anno	T media annuale (°C)	Pioggia annuale (mm)	T media apr-ott (°C)	T max apr-ott (°C)	T min apr-ott (°C)	Pioggia apr-ott (mm)	Indice di Huglin[1] (°C)	Indice di Winkler[2] (°C)	Indice di aridità[1] (mm)
2017	14,5	647	19,2	26,4	12,9	218	2525	1961	-107
2018	15,2	989	19,6	26,4	14,1	505	2606	2062	51
2019	15,3	800	19,7	26,0	14,3	355	2498	2076	-28
2020	15,4	746	19,5	25,7	13,9	406	2537	2037	-74

1 Dal 1° aprile al 30 settembre; 2 Dal 1° aprile al 31 ottobre

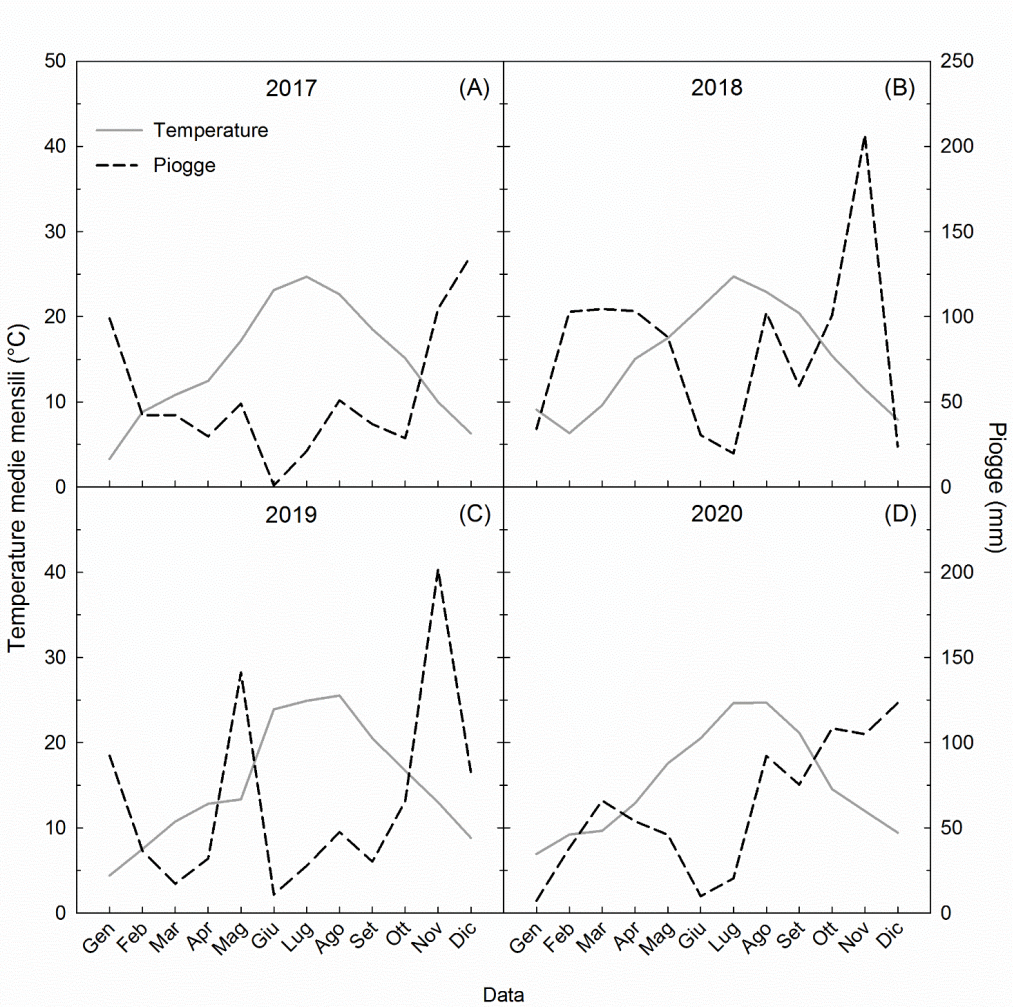

Figura 1. Diagramma climatico di Walter che riporta temperature media mensile dell'aria e pioggia mensile totale registrati nel 2017 (A),2018 (B), 2019 (C) e 2020 (D).

Tabella 2. Area fogliare per pianta prima delle cimature, dopo le cimature e percentuale di area fogliare rimossa. Le medie seguite da lettere diverse all'interno della colonna indicano differenze significative in accordo con il test di Duncan con $p \leq 0,05$.

Fattore	Area fogliare pre-cimatura (m^2)	Area fogliare post-cimatura (m^2)	area fogliare rimossa (%)
Cimatura (C)			
0	4.56	4.50a	0%
30	4.17	2.66b	36%
75	4.41	1.83c	58%
Significatività[1]	ns	***	
Irrigazione (I)			
0	4.23	2.94	-
50	4.58	3.07	-
100	4.34	2.98	-
Significatività	ns	ns	
Anno (A)			
2017	4.13	2.76	-
2018	4.37	2.84	-
2019	4.49	3.39	-
2020	4.56	3.00	-
Significatività	ns	ns	
C×I	ns	ns	-
C×A	ns	ns	-
I×A	ns	ns	-
C×I×A	ns	ns	-

1 * = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.01$; *** = $p < 0.001$; ns = non significativo

Tabella 3. Periodi interessati dall'applicazione dei trattamenti irrigui, fabbisogno irriguo durante il periodo di applicazione, volumi irrigui applicati e percentuale del fabbisogno idrico restituito.

Anno	Settimane interessate dal trattamento irriguo	Fabbisogno irriguo (mm)	Acqua restituita (mm)		Fabbisogno restituito (%)	
			I100	I50	I100	I50
2017	33-38	57,50	17,13	8,42	30%	15%
2018	35-41	57,30	51,62	25,81	90%	45%
2019	36-44	53,89	63,74	30,65	118%	57%
2020	37-43	67,56	48,88	21,35	72%	32%

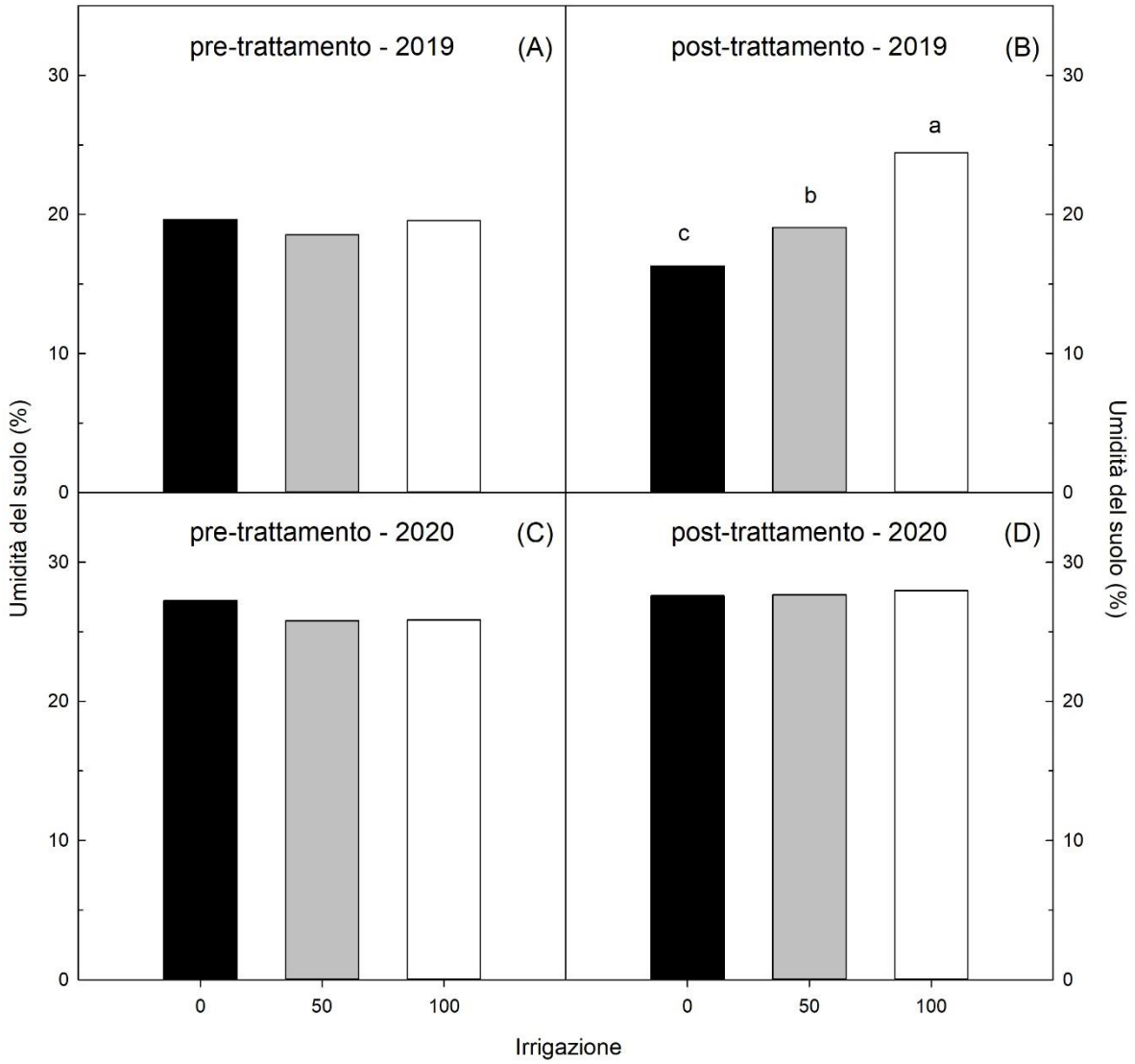

Figura 2. Percentuale di umidità del suolo per i tre livelli di irrigazione (I0, I50, I100), prima del trattamento (A, C) e dopo il trattamento (B, D). Nel 2019 (A, B) e nel 2020 (C, D). Lettere diverse all'interno del grafico indicano differenze significative in accordo con il test di Duncan con $p \leq 0,05$.

Tabella 4. Potenziale idrico del germoglio a mezzogiorno prima e dopo l'applicazione dei trattamenti nell'anno 2017. Le medie seguite da lettere diverse all'interno della colonna indicano differenze significative in accordo con il test di Duncan con p ≤ 0,05.

	Potenziale idrico del germoglio a mezzogiorno (MPa)			
2017	**Pre trattamento**	**Post-trattamento**		
	09-08-17	01-09-17	06-09-17	22-09-17
Cimatura (C)				
0	-1.03	-0.88	-0.88	-0.64
30	-1.04	-0.94	-0.91	-0.71
75	-1.15	-0.99	-0.87	-0.61
Significatività[1]	ns	ns	ns	ns
Irrigazione (I)				
0	-1.13	-1.04b	-1.00b	-0.64
50	-1.03	-0.91ab	-0.86ab	-0.69
100	-1.04	-0.84a	-0.80a	-0.63
Significatività	ns	*	*	ns
C×I	ns	ns	ns	ns

1 * = p ≤ 0.05; ** = p ≤ 0.01; *** = p < 0.001; ns = non significativo.

Tabella 5. Potenziale idrico del germoglio a mezzogiorno prima e dopo l'applicazione dei trattamenti nell'anno 2018. Le medie seguite da lettere diverse all'interno della colonna indicano differenze significative in accordo con il test di Duncan con p ≤ 0,05.

	Potenziale idrico del germoglio a mezzogiorno (MPa)			
2018	**Pre trattamento**	**Post-trattamento**		
	27-07-18	31-08-18	12-09-18	26-09-18
Cimatura (C)				
0	-0.37	-0.33ab	-0.49	-0.40
30	-0.44	-0.37b	-0.50	-0.44
75	-0.42	-0.30a	-0.55	-0.41
Significatività[1]	ns	*	ns	ns
Irrigazione (I)				
0	-0.41	-0.33	-0.54	-0.41
50	-0.44	-0.34	-0.46	-0.43
100	-0.38	-0.35	-0.53	-0.41
Significatività	ns	ns	ns	ns
C×I	ns	ns	ns	ns

1 * = p ≤ 0.05; ** = p ≤ 0.01; *** = p < 0.001; ns = non significativo

Tabella 6. Potenziale idrico del germoglio a mezzogiorno prima e dopo l'applicazione dei trattamenti nell'anno 2019. Le medie seguite da lettere diverse all'interno della colonna indicano differenze significative in accordo con il test di Duncan con p ≤ 0,05.

2019	Potenziale idrico del germoglio a mezzogiorno (MPa)			
	Pre trattamento	**Post-trattamento**		
	27-08-19	06-09-19	30-09-19	17-10-19
Cimatura (C)				
0	-0.66	-0.66	-0.61	-0.39
30	-0.66	-0.61	-0.64	-0.39
75	-0.70	-0.62	-0.61	-0.40
Significatività[1]	ns	ns	ns	ns
Irrigazione (I)				
0	-0.67	-0.58	-0.67b	-0.41
50	-0.66	-0.63	-0.61ab	-0.39
100	-0.70	-0.67	-0.58a	-0.39
Significatività	ns	ns	*	ns
C×I	ns	ns		ns

1 * = p ≤ 0.05; ** = p ≤ 0.01; *** = p < 0.001; ns = non significativo 2

Tabella 7. Potenziale idrico del germoglio a mezzogiorno prima e dopo l'applicazione dei trattamenti nell'anno 2020. Le medie seguite da lettere diverse all'interno della colonna indicano differenze significative in accordo con il test di Duncan con p ≤ 0,05.

2020	Potenziale idrico del germoglio a mezzogiorno (MPa)		
	Pre-trattamento		**Post-trattamento**
	11-08-20	**27-08-20**	**02-10-20**
Cimatura (C)			
0	-0.41	-0.46	-0.38
30	-0.38	-0.44	-0.37
75	-0.42	-0.44	-0.40
Significatività[1]	ns	ns	ns
Irrigazione (I)			
0	-0.40	-0.43	-0.38
50	-0.39	-0.42	-0.41
100	-0.42	-0.49	-0.37
Significatività	ns	ns	ns
C×I	ns	ns	ns

1 * = p ≤ 0.05; ** = p ≤ 0.01; *** = p < 0.001; ns = non significativo

Tabella 8. Fotosintesi dopo l'applicazione dei trattamenti nell'anno 2017. Le medie seguite da lettere diverse all'interno della colonna indicano differenze significative in accordo con il test di Duncan con p ≤ 0,05.

Trattamento	Velocità di fotosintesi (μmol/m²·s)		
	2017	**2018**	**2019**
Cimatura (C)			
0	7.09	9.25	9.89
30	6.35	8.30	10.02
75	7.12	8.47	10.54
Significatività[1]	ns	ns	ns
Irrigazione (I)			
0	5.90b	8.80	10.33
50	6.69ab	8.81	9.91
100	7.94a	8.40	10.31
Significatività	**	ns	ns
CxI	ns	ns	ns

1 * = p ≤ 0.05; ** = p ≤ 0.01; *** = p < 0.001; ns = non significativo

Tabella 9. Componenti della produzione per pianta nel 2017, 2018, 2019 e 2020 e numero di acini per grappolo nel .2018, 2019 e 2020 Le medie seguite da lettere diverse all'interno della colonna indicano differenze significative in accordo con il test di Duncan con p ≤ 0,05.

Fattore	Produzione per pianta (kg/pianta)	N° grappoli per pianta	Peso del grappolo (g/grappolo)	Fertilità potenziale (N° grappoli per germoglio)	N° acini per grappolo
Cimatura (C)					
0	1,42a	10,3a	159,6a	0,77a	97,2a
30	1,40a	10,9a	155,4a	0,79a	96,9a
75	1,14b	9,1b	146,8b	0,70b	85,9b
Significatività[1]	***	***	***	***	*
Irrigazione (I)					
0	1,33	9,9	156,1	0,74b	94,7ab
50	1,34	9,9	155,9	0,73b	97,4a
100	1,29	10,6	150,1	0,79a	88,6b
Significatività	ns	ns	ns	*	*
Anno (A)					
2017	1,45b	12,0a	156,6b	0,94a	-
2018	1,10c	10,2b	129,3d	0,67c	77,2ab
2019	1,70a	10,9b	199,6a	0,75b	142,7a
2020	1,08c	7,3c	136,3c	0,64c	57,0b
Significatività	***	***	***	***	***
C×I	ns	ns	ns	ns	***
C×A	*	ns	ns	ns	*
I×A	ns	*	ns	ns	***
C×I×A	*	*	ns	ns	**

1 * = p ≤ 0.05; ** = p ≤ 0.01; *** = p < 0.001; ns = non significativo

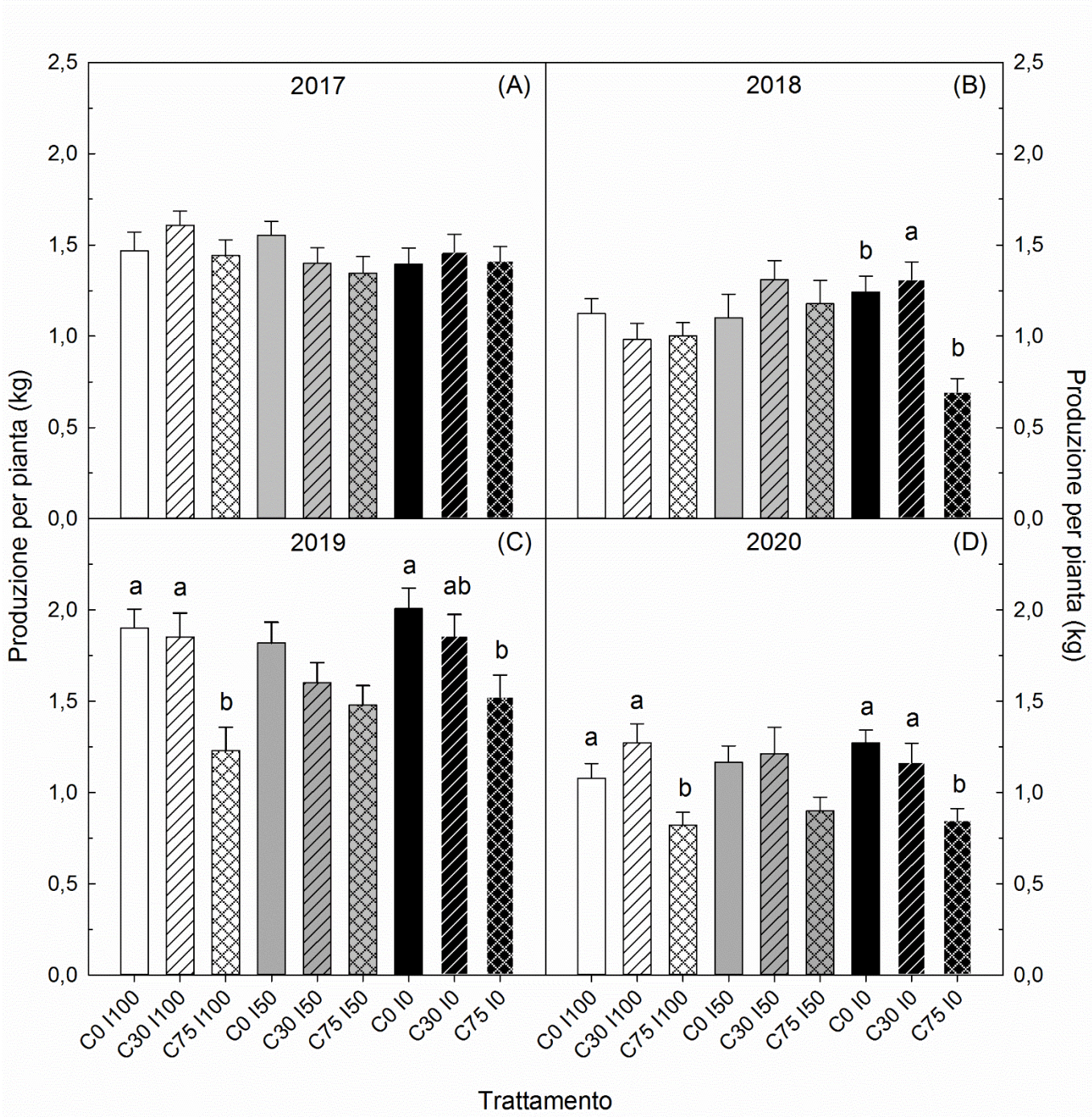

Figura 3. Produzione per pianta ottenuta nei diversi trattamenti nel 2017 (A), 2018 (B), 2019 (C) e 2020(D). all'interno di ogni pannello le barre verticali indicano l'errore standard della media. Le lettere diverse rappresentano differenze significative all'interno del medesimo trattamento irriguo in accordo con il test di Duncan ($p \leq 0.05$).

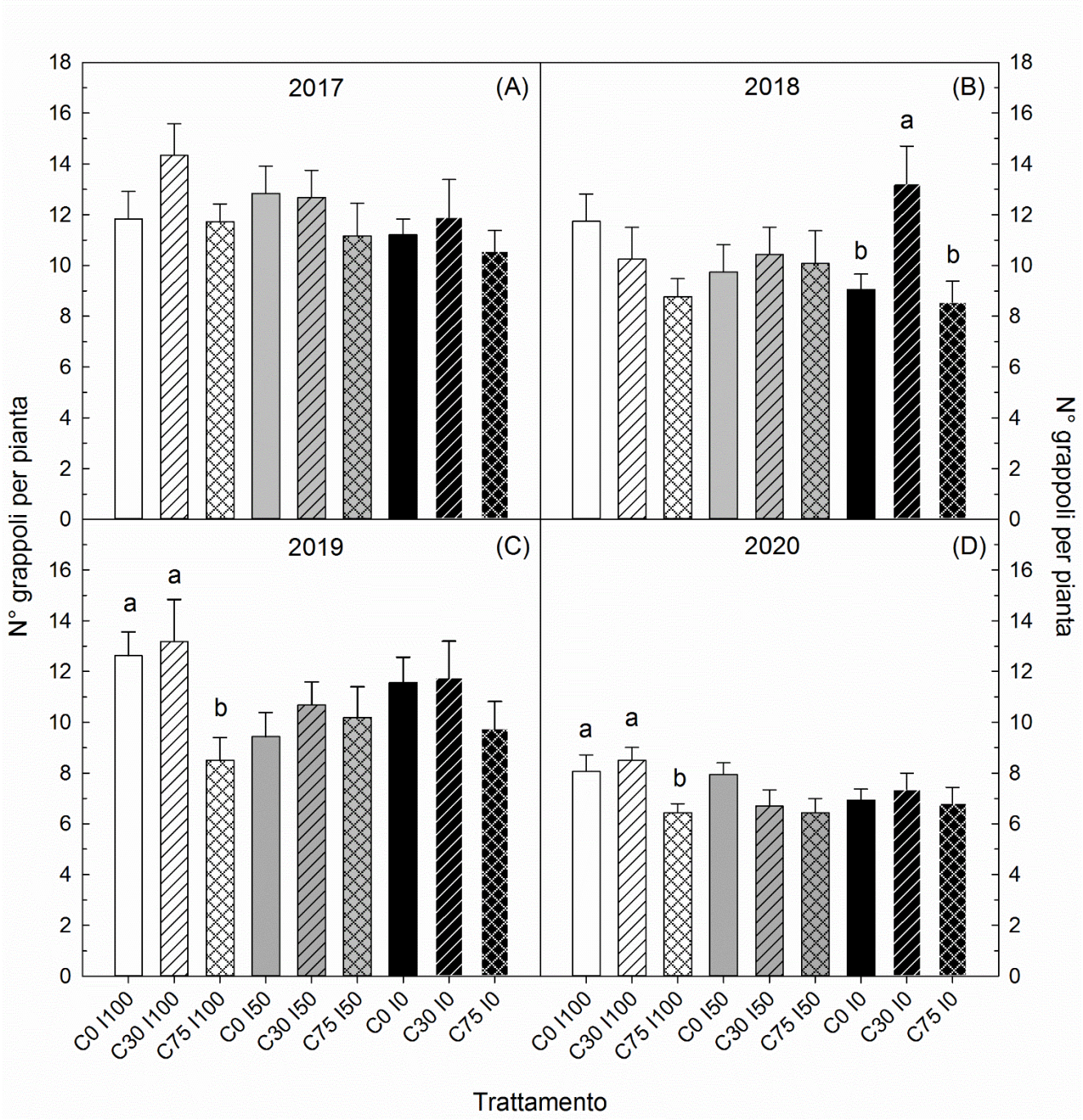

Figura 4. Numero di grappoli per pianta ottenuti nei diversi trattamenti nel 2017 (A), 2018 (B), 2019 (C) e 2020 (D). all'interno di ogni pannello le barre verticali indicano l'errore standard della media. Le lettere diverse rappresentano differenze significative all'interno del medesimo trattamento irriguo in accordo con il test di Duncan ($p \leq 0.05$).

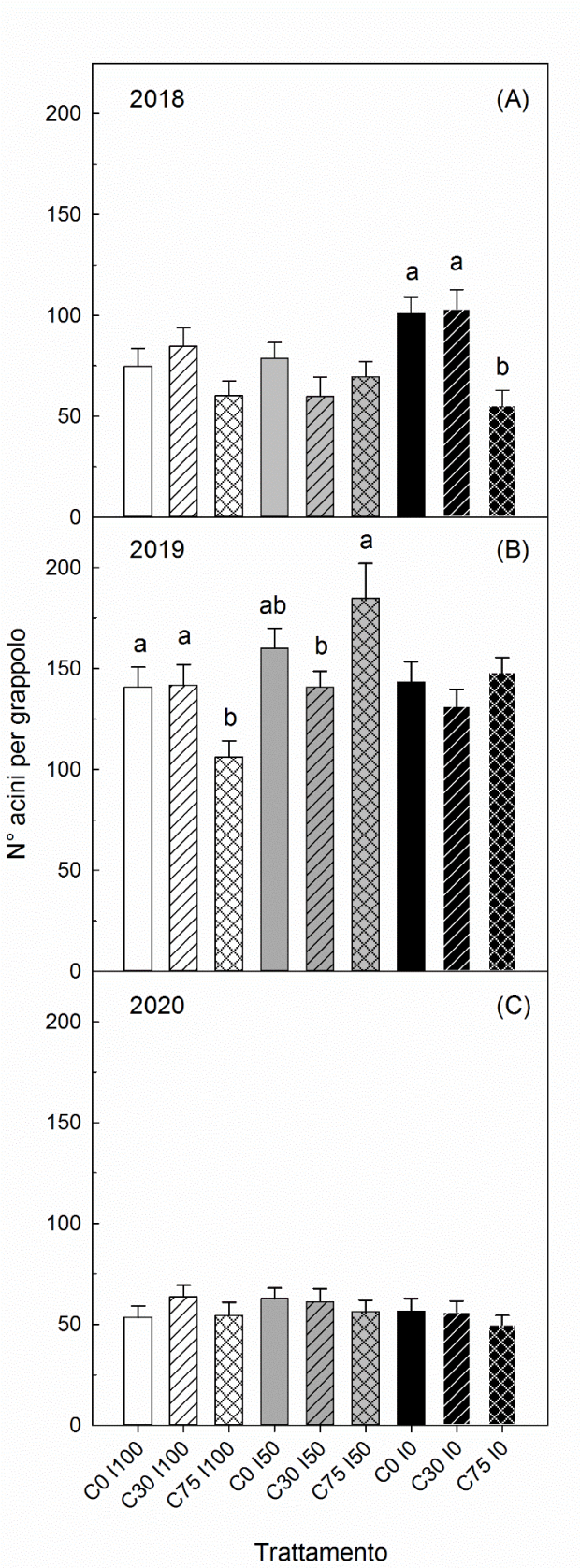

Figura 5. Numero di acini per grappolo contati nei diversi trattamenti nel 2018 (A), 2019 (B) e 2020 (C). all'interno di ogni pannello le barre verticali indicano l'errore standard della media. Le lettere diverse rappresentano differenze significative all'interno del medesimo trattamento irriguo in accordo con il test di Duncan ($p \leq 0.05$).

Tabella 10. Diametro dell'acino, peso fresco dell'acino, contenuto in solidi solubili (CSS), acidità titolabile (AT) e pH alla raacolta nel 2017,2018,2019 e 2020. Le medie seguite da lettere diverse all'interno della colonna indicano differenze significative in accordo con il test di Duncan con p ≤ 0,05.

Fattore	Diametro acino (mm)	Peso fresco acino (g/acino)	CSS (°Brix)	AT (mg/L di acido tartarico)	pH
Cimatura (C)					
0	15,5	2,43a	24,0b	9,74	3,1b
30	15,5	2,41ab	24,3a	9,70	3,2a
75	15,5	2,37b	23,5c	9,80	3,1b
Significatività[1]	ns	*	***	ns	*
Irrigazione (I)					
0	15,6a	2,45a	23,7b	9,68	3,2
50	15,4b	2,37b	24,0 a	9,80	3,2
100	15,4b	2,39b	24,1a	9,76	3,1
Significatività	***	**	**	ns	ns
Anno (A)					
2017	14,4d	2,20c	25,6a	8,27c	3,21b
2018	16,2a	2,83a	22,5d	10,56a	3,30a
2019	15,6c	2,21c	24,0b	9,49b	2,98d
2020	15,8b	2,37b	23,1c	10,68a	3,14c
Significatività	***	***	***	***	***
C×I	*	*	ns	ns	**
C×A	**	*	*	**	*
I×A	**	*	ns	ns	ns
C×I×A	***	**	ns	ns	**

1 * = p ≤ 0.05; ** = p ≤ 0.01; *** = p < 0.001; ns = non significativo

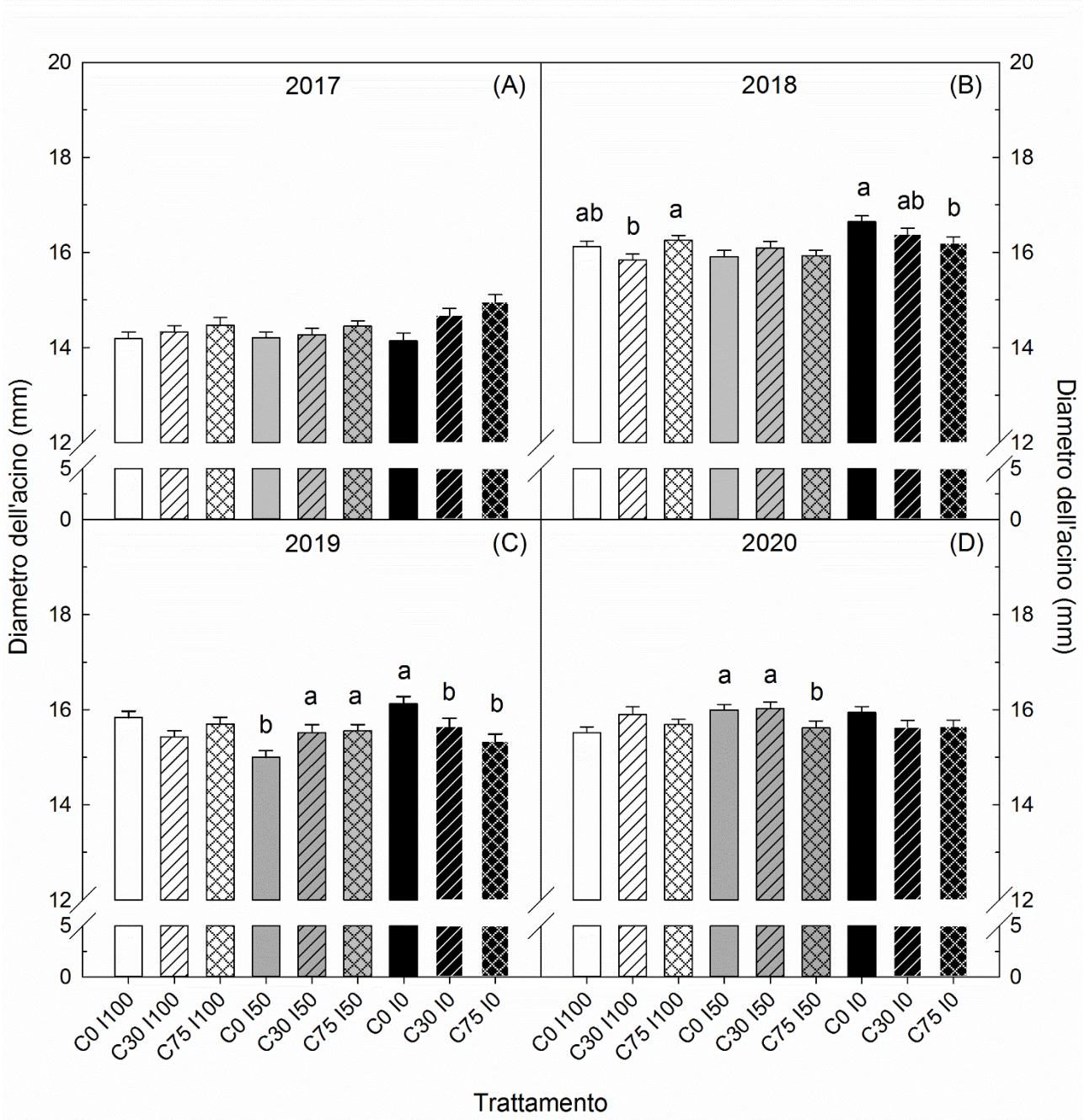

Figura 6. Diametro dell'acino alla raccolta per i diversi trattamenti nel 2017 (A), 2018 (B), 2019 (C) e 2020(D). all'interno di ogni pannello le barre verticali indicano l'errore standard della media. Le lettere diverse rappresentano differenze significative all'interno del medesimo trattamento irriguo in accordo con il test di Duncan ($p \leq 0.05$).

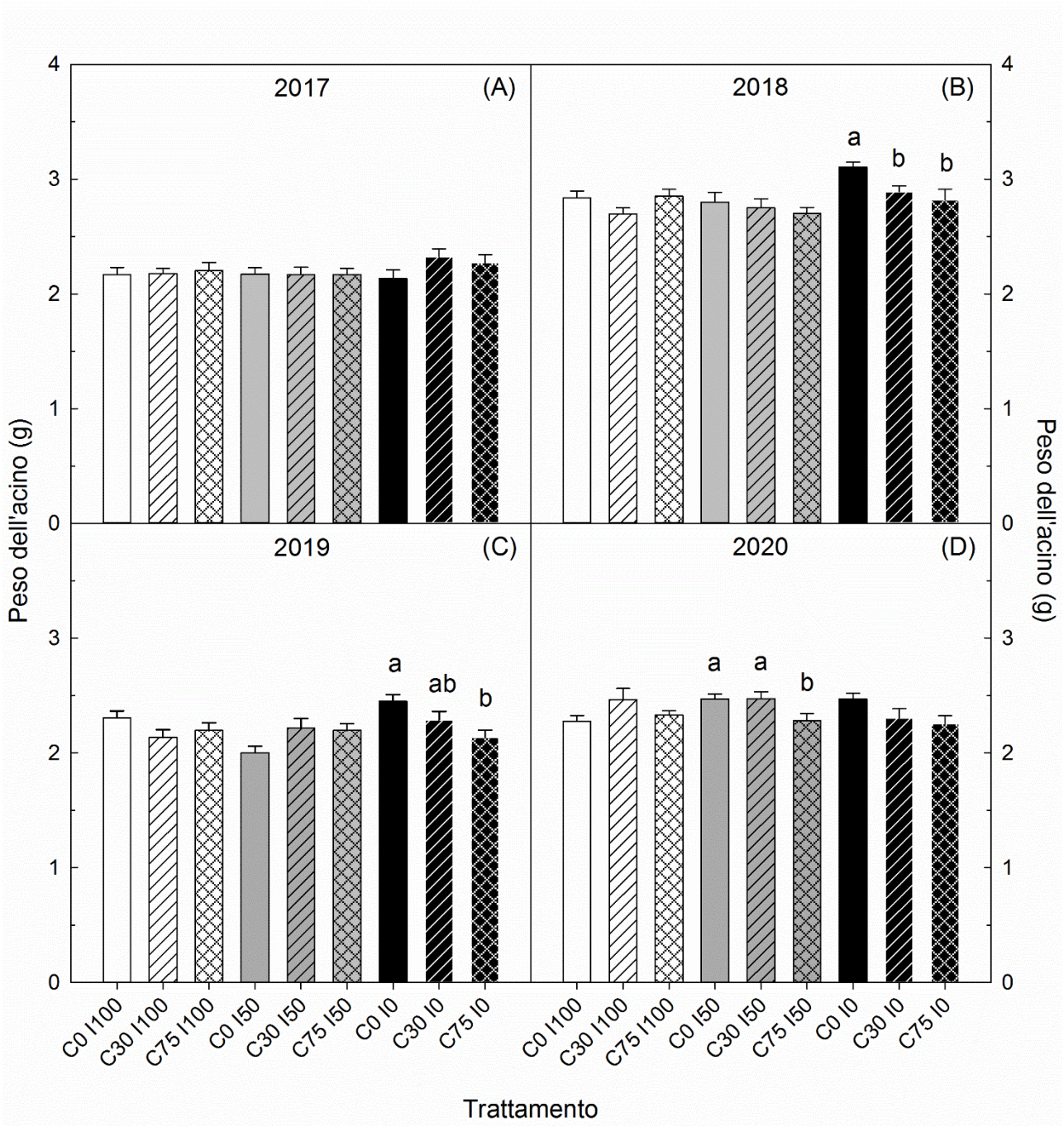

Figura 7. Peso dell'acino alla raccolta per i diversi trattamenti nel 2017 (A), 2018 (B), 2019 (C) e 2020(D). all'interno di ogni pannello le barre verticali indicano l'errore standard della media. Le lettere diverse rappresentano differenze significative all'interno del medesimo trattamento irriguo in accordo con il test di Duncan ($p \leq 0.05$).

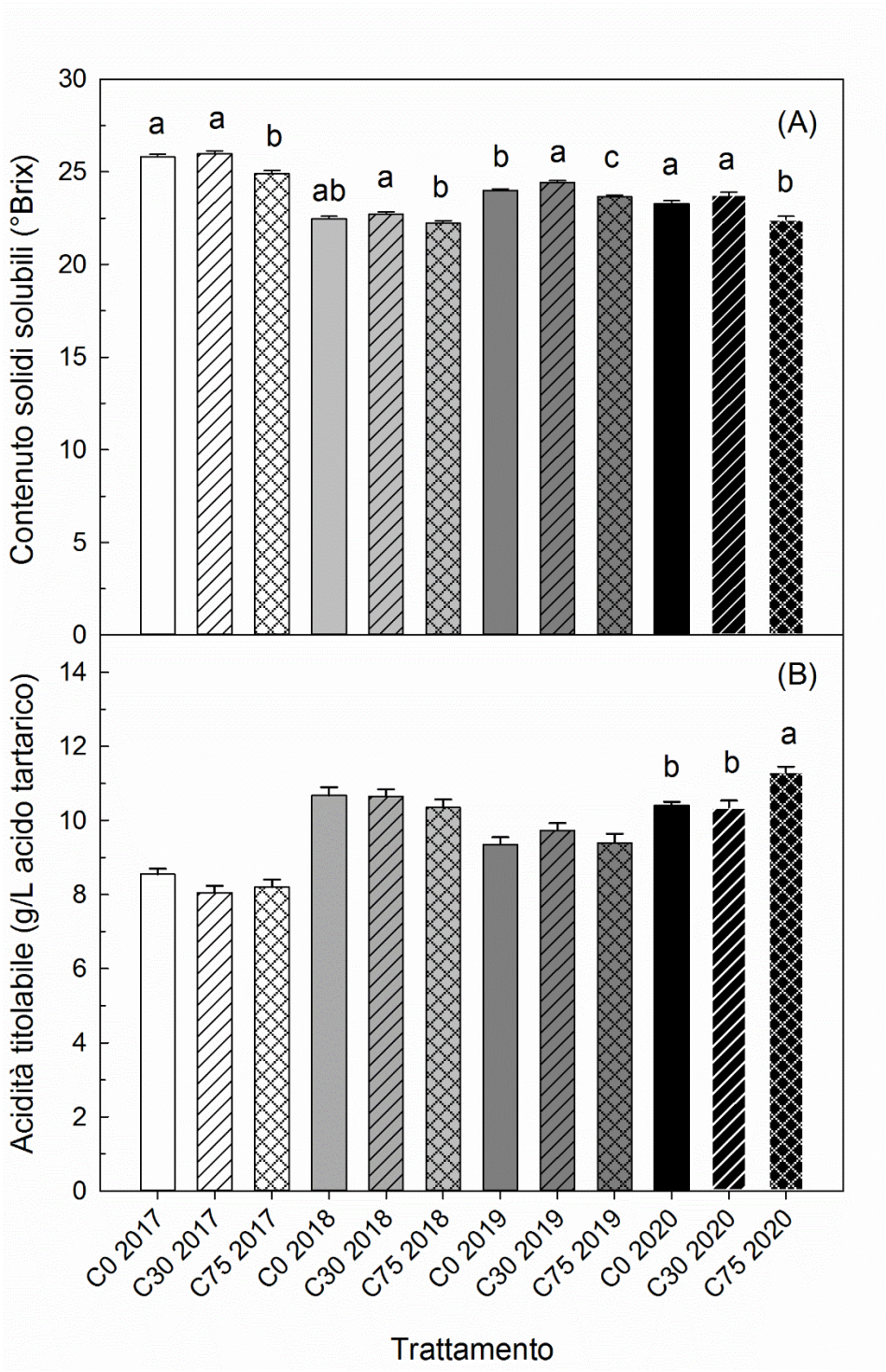

Figura 8. Contenuto in solidi solubili (CSS) (A) e acidità titolabile (AT) (B) alla raccolta per i diversi trattamenti di cimatura nel 2017, 2018, 2019 e 2020. all'interno di ogni pannello le barre verticali indicano l'errore standard della media. Le lettere diverse rappresentano differenze significative all'interno del medesimo trattamento irriguo in accordo con il test di Duncan ($p \leq 0.05$).

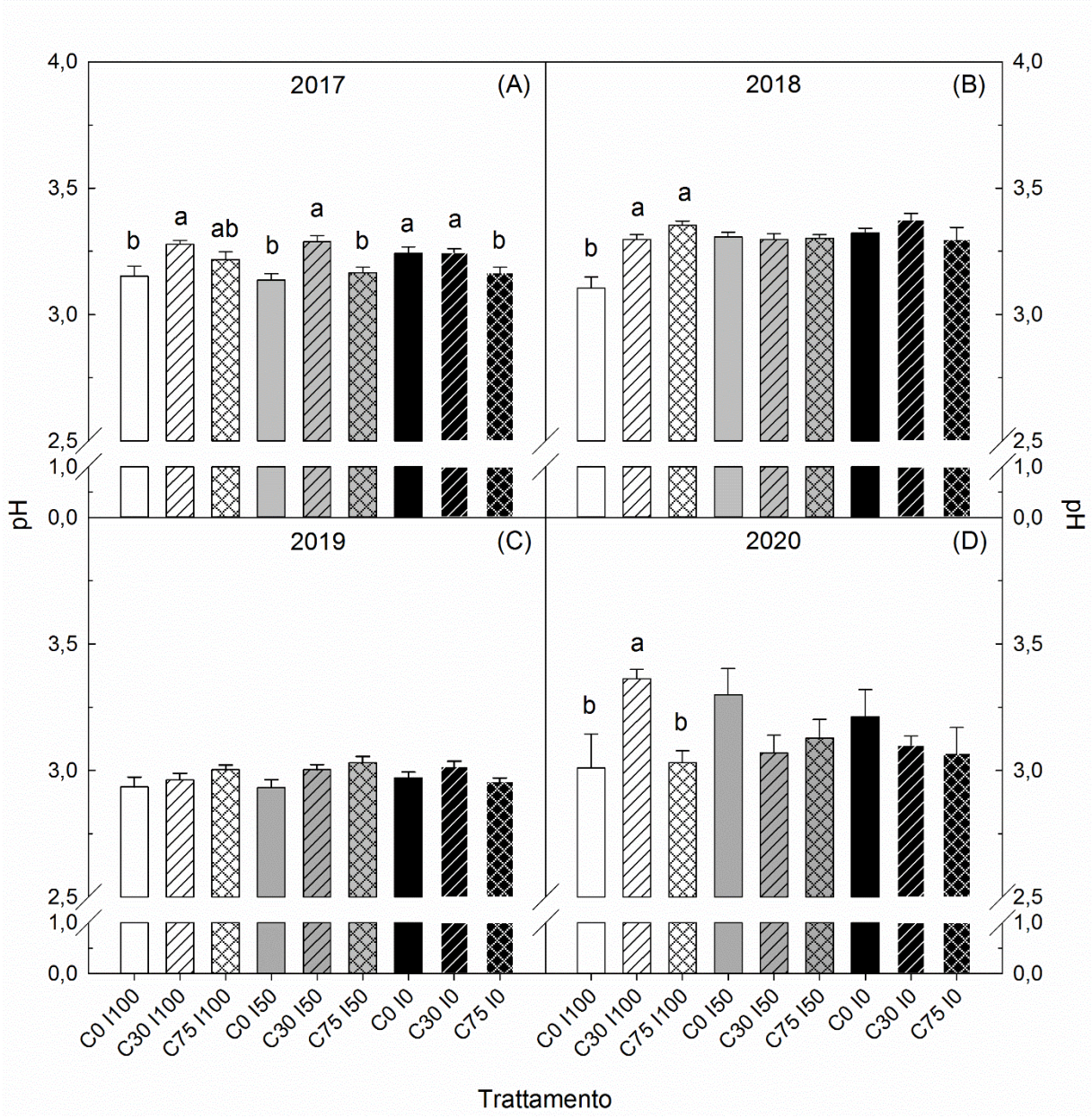

Figura 9. pH delle uve alla raccolta per i diversi trattamenti nel 2017 (A), 2018 (B), 2019 (C) e 2020(D). all'interno di ogni pannello le barre verticali indicano l'errore standard della media. Le lettere diverse rappresentano differenze significative all'interno del medesimo trattamento irriguo in accordo con il test di Duncan ($p \leq 0.05$).

Tabella 11. Contenuto in polifenoli delle bucce alla raccolta nel 2017, 2018 e 2019. Le medie seguite da lettere diverse all'interno della colonna indicano differenze significative in accordo con il test di Duncan con p ≤ 0,05.

Fattore	Polifenoli totali (mg/kg uva)	Antociani tot (mg/kg uva)	Tannini BSA (mg/kg uva)	Flavani reattivi alla vanilina bucce (mg/kg uva)
Cimatura (C)				
0	660,83b	1877,01a	350,79b	334,75a
30	720,36a	1761,28b	378,57a	313,28a
75	582,03c	1624,05c	304,48c	272,68b
Significatività[1]	***	***	***	***
Irrigazione (I)				
0	597,93b	1715,22b	312,75b	301,66
50	693,52a	1688,83b	367,39a	309,17
100	671,77a	1853,80a	353,70a	309,88
Significatività	***	**	***	ns
Anno (A)				
2017	830,04a	2301,59a	288,77b	292,36b
2018	352,33c	1422,23c	241,36c	174,11c
2019	780,86b	1525,89b	503,71a	454,25a
Significatività	***	***	***	***
C×I	***	***	***	ns
C×A	***	***	***	***
I×A	***	**	***	***
C×I×A	***	***	***	**

1 * = p ≤ 0.05; ** = p ≤ 0.01; *** = p < 0.001; ns = non significativo

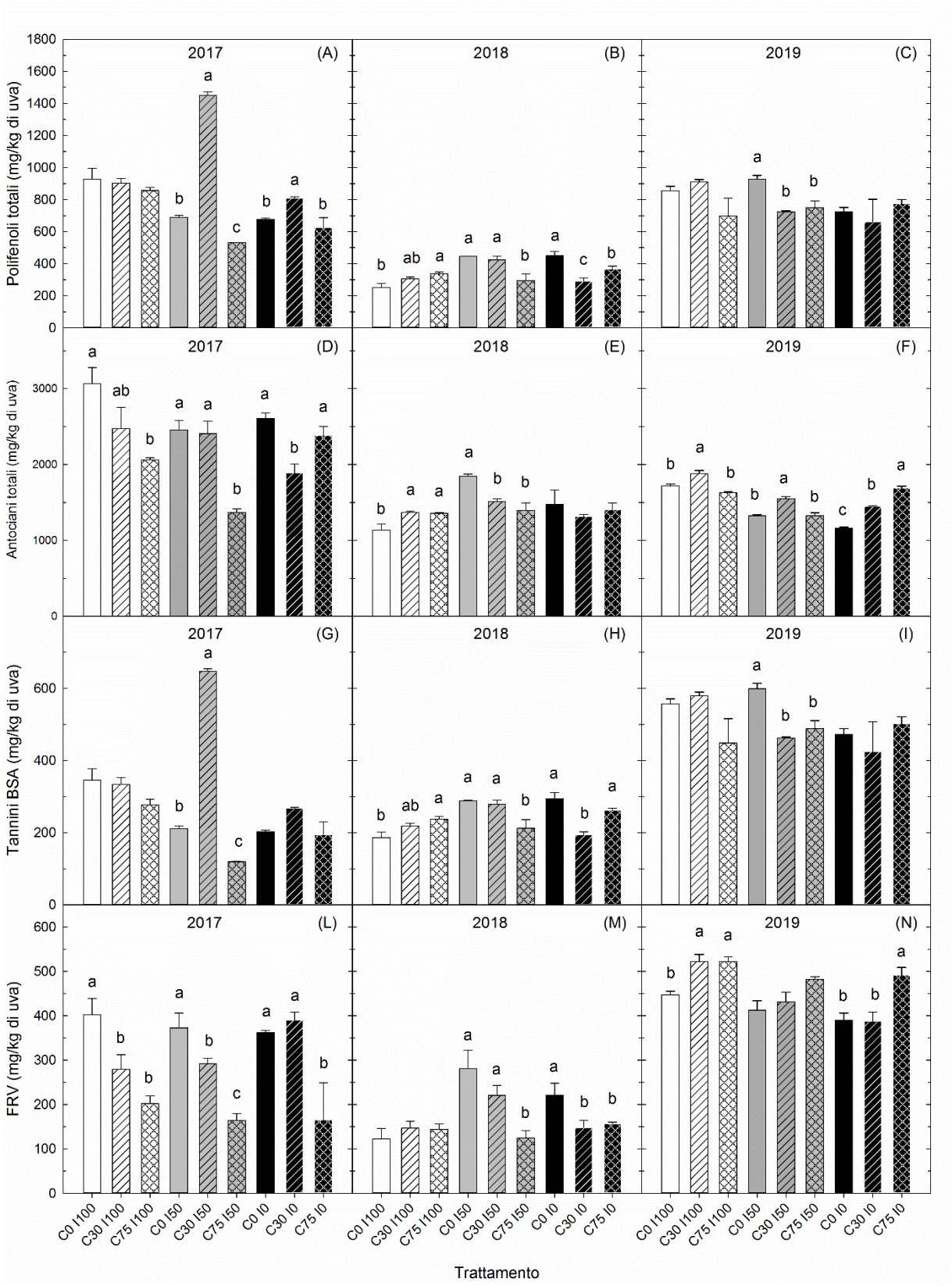

Figura 10. Contenuto in polifenoli totali (A, B, C), antociani totali (D, E, F), Tannini ad elevato grado di polimerizzazione (Tannini BSA) (G, H, I) e Tannini ad basso grado di polimerizzazione (FRV) (L, M, N) alla raccolta nel 2017(A, D, G e L), 2018(B, E, H e M) e 2019(C, F, I e N). Le lettere diverse rappresentano differenze significative all'interno del medesimo trattamento irriguo in accordo con il test di Duncan ($p \leq 0.05$).

Tabella 12. Contenuto in polifenoli dei vinaccioli alla raccolta nel 2017, 2018 e 2019. Le medie seguite da Le medie seguite da lettere diverse all'interno della colonna indicano differenze significative in accordo con il test di Duncan con p ≤ 0,05.

Fattore	Polifenoli totali (mg/kg uva)	Tannini BSA (mg/kg uva)	Flavani reattivi alla vanillina (mg/kg uva)
Cimatura (C)			
0	2392,09a	411,64	1063,34b
30	2152,25b	422,28	1107,73b
75	2331,03a	437,63	1209,31a
Significatività[1]	**	ns	***
Irrigazione (I)			
0	2409,33a	431,29a	1142,10a
50	2116,11b	400,51b	1077,44b
100	2349,93a	439,75a	1160,83ab
Significatività	***	**	*
Anno (A)			
2017	1880,65c	153,57c	630,21c
2018	2841,96a	589,11a	1630,58a
2019	2152,76b	528,87b	1119,59b
Significatività	***	***	***
C×I	***	***	*
C×A	***	***	***
I×A	***	**	*
C×I×A	***	***	***

1 * = p ≤ 0.05; ** = p ≤ 0.01; *** = p < 0.001; ns = non significativo

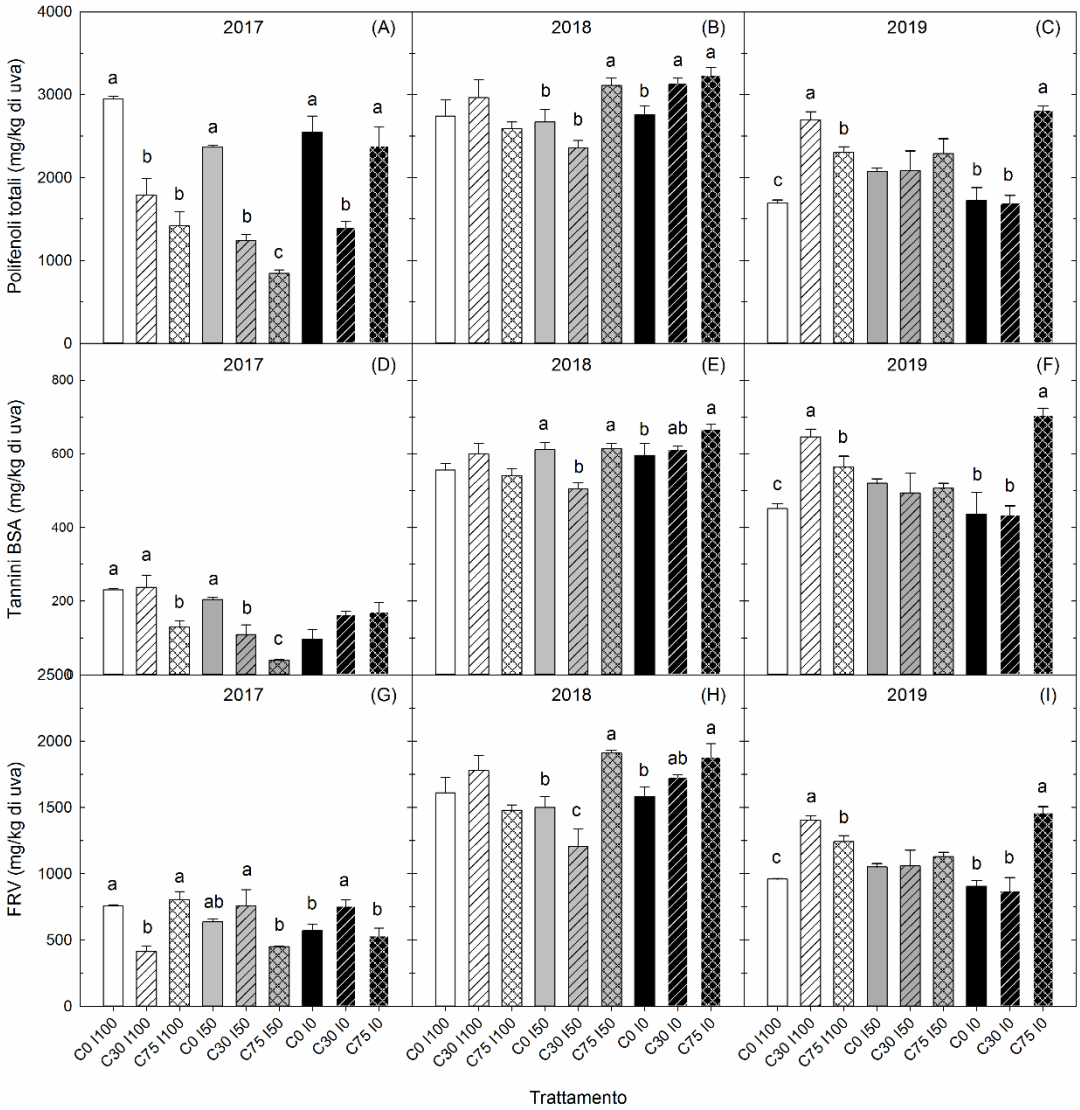

Figura 11. Contenuto in polifenoli totali (A, B, C), Tannini ad elevato grado di polimerizzazione (Tannini BSA) (D, E, F) e Tannini ad basso grado di polimerizzazione (FRV) (G, H, I) alla raccolta nel 2017(A, D, G), 2018(B, E, H) e 2019(C, F, I). Le lettere diverse rappresentano differenze significative all'interno del medesimo trattamento irriguo in accordo con il test di Duncan ($p \leq 0.05$).

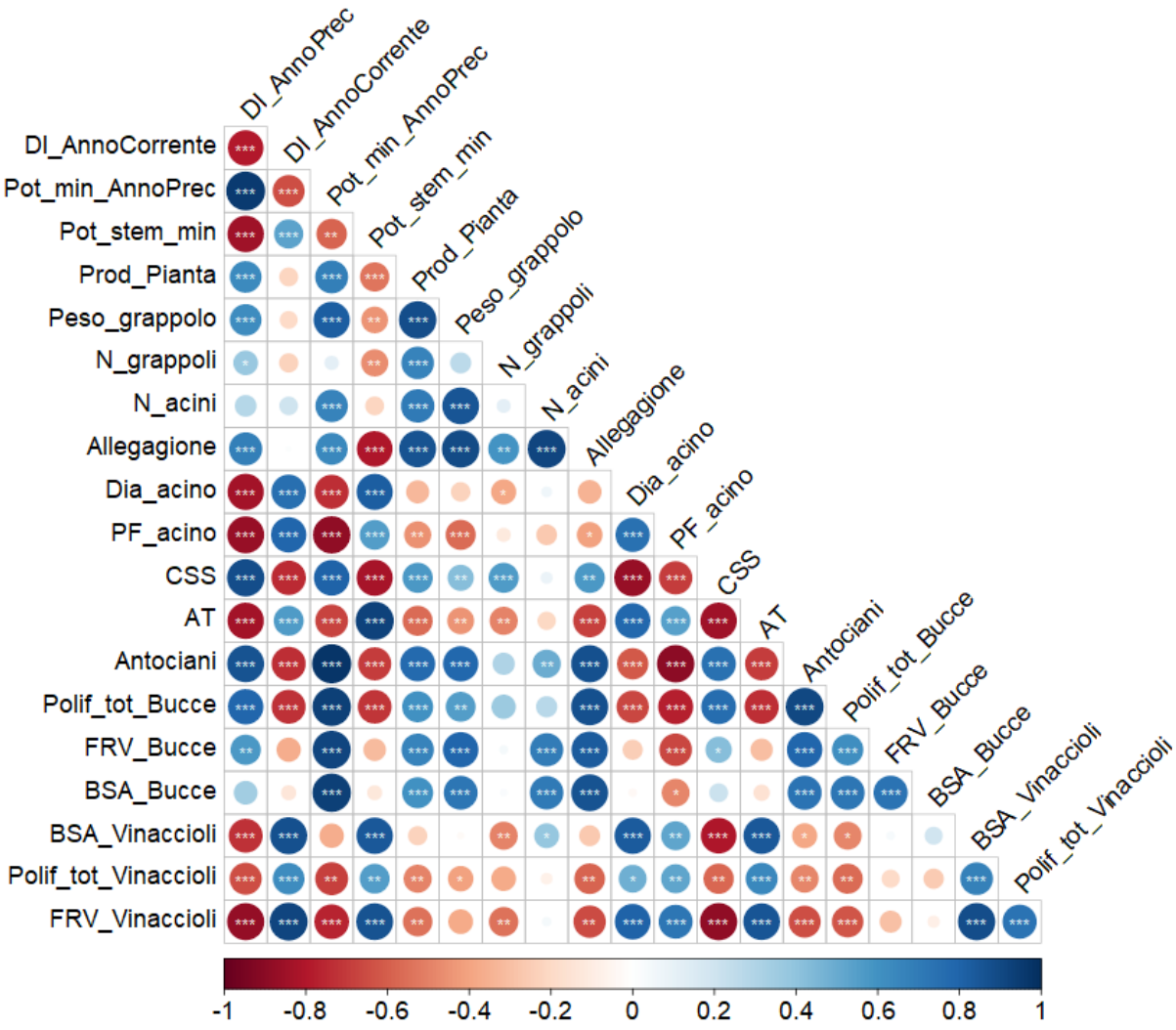

Figura 12. Analisi della correlazione tra parametri misurati, la barra colorata sotto il correlogramma rappresenta i valori di *r*. Nella tabella successiva (Allegato a figura12) è riportato il significato dei codici presenti nel correlogramma. ***= p<0,001; **= p≤ 0,01; *= p ≤ 0,05

Allegato a figura12 codici riportati in figura 12

Codice	Spiegazione
DI_AnnoPrec	Dryness index relativo all'anno precedente
DI_AnnoCorrente	Dryness index relativo all'anno in corso
Pot_min_AnnoPrec	Potenziale minimo del germoglio registrato nell'anno precedente
Pot_stem_min	Potenziale minimo del germoglio registrato durante la stagione in corso
Prod_Pianta	Produzione per pianta
Peso_grappolo	Peso del grappolo
N_grappoli	Numero di grappoli per pianta
N_acini	Numero di acini per grappolo
Allegagione	Percentuale di allegagione
Dia_acino	Diametro dell'acino
PF_acino	Peso fresco dell'acino
CSS	Contenuto in solidi solubili alla raccolta
AT	Acidità titolabile alla raccolta
Antociani	Contenuto in antociani
Polif_tot_Bucce	Polifenoli totali delle bucce
FRV_Bucce	Tannini a basso grado di polimerizzazione delle bucce
BSA_Bucce	Tannini ad elevato grado di polimerizzazione delle bucce
BSA_Vinaccioli	Tannini ad elevato grado di polimerizzazione dei vinaccioli
Polif_tot_Vinaccioli	Polifenoli totali dei vinaccioli
FRV_Vinaccioli	Tannini a basso grado di polimerizzazione dei vinaccioli

Bibliografia

Abad, F.J., Marín, D., Loidi, M., Miranda, C., Royo, J.B., Urrestarazu, J., Santesteban, L.G., 2019. Evaluation of the incidence of severe trimming on grapevine (Vitis vinifera L.) water consumption. Agricultural Water Management 213, 646–653. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.015

Aguera, E., Bes, M., Roy, A., Camarasa, C., 2010. Partial Removal of Ethanol during Fermentation to Obtain Reduced-Alcohol Wines. American Journal of Enology and Viticulture 1, 53–60.

Allam, A., Moussa, R., Najem, W., Bocquillon, C., 2020. Specific climate classification for Mediterranean hydrology and future evolution under Med-CORDEX regional climate model scenarios. Hydrology and Earth System Sciences 24, 4503–4521. https://doi.org/10.5194/hess-24-4503-2020

Allegro, G., Pastore, C., Valentini, G., Muzzi, E., Filippetti, I., 2016. Influence of berry ripeness on accumulation, composition and extractability of skin and seed flavonoids in cv. Sangiovese (Vitis vinifera L.). Journal of the science of food and agriculture 96, 4553–4559. https://doi.org/10.1002/jsfa.7672

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO.

Allevato, E., Buonincontri, M., Vairo, M., Pecci, A., Cau, M.A., Yoneda, M., Simone, G.F. De, Aoyagi, M., Angelelli, C., Matsuyama, S., Takeuchi, K., Pasquale, G. Di, 2012. Persistence of the cultural landscape in Campania (Southern Italy) before the AD 472 Vesuvius eruption : archaeoenvironmental data. Journal of Archaeological Science 39, 399–406. https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.09.026

Allevato, E., Saracino, A., Fici, S., Pasquale, G. Di, 2015. The contribution of archaeological plant remains in tracing the cultural history of Mediterranean trees : The example of the Roman harbour of Neapolis. The Holocene 26, 603–613. https://doi.org/10.1177/0959683615612567

Aschmann, H., 1973. Distribution and Peculiarity of Mediterranean Ecosystems, in: di Castri, F., Mooney, H.A. (Eds.), Mediterranean Type Ecosystems. Ecological Studies (Analysis and Synthesis). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, pp. 11–19. https://doi.org/10.1007/978-3-642-65520-3_2

Basile, B., Caccavello, G., Giaccone, M., Forlani, M., 2015. Effects of early shading and defoliation on bunch compactness, yield components, and berry composition of aglianico grapevines under warm climate conditions. American Journal of Enology and Viticulture 66, 234–243. https://doi.org/10.5344/ajev.2014.14066

Basile, B., Girona, J., Behboudian, M.H., Mata, M., Rosello, J., Ferré, M., Marsal, J., 2012. Responses of "Chardonnay" to deficit irrigation applied at different phenological stages: Vine growth, must composition, and wine quality. Irrigation Science 30, 397–

406. https://doi.org/10.1007/s00271-012-0353-1

Basile, B., Marsal, J., Mata, M., Vallverdú, X., Bellvert, J., Girona, J., 2011. Phenological sensitivity of cabernet sauvignon to water stress: Vine physiology and berry composition. American Journal of Enology and Viticulture 62, 453–461. https://doi.org/10.5344/ajev.2011.11003

Battaglini, A., Barbeau, G., Bindi, M., Badeck, F.W., 2009. European winegrowers' perceptions of climate change impact and options for adaptation. Regional Environmental Change 9, 61–73. https://doi.org/10.1007/s10113-008-0053-9

Bellut, K., Arendt, E.K., 2019. The Science of Beer Chance and Challenge : Non-Saccharomyces Yeasts in Nonalcoholic and Low Alcohol Beer Brewing – A Review. Journal of the American Society of Brewing Chemists 77, 77–91. https://doi.org/10.1080/03610470.2019.1569452

Bennett, J., Jarvis, P., Creasy, G.L., Trought, M.C.T., 2005. Influence of Defoliation on Overwintering Carbohydrate Reserves, Return Bloom, and Yield of Mature Chardonnay Grapevines Jeff. American Journal of Enology and Viticulture 56, 386–393.

Bobeica, N., Poni, S., Hilbert, G., Renaud, C., Gomès, E., Delrot, S., Dai, Z., 2015. Differential responses of sugar, organic acids and anthocyanins to source-sink modulation in Cabernet Sauvignon and Sangiovese grapevines. Frontiers in Plant Science 6, 14. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00382

Bonada, M., Sadras, V., Moran, M., Fuentes, S., 2013. Elevated temperature and water stress accelerate mesocarp cell death and shrivelling, and decouple sensory traits in Shiraz berries. Irrigation Science 31, 1317–1331. https://doi.org/10.1007/s00271-013-0407-z

Bondada, B., Covarrubias, J.I., Tessarin, P., Boliani, A.C., Marodin, G., Rombolà, A.D., 2016. Postveraison shoot trimming reduces cluster compactness without compromising fruit quality attributes in organically grown sangiovese grapevines. American Journal of Enology and Viticulture 67, 206–211. https://doi.org/10.5344/ajev.2016.15058

Bondada, B., Harbertson, E., Shrestha, P.M., Keller, M., 2017. Temporal extension of ripening beyond its physiological limits imposes physical and osmotic challenges perturbing metabolism in grape (Vitis vinifera L.) berries. Scientia Horticulturae 219, 135–143. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.002

Braidot, E., Zancani, M., Petrussa, E., Peresson, C., Bertolini, A., Patui, S., Macrì, F., Vianello, A., 2008. Transport and accumulation of flavonoids in grapevine (Vitis vinifera L.). Plant Signaling and Behavior 3, 626–632. https://doi.org/10.4161/psb.3.9.6686

Bravdo, B., Hepner, Y., Loinger, C., Cohen, S., Tabacman, H., 1984. Effect of crop level on growth, yield and wine quality of a high yielding carignane vineyard. American

journal of enology and viticulture 35, 247–252.

Brillante, L., Belfiore, N., Gaiotti, F., Lovat, L., Sansone, L., Poni, S., Tomasi, D., 2016. Comparing Kaolin and Pinolene to Improve Sustainable Grapevine Production during Drought. PLoS ONE 11, 1–19. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156631

Bubola, M., Sivilotti, P., Diklić, K., Užila, Z., Palčić, I., Plavša, T., 2016. Manipulation of "Teran" grape composition with severe shoot trimming and cluster thinning. Acta Horticulturae 1188. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1188.12

Bucchetti, B., Matthews, M.A., Falginella, L., Peterlunger, E., Castellarin, S.D., 2011. Effect of water deficit on Merlot grape tannins and anthocyanins across four seasons. Scientia Horticulturae 128, 297–305. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.02.003

Buesa, I., Caccavello, G., Basile, B., Merli, M.C., Poni, S., Chirivella, C., Intrigliolo, D.S., 2019. Delaying berry ripening of bobal and tempranillo grapevines by late leaf removal in a semi-arid and temperate-warm climate under different water regimes. Australian Journal of Grape and Wine Research 25, 70–82. https://doi.org/10.1111/ajgw.12368

Buono, R., Vallariello, G., 2002. Introduzione e diffusione della vite (Vitis vinifera L .) in Italia. Delpinoa 44, 39–51.

Buttrose, M.S., Hale, C.R., 1973. Effect of Temperature on Development of the Grapevine Inflorescence after Bud Burst. American Journal of Enology and Viticulture 24, 14–16.

Caccavello, G., Giaccone, M., Scognamiglio, P., Forlani, M., Basile, B., 2017. Influence of intensity of post-veraison defoliation or shoot trimming on vine physiology, yield components, berry and wine composition in Aglianico grapevines. Australian Journal of Grape and Wine Research 23, 226–239. https://doi.org/10.1111/ajgw.12263

Caccavello, G., Giaccone, M., Scognamiglio, P., Mataffo, A., Teobaldelli, M., Basile, B., 2019. Vegetative, yield, and berry quality response of aglianico to shoot-trimming applied at three stages of berry ripening. American Journal of Enology and Viticulture 70, 351–359. https://doi.org/10.5344/ajev.2019.18079

Campbell, B.M., Vermeulen, S.J., Aggarwal, P.K., Corner-dolloff, C., Girvetz, E., Maria, A., Ramirez-villegas, J., Rosenstock, T., Sebastian, L., Thornton, P.K., Wollenberg, E., 2016. Reducing risks to food security from climate change. Global Food Security 11, 34–43. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.06.002

Candolfi-Vasconcelos, M.C., Candolfi, M.P., Kohlet, W., 1994. Retranslocation of carbon reserves from the woody storage tissues into the fruit as a response to defoliation stress during the ripening period in Vitis vinifera L. Planta 192, 567–573. https://doi.org/10.1007/BF00203595

Canoura, C., Kelly, M.T., Ojeda, H., 2018. Effect of irrigation and timing and type of nitrogen application on the biochemical composition of Vitis vinifera L. cv. Chardonnay and Syrah grapeberries. Food Chemistry 241, 171–181.

https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.114

Cartechini, A., Palliotti, A., Lungarotti, C., 2000. Influence of timing of summer hedging on yield and grape quality in some red and white grapevine cultivars, in: XXV International Horticultural Congress, Part 2: Mineral Nutrition and Grape and Wine Quality. J.V. Possingham, G.H. Neilsen, Brussels, Belgium, pp. 101–110.

Carteni, F., Rossi, C., Marcos, R., Porras, I., Basile, B., Scognamiglio, P., Teobaldelli, M., Mataffo, A., Mazzoleni, S., Garcia-Tejera, O., Girona, J., Queiroz, J., Cabral, I., 2019. LEAF: A process-based model of berry ripening in vineyards, in: 2019 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry, MetroAgriFor 2019 - Proceedings. IEEE, pp. 152–157. https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor.2019.8909224

Carvalho, L.C., Amâncio, S., 2019. Cutting the Gordian Knot of abiotic stress in grapevine : Physiologia Plantarum 165, 330–342. https://doi.org/10.1111/ppl.12857

CE, 2009. Regolamento (CE) N. 606/2009 della commissione del 10 luglio 2009 recante alcune modalità di applicazione del regolamento (CE) n. 479/2008 del Consiglio per quanto riguarda le categorie di prodotti vitivinicoli, le pratiche enologiche e le relative restri. Commissione europea.

Chaves, M.M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J.M., Santos, T., Regalado, A.P., Rodrigues, M.L., Lopes, C.M., 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. Annals of botany 105, 661–676. https://doi.org/10.1093/aob/mcq030

Chen, W., He, F., Wang, Y., Liu, X., Duan, C., Wang, J., 2018. Influences of Berry Size on Fruit Composition and Wine Quality of Vitis vinifera L . cv . ' Cabernet Sauvignon ' Grapes. South African Journal of Enology and Viticulture 39, 67–76.

Chuine, I., Yiou, P., Viovy, N., Seguin, B., Daux, V., Le Roy Ladurie, E., 2004. Grape ripening as a past climate indicator. Nature 432, 289. https://doi.org/10.1029/2003RG000143

Cifre, J., Bota, J., Escalona, J.M., Medrano, H., Flexas, J., 2005. Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (Vitis vinifera L.): An open gate to improve water-use efficiency? Agriculture, Ecosystems and Environment 106, 159–170. https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.10.005

Cohen, S.D., Kennedy, J.A., 2010. Plant metabolism and the environment: Implications for managing phenolics. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 50, 620–643. https://doi.org/10.1080/10408390802603441

Coniberti, A., Ferrari, V., Disegna, E., García Petillo, M., Lakso, A.N., 2018. Complete vineyard floor cover crop to reduce grapevine susceptibility to bunch rot. European Journal of Agronomy 99, 167–176. https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.07.006

Coombe, B.G., McCarthy, M.G., 2000. Dynamics of grape berry growth and physiology of

ripening. Australian Journal of Grape and Wine Research 6, 131–135. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00171.x

Costa, R., Fraga, H., Fonseca, A., Garc, I., Cort, D., 2019. Grapevine Phenology of cv . Touriga Franca and Touriga Nacional in the Douro Wine Region : Modelling and Climate Change Projections 1–20.

Dal Santo, S., Palliotti, A., Zenoni, S., Tornielli, G.B., Fasoli, M., Paci, P., Tombesi, S., Frioni, T., Silvestroni, O., Bellincontro, A., d'Onofrio, C., Matarese, F., Gatti, M., Poni, S., Pezzotti, M., 2016. Distinct transcriptome responses to water limitation in isohydric and anisohydric grapevine cultivars. BMC Genomics 17, 1–19. https://doi.org/10.1186/s12864-016-3136-x

Daux, V., Garcia De Cortazar-Atauri, I., Yiou, P., Chuine, I., Garnier, E., Le Roy Ladurie, E., Mestre, O., Tardaguila, J., 2012. An open-access database of grape harvest dates for climate research: Data description and quality assessment. Climate of the Past 8, 1403–1418. https://doi.org/10.5194/cp-8-1403-2012

De Toda, F.M., Sancha, J.C., Balda, P., 2013. Reducing the sugar and pH of the grape (vitis vinifera l. Cvs. "Grenache" and 'tempranillo') through a single shoot trimming. South African Journal of Enology and Viticulture 34, 246–251. https://doi.org/10.21548/34-2-1101

del Amor, F.M., Cuadra-Crespo, P., Walker, D.J., Cámara, J.M., Madrid, R., 2010. Effect of foliar application of antitranspirant on photosynthesis and water relations of pepper plants under different levels of CO2 and water stress. Journal of Plant Physiology 167, 1232–1238. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.04.010

Di Vaio, C., Marallo, N., Lorenzo, R. Di, Pisciotta, A., 2019. Anti-Transpirant Effects on Vine Physiology , Berry and Wine Composition of cv . Aglianico (Vitis vinifera L .) Grown in South Italy. Agonomy 9, 244. https://doi.org/10.3390/agronomy9050244

Di Vaio, C., Villano, C., Lisanti, M.T., Marallo, N., Cirillo, A., Lorenzo, R. Di, Pisciotta, A., 2020. Application of Anti-Transpirant to Control Sugar Accumulation in Grape Berries and Alcohol Degree in Wines Obtained from Thinned and Unthinned Vines of cv. Falanghina (Vitis vinifera L.). Agonomy 10, 345. https://doi.org/10.3390/agronomy10030345

Diban, N., Athes, V., Bes, M., Souchon, I., 2008. Ethanol and aroma compounds transfer study for partial dealcoholization of wine using membrane contactor. Journal of Membrane Science 311, 136–146. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.12.004

Duchêne, C.S., Schneider, C., 2005. Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. Agronomy for Sustainable Development 25, 93–99. https://doi.org/hal-00886271

Easlon, H.M., Bloom, A.J., 2014. Easy Leaf Area: Automated Digital Image Analysis for Rapid and Accurate Measurement of Leaf Area. Applications in Plant Sciences 2,

1400033. https://doi.org/10.3732/apps.1400033

Etienne, N., Daux, V., Masson-Delmotte, V., Mestre, O., Stievenard, M., Guillemin, M.T., Boettger, T., Breda, M., Haupt, M., Perraud, P.P., 2009. Summer maximum temperature in northern France over the past century : instrumental data versus multiple proxies (tree-ring isotopes , grape harvest dates and forest fires). Climatic Change 94, 429–456. https://doi.org/10.1007/s10584-008-9516-8

Fanzone, M., Zamora, F., Jofr, V., Assof, M., 2011. Phenolic Composition of Malbec Grape Skins and Seeds from Valle de Uco (Mendoza , Argentina) during Ripening . Effect of Cluster Thinning 6120–6136.

Filippetti, I., Movahed, N., Allegro, G., Valentini, G., Pastore, C., Colucci, E., Intrieri, C., 2015. Effect of post-veraison source limitation on the accumulation of sugar, anthocyanins and seed tannins in Vitis vinifera cv. Sangiovese berries. Australian Journal of Grape and Wine Research 21, 90–100. https://doi.org/10.1111/ajgw.12115

Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J., Santos, J.A., 2013. Future scenarios for viticultural zoning in Europe: Ensemble projections and uncertainties. International Journal of Biometeorology 57, 909–925. https://doi.org/10.1007/s00484-012-0617-8

Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J., Santos, J.A., 2012. An overview of climate change impacts on European viticulture. Food and Energy Security 1, 94–110. https://doi.org/10.1002/fes3.14

Franklin, K.A., 2008. Shade avoidance. New Phytologist 179, 930–944. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02507.x

Gambuti, A., Han, G., Peterson, A.L., Waterhouse, A.L., 2015. Sulfur Dioxide and Glutathione Alter the Outcome of Microoxygenation 4, 411–423. https://doi.org/10.5344/ajev.2015.15005

Gao, X., Giorgi, F., 2008. Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution simulations with a regional climate model. Global and Planetary Change 62, 195–209. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2008.02.002

Gil, M., Pascual, O., Zamora, F., Canals, J.M., 2015. Influence of berry size on red wine colour and composition. Australian Journal of Grape and Wine Research 21, 200–212. https://doi.org/10.1111/ajgw.12123

Giorio, P., Basile, A., Sorrentino, G., Albrizio, R., 2007. Physiological responses of'Falanghina'grapevines in soils with different water availability in Southern Italy. Acta Horticulturae.

Girona, J., Marsal, J., Mata, M., Campo, J.D.E.L., Basile, B., 2009. Phenological sensitivity of berry growth and composition of Tempranillo grapevines (Vitis vinifera L .) to water stress. Australian Journal of Grape and Wine Research 15, 268–277. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00059.x

Gomez-Plaza, E., Lopez-Nicolas, J.M., Lopez-Roca, J.M., Martinez-Cutillas, A., 1999. Dealcoholization of Wine . Behaviour of the Aroma Components during the Process. LWT - Food Science and Technology 32, 384–386.

Greer, D.H., Weston, C., 2010. Heat stress affects flowering, berry growth, sugar accumulation and photosynthesis of Vitis vinifera cv. Semillon grapevines grown in a controlled environment. Functional Plant Biology 37, 206–214. https://doi.org/10.1071/FP09209

Gregory, P.J., Ingram, J.S.I., Brklacich, M., 2005. Climate change and food security. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 360, 2139–2148. https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1745

Guilpart, N., Metay, A., Gary, C., 2014. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. European Journal of Agronomy 54, 9–20. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.002

Harbertson, J.F., Picciotto, E.A., Adams, D.O., 2003. Measurement of Polymeric Pigments in Grape Berry Extracts and Wines Using a Protein Precipitation Assay Combined with Bisulfite Bleaching. American Journal of Enology and Viticulture 54, 301–306.

Herrera, J.C., Bucchetti, B., Sabbatini, P., Comuzzo, P., Zulini, L., Vecchione, A., Peterlunger, E., Castellarin, S.D., 2015. Effect of water deficit and severe shoot trimming on the composition of Vitis vinifera L . Merlot grapes and wines. Australian Journal of Grape and Wine Research 21, 254–265. https://doi.org/10.1111/ajgw.12143

Holzapfel, B.P., Smith, J.P., Mandel, R.M., Keller, M., 2006. Manipulating the postharvest period and its impact on vine productivity of Semillon grapevines. American Journal of Enology and Viticulture 57, 148–157.

Honorio, F., García-Martín, A., Moral, F.J., Paniagua, L.L., Rebollo, F.J., 2018. Spanish vineyard classification according to bioclimatic indexes. Australian Journal of Grape and Wine Research 24, 335–344. https://doi.org/10.1111/ajgw.12342

Hunter, J.J., Visser, J.H., 1988. The Effect of Partial Defoliation, Leaf Position and Developmental Stage of the Vine on the Photosynthetic Activity of Vitis vinifera L. cv Cabernet Sauvignon. South African Journal of Enology and Viticulture 9, 9–15.

Intrigliolo, D.S., Castel, J.R., 2010. Response of grapevine cv. "Tempranillo" to timing and amount of irrigation: Water relations, vine growth, yield and berry and wine composition. Irrigation Science 28, 113–125. https://doi.org/10.1007/s00271-009-0164-1

Intrigliolo, D.S., Castel, J.R., 2008. Effects of irrigation volume and nitrogen fertilization on Redglobe and Michele Palieri table-grape cultivars. American Journal of Enology and Viticulture 59, 30–38. https://doi.org/10.5344/ajev.2010.09127

IPCC, 2013. Near-term Climate Change: Projections and Predictability, in: CLIMATE CHANGE 2013 (V Assesment Report) The Physical Science Basis. pp. 953–1028.

Jones, G. V., Duff, A.A., Hall, A., Myers, J.W., 2010. Spatial analysis of climate in winegrape growing regions in the western United States. American Journal of Enology and Viticulture 61, 313–326.

Junquera, P., Lissarrague, J.R., Jiménez, L., Linares, R., Baeza, P., 2012. Long-term effects of different irrigation strategies on yield components, vine vigour, and grape composition in cv. Cabernet-Sauvignon (Vitis vinifera L.). Irrigation Science 30, 351–361. https://doi.org/10.1007/s00271-012-0348-y

Kabinett, L.Q., 1993. Environmental and Management Practices Affecting Grape Composition and Wine Quality - A Review. American Journal of Enology and Viticulture 44, 409–430.

Keller, M., 2020a. The Science of Grapevines, 3rd ed. Charlotte Cockle.

Keller, M., 2020b. Photosynthesis and respiration, in: Academic Press (Ed.), The Science of Grapevines. pp. 129–148.

Keller, M., 2020c. Eviromental constraints and stress physiology, in: Academic Press (Ed.), The Science of Grapevines. Charlotte Cockle, pp. 279–356. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816365-8.00007-5

Keller, M., 2010. Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment : a climate change primer for viticulturists. Australian Journal of Grape and Wine Research 16, 56–69. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00077.x

Keller, M., 2005. Deficit Irrigation and Vine Mineral Nutrition. American Journal of Enology and Viticulture 3, 267–283.

Keller, M., Pool, R.M., Henick-Kling, T., 1999. Excessive nitrogen supply and shoot trimming can impair colour development in Pinot Noir grapes and wine. Australian Journal of Grape and Wine Research 5, 45–55. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1999.tb00151.x

Keller, M., Smithyman, R.P., Mills, L.J., 2008. Interactive Effects of Deficit Irrigation and Crop Load on Cabernet Sauvignon in an Arid Climate. American Journal of Enology and Viticulture. 3, 221–234.

Keller, M., Tarara, J.M., Mills, L.J., 2010. Spring temperatures alter reproductive development in grapevines. Australian Journal of Grape and Wine Research 16, 445–454. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2010.00105.x

Keller, M., Zhang, Y., Shrestha, P.M., Biondi, M., Bondada, B.R., 2015. Sugar demand of ripening grape berries leads to recycling of surplus phloem water via the xylem. Plant and Soil 38, 1048–1059. https://doi.org/10.1111/pce.12465

Kennedy, J.A., Matthews, M.A., Waterhouse, A.L., 2000. Changes in grape seed polyphenols during fruit ripening. Phytochemistry 55, 77–85.

Kittikorn, M., Shiraishi, N., Okawa, K., Ohara, H., Yokoyama, M., Ifuku, O., Yoshida, S.,

Kondo, S., 2010. Scientia Horticulturae Effect of fruit load on 9 , 10-ketol-octadecadienoic acid (KODA), GA and jasmonic acid concentrations in apple buds. Scientia Horticulturae 124, 225–230. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.01.008

Kliewer, W.M., 1964. Influence of Environment on Metabolism of Organic Acids and Carbohydrates in Vitis Vinifera. I. Temperature. Plant Physiology 39, 869–880.

Kliewer, W.M., Dokoozlian, N.K., 2005. Leaf Area / Crop Weight Ratios of Grapevines : Influence on Fruit Composition and Wine Quality 2, 170–181.

Kliewer, W.M., Lider, L.A., Schultz, H.B., 1967. Influence of artificial shading of vineyards on the concentration of sugar and organic acid in grapes. American Journal of Enology and Viticulture 18, 78–86.

Kliewer, W.M., Schultz, H.B., 1964. Influence of environment on metabolism of organic acids and carbohydrates in vitis finifera. II. light. American Journal of Enology and Viticulture 15, 119–129.

Kraus, C., Pennington, T., Herzog, K., Voegele, R.T., 2018. Effects of canopy architecture and microclimate on grapevine health in two training systems. Vitis 53–60. https://doi.org/10.5073/vitis.2018.57.53-60

Larronde, F., Krisa, S., Decendit, A., Chèze, C., Deffieux, G., Mérillon, J.M., 1998. Regulation of polyphenol production in Vitis vinifera cell suspension cultures by sugars. Plant Cell Reports 17, 946–950. https://doi.org/10.1007/s002990050515

Leeuwen, C. Van, Tregoat, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D., Gaudillére, 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? Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin 43, 121–134. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2009.43.3.798

Lescourret, F., Génard, M., Lescourret, F., Génard, M., Paul, D.S., 2016. A multi-level theory of competition for resources applied to fruit production A multi-level theory of competition for resources applied to fruit production 1. Écoscience 6860. https://doi.org/10.1080/11956860.2003.11682782

Lobell, B.D., Schlenker, W., Costa-Roberts, J., 2018. Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. Science 333, 616–620. https://doi.org/10.1126/science.1204531

Maciejczak, M., Mikiciuk, J., 2019. Climate change impact on viticulture in Poland. International Journal of Climate Change Strategies and Management 11, 254–264. https://doi.org/10.1108/IJCCSM-02-2018-0021

Marsal, J., Behboudian, M.H., Mata, M., Basile, B., Del Campo, J., Girona, J., Lopez, G., 2010. Fruit thinning in "Conference" pear grown under deficit irrigation to optimise yield and to improve tree water status. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 85, 125–130. https://doi.org/10.1080/14620316.2010.11512642

Martínez De Toda, F., Sancha, J.C., Zheng, W., Balda, P., 2014. Leaf area reduction by trimming, a growing technique to restore the anthocyanins: Sugars ratio decoupled by the warming climate. Vitis - Journal of Grapevine Research 53, 189–192.

Matthews, M.A., 2016. Terroir and Other Myths of Winegrowing.

Mattivi, F., Zulian, C., Nicolini, G., Valenti, L., 2002. Wine, Biodiversity, Technology, and Antioxidants. Annals of the New York Academy of Sciences 957, 37–56.

Mccarthy, M.G., 1997. The effect of transient water deficit on berry development of cv . Shiraz (Vitis vinifera L .). Australian Journal of Grape and Wine Research 3, 2–8.

Medici, A., Laloi, M., Atanassova, R., 2014. Profiling of sugar transporter genes in grapevine coping with water deficit. FEBS Letters 588, 3989–3997. https://doi.org/10.1016/j.febslet.2014.09.016

Mira de Orduña, R., 2010. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. Food Research International 43, 1844–1855. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.05.001

Montealegre, R.R., Peces, R.R., Vozmediano, C.J.L., A, Gascueña, J.M., Romero, E.G., 2006. Phenolic compounds in skins and seeds of ten grape Vitis vinifera varieties grown in a warm climate. Journal of Food Composition and Analysis 19, 687–693. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.05.003

Moore, F.C., Baldos, U.L.C., Hertel, T., 2017. Economic impacts of climate change on agriculture: A comparison of process-based and statistical yield models. Environmental Research Letters 12. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6eb2

Naor, A., Gal, Y., Bravdo, B., 2002. Shoot and cluster thinning influence vegetative growth, fruit yield, and wine quality of "Sauvignon blanc" grapevines. Journal of the American Society for Horticultural Science 127, 628–634. https://doi.org/10.21273/jashs.127.4.628

Naor, A., Gal, Y., Bravdo, B., 1997. Crop load affects assimilation rate , stomatal conductance , stem water potential and water relations of field-grown Sauvignon blanc grapevines. Journal of Environmental Quality 48, 1675–1680.

Neethling, E., Petitjean, T., Quénol, H., 2017. Assessing local climate vulnerability and winegrowers ' adaptive processes in the context of climate change. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 22, 777–803. https://doi.org/10.1007/s11027-015-9698-0

Nesbitt, A., Kemp, B., Steele, C., Lovett, A., Dorling, S., 2016. Impact of recent climate change and weather variability on the viability of UK viticulture – combining weather and climate records with producers ' perspectives. Australian Journal of Grape and Wine Research 22, 324–335. https://doi.org/10.1111/ajgw.12215

Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A., Deloire, A., 2002. Influence of pre- and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic

compounds during berry growth of Vitis vinifera cv. Shiraz. American Journal of Enology and Viticulture 53, 261–267.

ONU, 2015. Paris agreement, Paris.

Padilla, B., Gil, J. V., Manzanares, P., 2016. Past and Future of Non- Saccharomyces Yeasts : From Spoilage Microorganisms to Biotechnological Tools for Improving Wine Aroma Complexity. Frontiers in Microbiology 7, 1–20. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00411

Palliotti, A., Gardi, T., Berrios, J.G., Civardi, S., Poni, S., 2012. Early source limitation as a tool for yield control and wine quality improvement in a high-yielding red Vitis vinifera L . cultivar. Scientia Horticulturae 145, 10–16. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.019

Palliotti, A., Gatti, M., Poni, S., 2011. Early Leaf Removal to Improve Vineyard Efficiency : Gas Exchange , Source-to-Sink Balance , and Reserve Storage Responses. American Journal of Enology and Viticulture 2, 219–228. https://doi.org/10.5344/ajev.2011.10094

Palliotti, Alberto, Panara, F., Famiani, F., Sabbatini, P., Howell, G.S., Silvestroni, O., Poni, S., 2013. Postveraison Application of Antitranspirant Di-1- p -Menthene to Control Sugar Accumulation in Sangiovese Grapevines. American Journal of Enology and Viticulture 3, 378–385. https://doi.org/10.5344/ajev.2013.13015

Palliotti, A., Panara, F., Silvestroni, O., Lanari, V., Sabbatini, P., Howell, G.S., Gatti, M., Poni, S., 2013. Influence of mechanical postveraison leaf removal apical to the cluster zone on delay of fruit ripening in Sangiovese (Vitis vinifera L .) grapevines. Australian Journal of Grape and Wine Research 19, 369–377. https://doi.org/10.1111/ajgw.12033

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 178, 43–54. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.07.039

Parker, A.K., Hofmann, R.W., van Leeuwen, C., Mclachlan, A.R.G., Trought, M.C.T., 2015. Manipulating the leaf area to fruit mass ratio alters the synchrony of total soluble solids accumulation and titratable acidity of grape berries. Australian Journal of Grape and Wine Research 21, 266–276. https://doi.org/10.1111/ajgw.12132

Parra, C.S., Aguirreolea, J., Sánchez-díaz, M., Irigoyen, J.J., 2010. Effects of climate change scenarios on Tempranillo grapevine (Vitis vinifera L .) ripening : response to a combination of elevated CO 2 and temperature , and moderate drought. Plant and Soil 337, 179–191. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0514-z

Pastenes, C., Villalobos, L., Ríos, N., Reyes, F., Turgeon, R., Franck, N., 2014. Carbon partitioning to berries in water stressed grapevines: The role of active transport in leaves and fruits. Environmental and Experimental Botany 107, 154–166.

https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.009

Pastore, C., Allegro, G., Valentini, G., Muzzi, E., Filippetti, I., 2017. Anthocyanin and flavonol composition response to veraison leaf removal on Cabernet Sauvignon, Nero d'Avola, Raboso Piave and Sangiovese Vitis vinifera L. cultivars. Scientia Horticulturae 218, 147–155. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.048

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. BMC Plant Biology 13, 30. https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-30

Pérez-Álvarez, E.P., Intrigliolo Molina, D.S., Vivaldi, G.A., García-esparza, M.J., Lizama, V., Alvarez, I., 2021. Effects of the irrigation regimes on grapevine cv . Bobal in a Mediterranean climate : I . Water relations , vine performance and grape composition. Agricultural Water Management 248, 106772. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106772

Poni, S., Gatti, M., Bernizzoni, F., Civardi, S., Bobeica, N., Magnanini, E., Palliotti, A., 2013. Late leaf removal aimed at delaying ripening in cv . Sangiovese : physiological assessment and vine performance. Australian Journal of Grape and Wine Research 19, 378–387. https://doi.org/10.1111/ajgw.12040

Poni, S., Gatti, M., Palliotti, A., Dai, Z., Duchêne, E., Truong, T.T., Ferrara, G., Matarrese, A.M.S., Gallotta, A., Bellincontro, A., Mencarelli, F., Tombesi, S., 2018. Grapevine quality: A multiple choice issue. Scientia Horticulturae 234, 445–462. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.035

Poni, S., Giachino, E., 2000. Growth, photosynthesis and cropping of potted grapevines (Vitis vinifera L. cv. Cabernet Sauvignon) in relation to shoot trimming. Australian Journal of Grape and Wine Research 6, 216–226. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00182.x

Poni, S., Intrieri, C., 2001. Grapevine photosynthesis: Effects linked to light radiation and leaf age. Advances in Horticultural Science 15, 5–15. https://doi.org/10.1400/14071

Poni, S., Zamboni, M., Vercesi, A., Garavani, A., Gatti, M., 2014. Effects of Early Shoot Trimming of Varying Severity on Single High-Wire Trellised Pinot noir Grapevines. American Journal of Enology and Viticulture 65, 493–498. https://doi.org/10.5344/ajev.2014.14037

Renison, J.S.D., Suarez, A.M.D.R., 2020. Wind protection rather than soil water availability contributes to the restriction of high - mountain forest to ravines. New Forests 51, 101–117. https://doi.org/10.1007/s11056-019-09722-z

Rienth, M., Vigneron, N., Darriet, P., Sweetman, C., Burbidge, C., Bonghi, C., Walker, R.P., Famiani, F., Castellarin, S.D., 2021. Grape Berry Secondary Metabolites and Their Modulation by Abiotic Factors in a Climate Change Scenario – A Review. Frontiers in Plant Science 12, 1–26. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.643258

Ristic, R., Downey, M.O., Iland, P.G., Bindon, K., Francis, I.L., Herderich, M., Robinson, S.P., 2007. Exclusion of sunlight from Shiraz grapes alters wine colour, tannin and sensory properties. Australian Journal of Grape and Wine Research 13, 53–65. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2007.tb00235.x

Roby, G., Harbertson, J.F., Adams, D.A., Matthews, M.A., 2004. Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. Australian Journal of Grape and Wine Research 10, 100–107. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2004.tb00012.x

Rolle, L., Englezos, V., Torchio, F., Cravero, F., Río Segade, S., Rantsiou, K., Giacosa, S., Gambuti, A., Gerbi, V., Cocolin, L., 2018. Alcohol reduction in red wines by technological and microbiological approaches: a comparative study. Australian Journal of Grape and Wine Research 24, 62–74. https://doi.org/10.1111/ajgw.12301

Rossouw, G.C., Smith, J.P., Barril, C., Deloire, A., Holzapfel, B.P., 2017. Carbohydrate distribution during berry ripening of potted grapevines : Impact of water availability and leaf-to-fruit ratio. Scientia Horticulturae 216, 215–225. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.008

Rousseau, J., 2001. Quantified description of sensory analysis of berries. Relationships with wine profiles and consumer tastes. Bulletin de l'OIV 74, 719–728.

Rubio, J.A., Yuste, J., Lissarrague, J.R., Baeza, P., 2004. Relations between soil water content, leaf water potential, physiological and productive activity, under the influence of irrigation and yield control in tempranillo grapevine in the a.o. Rbera del Duero. Acta Horticulturae 646, 69–76. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.646.8

Sadras, V.O., 2007. Evolutionary aspects of the trade-off between seed size and number in crops. Field Crops Research 100, 125–138. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.004

Sadras, V.O., Moran, M.A., 2012. Elevated temperature decouples anthocyanins and sugars in. Australian Journal of Grape and Wine Research 18, 115–122. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2012.00180.x

Sadras, V.O., Petrie, P.R., 2011. Climate shifts in south-eastern Australia: Early maturity of Chardonnay, Shiraz and Cabernet Sauvignon is associated with early onset rather than faster ripening. Australian Journal of Grape and Wine Research 17, 199–205. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00138.x

Saliba, A.J., Ovington, L.A., Moran, C.C., 2013. Consumer demand for low-alcohol wine in an Australian sample. International Journal of Wine Research 3, 1–8. https://doi.org/10.2147/IJWR.S41448

Salminen, J.P., Karonen, M., 2011. Chemical ecology of tannins and other phenolics: We need a change in approach. Functional Ecology 25, 325–338. https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01826.x

Samuolienė, G., Čeidaitė, A., Sirtautas, R., Duchovskis, P., Kviklys, D., 2016. Effect of crop

load on phytohormones, sugars, and biennial bearing in apple trees. Biologia Plantarum. https://doi.org/10.1007/s10535-015-0581-3

Santesteban, L.G., Miranda, C., Urrestarazu, J., Loidi, M., Royo, J.B., Ollat, N., 2017. Severe trimming and enhanced competition of laterals as a tool to delay ripening in Tempranillo vineyards under semiarid conditions. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin 51, 191–203. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2016.0.0.1583

Santesteban, L.G., Royo, J.B., 2006. Water status , leaf area and fruit load influence on berry weight and sugar accumulation of cv . ' Tempranillo ' under semiarid conditions. Scientia Horticulturae 109, 60–65. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.03.003

Santo, S.D., Tornielli, G.B., Zenoni, S., Fasoli, M., Farina, L., Anesi, A., Guzzo, F., Delledonne, M., Pezzotti, M., 2013. The plasticity of the grapevine berry transcriptome. Genome Biology 14. https://doi.org/10.1186/gb-2013-14-6-r54

Schmidhuber, J., Tubiello, F.N., 2016. Global food security under climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences 104, 19703–19708. https://doi.org/10.1073/pnas.0701976104

Schultz, H.R., 2003. Isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown Vitis.pdf. Plant, Cell and Environment 26, 1393–1405.

Schultz, H.R., 2000. Climate change and viticulture : A European perspective on climatology , carbon dioxide and UV-B effects. Australian Journal of Grape and Wine Research 6, 2–12.

Sgubin, G., Swingedouw, D., Dayon, G., Cortázar-atauri, I.G. De, Ollat, N., Pagé, C., Leeuwen, C. Van, 2018. The risk of tardive frost damage in French vineyards in a changing climate Agricultural and Forest Meteorology The risk of tardive frost damage in French vineyards in a changing climate. Agricultural and Forest Meteorology 250–251, 226–242. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.253

Silva, A., Noronha, H., Dai, Z., Delrot, S., Gerós, H., 2017. Low source – sink ratio reduces reserve starch in grapevine woody canes and modulates sugar transport and metabolism at transcriptional and enzyme activity levels. Planta 246, 525–535. https://doi.org/10.1007/s00425-017-2708-6

Silvestroni, O., Lanari, V., Lattanzi, T., Dottori, E., Palliotti, A., 2020. Effects of anti-transpirant di-1- p -menthene , sprayed post-veraison , on berry ripening of Sangiovese grapevines with different crop loads. Australian Journal of Grape and Wine Research 26, 363–371. https://doi.org/10.1111/ajgw.12456

Smith, H.M., Samach, A., 2013. Constraints to obtaining consistent annual yields in perennial tree crops. I: Heavy fruit load dominates over vegetative growth. Plant Science 207, 158–167. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.02.014

Smith, J.P., Holzapfel, B.P., 2009. Cumulative Responses of Semillon Grapevines to Late Season Perturbation of Carbohydrate Reserve Status. American Journal of Enology

and Viticulture 60, 461–470.

Soar, C.J., Speirs, J., Maffei, S.M., Penrose, A.B., McCarthy, M.G., Loveys, B.R., 2006. Grape vine varieties Shiraz and Grenache differ in their stomatal response to VPD: Apparent links with ABA physiology and gene expression in leaf tissue. Australian Journal of Grape and Wine Research 12, 2–12. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2006.tb00038.x

Srinivasan, C., Mullins, M.G., 1980. Physiology of Flowering In The Grapevine - A Review. American Journal of Enology and Viticulture 32, 47–63.

Stern, N., 2008. The Economics of Climate Change. American Economic Review: Papers & Proceedings 98, 1–37. https://doi.org/10.1257/aer.98.2.1

Teixeira, A., Eiras-Dias, J., Castellarin, S.D., Gerós, H., 2013. Berry phenolics of grapevine under challenging environments. International Journal of Molecular Sciences 14, 18711–18739. https://doi.org/10.3390/ijms140918711

Terral, J.-F., Elidie, T., Bouby, L., Ivorra, S., Pastor, T., Figueiral, I., Picq, S., Chevance, J., Fabre, L., Tardy, C., Compan, M., Bacilieri, R., Lacombe, T., This, P., 2010. Evolution and history of grapevine (Vitis vinifera) under domestication : new morphometric perspectives to understand seed domestication syndrome and reveal origins of ancient European cultivars. Annals of Botany 105, 443–455. https://doi.org/10.1093/aob/mcp298

Tessarin, P., Parpinello, G.P., Rombolà, A.D., 2018. Physiological and Enological Implications of Postveraison Trimming in an Organically-Managed Sangiovese Vineyard. American Journal of Enology and Viticulture 69, 59–69. https://doi.org/10.5344/ajev.2017.16045

Tilbrook, J., Tyerman, S.D., 2008. Cell death in grape berries: Varietal differences linked to xylem pressure and berry weight loss. Functional Plant Biology 35, 173–184. https://doi.org/10.1071/FP07278

Tol, R.S.J., 2009. The Economic Effects of Climate Change. Journal of Economic Perspectives 23, 29–51.

Tonietto, J., Carbonneau, A., 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. Agricultural and Forest Meteorology 124, 81–97. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001

Valentini, G., Allegro, G., Pastore, C., Colucci, E., Filippetti, I., 2018. Post-veraison trimming slow down sugar accumulation without modifying phenolic ripening in Sangiovese vines. Journal of the Science of Food and Agriculture 99, 1358–1365. https://doi.org/10.1002/jsfa.9311

Van Meijl, H., Havlik, P., Lotze-Campen, H., Stehfest, E., Witzke, P., Domínguez, I.P., Bodirsky, B.L., Van Dijk, M., Doelman, J., Fellmann, T., Humpenöder, F., Koopman, J.F.L., Müller, C., Popp, A., Tabeau, A., Valin, H., Van Zeist, W.J., 2018. Comparing impacts of climate change and mitigation on global agriculture by 2050.

Environmental Research Letters 13. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabdc4

Vanderweide, J., Frioni, T., Ma, Z., Stoll, M., Poni, S., Sabbatini, P., 2020. Early leaf removal as a strategy to improve ripening and lower cluster rot in cool climate (Vitis vinifera l.) pinot grigio. American Journal of Enology and Viticulture 71, 70–79. https://doi.org/10.5344/ajev.2019.19042

Varavuth, S., Jiraratananon, R., Atchariyawut, S., 2009. Experimental study on dealcoholization of wine by osmotic distillation process. Separation and Purification Technology 66, 313–321. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2008.12.011

Varela, C., Dry, P.R., Kutyna, D.R., Francis, I.L., Henschke, P.A., Curtin, C.D., Chambers, P.J., 2015. Strategies for reducing alcohol concentration in wine. Australian Journal of Grape and Wine Research 21, 670–679. https://doi.org/10.1111/ajgw.12187

Vasconcelos, M.C., Koblet, W., 1990. Yield, fruit quality, bud fertility and starch reserves of the wood as a function of leaf removal - evidence of compensation and stress recovering. Vitis 29, 199–221.

Vitrac, X., Larronde, F., Krisa, S., Decendit, A., Deffieux, G., Mérillon, J.M., 2000. Sugar sensing and Ca2+-calmodulin requirement in Vitis vinifera cells producing anthocyanins. Phytochemistry 53, 659–665. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(99)00620-2

Walker, R.R., Blackmore, D.H., Clingeleffer, P.R., Kerridge, G.H., Rühl, E.H., Nicholas, P.R., 2005. Shiraz berry size in relation to seed number and implications for juice and wine composition. Australian Journal of Grape and Wine Research 11, 2–8.

Wheeler, T., von Braun, J., 2021. Climate Change Impacts on Global Food Security. Science 341, 508–513. https://doi.org/10.1126/science.1239402

Wilkie, J.D., Sedgley, M., Olesen, T., 2008. Regulation of floral initiation in horticultural trees. Journal of Experimental Botany 59, 3215–3228. https://doi.org/10.1093/jxb/ern188

Zarrouk, O., Francisco, R., Pinto-marijuan, M., Brossa, R., Raissa, R., Pinheiro, C., Miguel, J., Lopes, C., Manuela, M., 2012. Impact of irrigation regime on berry development and flavonoids composition in Aragonez (Syn . Tempranillo) grapevine. Agricultural Water Management 114, 18–29. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.018

Zhang, Y., Keller, M., 2015. Grape Berry Transpiration Is Determined by Vapor Pressure Deficit , Cuticular Conductance , and Berry Size. American Journal of Enology and Viticulture 4, 454–462. https://doi.org/10.5344/ajev.2015.15038