

# UNIVERSITÀ CATTOLICA DEL SACRO CUORE

Facoltà di Scienze agrarie, alimentari e ambientali

Corso di Laurea Magistrale  
in Agricoltura Sostenibile e di Precisione

NUOVE TECNICHE DI GESTIONE DEL SUOLO  
PER PROMUOVERE LA RESILIENZA IDRICA DEL VIGNETO

Relatore:

Chiar.mo Prof. Matteo Gatti

Tesi di Laurea di  
Pelusi Francesco  
matr. n°. 5108990

---

anno accademico 2022/2023

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Il cambiamento climatico .....</b>	<b>4</b>
1.1.1. Cause ed effetti evidenziati .....	4
1.1.2. Prospettive e scenari futuri .....	5
<b>1.2. Il cambiamento climatico in Europa .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3. Il cambiamento climatico su scala regionale.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4. Fronteggiare il cambiamento climatico: adattamento e mitigazione in agricoltura .....</b>	<b>9</b>
1.4.1. Implicazioni fisiologiche in risposta a variazioni ambientali .....	12
1.4.2. Valutazione delle caratteristiche genotipiche .....	13
1.4.4. Cambiamento climatico e redistribuzione geografica della viticoltura .....	17
1.4.5. Effetti del cambiamento climatico sulla qualità delle uve .....	19
1.4.6. Possibili strategie di adattamento per il controllo della dinamica di maturazione .....	21
1.4.7. Effetti del cambiamento climatico sulle caratteristiche e la funzionalità dei suoli.....	23
1.4.8. Gestione del suolo: possibilità di adattamento e mitigazione del climate change .....	24
Apporto di biochar .....	24
Impiego di compost e vermicompost .....	25
Impiego di materiali inorganici: le zeoliti .....	25
Impiego dei polimeri idrogel .....	25
Il ruolo dei funghi micorrizici .....	27
1.4.9. Gestione conservativa: impiego della pacciamatura e delle cover crop .....	27
1.4.9.1. Utilizzo delle cover crop.....	29
Possibili meccanismi di competizione .....	29
Effetti della presenza di cover crop in areale mediterraneo .....	30
Effetti della presenza di cover crop in areale umido-temperato .....	31
Possibili approcci per fronteggiare eccessi competitivi nella stagione in corso.....	33
Covercropping e emissioni gassose.....	34
1.4.9.2. Utilizzo della pacciamatura .....	34
Scenario RCP 8.5: pacciamatura e adattamento al climate change .....	35
Effetti sulla capacità di ritenzione idrica del suolo pacciamato .....	36
Effetti sulla dinamica della sostanza organica nel suolo .....	36
1.4.9.3. Gestione conservativa del suolo: cenni di valutazione economica .....	38
<b>2. OBIETTIVI SPERIMENTALI .....</b>	<b>43</b>
<b>3. MATERIALI E METODI.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1. Caratteristiche del vigneto .....</b>	<b>45</b>
3.1.1. Caratteristiche pedologiche.....	45
3.1.2. Caratteristiche del vitigno .....	46
3.1.3. Caratteristiche del portinnesto .....	46
<b>3.2. Disegno sperimentale .....</b>	<b>46</b>
3.2.1. Caratteristiche dei miscugli utilizzati .....	47
3.2.2. Modalità di terminazione degli inerbimenti.....	48
<b>3.3. Applicazione delle tesi.....</b>	<b>50</b>
<b>3.4. Parametri vegeto-produttivi e caratterizzazione fisiologica.....</b>	<b>50</b>
<b>3.5. Analisi chimiche delle uve .....</b>	<b>52</b>
<b>3.6. Analisi statistica.....</b>	<b>53</b>
<b>4. RISULTATI.....</b>	<b>54</b>

<b>4.1.</b>	<b>Andamento meteorologico, proprietà pedologiche e determinazione della biomassa prodotta</b>	<b>54</b>
<b>4.2.</b>	<b>Stato idrico del suolo e risposte fisiologiche.....</b>	<b>55</b>
4.2.1.	<i>Trattamenti BA e CA.....</i>	<i>55</i>
	<i>Valutazione del potenziale idrico del suolo .....</i>	<i>55</i>
	<i>Valutazione del potenziale idrico fogliare .....</i>	<i>56</i>
	<i>Valutazione di assimilazione, traspirazione, conduttanza stomatica e WUE .....</i>	<i>56</i>
4.2.2.	<i>Trattamenti BP e CP.....</i>	<i>57</i>
	<i>Valutazione del potenziale idrico del suolo .....</i>	<i>57</i>
	<i>Valutazione del potenziale idrico fogliare .....</i>	<i>58</i>
	<i>Valutazione di assimilazione, traspirazione, conduttanza stomatica e WUE .....</i>	<i>58</i>
4.2.3.	<i>Trattamenti BS e CS.....</i>	<i>59</i>
	<i>Valutazione del potenziale idrico del suolo .....</i>	<i>59</i>
	<i>Valutazione del potenziale idrico fogliare .....</i>	<i>60</i>
	<i>Valutazione di assimilazione, traspirazione, conduttanza stomatica e WUE .....</i>	<i>61</i>
<b>4.3.</b>	<b>Risposte vegeto-produttive .....</b>	<b>61</b>
<b>4.4.</b>	<b>Composizione chimica delle uve .....</b>	<b>63</b>
<b>5.</b>	<b>DISCUSSIONE.....</b>	<b>65</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>82</b>
<b>7.</b>	<b>TABELLE, GRAFICI E FIGURE.....</b>	<b>83</b>
<b>9.</b>	<b>SITOGRAFIA .....</b>	<b>117</b>

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1. Il cambiamento climatico

### *1.1.1. Cause ed effetti evidenziati*

La Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC) del 1992 definisce il cambiamento climatico come “un cambiamento nelle caratteristiche del clima che è attribuito direttamente o indirettamente all’attività umana la quale modifica la composizione dell’atmosfera terrestre e che si aggiunge alla naturale variabilità climatica osservata in periodi di tempo paragonabili”. Tale definizione mette in evidenza due elementi fondamentali: il primo riguarda la variabilità intrinseca che contraddistingue il clima mentre il secondo è rappresentato dal ruolo giocato dall’attività umana nel modificare la composizione gassosa dell’atmosfera. La variabilità intrinseca del clima è testimoniata dagli studi di paleoclimatologia che sono stati condotti nel corso degli anni e che hanno evidenziato l’esistenza di una variabilità climatica riferibile ad una scala temporale che varia dalla dimensione dei cicli glaciali – interglaciali fino alla dimensione secolare. Si tratta di studi che sono stati condotti mediante l’analisi dei sedimenti oceanici e l’impiego della tecnica del carotaggio dei ghiacci permanenti. Quest’ultima si basa sulla possibilità di effettuare analisi chimico-fisiche da relazionare direttamente a condizioni atmosferiche riferite al passato o addirittura di effettuare direttamente analisi su piccoli volumi di aria residua all’interno del ghiaccio stesso. L’elevata variabilità climatica riscontrata su un ampio spettro di durate temporali, di dimensioni spaziali e di ampiezze di escursione impone che, di volta in volta, le cause della stessa siano ricercate in eventi compatibili con quella che è la dimensione temporale, spaziale e di ampiezza del caso specifico considerato. Il sistema climatico viene dunque descritto come estremamente dinamico e legato strettamente alle variazioni registrate a carico dei forzanti climatici le quali sono per giunta in grado di determinare l’insorgenza di meccanismi di feedback negativi e positivi in grado di amplificare gli effetti di tali fattori perturbativi. All’interno di questo scenario, l’introduzione di un nuovo forzante rappresentato dall’uomo e dalla sua attività diviene motivo di interrogativi rispetto a quelle che sono le prospettive future per il pianeta (Orombelli G., 2005). Per questo motivo, a partire dal 1990, il Gruppo Intergovernativo sul Cambiamento Climatico (IPCC) ogni sei anni pubblica un report di analisi delle informazioni disponibili a livello mondiale riguardo il cambiamento climatico valutato utilizzando un approccio scientifico e socioeconomico. L’ultimo report IPCC pubblicato descrive una situazione planetaria estremamente delicata. Basti pensare che dal 1880 al

2020 è stato registrato un incremento della concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub> pari al 47% con un parallelo aumento della temperatura atmosferica compreso tra 0.8 e 1.2°C. È stato evidenziato dunque il raggiungimento di concentrazioni cumulate di CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O che risultano essere senza precedenti rispetto almeno agli ultimi 800000 anni. Questo aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> ha come cause principali l'utilizzo dei combustibili fossili, la produzione cementifera e i cambiamenti d'uso del terreno, in particolar modo la deforestazione. È evidente, dunque, il legame tra l'avvio dell'attività industriale da parte dell'uomo e la modifica di queste caratteristiche ambientali. L'aumento della concentrazione di questo gas ha inoltre determinato delle conseguenze importanti anche a carico degli oceani che, assorbendo circa il 30% della CO<sub>2</sub> atmosferica di origine antropica, a partire dall'età preindustriale sono stati interessati da un processo di acidificazione delle acque che si è concretizzato in una diminuzione media di 0.1 unità di pH corrispondente ad un aumento della concentrazione di idrogenioni in acqua pari a +27%. Il ruolo dell'uomo si materializza inoltre in un contributo al forzante totale pari a 2.29W/m<sup>2</sup> misurato nel 2011 rispetto al 1750.

### *1.1.2. Prospettive e scenari futuri*

Le implicazioni di questa condizione in continuo mutamento sono numerose. Diventa sempre più concreta infatti la possibilità che, a causa della modificata frequenza e intensità dei fenomeni meteorici estremi, si possa assistere, dal punto di vista ambientale, alla scomparsa di biodiversità animale e vegetale o alla modifica di equilibri ecosistemici, mentre, dal punto di vista socioeconomico, questo potrebbe avere delle ripercussioni pesanti a carico della popolazione. Essa, infatti, risulterebbe essere esposta maggiormente a scarsa disponibilità idrica e alimentare. Allo stesso tempo verrebbe danneggiata anche la qualità delle stesse produzioni alimentari. Altro aspetto fondamentale potrebbe essere quello relativo alla possibilità di assistere ad una maggiore diffusione di patogeni e di vettori di malattie come diretta conseguenza della modifica delle condizioni ambientali. Tali conseguenze sarebbero ancora più impattanti nel caso delle fasce più povere della popolazione. Inoltre, non bisogna trascurare la possibilità che questi cambiamenti possano sfociare in futuro in guerre climatiche e tensioni sociali sempre più frequenti. Si tratta infatti di conseguenze che vengono previste all'interno degli scenari climatici analizzati dall'IPCC. A fronte di tale situazione, l'IPCC ha provveduto alla pubblicazione di un report finalizzato alla definizione di un percorso che potesse portare al contenimento dell'incremento termico entro 1.5°C rispetto all'epoca

preindustriale e questo limite di temperatura, fissato nella conferenza di Parigi del 2015, risulta essere più stringente rispetto al limite di 2°C di incremento che era stato invece individuato nella conferenza di Cancún del 2010. Nel report IPCC “Special Report on 1.5 degrees Celsius” si evidenzia che, sebbene le conseguenze del cambiamento climatico siano estremamente differenziate anche in base alla posizione geografica considerata, il contenimento dell’incremento termico entro 1.5°C rispetto ai 2°C potrebbe ridurre di diverse centinaia di milioni il numero delle persone esposte ai rischi legati al clima e al rischio di povertà entro il 2050. Per quanto riguarda la presenza di ghiacci permanenti sulla Terra, gli scenari prodotti permettono di affermare che, qualora l’incremento della temperatura superasse il limite di 1.5°C, si registrerebbe un innalzamento del livello del mare di ulteriori 0.1 m rispetto allo scenario più ottimistico come diretta conseguenza dello scioglimento della calotta glaciale artica e dei ghiacci della Groenlandia. Parallelamente a ciò, sarebbe necessario considerare anche il fenomeno dello scongelamento del permafrost per un’area compresa tra 1.5 e 2.5 milioni di chilometri quadrati in più rispetto allo scenario più ottimistico. Diviene quindi necessario interrogarsi su quelle che sono le possibilità di intervento nei confronti di un fenomeno di così grande portata: affinché si possa parlare di contenimento dell’innalzamento termico, bisogna quindi puntare ad un consistente abbattimento delle emissioni di gas clima-alteranti tra cui, è noto, la CO<sub>2</sub> ricopre un ruolo fondamentale. Il report IPCC evidenzia come le misure di mitigazione che sono state formulate in seguito alla conferenza di Parigi abbiano però mostrato una certa inadeguatezza rispetto al limite di incremento pari a 1.5°C. Affinché questo obiettivo sia realizzabile, sarebbe infatti necessario che l’uomo riuscisse a ridurre di circa il 45% le emissioni entro il 2030 rispetto ai livelli del 2010 per poter poi raggiungere un livello di emissione pari a zero nel 2050. Questo però potrebbe non essere sufficiente. Difatti, per prevenire l’ulteriore riscaldamento derivante da potenziali effetti feedback del sistema Terra e per invertire la tendenza all’acidificazione delle acque oceaniche, potrebbe essere necessario puntare al raggiungimento di un bilancio negativo di emissioni antropogeniche e anche alla diminuzione del forzante radiativo originato da fattori differenti dalla CO<sub>2</sub>.

## **1.2. Il cambiamento climatico in Europa**

Le mutate condizioni climatiche rappresentano una minaccia da non sottovalutare anche per l’Italia, come per altri Paesi del bacino del Mediterraneo, primi tra tutti Spagna e Francia. Sulla base delle informazioni fornite dall’IPCC, la Fondazione CMCC, che ospita il Focal

Point IPCC per l'Italia, ha messo in evidenza che in Europa è possibile individuare quattro categorie di rischio il cui livello aumenta all'incrementare dell'intensità del cambiamento climatico. Esse sono rappresentate da:

- Rischi legati alle ondate di calore registrati a carico della popolazione e degli ecosistemi
- Rischi per le produzioni agricole
- Rischi di scarsità delle risorse idriche
- Rischi associati all'incremento della frequenza e dell'intensità delle inondazioni

Per quanto riguarda i primi tre punti si evidenzia come l'Europa meridionale presenti un livello di suscettibilità nettamente superiore rispetto al resto del continente. Nello specifico, per quanto riguarda le produzioni agricole si può affermare che la combinazione tra incremento della temperatura e incremento della siccità come diretta conseguenza della alterazione dei regimi pluviometrici e dell'incremento dell'evapotraspirazione porterebbe nel XXI secolo ad una netta riduzione delle produzioni, non sufficientemente compensata da quelli che sono i guadagni attesi nelle regioni dell'Europa settentrionale come conseguenza del miglioramento delle condizioni necessarie per la coltivazione. Altro problema fondamentale è rappresentato dalla disponibilità di risorse idriche: ammettendo di riuscire a contenere l'aumento della temperatura entro 1,5°C, la scarsità delle risorse idriche verrebbe ad interessare il 18% della popolazione europea. La prospettiva invece di un incremento termico fino a 3°C potrebbe estendere il rischio associato a questa mancanza in modo consistente anche alle regioni dell'Europa centro-occidentale. Sebbene invece il dato relativo all'innalzamento del livello dei mari sia in linea con quello che è il tasso di incremento calcolato a livello mondiale, è importante ricordare che questo fenomeno potrebbe avere delle ripercussioni anche a lungo termine a carico dell'attività agricola. Si parla infatti di aumento dell'intensità dell'erosione degli ambienti costieri, della frequenza e dell'intensità delle inondazioni e infine dell'incremento della salinizzazione delle falde e delle acque destinabili all'irrigazione delle colture (Lionello et al., 2022).

### 1.3. Il cambiamento climatico su scala regionale

I dati messi in evidenza determinano la necessità che il clima e le sue modificazioni vengano seguite con un particolare livello di attenzione anche su scala nazionale e regionale. Nello specifico, in Emilia-Romagna dal 2016 è attiva l'Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia (Arpae) che, attraverso una rete capillare di strutture distribuite sul territorio, ha come mission quella di *“assicurare le autorizzazioni e concessioni, il*

*monitoraggio, il controllo e la prevenzione ambientali per favorire la sostenibilità, la tutela della salute, la sicurezza del territorio e la valorizzazione delle risorse e della conoscenza ambientale*". Prendendo in considerazione due documenti prodotti dall'Arpa, è possibile affrontare il tema del cambiamento climatico facendo riferimento a due scale temporali di ampiezza diversa. L'Atlante climatico dell'Emilia-Romagna 1961-2015 nella sua edizione del 2017 mette in evidenza che la rete di monitoraggio ha registrato degli aumenti di temperatura che interessano tutte le stagioni. Nello specifico, analizzando i dati del periodo 1991-2015 rispetto a quelli del periodo 1961-1990, è stato registrato un incremento delle temperature medie regionali pari a 1,1°C. Per quanto riguarda invece le precipitazioni l'indagine ha evidenziato una riduzione di quest'ultime pari a 22 mm. L'aspetto fondamentale da prendere in considerazione è però rappresentato dalla variazione qualitativa che interessa le precipitazioni annue: è possibile, infatti, notare un cambiamento a carico del regime pluviometrico che porta alla individuazione di estati più siccitose e autunni tendenzialmente più piovosi. Facendo riferimento ad una scala temporale più ristretta e recente, si ricordi che nel Rapporto IdroMeteoClima Emilia-Romagna 2021 è emerso che l'anno oggetto di analisi, per quanto riguarda l'andamento termico, è risultato essere meno caldo dei precedenti, con una temperatura media annua che è in linea con quelle del periodo di confronto 1991-2020. È stata però registrata comunque un'anomalia termica positiva di 1,1°C rispetto al periodo di lungo termine 1961-1990. Nel dettaglio, è possibile evidenziare che il periodo primaverile è stato caratterizzato dalla presenza di due gelate che hanno interessato in modo differenziato il territorio registrando però temperature inferiori ai -4°C in zone di pianura, tant'è che infatti il mese di aprile è risultato essere il più freddo degli ultimi 30 anni. Di contro il mese di giugno è stato individuato come uno tra i sei più caldi dal 1961 e le temperature medie estive si sono mantenute a lungo al di sopra della media calcolata sulla base dei dati registrati dal 1991 al 2020, tant'è che infatti non sono state assenti ondate di calore: la più intensa è stata registrata dal 12 al 16 agosto quando a Brisighella, località sui rilievi romagnoli, sono stati superati i 40°C. Analizzando invece le precipitazioni verificatesi nel 2021, è possibile affermare che l'inizio dell'anno si è mostrato come poco piovoso ma in linea con il periodo di riferimento 1991-2020. Fenomeni siccitosi hanno aumentato la loro intensità a partire dal mese di giugno protraendosi localmente, dopo una piccola interruzione nel mese di settembre, fino ad ottobre, permettendo quindi di definire l'estate 2021 la terza meno piovosa dal 1961. Questo fenomeno ha contribuito anche alla diminuzione del livello del Po che è stato interessato da anomalie negative particolarmente intense nei mesi tra marzo e giugno e tra settembre e dicembre. Non sono state sufficienti le precipitazioni registrate negli ultimi due mesi dell'anno per ottenere

un bilancio idroclimatico positivo: esso si attesta infatti ad un valore medio regionale di -370 mm rispetto alla media del periodo 1961/2020, con picchi di -800 mm raggiunti nel territorio tra Modena e Reggio Emilia. Il quadro delineato mette quindi in evidenza chiaramente come anche l'Emilia-Romagna sia direttamente interessata dalle implicazioni negative che derivano dal cambiamento climatico (Pavan et al., 2022). È altrettanto importante ricordare che, essendo le conseguenze del cambiamento climatico tipicamente instabili e poco prevedibili, potrebbero sorgere degli interrogativi non indifferenti rispetto alle condizioni che si registreranno in futuro, soprattutto qualora i trend dovessero conservarsi pari a quelli attualmente tracciati. Per questo motivo, affinché ci sia compatibilità tra le attività produttive e il contesto ambientale, diventa prioritario capire qual è l'atteggiamento che bisogna adottare nei confronti della questione climatica.

#### **1.4. Fronteggiare il cambiamento climatico: adattamento e mitigazione in agricoltura**

Preso consapevolezza, dunque, di quella che è la situazione, parallelamente ad un'analisi del quadro generale, è fondamentale andare a considerare quali siano le misure che possono essere adottate per fare in modo che gli obiettivi fissati siano realizzabili. È quindi importante sottolineare come, a fronte di una situazione caratterizzata da diversi gradi di vulnerabilità delle varie aree mondiali che hanno come conseguenza una forte variabilità degli impatti del clima, l'IPCC abbia definito due approcci fondamentali per affrontare il cambiamento climatico: essi si concretizzano nella formulazione del concetto di adattamento e di mitigazione. Nel terzo report IPCC sul cambiamento climatico (2001), l'adattamento viene definito come *“la risposta di un sistema naturale o umano ad una variazione attuale o futura del clima in modo da ridurre i potenziali danni, cogliere i benefici e affrontare le conseguenze”*. La definizione appena enunciata indica dunque quali sono gli atteggiamenti che si possono assumere nei confronti di un evento dando per assodato il verificarsi di quest'ultimo. Si tratta quindi di un atteggiamento di adeguamento che un sistema specifico mette in atto nei confronti delle modificazioni indotte da un fattore esterno quale il clima come diretta conseguenza di emissioni che si sono verificate in passato (Schiavon S. et al, 2007). Nel report *“Climate Change 2007: The Physical Science Basis”* prodotto dal gruppo di lavoro I dell'IPCC, la mitigazione viene definita invece come *“l'azione umana volta a ridurre le sorgenti o ad aumentare i pozzi di assorbimento dei gas serra”*. In questo caso viene dunque messo in evidenza un ruolo attivo dell'uomo nei confronti di quella che è la causa primaria del cambiamento climatico: ci si riferisce quindi in modo chiaro ed esplicito alle fonti di emissione dei gas serra e alle possibilità invece di andare ad assorbire, e dunque

immobilizzare, parte dei gas già presenti in atmosfera in modo da ridurre la concentrazione. Questi due concetti fondamentali rappresentano il punto di partenza per lo sviluppo di vere e proprie strategie di adattamento e strategie di mitigazione. Un'analisi per settore su quelle che sono le principali strategie di adattamento, la loro applicabilità e il loro effetto viene riportata nel documento di sintesi per i decisori politici del Sesto Report IPCC. Nello specifico, per quanto riguarda il settore agricolo, tra le principali possibilità vengono ricordate strategie che prevedono il miglioramento nella selezione varietale e la diversificazione delle produzioni agricole a livello aziendale. Strategie di fondamentale importanza riguardano inoltre la gestione dell'acqua: diventa quindi prioritario applicare tecniche agronomiche che possano massimizzare l'accumulo di acqua all'interno del suolo e il mantenimento del suo livello di umidità nel tempo. Un ruolo chiave è giocato naturalmente dalla possibilità di sfruttare l'irrigazione che rappresenta un elemento fondamentale per ridurre l'entità del rischio derivante da siccità. È altrettanto vero che, in un contesto in cui la risorsa idrica rappresenta un fattore sempre più limitante, sarà necessario avvalersi di validi programmi di gestione della stessa, onde evitare che, mediante il ricorso all'irrigazione, si finisca per incrementare la velocità di esaurimento delle riserve idriche e per aumentare, nel lungo periodo, la salinità dei suoli agricoli con conseguenze importanti sulle produzioni. Nello stesso documento, si mette in evidenza come, sebbene la presenza delle attuali strategie di adattamento abbia già dimostrato la capacità di portare a dei benefici, esista tuttavia una differenza notevole tra quelli che sono i livelli di adattamento messi in atto e quelli che invece sarebbero necessari per fronteggiare gli impatti e ridurre i rischi climatici. Questa affermazione trova spiegazione nel fatto che le misure di adattamento attuale, valutate su scala globale, presentano un'organizzazione frammentaria, molto orientata a quelli che sono gli obiettivi di singoli settori specifici e soprattutto pensata per far fronte a rischi di breve periodo. Altro aspetto importante che testimonia una condizione di inadeguatezza è rappresentato dal fatto che esiste un divario consistente tra quelli che sono i costi da sostenere per le pratiche di adattamento e quelli che sono i fondi effettivamente ad esse destinati.

Analizzando invece le caratteristiche del processo di mitigazione appare evidente che anche questo risulta essere declinabile in settori differenti. Attualmente una delle problematiche maggiormente evidenziata a tal riguardo è quella relativa alla presenza di barriere di mercato, intendendo con questa espressione l'insieme delle condizioni che ostacolano la diffusione di tecnologie e pratiche che potrebbero mitigare gli effetti indesiderati. In ogni caso è fondamentale sottolineare due aspetti: il primo è relativo al fatto che l'approccio mitigativo passa anche attraverso i cambiamenti dello stile di vita delle persone e del loro

comportamento, il secondo riguarda invece una valutazione di tipo costi-benefici. È infatti possibile affermare che, sebbene gli studi condotti abbiano utilizzato delle metodologie differenti, in tutte le aree del mondo è stato evidenziato che i vantaggi per la salute che deriverebbero dall'applicazione di queste pratiche riuscirebbero a compensare ampiamente i costi di mitigazione che potrebbero essere ulteriormente abbattuti considerando tutti gli effetti positivi registrati a carico della maggiore sicurezza energetica e della produttività agricola. Nello specifico, l'attività agricola offre diverse possibilità di mitigazione che sono già in parte disponibili in ottica commerciale. Esse possono essere riassunte come segue (Schiavon et al., 2007):

- Miglioramento della gestione dell'attività di pascolo e della gestione del raccolto al fine di incrementare l'accumulo di carbonio nel suolo
- Bonifica di terreni paludosi
- Miglioramento delle tecniche di gestione della risaia
- Miglioramento della gestione dell'attività di allevamento in modo da ridurre le emissioni di metano
- Miglioramento della pratica di concimazione per evitare il verificarsi di emissioni di gas azotati
- Miglioramento dell'efficienza nell'uso dei combustibili fossili o sostituzione di questi.

Si tratta quindi di interventi che possono essere definiti come mitigativi nei confronti del cambiamento climatico perché, pur facendo riferimento a contesti produttivi diversi, saranno accumulati dalla capacità di evitare ulteriori emissioni gassose in atmosfera.

Sempre con riferimento all'ambito agronomico, è importante inoltre fare riferimento ad un insieme di tecniche che ci permetterebbero di andare a sfruttare al meglio il suolo come serbatoio di carbonio. Prima tra tutte una gestione più conservativa di questa risorsa al fine di evitare l'eccessiva mineralizzazione della sostanza organica favorendone invece l'accumulo. Diventa poi fondamentale ricorrere ad adeguate rotazioni colturali, ad una gestione ottimale dei residui delle diverse colture, all'impiego di pacciamature e di concimazioni organiche. Tutti questi aspetti contribuiscono infatti alla creazione di condizioni più favorevoli al progressivo stoccaggio di carbonio all'interno del suolo.

Per capire quindi come queste linee guida di strategie di adattamento e mitigazione possano essere declinate in agricoltura, con particolare riferimento all'ambito viticolo, è necessario prima considerare quelle che sono le conseguenze principali imputabili al cambiamento climatico che si registrano nel settore di interesse in modo da valutare quali siano i margini di intervento ancora disponibili e quale sia l'impatto delle tecniche comunemente messe in atto.

Diventa quindi fondamentale andare a considerare alcuni temi degni di nota relativi agli effetti che le modifiche indotte dal cambiamento climatico ci permettono di registrare a carico di:

- Aspetti della fisiologia vegetale
- Lunghezza della stagione di crescita
- Agro-fenologia
- Variabilità produttiva
- Esigenze idriche e qualità delle produzioni

#### *1.4.1. Implicazioni fisiologiche in risposta a variazioni ambientali*

È evidente che un aumento della concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub> possa determinare delle conseguenze importanti a carico della fisiologia della vite in quanto l'attività fotosintetica da essa condizionata rappresenta il processo metabolico fondamentale per i vegetali. Trattandosi di una specie con metabolismo C3, il primo aspetto da sottolineare è rappresentato, in condizioni attuali, dalla limitazione dell'attività enzimatica della Rubisco come conseguenza della concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub> rispetto a quelle che sono le sue potenzialità di carbossilazione (Ainsworth et Rogers A., 2007). Questo quindi, a fronte di un aumento della CO<sub>2</sub> atmosferica e in assenza di altri fattori di stress, verrebbe a tradursi in un incremento del tasso di assimilazione del carbonio e della crescita vegetativa (Bowes, 1993). In ogni caso è stato evidenziato che, lavorando in ambienti controllati e arricchiti in CO<sub>2</sub>, la vite, dopo una fase di progressivo acclimatamento a queste nuove condizioni ambientali, mostra una diminuzione del valore della fotosintesi netta giustificato dall'effetto di diluizione dell'azoto all'interno dei tessuti fogliari che finisce quindi per limitare l'intensità dei processi fotochimici (Clemens M. et al., 2022). In ogni caso è fondamentale ricordare che gli effetti a carico dell'attività fotosintetica non sono ascrivibili esclusivamente alle variazioni delle concentrazioni dei gas atmosferici: acquisiscono infatti particolare importanza fattori quali temperatura e disponibilità di acqua (Wohlfart et al., 2018). È possibile, infatti, evidenziare la presenza di effetti positivi determinati a carico del metabolismo delle viti in presenza di uno scenario caratterizzato da elevate concentrazioni di CO<sub>2</sub> e contenuta disponibilità di acqua. Il primo vantaggio sarebbe rappresentato dalla parziale chiusura degli stomi come risposta in difesa dall'eccessiva disidratazione dei tessuti. Di conseguenza, questo verrebbe a tradursi in una maggiore disponibilità di acqua all'interno del suolo come diretta conseguenza della riduzione dei consumi traspirativi da parte della coltura. Infine, si verrebbe a registrare un aumento dell'accumulo di amido

all'interno delle strutture permanenti che potrebbe mostrare la sua utilità nella regolazione osmotica delle cellule nel momento in cui si dovesse andare incontro a siccità. Grazie anche a adattamenti morfologici come, ad esempio, la riduzione della densità stomatica, quanto detto finora si traduce in un generalizzato aumento della WUE (Clemens M. et al., 2022). È altrettanto importante ricordare che l'apertura degli stomi ricopre un ruolo fondamentale anche per la regolazione termica dei tessuti vegetali. Questo significa quindi che andando a valutare contemporaneamente gli effetti di elevate concentrazioni di CO<sub>2</sub>, incrementi termici e ridotta disponibilità di acqua si può osservare la mancata riduzione della conduttanza stomatica ( $g_s$ ) appena evidenziata, motivata dalla necessità di evitare che all'interno dei tessuti si raggiungano temperature al di sopra dei 35°C e in grado, dunque, di compromettere irreversibilmente l'attività enzimatica della Rubisco. Si può quindi affermare che la vite non è in grado di andare beneficiare, dal punto di vista fotosintetico, nel lungo periodo, di elevate concentrazioni di CO<sub>2</sub> in quanto tale attività tenderà ad essere limitata dalla scarsa disponibilità di acqua nel suolo e dai valori termici soglia per l'attività enzimatica della Rubisco, condizioni che, in un contesto di cambiamento climatico, tendono solitamente a manifestarsi in modo simultaneo alla variata disponibilità atmosferica di CO<sub>2</sub> (Clemens M. et al., 2022).

#### 1.4.2. Valutazione delle caratteristiche genotipiche

Avendo introdotto il tema relativo alla disponibilità idrica e alla capacità della vite di rispondere attivamente per fronteggiare la presenza di questo fattore limitante, è opportuno fare un'analisi di quella che è una certa variabilità intra-specifica rintracciabile e potenzialmente da sfruttare per mitigare gli effetti del cambiamento climatico. Sebbene infatti la presenza di meccanismi attivi e passivi per la regolazione dell'apertura degli stomi sia una caratteristica trasversale alle diverse specie, all'interno di *Vitis vinifera*, considerando varietà distinte, si evidenziano differenze di risposta a queste condizioni di stress. Nello specifico, il confronto tra Sangiovese e Montepulciano riguardo la reazione che essi manifestano al verificarsi di stress idrico evidenzia che non è possibile fare una distinzione dicotomica intra-specifica tra il comportamento anisoidrico e isoidrico. Questa considerazione consegue dal fatto che i due vitigni analizzati, oltre a manifestare un diverso andamento del potenziale idrico giornaliero, differiscono anche per caratteristiche biochimiche e morfo-strutturali che incidono dunque sulla loro fisiologia in condizioni di diversa disponibilità idrica. Nello specifico, considerando la traspirazione e l'assimilazione, si osserva un'inversione di tendenza che,

in presenza di stress idrico, risulta premiante per il Sangiovese, il quale riesce a conservare livelli di traspirazione e assimilazione superiori rispetto a quelli registrati in parità di condizioni dal Montepulciano. Viene quindi messo in evidenza come la valutazione della scelta varietale rappresenti una delle strade percorribili nella direzione della mitigazione e dell'adattamento ai cambiamenti climatici. La conoscenza di queste caratteristiche varietali permetterebbe infatti di andare ad operare delle scelte in modo da compensare sfavorevoli caratteristiche idrologiche dei terreni, mantenere un'attività fotosintetica più prolungata nel tempo che significa quindi maggiore stoccaggio di carbonio e anche per andare ad ottimizzare l'impiego dell'irrigazione in quanto, conoscendo quelli che sono i valori soglia che definiscono una condizione limitante per la fotosintesi, si avrà la possibilità di collocare gli interventi irrigui nei momenti in cui le condizioni fisiologiche della pianta mostrano i segni di uno stress, anche se in fase incipiente. Un approccio di questo tipo non può dunque prescindere da uno studio approfondito del patrimonio viticolo, accompagnato anche da un'attività di fenotipizzazione intensa che deve includere considerazioni relative all'impiego di diversi portinnesti, in quanto l'apparato radicale rappresenta un elemento in grado di condizionare in modo sostanziale le risposte che la pianta bimembre sarà in grado di dare al verificarsi di diverse tipologie di stress (Tombesi et al., 2016). Proprio in questo contesto deve essere inserita la sperimentazione finalizzata all'individuazione di nuovi genotipi di portinnesti in grado di manifestare maggiore tolleranza nei confronti della siccità. Uno degli esempi più consistenti è quello rappresentato dalla serie M. Si tratta di quattro genotipi che sono stati individuati come particolarmente performanti anche in presenza di condizioni di stress idrico anche se attualmente ancora poco diffusi. Da un confronto tra il comportamento di questi portinnesti e alcuni di quelli più commerciali come il 1103P e il 110R è risultato che essi, in risposta allo stress abiotico, sono in grado di incrementare notevolmente la sintesi di acido abscissico, mantenendo elevata l'efficienza d'uso dell'acqua e preservando le principali funzioni fisiologiche anche in condizioni di ridotta conduttanza stomatica. In ogni caso si evidenzia come la disponibilità di un ridotto numero di nuovi portinnesti con queste caratteristiche non sia sufficiente per fronteggiare le sfide della viticoltura moderna e come dunque sia necessario continuare a pianificare nuovi programmi di breeding per l'individuazione di altri genotipi con caratteristiche di questo tipo (Bianchi et al., 2020).

Per far fronte a tali condizioni ambientali in continuo mutamento, sarà quindi prioritario porre particolare attenzione a quello che è il genotipo che stiamo esaminando. Infatti,

oltre alla varietà e in aggiunta alla scelta del portinnesto, è fondamentale considerare una certa variabilità presente tra cloni appartenenti della stessa varietà (Iñaki García de Cortázar – Atauri et al., 2017). In ogni caso, un ruolo primario è da attribuire alla ricerca genetica, anche se i suoi tempi finiscono alle volte per non essere pienamente compatibili con le incombenze dei viticoltori. Ad esempio, nel caso in cui, in un'ottica adattativa, si pensasse di ottenere delle nuove varietà in grado di far fronte a queste mutate condizioni ambientali in modo da sfuggire all'azione di gelate precoci, sarebbe necessario ottenere dagli incroci dei genotipi che siano in grado di tollerare l'anticipo fenologico di circa 20 giorni e l'aumento della temperatura di 7°C che sono previsti entro la fine del secolo per le principali aree viticole (Clemens M. et al., 2022). Possibilità potrebbero essere rintracciate anche in quelle che sono varietà antiche e attualmente poco diffuse che potrebbero rappresentare anche una fonte di tratti genici associati alla tolleranza alle alte temperature o alla possibilità di avere un accumulo di zuccheri più contenuto o progressivo all'interno dei frutti. Bisogna però tenere comunque in considerazione quelle che sono implicazioni di mercato rappresentate dalla diffidenza dei consumatori nei confronti di nuove varietà e anche al riconoscimento legale di queste all'interno di denominazioni di origine (Iñaki García de Cortázar – Atauri et al., 2017). Alla ricerca e all'introduzione di nuove varietà, è necessario andare ad affiancare la sperimentazione finalizzata alla produzione di modelli in grado di fornire, con diversi livelli di complessità, la totale caratterizzazione dei processi di dormienza delle gemme per fare in modo che ci sia una corrispondenza tra quelle che sono le esigenze termiche dei vari genotipi impiegati e le possibilità dei diversi ambienti di soddisfarle, nonostante la presenza del cambiamento climatico. Si tratta di un aspetto particolarmente importante per i fruttiferi in quanto il mancato soddisfacimento delle esigenze termiche delle diverse specie e varietà ha delle ripercussioni non indifferenti e variabili sulla produttività delle stesse portando quindi all'insorgenza anche di fenomeni di alternanza di produzione (Chuine Isabelle et al., 2016).

#### 1.4.3. *Effetti del cambiamento climatico sulla fenologia*

Altro aspetto che risulta essere profondamente influenzato dal cambiamento climatico è rappresentato dalla fenologia. Questa relazione viene messa in evidenza con facilità soprattutto quando si può disporre di tempi di sperimentazione ampi e qualora le prove siano condotte direttamente in campo. In ogni caso si evidenzia come viti coltivate in condizioni di elevata disponibilità di CO<sub>2</sub> abbiano manifestato nel corso degli anni la

tendenza ad avere un anticipo sulla fenologia riconducibile alla possibilità per queste piante di accumulare una maggiore quantità di carboidrati di riserva all'interno delle strutture permanenti. Anche in questo caso sarà però importante valutare l'effetto combinato della temperatura, come fattore in grado di condizionare il soddisfacimento del fabbisogno termico delle gemme e l'intensità dei processi biochimici (Clemens M. et al., 2022). Nello specifico, si è dimostrato che la combinazione di un'elevata disponibilità di CO<sub>2</sub> e di elevate temperature è in grado di condurre ad un anticipo della fioritura di tre giorni, fino a raggiungere un valore pari a due settimane nel caso dell'invasatura (Edwards et al., 2016). Ad esempio, una ricerca condotta in Francia volta a valutare l'andamento della fenologia dei principali vitigni presenti sul territorio, sfruttando i dati raccolti negli ultimi 70 anni da osservatori differenti e presenti all'interno di diversi database, ha messo in evidenza che si può parlare di un generalizzato anticipo delle principali fasi fenologiche, con conseguenze che si ripercuotono a carico della durata di ciascuno degli stadi presenti all'interno degli intervalli di tempo considerati. Il dato ancora più importante riguarda quelle che sono le prospettive future: mediante analisi condotte all'interno di scenari differenti è infatti possibile affermare che questa tendenza all'anticipo fenologico sarà presente anche in futuro con intensità e conseguenze variabili in funzione del contesto specifico che si sta esaminando (Iñaki García de Cortázar – Atauri et al., 2017). La stessa tendenza è stata evidenziata anche in Italia andando ad analizzare i dati fenologici di 1000 varietà presenti in uno stesso campo in Veneto. Il dato emerso in questo caso, oltre a confermare la tendenza ad una maggiore precocità fenologica, riguarda il fatto che, analizzando il verificarsi delle diverse fasi durante la stagione di crescita, non esiste sempre una forte correlazione tra il momento in cui si verifica una fase e quelli che sono i momenti in cui sarà possibile identificare le fasi successive. Questo quindi si traduce concretamente nella possibilità che, ad esempio, una varietà a germogliamento precoce non sia caratterizzata da una maturazione altrettanto precoce. In generale però viene evidenziata una tendenza alla compressione degli intervalli compresi tra le fasi di germogliamento, fioritura, invasatura e raccolta, tenendo ben in mente che per il momento di raccolta bisognerà comunque considerare una certa variabilità determinata dall'arbitrio del viticoltore. La compressione di questi intervalli temporali potrebbe quindi essere particolarmente determinante nel caso di quei vitigni che già di per sé presentano un ciclo non particolarmente lungo e che quindi potrebbero trovarsi con una finestra temporale a disposizione eccessivamente ridotta per un ottimale completamento dei

diversi processi metabolici. Questa indagine ha però permesso di evidenziare anche una relazione numerica molto importante: è infatti possibile affermare che per ogni grado centigrado in più che viene registrato a carico della temperatura media della stagione di crescita, si evidenzia una riduzione media di 8 giorni della durata del ciclo stesso. Si tratta di un dato medio puramente indicativo perché calcolato su un elevato numero di varietà differenti ma comunque indicativo di un fenomeno che potrebbe assumere una consistenza molto marcata nei prossimi anni (Tomasi et al., 2011). Nei confronti di questo anticipo fenologico restano aperte le questioni relative alla suscettibilità ai ritorni di freddo, a quelle che possono essere modificazioni relative agli areali di coltivazione della vite e anche alle conseguenze a carico della composizione dei mosti. Infatti, a fronte di una temperatura media che tende ad essere sempre più elevata, ci troveremo ad avere delle piante in uno stadio fenologicamente avanzato in periodi come l'inizio della primavera, quando è ancora plausibile pensare al verificarsi di gelate tardive. Proprio per questo motivo potrebbe essere opportuno effettuare delle potature invernali molto tardive, in prossimità del germogliamento, in modo da salvaguardare la vitalità delle gemme basali qualora dovesse verificarsi un ritorno di freddo, senza avere quindi una compromissione totale della produzione (Iñaki García de Cortázar – Atauri et al., 2017). L'uso dell'irrigazione sopra chioma come forma di adattamento e di prevenzione del danno resta infatti limitata solo ad alcuni territori a causa della grande quantità di acqua che richiede, della tessitura dei terreni che potrebbe essere non adatta e del fatto che non tutte le specie risultano essere idonee a sopportare fisicamente il peso determinato dal carico di ghiaccio che viene a formarsi sulle strutture legnose (Zinoni, 2008). Nel caso della vite, avendo a che fare con delle strutture legnose molto localizzate sarebbe importante andare a fare in modo che, affinché questo intervento possa diventare più sostenibile, si cerchi di localizzare il quanto più possibile la distribuzione dell'acqua.

#### *1.4.4. Cambiamento climatico e ridistribuzione geografica della viticoltura*

Direttamente associato al problema che riguarda la fenologia, è altrettanto importante considerare la distribuzione della coltivazione della vite nelle macroaree mondiali e come questa potrebbe variare in risposta al cambiamento climatico. È possibile analizzare questo aspetto prendendo in considerazione quali saranno, negli anni a venire, le modifiche che si riscontreranno a carico di fattori fondamentali nella definizione dell'adattabilità di una determinata specie all'interno di un ambiente. Bisogna dunque riferirsi soprattutto alle caratteristiche termiche e di disponibilità idrica dei contesti

considerati. Questo approccio è stato preso in esame valutando l'evoluzione di tre indici bioclimatici quali Huglin Index, Cool Night Index e Standardized Precipitation Evaporation Index (SPE) all'interno di scenari climatici caratterizzati da un diverso grado di pessimismo. Sono state descritte dunque le proiezioni climatiche in funzione delle variazioni riscontrate a carico di questi indici ed è stato possibile individuare una classificazione delle diverse aree mondiali in funzione delle intensità delle misure di adattamento che sarebbe necessario adottare per far fronte alla questione climatica. Nello specifico, per quanto riguarda l'Europa, viene evidenziato che l'aumento delle temperature potrebbe avere degli effetti positivi nelle regioni settentrionali, grazie alla riduzione delle gelate e al raggiungimento di temperature notturne ottimali durante la fase di maturazione e potrebbe, in questo modo, permettere la coltivazione della vite in quelle che attualmente sono regioni eccessivamente fredde. Allo stesso tempo, le regioni meridionali e le varietà più precoci potrebbero essere soggette al raggiungimento di temperature che vanno ben al di sopra dei limiti ritenuti idonei, con potenziali conseguenze a carico della qualità delle produzioni (D. Santillán et al., 2019). Gli stessi dati sono stati confermati anche andando ad elaborare un algoritmo di classificazione e studio delle principali aree viticole europee grazie ad un approccio basato sulla combinazione delle informazioni desumibili dal calcolo di più indici bioclimatici e sulla valutazione di proiezioni future. Il dato che viene messo in evidenza in questo caso è relativo alla possibilità di assistere, in funzione dell'area considerata, a trend differenti che possono essere sintetizzati in due principali tipologie. La prima corrisponde ad uno spostamento progressivo verso nord-nord-est delle aree viticole attualmente esistenti, mentre la seconda è rappresentata da un'espansione o contrazione dell'estensione di queste aree in risposta al variare dei livelli di adeguatezza delle caratteristiche ambientali. È altrettanto importante ricordare che, pur rimanendo all'interno dello stesso distretto produttivo, sarà possibile assistere nei prossimi anni ad un progressivo aumento dell'altitudine a cui si colloca la coltivazione della vite con l'intenzione di poter sfruttare l'influenza che l'altimetria ha sulle temperature. Nel 2013 si evidenziava come quest'ultima condizione avrebbe interessato, ad esempio, l'area del Chianti (Moriondo M. et al., 2013).

È però importante anche considerare quello che potrebbe essere l'impatto dell'introduzione della viticoltura in zone che verrebbero ad avvantaggiarsi degli effetti del cambiamento climatico. Infatti, è inevitabile che l'instaurarsi della viticoltura in zone in cui attualmente questa non è presente richiami la necessità di sostituire la vegetazione

nativa del territorio, di eseguire delle lavorazioni profonde del suolo nella fase di impianto e di impiegare prodotti come fertilizzanti o pesticidi, con delle conseguenze importanti in termini di perdita di ecosistemi e di biodiversità. Altro aspetto da non sottovalutare è quello relativo all'impiego dell'acqua. La viticoltura potendo infatti impiegare questa risorsa, sia come mezzo di protezione dalle gelate sia come strumento per prevenire danni da temperature eccessive o da siccità, potrebbe rappresentare un'aggravante negativa a carico della domanda di acqua nei territori considerati. Per questo motivo diviene fondamentale valutare quale sia la sostenibilità di un cambiamento delle aree di coltivazione della vite e questo è possibile farlo attraverso la quantificazione dell'Ecological Footprint index (Lee Hannah et al., 2013). Rispetto alle tendenze appena evidenziate, è corretto ricordare che i limiti termici che vengono presi in considerazione per le diverse varietà possono essere ritenuti in alcuni casi il risultato di una sottostima. Questo sarebbe dimostrato da valutazioni che vedono il Pinot nero coltivato in Borgogna in grado di produrre ancora ottimi vini sebbene ormai dal 2000 la temperatura media della stagione vegetativa (AvGST) sia al di sopra del limite superiore dell'intervallo indicato. Tale fenomeno trova spiegazione nel fatto che, nonostante l'aumento delle temperature e la scarsità di acqua, la viticoltura di alta qualità sia sostenuta dalle modifiche riscontrate a carico delle preferenze dei consumatori e dalle tecniche di adattamento che progressivamente vengono impiegate dai viticoltori con un'efficacia variabile. Secondo gli autori quindi, la posizione avanzata da Lee Hannah *et al.* è condivisibile per ciò che riguarda le aree che potrebbero diventare idonee per la viticoltura a partire dal 2050 ma eccessivamente allarmante nel caso del destino di riduzione delle aree attualmente disponibili (van Leeuwen et al., 2013).

#### *1.4.5. Effetti del cambiamento climatico sulla qualità delle uve*

Volendo analizzare il problema nella sua totalità, è opportuno andare a fare delle considerazioni anche su quelli che sono gli effetti del cambiamento climatico sulle caratteristiche compositive delle uve e dunque sulle caratteristiche qualitative dei vini che da esse vengono ottenuti. Compresi quelli che sono gli effetti indesiderati che già vengono registrati, ci si potrà quindi interrogare su quelle che sono possibili applicazioni in grado di contenere queste tendenze.

Prendendo in esame lo studio condotto in Franconia in cui si è analizzato l'andamento produttivo e delle concentrazioni zuccherine nel periodo tra il 1805 e il 2010, si può mettere in evidenza la presenza, in entrambi i casi, di una tendenza alla crescita.

Naturalmente si tratta dell'esito di una serie di fattori che interagiscono tra di loro. Trattandosi di un'analisi condotta su dati raccolti in due secoli non bisogna dimenticare quella che è l'influenza da attribuire al progresso tecnologico e al miglioramento della tecnica colturale. È bene però osservare come, mediante la valutazione di correlazioni statistiche, sia possibile affermare che circa il 15% dell'aumento delle rese e il 38 % dell'aumento della concentrazione di zuccheri nei mosti sia da attribuire all'aumento delle temperature che è stato registrato nello stesso periodo (Anna Bock et al., 2013). Accertata l'esistenza del cambiamento climatico e riconosciuti gli effetti a carico di variabili fondamentali come la temperatura, lo stato idrico e la radiazione, si potrà analizzare la relazione che esiste tra questi elementi e le principali caratteristiche compositive delle uve sia in termini di situazioni realizzate ed osservabili sia in termini di possibili tendenze per il futuro. Nel 2016, grazie a campioni analizzati nei trent'anni precedenti, è stato possibile affermare che l'effetto della temperatura, combinato con l'incremento della radiazione e della CO<sub>2</sub> atmosferica, ha determinato un aumento dell'alcol potenziale pari al 2% del volume, una parallela diminuzione dell'acidità totale pari a 1 g/L e una diminuzione di 0.2 unità di pH. Per quanto riguarda la componente aromatica un contesto di questo genere apre un ventaglio di possibilità in funzione della classe di composti che si considera: all'aumentare delle temperature si registrerebbe infatti una diminuzione della produzione di metossipirazine in vitigni in cui queste rappresentano un elemento caratteristico mentre invece si osserverebbe un aumento della produzione, in vitigni come il Riesling, di composti responsabili del tipico sentore di idrocarburo. Nel primo caso, ad esempio, trattandosi di sentori tipicamente vegetali, potrebbe essere opportuno adattare la tecnica colturale in modo da avere delle chiome più dense che sono tipicamente in grado di predisporre alla sintesi di aromi vegetali di questo tipo.

Per quanto riguarda invece la famiglia dei terpeni i risultati sono ancora oggetto di discussione perché sembrerebbe esserci una certa variabilità di risposta in funzione dello specifico composto che si considera. Come ricordato in precedenza un ruolo fondamentale a carico della composizione viene giocato anche dalla disponibilità idrica. Essa rappresenta un elemento su cui si gioca l'equilibrio della produzione di grandi vini, come ad esempio i vini della regione di Bordeaux. Infatti, la ridotta disponibilità di acqua e la presenza di stress idrici di ridotta intensità sono tendenzialmente associate ad un miglioramento qualitativo in quanto determinano un precoce arresto della crescita dei germogli, una riduzione dell'accrescimento delle bacche con conseguente spostamento

del rapporto polpa-buccia a favore di quest'ultima e un aumento della sintesi di componenti fenoliche. L'aspetto critico è rappresentato dal fatto che, all'interno di uno scenario di cambiamento climatico, le variazioni di questi parametri ambientali sono strettamente connesse tra di loro e quindi questo significa che anche gli effetti che si registrano devono essere inseriti all'interno di un quadro ben più articolato. Infatti, l'aumento della temperatura è strettamente correlato alla diminuzione della disponibilità idrica grazie all'incremento dell'evapotraspirazione che essa è in grado di determinare e che dunque incide pesantemente sul bilancio idrico del vigneto. Il problema è però dato dal fatto che questi fenomeni potrebbero verificarsi con un'intensità tale da andare a compromettere eccessivamente la produzione quantitativa e sfociare anche in maturazioni incomplete come diretta conseguenza del blocco dell'attività fotosintetica (van Leeuwen et al., 2016). A prescindere da questo, è altrettanto vero che una maturazione tumultuosa ha tipicamente come esito un disaccoppiamento tra la maturità tecnologica e quella fenolica (Poni et al., 2018). Queste condizioni, secondo le proiezioni climatiche, verrebbero a caratterizzare nei prossimi anni soprattutto le aree del Mediterraneo. Anche in questo caso, quindi, è fondamentale capire quali sono le possibilità adattative per far fronte a questa situazione e per poter in qualche modo intervenire a carico della dinamica di maturazione delle uve in modo da evitare che il suo completamento venga raggiunto troppo rapidamente e in corrispondenza di concentrazioni zuccherine negli acini eccessive rispetto a quello che è il target produttivo in termini di gradazione alcolica desiderata nel vino.

#### *1.4.6. Possibili strategie di adattamento per il controllo della dinamica di maturazione*

È stato dimostrato che andando a rimuovere il 30/35% della superficie fogliare con un intervento di defogliazione meccanica a carico della fascia mediana della chioma in post invaiatura quando si hanno già dei valori di 16°-17°Brix è possibile ottenere un rallentamento della maturazione fino ad avere una differenza di circa 14 giorni in termini di data di raccolta e una concentrazione zuccherina statisticamente inferiore. L'aspetto interessante è rappresentato dalla peculiarità per cui, trattandosi di un intervento che non modifica il microclima della fascia produttiva, non si registreranno effetti negativi a carico dei prodotti del metabolismo secondario della bacca in quanto esso risulta essere fortemente condizionato dalle caratteristiche di questa porzione della chioma e solo minimamente influenzato dalla superficie fogliare totale. In questo modo, mediante un intervento che risulta essere anche abbastanza economico e rapido da effettuare, si avrà

la possibilità di ottenere dei vini caratterizzati da una percentuale di alcol inferiore senza vedere compromesse le componenti del quadro fenolico (Palliotti et al., 2013). In alternativa, un effetto simile potrebbe essere ottenuto grazie all'applicazione in post-invaiatura di antitraspiranti a carico della porzione mediano-apicale della chioma. In questo modo si potrà osservare una riduzione dell'assimilazione fotosintetica, un rallentamento dell'accumulo di zuccheri nelle bacche e un incremento dell'efficienza d'uso dell'acqua che alla fine hanno permesso di ottenere delle uve alla raccolta con  $1.2^{\circ}$ Brix rispetto al controllo e dei vini con un grado alcolico inferiore di circa un punto percentuale (Palliotti et al., 2013). L'applicazione di antitraspiranti di questo tipo però porta a fare delle considerazioni riguardo gli aspetti qualitativi del vino che si otterrà da viti trattate in questo modo. Si tratta di un tema che è stato affrontato andando a fare il confronto tra l'applicazione di prodotti a base di pinolene e l'applicazione di caolino. Infatti, sebbene i due prodotti rispondano alla stessa volontà di limitare l'attività fotosintetica delle chiome, essi in realtà si sono mostrati in grado di determinare una risposta diversa in funzione delle condizioni ambientali verificatesi nella stagione d'impiego. Le applicazioni di caolino hanno ad esempio messo in evidenza la capacità di migliorare la WUE nelle annate più siccitose, con delle ripercussioni in termini di miglioramento della composizione delle uve, e di ridurre la concentrazione zuccherina di  $1.17^{\circ}$ Brix, senza però evidenziare una differenza significativa rispetto al controllo. Il pinolene invece ha determinato una riduzione del grado zuccherino statisticamente consistente senza alcun incremento positivo della WUE e a prescindere dal livello di siccità verificatosi nell'annata considerata. Questo quindi si è tradotto in vini che presentavano una percentuale di alcol inferiore a scapito della maturazione antocianica e che, dunque, erano qualitativamente meno attraenti nei confronti dei consumatori (Brillante et al., 2016).

L'altra variabile da prendere in considerazione è rappresentata dalla variazione del regime radiativo come conseguenza diretta della diminuzione dello spessore dello strato atmosferico di ozono. Si tratterebbe soprattutto di un aumento della disponibilità di radiazione UV. Quest'ultima, nei confronti di vitigni a bacca rossa, potrebbe anche essere considerata un elemento positivo perché in grado di supportare la sintesi del colore, dei flavonoli e dei tannini. Al contrario nel caso dei vitigni a bacca bianca, questa rappresenterebbe un elemento a cui fare estrema attenzione perché in grado di favorire la sintesi di composti aromatici sgradevoli. È altrettanto vero che qualora la disponibilità radiativa dovesse essere eccessiva si verificherebbero con facilità scottature solari a

carico dei grappoli con conseguenti perdite quali-quantitative. Questo, dunque, comporterebbe di rimodulare l'intensità delle pratiche di defogliazione in modo da garantire un effetto di schermatura per i grappoli. In risposta a quanto discusso e dato che le previsioni di evoluzione della fenologia attestano che, nella regione di Bordeaux ad esempio, tra il 2020 e il 2050 la fase della fioritura verrebbe ad essere anticipata di circa 15 giorni con un conseguente anticipo della maturazione di 25 giorni diventa necessario pensare ad un adattamento progressivo che permetta, almeno in un primo tempo di salvaguardare la tipicità dei vini mediante la scelta di portinnesti che abbiano una maggiore resistenza nei confronti di questi stress abiotici, una ponderata scelta del clone e il reinserimento di vitigni ormai poco diffusi se adatti alle specifico contesto ambientale. Nelle condizioni più proibitive potrebbe essere poi necessario l'inserimento nella coltivazione di vitigni anche al di fuori di quelli locali o comunemente impiegati. Altri possibili interventi di adattamento potrebbero essere quelli di modifica dei sestri di impianto e dei sistemi di allevamento in modo da intervenire a carico dell'intensità dei consumi idrici e della necessità di schermare i grappoli da radiazioni eccessive, parallelamente all'impiego di una tecnica colturale finalizzata alla corretta gestione della chioma e del rapporto tra superficie fogliare e grappoli in modo che questo risulti adeguato all'obiettivo qualitativo che si vuole raggiungere. Nel caso di vini ottenuti da uvaggi una strada percorribile potrebbe essere quella di andare a considerare delle variazioni delle proporzioni tra i diversi vitigni impiegati per avere comunque un equilibrio compositivo (van Leeuwen et al., 2016). Per facilitare questo processo di adattamento, diventa quindi necessario l'impiego di modelli di simulazione che permettano da un lato di avere una maggiore caratterizzazione microclimatica e dall'altro di integrare anche valutazioni riguardo il potenziale varietale e la gestione del vigneto in modo da poter considerare al meglio la validità e gli effetti di strategie di adattamento differenti (Jones et al., 2005).

#### *1.4.7. Effetti del cambiamento climatico sulle caratteristiche e la funzionalità dei suoli*

L'ultimo ambito da considerare è relativo agli effetti del cambiamento climatico a carico della qualità dei suoli e alle possibilità che si aprono per portare avanti una gestione del vigneto che sia il quanto più sostenibile.

Le proiezioni di incremento termico comporteranno in futuro delle conseguenze negative considerevoli a carico dei livelli di umidità del suolo a causa dell'intensificarsi dei processi di evapotraspirazione da un lato e delle variazioni negative a carico della

disponibilità di acqua piovana dell'altro ed è noto, dalla discussione sulle implicazioni fisiologiche condotta precedentemente, quanto invece sia centrale il ruolo di un'adeguata disponibilità idrica per l'ottenimento di produzioni di qualità. Questo, dunque, significa che molte aree saranno progressivamente interessate da processi di desertificazione sempre più intensa e di erosione superficiale. È prioritario considerare questo processo perché esso determina la perdita degli strati più fertili di suolo la cui ricostituzione non è compatibile, dal punto di vista temporale, con quelle che, in futuro, saranno le esigenze dell'agricoltura e della popolazione mondiale. Per questo motivo è lecito interrogarsi sulla possibilità di andare ad intervenire anche in questo contesto portando avanti delle politiche di adattamento e di mitigazione. È ormai noto che la qualità del suolo di un agroecosistema, intesa come la capacità del suolo stesso di sostenere la produttività biologica, sia fortemente condizionata dalla disponibilità di sostanza organica al suo interno in quanto in grado di andare ad influenzare contestualmente le caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche dell'ambiente edafico. Per questo motivo, diventa essenziale analizzare le caratteristiche di pratiche agronomiche che abbiano la possibilità di incidere positivamente su questo parametro.

#### *1.4.8. Gestione del suolo: possibilità di adattamento e mitigazione del climate change*

Data la complessità del sistema suolo e la numerosità delle variabili che contribuiscono a definirne le caratteristiche, è possibile fare riferimento alla sua gestione come uno dei possibili campi in cui applicare delle strategie di adattamento e mitigazione del cambiamento climatico basate su principi differenti. Di seguito l'analisi di alcuni esempi.

##### *Apporto di biochar*

L'applicazione in vigneto di biochar ha dimostrato, ad esempio, di migliorare il pH del suolo, di incrementare la conservazione dell'umidità all'interno del suolo e la capacità di scambio cationico. In più, l'apporto al suolo di questa forma di carbonio estremamente stabile ha contribuito alla creazione di un ambiente favorevole per l'attività dei microrganismi presenti. Inoltre, il processo di produzione in sé di questo materiale, che può partire sia da rifiuti urbani che da matrici agricole, può essere visto come una pratica di mitigazione del cambiamento climatico in quanto porta alla immobilizzazione di una quantità netta di carbonio in forme estremamente stabili nel tempo (Cataldo et al., 2021). Resta però aperta la questione relativa alla modifica dell'albedo che potrebbe interessare

i terreni arricchiti con grandi quantitativi di questo prodotto perché caratterizzato da una colorazione tipicamente scura (Bellieni et al., 2017).

#### *Impiego di compost e vermicompost*

Ulteriore possibilità è rappresentata dall'apporto al suolo di altre due matrici differenti: il compost e il vermicompost. Ottenibili da materiale organico di varia tipologia mediante l'impiego di due processi distinti, si tratta di matrici che, pur caratterizzate da livelli di stabilità differenti, sono in grado di migliorare le caratteristiche del suolo favorendo la permeabilità, la capacità di trattenere l'umidità, la capacità di scambio cationico permettendo dunque una riduzione della perdita di nutrienti che vedranno aumentata la loro disponibilità anche grazie ad un miglioramento dell'attività delle comunità microbiche. Inoltre, l'apporto al suolo di compost ha evidenziato anche degli effetti validi sulla qualità delle uve: si osserva infatti una significativa riduzione dell'accumulo di solidi solubili con un contemporaneo raggiungimento di ottimi livelli di antociani e flavonoidi. L'applicazione di queste tecniche deve essere letta all'interno di una cornice di sostenibilità ben più ampia e in un'ottica di promozione dell'economia circolare in quanto strettamente correlate alla possibilità di utilizzare in vigneto, in sostituzione di prodotti di sintesi, quelli che sono invece prodotti di scarto provenienti dalla cantina come fanghi disidratati, raspi, fecce e vinacce (Cataldo et al., 2021).

#### *Impiego di materiali inorganici: le zeoliti*

Oltre queste matrici organiche, effetti simili a carico della capacità di approvvigionamento idrico del suolo potrebbero essere ottenuti anche andando ad apportare matrici inorganiche come, ad esempio, le zeoliti. Anch'esse sarebbero in grado di garantire al vigneto una maggiore disponibilità di acqua nel momento in cui dovesse presentarsi una stagione siccitosa, grazie alla loro capacità di assorbire cospicue quantità di acqua e di cederla progressivamente (Cataldo et al., 2021).

#### *Impiego dei polimeri idrogel*

Questi materiali, ottenuti in passato soprattutto come derivati del petrolio, stanno generando al giorno d'oggi rinnovato interesse perché si sta esplorando la possibilità di ottenerli anche a partire da matrici di origine animale o vegetale. Si tratta dunque di prodotti che possono essere ottenuti attraverso diversi processi e che hanno la capacità di interagire con diverse modalità con le molecole di acqua. Anche se attualmente il

maggiore utilizzo in agricoltura è legato alla produzione di concimi a lento rilascio, è stato evidenziato come il trattamento diretto del suolo con questi materiali sia in grado di determinare un significativo miglioramento della capacità di ritenzione idrica (Yan Liu et al., 2022). Gli effetti più consistenti sono stati riscontrati a carico di terreni sabbiosi. In linea di massima, la capacità di questi materiali di trattenere un quantitativo di acqua pari a 400/500 volte il proprio peso secco, si traduce in un generalizzato miglioramento della qualità del suolo: aumento della disponibilità di acqua e conseguente riduzione della sensibilità alla siccità, riduzione del compattamento del suolo e dei fenomeni di erosione superficiale come conseguenza della riduzione della frequenza d'irrigazione, aumento dell'efficienza d'uso dei nutrienti come conseguenza della riduzione dei fenomeni di percolazione e infine miglioramento dell'attività biologica del suolo stesso. Tali materiali, biodegradabili e atossici, da un punto di vista operativo sono fotostabili e somministrabili in diverse forme ma al contempo bisogna evidenziare come non sia ancora totalmente nota la dinamica di degradazione e di permanenza nel suolo, così come la risposta in contesti di coltivazione differenti (Sweta Malik et al., 2023). Sebbene quindi si tratti di prodotti che hanno ancora applicazioni ridotte, sono disponibili alcune esperienze che sostengono quanto appena evidenziato. Nel caso dell'olivicoltura è stato evidenziato come, in aridocoltura, la somministrazione di questi polimeri sia in grado di determinare un netto miglioramento delle performance valutate in termini di parametri fisiologici e produttivi. Nel primo caso ci si riferisce al miglioramento dello stato idrico delle piante monitorato mediante LCPC, dell'efficienza d'uso dell'acqua piovana e al mantenimento di una conduttanza stomatica, misurata al mezzogiorno, superiore. Per la seconda tipologia ci si riferisce invece al miglioramento della crescita dei germogli e all'aumento della resa rispetto alle piante non trattate (Hechmi Chehab et al., 2017). In agrumicoltura, è stato invece messo in luce come questi prodotti potrebbero essere utili per sostenere lo sviluppo e l'accrescimento delle piante nelle prime fasi, quando cioè l'apparato radicale non risulta essere ancora sufficientemente sviluppato per resistere adeguatamente all'alternarsi di cicli di siccità con momenti di maggiore disponibilità (Arbona et al., 2005). Applicazioni di questo tipo potrebbero essere dunque valutate anche nel caso di impianti di nuovi vigneti, soprattutto in zone collinari non irrigue, per supportare l'attecchimento delle barbatelle. Invece, in un'esperienza condotta su un vigneto di 7 anni, è stato evidenziato come l'applicazione di questi materiali porti ad un generalizzato miglioramento delle performance. In modo particolare, si è fatto riferimento alla valutazione della percentuale di germogliamento,

della fertilità dei germogli, del contenuto fogliare di clorofilla, alla concentrazione di N, P e K e infine alla valutazione della produttività (Mervat et al., 2023).

#### *Il ruolo dei funghi micorrizici*

Altra opportunità per aumentare la resilienza del sistema vigneto adattandolo alle imposizioni dettate dalla presenza del cambiamento climatico, potrebbe essere quella di ricorrere all'impiego di funghi micorrizici arbuscolari in grado di garantire alle viti una maggiore capacità di esplorazione del suolo alla ricerca di acqua e nutrienti grazie alla costituzione di reti ifali più ampie rispetto all'estensione dell'apparato radicale delle sole viti, mentre rimangono ancora da chiarire quelli che potrebbero essere gli effetti di applicazioni dirette al suolo di estratti di alghe o biostimolanti di altro tipo (Cataldo et al., 2021). Come conseguenza di quanto detto, è possibile affermare che, senza scendere nel dettaglio delle conseguenze ecologiche e tossicologiche, l'uso degli erbicidi rappresenta una pratica discutibile in termini di sostenibilità ambientale e di impatto sulla biodiversità del suolo poiché è stato dimostrato che, andando a effettuare dei test ecotossicologici a carico di funghi micorrizici arbuscolari con i dosaggi comunemente impiegati in agricoltura, si osserva una forte inibizione delle attività del micelio fungino (Giovannetti et al., 2006) che potrebbe quindi avere delle ripercussioni negative sulla resilienza del vigneto. Questo, quindi, rappresenterebbe un ostacolo rispetto a quanto appena detto riguardo l'impiego di micorrize in vigneto.

Il denominatore comune delle tecniche fino ad ora analizzate è dunque rappresentato dalla volontà di ottenere un vigneto che sia più resiliente ed è evidente come, in una prospettiva in cui la disponibilità idrica potrà essere fortemente compromessa, questa caratteristica richieda una serie di adattamenti che permettano al sistema vigneto di tesaurizzare al massimo le risorse idriche quando disponibili in modo da poterne usufruire nei momenti di maggiore criticità.

#### *1.4.9. Gestione conservativa: impiego della pacciamatura e delle cover crop*

Se fino ad ora, parlando di gestione del suolo, si è valutata la possibilità di intervenire sulle sue caratteristiche mediante l'apporto di matrici esterne di natura organica o inorganica, si andranno ora a discutere invece gli effetti di due tecniche che sono basate su altri principi di base e che hanno mostrato una loro validità agronomica. Si tratta dell'impiego delle cover crop e della pacciamatura (Cataldo et al., 2021). Entrambe si

collocano bene all'interno di un approccio conservativo alla gestione del suolo e alternativo alla visione tradizionale di cui sono ormai ben chiare le criticità. Lo sfruttamento del suolo secondo un protocollo di gestione convenzionale rappresenta infatti una delle voci che maggiormente contribuisce alla degradazione del suolo stesso, in quanto risorsa non rinnovabile. Tra le problematiche più consistenti, si ricordano l'incidenza del ruscellamento e dell'erosione, l'eccessiva e rapida mineralizzazione della sostanza organica, la suscettibilità al compattamento come conseguenza della riduzione di porosità e dell'impiego di macchine pesanti ed impattanti, il rischio associato alla formazione di croste superficiali con risvolti a carico della crescita e dello sviluppo delle colture e anche della capacità del suolo di immagazzinare e trattenere acqua e la diminuzione dell'attività microbica, con impatto negativo non trascurabile a carico della biodiversità presente. Proprio per questi motivi andrebbe oggi evitato o quantomeno corretto l'impiego di lavorazioni che vengono comunemente svolte, andando invece a favorire, ove necessario, l'impiego di organi di lavoro meno incisivi e in grado di salvaguardare maggiormente la struttura e la porosità di suoli di diversa tipologia (Pagliai, 2009). Nello specifico, l'impiego in vigneto di lavorazioni del terreno ripetute durante la stagione vegetativa al fine di controllare meccanicamente le infestanti e regolare i processi evopotrasspirativi, determinando ossigenazione e rimescolamento del terreno in concomitanza di alte temperature, è in grado di innescare una serie di fenomeni a cascata con conseguenze notevoli nel breve e nel lungo periodo. L'intensità di questi fenomeni viene ad essere particolarmente elevata soprattutto qualora si impieghino macchine operatrici come ad esempio frese orizzontali. Oltre all'azione fisica che queste operazioni determinano a carico del terreno favorendo la formazione della suola di aratura e la riduzione della stabilità degli aggregati (Pagliai, 2009), è importante precisare quelle che sono le conseguenze che derivano dalla stimolazione di reazioni chimiche a carico della sostanza organica: le frazioni meno stabili subiranno infatti una rapida ossidazione con rilascio di CO<sub>2</sub> in atmosfera e una riduzione della fertilità del terreno nel lungo periodo. È chiaro che si tratti di due aspetti che al giorno d'oggi sono assolutamente indesiderati. Oltre alla funzione nutritiva che la sostanza organica esercita nei confronti delle comunità biotiche del suolo, è prioritario infatti ricordare il suo contributo rispetto alla conservazione della stabilità degli aggregati e quindi della porosità e della permeabilità del terreno. Venendo meno la sostanza organica è evidente che saranno messe a repentaglio anche queste caratteristiche determinando quindi una maggiore suscettibilità dell'agroecosistema nei confronti del cambiamento climatico

poiché questo risulterà essere maggiormente esposto ai rischi connessi al verificarsi di periodi estremamente siccitosi seguiti da precipitazioni particolarmente intense così come alla riduzione della disponibilità di nutrienti, fenomeni che saranno particolarmente frequenti in presenza di terreni fortemente destrutturati. L'alternativa potrebbe essere dunque rappresentata dall'impiego di un approccio conservativo nel quale cover crop e pacciamatura, come anticipato precedentemente, avrebbero un ruolo importante in quanto tecniche multifunzionali in grado di affrontare in modo adeguato le criticità appena evidenziate.

#### *1.4.9.1. Utilizzo delle cover crop*

Per quanto riguarda l'impiego di cover crop, è possibile affermare che questa tecnica abbia un impatto positivo sulla riduzione dei fenomeni di scorrimento superficiale, andando invece a favorire l'infiltrazione idrica lungo il profilo del suolo grazie alla presenza della maggiore porosità determinata, e la riserva idrica che viene così a costituirsi sarà quindi a disposizione delle viti durante la stagione vegetativa (Cataldo et al., 2021). È infatti importante ricordare che la porosità, oltre a dover essere valutata in termini di presenza, deve essere considerata anche in funzione della stabilità degli aggregati che la costituiscono e delle sue caratteristiche di organizzazione e sviluppo lungo il profilo del suolo considerato (Pagliai, 2009).

#### *Possibili meccanismi di competizione*

È lecito interrogarsi però sul fatto che la presenza di un inerbimento possa in qualche modo innescare dei meccanismi di competizione tra la coltura d'interesse e il cotico erboso. Rispetto a questa eventualità, i risultati sono ancora in parte contrastanti tra loro. È altrettanto vero però che, trattandosi di una tecnica molto adattabile al contesto operativo e alle esigenze specifiche, sarà fondamentale scegliere delle specie erbacee che non siano eccessivamente competitive in modo tale da avere una condizione di equilibrio anche in termini di concentrazioni zuccherine nelle uve (Cataldi et al., 2021). Potrebbe essere ad esempio opportuno pensare all'impiego di specie auto-riseminanti caratterizzate da una senescenza precoce durante la stagione in modo da determinare competizione idrica in un periodo che non superi metà primavera (A.Pou et al., 2011). È bene ricordare che, in situazioni particolari, la possibilità di avere questi meccanismi competitivi

potrebbe invece rappresentare un obiettivo da raggiungere per controllare il vigore delle viti e ottenere determinati standard qualitativi (Cataldi et al., 2020).

#### Effetti della presenza di cover crop in areale mediterraneo

La presenza delle cover crop, grazie alla competizione idrico-nutrizionale che si manifesta nelle prime fasi del ciclo vegetativo della vite, è in grado di determinare nella vite una riduzione dell'area fogliare e della lunghezza dei germogli, con conseguente diminuzione della traspirazione a partire dalla fase d'invaiaitura in poi, andando in questo modo a ottenere delle viti più resistenti nei confronti di estati siccitose e degli impianti che richiederanno interventi irrigui e di gestione della chioma meno frequenti, limitando dunque in tal modo anche il ricorso alla meccanizzazione (A.Pou et al., 2011). Sempre per quanto riguarda gli aspetti legati all'attività competitiva che può innescarsi tra le viti e le essenze erbacee utilizzate come cover crop è stata registrata una generale diminuzione sia delle rese che del vigore vegetativo, dimostrato da una riduzione del peso di potatura rispetto a viti per le quali era previsto un controllo delle infestanti mediante l'impiego di prodotti chimici. Tali effetti però non sono stati però associati ad una diminuzione del potenziale idrico fogliare in predawn, mettendo quindi in evidenza il fatto come non fosse la diretta conseguenza di una competizione idrica tra le viti e l'inerbimento. Il potenziale idrico fogliare misurato in tali condizioni infatti fornisce informazioni riguardo quello che è lo stato idrico del suolo e questo ci permette di concludere che la presenza di un cotico erboso in vigneto è in grado di determinare degli adattamenti a carico della distribuzione degli apparati radicali che tenderanno quindi ad approfondirsi maggiormente nella porzione di suolo corrispondente alle diverse file lasciando quindi lo spazio più superficiale dell'inter-fila agli apparati radicali delle essenze erbacee. Questa complementarità nella distribuzione spaziale delle radici, come ricordato anche da *Celette et al. 2008*, accompagnata alla possibilità di trarre beneficio dall'inerbimento in termini di maggiore infiltrazione di acqua nel suolo e alla capacità di scegliere delle essenze erbacee che abbiano dei fabbisogni idrici temporalmente non coincidenti con quelli della coltura principale, ci impone quindi di andare a ricercare le cause della riduzione della resa e del vigore in altri elementi. Il primo di questi è rappresentato dalle asportazioni di azoto da parte del cotico erboso che quindi riducono le disponibilità per le viti. Altro aspetto da prendere in considerazione quando si

valutano ad esempio specie come *Festuca arundinacea* è relativo alla possibilità che si manifestino delle relazioni basate su meccanismi allelopatici che possono quindi in qualche modo andare a condizionare lo sviluppo delle vite durante la stagione vegetativa (Celette et al., 2005).

#### Effetti della presenza di cover crop in areale umido-temperato

Rispetto a quanto detto, è opportuno ricordare un'altra esperienza di studio condotta in un contesto ambientale differente. Se finora si è fatto riferimento al contesto mediterraneo, si prenda ora in considerazione il caso di una regione umido-temperata degli USA, in cui è stato valutato l'impiego delle cover crop, soprattutto in termini di adattamento indotto a carico delle vite dalla presenza delle essenze erbacee, motivo per cui si è lavorato con un vigneto gestito con questa tecnica già da sette anni. Le osservazioni effettuate sono scaturite mettendo in relazione la presenza di apparati radicali potenzialmente in competizione con misure relative ai processi di acquisizione delle risorse dal suolo e di ripartizione della biomassa all'interno di una stessa pianta. Il primo elemento da ricordare è rappresentato dalla distribuzione spaziale degli apparati radicali della vite. Essi, infatti, in presenza di *Festuca rubra*, sono stati interessati da maggiore approfondimento, accompagnato anche da una generale riduzione della quota di radici con funzione strettamente assorbente. Numericamente questo si traduce nella presenza, nei primi 20 cm di terreno, di una quota di radici con diametro al di sotto dei 2 mm pari al solo 28% in presenza dell'inerbimento a fronte invece di un dato che in assenza di inerimento è pari al 77% del totale. Tale comportamento sarebbe giustificato dal fatto che, qualora l'energia richiesta per vincere la competizione interspecifica dovesse eccedere determinati livelli di accettabilità, le vite sarebbero stimolate ad approfondire maggiormente i propri apparati radicali, che per giunta in tali condizioni sarebbero soggetti anche ad una maggiore turnover delle radici assorbenti più fini, in modo da sfuggire alla competizione. Il fatto che si faccia riferimento all'esplorazione di strati utili di suolo caratterizzati da una profondità differente implica però anche la valutazione delle conseguenze dettate dalla variabilità spaziale della disponibilità di elementi nutritivi. Infatti, il maggior approfondimento delle radici della coltura principale verrebbe a corrispondere all'esclusione di questa dagli strati di terreno più fertili. Inoltre, la diminuzione della biomassa radicale e della lunghezza complessiva delle radici assorbenti

contribuiscono a definire l'intensità dei fenomeni di competizione per il fosforo che viene evidenziata dalla presenza di una minor concentrazione di questo elemento nei tessuti fogliari, venendo quindi a costituire anche un fattore limitante per lo sviluppo dei frutti. Per quanto riguarda invece la nutrizione azotata, in contrasto con quanto ci si potrebbe aspettare sulla base di ciò che emerge in studi condotti in areale mediterraneo, non ci sono evidenze di competizione con il cotico erboso. Questo sarebbe giustificato dal fatto che il livello di azoto nel suolo sarebbe risultato sufficiente per soddisfare il fabbisogno della coltura nonostante le esigenze nutrizionali dell'inerbimento. In presenza quindi di suoli caratterizzati da un'elevata fertilità e da una buona disponibilità idrica, in generale non verrebbero ad esserci le limitazioni che sarebbe comunque plausibile riscontrare nel caso di annate particolarmente siccitose. Altra considerazione da fare è invece relativa alla diversa suscettibilità delle colture arboree nei confronti della competizione idrico nutrizionale in funzione dell'età dell'impianto. È evidente, infatti, che gli effetti negativi maggiori verrebbero a registrarsi nella fase iniziale di sviluppo delle piante mentre procedendo verso la fase di maturità verrebbe ad essere manifestata una tolleranza maggiore.

In ogni caso, il quadro appena definito non è direttamente associato ad un contenimento della crescita vegetativa dell'apparato aereo, permettendo quindi di ipotizzare che anche in presenza di apparato radicale ridotto ci siano ugualmente le condizioni per garantire il soddisfacimento delle esigenze fisiologiche della chioma. Tale risposta è da imputare alla capacità dei fruttiferi di conservare una buona efficienza nella ripartizione delle risorse favorendo l'attività vegetativa a scapito invece dello sviluppo radicale. A tal proposito è fondamentale però ricordare due aspetti rappresentati dal fatto che, mentre lo sviluppo vegetativo della chioma non è risultato essere particolarmente influenzato dalla presenza dell'inerbimento, l'attività riproduttiva ha manifestato una sensibilità maggiore, come testimoniato dalla riduzione sia della biomassa fresca che della sostanza secca dei frutti. In secondo luogo, la validità delle osservazioni fatte deve essere valutata in funzione delle caratteristiche del contesto esaminato. È lecito, infatti, pensare che l'intensità con cui la riduzione degli apparati radicali va ad impattare l'acquisizione di risorse dipenda fortemente dall'effettiva disponibilità di risorse nel suolo e dall'intensità dei fenomeni siccitosi. Questo lascia aperta, dunque, la possibilità di riscontrare, in funzione delle caratteristiche sito-specifiche, delle

risposte molto differenziate. L'ultimo tema da evidenziare è relativo all'impatto che la presenza dell'inerbimento ha sullo stato idrico del suolo del vigneto. Valutando infatti il  $\delta^{18}\text{O}$  a diversi livelli di profondità del suolo è stata evidenziata la presenza di una differenza significativa tra i due trattamenti solo a 10 cm di profondità dove l'assenza di cover crop ha fatto registrare un valore meno negativo e indice della maggiore incidenza dei fenomeni evaporativi, mentre invece, in entrambe le tesi, grazie alla misura dello stesso parametro a livello stomatico è possibile individuare una profondità media di approvvigionamento idrico che si attesta attorno ai 30 cm di profondità (Klodd et al., 2016). È chiaro quindi come la valutazione dell'impatto delle cover crop sul bilancio idrico del vigneto sia uno dei fattori che maggiormente determinanti nell'adozione o meno di questa tecnica. Anche in questo caso è necessario considerare una certa variabilità di risposta condizionata soprattutto dalla distribuzione e dall'intensità delle precipitazioni durante l'anno. Le differenze più consistenti in termini di stress a carico delle viti rispetto ad una gestione con suolo nudo vengono infatti ad evidenziarsi in presenza di scarse precipitazioni autunno-primaverili.

#### *Possibili approcci per fronteggiare eccessi competitivi nella stagione in corso*

Troppo spesso, la convenienza di avere in vigneto delle cover crop viene valutata esclusivamente in funzione di quelli che sono i potenziali consumi aggiuntivi che queste sarebbero in grado di determinare esacerbando la competizione idrica con la coltura principale. In realtà è doveroso ricordare che, grazie agli effetti positivi che queste sono in grado di determinare in termini di miglioramento dell'infiltrazione profonda o di riduzione delle perdite di evaporazione, sebbene, in funzione delle caratteristiche dell'annata, non è detto che si riesca a compensare l'incidenza dei consumi traspirativi delle essenze erbacee (Abad et al., 2021). Proprio per questo motivo, è lecito domandarsi se, rispetto all'utilizzo delle cover crop, ci siano degli approcci che possano essere adottati, nel caso di stagioni particolarmente proibitive, per evitare che le viti risultino essere danneggiate dalla compresenza con il cotico erboso. È stato dimostrato infatti che lo sfalcio del cotico erboso rappresenta un metodo efficace nel controllare l'evapotraspirazione di suoli gestiti con inerbimento. Tale efficacia si traduce in una riduzione dell'evapotraspirazione della cover crop ( $\text{ET}_{\text{cc}}$ ) che oscilla, in funzione della quantità di biomassa sfalciata, tra il 35% e il 49%. Tale differenza è destinata

progressivamente ad assottigliarsi considerando, dopo lo sfalcio, la ricrescita del cotico erboso e la ripresa dell'attività evapotraspirativa particolarmente intensa sui tessuti giovani (Centinari et al., 2013).

#### Covercropping e emissioni gassose

Un approccio di questo tipo implica di analizzare la tecnica del *covercropping* anche sotto il punto di vista della mitigazione del cambiamento climatico: la presenza di cover crop permette infatti di osservare una riduzione consistente delle emissioni di NO<sub>2</sub>, gas serra prodotto a partire dai processi di nitrificazione e denitrificazione e particolarmente indesiderato da un punto di vista ambientale in quanto uno dei principali responsabili della formazione del buco nell'ozono (Cataldo et al., 2021). Naturalmente non bisogna tralasciare l'impatto che questa tecnica è in grado di manifestare a carico della CO<sub>2</sub>: l'incremento del carbonio organico nel suolo rappresenta infatti un'azione di mitigazione così come l'abbinamento dell'uso di cover crop con una riduzione delle lavorazioni del terreno permette di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> che deriverebbero dall'ossidazione della sostanza organica (Abad et al., 2021).

#### *1.4.9.2. Utilizzo della pacciamatura*

Per quanto riguarda invece la pacciamatura, si tratta di una tecnica anch'essa caratterizzata da una certa versatilità perché permette l'impiego sia di materiali organici che inorganici al fine di garantire la copertura del suolo. La presenza di un elemento pacciamante sulla superficie del terreno permette infatti di trattenerne l'umidità, ridurre l'evaporazione, di controllare lo sviluppo delle infestanti, regolare la temperatura e incrementare sia la qualità e che il contenuto della sostanza organica del suolo. Nell'utilizzare materiali inorganici è però importante considerare tutta una serie di potenziali svantaggi come ad esempio l'impatto ambientale della produzione e uso di materiali plastici, mentre nel caso dell'utilizzo di materiale organico generico è importante andare a tenere conto del fatto che esso debba essere distribuito in quantità sufficienti per svolgere le sue funzioni tenendo conto del fatto che, generalmente, si assiste ad una riduzione dello spessore dello strato di materiale organico pari al 60% nel primo anno di applicazione e che tenderà ad essere variabile negli anni successivi in funzione della granulometria della matrice considerata (Guerra et al., 2012).

### Scenario RCP 8.5: pacciamatura e adattamento al climate change

L'impiego della pacciamatura come misura di adattamento è stato valutato all'interno dello scenario RCP 8.5 ed è stata evidenziata la capacità di questa tecnica di determinare un contenimento delle perdite di produzione proiettate compreso tra il 10 e il 25% della variazione predetta. Si tratta quindi di una applicazione che, in un contesto caratterizzato da scarsità della risorsa idrica e dalla presenza di fattori in grado di andare ulteriormente ad aumentarne i consumi, punta all'incremento della WUE che passa quindi attraverso la riduzione dell'evapotraspirazione colturale (Cataldo et al., 2021). Sulla base dello scenario RCP 8.5, è stata considerata, mediante l'impiego di modelli di simulazione, l'evoluzione che potrà interessare la zona viticola dell'Alentejo, nel sud del Portogallo. Pur confermando la tendenza ad una progressiva diminuzione delle rese, è stata evidenziata la possibilità, mediante l'impiego della pacciamatura, di contenere la riduzione di resa annuale al -0.66% rispetto invece al -0.75% previsto in assenza di questa applicazione. Tale dato rappresenta un valore rappresentativo di quella che comunque è una certa variabilità riscontrabile esaminando i diversi distretti produttivi presenti nella regione e che deve essere presa in considerazione per capire come possa esserci una diversa sensibilità nei confronti degli effetti indesiderati. Inoltre, nelle simulazioni effettuate, sono state prese in considerazione diverse tipologie di materiali pacciamanti e il dato restituito corrisponde alla media dei valori registrati nei diversi casi specifici. Sulla base quindi delle proiezioni 2021-2080, la pacciamatura è risultata essere una tecnica di facile accesso per i viticoltori e in grado di manifestare degli effetti già nel breve periodo, sebbene sia comunque da considerare come tecnica complementare all'interno di una strategia di adattamento e mitigazione più ampia (Fraga et al., 2021).

### Consumi idrici: pacciamatura e no tillage

La pacciamatura viene spesso utilizzata anche in concomitanza di una non lavorazione del suolo con la volontà di incrementarne gli effetti, riducendo le perdite dirette di acqua dal suolo e i consumi traspirativi (Cataldo et al., 2021). A tal proposito, è opportuno ricordare quanto emerso andando ad analizzare gli effetti combinati della pacciamatura – eseguita con residui di potatura in vigneto – e la non lavorazione del terreno. A fronte, infatti, di un contributo medio

dell'evaporazione pari al 20% del consumo totale di acqua del vigneto, la combinazione di queste due tecniche di gestione del suolo ha determinato un abbattimento dell'intensità evaporativa tale da osservare una riduzione dello stress idrico delle viti pari al 5% e al 13% rispetto alla tesi che prevedeva la lavorazione del terreno valutata nei due regimi di disponibilità idrica considerati. Questa sarebbe infatti la diretta conseguenza della capacità del terreno pacciamato di migliorare l'accumulo di acqua al suo interno, soprattutto negli strati più superficiali. Gli effetti evidenziati hanno comunque una certa dipendenza dalle condizioni ambientali che annualmente si differenziano. Infatti, i benefici più consistenti dell'applicazione di questo approccio sono stati evidenziati nelle annate più siccitose (2016-2017), mentre, nel solo 2017 è possibile mettere in luce la presenza di un miglioramento a carico della WUE pari all'11% (Buesa et al., 2020).

#### *Effetti sulla capacità di ritenzione idrica del suolo pacciamato*

Sebbene il principio che è alla base dell'impiego della pacciamatura sia principalmente quello di evitare che dal terreno ci siano eccessive perdite evaporative e non direttamente di incrementare la capacità del terreno di immagazzinare l'acqua derivante da precipitazioni o interventi irrigui, è stato evidenziato che, andando ad utilizzare un materiale pacciamante organico, si può osservare un aumento della capacità di intercettazione dell'acqua che si spinge fino al 30%. L'effetto della presenza della pacciamatura sulla disponibilità idrica per il vigneto è stato quantificato andando a misurare anche le variazioni a carico del contenuto idrico di primi 15 cm di suolo e della sua temperatura in vigneti gestiti per tre anni successivi con l'impiego di questa tecnica. L'effetto combinato della riduzione dell'evaporazione diretta con il maggiore controllo a carico delle infestanti presenti in campo – e di conseguenza l'abbattimento dei processi traspirativi associati alla loro presenza - ha permesso di osservare il mantenimento di un livello di umidità superiore. (Chan et al., 2010).

#### *Effetti sulla dinamica della sostanza organica nel suolo*

La maggiore capacità di un terreno pacciamato di trattenere acqua deve essere letta in parallelo all'analisi degli effetti che la pacciamatura è in grado di determinare a carico del contenuto di sostanza organica nel suolo. Infatti, emerge con chiarezza come la presenza di una pacciamatura organica abbia la capacità di contribuire

positivamente al miglioramento della disponibilità di sostanza organica all'interno del suolo e quindi della sua capacità di trattenere umidità (Buesa et al., 2020). Tale risposta risulta essere condizionata da diversi fattori, tra cui si ricordano la tipologia di matrice pacciamante utilizzata e lo spessore dello strato applicato. Per quanto riguarda il primo elemento, è stato evidenziato che sia l'impiego di biomassa sfalciata derivante da vegetazione spontanea sia quella ottenuta da un inerbimento seminato costituito di *Hordeum vulgare* e *Trifolium squarrosum* permettono di registrare dei valori superiori di SOM che risultano essere statisticamente significativi rispetto alle tesi che prevedevano la lavorazione del terreno o il sovescio della biomassa. Questa tendenza può essere spiegata dal fatto che da un lato si ha la disponibilità di un input di sostanza organica mentre dall'altro, mediante la pacciamatura, si riducono i processi di mineralizzazione della sostanza organica e di erosione del suolo. Per quanto riguarda invece la dinamica dell'azoto nel terreno esiste una certa dipendenza dalla composizione floristica considerata. Gli stessi trattamenti hanno evidenziato la capacità di determinare il miglior effetto a carico della stabilità degli aggregati del terreno. Allo stesso tempo, la presenza della pacciamatura ha permesso di osservare i valori di QBS più elevati, rappresentativi quindi di un miglioramento delle attività biologiche delle comunità suolo (Raffa et al., 2021). Per quanto riguarda invece lo spessore dello strato pacciamante, è stato dimostrato che si tratta di un fattore in grado di incidere determinando un aumento dell'umidità del suolo dal 5.8% all'11.1% considerando una pacciamatura realizzata con stocchi di mais utilizzati per costituire uno strato rispettivamente di spessore di 2 cm e di 6 cm. L'aspetto ancor più interessante è rappresentato dal fatto che la presenza della pacciamatura ha evidenziato la capacità di avere un maggior effetto stabilizzante sia nei confronti del livello di umidità del suolo sia rispetto alla sua temperatura (Qin et al., 2022). Per quanto riguarda la temperatura, l'effetto registrato è stato quello di una riduzione dell'escursione termica giornaliera come conseguenza dell'incremento della temperatura minima e diminuzione della temperatura massima (Chan et al., 2010). Questo, quindi, significa che si avrà a disposizione un suolo che, in presenza di precipitazioni particolarmente intense, sarà in grado di mantenere tendenzialmente stabile il suo livello di umidità senza dar luogo a fenomeni erosivi particolarmente intensi e che invece, al verificarsi di ondate di calore intense e ripetute, sarà in grado di reagire mantenendo delle temperature più basse e con un'escursione giornaliera inferiore.

Nello stesso contesto, sono state fatte delle valutazioni rispetto alla complessità che viene ad interessare la frazione organica presente nel suolo. A prescindere dallo spessore dello strato pacciamante si evidenzia infatti un incremento del contenuto di SOC rispetto alla tesi priva di pacciamatura. Allo stesso tempo però, si evidenzia un incremento del C/N come conseguenza del processo di decomposizione che interessa, fin dall'inizio, le frazioni più accessibili e poi successivamente le componenti più resistenti alla degradazione come la lignina e la cellulosa (Qin et al., 2022).

Ciò che è emerso permette di concludere constatando quanto la pacciamatura, oltre a mostrare una certa versatilità nei confronti delle diverse condizioni ambientali specifiche, è in grado di dimostrare una certa multifunzionalità che si traduce nella possibilità di farne uso in modo differenziato ai fini della mitigazione e dell'adattamento nei confronti del cambiamento climatico.

#### *1.4.9.3. Gestione conservativa del suolo: cenni di valutazione economica*

Il confronto tra l'adozione di protocolli convenzionali e protocolli che aspirano ad essere più sostenibili, deve essere naturalmente fatto andando a valutare anche gli aspetti legati ai costi delle operazioni, oltre che all'efficacia e all'impatto ambientale. A parità di efficacia dimostrata nel controllo delle malerbe, dalla valutazione comparata di diserbo chimico, impiego di una fresa orizzontale e impiego di una trinciaerba orizzontale a fili nella gestione del sottofila del vigneto è infatti emerso che la trinciatura, grazie alla formazione dello strato di materiale pacciamante che ne deriva, risulta essere la pratica più sostenibile da un punto di vista ambientale in quanto è in grado di determinare il più basso livello di emissioni di CO<sub>2</sub>. Allo stesso tempo, è stato però calcolato che i costi per unità di superficie sono superiori rispetto a quelli sostenuti per l'applicazione delle altre due tecniche. Questi verrebbero però giustificati dagli effetti positivi che la pacciamatura comporta. Bisogna ad esempio considerare la riduzione dell'erosione superficiale, problematica che invece sarebbe particolarmente evidente nel caso in cui si procedesse ad una lavorazione meccanica del terreno soprattutto in contesti collinari caratterizzati da variabilità di pendenze e in uno scenario di cambiamento climatico che prevede il verificarsi di precipitazioni caratterizzate da una forte intensità con una frequenza sempre maggiore. È altrettanto evidente che, a

differenza dell'impiego di un diserbante chimico, questa tecnica non determinerebbe alcun pericolo di tossicità nei confronti dell'uomo e di altri organismi eventualmente presenti (Manzone et al., 2020). Possibili evoluzioni nell'applicazione di queste tecniche potrebbero essere ad esempio rappresentate dall'impiego, in sostituzione dei trattori comunemente impiegati, di piattaforme autonome che, munite di adeguati organi di lavoro e avendo la possibilità di essere alimentate mediante l'impiego di piccoli pannelli solari, potrebbero costituire un elemento di mitigazione del cambiamento climatico nella gestione del vigneto. In questo modo infatti la sostenibilità di tali pratiche verrebbe ad essere ulteriormente incrementata dall'abbattimento dei consumi di combustibili fossili e delle conseguenti emissioni.

Quanto detto fino ad ora evidenzia come, in un contesto produttivo in cui bisogna fare fronte alle sfide poste dal cambiamento climatico, siano in realtà disponibili diverse vie di mitigazione ma soprattutto di adattamento in grado di permettere l'intervento a vari livelli dell'attività gestionale. Esse devono essere considerate con attenzione per poter fare in modo che la viticoltura possa continuare ad essere praticata anche in presenza di mutate condizioni ambientali. È evidente come la via della mitigazione comprenda una serie di azioni e di interventi che riguardano da un lato direttamente il singolo agricoltore, come ad esempio potrebbe essere l'ottimizzazione del numero di interventi in campo con i mezzi meccanici evitando quindi di avere delle emissioni eccessive di inquinanti in atmosfera quando non strettamente necessario, ma dall'altro devono interessare e orientare soprattutto le attività dei decisori politici. Questi, infatti, hanno la possibilità di intervenire in modo sicuramente più decisivo in tal senso, sostenendo l'applicazione di tecniche virtuose e il perseguimento di filiere produttive più sostenibili.

Le possibilità di adattamento nel loro complesso costituiscono invece un ventaglio di opportunità strategiche che potranno essere impiegate direttamente dagli agricoltori declinandole nei diversi contesti specifici in cui ci si troverà ad operare. Diventa quindi in questo caso fondamentale considerare e quantificare i potenziali vantaggi e svantaggi derivanti da ciascuna delle azioni condotte. Per questo motivo è necessario affiancare la valutazione delle diverse tecniche mediante la sperimentazione diretta in campo all'impiego di modelli in grado di simulare l'evoluzione delle condizioni ambientali secondo quelli che sono i futuri scenari

globali possibili dettati dalla presenza del cambiamento climatico in modo da mettere l'agricoltore nella condizione di poter effettuare scelte ponderate su valutazioni di lungo termine.

Un altro elemento da considerare, come ricordato anche in precedenza, è rappresentato dal fatto che l'applicazione delle sole politiche di adattamento, per quanto possano essere efficaci, non sarebbe risolutiva nei confronti delle problematiche dovute al cambiamento climatico perché adattarsi significherebbe comunque non fare alcun intervento a carico delle cause primarie del cambiamento climatico, e nello specifico delle emissioni gassose, cercando invece di fare in modo che possano essere salvaguardate le produzioni comunemente diffuse. Per questo motivo è necessario considerare l'applicazione di entrambi gli approcci nello stesso momento così da evitare, mediante la mitigazione, che in futuro possa verificarsi un peggioramento delle condizioni ambientali e poter avere, grazie alle strategie di adattamento, degli strumenti che permettano di continuare a produrre conservando determinate caratteristiche qualitative. È quindi evidente che l'applicazione di alcune tecniche tra quelle viste potrebbe essere più premiante. Si fa infatti riferimento a quelle che si identificano come opportunità ibride tra l'adattamento e la mitigazione, che sono cioè in grado di perseguire obiettivi di entrambi i tipi. Si è infatti visto quanto sia centrale il ruolo della sostanza organica affinché l'agroecosistema sia resiliente e produttivo e come la sua gestione, se non ottimizzata, possa rappresentare oltre che una forma di impoverimento del sistema in termini di produttività anche una voce in grado di contribuire alle emissioni di CO<sub>2</sub>. Allo stesso tempo bisogna considerare anche quelle che sono le grandi potenzialità del suolo in termini di stoccaggio di carbonio al suo interno. Esso costituisce infatti il più grande serbatoio di carbonio terrestre. Per avere una valutazione quantitativa, si può fare riferimento ad una capacità di stoccaggio che permetterebbe di immagazzinare una quantità di carbonio pari a 3 volte il contenuto attuale di carbonio dell'atmosfera, 4 volte l'ammontare delle emissioni antropogeniche cumulate e 250 l'ammontare delle emissioni derivate da combustibili fossili in un anno. La capacità di stoccaggio non rappresenta però una caratteristica che descrive in modo indifferenziato e aspecifico tutti i suoli. È infatti importante ricordare come questa dipende dal contenuto di carbonio iniziale nel suolo, dalla tipologia di suolo, dall'andamento climatico e dalle pratiche di gestione che su di esso vengono impiegate. È altrettanto fondamentale evidenziare che il

potenziale di stoccaggio definibile per ciascun suolo ha una relazione di proporzionalità diretta con il suo livello di degradazione: le realtà caratterizzate da un livello elevato di degradazione sono quelle che avranno anche il maggiore potenziale di stoccaggio. Tra le pratiche definite come Recommended Management Practices (RMP), al fine di ottenere un bilancio emissivo negativo, rientrano quindi due attività sulle quali ci si concentrerà in modo particolare: la pacciamatura con materiale organico e l'impiego di cover crop (Bellieni et al., 2017). Sarà dunque fondamentale prendere in considerazione come queste siano in grado di ricoprire un ruolo importante nella mitigazione del cambiamento climatico ma anche nel mantenimento, secondo un approccio di adattamento, di una serie di servizi ecosistemici, tra cui la produttività degli agroecosistemi, la conservazione della biodiversità e la protezione del territorio da fenomeni erosivi. Proprio riguardo quest'ultima finalità è importante ricordare l'attività che è stata svolta all'interno del progetto SOIL4WINE. Si tratta infatti di un progetto che è stato portato avanti proprio per mettere in evidenza quanto la gestione del suolo e la valutazione corretta delle minacce ad esso rivolte siano fondamentali per far fronte al cambiamento climatico. Il progetto, mediante la produzione di un algoritmo di valutazione e confronto tra protocolli di gestione differente, ha permesso di dare una quantificazione economica di quelli che sono alcuni servizi ecosistemici che potrebbero facilmente derivare dall'applicazione di tecniche innovative di gestione del suolo. Si parla ad esempio di un contenimento dell'erosione che è pari ad un valore di 700 €/ha di vigneto gestito secondo i protocolli presi in considerazione. Questo, quindi, mette in evidenza come la valutazione di queste relazioni non sia assolutamente un aspetto da sottovalutare (Diti et al., 2020).

Affinché quindi un approccio basato fondamentalmente sull'impiego delle tecniche viste possa costituirsi come protocollo di gestione multifunzionale del suolo in vigneto è necessario che vengano dunque analizzate adeguatamente le criticità che potrebbero sorgere andando a fare anche una comparazione tra costi e benefici e allo stesso tempo verificare la compatibilità nell'applicazione di queste tecniche con il modello della viticoltura attualmente diffuso in modo da valutarne la fattibilità. In questo solco si inserisce dunque il progetto Resil-vigna che ha come obiettivo generale quello di promuovere tecniche che permettano al viticoltore, mediante l'incremento della resilienza idrica del vigneto, di ottenere un maggior

livello di competitività aziendale in un'area esposta ad un livello di rischio particolarmente alto come può essere appunto la provincia di Piacenza.

## 2. OBIETTIVI SPERIMENTALI

Quanto detto finora ha permesso di tracciare quella che è la cornice di lavoro all'interno della quale si inserisce il tema della gestione del suolo come elemento da indagare per fare in modo che la viticoltura possa essere in grado di rispondere in modo adeguato e prontamente a quelle che sono le sfide imposte dal cambiamento climatico. Come sottolineato più volte, è dunque prioritario fare riferimento alla combinazione di approcci differenti che, integrati tra loro, possano portare a dei risultati promettenti. Proprio per questo motivo, il tema della gestione del suolo, sebbene in passato sia stato analizzato con uno sguardo rivolto agli aspetti strettamente operativi della gestione del vigneto, acquisisce oggi invece una valenza totalmente diversa. Essa, infatti, interagendo con processi di diversa natura, permette di perseguire degli obiettivi di breve e di lungo periodo, assumendo dunque i tratti di una tecnica di mitigazione e di adattamento al cambiamento climatico.

Per tali motivi è stata condotta una prova sperimentale specifica volta a valutare le modalità con cui la gestione del suolo è in grado di condizionare la resilienza del vigneto al cambiamento climatico. In linea di massima, dunque, sono stati testati diversi trattamenti a confronto con un controllo rappresentato dalla gestione aziendale e per ciascuno di questi sono stati presi in considerazione aspetti relativi alle performance vegeto-produttive del vigneto in modo da comprendere quale di questi sia più o meno adatto a fronteggiare condizioni ambientali differenti portando all'ottenimento di uve che siano in grado di rispondere alle esigenze enologiche. Tale attività, svolta presso l'azienda vitivinicola Tenuta Pernice di Castelnovo Val Tidone, si inserisce dunque all'interno dell'azione 2 del progetto Resilvigna. Questo, finanziato del Psr – Mis. 16.1.01 FA 4B della Regione Emilia-Romagna, coinvolge, oltre l'Università Cattolica del Sacro Cuore e la già menzionata azienda, altre tre realtà vitivinicole che operano nell'area dei Colli piacentini, areale nel quale negli ultimi anni è sempre più frequente il verificarsi di decorsi stagionali particolarmente critici. L'obiettivo generale del progetto è quello di identificare degli approcci agronomici che siano in grado di ottimizzare l'utilizzo della risorsa idrica da parte del sistema vigneto. In particolar modo, lo studio si concentra sulla valutazione del ruolo che può essere giocato dalla presenza di inerbimenti temporanei autunno-primaverili, oltre che per la disponibilità idrica, anche come elementi di controllo delle infestanti, come coadiuvanti alla lotta antiparassitaria e come componenti in grado di determinare, attraverso una serie di implicazioni, un miglioramento generalizzato della fertilità del suolo.

Scendendo ad un livello di dettaglio maggiore, la sperimentazione prevede il saggio di due inerbimenti caratterizzati da diversa composizione floristica e per ciascuno di questi l'impiego di modalità di terminazione differenti.

Tale articolazione del progetto è dunque finalizzata a produrre delle linee guida che permettano al viticoltore di acquisire maggiore consapevolezza rispetto a quelle che sono le scelte condotte a livello aziendale sia in termini di composizione floristica dell'inerbimento sia in termini di modalità di terminazione, in modo da soddisfare le esigenze produttive nonostante gli impatti del cambiamento climatico. Inoltre, resta di fondamentale importanza andare a validare l'ipotesi che una gestione del suolo di questo tipo sia in grado di andare a incidere positivamente sul bilancio idrico del vigneto incrementando soprattutto la capacità di invaso e riducendo sia i consumi della flora spontanea, data la possibilità di controllarne la presenza mediante la presenza di un inerbimento seminato, sia l'evaporazione idrica diretta dal suolo.

### 3. MATERIALI E METODI

#### 3.1. Caratteristiche del vigneto

La prova sperimentale è stata condotta durante il biennio 2021-2022 in un vigneto adulto di *Vitis vinifera* L. cv. Barbera innestato su 420A sito a Castelnovo Val Tidone (PC) e di proprietà dell'azienda vitivinicola "Tenuta Pernice – Società agricola" che opera in regime di agricoltura biologica. Il vigneto risulta essere stato impiantato nel 2001 ed è caratterizzato da una giacitura pianeggiante con orientamento dei filari NE-SO. Il sistema di allevamento utilizzato è quello della spalliera verticale e le viti sono state allevate con potatura lunga a tralcio rinnovabile (Guyot semplice). Il sesto d'impianto prevede una distanza tra le file pari a 2.40 m e una distanza tra le piante della stessa fila di 1 m per una densità teorica di 4166 ceppi/ha. Il vigneto in oggetto, come il resto della superficie aziendale, risulta essere condotto in assenza di irrigazione. Il monitoraggio e la caratterizzazione delle condizioni ambientali sono stati effettuati anche mediante l'utilizzo di una stazione metereologica sita in prossimità del vigneto in grado di fornire valori giornalieri di temperatura minima, media e massima (°C) e di precipitazioni cumulate (mm). In aggiunta a ciò, è necessario ricordare l'impiego di sensori "Teros 21" precedentemente installati nel vigneto per la misura del potenziale idrico e della temperatura del suolo a due profondità di riferimento (30 cm e 60 cm). Essi risultano essere posizionati nello spazio del sottofila.

Il terreno è limoso – argilloso, presenta un pH sub-acido ed è privo di calcare (*Tabella 3*). Tali caratteristiche sono state definite in funzione delle analisi del suolo all'inizio della ricerca.

##### 3.1.1. Caratteristiche pedologiche

L'area considerata ricade all'interno della zona della provincia definita, da un punto di vista pedologico, dalle cosiddette "Terre rosse antiche". Esse presentano un colore rossastro tendente all'aranciato. Trattandosi di suoli molto antichi, è possibile osservare una profondità particolarmente elevata che in alcuni casi raggiunge i 10 metri. Questo permette quindi di osservare degli intensi fenomeni di infiltrazione dell'acqua che nel corso dei millenni hanno esitato nel completo allontanamento dei carbonati dagli strati più superficiali, con conseguente accumulo negli strati più profondi. Si tratta di suoli che grazie alla loro profondità, abbinata alle caratteristiche della tessitura che spazia dal franco limoso all'argilloso, sono in grado di immagazzinare cospicue riserve idriche (Scotti et al., 2017). Nello specifico, sulla base della Carta Regionale dei Suoli della Regione Emilia-Romagna in scala 1:500000 (Regione Emilia-Romagna, 2018), il

vigneto rientra nell'Unità Cartografica CTD1/RIV1, come indicato dalla delimitazione 8622 e corrispondente alla combinazione dei suoli "Cittadella" e dei suoli limosi-argillosi "Rivergaro", caratterizzati da pendenza moderata variabile tra l'1 e il 5%.

### 3.1.2. *Caratteristiche del vitigno*

Il Barbera è un vitigno altamente diffuso in varie regioni del nord Italia e allo stesso tempo risulta essere coltivato anche in altri Paesi. Si tratta di un vitigno a bacca rossa caratterizzato da una vigoria buona ma non eccezionale. Nelle regioni in cui la sua coltivazione è particolarmente importante viene quasi esclusivamente allevato a guyot semplice. Dal punto di vista produttivo, tende ad essere abbastanza costante negli anni e ad essere soggetto a colatura solamente in annate particolarmente critiche. Il numero di infiorescenze per singolo germoglio è di circa due e la fertilità delle femminelle è trascurabile. Il grappolo è di media grandezza, tendenzialmente piramidale e talora compatto. Tale carattere evidenzia la capacità del vitigno di rispondere prontamente a quelle che sono condizioni ambientali e colturali

(<http://catalogoviti.politicheagricole.it/result.php?codice=019>).

### 3.1.3. *Caratteristiche del portinnesto*

Il 420A deriva dall'incrocio di *Vitis berlandieri* x *Vitis riparia* e, dopo il K5BB, corrisponde al secondo portinnesto più utilizzato per Barbera. Si tratta di un portinnesto adatto a terreni fertili, abbastanza profondi e non soggetti a ristagno idrico. Mal tollera il verificarsi di stress idrici ed è sensibile alla carenza di potassio. Si tratta di un portinnesto in grado di andare ad indurre modesta vigoria ed un ingrossamento limitato del tronco. È caratterizzato da un insediamento non particolarmente rapido ma, una volta completato questo, è in grado di garantire il mantenimento di condizioni di equilibrio vegeto-produttivo anche se in alcuni casi può favorire degli eccessi di produzione (Palliotti et al., 2020).

## 3.2. **Disegno sperimentale**

Negli anni di sperimentazione, la gestione del suolo è stata effettuata applicando un disegno sperimentale a due blocchi randomizzati e prevedendo l'impiego di due miscugli commerciali caratterizzati da una differente composizione floristica. Tali miscugli sono stati sottoposti a 3 diverse modalità di terminazione rispetto alla gestione aziendale ordinaria assunta come controllo e che prevede la presenza di inerbimento spontaneo e lavorazione a

filari alterni. Per ciascun blocco è possibile dunque individuare una replica di TIPOLOGIA DI MISCUGLIO x MODALITÀ DI TERMINAZIONE per un totale di 7 trattamenti per blocco.

### *3.2.1. Caratteristiche dei miscugli utilizzati*

I due miscugli seminati, già presenti a livello commerciale, risultano differenti da un punto di vista compositivo. Lo sviluppo dei due inerbimenti rispetto al controllo e in diversi momenti della stagione è riportato da *Foto 1* a *Foto 6*. La scelta di una diversa composizione, conoscendo quelle che sono caratteristiche delle diverse famiglie botaniche utilizzate, potrebbe rispondere alle esigenze specifiche di contesti produttivi differenti. Nello specifico, si può distinguere un primo miscuglio contraddistinto da una discreta presenza di Leguminose (B) potenzialmente in grado di garantire una buona disponibilità di azoto e di rendere più equilibrata la composizione del miscuglio stesso e un secondo caratterizzato invece da una composizione orientata alla produzione di una biomassa consistente, come testimonia la ripartizione della semente tra le diverse famiglie botaniche (C), e eventualmente in grado di influenzare positivamente il livello di sostanza organica presente del suolo. I miscugli utilizzati sono entrambi venduti da Padana Sementi Elette s.r.l. con i nomi commerciali “Stratus” e “Humusfert” rispettivamente. In linea generale e in funzione delle caratteristiche compositive dei miscugli stessi è possibile affermare che nel primo caso facciamo riferimento ad un C/N di circa 20 mentre nel secondo caso esso risulta essere superiore a questo valore. Entrambi i miscugli sono stati seminati con una dose di 80 kg/ha. Come comunemente frequente, le Graminacee e le Leguminose rappresentano la quota maggioritaria all’interno degli inerbimenti considerati. Al fine di ottenere una maggior complementarità di funzioni svolte e di obiettivi raggiunti, non è da sottovalutare l’inserimento di essenze appartenenti ad altre famiglie botaniche. Di seguito si riporta la composizione dettagliata in termini percentuali e di specie per ciascuno dei due miscugli selezionati.

**Tabella 1** Composizione percentuale miscuglio bilanciato (B)

<b>Miscuglio bilanciato (B) – nome commerciale STRATUS</b>			
<b>Famiglia botanica</b>	<b>Specie/Varietà</b>	<b>%</b>	<b>% per famiglia</b>
Graminaceae	<i>Avena strigosa</i> ‘Iapar 61’	24	48
	<i>X Triticosecale</i> ‘Doublet’	24	
Fabaceae	<i>Vicia sativa</i> ‘Marianna’	20	34
	<i>Vicia benghalensis</i> ‘Popany’	7	
	<i>Trifolium incarnatum</i> ‘Pier’	7	
Brassicaceae	<i>Raphanus sativus</i> ‘Octopus’	6	14
	<i>Raphanus sativus</i> ‘Doublet’	4	
	<i>Brassica carinata</i> ‘Utopia’	4	
Hydrophyllaceae	<i>Phacelia tanacetifolia</i> ‘Boratus’	4	4

**Tabella 2** Composizione percentuale miscuglio con prevalenza di Graminacee (C)

<b>Miscuglio con prevalenza di Graminacee (C) – nome commerciale HUMUSFERT</b>			
<b>Famiglia botanica</b>	<b>Specie/Varietà</b>	<b>%</b>	<b>% per famiglia</b>
Graminaceae	<i>Hordeum vulgare</i> ‘KWS Tonic’	56	83
	<i>Avena strigosa</i> ‘Iapar 61’	27	
Fabaceae	<i>Trifolium incarnatum</i> ‘Opolska’	10	10
Brassicaceae	<i>Brassica napus</i> ‘Ringo’	4	4
Hydrophyllaceae	<i>Phacelia tanacetifolia</i> ‘Angelia’	3	3

### 3.2.2. Modalità di terminazione degli inerbimenti

Dopo essere stati seminati in autunno, entrambi gli inerbimenti sono stati terminati in primavera nel momento in cui la maggior parte delle essenze erbacee aveva raggiunto lo stadio di piena fioritura. La prova ha previsto dunque di effettuare tale operazione con modalità differenti:

- Sovescio (S). L’ intervento è consistito nella trinciatura della biomassa presente e nel successivo interrimento della stessa a distanza di circa 7 giorni effettuato grazie all’uso di una zappatrice.
- Trinciatura della biomassa e andatura nel sottofila (A). La terminazione è stata svolta utilizzando una trincia-andatrice (Spit-green 120, Falc). Si tratta di una macchina operatrice che grazie alla presenza di due convogliatori laterali è in grado di andare ad indirizzare la biomassa trinciata nello spazio del sotto filare.

- Rullatura della biomassa in loco. L'azione è stata svolta utilizzando il rullo alettato Eco-roll proposto dalla Clemens con fronte di lavoro di 160 cm. La presenza dell'alettatura ha l'obiettivo di andare ad efficientare l'azione di schiacciamento al suolo della biomassa degli inerbimenti.

Nella *Foto 7* sono visibile le macchine operatrici utilizzate per effettuare le terminazioni

Di seguito, dunque, si riporta lo schema dei trattamenti testati.

TRATTAMENTO 1: testimone aziendale con lavorazione dell'interfila alternata a filari con inerbimento spontaneo (Az).

TRATTAMENTO 2: inerbimento totale con miscuglio bilanciato e terminazione mediante sovescio (BS).

TRATTAMENTO 3: inerbimento totale con miscuglio bilanciato e terminazione mediante trinciatura e andatura nel sottofila (BA).

TRATTAMENTO 4: inerbimento totale con miscuglio bilanciato e terminazione mediante rullatura ad effetto pacciamante (BP)

TRATTAMENTO 5: inerbimento totale con miscuglio a prevalenza di Graminacee e terminazione mediante sovescio (CS).

TRATTAMENTO 6: inerbimento totale con miscuglio a prevalenza di Graminacee e terminazione mediante trinciatura e andatura nel sottofila (CA).

TRATTAMENTO 7: inerbimento totale con miscuglio a prevalenza di Graminacee e terminazione mediante rullatura ad effetto pacciamante (CP).

Nei giorni immediatamente precedenti alla terminazione, si è inoltre proceduto con un intervento finalizzato alla quantificazione della biomassa prodotta dai due inerbimenti (*Foto 8 e 9*). A tal proposito, per ciascuna parcella destinata ad una diversa terminazione è stata quindi individuata un'area pari alla larghezza dell'interfilare stesso per la lunghezza compresa tra due piante. Oltre queste due misure si è provveduto alla misurazione dell'altezza raggiunta dall'inerbimento all'interno delle aree di campionamento individuate. È stato dunque effettuato lo sfalcio della biomassa presente mediante l'uso di un decespugliatore. La quantificazione della biomassa sfalcata è stata riferita al m<sup>2</sup> di superficie e contestualmente è stato prelevato un sub-campione di circa 500 grammi di biomassa da essiccare in stufa ad una temperatura di 105 °C al fine di determinare la quantità di sostanza secca prodotta. Per quanto riguarda i due trattamenti che hanno previsto l'andatura della biomassa nel sottofila (CA e BA) in seguito alla terminazione è stata effettuata la

quantificazione della biomassa depositata nel sottofila in termini di peso fresco. Anche in questo caso, mediante il prelievo di un sub-campione di 500 grammi circa, è stata effettuata la determinazione della sostanza secca prodotta. Per quanto riguarda le determinazioni fatte nell'interfila, è stata individuata un'area di sfalcio per ciascun TRATTAMENTO x BLOCCO per un totale di 12 aree. Nel sottofila delle tesi interessate da andanatura, sono state effettuate misure per ciascun TRATTAMENTO x BLOCCO per un totale dunque di 12 aree.

Per ciascuno di questi trattamenti, in fase di impostazione della prova, sono state individuate 5 piante rappresentative sulle quali, nel corso delle stagioni, sono state effettuate le successive determinazioni vegeto-produttive e fisiologiche.

### **3.3. Applicazione delle tesi**

La semina di entrambi i miscugli è stata effettuata in autunno utilizzando una seminatrice combinata ad erpice rotante (8/10/2020 - 15/10/2021 - 06/10/2022). La gestione del sottofila nei diversi trattamenti ha previsto un intervento di sfalcio effettuato in primavera con decespugliatore al fine rendere più efficiente l'applicazione dei diversi trattamenti, in modo particolare il trattamento che ha previsto la deposizione della biomassa trinciata nel sottofila. Successivamente, in funzione del decorso stagionale, è stata valutata la possibilità di effettuare degli interventi successivi dello stesso tipo in funzione dell'intensità di ricaccio del cotico. È bene precisare che tali interventi non sono stati necessari nell'anno 2022 che, per il suo decorso stagionale, si è rivelato particolarmente sfavorevole alla ripresa vegetativa del cotico erboso. La terminazione degli inerbimenti artificiali è stata eseguita rispettivamente nelle seguenti date: 18/05/2021, 18/05/2022 e 01/06/2023. Per quanto riguarda il testimone aziendale, nei filari inerbiti, il cotico erboso risulta affermato e presente fin dai primi anni successivi all'impianto ed esso viene normalmente gestito, durante la stagione primaverile-estiva, con sfalci che puntano al controllo della sua attività competitiva nei confronti della coltura principale. La biomassa trinciata con questi interventi viene normalmente lasciata in sito. Nei filari lavorati invece il numero di interventi e il momento in cui questi sono stati effettuati sono stati valutati in funzione dell'emergenza delle infestanti e dell'andamento meteorologico.

### **3.4. Parametri vegeto-produttivi e caratterizzazione fisiologica**

Il protocollo sperimentale ha previsto di andare ad effettuare dei rilievi nelle diverse stagioni al fine di andare ad ottenere una descrizione delle caratteristiche vegeto-produttive e

fisiologiche del vigneto considerato. A partire dalla stagione primaverile, nel mese di maggio, in corrispondenza della fase di infiorescenze visibili, ogni anno è stata effettuata la valutazione della fertilità potenziale dei germogli delle 5 piante prese in esame per ciascun TRATTAMENTO x BLOCCO, grazie al conteggio del numero di germogli e di infiorescenze totali per ceppo. Nel corso della stagione vegetativa, a partire da una condizione di pre-stress fino alla fase di pre-vendemmia, sono stati condotti 3 rilievi in campo finalizzati a misurare parametri relativi all'attività fisiologica delle piante. Le misure sono state effettuate mediante l'uso di un analizzatore portatile di scambi gassosi LCi-SD (ADC BioScientific Ltd, Hoddesdon, Regno Unito) che ha permesso di misurare la capacità fotosintetica e il suo livello di efficienza mediante la quantificazione dell'assimilazione ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), della traspirazione ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e della conduttanza stomatica ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e di calcolare quindi *intrinsic* ( $WUE_i$ ) e *instantaneous* ( $WUE$ ) *water use efficiency* per  $A/g_s$  e  $A/E$ . Sono state dunque effettuate delle letture su singole foglie mature individuate nella porzione mediana della chioma su germogli principali in numero di 2 per ciascuna pianta, in condizioni di cielo limpido e luce saturante nella fascia oraria 10:00 - 13:00 e le stesse foglie sono state impiegate per andare a misurare il potenziale idrico fogliare mediante uso della camera di Scholander (modello 3500, Soilmoisture Equip. Corp., Santa Barbara, CA). Per ogni data di rilievo, quest'ultima misura è stata effettuata in due momenti differenti della giornata con l'obiettivo di misurare il potenziale idrico di rugiada ( $\psi_{PD}$ ) intervenendo nella fascia oraria dalle 02:00 alle 04:00 e il potenziale idrico di mezzogiorno ( $\psi_{MD}$ ) facendo invece riferimento al mezzogiorno solare nella fascia oraria dalle 12:00 alle 13:00.

La vendemmia è stata effettuata rispettivamente il 27/09/2021 e il 12/09/2022 secondo quanto deciso dalla proprietà aziendale. In tale occasione, grazie all'impiego di una bilancia da campo, è stato quantificato il peso di produzione totale per ciascun ceppo e si è proceduto al conteggio dei grappoli presenti al fine di calcolare la fertilità reale e il peso medio del grappolo. Successivamente, per ciascuna pianta, sono stati identificati e prelevati 3 grappoli basali rappresentativi delle condizioni di ciascuna chioma in esame e questi sono stati portati in laboratorio per eseguire le analisi successive. Nello specifico, prima di essere pigiati, i grappoli sono stati pesati singolarmente e allo stesso tempo si è misurata la lunghezza del rachide di ciascuno. Facendo poi il rapporto tra il peso fresco di ciascun grappolo e la lunghezza del rachide, è stato possibile calcolare un indicatore della compattezza del grappolo. Infine, per ciascun campione, sono state prelevate 10 bacche poste immediatamente in congelatore a  $-20^\circ\text{C}$  per effettuare ulteriori analisi.

Durante la stagione invernale, in fase di potatura, è stato quantificato il peso di potatura delle viti campione individuate all'interno di ciascun TRATTAMENTO x BLOCCO, andando ad eseguire contestualmente anche la conta dei nodi presenti e distinguendo il legno principale dal legno secondario corrispondente alle femminelle eventualmente sviluppatesi. Tali rilievi sono stati finalizzati al calcolo degli indici di equilibrio vegeto-produttivo.

### 3.5. **Analisi chimiche delle uve**

Le analisi dei campioni di uva è stata effettuata presso il laboratorio dell'area di Frutticoltura e Viticoltura del DI.PRO.VE.S. dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza. L'obiettivo di tale attività è stato quello di quantificare i parametri utili alla descrizione della maturità tecnologica e fenolica delle uve. Nello specifico, ci si riferisce a: zuccheri, pH, acidità titolabile, concentrazione di  $K^+$ , acidi organici, polifenoli e antociani totali. È stata dunque eseguita la pigiatura di ciascun campione costituito da 3 grappoli e il mosto che ne è risultato è stato immediatamente sottoposto ad analisi. Per quanto riguarda la concentrazione dei solidi solubili totali (TSS), la determinazione è stata effettuata mediante rifrattometro termocompensato (RX-5000 ATAGO USA, Bellevue, WA). Il pH è stato invece valutato per via potenziometrica con un pHmetro (CRISON GLP 22; Crison, Barcellona, Spagna), mentre l'acidità titolabile è stata quantificata mediante titolazione con NaOH 0.1 N fino al raggiungimento di un pH pari a 8.2 ed è stata espressa come g/L equivalenti di acido tartarico. La determinazione della concentrazione di potassio ( $K^+$ ) nei mosti è stata eseguita mediante elettrodo ionoselettivo (Modello 96-61, Crison) dopo aver diluito i campioni secondo un rapporto 1:4. Per ciò che riguarda gli acidi organici, i campioni sono stati prima purificati con l'impiego di un filtro in polipropilene a 0.22  $\mu m$  e successivamente sono stati analizzati mediante HPLC. La separazione è stata effettuata isocraticamente con l'impiego di una colonna di acido organico Allure, 300 x 4.6 mm, 5  $\mu m$  (Restek, Bellefonte, PA, USA) secondo quanto indicato da Frioni et al. (2020). La determinazione degli antociani e dei polifenoli è stata effettuata a partire da campioni di 10 acini precedentemente congelati. È stata dunque rimossa accuratamente la buccia delle bacche con l'ausilio di una pinzetta metallica. Le bucce sono state poi liofilizzate per essere conservate e sottoposte ad analisi mediante HPLC. La metodica di laboratorio utilizzata, basata su quanto evidenziato da Bobeica et al. (2015), Portu et al (2016) e Lavado et al. (2019), ha previsto di pesare 500 mg di bucce liofilizzate alle quali è stato aggiunto 1 ml di metanolo acidificato con HCl (0.1% finale di HCl al 37% v/v). L'analisi di antociani e flavonoli ha previsto poi l'uso della fase

mobile costituita da una miscela di un solvente A (soluzione di  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0.85%) e un solvente B (acetonitrile).

### 3.6. **Analisi statistica**

I dati raccolti sono stati analizzati mediante l'uso del software SPSS Statistic (IBM) e sottoposti all'analisi della varianza a una via (ANOVA) assumendo come fattore principale il trattamento. L'anno è stato considerato come variabile casuale. In caso di significatività del test di Fisher, le medie sono state confrontate con il test di Duncan, al 5% di probabilità. L'interazione anno x trattamento (A x T) è stata discussa solo in caso di significatività dell'ANOVA e le medie sono state confrontate mediante l'errore standard.

## 4. RISULTATI

### 4.1. Andamento meteorologico, proprietà pedologiche e determinazione della biomassa prodotta

Nel *Grafico 1* è riportato l'andamento termo-pluviometrico valutato per l'intero periodo interessato dallo svolgimento della prova. La sommatoria delle temperature attive espressa in forma di indice Amerine-Winkler è risultata essere di 1942 GG (°C) per l'anno 2021 e di 2319 GG (°C) per il 2022. Analizzando anche i dati relativi alla stagione attuale si evidenzia come il 2022 sia l'anno in cui sono state raggiunte più precocemente temperature massime giornaliere al di sopra dei 35°C. Il primo evento si colloca al 20/06/2022 e a questo sono seguiti altri otto giorni in cui la temperatura ha superato questa soglia di riferimento.

Invece, per quanto riguarda le precipitazioni, nel 2021 sono state pari a 574,6 mm di pioggia e nel 2022 le precipitazioni annue si sono attestate a 507,4 mm.

L'esito delle analisi del suolo, effettuate nell'autunno 2020 in fase di impostazione della prova sperimentale, è riportato nella *Tabella 3*. Esse sono state effettuate prelevando campioni provenienti da tre profondità del profilo. È possibile osservare come la ripartizione granulometrica tenda a rimanere costante all'aumentare della profondità d'indagine e come il 90% delle particelle sia rappresentato dalla somma di argilla e limo, riflettendo quindi l'origine pedologica dei suoli della zona. Il pH ha riportato valori prossimi alla neutralità. Facendo un confronto tra la profondità d'indagine 0-30 cm e quella 60-90 cm è possibile evidenziare un gradiente progressivamente decrescente del contenuto di sostanza organica che passa 1,49% a 0,68%.

Il 2022 è stato l'anno in cui entrambi gli inerbimenti hanno registrato la minore produzione di biomassa fresca (*Grafico 2*).

La flessione maggiore è stata registrata dal miscuglio con prevalenza di Graminacee C che è passato da una produzione di 1,76 kg (PF)/m<sup>2</sup> di superficie seminata nel 2021 ad una produzione di 1,24 kg (PF)/m<sup>2</sup> con un aumento del 3% del contenuto di sostanza secca. In generale, nelle misure effettuate nell'interfila (*Grafico 2a*) non si evidenziano particolari differenze tra i due inerbimenti in termini di sostanza secca prodotta. Valutando invece i tre anni di sperimentazione nel loro complesso, sia nel caso del miscuglio bilanciato B che nel caso del miscuglio con prevalenza di Graminacee si evidenzia una propensione all'aumento della sostanza secca prodotta. Nel primo caso si è passati da un 21% ad un 27% mentre nel caso del secondo inerbimento dal 24% di sostanza secca al 32%. Anche per quanto riguarda il sottofila dei trattamenti che hanno previsto l'andatura della biomassa (*Grafico 2b*), non si osservano particolari differenze in termini di sostanza secca per metro quadro di sottofila.

A fronte dell'aumento della biomassa quantificata nel sottofila che ha interessato il miscuglio bilanciato sia nel 2022 che nel 2023, in quest'ultimo anno si evidenzia una diversa risposta in termini di percentuale di sostanza secca che risulta essere maggiore nel caso del miscuglio C (49%) rispetto al miscuglio B (39%).

## 4.2. Stato idrico del suolo e risposte fisiologiche

I dati che descrivono il potenziale idrico del suolo e le risposte fisiologiche sono stati raccolti in funzione del tipo di terminazione eseguita. Per quanto riguarda i dati relativi alle performance fisiologiche, i rilievi sono stati invece effettuati in numero di tre per ciascuna delle annate considerate. Essi sono stati effettuati in momenti della stagione corrispondenti rispettivamente ad una condizione di pre-stress e di stress crescente fino all'invasatura in modo da avere un quadro complessivo del comportamento di ciascun trattamento esaminato. Per entrambe le tipologie di rilievo effettuate il confronto viene svolto rispetto al testimone di controllo corrispondente alla modalità di gestione aziendale.

### 4.2.1. Trattamenti BA e CA

#### Valutazione del potenziale idrico del suolo

In base a quanto riportato nel *Grafico 3* la misura del potenziale idrico a 30 cm di profondità (*Grafico 3a*) ha evidenziato per il trattamento CA la presenza di valori tendenzialmente meno negativi in tutto il periodo considerato. Questo risulta essere particolarmente evidente nel periodo che segue la terminazione: dopo un primo momento in cui la diminuzione del potenziale idrico è abbastanza simile tra i due trattamenti e rispetto al controllo aziendale Az, il trattamento CA tende a stabilizzarsi su valori che risultano essere più elevati rispetto a BA e Az. Questa tendenza risulta essere confermata anche dalla misura effettuata a 60 cm di profondità e in modo particolarmente evidente nell'anno 2021 (*Grafico 3b*). Nel 2023 è possibile, inoltre, sottolineare la particolare risposta che viene fornita in pre-vendemmia dal trattamento CA: a fronte della tendenza alla diminuzione che viene evidenziata da BA e da Az, il trattamento con prevalenza di Graminacee evidenzia invece una tendenza all'aumento del potenziale del suolo. In conclusione, si noti come il 2021 sia l'anno in cui, per entrambe le profondità di rilievo, sono stati registrati i valori più negativi.

### Valutazione del potenziale idrico fogliare

Il *Grafico 4* riassume i dati relativi alla misura del potenziale idrico di rugiada ( $\psi_{\text{predawn}}$ ) (*Grafico 4a*) e di mezzogiorno ( $\psi_{\text{midday}}$ ) (*Grafico 4b*). Per quanto riguarda il primo è evidente come nei tre anni considerati esso sia risultato sempre meno negativo per il trattamento CA rispetto a BA e Az con una differenza che diventa particolarmente premiante per CA nel caso dell'ultimo rilievo effettuato nel 2023. Solo nel 2022 si nota una flessione particolarmente consistente in corrispondenza del secondo rilievo stagionale (-7,16 bar e -6,3 bar rispettivamente per BA e CA) e che è seguita poi da un innalzamento del valore (-4 bar e -4,48 bar rispettivamente per BA e CA).

Per quanto riguarda invece il potenziale idrico di mezzogiorno, le differenze tra BA e CA risultano essere più contenute e i valori ottenuti per questo parametro sono favorevoli ai due trattamenti considerati solo nel terzo rilievo effettuato nel 2022 e negli ultimi due effettuati nel 2023 dove la differenza rispetto al controllo viene ad essere invece particolarmente consistente.

### Valutazione di assimilazione, traspirazione, conduttanza stomatica e WUE

Nel *Grafico 5* si trova dunque un quadro riassuntivo delle performance fisiologiche dei trattamenti che hanno previsto la trincia-andanatura come terminazione dell'inerbimento. In linea generale, per la quasi totalità dei rilievi effettuati nei tre anni, il trattamento CA ha registrato le migliori performance. Per quanto riguarda l'assimilazione ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (*Grafico 5a*), nel 2021 e nel 2022 a fronte di un andamento molto simile per BA e Az, CA registra dei valori che risultano superiori nel caso del secondo e del terzo rilievo. Nel terzo rilievo stagionale del 2022 i valori registrati da BA e CA diventano invece molto simili ma comunque superiori di circa 2  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  rispetto invece ad Az. Anche nel caso della traspirazione ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (*Grafico 5b*) i valori più elevati, soprattutto negli ultimi rilievi, sono stati ottenuti da CA che si è distinto in modo significativo da BA e Az soprattutto nel 2021 e nel 2022. Nel 2023 invece il valore più elevato (6,37  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) è stato registrato da BA nel primo rilievo (DOY 178) ed è diminuito nel corso della stagione fino ad arrivare al terzo rilievo (DOY 214) al valore di 2,19  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Parallelamente, è possibile valutare anche l'andamento della conduttanza stomatica ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (*Grafico 5c*) e si nota come anche in questo caso come il trattamento CA abbia ottenuto i valori superiori. Più nello specifico la differenza risulta particolarmente elevata nel 2021 dove sia nel secondo che nel terzo rilievo CA conserva valori (rispettivamente di 0,112 e 0,085  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) doppi

rispetto a quelli ottenuti da BA (rispettivamente 0,066 e 0,040 mol m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>). Nel 2022 si osserva come i due trattamenti evidenzino una risposta molto simile ottenendo dei valori (0,184 mol m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup> per BA e 0,217 mol m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup> per CA) che si differenziano comunque in modo evidente rispetto a quello di Az (0,132 mol m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>). Infine, nel 2023 si sottolinea come, a differenza della flessione subita da BA, il trattamento CA sia in grado di conservare una maggiore stabilità del valore di g<sub>s</sub> durante tutta la stagione. Come diretta conseguenza dei parametri fisiologici appena trattati, nel *Grafico 6*, vengono riportati i valori relativi all'efficienza d'uso dell'acqua calcolata nelle due formule (WUE e WUEi) e risulta evidente come, a fronte di un generalizzato vantaggio delle tesi con gli inerbimenti rispetto al controllo aziendale, l'inerbimento con prevalenza di Graminacee sia in grado di determinare un consistente miglioramento del parametro soprattutto nel secondo rilievo stagionale corrispondente alle condizioni di maggior stress teorico.

#### 4.2.2. Trattamenti BP e CP

##### Valutazione del potenziale idrico del suolo

Il *grafico 7* mostra l'andamento del potenziale idrico misurato per i trattamenti BP e CP. Nel 2021, alla profondità di 30 cm, i due trattamenti mostrano una rapida diminuzione del valore a pochi giorni dalla terminazione. Sebbene questo avvenga con la stessa rapidità, come testimoniato dalla pendenza della curva, la risposta di CP risulta essere leggermente posticipata rispetto a quella di BP che invece segue specularmente l'andamento del potenziale idrico del suolo misurato nel controllo assumendo dunque dei valori tendenzialmente più negativi. Nel periodo di maggiore scarsità idrica, i trattamenti non hanno evidenziato delle differenze particolarmente evidenti attestandosi tutti nell'intorno dei -5 bar. Tra il DOY 258 e il 284 si osserva invece l'aumento del valore di potenziale idrico che avviene senza grosse differenze tra i diversi trattamenti. Alla stessa profondità, nel 2022, subito dopo la terminazione i trattamenti sono stati interessati da una diminuzione del potenziale idrico fino al raggiungimento del minimo di -4,05 bar nel caso di BP al DOY 180 rispetto ai -2.73 bar registrati da CP nella stessa data. Dopo una fase di stabilità dei valori che è stata meno prolungata rispetto al 2021, i valori di potenziale idrico sono tornati a crescere evidenziando una risposta particolarmente pronta del trattamento BP il quale ha raggiunto il valore più elevato tra tutti (-0,86 bar) al DOY 214 quando il testimone ha registrato il valore di -1,94 bar. Anche nel 2023 si nota la rapida diminuzione, senza particolari differenze tra i trattamenti, del potenziale idrico una volta eseguita la terminazione. La differenza

rispetto a quanto detto nel caso del 2021 è rappresentata dal fatto che tale diminuzione si arresta precocemente attorno a valori che risultano essere meno negativi rispetto a quelli precedentemente analizzati. Resta invece il fatto che il trattamento CP registra anche nel 2023 valori che sono meno negativi rispetto a quelli degli altri trattamenti.

Il potenziale idrico misurato alla profondità di 60 cm (*Grafico 7b*) riflette fedelmente quanto appena detto mostrando però maggiore uniformità tra i valori dei diversi trattamenti.

#### Valutazione del potenziale idrico fogliare

Il *Grafico 8* riporta i risultati delle misurazioni di potenziale idrico fogliare di rugiada e di mezzogiorno. Per quanto riguarda il primo (*Grafico 8a*), i trattamenti che hanno previsto la rullatura a prescindere dal tipo di miscuglio considerato hanno registrato dei valori meno negativi rispetto a quelli del controllo aziendale e risultano essere stati maggiormente favorevoli nel caso del miscuglio C sebbene le differenze con il miscuglio B siano comunque abbastanza contenute. Anche in questo caso, al terzo rilievo stagionale nel triennio considerato, i trattamenti in esame hanno testimoniato una condizione migliore rispetto a quella del testimone aziendale e questo è particolarmente evidente soprattutto nel 2023. Per ciò che riguarda il potenziale idrico di mezzogiorno (*Grafico 8b*), nel 2021 e 2022 BP e CP hanno ottenuto valori più negativi rispetto al controllo ma la curva tracciata presenta una pendenza abbastanza simile rispetto a quella di Az. Nel 2023 il controllo aziendale è descritto invece da retta con pendenza negativa. Al contrario, la curva di BP e CP presenta un primo tratto, compreso tra il DOY 178 e 199, con pendenza negativa e invece un secondo tratto tra il DOY 199 e il 214 con pendenza positiva e che porta BP e CP ai valori di -13,50 e -13,91 bar rispetto al valore di -15,20 bar registrato dal controllo Az.

#### Valutazione di assimilazione, traspirazione, conduttanza stomatica e WUE

I risultati riportati nel *Grafico 9* mostrano anche nel caso della pacciamatura interfilare mediante rullatura un vantaggio per le tesi in esame. Per quanto riguarda l'assimilazione ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (*Grafico 9a*) le differenze più consistenti sono evidenti nel 2021 e nel 2023 e depongono a favore di CP. Il trattamento BP invece nel 2021 ha una risposta molto simile a quella di Az e nel 2023 la sua risposta è caratterizzata da una curva molto simile a quella di CP in termini di pendenza ma i valori registrati nel caso del miscuglio B risultano inferiori rispetto a quelli del miscuglio C. Nel 2022 la risposta è meno chiara

in quanto i valori registrati sono tra loro più simili. È comunque opportuno sottolineare come a seguito della flessione registrata in corrispondenza del secondo rilievo stagionale, i due trattamenti esaminati abbiano mantenuto dei livelli di assimilazione superiori rispetto a quanto ottenuto nel caso del controllo aziendale.

Il *Grafico 8b* descrive invece l'andamento della traspirazione ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). La misura di questo parametro ha evidenziato un aumento che ha interessato in modo più consistente CP nella seconda parte della stagione del 2021 e sia il trattamento BP che il trattamento CP nella prima parte della stagione 2023. In aggiunta, la conduttanza stomatica (*Grafico 8c*) è descritta, nei tre anni, da curve che rispecchiano l'andamento della traspirazione, evidenziando delle differenze più elevate nel caso delle misurazioni effettuate nel 2022. L'aspetto interessante da sottolineare è relativo al fatto che nel periodo di maggiore stress teorico in corrispondenza del rilievo di metà stagione, in tutto il triennio, gli inerbimenti hanno registrato valori che nel peggiore dei casi risultano essere corrispondenti a quelli di Az ma mai inferiori. Quanto detto per i parametri appena descritti si traduce dunque in un netto miglioramento dell'efficienza misurata come WUE (*Grafico 10*) e calcolata nelle due forme che mettono in relazione assimilazione, traspirazione e conduttanza stomatica. Nel caso di *instantaneous WUE* ( $= A/E$ ) (*Grafico 10a*) si evidenzia un miglioramento molto consistente attribuito a CP. Le differenze più discriminanti riguardano il secondo e il terzo anno di sperimentazione. In corrispondenza del secondo rilievo 2022 si nota infatti come BP e CP abbiano ottenuto rispettivamente un incremento pari al 107% e al 113% della WUE rispetto ad Az, per poi diminuire con l'avanzare della stagione fino ad attestarsi al livello del controllo in corrispondenza del terzo e ultimo rilievo. Nel 2023 invece, a fronte della tendenza alla stabilità della WUE mostrata da Az sia BP che CP evidenziano una propensione al miglioramento del parametro fino ad ottenere, al terzo rilievo, un incremento pari rispettivamente al 48% e al 76%. Valutando invece la *intrinsic WUE* ( $= A/g_s$ ) (*Grafico 10b*) bisogna sottolineare come nel 2022 i due trattamenti abbiano evidenziato un andamento esattamente opposto rispetto a quello che descrive il controllo aziendale, con incrementi che nel secondo rilievo stagionale sono pari a +83,2% per BP e 93,4% per CP rispetto al testimone.

#### 4.2.3. Trattamenti BS e CS

##### Valutazione del potenziale idrico del suolo

Le variazioni di potenziale idrico del suolo a 30 cm di profondità riportate nel *Grafico 11a* mettono in evidenza come, subito dopo aver effettuato la terminazione, esso

diminuisca rapidamente con una dinamica molto simile a quella del controllo fino al raggiungimento di una condizione di stabilità che nel caso di BS si attesta attorno al valore di -4 bar mentre nel caso di CS oscilla tra i -5 e i -6 bar. A differenza di quanto visto per gli altri trattamenti, nel caso del sovescio è dunque il miscuglio B a registrare dei valori meno negativi e allo stesso tempo mostra anche una maggiore prontezza nel recuperare come testimoniato dalla pendenza della frazione di curva compresa tra il DOY 258 e il DOY 284. Tale tendenza risulta evidente anche nel 2022 dove, a fronte di una prima fase in cui i trattamenti non hanno mostrato particolari discrepanze, si osserva un rapido incremento del potenziale idrico di BS a partire dal DOY 201 fino al raggiungimento del picco di -0,42 bar al DOY 214, con una pendenza della curva pari a 0,2004 mentre CS, in corrispondenza della stessa data, registra il valore -1,86 bar raggiunto con una pendenza calcolata pari a 0,0955. Nel 2023, dopo la terminazione, il potenziale idrico decresce con maggiore rapidità nel caso del testimone Az e di CS e questo, stabilizzandosi, registra comunque dei valori superiori rispetto a BS. Per quanto riguarda il potenziale idrico misurato a 60 cm di profondità, nel 2021 il risultato sembra invertirsi a favore di CS e mostra dei valori superiori rispetto a quelli di BS, con una variazione che però non risulta significativa. Nel 2022 è importante invece sottolineare come a maggiore profondità il trattamento CS non mostri alcuna variazione in corrispondenza del picco di potenziale idrico che invece interessa BS e Az al DOY 214. Per quanto riguarda il 2023 si evidenzia invece una tendenza del potenziale idrico del suolo dei trattamenti BS e CS a diminuire in modo molto progressivo fin dalle prime fasi della stagione mentre invece questo fenomeno inizia ad interessare Az dal momento della terminazione in poi. In ogni caso, nella fase finale della stagione i due trattamenti in esame conservano comunque dei valori di potenziale idrico che risultano essere meno negativi rispetto a quelli del testimone.

#### Valutazione del potenziale idrico fogliare

Le variazioni del potenziale idrico fogliare di rugiada riportate nel *Grafico 12a* descrivono una situazione che sembra trarre vantaggio dalla presenza dei due inerbimenti dato che essi registrano dei valori meno negativi rispetto a quelli del controllo, eccezion fatta per BS nel primo rilievo stagionale 2023. Sebbene le differenze non siano particolarmente elevate, il miscuglio C fornisce i risultati migliori. Per quanto riguarda invece il potenziale idrico di mezzogiorno (*Grafico 12b*), la terminazione degli inerbimenti mediante sovescio determina una riduzione dei valori per i diversi

trattamenti che nel triennio si comportano in modo abbastanza differenziato. Nel 2021 infatti CS presenta valori del tutto sovrapponibili con quelli di Az, mentre invece a BP sono attribuiti valori più negativi. Nel 2022 i valori del controllo aziendale sono superiori a quelli delle due tesi nei primi due rilievi stagionali mentre il terzo rilievo evidenzia una certa tendenza al recupero da parte di BS e CS, riuscendo, nel caso di BS, ad ottenere un valore meno negativo (-14,07 bar) rispetto ad Az (-14,56 bar) mentre CS si attesta al livello di -14,97 bar.

#### Valutazione di assimilazione, traspirazione, conduttanza stomatica e WUE

In linea generale le variazioni stagionali di assimilazione, traspirazione e conduttanza stomatica hanno evidenziato un aumento dei valori per l'intero triennio considerato. Le evidenze maggiori sono da attribuire al trattamento CS negli anni 2021 e 2023 per quanto riguarda l'assimilazione ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (*Grafico 13a*). Nel caso invece della traspirazione ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (*Grafico 13b*), le differenze tra i due trattamenti risultano meno consistenti anche se comunque si evidenzia un aumento della traspirazione nei due trattamenti considerati rispetto al controllo Az nonostante, soprattutto in corrispondenza del secondo rilievo, queste differenze tendano ad assottigliarsi. Anche la valutazione della conduttanza stomatica ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (*Grafico 13c*) evidenzia un risultato favorevole al trattamento CS e le differenze più significative sono evidenti negli anni 2021 e 2023 quando invece il trattamento BS presenta una tendenza molto più simile a quella del testimone aziendale Az. La combinazione delle variazioni subite da questi parametri come effetto dell'applicazione dei diversi trattamenti si concretizza quindi nella valutazione dell'efficienza d'uso dell'acqua (*Grafico 14*). Si nota infatti un incremento del parametro nell'intero triennio considerato sia come WUE (*Grafico 14a*) che come  $WUE_i$  (*Grafico 14b*). In ogni caso, il 2023 è l'anno in cui si osserva l'effetto migliorativo maggiore dovuto all'impiego del miscuglio C. Mentre infatti il trattamento BS nel *Grafico 14* si comporta in modo molto simile al testimone aziendale, il trattamento con il sovescio del miscuglio a prevalenza di Graminacee mostra un netto incremento sia nel secondo che nel terzo rilievo.

### **4.3. Risposte vegeto-produttive**

La valutazione dei parametri che descrivono le caratteristiche vegetative e di crescita delle viti non ha evidenziato differenze significative (*Tabella 4*), fatta eccezione per il perso del legno di potatura. Infatti, in entrambi gli inerbimenti la terminazione mediante rullatura ha

evidenziato una riduzione molto evidente del parametro rispetto al controllo aziendale (188 g per BP e CP rispetto 229 g per Az), mentre invece l'andatura ha registrato un incremento in entrambi i miscugli, seppur in maniera maggiore per quello con prevalenza di Graminacee (239 g e 249 g rispettivamente per BA e CA). Tra le tesi considerate il sovescio del miscuglio C ha ottenuto il peso di potatura maggiore (280 g) che si è statisticamente distinto rispetto a BP e CP. Valutando invece il valore annuo, nel 2022 è ben evidente una diminuzione consistente del parametro. L'indice di Ravaz ha invece mostrato una contrazione per tutte le tesi rispetto al valore di 15,1 calcolato per il testimone aziendale e i valori dei sei trattamenti sono nell'intervallo compreso tra 11,8 (BP) e 14,4 (BA). Sebbene non sia risultata nessuna differenza significativa, si sottolinea una chiara riduzione del parametro anche considerando i valori medi annui, con un minimo di 13 registrato nel 2022. Valutando invece gli effetti sulla compattezza del grappolo, il test statistico non ha mostrato differenze chiare rispetto al controllo aziendale (12,16 g/cm). Tra i diversi trattamenti testati invece si osserva come a BP sia associato il valore minimo di 9,64 g/cm statisticamente diverso rispetto al valore di CA (12,72 g/cm). Si evidenzia infatti una leggera significatività per il fattore tesi (T) mentre invece il fattore anno (A) è risultato essere non significativo.

Per quanto riguarda le componenti della produzione (*Tabella 5*), l'unica differenza degna di nota da un punto di vista statistico rispetto al fattore tesi (T) è quella relativa al peso della bacca. Il trattamento BP ha ottenuto infatti il valore più basso (1,63 g) in linea con la tendenza alla riduzione del parametro che ha interessato tutte le tesi con miscuglio bilanciato (B). Al contrario, CP e CS, con i rispettivi valori di 1,82 g e 1,78 g, non si sono differenziati rispetto al controllo (Az). gli altri trattamenti si sono collocati a livello intermedio. Questo parametro è risultato inoltre significativo anche rispetto al fattore anno (A) e l'analisi ha evidenziato anche in questo caso una contrazione del valore passando da 1,77 g nel 2021 a 1,69 g nel 2022. Le tesi con inerbimento C hanno mostrato una flessione percentuale del valore di resa unitaria rispetto al testimone aziendale (3,07 kg/vite) che nel caso di CA e CP è pari rispettivamente a -10% e a -18%. Ciò nonostante, i valori registrati, compresi tra 2,51 e 3,03 kg/vite attribuiti rispettivamente a CA e CP, non comprendono il valore minimo tra tutte le tesi che invece è stato ottenuto in BP (2,14 kg/vite). Tra le tesi che hanno previsto l'impiego del miscuglio B, BA ha ottenuto il valore massimo di produzione ma senza differenze significative rispetto al testimone aziendale. Valutando dunque i dati in funzione della tipologia di terminazione impiegata è possibile sottolineare come le tesi con rullatura hanno registrato le flessioni maggiori (-30% e -18% rispettivamente per BP e CP). Le altre tesi, spaziando tra 2,76 (CA) e 3,12 kg/vite (BA), si sono attestate più in prossimità rispetto al

valore del controllo (Az), pur manifestando una certa tendenza alla diminuzione della produzione. Per quanto riguarda il dato annuale, nel 2022 è stato registrato il valore minimo di 2,30 kg/vite, in netta contrazione rispetto ai 3,24 kg/vite del 2021. Il numero dei grappoli per singola vite non ha evidenziato delle differenze significative tra le diverse tesi esaminate. Lo stesso vale per il peso del grappolo: il test statistico non ha evidenziato delle differenze significative rispetto al fattore tesi (T). Si notano comunque due tendenze. Nel caso dei trattamenti con miscuglio B si tratta di una propensione alla riduzione del parametro, massima per BP (115,79 g). I trattamenti con il miscuglio C mostrerebbero invece un comportamento opposto. Anche per l'inerbimento con la percentuale maggiore di Graminacee il valore minimo del parametro è stato registrato dalla tesi con rullatura della biomassa CP (126,36 g). Dal punto di vista della valutazione statistica, la variazione di peso è risultata fortemente significativa quando valutata in funzione del fattore anno (A). Si osserva infatti una riduzione di circa 40 g passando da 157,10 g per il 2021 a 117,34 g per il 2022. Per quanto riguarda la fertilità del germoglio, non sono state messe in luce delle differenze statistiche tra le diverse tesi, con una variabilità che spazia tra 1,41 (CA) e 1,59 (BS). Quest'ultimo valore è del tutto sovrapponibile al valore registrato per il controllo (1,58). La differenza tra le due annate considerate è invece risultata fortemente significativa, passando da 1,59 del 2021 a 1,45 del 2022.

#### 4.4. **Composizione chimica delle uve**

I trattamenti testati hanno evidenziato dei risultati statisticamente significativi quasi per la totalità dei principali parametri analitici quando valutati rispetto al fattore tesi (T). Rispetto al valore registrato da Az (*Tabella 6*), i trattamenti con miscuglio B hanno evidenziato una tendenza alla diminuzione della concentrazione di solidi solubili totali (TSS, °Brix), tanto da registrare, nel caso di BS, la media inferiore tra tutti i trattamenti considerati (23,5 °Brix), mentre invece, per lo stesso parametro i trattamenti con miscuglio C hanno assunto valori più simili al controllo, con una tendenza all'aumento. CP è infatti il trattamento che con 26,2 °Brix ha registrato il valore più elevato. Questo primo parametro è risultato significativo ad entrambi i fattori considerati nell'analisi. Parallelamente, i trattamenti con miscuglio B hanno manifestato una tendenza all'incremento dell'acidità titolabile (g/L). Infatti, a fronte di quanto appena evidenziato per la concentrazione zuccherina, il trattamento BS registra il valore più alto e pari a 9,10 g/L, mentre invece il trattamento CP il valore inferiore. Le variazioni di pH non sono significative rispetto al fattore tesi (T). La concentrazione di acido tartarico (g/L), di acido malico (g/L), di antociani (mg/g p.f.) e di polifenoli (mg/g p.f.)

(*Tabella 7*) non hanno mostrato differenze statisticamente valide quando analizzati rispetto al fattore tesi (T) mentre invece sono risultate consistenti le differenze tra i valori medi delle due annate. In aggiunta, per la concentrazione di acido malico e per il contenuto di polifenoli è stata messa in evidenza la significatività dell'interazione TESI X ANNO (*Grafico 15 e Grafico 16 rispettivamente*). Per ciò che riguarda la concentrazione di azoto prontamente assimilabile (APA, mg/L) (*Tabella 6*) l'unico trattamento ad essersi differenziato in modo significativo è stato CP mentre invece le altre sei tesi non sono risultate chiaramente distinte rispetto al valore registrato dal testimone. Non sono presenti differenze tra i trattamenti che hanno previsto l'impiego del miscuglio B mentre nel caso del miscuglio C i tre trattamenti sono statisticamente differenti tra loro e nell'ordine si collocano: CP (85,5 mg/L), CA (118,1 mg/L) e CS (153,1 mg/L). Inoltre, per lo stesso parametro è stata individuata una significatività statistica anche rispetto al fattore anno e nello specifico si evidenzia un incremento di 55.3 mg/L e pari a +52,2%. Infine, le variazioni della concentrazione dello ione potassio ( $K^+$ ) sono risultate significative rispetto ad entrambi i fattori considerati nell'analisi e anche all'interazione tra i due come mostrato nel *Grafico 16*.

## 5. DISCUSSIONE

La sperimentazione condotta nel periodo 2020-2023 in un vigneto di Barbera dell'areale piacentino gestito secondo il protocollo di agricoltura biologica ha permesso di approfondire gli effetti sulle performance delle viti causati dalla presenza di inerbimenti temporanei autunno-primaverili a diversa composizione e dalla modalità con cui questi vengono terminati. Tale interesse è giustificato dal fatto che si riconosce alle diverse possibilità a disposizione, una opportunità di diversificazione in grado di valorizzare l'utilizzo di tali inerbimenti e di contribuire all'incremento della resilienza idrica del vigneto. Le valutazioni sono state effettuate sulla base delle principali caratteristiche vegetative, fisiologiche e produttive misurate nel vigneto stesso. Nella discussione dei risultati bisognerà tenere conto del fatto che l'aumento della resilienza idrica dei vigneti mediante l'utilizzo di tecniche innovative di gestione del suolo deve essere declinato sotto due aspetti: riduzione delle perdite evaporative dirette e possibilità di avere vigneti in grado di rispondere prontamente nei confronti del verificarsi di eventuali precipitazioni in modo da massimizzarne il vantaggio. Da ciò bisogna anche considerare la possibilità di ottenere delle produzioni con le stesse caratteristiche quali-quantitative ma con un livello di efficienza maggiore. Fissato l'obiettivo, l'attenzione è stata focalizzata sul monitoraggio dello stato idrico del suolo svolto mediante la misura del potenziale idrico ( $\psi_{\text{suolo}}$ ), poiché è noto che la disponibilità idrica è in grado di condizionare consistentemente la fisiologia della vite, la quantità e la qualità delle produzioni (Deloire et al., 2004) e allo stesso tempo è facilmente influenzabile dalla presenza degli inerbimenti, soprattutto nelle regioni semi-aride (Unger et al., 1998). Infatti, il triennio considerato offre la possibilità di andare a caratterizzare la risposta dei diversi trattamenti al verificarsi di decorsi stagionali molto differenti. Per quanto riguarda la stagione 2021 sarà opportuno valutare la variazione stagionale del potenziale idrico del suolo e in particolar modo la risposta che questo parametro ha fornito nei diversi trattamenti al verificarsi delle prime piogge autunnali visto che tra il DOY 258 e il 284 sono stati registrati 56.2 mm di pioggia. Nel 2022 è invece particolarmente interessante esaminare gli effetti delle piogge tardo-estive - 84.5 mm nel periodo tra il DOY 201 e il DOY 214 - e infine nel 2023 si potrà osservare la risposta del potenziale idrico del suolo al verificarsi di una fase invernale-primaverile che tra il DOY 16 e il DOY 144 ha registrato 191.4 mm di pioggia di cui 141.6 mm registrati tra il DOY 60 e il DOY 144.

Le caratteristiche di approfondimento radicale delle colture erbacee utilizzate come cover crop impongono di valutare con attenzione gli effetti sul potenziale idrico nello strato più superficiale che, per tale motivo, dovrebbe risentire in modo più diretto dell'instaurarsi di fenomeni

competitivi. Il tutto però senza tralasciare le eventuali ripercussioni a profondità di suolo superiori. Tali valutazioni saranno possibili grazie ai risultati forniti dai sensori Teros posti alle profondità di 30 e di 60 cm. A prescindere quindi dalla diversa disponibilità idrica annuale, bisogna individuare gli elementi che, in modo sinergico, contribuiscono a definire l'effetto dei diversi trattamenti. Chiarito ciò, si prendano sempre come riferimento i valori registrati dal controllo aziendale (Az) che, si ricordi, prevedeva la lavorazione a filari alterni con inerbimento spontaneo nei filari non lavorati. È bene precisare fin da subito che la sperimentazione in oggetto si pone l'obiettivo di indagare sull'applicazione di approcci diversi per la gestione del suolo effettuando il confronto con una condizione che, come testimone aziendale, risulta già abbastanza migliorata. Nel periodo 2017-2020, in una parcella dello stesso vigneto è stato infatti effettuato uno studio che ha messo in relazione il grado di copertura del suolo, ottenuto mediante diverse modalità gestionali, con le performance agronomiche, fisiologiche e produttive dimostrando come tutte le tesi che non prevedevano l'inerbimento spontaneo totale fossero in grado di evidenziare degli effetti positivi sulle performance vegeto-produttive della vite (Gatti et al., 2022). Proprio sulla base di questi risultati, l'azienda in oggetto ha infatti iniziato ad adottare la lavorazione a filari alterni.

Il primo aspetto da tenere presente è relativo alla quantità di biomassa prodotta sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo. I due miscugli considerati hanno mostrato un comportamento che permette di evidenziare subito una differenza tra quanto accaduto nel biennio 2021-2022 e quanto nel terzo anno di sperimentazione: infatti, se nei primi due anni non si sono viste delle differenze in termini di sostanza secca prodotta, lo stesso non può dirsi nel caso del 2023 dove si è registrato sia un incremento della produzione totale che della sostanza secca contenuta nella biomassa. I dati che descrivono le caratteristiche della biomassa prodotta dai due miscugli sono stati considerati trasversalmente rispetto alla tipologia di terminazione effettuata (*Grafico 2*).

Si procederà dunque all'analisi delle diverse tesi effettuando il confronto tra quelle caratterizzate dalla presenza dello stesso inerbimento e concentrando l'attenzione soprattutto sulle fasi successive alla terminazione e sulla risposta di ciascuna al verificarsi di condizioni specifiche. Successivamente verranno valutate invece le differenze emerse tra i diversi miscugli a parità di terminazione effettuata. Partendo dunque dal miscuglio B emerge che il sovescio rappresenta la terminazione in grado di avere, alla profondità di 30 cm, il potenziale idrico meno negativo. Dopo una caduta di potenziale che avviene in modo analogo rispetto a quella di BP e di Az, il suo valore si stabilizza su valori mediamente più elevati. Inoltre, come risulta soprattutto nel 2022, il sovescio evidenzia anche una risposta pronta nei confronti delle precipitazioni tardo estive, tanto è vero che raggiunge rapidamente il valore di circa -0,5 bar senza però differenziarsi

particolarmente da BA e BP. La stessa tendenza si ripresenta anche nel 2023. Comportamento opposto si trova invece in BP che registra valori mediamente più bassi e del tutto paragonabili con il controllo aziendale. Il vantaggio di BS si riscontra anche analizzando il potenziale idrico a 60 cm di profondità in modo più evidente nel 2021 e nel 2023. Nel caso del miscuglio C si mette in luce invece, alla profondità di 30 cm, un vantaggio per CA. Questo infatti, dopo la terminazione, tende ad arrestare la caduta del potenziale idrico prima di quanto non accada nel caso degli altri trattamenti e ad assumere questo stesso comportamento anche alla profondità di 60 cm, in particolare nella seconda parte della stagione 2022, in cui si associa a questa tesi anche una spiccata capacità di recupero dopo le piogge tardo-estive, e nel periodo centrale della stagione 2023, quando si stabilizza su valori tendenzialmente più elevati. I trattamenti che invece si pongono come più penalizzanti a 30 cm sono CS che mostra un andamento del tutto simile ad Az e invece, alla profondità di 60 cm, la risposta più negativa viene invece data da CP, in modo del tutto simile a quello di Az.

Dopo questa panoramica generale, si valutino, a parità di terminazione, i confronti tra i miscugli differenti rispetto alla gestione aziendale assunta come controllo. Partendo quindi dalla trinciatura della biomassa dell'inerbimento e conseguente andatura della stessa nel sottofila, si può affermare che, nell'intero triennio, CA è stato in grado di conservare un potenziale idrico meno negativo mentre, nell'altro caso, BA ha evidenziato un effetto sempre positivo ma meno premiante. Concentrando l'attenzione sul sottofila (*Grafico 2b*), è evidente come il miscuglio B sia stato in grado di accumulare un quantitativo di biomassa nettamente superiore rispetto al miscuglio con prevalenza di Graminacee a fronte di una percentuale di sostanza secca che solo nel 2023 risulta essersi particolarmente differenziata (39% per il miscuglio B e 49% per il miscuglio C). Se da un lato è chiaro come uno strato pacciamante più spesso possa avere, nel caso del miscuglio B, un maggior effetto sulla riduzione dell'evaporazione diretta tale da differenziarsi rispetto al controllo (Az), è anche vero che l'efficienza della biomassa di CA nel mantenere dei valori meno negativi rispetto a BA potrebbe essere letta in funzione della capacità di questa di resistere maggiormente alle dinamiche di degradazione. Ciò significa quindi che, la minore quantità di biomassa presente nel sottofila potrebbe essere in qualche modo compensata dalla minore degradabilità e quindi dalla maggiore persistenza della stessa. Questo avverrebbe principalmente grazie al suo rapporto C/N e quindi al contenuto di lignina presente. Infatti, come indicato da Praven-Kumar et al., 1993, in funzione di questi due parametri, i residui delle diverse specie possono essere iscritti in 4 classi di qualità in funzione della facilità con cui essi si decompongono. Nel caso di interesse, viene appunto evidenziata la differenza tra le caratteristiche di cereali, come l'orzo a fioritura, che risultano moderatamente decomponibile e le leguminose,

come vecchia e favino, che sono invece altamente decomponibili. In ogni caso, complice il fatto che la lettura del potenziale idrico viene effettuata mediante sensori collocati nel terreno in proiezione del sottofila interessato dalla presenza della biomassa andanata, è possibile ribadire che l'andanatura, qualsiasi fosse l'inerbimento, ha avuto un effetto migliorativo sul valore del potenziale idrico. Tale affermazione è supportata dal fatto che la quantità di sostanza secca presente nel sottofila per unità di superficie risulta essere ben superiore alla soglia minima (0,5 kg (ss)/m<sup>2</sup>) individuata da Huyssteen et al., 1984 per definire l'efficienza di una pacciamatura effettuata mediante biomassa. Per questo motivo è quindi possibile dedurre che la pacciamatura sia stata in grado negli anni di andare a limitare anche lo sviluppo di infestanti nel sottofila che, in alternativa, sarebbero potute entrare in competizione con la vite come invece accade nel caso del controllo aziendale dove il sottofila risulta totalmente scoperto. I dati del potenziale idrico misurati nel 2023 permettono invece di sottolineare un altro effetto importante legato alla presenza degli inerbimenti. Infatti, a fronte di una maggiore disponibilità idrica primaverile, nei rilievi che precedono la terminazione si può notare come entrambi i trattamenti abbiano registrato dei valori di potenziale idrico inferiori rispetto a quelli del controllo. Questa tendenza starebbe quindi a testimoniare un consumo precoce nella stagione e legato alla presenza degli inerbimenti che trarrebbero vantaggio dal fatto che si tratta di un periodo in cui la vite non risulta essere ancora fortemente competitiva. Questa osservazione è confermata dallo studio preliminare effettuato nel 2023 sui consumi idrici dei cotici erbosi presenti nello stesso vigneto mediante camera chiusa (Capri et al., 2021) che ha registrato, nello stesso giorno in cui BA e CA raggiungono i valori minimi di potenziale idrico prima della terminazione, dei tassi evapotraspirativi superiori per questi due inerbimenti rispetto invece al controllo aziendale. Nel periodo invece di maggiore limitazione, bisogna sottolineare nuovamente l'effetto di CA nel mantenere una disponibilità idrica maggiore. Va evidenziato dunque che la stessa tendenza viene manifestata anche dal potenziale idrico misurato a 60 cm di profondità (*Grafico 3b*). Tale informazione è importante perché, mentre il primo potenziale analizzato descrive la porzione di terreno interessata maggiormente dall'eventuale competizione esercitata dagli inerbimenti, il secondo ci restituisce un dato relativo invece ad una porzione di terreno interessata comunque dalla presenza degli apparati radicali delle viti e quindi indice della loro disponibilità idrica. Inoltre, il fatto che il potenziale idrico di rugiada ( $\psi_{\text{predawn}}$ ) registrato, descrivendoci la condizione di equilibrio tra la pianta e il suolo, abbia dei valori meno negativi in CA rispetto a BA diventa ulteriore elemento di conferma dell'effetto positivo che tale pacciamatura nel sottofila può avere durante la stagione. In ogni caso i dati registrati nei tre anni per i trattamenti in questione si attestano comunque al di sotto dei -3 bar denotando quindi la presenza di una situazione di stress per le viti anche se con

intensità differenti (Palliotti et al., 2019). Nel 2022, a differenza degli altri due anni di sperimentazione, il potenziale idrico misurato in entrambi i momenti della giornata, mostra una flessione in corrispondenza del secondo rilievo (*Grafico 4*). Il verificarsi di questo fenomeno potrebbe rispondere direttamente al fatto che nel periodo compreso tra i due rilievi successivi sono stati registrati 85.4 mm di pioggia. È opportuno interrogarsi sul motivo per cui, a fronte di una situazione di svantaggio per BA e CA nei primi due anni considerati, nel 2023 questi evidenzino invece un miglioramento nella risposta particolarmente consistente nel secondo e nel terzo rilievo rispetto al controllo. Per quanto riguarda il 2023 questo potrebbe essere giustificato dal fatto che sia stato ottenuto il valore massimo della biomassa quantificata nel sottofila rispetto all'intero triennio e ciò, quindi, potrebbe aver in qualche modo condizionato l'efficienza della pacciamatura, ma valutando la risposta su base triennale si potrebbe ipotizzare un effetto di lungo periodo. Infatti, la biomassa trinciata viene convogliata, di anno in anno, sulla stessa superficie corrispondente al sottofila. Questo, quindi, porterebbe a pensare alla formazione di uno strato pacciamante semipermanente e in grado di esaltare l'effetto annuale di ciascun trattamento. La pacciamatura, infatti, come evidenziato dalla review di Kader et al., 2017, è in grado di avere delle conseguenze su più caratteristiche del suolo che vanno oltre la riduzione diretta dell'evaporazione e il controllo della temperatura ma che riguardano invece le proprietà chimico-fisiche e microbiologiche del suolo, con una certa variabilità in funzione del materiale utilizzato e della tipologia di applicazione. Viene da sé quindi che l'andatura ripetuta della biomassa trinciata in una porzione di suolo che resta indisturbata favorisca l'incremento della porosità e del contenuto di sostanza organica permettendo quindi al suolo di immagazzinare una maggiore quantità di acqua (Cataldo et al., 2021).

A questa condizione appena descritta è possibile trovare una corrispondenza dal punto di vista fisiologico (*Grafico 5*). Infatti, il trattamento CA mostra un aumento a carico della conduttanza stomatica ( $g_s$ ) che testimonia come la maggiore disponibilità idrica nel suolo permetta alla pianta di intensificare gli scambi gassosi con l'esterno nonostante, comunque, la misurazione del potenziale di rugiada abbia evidenziato la presenza di una condizione di moderato stress idrico. Infatti, pur mostrando delle differenze su base stagionale, sia i livelli di assimilazione (A) che quelli della traspirazione (E) risultano superiori al controllo aziendale e al trattamento BA per l'intero periodo considerato. La presenza quindi di un livello idrico superiore nel suolo, soprattutto in un contesto in cui le precipitazioni costituiscono l'unica fonte di approvvigionamento, permette alle piante di migliorare le proprie performance non solo in termini assoluti ma anche in termini di efficienza, come evidenziato dal calcolo dalla WUE (*Grafico 6*).

Al fianco di questi effetti positivi, bisogna valutare anche le caratteristiche vegeto-produttive dei diversi trattamenti. Nello specifico, per quanto riguarda CA e BA, sulla base dei valori assunti dal peso di potatura, si può affermare che l'utilizzo dei due inerbimenti non abbia evidenziato alcuna variazione significativa di vigore. Questo dato depone quindi a favore dell'applicazione degli inerbimenti in quanto, contrariamente a quanto emerso in altri contesti (Piras et al. 2018), i risultati evidenziano la capacità dei due trattamenti di non abbattere la vigoria. Non bisogna però dimenticare che i trattamenti che sono stati messi a confronto risultano dalla combinazione di due fattori che sono rappresentati dal tipo di miscuglio e di terminazione effettuata. Proprio per questo motivo, sulla base di quanto emergerà anche dall'analisi dei dati dei trattamenti successivi, è possibile anche ipotizzare la presenza di un effetto sinergico o compensativo tra fattore idrico e nutrizionale tale da ottenere un risultato non differente rispetto al testimone. Contrariamente a quanto evidenziato in altri lavori (Cataldo et al., 2021), la presenza del cotico erboso in BA e CA non si è dimostrata in grado di favorire la concentrazione di zuccheri permettendo quindi il mantenimento di una composizione equilibrata. Questo risulta evidente dai risultati delle analisi sui mosti. Si osserva infatti una riduzione significativa della concentrazione zuccherina e un parallelo aumento dell'acidità titolabile in BA. Assodato l'effetto depauperante esercitato da BA nei confronti dell'acqua presente nel suolo che è testimoniato anche dalla parziale riduzione del peso della bacca, il contenuto di azoto prontamente assimilabile (APA) e il valore di indice SPAD (*Grafico 18*) misurato al terzo anno ci permettono di ipotizzare che la mancata riduzione di vigoria e il leggero ritardo indotto alla maturazione siano imputabili al supporto che l'utilizzo del miscuglio con composizione bilanciata è in grado di garantire dal punto di vista nutrizionale. In CA invece si osserva una composizione che risulta essere del tutto simile a quella di Az con l'unica differenza evidenziata relativa all'APA che risulta essere penalizzato.

La valutazione dei potenziali idrici del suolo nelle parcelle interessate dai trattamenti BP e CP (*Grafico 7*) permette di sottolineare delle peculiarità rispetto alle due tipologie di inerbimento considerate. Nei tre anni è infatti ben evidente come il potenziale idrico del suolo misurato alla profondità di 30 cm (*Grafico 7b*) per il trattamento BP, una volta effettuata la terminazione, sia soggetto ad un rapido crollo che lo conduce a valori tendenzialmente più negativi rispetto ai valori registrati dal controllo aziendale e dal trattamento CP. Per giunta, tale diminuzione, nel caso del 2021 risulta anche anticipata di qualche giorno rispetto a quanto accade nell'altro trattamento. In questo caso è quindi lecito interrogarsi su quelle che sono le possibili differenze originate dai due miscugli differenti. La valutazione dello stato idrico alla profondità di 60 cm (*Grafico 7b*) descrive un comportamento del tutto simile rispetto a quanto già emerso. Le leguminose, presenti

in percentuale maggiore nel miscuglio B rispetto al C, come evidenziato da Capri et al. (2023), sono le cover crop che manifestano i livelli di evapotraspirazione maggiore (18,6 mm giornalieri a fronte di 8,1 mm/giorno consumati da specie prostrate). Inoltre, tendono ad avere tessuti meno lignificati rispetto alle Graminacee e, se caratterizzate da una taglia medio-elevata come, ad esempio, nel caso della vecchia, tendono anche a produrre una consistente superficie fogliare. Tale caratteristica si traduce quindi direttamente nella presenza di una maggiore superficie traspirante. Per questi aspetti appena evidenziati, potrebbe quindi accadere che le specie appartenenti alle due famiglie abbiano una risposta differente allo schiacciamento operato mediante il rullo. Il parziale danneggiamento dei tessuti, combinato con il fatto che l'applicazione del trattamento non prevede l'interruzione netta del collegamento con l'apparato radicale, come accade invece nel caso dello sfalcio, andrebbe a determinare, nella prima fase post terminazione, una prosecuzione dell'attività traspirativa della biomassa e quindi una generalizzata perdita di acqua con conseguente impoverimento della riserva del suolo. Tale processo sembrerebbe proseguire fino al momento in cui, in seguito alla disidratazione subita, non si registrano ulteriori incrementi della quantità di acqua ceduta all'atmosfera. Non bisogna tralasciare inoltre un altro aspetto: la composizione della semente utilizzata nel miscuglio bilanciato (B) è caratterizzata dalla compresenza di un maggior numero di specie, contraddistinte per giunta da apparati radicali con caratteristiche differenti. Questo fattore incide inevitabilmente, a causa del diverso livello di approfondimento, su quella che è la possibilità di intercettare acqua (Hudek et al., 2021).

Nel caso della rullatura interfilare, il 2022, verso la fine della stagione estiva, si distingue dalle altre due annate considerate evidenziando una posizione di vantaggio per il trattamento BP rispetto al CP. La ragione di questo comportamento potrebbe essere rintracciata nelle caratteristiche dello strato pacciamante presente nell'anno in questione. In questo caso, come testimoniato da ricerche svolte in vari contesti (Yanli Fan et al., 2019; Yunqiu Shang et al., 2020; Jaimin Li et al., 2005) è importante ricordare il ruolo della distribuzione delle piogge durante la stagione per lo sviluppo di Graminacee e la produzione di biomassa in quanto dall'analisi multivariata effettuata da Gaona et al. (2023) l'umidità del suolo rappresenta il fattore che condiziona in misura maggiore la produttività generale della coltura, in modo particolare a partire dalla fase di levata. L'anno 2022 si è caratterizzato infatti per una stagione autunno-invernale particolarmente mite e pressoché priva di precipitazioni. In fase di emergenza dell'inerbimento, si è dunque evidenziata una maggiore difficoltà nell'insediamento del cotico stesso che si è tradotta in una diminuzione della biomassa prodotta, probabilmente imputabile alla riduzione dell'accestimento. Quest'ultima considerazione è stata infatti confermata al momento della stima della biomassa (*Grafico 2*) prodotta dagli inerbimenti che nel 2022 ha registrato i valori più bassi

tra i tre anni per entrambi i miscugli e la contrazione risulta essere più evidente nel caso del miscuglio C. Infatti, il valore di sostanza secca quantificato ( $0,34 \text{ kg/m}^2$ ) risulta ben inferiore rispetto alla soglia minima per definire efficace una pacciamatura e individuata da Huyssteen et al., 1984. Questo potrebbe quindi in parte spiegare il motivo per cui nell'annata analizzata si sia registrata una diminuzione dell'efficacia del trattamento: la presenza di uno strato pacciamante meno consistente permetterebbe infatti una più facile ripresa dello sviluppo di specie avventizie in grado quindi di incidere sulla disponibilità idrica così come la possibilità di avere una maggiore evaporazione diretta dal suolo a causa della copertura più rada della superficie. Altro elemento da tenere comunque in considerazione è rappresentato dal fatto che l'efficienza di uno strato di residuo vegetale con finalità pacciamante nell'interfilare è anche funzione della sua persistenza. Ciò significa quindi che, oltre alla diversa dinamica di degradazione del residuo, bisogna considerare gli effetti delle operazioni che vengono eseguite durante la stagione e della frequenza con cui si verificano. Non è dunque da escludere il fatto che il passaggio ripetuto in campo con le macchine per l'esecuzione dei trattamenti fitosanitari possa incidere sulla sfibratura dei residui e quindi sul loro spostamento, andando magari a creare delle zone con un maggiore accumulo rispetto invece a porzioni che rimarrebbero sprovviste di copertura. È dunque evidente che nel momento in cui questo fenomeno dovesse avvenire con una certa intensità si registrerebbero effetti negativi a carico dell'efficacia del trattamento. Se però quando si parla di pacciamatura da un lato è auspicabile avere il massimo livello di copertura per fare in modo che possa massimizzarsi la riduzione dell'evaporazione diretta, massimizzando il controllo delle infestanti e regolando la temperatura, dall'altro diventa necessario trovare il giusto compromesso per fare in modo che le caratteristiche dello strato pacciamante non ostacolino l'infiltrazione dell'acqua. Questa questione è stata in parte affrontata da Montenegro et al., 2013. Simulando infatti delle precipitazioni di diversa durata e intensità, è stata dimostrata la capacità della superficie pacciamata di rispondere positivamente in termini di capacità di infiltrazione e riduzione dell'erosione superficiale e allo stesso tempo, simulando periodi di siccità e valutando la temperatura del terreno, è stato evidenziato un effetto ugualmente positivo. Il problema in questo caso è rappresentato dal fatto che l'intensità di pioggia minima con cui è stato svolto l'esperimento è pari a  $57 \text{ mm/h}$ . Rimane invece aperta la questione relativa alla risposta che strati pacciamanti di diverso spessore possono fornire al verificarsi di piogge di intensità ridotta. Comprendere questa dinamica diventa particolarmente importante per avere una valutazione completa dell'efficacia del trattamento considerato. Rispetto a quanto evidenziato, potrebbe infatti verificarsi anche che, anziché fungere da buffer zone, la pacciamatura trattenga l'acqua che quindi non ha la possibilità di infiltrarsi nel terreno e che, per questo motivo, potrebbe essere

anche coinvolta più facilmente nei processi di evaporazione diretta. Se ciò venisse confermato, la validità di questo trattamento potrebbe essere ridotta e questo significherebbe andare a misurare dei potenziali idrici del suolo che verrebbero ad essere più negativi con conseguenze a carico dello stress idrico subito dalle viti e valutato in termini di potenziale idrico di rugiada.

Le difficoltà evidenziate nel 2022 emergono anche nell'analisi delle risposte fisiologiche (*Grafico 9*). Se infatti nel 2021 e nel 2023, sebbene con intensità differenti, sia possibile evidenziare chiaramente un miglioramento a carico dell'assimilazione in CP rispetto al trattamento BP e al controllo aziendale, lo stesso non può essere detto per ciò che riguarda il 2022 dove queste differenze si riducono notevolmente come conseguenza delle condizioni più sfavorevoli confermate dai valori di potenziale idrico di rugiada. Nella valutazione del potenziale idrico fogliare (*Grafico 8*) le differenze tra i trattamenti sono più contenute rispetto a quanto detto nel caso dell'andatura della biomassa trinciata nel sottofila. In questo caso è difficile però pensare ad un miglioramento dovuto ad un effetto residuo del trattamento applicato in anni successivi, come ipotizzato nel caso di BA e CA. Infatti, trattandosi di una pacciamatura che interessa l'interfilare, anche le semplici operazioni di semina effettuate in autunno sono in grado di incidere negativamente sulla permanenza in superficie della biomassa prodotta nella stagione precedente e di ridurre quindi il progressivo accumulo. I valori che vengono assunti dal potenziale idrico di rugiada ( $\psi_{\text{predawn}}$ ) e dal potenziale di mezzogiorno ( $\psi_{\text{midday}}$ ) (*Grafico 8*), nel caso di BP e CP evidenziano dei livelli di stress tendenzialmente superiori rispetto alle tesi BA e CA, a riprova di quanto detto circa le caratteristiche del potenziale idrico del suolo. Si noti però come nel 2022, a fronte delle precipitazioni che si sono verificate in tarda estate, i trattamenti hanno evidenziato una interessante capacità di recupero. Ciò significa quindi che la presenza della pacciamatura in momenti corrispondenti almeno teoricamente alla condizione di massimo stress stagionale e alla successiva fase di recupero, è in grado di predisporre il terreno ad una rapida ricostituzione della disponibilità idrica. È opportuno, infatti, ricordare che la presenza di pacciamatura organica incide su proprietà chimico fisiche del terreno che contribuiscono alla sua capacità di trattenere acqua. Si parla infatti soprattutto di incremento della sostanza organica, della porosità e della stabilità degli aggregati così come della capacità della pacciamatura di favorire l'assorbimento di acqua anche in presenza di fenomeni piovosi intensi scongiurando quindi il ruscellamento superficiale (Jordán et al., 2010).

Quanto detto risulta ben evidente dall'analisi del potenziale idrico di rugiada. Il dato interessante è però rappresentato dal vantaggio netto che si definisce con la misura di  $\psi_{\text{midday}}$  visto che a fronte della tendenza alla diminuzione manifestata dal controllo entrambi i trattamenti oppongono una propensione all' incremento dei valori di potenziale idrico. Questo evidenzia dunque che,

valutando le conseguenze dello stress ambientale su scala giornaliera, i trattamenti considerati, nell'ultimo rilievo fisiologico effettuato, sono stati in grado determinare delle condizioni più favorevoli per le viti.

Allo stesso tempo, si evidenzia come, valutando anche i parametri di  $E$ ,  $g_s$  e  $WUE$  (*Grafico 9*), i due trattamenti, nonostante siano in grado di incidere meno sulla conservazione di una determinata disponibilità idrica, siano stati comunque in grado di migliorare l'efficienza fisiologica delle viti. Questo risulta essere particolarmente vero nel caso del trattamento CP per il quale i valori di potenziale idrico segnalano una condizione meno limitante.

La valutazione degli effetti sui parametri vegetativi (*Tabella 4*) ha evidenziato una riduzione significativa del 18% del peso del legno di potatura sia nel trattamento con il miscuglio a composizione bilanciata sia in quello con la maggiore presenza di Graminacee, indicando quindi una diminuzione evidente della vigoria delle viti interessate. Bisogna però ribadire che, a fronte di tale fenomeno, i trattamenti non hanno evidenziato delle differenze significative in termini di produzione unitaria. Tuttavia, il trattamento BP che è risultato il più competitivo dal punto di vista idrico, evidenzia una contrazione del peso del grappolo del 20% circa con un acino di peso significativamente inferiore rispetto al controllo e questo si riflette direttamente anche sulle caratteristiche di compattezza del grappolo. Questo fenomeno potrebbe diventare vantaggioso in contesti predisponenti o con vitigni particolarmente suscettibili allo sviluppo di patogeni, come dimostrato nel caso della *Botrytis cinerea* (Coniberti et al., 2018). Al contrario, il trattamento CP non determina delle variazioni a carico della dimensione dell'acino. A parità della riduzione di vigore evidenziata e di terminazione effettuata, diventa quindi importante capire cosa incide sul diverso effetto ottenuto. È noto come la regolazione dell'equilibrio vegeto-produttivo e quindi del vigore sia influenzato da due fattori principali: disponibilità idrica e nutrizionale. Nel caso di BP la maggior presenza delle leguminose ha determinato un effetto positivo a carico della disponibilità di azoto e questo è confermato da due dati: l'indice SPAD (*Grafico 18*) che mostra una tendenza del miscuglio B ad ottenere dei valori mediamente più alti al contrario di quanto accade con C e la concentrazione di azoto prontamente assimilabile (APA) nelle uve che distingue in modo netto il valore di BP (153,3 mg/L) dal valore di CP (85,5 mg/L). La risposta misurata in termini di indice SPAD trova riscontro in quanto indicato da Raffa et al., 2022. Infatti, questa esperienza conferma la tendenza alla riduzione di questo indice in trattamenti che hanno previsto l'utilizzo di cover crop per ottenere una pacciamatura, con un vantaggio comunque per miscugli con presenza di leguminose. Questo comportamento viene attribuito alla riduzione della mineralizzazione come effetto della ridotta lavorazione del terreno. Nel caso di B quindi, a fronte di una disponibilità nutrizionale che grazie alla maggior presenza di leguminose non dovrebbe

essere limitante, la riduzione dell'accrescimento degli acini potrebbe essere imputata alla ridotta disponibilità idrica in grado di incidere negativamente sulla fase di accrescimento per distensione cellulare che si colloca per giunta nel momento della stagione in cui il potenziale idrico del suolo di BP risulta essere distintamente inferiore rispetto a quello di CP. Questa osservazione è avvalorata dal fatto che, sulla base dei rilievi effettuati con la camera per la misura degli scambi gassosi già citata, è emerso nel 2023 che il trattamento BP presenta dei livelli di evapotraspirazione superiori rispetto agli altri trattamenti.

Un altro aspetto interessante da esaminare riguarda le caratteristiche compositive delle uve prodotte. Il trattamento BP, in linea con quanto emerso in generale dall'utilizzo del miscuglio B, viene descritto da una concentrazione di solidi solubili totali (°Brix) inferiore e un'acidità titolabile (g/L) superiore rispetto al controllo aziendale. Al contrario, il trattamento CP registra la maggior concentrazione zuccherina (26,2 °Brix) e il minor contenuto di acidità titolabile in assoluto (7,74 g/L). A fronte della competizione idrica esercitata e della contemporanea funzionalità fogliare che viene mantenuta, in BP sarebbe lecito attendersi un incremento degli zuccheri anche semplicemente per effetto della maggiore concentrazione dovuta alla riduzione del peso medio dell'acino. In realtà questo non si verifica e il risultato ottenuto risponde parzialmente all'obiettivo di resilienza fissato. Si tratta infatti di ottenere, con un'efficienza d'uso dell'acqua superiore, una produzione che si discosta al minimo dalle caratteristiche qualitative del testimone aziendale assunto come target di riferimento. Diventa quindi indispensabile considerare questo dato, a parità di terminazione, nella scelta della diversa composizione del miscuglio in modo da ottenere le caratteristiche compositive desiderate. Mentre infatti è stato possibile supporre l'andamento del potenziale idrico registrato per BP come effetto combinato della morfologia dell'apparato radicale delle leguminose con la tipologia di terminazione in esame, è altrettanto importante tenere in mente l'efficienza delle graminacee nell'asportare nutrienti dal terreno. È quindi ipotizzabile che, sebbene apparentemente siano in grado di incidere meno sulla disponibilità idrica del suolo in quanto dopo la terminazione arrestano con più rapidità l'evapotraspirazione, le Graminacee presenti in CP causino un effetto competitivo maggiore a livello nutrizionale. Non bisogna dimenticare che le Graminacee vengono frequentemente impiegate come catch crop a causa dell'efficienza dimostrata nell'assorbimento di azoto presente nel suolo (Valkama et al.,2015). Al contrario invece, nel caso di BP è opportuno ricordare un possibile effetto positivo sulla disponibilità azotata legato proprio alla presenza delle leguminose e alla fissazione biologica dell'azoto. La relazione meritevole di maggiori approfondimenti nel caso di BP è però quella tra la contrazione produttiva, la riduzione della vigoria, la dinamica della

disponibilità azotata e il mantenimento di una composizione non sbilanciata verso l'eccessivo accumulo di zuccheri.

Prendendo invece in esame la terminazione della biomassa degli inerbimenti eseguita mediante sovescio, per quanto riguarda l'analisi del potenziale idrico, è opportuno partire da una considerazione. Come evidenziato nel 2021 da Dangke Ma et al., gli effetti che la tecnica del sovescio ha sulla disponibilità idrica non devono essere valutati esclusivamente facendo riferimento al consumo che le cover crop sostengono durante il periodo di crescita. Bisogna invece considerare la combinazione di più fattori, tra cui la variazione della densità apparente del suolo e del contenuto di sostanza organica che sono in grado di condizionare l'infiltrazione e la riserva di acqua nel terreno. Infatti, come viene evidenziato dalla metanalisi citata, fatta eccezione per stagioni particolarmente secche, il periodo in cui le cover crops si accrescono coincide con il periodo in cui le piogge riescono a compensare sufficientemente il consumo sostenuto dalle specie erbacee. I dati del 2021, riferiti alla profondità di 30 cm (*Grafico 11a*), evidenziano dunque la tendenza del potenziale idrico del suolo di BS e CS a decrescere rapidamente dopo la terminazione con una dinamica del tutto simile stabilizzandosi però su dei valori che sono meno negativi di circa un bar per BS rispetto a CS. Interrogandosi sul motivo di questo comportamento, si può trovare una risposta nella valutazione del quantitativo di biomassa prodotta e del suo contenuto di acqua. Interrare infatti la biomassa del miscuglio bilanciato maggiore in termini di peso fresco ( $1.94 \text{ kg/m}^2$ ) e caratterizzata da un contenuto di sostanza secca inferiore (21%) potrebbe aver permesso al suolo di giovare di una disponibilità idrica superiore rispetto alle parcelle interessate dal sovescio del miscuglio C caratterizzato dall'aver prodotto  $1.76 \text{ kg/m}^2$  di biomassa espressa in peso fresco con il 24% di sostanza secca. Anche nel 2022 il potenziale idrico di BS tende ad essere superiore rispetto a quello di CS ma il dato interessante da commentare corrisponde a quello registrato nel rilievo in cui i due trattamenti hanno evidenziato la differenza maggiore. In seguito alle piogge verificatesi alla fine dell'estate è infatti evidente come l'incremento del potenziale idrico e quindi il recupero della riserva idrica avvenga con una rapidità molto differente. Tra i due punti considerati (DOY 201 e DOY 214), il trattamento BS mostra infatti un coefficiente angolare (0.2004) quasi doppio rispetto a quello del trattamento CS (0.112) e più che doppio rispetto ad Az (0.095). Tale prontezza di recupero depone a favore di BS che per giunta mostra un comportamento speculare anche alla profondità di 60 cm (*Grafico 11b*) dove invece CS non evidenzia alcuna variazione. In questo caso bisogna analizzare il fenomeno rispetto a due dimensioni temporali differenti perché, nonostante il comportamento tenuto da BS vada comunque nella direzione dell'incremento della resilienza idrica, è altrettanto vero che, note le

caratteristiche di rapporto C/N dei due miscugli, l'effetto di questo primo miscuglio è più transitorio e di breve periodo rispetto invece all'effetto ottenibile mediante il sovescio del miscuglio C. Il rapporto C/N di quest'ultimo miscuglio è infatti in grado di incidere in maniera più decisa sul contenuto di sostanza organica presente nel suolo nel lungo periodo e quindi di avere anche un effetto più costante e prolungato nel tempo. Questa ipotesi viene infatti in parte confermata analizzando i valori di potenziale idrico registrati nel 2021 e 2023. Nel primo anno di sperimentazione la risposta del trattamento CS risultava essere molto tardiva rispetto a quella di BS e di Az mentre nell'ultimo anno si nota come il trattamento CS registri valori tendenzialmente più elevati rispetto a BS, evidenziando comunque delle differenze nettamente inferiori se paragonate con quelle emerse nell'anno precedente. Dunque, la diversa composizione delle due biomasse considerate potrebbe incidere anche sulla persistenza dell'effetto ottenuto. Questo si aggiunge ai vantaggi riconosciuti all'uso del sovescio per quanto riguarda la porosità, la struttura del terreno e il suo contenuto di sostanza organica (Garcia-Franco et al., 2015) e amplificati dal fatto che rispetto alle altre due terminazioni considerate l'incorporazione della biomassa all'interno del terreno permette di accelerarne la decomposizione favorendo anche una rapida mineralizzazione degli elementi nutritivi (Ball et al., 2020). Invece, la possibilità per BS di registrare un effetto anche in profondità potrebbe essere la diretta conseguenza del fatto che nel miscuglio B siano presenti specie caratterizzate da un apparato radicale fittonante, come appunto le Brassicacee, che quindi faciliterebbero l'infiltrazione negli strati più profondi del terreno. Naturalmente, la consistenza di questo effetto positivo sarà funzione dell'intensità delle piogge che si registreranno. A conferma di quanto detto, tornerà utile il dato che emergerà nelle analisi del suolo che verranno svolte nel prossimo autunno, in modo da valutare analiticamente gli effetti che l'applicazione ripetuta dei trattamenti ha determinato sulle proprietà chimico-fisiche del terreno. Nel 2023, la maggiore disponibilità idrica primaverile in concomitanza di temperature moderate ha permesso di avere un'ottima affermazione del cotico erboso. Questo dato è confermato dalla quantificazione della biomassa che per BS ha registrato il valore di 2.51 kg (P.F.) /m<sup>2</sup> mentre per CS quello di 1.99 (P.F.) /m<sup>2</sup> con un incremento rispettivamente del 43% e del 62% nel caso del confronto con il 2022 e un incremento del 29% e del 13% nel confronto con il 2021. Per tale motivo è possibile affermare che la diminuzione del potenziale idrico registrata in primavera sia imputabile alla presenza di una maggiore biomassa e quindi ad un consumo evapotraspirativo maggiore. A questo però fa seguito una diminuzione del potenziale idrico che tra il DOY 157 e il DOY 166 nel caso di Az viene descritta da una retta con coefficiente angolare pari a -0.190 mentre in BS esso risulta pari a -0.062, sottolineando quindi, il verificarsi di condizioni più sfavorevoli dal punto di vista della disponibilità idrica nel caso del testimone. La

presenza degli inerbimenti sembra impattare anche sui valori di potenziale idrico misurati alla profondità di 60 cm nella fase che precede la terminazione (*Grafico 11b*) ma a questa profondità, dalla terminazione in poi non si evidenziano particolari modifiche della pendenza delle curve di BS e CS che decrescono senza particolari differenze rispetto a quanto evidenziato nel 2022, fatta eccezione per il picco di Az e BS registrato nel 2022 e che non si è ripetuto nel 2023 a causa del diverso decorso stagionale delle precipitazioni. L'effetto positivo dell'applicazione dei sovesci sul potenziale idrico del suolo viene confermato anche dalla misura del potenziale idrico di rugiada. Questo, che costituisce un indicatore biologico molto affidabile della disponibilità di acqua nel suolo, pur evidenziando una condizione di stress, ha registrato dei valori che sono risultati meno negativi sia nel caso del miscuglio B che in C. La fluttuazione giornaliera del potenziale, valutata in funzione del potenziale idrico di mezzogiorno risulta più ampia nel caso di BS e CS rispetto a quanto accade nel controllo. Ciò nonostante, come mostrato dai dati 2022 e 2023, si può evidenziare un effetto migliorativo dell'applicazione dei due trattamenti sul valore del potenziale di mezzogiorno ( $\psi_{\text{midday}}$ ) tra il secondo e il terzo rilievo di ciascuna stagione. Si tratta di un elemento importante da sottolineare perché porta all'ottenimento di valori che sono meno negativi rispetto a quelli del testimone. Tale osservazione indica quindi che il sovescio dei due miscugli considerati permette al suolo di rispondere in maniera efficiente al decorso stagionale sfavorevole e alle piante di trovarsi in una condizione di maggiore tolleranza nei confronti dello stress idrico. Tant'è vero che infatti la valutazione dei parametri fisiologici (*Grafico 13*) è del tutto favorevole all'applicazione dei due trattamenti, con delle variazioni che devono essere analizzate. Infatti, a differenza del 2021 e del 2023 che, per i tre parametri fisiologici considerati, premiano il trattamento CS, nel 2022 e in modo specifico nella seconda parte della stagione di rilievi, il trattamento BS ha ottenuto un miglioramento generalizzato. Per giustificare ciò, non bisogna dimenticare due elementi importanti: il primo rappresentato dalla difficoltà incontrata dalle Graminacee in fase di emergenza per affermarsi e questo ha inevitabilmente condotto ad una riduzione dell'efficienza del sovescio a causa della ridotta biomassa prodotta (1.24 kg (p.f.)/m<sup>2</sup>, 27% ss), il secondo rappresentato dal fatto che l'interramento della biomassa del miscuglio bilanciato può contribuire in modo più rapido e diretto alla nutrizione della vite in virtù della sua composizione floristica. Infatti, è stata messa in evidenza la capacità di sovesci di leguminose di dare un contributo importante (%) in termini di azoto presente nelle foglie di vite secondo una dinamica che risponde bene alle esigenze primaverili e del processo di allegagione (Patrick et 2014). Ciò significa quindi avere piante che, con lo stesso inerbimento B, gioveranno da un lato di una maggiore disponibilità di acqua e dall'altro avranno la possibilità di ricevere in poco tempo anche un supporto nutrizionale.

Dunque, è inevitabile che una situazione di questo tipo si traduca in un miglioramento delle performance della vite. Ciò nonostante, i valori registrati per CS risultano sufficienti a determinare il maggior incremento dell'efficienza d'uso dell'acqua. Anche questo risultato è molto importante perché avere un'efficienza d'uso dell'acqua maggiore significa andare ad avere un risparmio di acqua a parità di altre condizioni e questo si traduce in una maggiore disponibilità poi nel terreno per sopperire ad eventuali necessità in periodi particolarmente siccitosi.

Nell'analisi del peso del legno di potatura emerge però un dato apparentemente contrastante: la presenza del miscuglio di Graminacee, competitive dal punto di vista idrico e nutrizionale, permette di osservare un parziale incremento di vigoria rispetto a quanto determinato invece da BA che resta perfettamente in linea con il testimone aziendale. Questo potrebbe essere in parte causato dal fatto che l'applicazione del sovescio al miscuglio in questione ha evidenziato nei tre anni un progressivo miglioramento della capacità di trattenere acqua nel suolo così come da quanto evidenziato da Celette et al., 2009 che a fronte di una riduzione dell'azoto minerale nel suolo inerbito con orzo hanno sottolineato la tendenza all'incremento della percentuale di azoto sulla sostanza secca del legno di potatura. Questo fenomeno verrebbe giustificato da una combinazione di più fattori: da un lato l'incremento della competizione per l'azoto tra le piante sulla stessa fila che quindi sarebbero spinte ad approfondire maggiormente le radici e dall'altro la possibilità per queste di intercettare l'azoto che grazie alla maggiore porosità del suolo determinata dalla presenza dell'inerbimento temporaneo andrebbe incontro a lisciviazione. Per quanto riguarda la produzione unitaria, anche i trattamenti che hanno previsto il sovescio non si sono differenziati rispetto al controllo aziendale. Spiccano invece le differenze compositive: BS è infatti il trattamento che presenta la concentrazione zuccherina più bassa e l'acidità titolabile superiore in assoluto. Nonostante, infatti, non abbia evidenziato effetti sulla vigoria, il valore del relativo indice SPAD e dell'APA (mg/L) risultano del tutto coerenti con le caratteristiche compositive ottenute. Il CS invece, caratterizzato dal grappolo di dimensioni maggiori in assoluto (155,10 g) presenta una composizione del tutto confrontabile con quella del controllo aziendale. Anche in questo caso però si ricordi come lo stesso risultato in termini di prodotto finale sia stato ottenuto in realtà con maggiore efficienza in termini di consumo idrico.

Come discusso, l'efficacia di tutti i trattamenti testati prevede comunque che ci si interroghi su quelle che sono le caratteristiche in termini di quantità e qualità della biomassa prodotta che devono essere rispettate affinché si possa effettivamente registrare l'effetto desiderato. In aggiunta a ciò, è stato evidenziato come la dinamica nutrizionale, la piovosità e la distribuzione stagionale delle piogge siano variabili alle quali viene riconosciuto un ruolo nella valutazione

degli effetti delle tesi testate. La dinamica nutrizionale è stata valutata soprattutto prendendo come punti di attenzione le misure di indice SPAD e la valutazione della concentrazione di APA e tenendo in considerazione quanto affermato da Celette et al., 2009. In questo lavoro la competizione idrica viene infatti indicata come una forma indiretta di competizione nutrizionale visto che la riduzione di acqua compromette la mobilità dell'azoto minerale presente nel suolo. Dall'analisi dei risultati ottenuti per i diversi trattamenti è stato evidenziato quindi quanto l'efficacia degli stessi sia dipendente dalla quantità di biomassa prodotta dagli inerbimenti. Per questo motivo si è ritenuto necessario indagare la possibilità di una correlazione tra la piovosità e la produzione di biomassa. Ciò è stato fatto prendendo in considerazione la piovosità di periodi differenti dell'anno (*Tabella 9*) e i dati ottenuti nei rilievi di biomassa, come riportato nella *Tabella 8*. Dall'indagine emerge che la piovosità compresa tra il mese di ottobre e il mese di dicembre non presenta nessuna correlazione significativa con la produzione di biomassa espressa in termini di peso fresco, peso secco e di percentuale di sostanza secca. Le precipitazioni che si sono verificate quindi nelle primissime fasi di sviluppo degli inerbimenti sembrano non essere in grado di incidere sul risultato finale. Prendendo invece come riferimento temporale ultimo il momento in cui è stata effettuata la terminazione, è stata valutata la correlazione con tre periodi di durata diversa. Il primo prende in esame i mesi a partire da ottobre, comprendendo quindi l'intero ciclo di sviluppo degli inerbimenti autunno-primaverili considerati. In questo primo confronto, non sono state individuate delle relazioni significative tra le variabili considerate. Questo potrebbe quindi indicare il fatto che il periodo considerato risulta essere troppo ampio e caratterizzato da una sensibilità nella risposta che varia nel tempo in modo tale da non poter individuare una relazione matematica in grado di descriverla.

Restringendo invece il periodo considerato a partire da gennaio, si nota la presenza di una correlazione significativa della piovosità con il peso fresco nel caso del miscuglio B ( $R^2 = 0.89$ ) e con il peso secco del miscuglio C ( $R^2 = 1$ ). La diversa composizione evidenzia quindi una risposta totalmente differente, conseguenza delle caratteristiche specifiche dei tessuti delle famiglie botaniche presenti. Le leguminose, infatti, rispondono alla piovosità aumentando il peso fresco e producendo quindi tessuti più ricchi di acqua. Nel caso delle Graminacee invece l'incremento della quantità di sostanza secca prodotta è indice di una maggiore attività assimilativa da parte dell'inerbimento che trae vantaggio dalla presenza di precipitazioni nel periodo considerato. Per quanto riguarda il miscuglio B invece la correlazione più significativa viene individuata considerando le precipitazioni nel periodo da aprile alla terminazione. Essa interessa infatti la produzione di biomassa valutata sia in termini di peso fresco che in termini di peso secco. Questo, quindi, evidenzia come le leguminose, presenti in percentuale maggiore in

questo miscuglio, abbiano una risposta molto dipendente dalle precipitazioni primaverili che sembrano sostenere in modo molto efficace la produzione di biomassa. Questo effetto è da imputare in parte a quella che è la diversa stagionalità delle essenze erbacee considerate. Infatti, sebbene sia possibile individuare una correlazione positiva tra le precipitazioni di questo periodo e la percentuale di sostanza secca anche per il miscuglio C, è evidente come le Graminacee, giunta la primavera avanzata, si stima si trovino in uno stadio fenologico che non permette loro di rispondere in termini di quantità assoluta di biomassa prodotta. Infatti, a partire dalla fioritura, sebbene questa rappresenti una fase di massima sensibilità nei confronti dello stress idrico (Monteleone et al., 2023), la quota maggiore di biomassa risulta essere stata già determinata. Le leguminose invece, complice anche l'innalzamento delle temperature, riescono a mostrare una risposta in termini di produzione di biomassa correlata al verificarsi di precipitazioni tardo-primaverili che risulta essere molto più evidente e determinante.

Dal punto di vista operativo, la scelta di un inerbimento temporaneo autunno-primaverile con una specifica composizione da terminare con una delle possibilità che sono state prese in considerazione assume dunque un carattere strategico perché, come si è visto dalle differenze che sono emerse dal punto di vista compositivo, strettamente correlata poi alla possibilità di destinare le uve prodotte a tipologie enologiche differenti. Al fine quindi di definire dei criteri di riferimento, si è valutata la correlazione tra la concentrazione di solidi solubili totali e l'acidità titolabile per avere un'idea più chiara del trattamento che è in grado di rispondere meglio alle esigenze qualitative e si è visto come i trattamenti tendano a disporsi lungo una retta con un  $R^2 = 0,83$ . Nello specifico è bene porre l'attenzione su un paio di condizioni particolari: la posizione che viene assunta da BA e BP evidenzia la capacità dei due trattamenti di andare ad indurre una differenza che interessa la concentrazione zuccherina ma che permette di conservare invece lo stesso livello di acidità. Il contrario accade invece nel caso del confronto tra Az e CA dove a fronte del mantenimento di uno stesso valore di TSS (°Brix) CA permette di avere un livello di acidità superiore e questo rappresenta un aspetto assolutamente interessante soprattutto in un contesto di cambiamento climatico che tende ad incidere soprattutto a carico di questo parametro. La descrizione di questa relazione è dettata dalla volontà di avere un riferimento il più chiaro possibile che possa quindi orientare le scelte del viticoltore.

## 6. CONCLUSIONI

La prova ha consentito di valutare gli effetti di tecniche innovative per la gestione del suolo in vigneto al fine di ottenere un sistema resiliente nei confronti della scarsa disponibilità idrica. Le valutazioni sono state fatte esaminando le caratteristiche le performance delle viti in termini di caratteristiche fisiologiche, agronomiche e produttive e di qualità delle uve ottenute. Sebbene non si sia trattato quindi della valutazione di un bilancio idrico, è stato possibile indagare alcuni meccanismi in grado di incidere in modo consistente sul risultato produttivo finale. A tal proposito, il primo tema emerso è rappresentato dal fatto che indipendentemente dalla terminazione eseguita, il miscuglio con composizione bilanciata ha sempre evidenziato una tendenza alla riduzione al peso delle bacche e una netta contrazione della concentrazione zuccherina, mantenendo un livello produttivo statisticamente non differente e un livello di acidità titolabile superiore al controllo aziendale rappresentato dalla lavorazione a filari alterni. Invece, per il miscuglio con prevalenza di Graminacee è stato possibile osservare un effetto dovuto alla terminazione. In questo caso quindi l'attenzione deve essere maggiore nell'andare a scegliere la terminazione che effettivamente risponde alle precise esigenze enologiche. Infatti, nel caso del trattamento CP è ben evidente un incremento della concentrazione di zuccheri a scapito della acidità rispetto a quanto mostrato dal testimone aziendale. Il trattamento in questione si presterebbe quindi alla produzione di vini con gradazioni alcoliche superiori e destinati ad un invecchiamento prolungato. L'aspetto importante da mettere in evidenza è rappresentato dal fatto che l'ambizione del presente lavoro sia stata quella di andare a analizzare quali approcci adottare per migliorare le caratteristiche produttive di un vigneto che risulta essere già gestito in modo sufficientemente virtuoso. Infatti, l'adozione della lavorazione a filari alterni come risultato di una precedente sperimentazione e come testimone di controllo nella prova descritta ha permesso di attenuare le differenze dovute ai diversi trattamenti applicati e che invece, probabilmente, sarebbero state ancora più evidenti se valutate rispetto all'inerbimento spontaneo totale del suolo del vigneto. Analizzando il tema della gestione del suolo più dal punto di vista ambientale è però possibile affermare che tutti i trattamenti hanno evidenziato un maggior livello di efficienza e quindi la capacità di incrementare il livello di resilienza idrica del vigneto, declinando sempre questo concetto nella doppia possibilità di ottenere un prodotto con le stesse caratteristiche della gestione aziendale ma con un maggior livello di efficienza produttiva oppure andare a modificare le caratteristiche del prodotto secondo le proprie esigenze e nonostante le difficoltà imposte dalla scarsità idrica che le diverse terminazioni hanno mostrato la capacità di fronteggiare in modo differente. Resta comunque aperta la possibilità di andare a valutare più nel dettaglio dal punto di vista fisiologico l'attività esercitata dagli inerbimenti in modo tale da disporre di dati per stilare un bilancio idrico-nutrizionale completo per l'intero ecosistema vigneto.

## 7. TABELLE, GRAFICI E FIGURE

**Tabella 3** Analisi del suolo effettuate in fase di impostazione della prova a diversa profondità (autunno 2020)

Parametro	Unità di misura	Profondità d'indagine (cm)		
		0-30	30-60	60-90
Sabbia	%	11	11	11
Limo	%	61	59	58
Argilla	%	29	30	31
pH in H <sub>2</sub> O	-	6,59	6,78	6,93
C.S.C.	meq/100g	18,6	18,5	17,7
Carbonati totali	%	0	0	0
Calcare attivo	%	0,5	0,45	0,55
Sost. Organica	%	1,49	0,84	0,68
N totale	‰	0,94	0,54	0,44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilabile	ppm	22	21	21
K <sub>2</sub> O scambiabile	ppm	89	73,8	61,2
Mg scambiabile	ppm	488	560	557

**Tabella 4** Variazione dei parametri vegetativi e relativi alla compattezza del grappolo di viti di Barbera in funzione della tesi (T) e dell'anno (A)

	Peso legno totale (g/vite)	Indice di Ravaz	Lunghezza rachide (cm)	Compattezza grappolo(g/cm)
<b>TESI</b>				
Az	229 ab	15,1	14,28	12,16 ab
BA	239 ab	14,4	14,49	11,14 abc
BP	188 b	11,8	16,12	9,64 c
BS	221ab	13,1	16,15	10,59 bc
CA	249 ab	12,4	15,19	12,72 a
CP	188 b	13,8	14,67	11,71 ab
CS	280 a	13,1	14,82	12,43 ab
<b>ANNO</b>				
2021	263	13,8	15,53	11,72
2022	192	13	14,68	11,26
<b>Tesi (T)</b>	*	n.s.	n.s.	*
<b>Anno (A)</b>	***	n.s.	n.s.	n.s.
<b>T x A</b>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

\*\*\*  $p < 0,001$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*  $p < 0,05$ ; n.s. non significativo. Separazione tra le medie entro colonna con il test di Duncan per  $p=0,05$

Tabella 5 Variazione dei principali parametri produttivi di viti di Barbera in funzione della tesi (T) e dell'anno (A)

	<i>Resa unitaria (kg/vite)</i>	<i>Grappoli per vite</i>	<i>Peso grappolo (g)</i>	<i>Peso bacca (g)</i>	<i>Fertilità del germoglio</i>
<b>TESI</b>					
Az	3,07	20,6	144,16	1,81 a	1,58
BA	3,12	21,8	137,07	1,69 ab	1,54
BP	2,14	18,6	115,79	1,63 b	1,49
BS	2,78	20,2	137,24	1,68 ab	1,59
CA	2,76	19,4	144,82	1,74 ab	1,41
CP	2,51	19,4	126,36	1,82 a	1,55
CS	3,03	19,9	155,10	1,78 a	1,49
<b>ANNO</b>					
2021	3,24	20,7	157,10	1,77	1,59
2022	2,30	19,3	117,34	1,69	1,45
<b>Tesi (T)</b>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	*	<i>n.s.</i>
<b>Anno (A)</b>	***	<i>n.s.</i>	***	*	***
<b>T x A</b>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

\*\*\*  $p < 0,001$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*  $p < 0,05$ ; *n.s.* non significativo. Separazione tra le medie entro colonna con il test di Duncan per  $p=0,05$

Tabella 6 Variazione dei principali parametri compositivi di uve di Barbera in funzione della tesi (T) e dell'anno (A)

	<i>TSS (*Brix)</i>	<i>pH</i>	<i>Acidità titolabile (g/L)</i>	<i>TSS/TA</i>	<i>APA (mg/L)</i>
<b>TESI</b>					
Az	25,4 ab	3,24	7,93 bc	3,27 ab	131,8 ab
BA	23,8 d	3,21	8,48 ab	2,84 de	145,5 a
BP	24,1 cd	3,22	8,49 ab	2,90 cde	153,3 a
BS	23,5 d	3,18	9,10 a	2,64 e	147,5 a
CA	25,3 ab	3,21	8,26 bc	3,18 abc	118,1 b
CP	26,2 a	3,24	7,74 c	345 a	85,5 c
CS	24,9 bc	3,21	8,40 b	3,02 bcd	153,1 a
<b>ANNO</b>					
2021	24,4	3,15	9,05	2,73	105,9
2022	25,1	3,28	7,62	3,35	161,2
<b>Tesi (T)</b>	***	<i>n.s.</i>	***	***	***
<b>Anno (A)</b>	*	***	***	***	***
<b>T x A</b>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

\*\*\*  $p < 0,001$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*  $p < 0,05$ ; *n.s.* non significativo. Separazione tra le medie entro colonna con il test di Duncan per  $p=0,05$

**Tabella 7** Variazione dei principali parametri compositivi delle uve di Barbera in funzione della tesi (T) e dell'anno (A)

	<b>Acido tartarico (g/L)</b>	<b>Acido malico (g/L)</b>	<b>K<sup>+</sup> (mg/L)</b>	<b>Antociani (mg/g p.f.)</b>	<b>Polifenoli (mg/g p.f.)</b>
<b>TESI</b>					
Az	10,29	0,60	1504,18 b	1,37	2,67
BA	10,90	0,50	1373,27 b	1,24	2,60
BP	10,96	0,58	1406,82 b	1,25	2,58
BS	11,15	0,54	1484,47 b	1,29	2,62
CA	10,47	0,71	1476,10 b	1,23	2,66
CP	10,51	0,64	1669,26 a	1,42	2,88
CS	11,04	0,56	1474,62 b	1,44	2,84
<b>ANNO</b>					
2021	10,95	0,65	1668,27	1,85	3,26
2022	10,57	0,53	1299,93	0,79	2,12
<b>Tesi (T)</b>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	**	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
<b>Anno (A)</b>	*	**	***	***	***
<b>T x A</b>	<i>n.s.</i>	*	**	<i>n.s.</i>	**

\*\*\*  $p < 0,001$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*  $p < 0,05$ ; *n.s.* non significativo. Separazione tra le medie entro colonna con il test di Duncan per  $p=0,05$

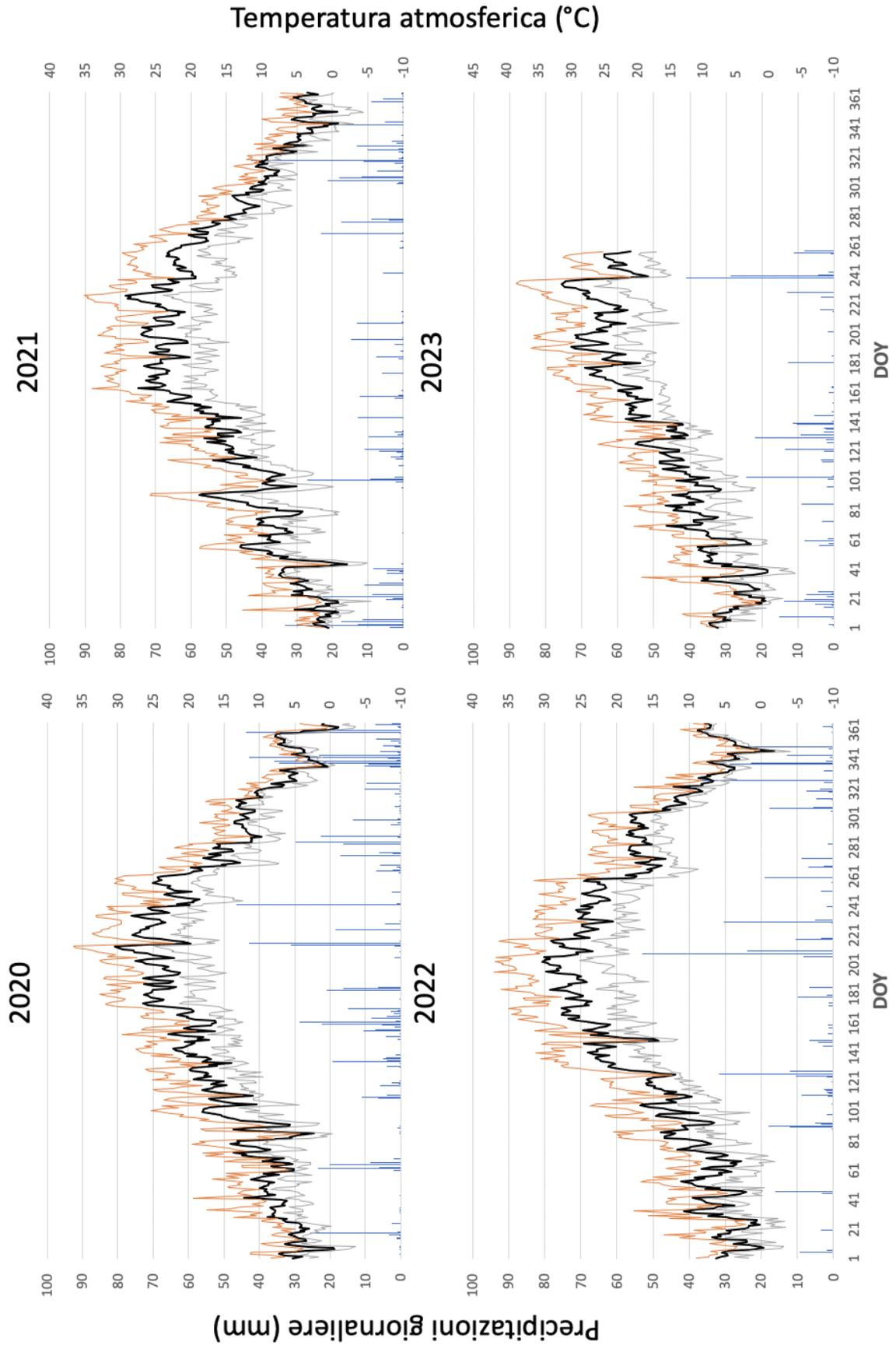
**Tabella 8** Coefficienti di Pearson calcolati tra i valori di piovosità registrata in 5 periodi di riferimento (ottobre - dicembre / gennaio - marzo / gennaio - terminazione / aprile - terminazione / ottobre - terminazione). La significatività dei valori riportati in grassetto è stata definita in funzione del calcolo dell'R<sup>2</sup>

<b>Piovosità</b>	<b>Miscuglio con composizione bilanciata (B)</b>			<b>Miscuglio con prevalenza di Graminacee (C)</b>		
	<b>Peso fresco (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso secco (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Sostanza secca (%)</b>	<b>Peso fresco (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso secco (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Sostanza secca (%)</b>
<i>Ottobre – Dicembre</i>	- 0,697	-0,749	-0,944	0,067	-0,420	-0,906
<i>Gennaio – Marzo</i>	-0,191	-0,265	-0,612	0,602	0,145	-0,526
<i>Gennaio – Terminazione</i>	<b>0,942</b>	0,914	0,692	0,878	<b>0,999</b>	0,763
<i>Aprile – Terminazione</i>	0,949	<b>0,970</b>	<b>0,989</b>	0,402	0,791	<b>0,999</b>
<i>Ottobre – Terminazione</i>	-0,407	-0,774	-0,774	0,407	-0,81	-0,703

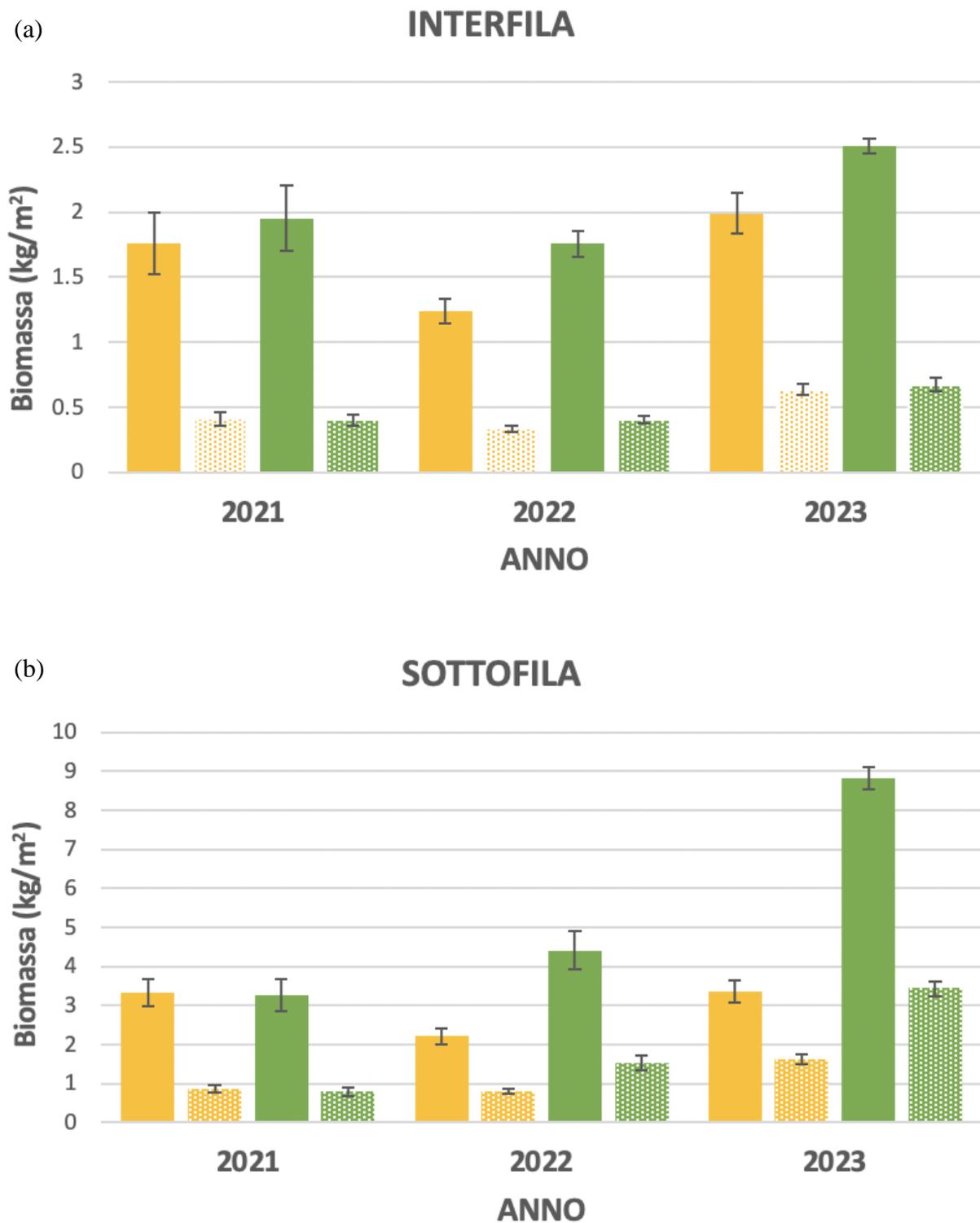
**Tabella 9** Valori periodici di piovosità presi in considerazione per la valutazione della correlazione con la produzione di biomassa prodotta dagli inerbimenti

<i>Periodo dell'anno</i>	<i>PIOVOSITÀ (mm)</i>		
	<i>2021</i>	<i>2022</i>	<i>2023</i>
<i>Ottobre – Dicembre</i>	426,8	224,2	183,8
<i>Gennaio – Marzo</i>	159	48	93,8
<i>Gennaio – Terminazione</i>	242,8	166,8	464,6
<i>Aprile – Terminazione</i>	83,8	118,8	170,8
<i>Ottobre – Terminazione</i>	669,6	391	448,4

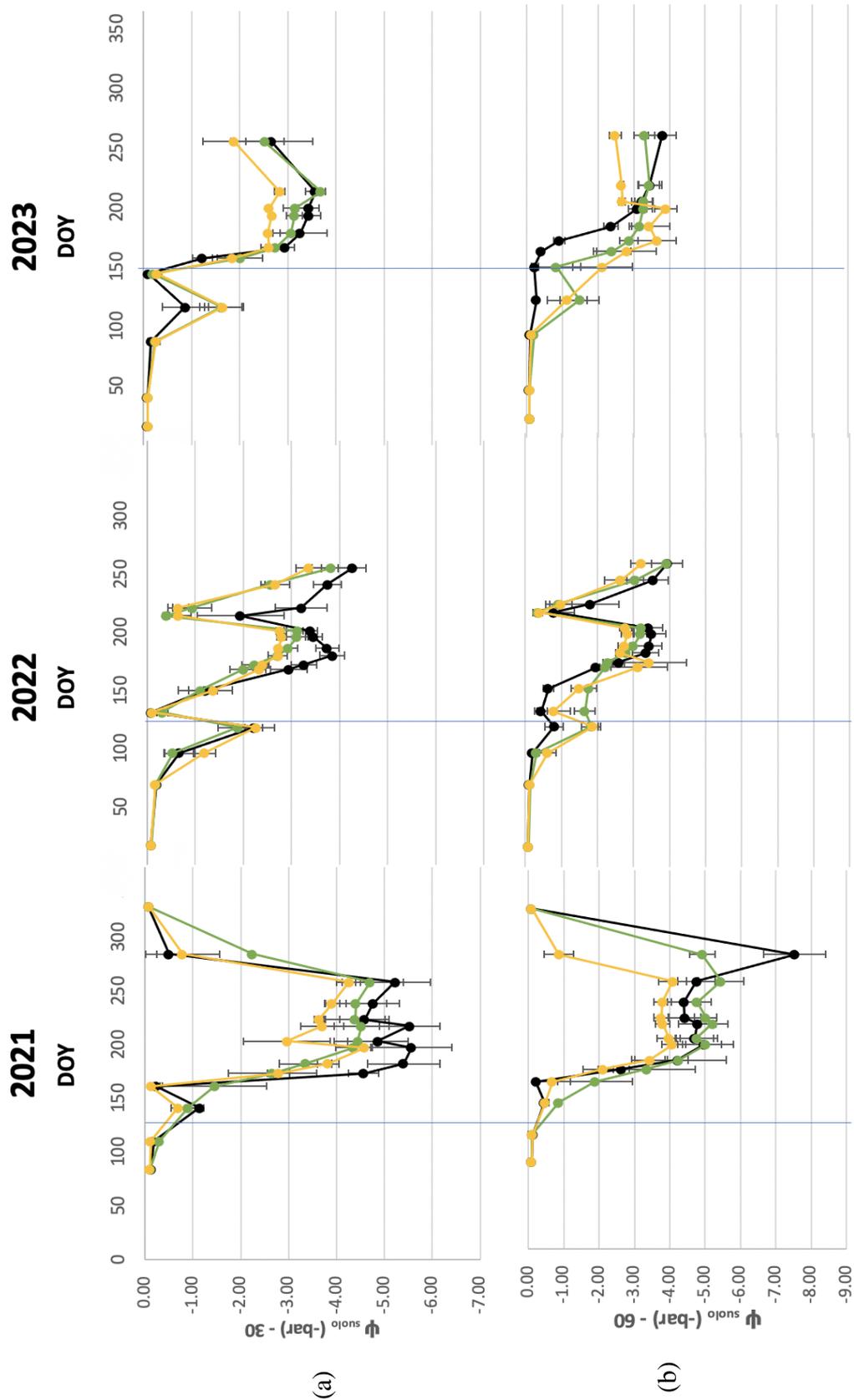
**Grafico 1** Andamento meteorologico per il periodo 2020-2023 interessato dallo svolgimento della prova. Sono riportate le temperature (°C) massime (in arancione), minime (in grigio) e medie giornaliere (in nero). Sull'asse verticale sulla sinistra sono riportate le precipitazioni giornaliere (mm).



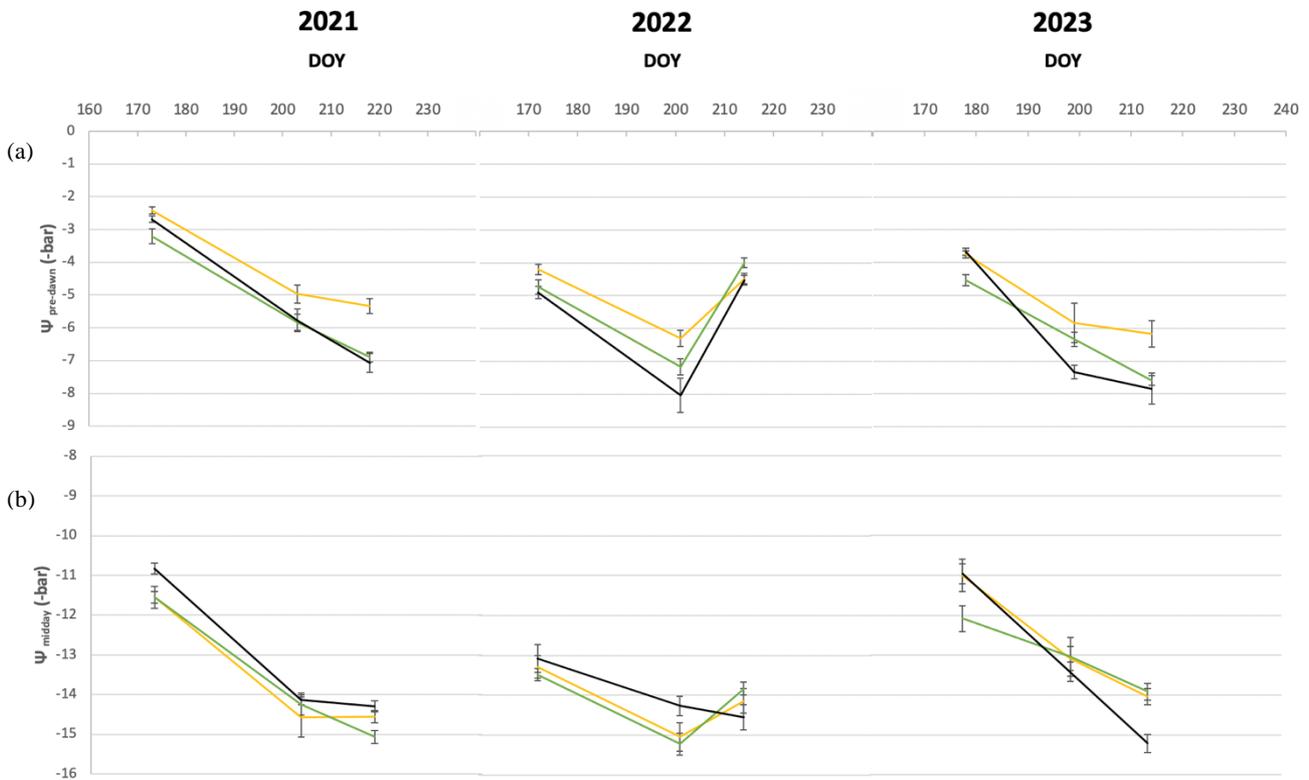
**Grafico 2** Quantificazione della biomassa prodotta dagli inerbimenti temporanei autunno-primaverili. In (a) i dati sono relativi all'interfila, in (b) invece al sottofila. In giallo sono riportati i dati relativi al miscuglio con prevalenza di Graminacee (C), in verde i dati relativi al miscuglio con composizione bilanciata (B). Le colonne a colore pieno si riferiscono alla quantificazione del peso fresco ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) mentre le colonne a motivo fanno riferimento al valore di sostanza secca ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ). Dati medi  $\pm$  E.s. ( $n=12$ ) riferiti al periodo 2021-2023



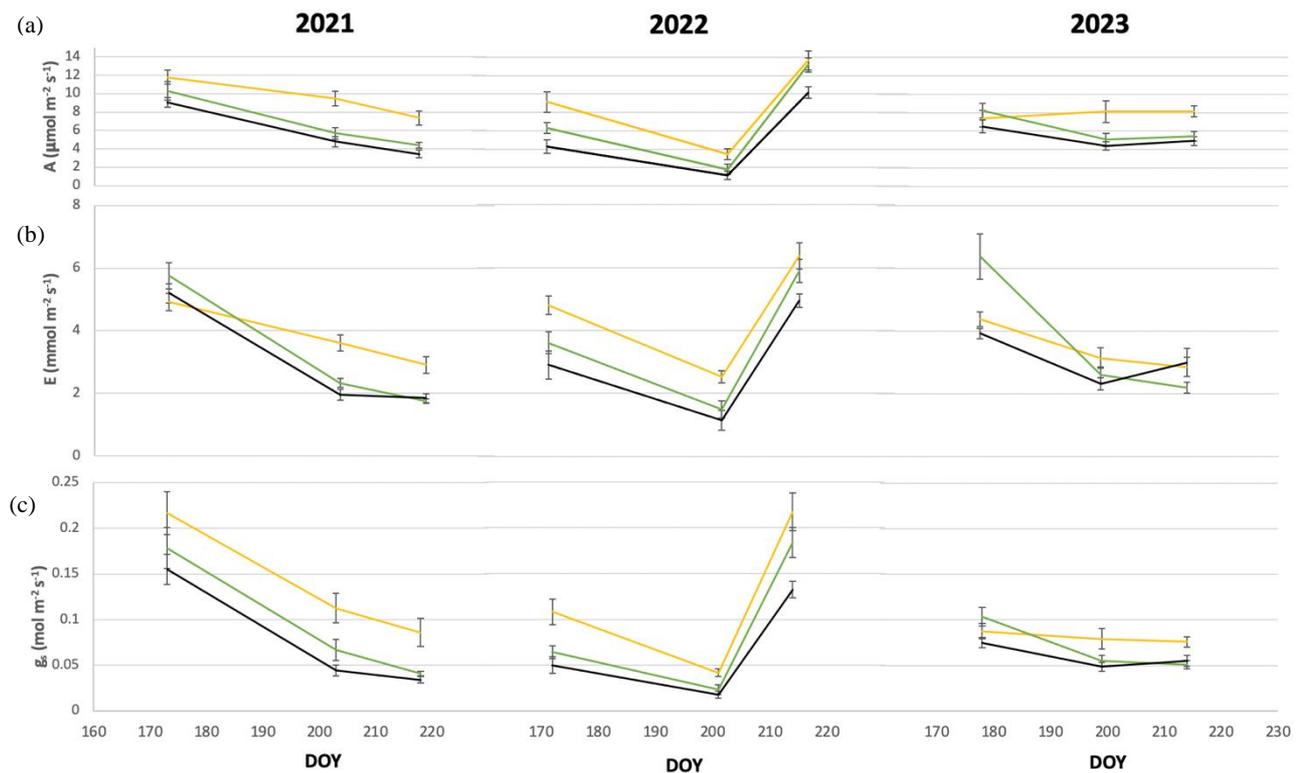
**Grafico 3** Variazione stagionale del potenziale idrico del suolo ( $\psi_{\text{suolo}}$ ) registrate nel sottofila dei trattamenti che hanno previsto la trincia-andanatura della biomassa dell'inerbimento temporaneo autunno primaverile con composizione bilanciata (BA, in verde), con prevalenza di Graminacee (CA, in giallo) e nel controllo aziendale (Az, in nero). In (a) sono riportati i dati relativi alla profondità di 30cm, in (b) i valori ottenuti alla profondità di 60 cm. Le linee azzurre indicano per ciascun anno la data in cui è stata eseguita la terminazione. Dati medi  $\pm$  E.s. (n=6) riferiti al periodo 2021-2023.



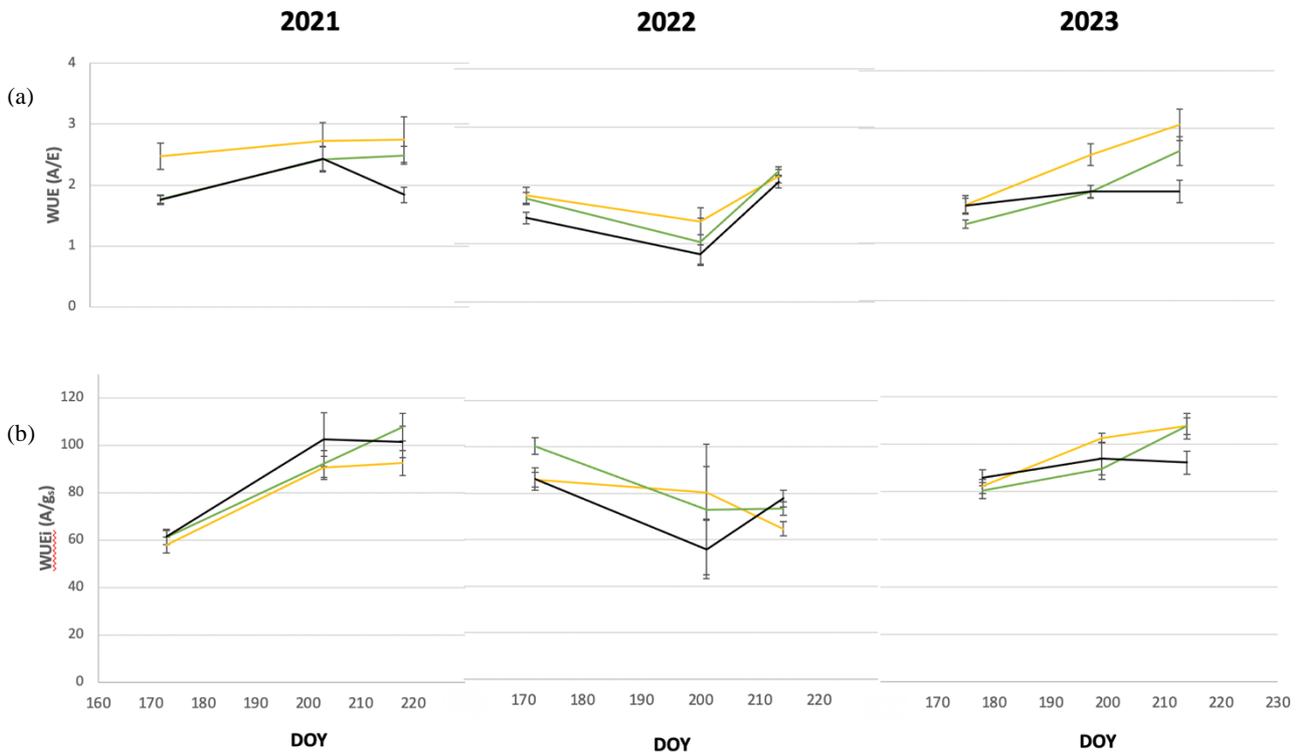
**Grafico 4** Variazione stagionale del potenziale idrico di rugiada ( $\psi_{pre-dawn}$ ) – in alto – e del potenziale idrico di mezzogiorno ( $\psi_{midday}$ ) – in basso - di viti (cv. Barbera) sottoposte a pacciamatura del sottofila mediante trincia-andanatura dell'inerbimento temporaneo autunno-primaverile caratterizzato da una predominanza di cereali (CA, in giallo) oppure più equilibrato (BA, in verde) rispetto al controllo aziendale (Az, in nero). Dati medi  $\pm$  E.s. (n=6;12 per potenziale idrico di rugiada e potenziale idrico di mezzogiorno rispettivamente) riferiti al periodo 2021-2023 (n=6).



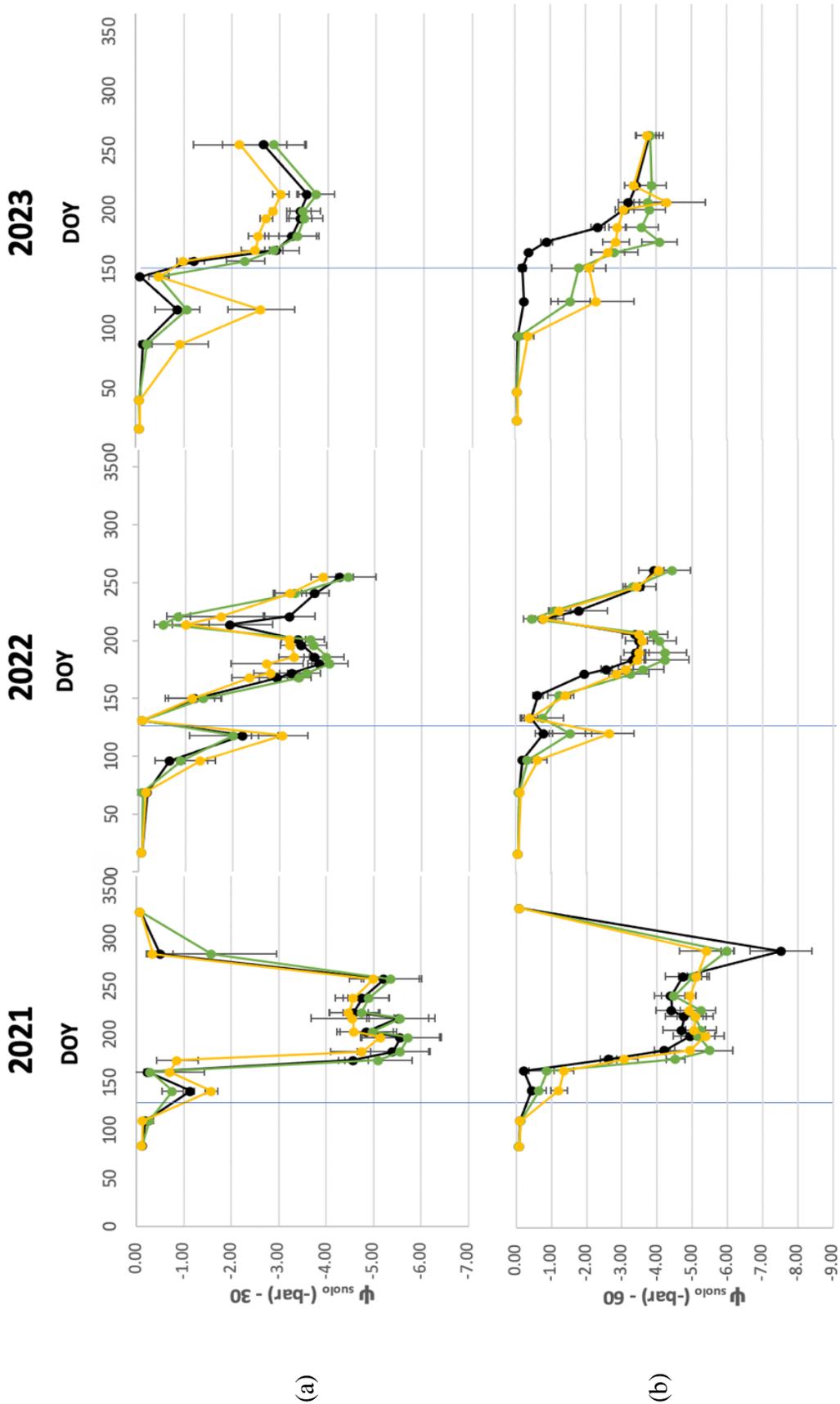
**Grafico 5** Variazione stagionale dell'assimilazione (A) – in alto - della traspirazione (E) – al centro – e della conduttanza stomatica ( $g_s$ ) – in basso - di viti (cv. Barbera) sottoposte a pacciamatura del sottofila mediante trincia-andanatura dell'inerbimento temporaneo autunno-primaverile caratterizzato da una predominanza di cereali (CA, in giallo) oppure più equilibrato (BA, in verde) rispetto al controllo aziendale (Az, in nero). Dati medi  $\pm$  E.s. (n=12) riferiti al periodo 2021-2023 (n=6).



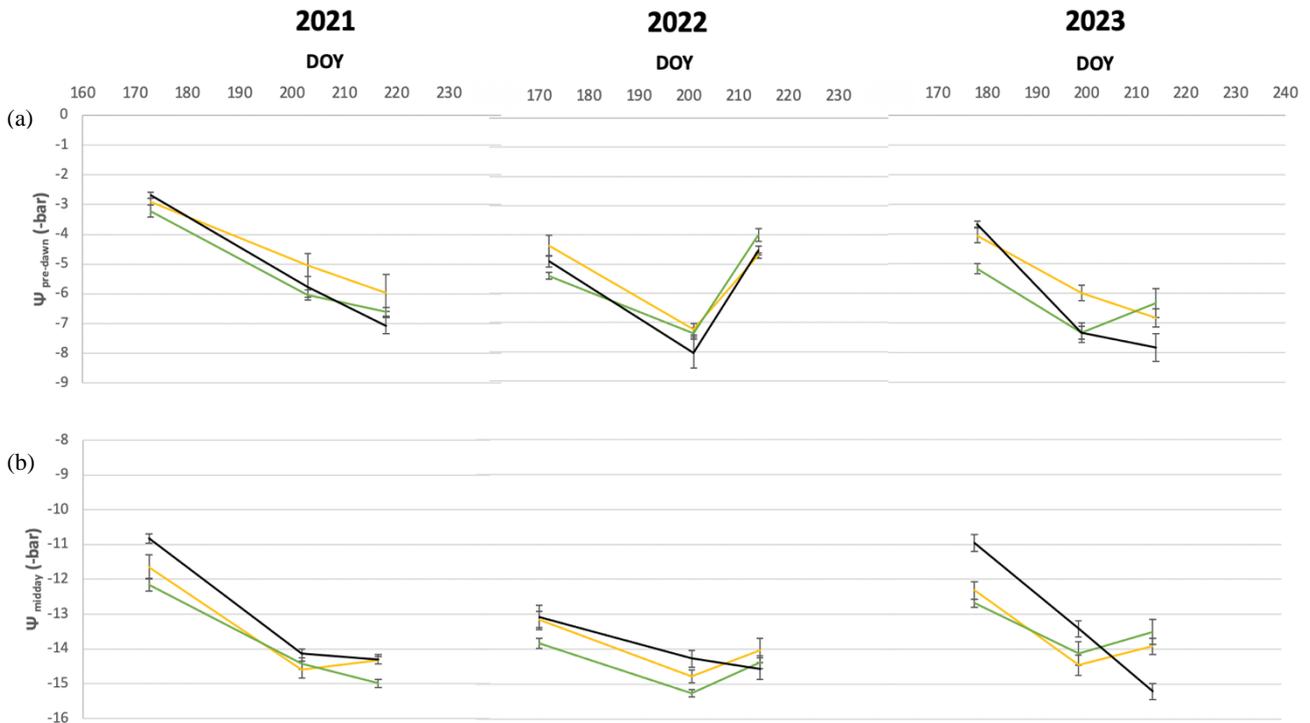
**Grafico 6** Variazione stagionale della WUE calcolata come instantaneous WUE ( $WUE=A/E$ ) – in alto – e come intrinsic WUE ( $WUE_i=A/g_s$ ) – in basso - di viti (cv.Barbera) sottoposte a pacciamatura del sottofila mediante trincia-andanatura dell'inerbimento temporaneo autunno-primaverile caratterizzato da una predominanza di cereali (CA, in giallo) oppure più equilibrato (BA, in verde) rispetto al controllo aziendale (Az, in nero). Dati medi  $\pm$  E.s. (n=12) riferiti al periodo 2021-2023 (n=6).



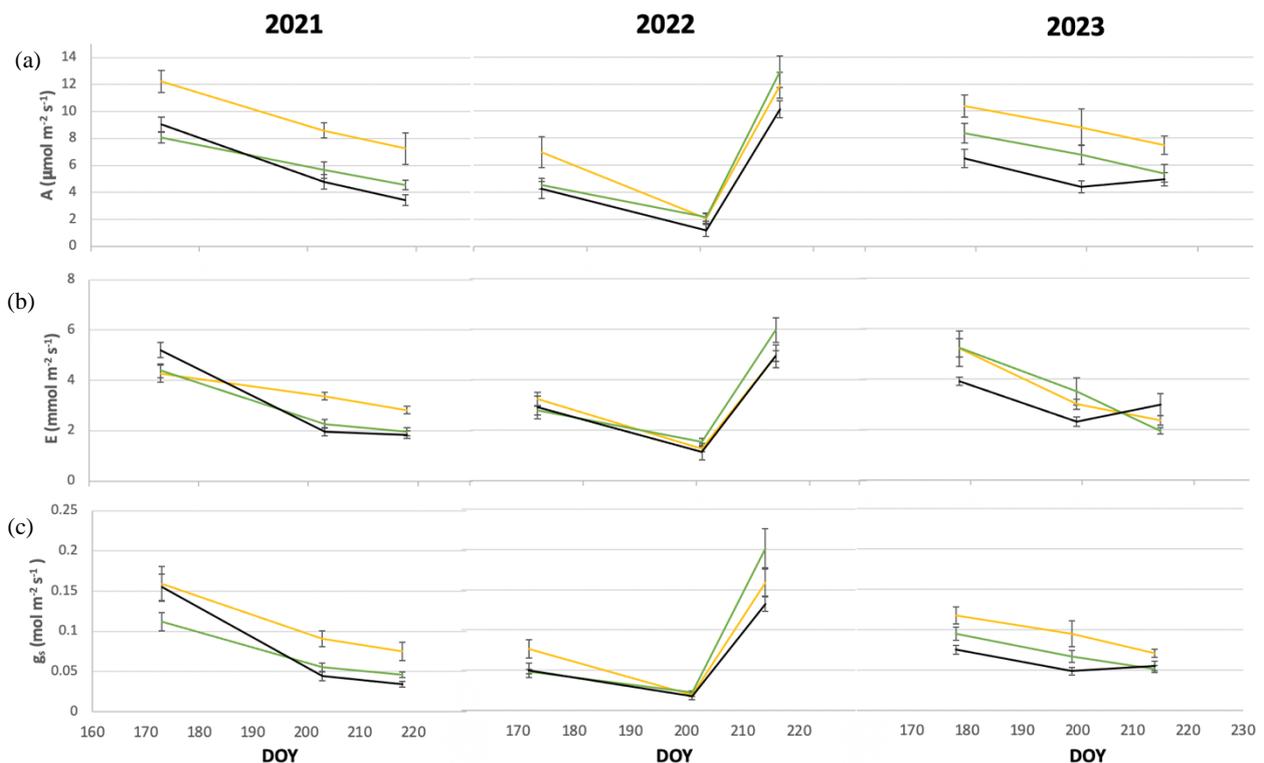
**Grafico 7** Variazione stagionale del potenziale idrico del suolo ( $\psi_{\text{suolo}}$ ) registrate nel sottofila dei trattamenti che hanno previsto la rullatura della biomassa dell'inerbimento temporaneo autunno primaverile con composizione bilanciata (BP, in verde), con prevalenza di Graminacee (CP, in giallo) e nel controllo aziendale (Az, in nero). In (a) sono riportati i dati relativi alla profondità di 30cm, in (b) i valori ottenuti alla profondità di 60 cm. Le linee azzurre indicano per ciascun anno la data in cui è stata eseguita la terminazione. Dati medi  $\pm$  E.s. (n=6) riferiti al periodo 2021-2023.



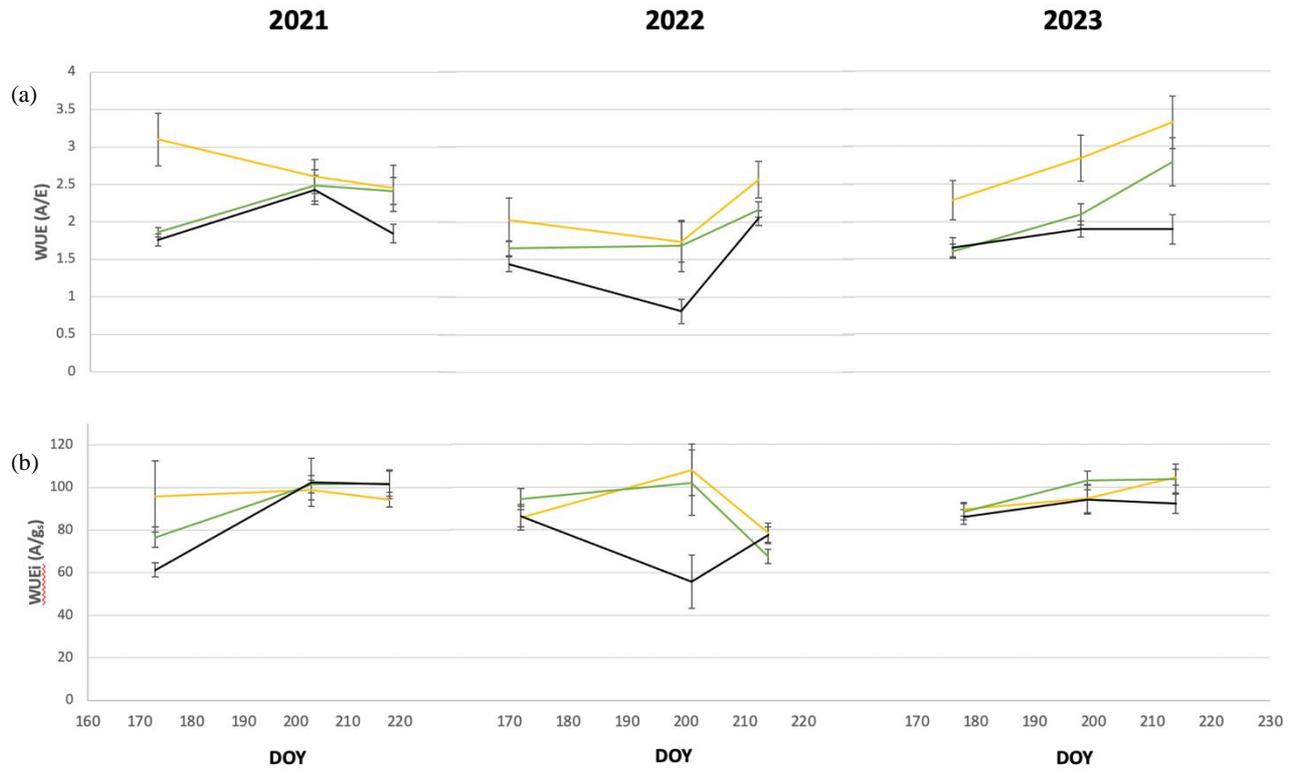
**Grafico 8** Variazione stagionale del potenziale idrico di rugiada ( $\psi_{pre-dawn}$ ) – in alto – e del potenziale idrico di mezzogiorno ( $\psi_{midday}$ ) – in basso - di viti (cv. Barbera) sottoposte a pacciamatura dell'interfila mediante rullatura dell'inerbimento temporaneo autunno-primaverile caratterizzato da una predominanza di cereali (CP, in giallo) oppure più equilibrato (BP, in verde) rispetto al controllo aziendale (Az, in nero). Dati medi  $\pm$  E.s. (n=6;12 per potenziale idrico di rugiada e potenziale idrico di mezzogiorno rispettivamente) riferiti al periodo 2021-2023 (n=6).



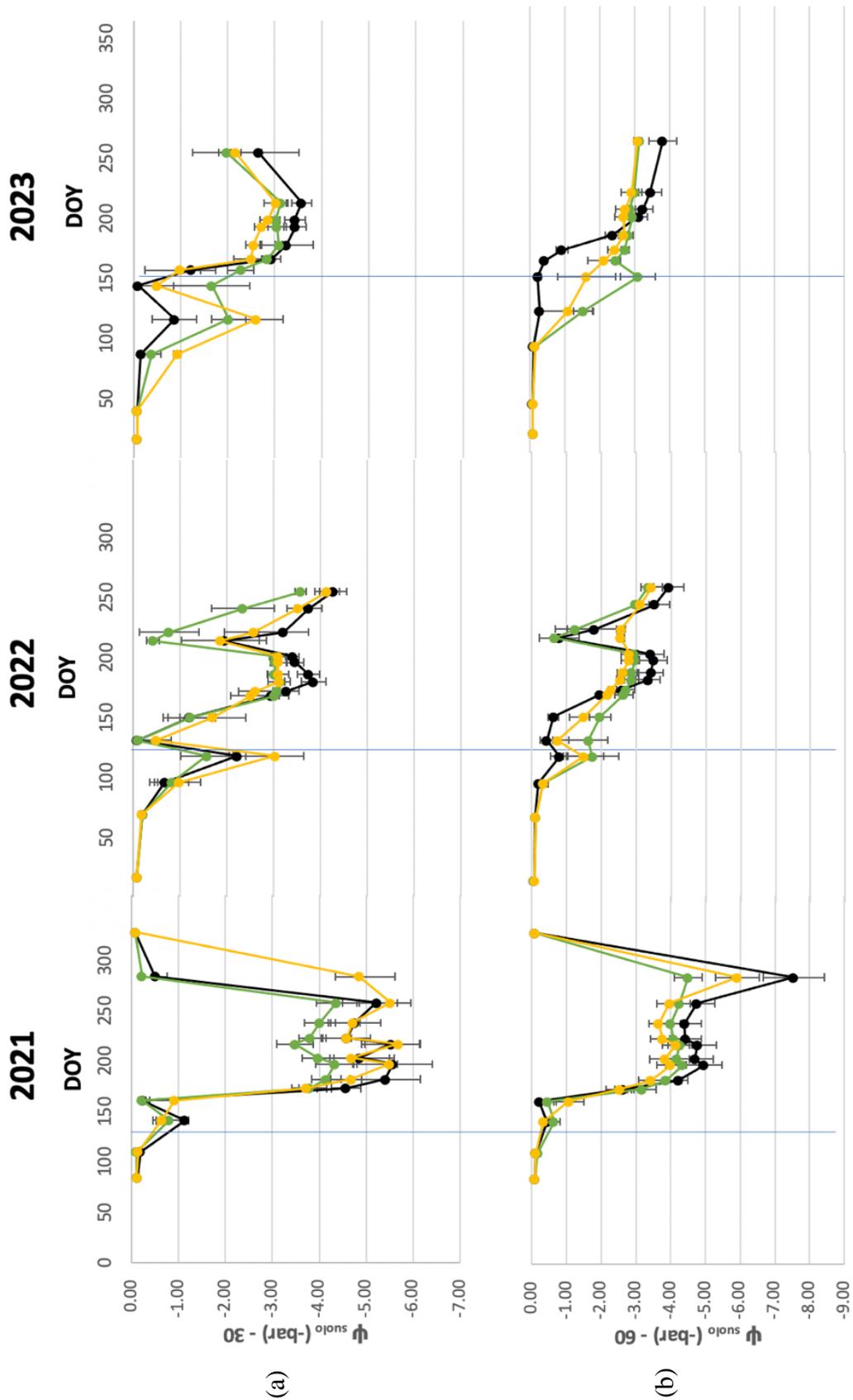
**Grafico 9** Variazione stagionale dell'assimilazione (A) – in alto - della traspirazione (E) – al centro – e della conduttanza stomatica ( $g_s$ ) – in basso - di viti (cv. Barbera) sottoposte a pacciamatura dell'interfila mediante rullatura dell'inerbimento temporaneo autunno-primaverile caratterizzato da una predominanza di cereali (CP, in giallo) oppure più equilibrato (BP, in verde) rispetto al controllo aziendale (Az, in nero). Dati medi  $\pm$  E.s. (n=12) riferiti al periodo 2021-2023 (n=6).



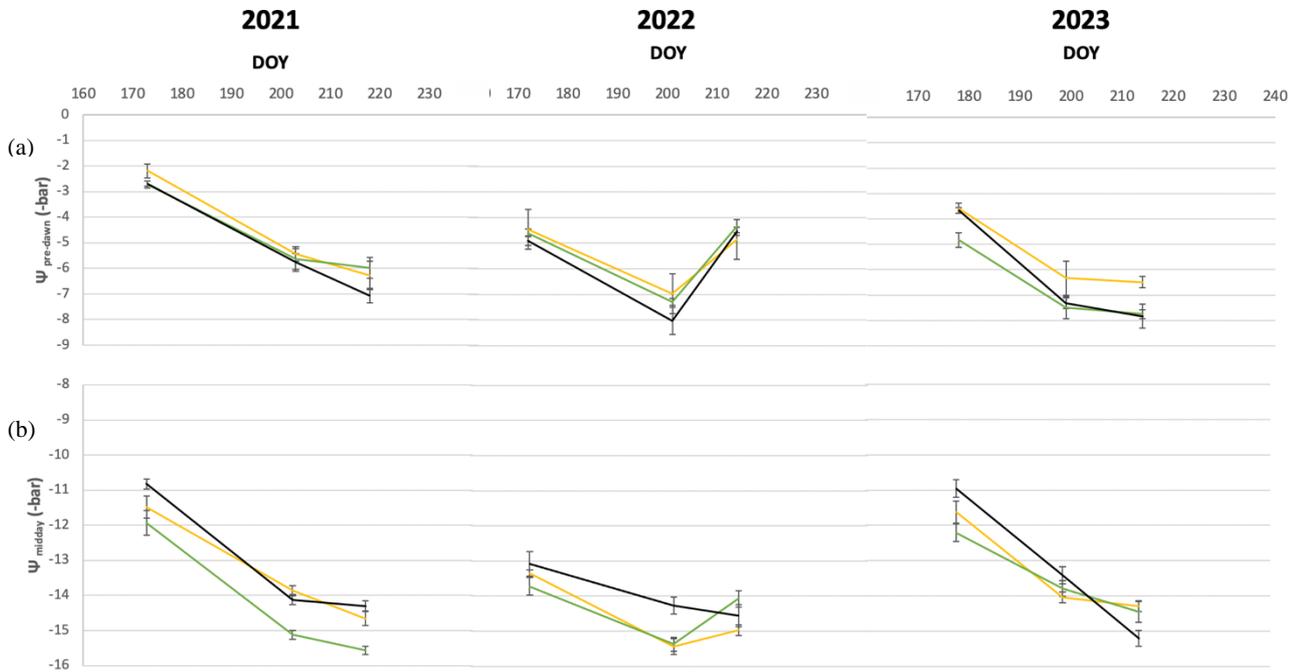
**Grafico 10** Variazione stagionale della WUE calcolata come instantaneous WUE ( $WUE=A/E$ ) – in alto – e come intrinsic WUE ( $WUE_i=A/g_s$ ) – in basso - di viti (cv. Barbera) sottoposte a pacciamatura dell'interfila mediante pacciamatura dell'inerbimento temporaneo autunno-primaverile caratterizzato da una predominanza di cereali (CP, in giallo) oppure più equilibrato (BP, in verde) rispetto al controllo aziendale (Az, in nero). Dati medi  $\pm$  E.s. (n=12) riferiti al periodo 2021-2023 (n=6).



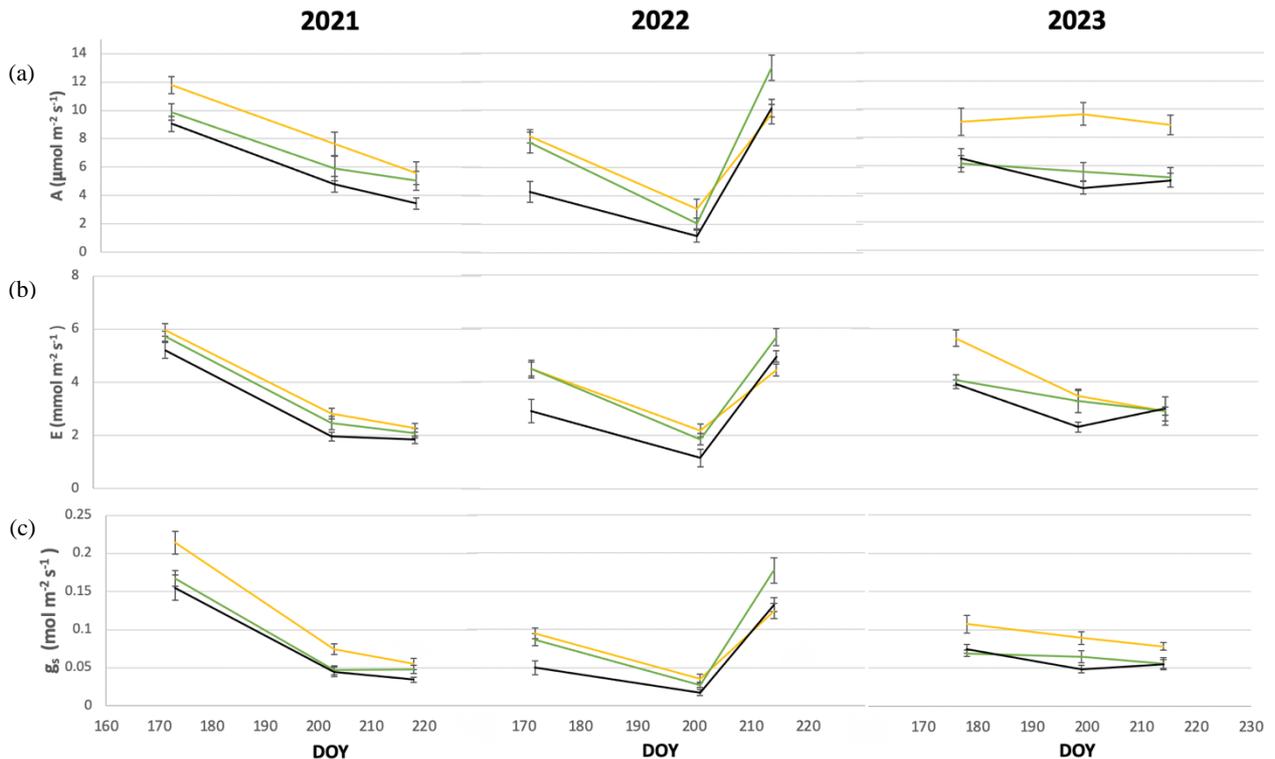
**Grafico 11** Variazione stagionale del potenziale idrico del suolo ( $\psi_{\text{suolo}}$ ) registrate nel sottofila dei trattamenti che hanno previsto il sovescio della biomassa dell'inerbimento temporaneo autunno primaverile con composizione bilanciata (BS, in verde), con prevalenza di Graminacee (CS, in giallo) e nel controllo aziendale (Az, in nero). In (a) sono riportati i dati relativi alla profondità di 30cm, in (b) i valori ottenuti alla profondità di 60 cm. Le linee azzurre indicano per ciascun anno la data in cui è stata eseguita la terminazione. Dati medi  $\pm$  E.s. (n=6) riferiti al periodo 2021-2023



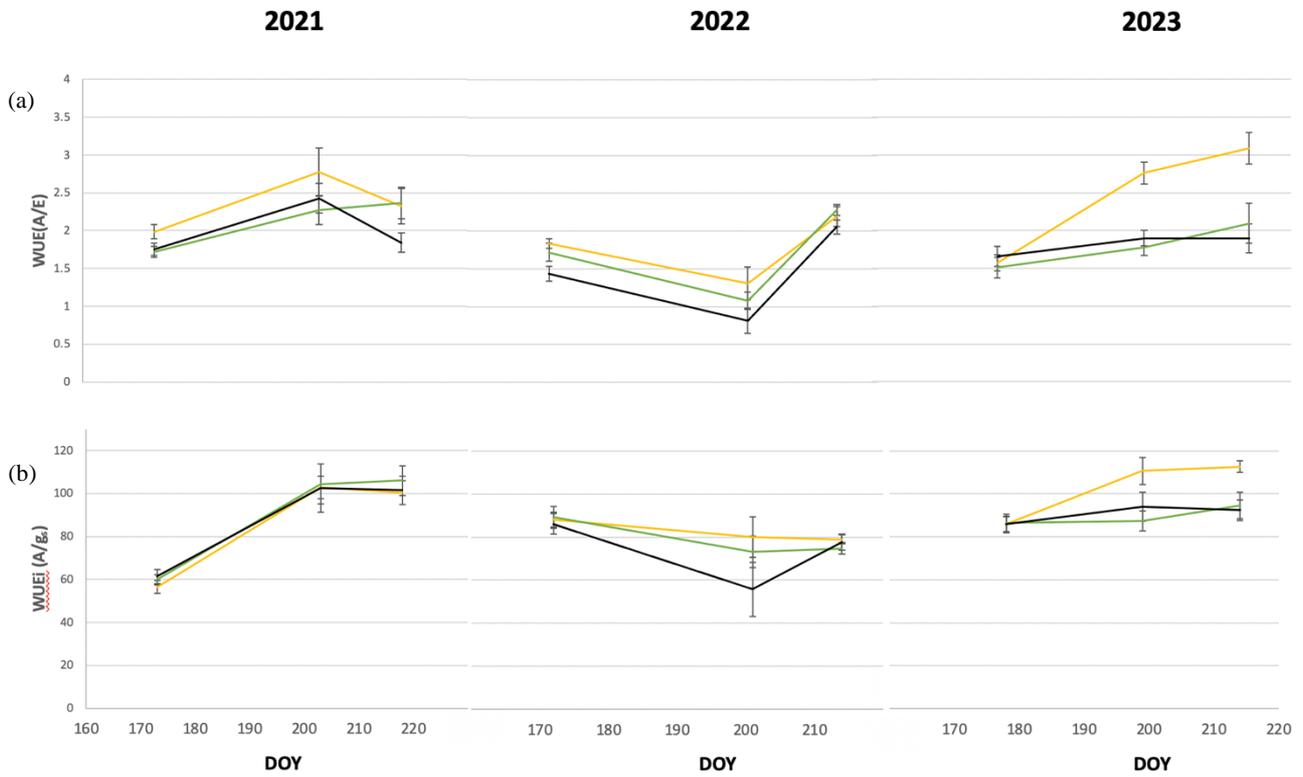
**Grafico 12** Variazione stagionale del potenziale idrico di rugiada ( $\psi_{pre-dawn}$ ) – in alto – e del potenziale idrico di mezzogiorno ( $\psi_{midday}$ ) – in basso - di viti (cv. Barbera) sottoposte a sovescio della biomassa dell'inerbimento temporaneo autunno-primaverile caratterizzato da una predominanza di cereali (CP, in giallo) oppure più equilibrato (BP, in verde) rispetto al controllo aziendale (Az, in nero). Dati medi  $\pm$  E.s. (n=6;12 per potenziale idrico di rugiada e potenziale idrico di mezzogiorno rispettivamente) riferiti al periodo 2021-2023 (n=6).



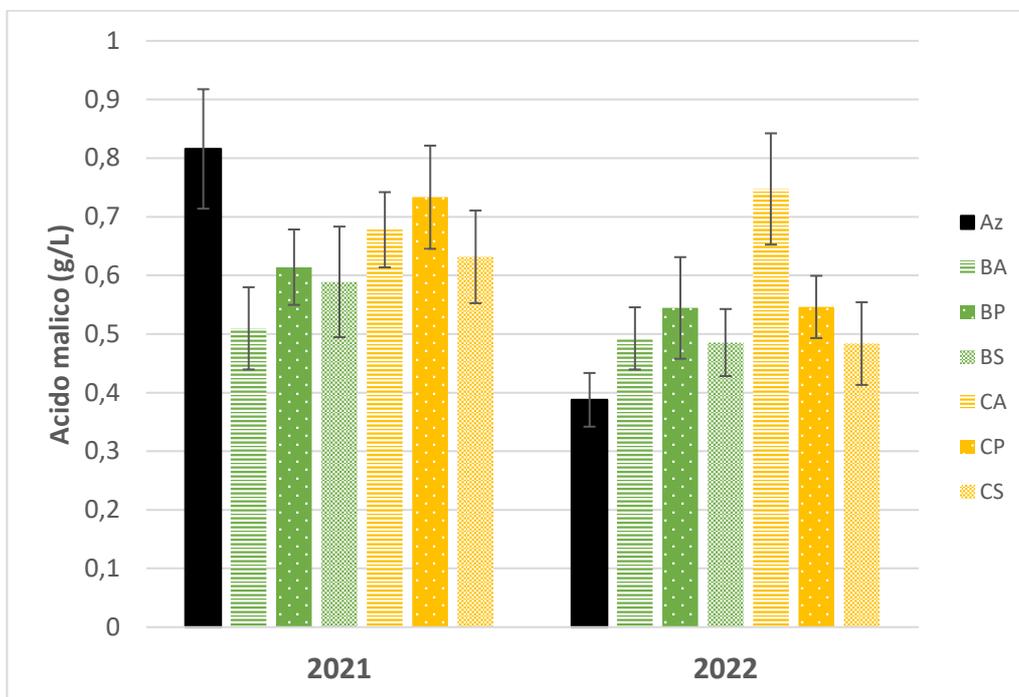
**Grafico 13** Variazione stagionale dell'assimilazione (A) – in alto - della traspirazione (E) – al centro – e della conduttanza stomatica ( $g_s$ ) – in basso - di viti (cv. Barbera) sottoposte a sovescio della biomassa dell'inerbimento temporaneo autunno-primaverile caratterizzato da una predominanza di cereali (CS, in giallo) oppure più equilibrato (BS, in verde) rispetto al controllo aziendale (Az, in nero). Dati medi  $\pm$  E.s. (n=12) riferiti al periodo 2021-2023 (n=6)



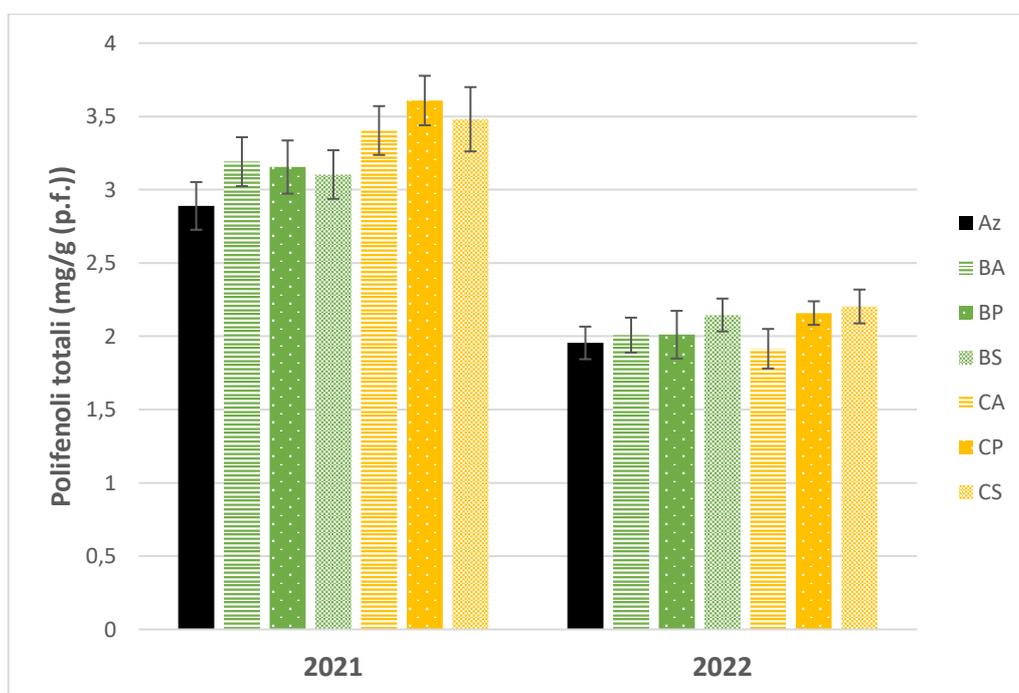
**Grafico 14** Variazione stagionale della WUE calcolata come instantaneous WUE ( $WUE=A/E$ ) – in alto – e come intrinsic WUE ( $WUE_i=A/g_s$ ) – in basso - di viti (cv. Barbera) sottoposte a sovescio della biomassa dell'inerbimento temporaneo autunno-primaverile caratterizzato da una predominanza di cereali (CP, in giallo) oppure più equilibrato (BP, in verde) rispetto al controllo aziendale (Az, in nero). Dati medi  $\pm$  E.s. (n=12) riferiti al periodo 2021-2023 (n=6).



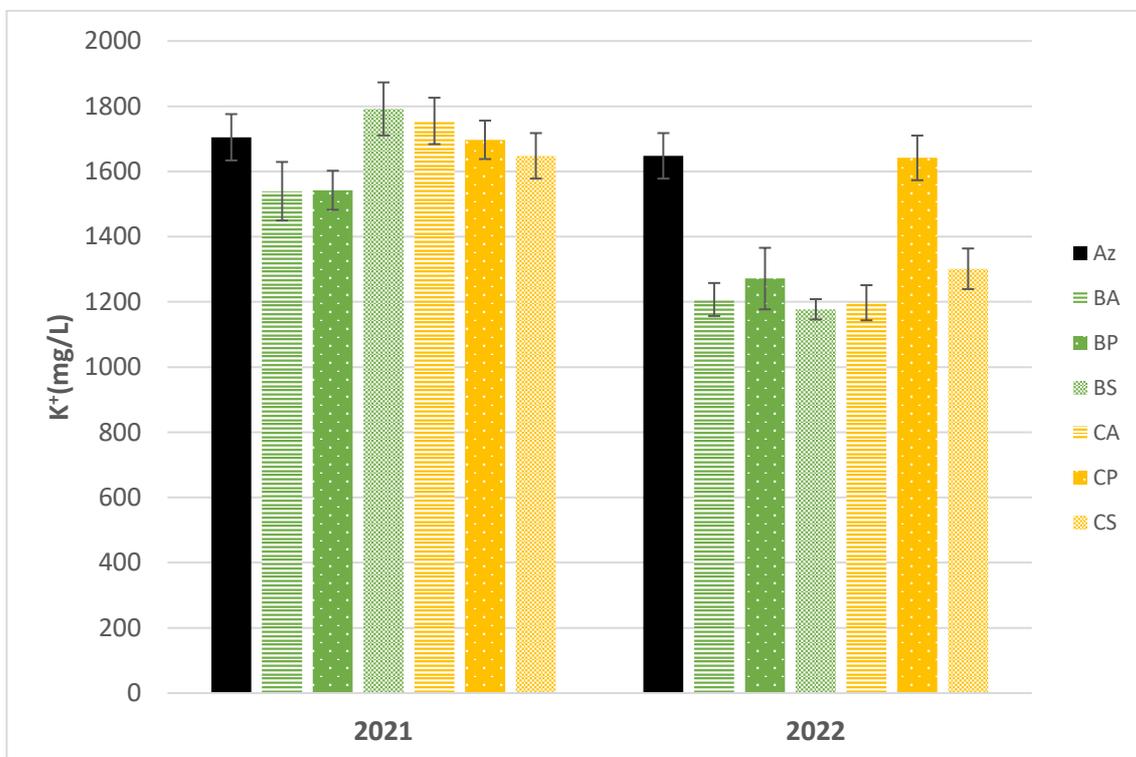
**Grafico 15** Variazioni annuali della concentrazione di acido malico (g/L) misurate nei mosti ottenuti da uve vendemmiate da viti sottoposte a diverse modalità di gestione del suolo (Az= controllo aziendale, BA= trincia-andanatura del miscuglio bilanciato B, BP= rullatura del miscuglio bilanciato, BS= sovescio del miscuglio bilanciato B, CA= trincia-andanatura del miscuglio con prevalenza di Graminacee C, CP= rullatura del miscuglio con prevalenza di Graminacee C e CS=sovescio del miscuglio con prevalenza di Graminacee C. Dati medi  $\pm$  E.s. (n=10) riferiti al periodo 2021-2022



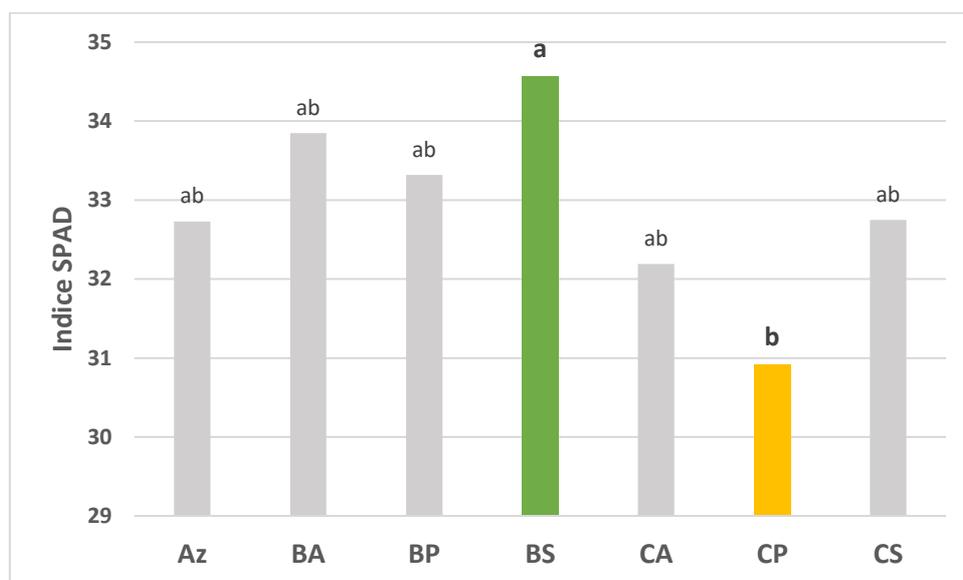
**Grafico 16** Variazioni annuali della concentrazione di polifenoli (mg/g (p.f.)) misurate nei mosti ottenuti da uve vendemmiate da viti sottoposte a diverse modalità di gestione del suolo (Az= controllo aziendale, BA= trincia-andanatura del miscuglio bilanciato B, BP= rullatura del miscuglio bilanciato, BS= sovescio del miscuglio bilanciato B, CA= trincia-andanatura del miscuglio con prevalenza di Graminacee C, CP= rullatura del miscuglio con prevalenza di Graminacee C e CS=sovescio del miscuglio con prevalenza di Graminacee C. Dati medi  $\pm$  E.s. (n=10) riferiti al periodo 2021-2022



**Grafico 17** Variazioni annuali della concentrazione di  $K^+$  misurate nei mosti ottenuti da uve vendemmiate da viti sottoposte a diverse modalità di gestione del suolo (Az= controllo aziendale, BA= trincia-andanatura del miscuglio bilanciato B, BP= rullatura del miscuglio bilanciato, BS= sovescio del miscuglio bilanciato B, CA= trincia-andanatura del miscuglio con prevalenza di Graminacee C, CP= rullatura del miscuglio con prevalenza di Graminacee C e CS=sovescio del miscuglio con prevalenza di Graminacee C. Dati medi  $\pm$  E.s. (n=10) riferiti al periodo 2021-2022

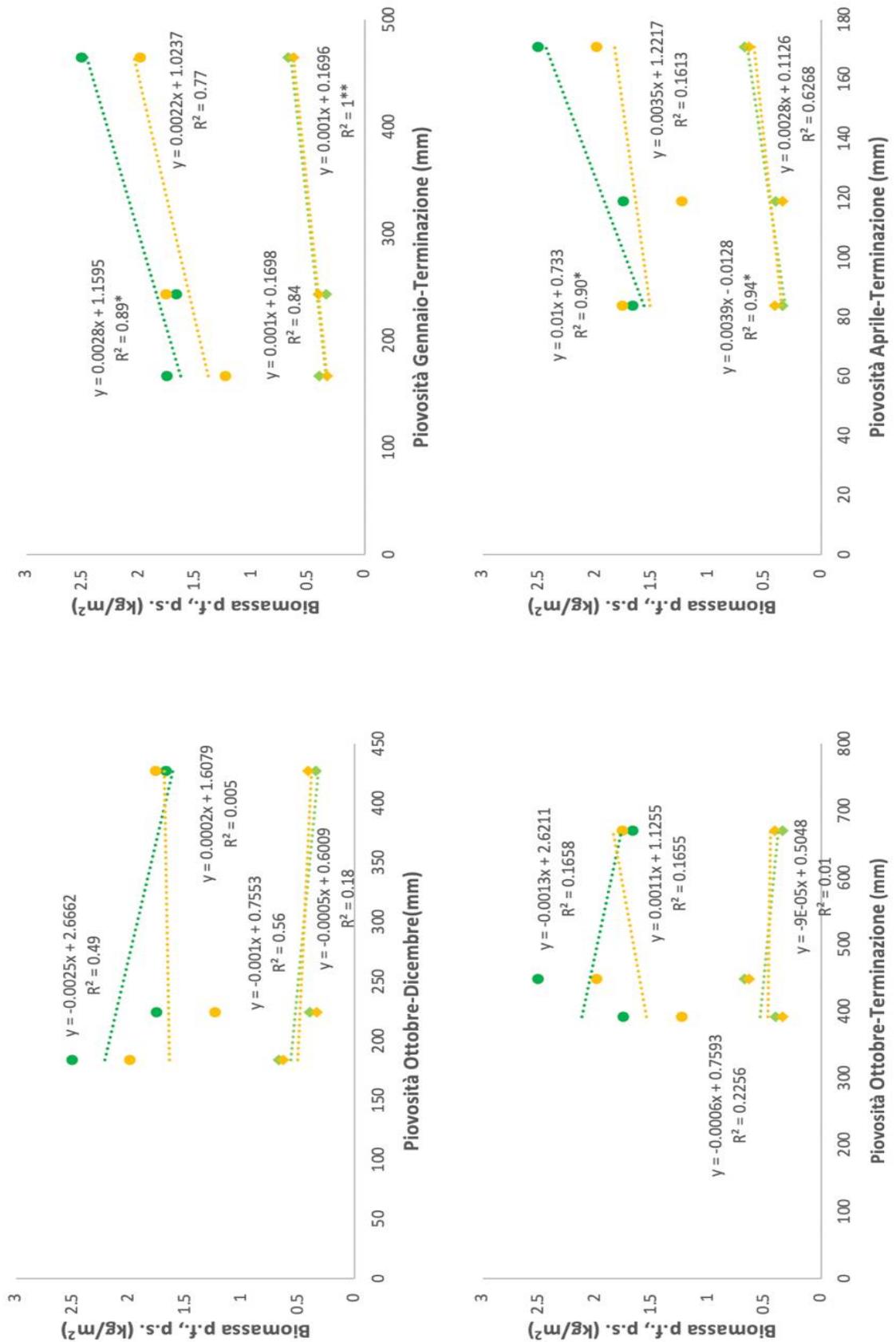


**Grafico 18** Indice SPAD misurato al terzo anno di sperimentazione su viti di Barbera sottoposte a tre terminazioni differenti degli inerbimenti utilizzati. Le tesi indicate con la lettera B stanno ad indicare i trattamenti che hanno previsto l'impiego del miscuglio con composizione bilanciata, quelle con la lettera C corrispondono alle tesi che hanno previsto l'impiego del miscuglio con prevalenza di Graminacee mentre Az indica il testimone aziendale.

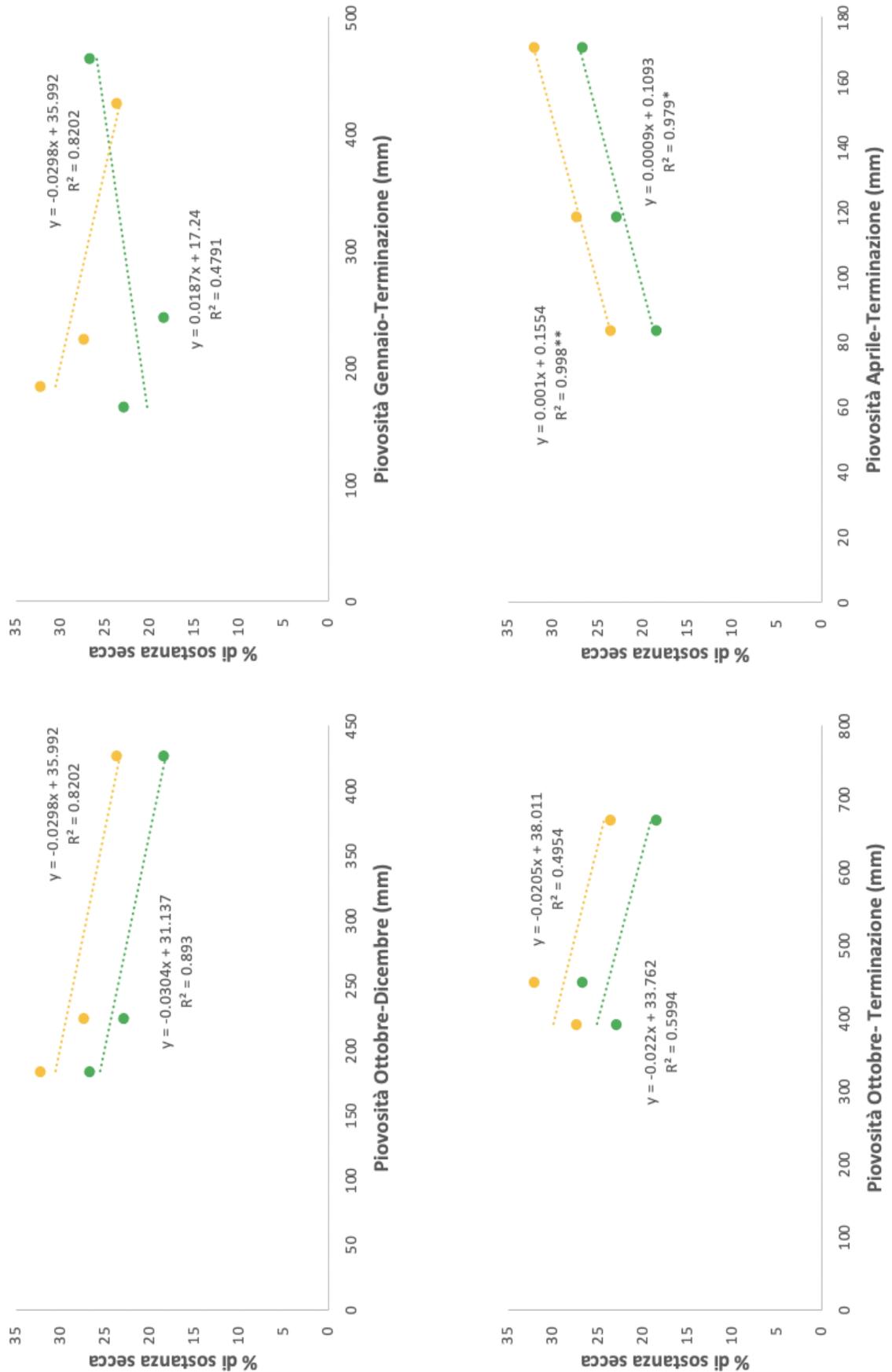


\*\*\*  $p < 0,001$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*  $p < 0,05$ ; n.s. non significativo. Separazione tra le medie con il test di Duncan per  $p=0,05$

**Grafico 19** Correlazioni esistenti tra la piovosità (mm) di quattro periodi differenti dell'anno con la produzione di biomassa espressa in termini di peso fresco (indicatori circolari) e di sostanza secca (indicatori romboidali). In giallo sono riportati i dati relativi all'inerbimento con prevalenza di Graminacee (C) e in verde i dati relativi al miscuglio con composizione più bilanciata (B).



**Grafico 20** Correlazioni individuate tra la piovosità di quattro periodi differenti dell'anno con la % di sostanza secca prodotta da ciascun inerbimento. In giallo sono riportati i dati relativi all'inerbimento con prevalenza di Graminacee (C) e in verde i dati relativi al miscuglio con composizione più bilanciata (B).



**Foto 1** Copertura del suolo inerbito (9 febbraio 2023). La foto di sinistra si riferisce al miscuglio con composizione bilanciata (B) mentre quella sulla destra al miscuglio con prevalenza di Graminacee



**Foto 2** Copertura del suolo inerbito (8 marzo 2023). La foto sulla sinistra si riferisce al miscuglio con composizione bilanciata (B) mentre quella sulla destra al miscuglio con prevalenza di Graminacee (C)



**Foto 3** Dettaglio inerbimento con composizione bilanciata (B) (28 marzo 2023)



**Foto 4** Dettaglio inerbimento con prevalenza di Graminacee (28 marzo 2023)



*Foto 5 Testimone aziendale (26 aprile 2023)*



*Foto 6 Sviluppo degli inerbimenti (26 aprile 2023). La foto sulla sinistra fa riferimento al miscuglio con composizione bilanciata (B) mentre la foto sulla destra si riferisce al miscuglio con prevalenza di Graminacee (C)*



**Foto 7** Macchine utilizzate per l'esecuzione delle terminazioni. A sinistra rullo (Eco-roll, Clemens) per l'esecuzione della pacciamatura mediante rullatura della biomassa degli inerbimenti (P), al centro trincia-andanatrice (Spit-green, Falc) per l'esecuzione della pacciamatura del sottofila con biomassa trinciata (A) e a destra vangatrice per la lavorazione del terreno nel controllo (Az) e per l'interramento della biomassa nel caso delle terminazioni che hanno previsto il sovescio della biomassa prodotta dagli inerbimenti (S)



**Foto 8** Particolare della biomassa del miscuglio con composizione bilanciata (B) al momento dello sfalcio per quantificazione della biomassa prodotta (2022)



**Foto 9** Particolare della biomassa del miscuglio con prevalenza di Graminacee (C) al momento dello sfalcio per quantificazione della biomassa prodotta (2022)



**Foto 10** Andatura della biomassa nel sottofila. La foto di sinistra si riferisce al miscuglio B mentre la foto di destra fa riferimento al miscuglio C (2023).



**Foto 11** Pacciamatura dell'interfilare ottenuta mediante rullatura della biomassa del miscuglio B (foto di sinistra) e del miscuglio C (foto di destra)



**Foto 12** Interramento della biomassa prodotta dagli inerbimenti nei trattamenti S che hanno previsto il sovescio



**Foto 13** Luglio 2023: nella foto di sinistra viene mostrata lo stato in cui si trovava la pacciamatura interfila ottenuta mediante rullatura della biomassa del miscuglio C (CP) mentre la foto di destra fa riferimento allo stato della pacciamatura del sottofila ottenuta mediante andanatura della biomassa trinciata dello stesso miscuglio (CA).



**Foto 14** Settembre 2023: le foto descrivono lo stato in cui si trova la tesi che ha previsto l'andanatura nel sottofila della biomassa trinciata del miscuglio C.



## 8. BIBLIOGRAFIA

1. A. Bock, T. H. Sparks, N. Estrella e A. Menzel, 2013. Climate-Induced Changes in Grapevine Yield and Must Sugar Content in Franconia (Germany) between 1805 and 2010. Plos One, Vol.18, issue 7, pp.1-10.
2. A. Coniberti, V. Ferrari, E. Disegna, M. García Petillo, A. N. Lakso. Complete vineyard floor cover crop to reduce grapevine susceptibility to bunch rot, 2018. European Journal of Agronomy 99 (2018) 167–176.
3. A. Deloire, A. Carbonneau, Z. Wang and H. Ojeda. Wine and water. A short review, 2004. J. Int. Sci. Vigne Vin, 2004, 38, n°1, 1-13.
4. A. E. Klodd, D. M. Eissenstat., T. K. Wolf e M. Centinari, 2016. Coping with cover crop competition in mature grapevines. Plant soil (2016), 400: 391-402.
5. A. E. Patrick, R. Smith, K. Keck, A. M. Berry. Grapevine Uptake of <sup>15</sup>N-Labeled Nitrogen Derived from a Winter-Annual Leguminous Cover-Crop Mix, 2004. Am J Enol Vitic. 2004 55: 187-190
6. A. Jordán, L. M. Zavala, J. Gil. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain, 2010. Catena 81 (2010) pp. 77–85.
7. A. Mervat Ali, Samir G. Farag, Mika Sillanpää, Saleh Al-Farraj e Mohamed E. A. El-Sayed, 2023. Efficiency of Using Superabsorbent Polymers in Reducing Mineral Fertilizer Rates Applied in Autumn Royal Vineyards. Horticulturae 2023, 9, 451.
8. A. Palliotti, F. Panara, F. Famiani, P. Sabbatini, G. Stanley Howell, O. Silvestroni e S. Poni, 2013. Postveraison Application of Antitranspirant Di-1-p-Menthene to Control Sugar Accumulation in Sangiovese Grapevines. American Journal of Enology and Viticulture, 64: 3, pp. 378-385
9. A. Palliotti, F. Panara, O. Silvestroni, V. Lanari, P. Sabbatini, G. Stanley Howell, M. Gatti e S. Poni, 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, Vol.19, issue 3 pp. 369-377
10. A. Palliotti, S. Poni, O. Silvestroni, 2019. Avversità non parassitarie della vite e cambiamento climatico. Cap.3. Edagricole.
11. A. Palliotti, S. Poni e O. Silvestroni, 2020. Manuale di viticoltura, Edagricole – pp. 211
12. A. Pou, J. Giulías, M. Moreno, M. Tomás, H. Medrano e J. Cifre, 2011. Cover cropping in *Vitis vinifera* L. cv. Manto Negro vineyards under Mediterranean conditions: effects on plant vigour, yield and grape quality. J. Int. Sci. Vigne Vin, 2011, 45, n°4, pp.223-234

13. A.A.A. Montenegro, J.R.C.B. Abrantes, J.L.M.P. de Lima, V.P. Singh, T.E.M. Santos. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall, 2013. *Catena* 109 (2013) pp. 139–149.
14. Ainsworth EA e Rogers A., 2007. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO<sub>2</sub>]: mechanisms and environmental interactions. *Plant Cell Environ* 3, pp. 258-270
15. B. Guerra e K. Steenwerth, 2012. Influence of floor management technique on grapevine growth, disease pressure and juice and wine composition: a review. *Am. J. Enol. Vitic.* 63:2 (2012), pp.149 - 164.
16. B. Monteleone, I. Borzì, M. Arosio, L. Cesarini, B. Bonaccorso, M. Martina. Modelling the response of wheat yield to stage-specific water stress in the Po Plain, 2023. *Agricultural Water Management* 287 (2023) 108444
17. Bowes, 1993. Facing the inevitable – plants and increasing atmospheric CO<sub>2</sub>. *Annual Review of Plant Biology* 44 pp. 309-332
18. C. Capri, M. Gatti, P. Guadagna, F. Del Zozzo, E. Magnanini, S. Poni. A low-cost portable chamber based on Arduino micro-controller for measuring cover crops water use, 2021. *Computer and Electronics in Agriculture*, vol.190 – 2021.
19. C. Capri, M.Gatti, A.Fiorini, F. Ardeni, V. Tabaglio and S. Poni. A comparative study of fifteen cover crop species for orchard soil management: water uptake, root density traits and soil aggregate stability, 2023. *Scientific Reports* (2023) 13:721.
20. C. Hudek, C. Putinica, W.Otten and S. De Baets. Functional root trait-based classification of cover crops to improve soil physical properties, 2021. *Eur J Soil Sci.*2022;73:e13147.
21. C. Scotti, M. Zamboni, S. Civardi, F. Bernizzoni, C. Marangoni e C. Gazzola, 2017. Alla scoperta delle Terre e dei tesori piacentini. *Viaggio tra i sapori e i colori del territorio* – pp. 29-33
22. C. van Leeuwen e P.Darriet, 2016. The impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality. *Journal of Wine Economics*. Vol.11, num.1 (2016), pp. 150-167
23. C. van Leeuwen, H.R. Schultz, I. García de Cortázar – Atauri, E. Duchene, N. Ollat, P. Pieri, B. Bois, J.P. Goutouly, H. Quérol. J.M. Touzard, A. C. Malheiro, L.Bavaresco e S. Delrot, 2013. Why climate change will not dramatically decrease viticultural suitability in main wine-producing areas by 2050. *PNAS*, 2013, vol.110, no.33, E3051-E3052.
24. D. Bianchi, L.Caramanico, D. Grossi, L.Brancadoro e G. De Lorenzis, 2020. How do novel M-rootstock (*Vitis* spp.) genotypes cope with drought? *Plants* 9 - 10, Art. 1385 – 2020.

25. D. Ma, L. Yin, W. Ju, X. Li, X. Liu, X. Deng and S. Wang, 2021. Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China. *Field crop research*, vol. 266 (2021) 108146
26. D. Ma, L. Yin, W. Ju, X. Li, X. Liu, X. Deng, S.Wang. Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China, 2021. *Field Crops Research* 266 (2021) 108146.
27. D. Santillán, A. Iglesias, I. La Jeunesse, L. Garrote e V. Sotes, 2019. Vineyards in transition: A global assessment of the adaptation needs of grape producing regions under climate change. *Science of total environment* 657 (2019), pp. 839-852.
28. D. Tomasi, G. V. Jones, M. Giust, L. Lovat e F. Gaiotti, 2011. Grapevine Phenology and Climate Change: Relationships and Trends in Veneto Region of Italy for 1964-2009. *Am. J. Enol. Vitic.* 62:3 (2011), pp. 329-339.
29. D. Warren Raffa, D. Antichi, S.Carlesi, A. Puig-Sirera, G.Rallo, P. Barberi. Ground vegetation covers increase grape yield and must quality in Mediterranean organic vineyards despite variable effects on vine water deficit and nitrogen status, 2022. *European Journal of Agronomy* 136 (2022) 126483.
30. D.W. Raffa, D. Antichi, S. Carlesi, C. Frasconi, S. Marini, S. Priori e P. Barberi, 2021. Groundcover mulching in Mediterranean vineyards improves soil chemical, physical and biological health already in the short time. *Agronomy* 2021, 11, 787, pp.1-24.
31. E. Cataldo, L. Salvi, S. Sbraci, P. Storchi e G. B. Mattii, 2020. Sustainable Viticulture: Effects of Management in *Vitis vinifera*. *Agronomy* 2020, 10, 1949.
32. E. Cataldo, M. Fucile e G. B. Matii, 2021. A Review: Soil Management, Sustainable Strategies and Approaches to Improve the Quality of Modern Viticulture. *Agronomy* 2021, 11, 2359.
33. E. Valkama, R. Lemola, H. Känkänen, E. Turtola. Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries, 2015. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 203 (2015) 93–101
34. EJ Edwards, Unwin DJ, Sommer KJ, Downey MO e Mollah M., 2016. The response of commercially managed, field grown, grapevines (*Vitis vinifera* L.) to a simulated future climate consisting of elevated CO<sub>2</sub> in combination with elevated air temperature. *Acta Horti* 1115 pp. 103-110
35. F. Celette, A. Findeling, C. Gary. Competition for nitrogen in an unfertilized intercropping system: The case of an association of grapevine and grass cover in a Mediterranean climate, 2009. *Europ. J. Agronomy* 30 (2009) pp. 41–51.

36. F. Celette, J. Wery, E. Chantelot, J. Celette e C. Gary, 2005. Belowground interactions in a vine (*Vitis vinifera* L.) - tall fescue (*Festuca arundinacea* Shreb.) intercropping system: water relations and growth. *Plant and Soil* (2005), 276: 205-217.
37. F. Piras, P. Mulè, M.G. Mameli, L. Demelas, D. Delpiano and R. Zurru. Tecniche di gestione del suolo a confronto su *Vitis vinifera* L. cv Vermentino: aspetti viticoli, enologici e sensoriali, 2018. *Review n. 32 – Italus Hortus* 24 (2), 2017: pp - 25-38.
38. F. Zinoni, 2008. The problem of agricultural frosts in the world and in Italy. *Italian Journal of Agrometeorology* (3) 2008 – pp.7-10
39. F.Celette, R. Gaudin e C. Gary, 2008. Spatial and temporal changes in water regimes of a Mediterranean vineyard due to the adoption of cover cropping. *European Journal of Agronomy*, 29 (2008), pp. 153-162.
40. G. Antolini, V. Pavan, R. Tomozeiu e V. Marletto, 2017. Atlante climatico dell'Emilia-Romagna 1961 – 2015, pp. 4-5-8-9-20-21.
41. G. Orombelli, 2005. Climate changes. *Geografia fisica e dinamica quaternaria journal*, suppl. VII, pp. 15-24
42. G.V. Jones, M.A. White, O. R. Cooper e K.Storchmann, 2005. Climate change and global wine quality. *Climatic Change* (2005) 73: 319-343.
43. H. Chehab, M. Tekaya, B. Mechri, A. Jemai, M. Guiaa, Z. Mahjoub, D. Boujnah, S. Laamari, B. Chihaoui, H. Zakhama, M.Hammami e T. del Giudice, 2017. *Agricultural Water Management* 192 (2017) pp. 221-231.
44. H.Fraga e J.A. Santos, 2018. Vineyard mulching as a climate change adaptation measure: future simulations for Alentejo, Portugal. *Agricultural Systems* 164 (2018), pp. 107-115.
45. I. Buesa, J. M. Miràs-Avalos, J. M. De Paz, F. Visconti, F. Sanz, A. Yeves, D. Guerra e D. S. Intrigliolo, 2021. Soil management in semi-arid vineyards: combined effects of organic mulching and no-tillage under different water regimes. *European Journal of Agronomy* 123 (2021) 126198, pp. 1-13
46. I. Diti, S.E. Legler, T. Caffi, V. Rossi, G. Canali, A. Bosso, E. Cancila, S. Anelli, G. Trioli, E. Kleshcheva, M. Gatti e S. Poni, 2020. A new integrated approach for management of soil threats in the vineyard ecosystem. *Catena*, vol. 195; 2020; 104788
47. I. García de Cortázar – Atauri, É. Duchene, A. Destrac-Irvine, G. Barbeau, L. de Rességuier, T. Lacombe, A. K. Parker, N. Saurin e C. van Leeuwen, 2017. Grapevine phenology in France: from past observations to future evolutions in the context of climate change. *Oeno One*, 2017, 51, 2, pp. 115-126.

48. I.Chuine, M. Bonhomme, J.M. Legave, , I. García de Cortázar – Atauri, G. Charrier, A. Lacointe e T. Améglio, 2016. Can phenological models predict tree phenology accurately in the future? The unrevealed hurdle of endodormancy break. *Global Change Biology* (2016) 22, pp.3444-3460.
49. J. Abad, I. Hermoso de Mendoza, D. Marìn L. Orcaray e L. Gonzaga Santesteban, 2021. Cover crop in viticulture. A systematic review (2): implications on vineyard agronomic performance. *OENO One*, Vol. 55 No. 2 (2021), pp. 1-27.
50. J. Abad, I. Hermoso de Mendoza, D. Marìn Luis Orcaray e L.Gonzaga Santesteban, 2021. Cover crop in viticulture. A systematic review (1): implications on vineyard agronomic performance. *OENO One* Vol. 55 No. 1 (2021), pp. 295-312.
51. J. Gaona, P. Benito-Verdugo, J. Martínez-Fernandez, A.Gonzalez-Zamora, L. Almendra-Martín, C. M. Herrero-Jimenez. Predictive value of soil moisture and concurrent variables in the multivariate modelling of cereal yields in water-limited environments, 2023. *Agricultural Water Management* 282 (2023) 108280.
52. J. Li, S. Inanaga, Z. Li, A. E. Eneji. Optimizing irrigation scheduling for winter wheat in the North China Plain, 2005. *Agricultural Water Management* 76 (2005) pp. 8–23.
53. J. Portu, R. López, E. Baroja, P. Santamaría e T. Garde-Cerdán, 2016. Improvement of grape and wine phenolic content by foliar application to grapevine of three different elicitors: Methyl jasmonate, chitosan, and yeast extract. *Food Chemistry* 201, pp. 213-221 (2016).
54. K. Y. Chan, D. J. Fahey, M. Newell e I. Barchia, 2010. Using Composted Mulch in Vineyards – Effects on Grape Yield and Quality. *International Journal of Fruit Science*, 10: 441-453, 2010.
55. K.R. Balla, J.A. Baldock, C. Penfold, S.A. Power, S.J. Woodin, P. Smith, E. Pendall. Soil organic carbon and nitrogen pools are increased by mixed grass and legume cover crops in vineyard agroecosystems: Detecting short-term management effects using infrared spectroscopy, 2020. *Geoderma* 379 (2020) 114619.
56. L. Brillante, Belfiore N., Gaiotti F., Lovat L., Sansone L., Poni S., & Tomasi D. Confronto tra caolino e pinolene per il miglioramento della produzione viticola sostenibile in condizioni di stress idrico, 2016. *Acta Italus Hortus*, 19, 33-34.
57. L. Hannah, P. R. Roehrdanz, M. Ikegami, A.V. Shepard, M. R. Shaw, G.Tabor, Lu Zhi, P. A. Marquet e R. J.Hijmans, 2013. Climate change, wine, and conservation. *PNAS*, 2013, Vol.110, no.17, pp. 6907-6912.

58. L. Van Huyssteen, J.L. Van Zyl and A.P. Koen. The Effect of Cover Crop Management on Soil Conditions and Weed control in a Colombar Vineyard in Oudtshoorn, 1984. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, Vol. 5. No. 1 1984.
59. M. Bellieni, S. Brenna, S. Caserini, M. Acutis, A. Perego, C. Schillaci, R. Farina, F. Miglietta e M. Vitullo, 2017. Il contributo dello stoccaggio di carbonio nei suoli agricoli alla mitigazione del cambiamento climatico. *Ingegneria dell’Ambiente* Vol. 4 n. 2/2017, pp 161-176
60. M. Centinari, Filippetti I., Bauerle T., Allegro G., Valentini G. e Poni S., 2013. Cover crop water use in relation to vineyard floor management practices. *Am. J. Enol. Vitic.* 64:4 (2013), pp. 522-526
61. M. E. Clemens, A. Zuniga e W. Oechel, 2022. Effect of elevated atmospheric carbon dioxide on the vineyard system of *Vitis vinifera*: A Review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 73 (1), pp. 1-10.
62. M. Gatti, A. Garavani, C. Squeri, C. Capri, I. Diti, R. D’Ambrosio, T. Frioni, C. Scotti, S. Poni. Inter-row floor management is a powerful factor for optimising vine balance in a non-irrigated organic Barbera vineyard in northern Italy, 2022. *European Journal of Agronomy* 136 (2022) 126490
63. M. Giovannetti, A. Turrini, P. Strani, C. Sbrana, L. Avio, B. Pietrangeli, 2006. I funghi micorrizici in studi ecotossicologici: impatto sul suolo di fungicidi, insetticidi ed erbicidi. *Prevention today*, vol.2, n°1-2, pp. 49-64.
64. M. Manzone, M. Demeneghi, P. Marucco, M. Grella e P. Balsari, 2020. Technical solutions for under-row weed control in vineyards: Efficacy, costs and environmental aspects analysis. *Journal of Agricultural Engineering* 2020; vol. LI:991, pp.36-42.
65. M. Moriondo, G. V. Jones, B. Bois, C. Dibari, R. Ferrise, G. Trombi e M. Bindi, 2013. Projected shifts of wine regions in response to climate change. *Climatic change* (2013), 119 pp. 825-839.
66. M. Pagliai, 2009. Conoscenza, conservazione e uso sostenibile del suolo: aspetti fisici e morfologici *Ital. J. Agron./Riv. Agron.*, 2009, 3 Suppl:151-160
67. M.A. Kader, M. Sengebe, M.A. Mojide, K. Ito. Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment, 2017. *Soil & Tillage Research* 168 (2017) – pp. 155–166.
68. N. Bobeica, Poni S., Ghislaine H., Christel R., E. Gomès, S. Delrot e Z. Dai, 2015. Differential responses of sugar, organic acids and anthocyanins to source-sink modulation in Cabernet Sauvignon and Sangiovese grapevines. *Frontiers in plant science* – vol.6, 2015

69. N. Garcia-Franco, J. Albaladejo, M. Almagro, M. Martínez-Mena. Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem, 2015. *Soil & Tillage Research* 153 (2015) pp. 66–75
70. N. Lavado, D. Uriarte, L. A. Mancha, D. Moreno, E. Valdés and M. H. Prieto, 2019. Effect of forcing vine regrowth on 'Tempranillo' (*Vitis vinifera* L.) berry development and quality in Extremadura. *Vitis* 58 (Special Issue) 135-142, 2019.
71. P. Lionello e G. Naumann, 2022. Il rapporto IPCC spiegato dagli esperti italiani con i contenuti principali su Europa, Mediterraneo e Italia. - <https://ipccitalia.cmcc.it/il-rapporto-ipcc-spiegato-dagli-esperti-italiani-con-i-contenuti-principali-su-europa-mediterraneo-e-italia/> (ultima visita 18/12/22)
72. P. W. Unger and M. F. Vigil. Cover crop effects on soil water relationships, 1998. *Journal of Soil and Water Conservation* July 1998, 53 (3) 200-207.
73. Praveen-Kumar, J. C. Tarafdar, J. Panwar and S. Kathju. A rapid method for assessment of plant residue quality, 1993. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2003, 166, pp. 662-666.
74. Regione Emilia-Romagna, servizio geologico sismico e dei suoli, 2018. Carta dei suoli della pianura, del basso e del medio Appennino emiliano-romagnolo in scala 1: 50.000
75. S. Malik, K. Chaudhary, A. Malik, H. Punia, M. Sewhag, N. Berkesia, M. Nagora, S. Kalia, K. Malik, D. Kumar, P. Kumar, E. Kamboj, V. Ahlawat, A.Kumar e K. Boora, 2023. *Polymers* 2023, 15, 161.
76. S. Poni, M. Gatti, A. Palliotti, Z.Dai, E.Duchene, T.T. Truong, G. Ferrara, A. M. Stella Matarrese, A.Gallotta, A. Bellincontro, F. Mencarelli, S. Tombesi, 2018. Grapevine quality: a multiple choice issue. *Scientia Horticulturae* 234 (2018) pp. 445-462
77. S. Schiavon e R. Zecchin, 2007. I cambiamenti climatici: impatti, adattamento e vulnerabilità. CDA, n. 10 November 2007, pp 30-33.
78. S. Schiavon e R. Zecchin, 2007. La mitigazione dei cambiamenti climatici. CDA n. 11 dicembre 2007, pp. 38 - 42
79. S. Tombesi, Poni S. e Palliotti A., 2016. Stress idrico in *Vitis vinifera*: variabilità delle risposte fisiologiche intra-specifiche e loro potenziale sfruttamento nella mitigazione degli effetti del cambiamento climatico. *Italus Hortus* 23 (1), pp. 45-53.
80. Special report IPCC Global Warming of 1.5°C, 2018.
81. T. Frioni, Bertoloni G., Squeri C., Garavani A., Ronney L., Poni S. e Gatti M., 2020. Biodiversity of Local *Vitis vinifera* L. Germplasm: A Powerful Tool Toward Adaptation to Global Warming and Desired Grape Composition. *Frontiers in plant science* – vol.11, 2020.

82. T. Qin, L. Wang, J. Zhao, G. Zhou, C. Li, L. Guo e G. Jiang, 2022. Effects of straw mulching Thickness on the soil health in a temperate organic vineyard. *Agriculture* 2022, 12, 1751, pp. 1-14.
83. V. Arbona, D. J. Iglesias, J. Jacas, E. Primo-Millo, M. Talon e A. Gómez-Cadenas, 2005. Hydrogel substrate amendment alleviates drought effects on young citrus plants. *Plant and soil* (2005) 270 pp. 73-82
84. V. Pavan, A. Allodi, G. Antolini, M. Benzi, L.G. Biolchi, M. Branchi, E. Chatzidaki, R. Costantino, M. Del Longo, M. Di Lorenzo, R. Foraci, A. Fornasiero, F. Grazzini, A. Malavasi, M. Marcaccio, C. Mazziotti, R. Monti, M. Noberini, A. Pirola, W. Pratizzoli, R. Renati, G. Ricciardi, M. S. Tesini, R. Tomozeiu, F. Tonelli, F. Tugnoli, S. Unguendoli, A. Valentini, A. Vecchi, G. Villani e A. Volta, 2022. Rapporto IdroMeteoClima Emilia-Romagna 2021, pp. 6-10.
85. Y. Fan, J. Liu, J. Zhao, Y. Ma, Q. Li. Effects of delayed irrigation during the jointing stage on the photosynthetic characteristics and yield of winter wheat under different planting patterns, 2019. *Agricultural Water Management* 221 (2019) pp. 371–376.
86. Y. Liu, J. Wang, H. Chen, D. Cheng, 2022. Environmentally friendly hydrogel: A review of classification, preparation and application in agriculture. *Science of the Total Environment* 846 (2022)
87. Y. Wohlfart, Smith JP., Tittmann S., Honermeier B. e Stoll M., 2018. Primary productivity and physiological responses of *Vitis vinifera* L. cvs under Free Air Carbon Dioxide Enrichment (FACE). *Eur J Agron* 101 pp. 149-162
88. Y. Shang, X. Lin, P. Li, S. Gu, K. Lei, S. Wang, X. Hu, P. Zhao, D. Wang. Effects of supplemental irrigation at the jointing stage on population dynamics, grain yield, and water-use efficiency of two different spike-type wheat cultivars, 2020. *Plos one* April 7 2020.

## 9. SITOGRAFIA

1. <https://ipccitalia.cmcc.it/il-rapporto-ipcc-spiegato-dagli-esperti-italiani-con-i-contenuti-principali-su-europa-mediterraneo-e-italia/> (ultima visita 18/12/22)
2. <http://catalogoviti.politicheagricole.it/result.php?codice=019> (ultima visita 12/05/2023)
3. [https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss/user/viewer.jsp?service=pedologia&bookmark=1%22](https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=pedologia&bookmark=1%22) (ultima visita 09/07/2023)