

**ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE AGRO-ALIMENTARI**

**CAMPUS DI CESENA**

**CORSO DI LAUREA IN VITICOLTURA ED ENOLOGIA**

**VIGNETI TOLLERANTI ALLA SICCIÀ ATTRAVERSO LA BIODIVERSITÀ**

Tesi in Tecnica Viticola

Relatore:

Chiar.mo Prof. Adamo Domenico Rombolà

Correlatore:

Dott. Gabriele Baraldi

Candidato: Riccardo Mauro Bonifazi

Matricola: 766836

Anno Accademico 2020/2021



## INDICE

1. Introduzione .....	1
1.1 Cambiamenti climatici in Emilia-Romagna .....,.....	1
1.2 Dati pluviometrici dell'estate 2021 in Emilia-Romagna .....	2
1.3 Effetti della siccità in agricoltura e viticoltura.....	6
2. Morfologia, fisiologia ed ecologia della vite .....	9
2.1 La radice .....	9
2.2 La chioma .....	12
3. Impatto dello stress idrico sulla vite .....	14
4. Interventi sulla chioma delle viti per aumentare tolleranza alla siccità .....	19
4.1 Strategie di adattamento al cambiamento climatico nel vigneto .....	20
4.1.1 Potatura tardiva .....	21
4.1.2 Interventi in verde.....	23
4.1.3 Trattamento con caolino .....	24
5. Esperimento sulla bioirrigazione in condizione di siccità estrema.....	27
6. Scopo della tesi .....	28
7. Agroecologia .....	29
7.1 Descrizione siti sperimentali Fari Agroecologici.....	31
7.1.1 Tenuta del Monsignore .....	31
7.1.2 Tenuta Massellina .....	32
7.1.3 Cantina Bulzaga .....	33
7.1.4 Corte d'Aibo .....	34
7.2 Scelte di semina.....	35
8. Risultati e discussione.....	40
9. Conclusioni .....	44
Bibliografia .....	45

## 1. Introduzione

### 1.1. Cambiamenti climatici Emilia-Romagna

Il cambiamento climatico, un fenomeno dai risvolti seri ed estremamente attuali, consiste nella variazione del clima (locale o globale) dovuta all'influenza negativa crescente che l'uomo esercita sull'ambiente attraverso attività quali la combustione di combustibili fossili e materiali derivati dalla deforestazione.

Queste attività aggiungono enormi quantità di gas serra (quali anidride carbonica, metano, protossido di azoto) a quelle naturalmente presenti nell'atmosfera che andranno a catturare maggior calore (sottoforma di raggi infrarossi emessi dalla terra stessa), incrementando così l'effetto serra e determinando perciò il fenomeno del riscaldamento climatico globale (Maggioni, 2021).

L'agricoltura contribuisce in maniera significativa all'emissione di gas serra nell'atmosfera. In Italia in particolare l'Emilia Romagna ha registrato nel 2021 una delle estati più aride di sempre e non è l'unica regione italiana in gravissima condizione idrica. Regioni come la Toscana, le Marche, l'Abruzzo, il Molise e parte del Basso Piemonte sono in condizioni simili se non peggiori.

Tuttavia la condizione dell'Emilia Romagna fa molto scalpore per due principali motivi:

1. È l'unica regione del Nord Italia a presentare gravissime condizioni idriche siccome, in tutto il resto del Nord, l'estate che si è conclusa ha registrato piogge a tratti notevoli e, comunque, molto vicine o superiori alle medie.
2. Rispetto alle medie climatologiche, quest'anno le precipitazioni estive in Emilia-Romagna presentano un'anomalia negativa quasi ovunque a ridosso del -40/-70%: ciò significa che sebbene in media l'estate sia, insieme all'inverno, una stagione non molto piovosa in questa regione, si dovrebbero comunque registrare precipitazioni sufficienti ad evitare stress idrico.

La siccità verificata in Emilia-Romagna è associata alla quasi costante presenza di correnti da Sud-Ovest. Quando, nei settori del Nord Italia, le perturbazioni giungono con venti aventi una traiettoria SW-NE, tutte le regioni fanno il pieno di pioggia, tranne l'Emilia Romagna poiché la regione cispadana presenta una catena montuosa possente, quella dell'Appennino Settentrionale, lungo i suoi confini meridionali. Essendo queste montagne disposte secondo l'asse NW-SE, le correnti provenienti da SW si trovano letteralmente "sbarrate" dalla presenza di queste montagne; pertanto, esse sono costrette a salire di quota (Maggioni, 2021).

Tuttavia, le piogge sono "scaricate" interamente a Sud dell'Appennino, in Toscana, dove viene a crearsi l'effetto cosiddetto "Stau", mentre, riscendendo di quota, le correnti inizialmente umide da SW si seccano e si scaldano, andando a provocare l'effetto "Föhn" dal lato Padano dell'Appennino, ovvero in Emilia-

Romagna, che a sua volta implica un'assenza di precipitazioni e un vento caldo e secco, chiamato "Garbino". Di seguito viene riportata un'immagine (Figura 1) esemplificativa del fenomeno:

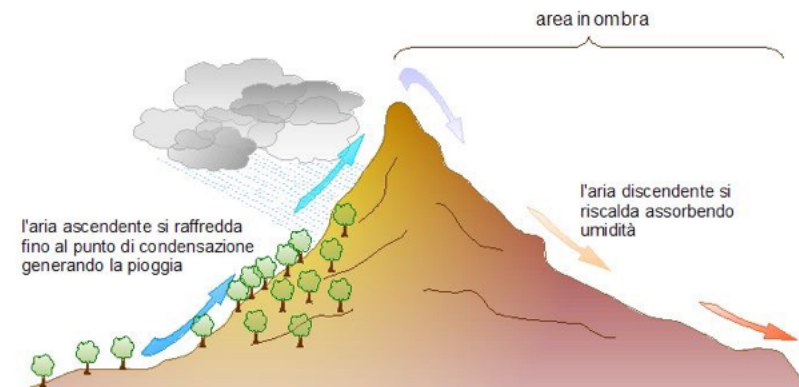


Figura 1. Rappresentazione sotto forma di figura del "Garbino".

Questo fenomeno porta una carenza di piogge in questa regione in particolare nelle stagioni primaverili e autunnali, quando il flusso atlantico diventa prevalente; invece d'estate, quando la maggior parte delle precipitazioni che si originano in Nord Italia sono di tipo convettivo (temporali), ovvero quando sono molto più rare le perturbazioni atlantiche, i temporali interessano tutto il Nord Italia tranne l'Emilia-Romagna, sempre grazie alle correnti sud-occidentali: anche in assenza di perturbazioni atlantiche, se i venti provengono da SW, la regione in questione soffre del Garbino, il vento caldo e secco. Si può dire quindi che queste correnti consumino energia (ovvero umidità, principalmente) per la formazione dei temporali, non riuscendo a farne formare nessuno fin dove l'effetto del Garbino si spinge e che hanno portato la regione emiliano – romagnola, negli ultimi mesi, ad essere l'unica veramente siccitosa nel Nord Italia.

## 1.2. Dati pluviometrici dell'estate 2021 in Emilia-Romagna

- Mese di Giugno: a quanto si evince dalle mappe Arpae, sono caduti, in Emilia Occidentale (province di Piacenza e Parma) da meno di 5 mm sulle basse pianure parmensi, per arrivare a intervalli compresi tra 10 e 20 mm nel resto della pianura. Per le province dell'Emilia Centrale, ovvero Reggio Emilia, Modena e parte occidentale (a ovest del Reno) della provincia di Bologna: situazione simile se non peggiore a quella dell'Emilia Occidentale sulle basse pianure, con valori diffusamente sotto i 5 mm. Picco di piovosità, invece, poco a Nord delle città di Reggio Emilia e

di Modena, con accumuli locali fino ai 30-40 mm. Emilia Orientale (Ferrarese + Bolognese a Est del fiume Reno): accumuli, nella provincia di Ferrara, generalmente compresi tra i 5 e i 15 mm, con picco di 30 mm lungo il fiume Po (Maggioni, 2021). Situazione analoga anche in Romagna, con valori generalmente compresi tra i 5 (o meno) e i 20 mm. Possiamo quindi affermare che, nel mese di Giugno, siano caduti mediamente tra i 10 e i 20 mm di pioggia in regione, con locali zone con accumuli inferiori ai 5 mm (soprattutto nelle basse pianure e vicino alla costa) e altre zone con picchi fino a 30-40-massimo 50 mm, sui rilievi più elevati.

- Mese di Luglio: eccezion fatta per le zone di bassa pianura dell'Emilia Occidentale, dove si sono avute anomalie positive di precipitazioni (accumuli tra i 50 e i 75 mm), il resto della regione ha ricevuto piogge scarse: tra i 20 e i 30 mm nelle province di Piacenza e Parma. La zona più siccitosa della regione, a Luglio, è stata la Valle del Reno, con accumuli ovunque compresi tra i 5 e i 10 mm; picchi di 40-50 mm invece nelle basse pianure Bolognesi. Valori precipitativi dunque, a Luglio, compresi generalmente tra i 10 e i 30 mm, con accumuli inferiori (fino a meno di 5 mm) nella valle del Reno e picchi più elevati (40-75 mm) sull'Alto Appennino e nelle basse pianure Emiliane (Maggioni, 2021).
- Mese di Agosto: a fine mese si registrano infatti accumuli inferiori o prossimi ai 10 mm nel Piacentino e tra i 10 e i 30 mm dal Parmense a Est, tranne locali zone con valori inferiori ai 10 mm (sparse tra pedemontana Reggiana-Modenese-Bolognese e alcune altre zone locali) e altre con accumuli fino a 50-60 mm (essenzialmente nella fascia pedecollinare tra Imola e Faenza e su alcuni rilievi elevati, oltre che in parte del Ferrarese).

Dunque accumuli medi, durante l'estate 2021, compresi tra i 10 e i 20 mm a Giugno, tra i 10 e i 30 a Luglio e tra i 15 e i 20 ad Agosto, possiamo giungere alla conclusione che, nel trimestre estivo, escluse le zone meno e più colpite dalle piogge, siano caduti mediamente tra i 35 e i 75 mm complessivi (Maggioni, 2021).

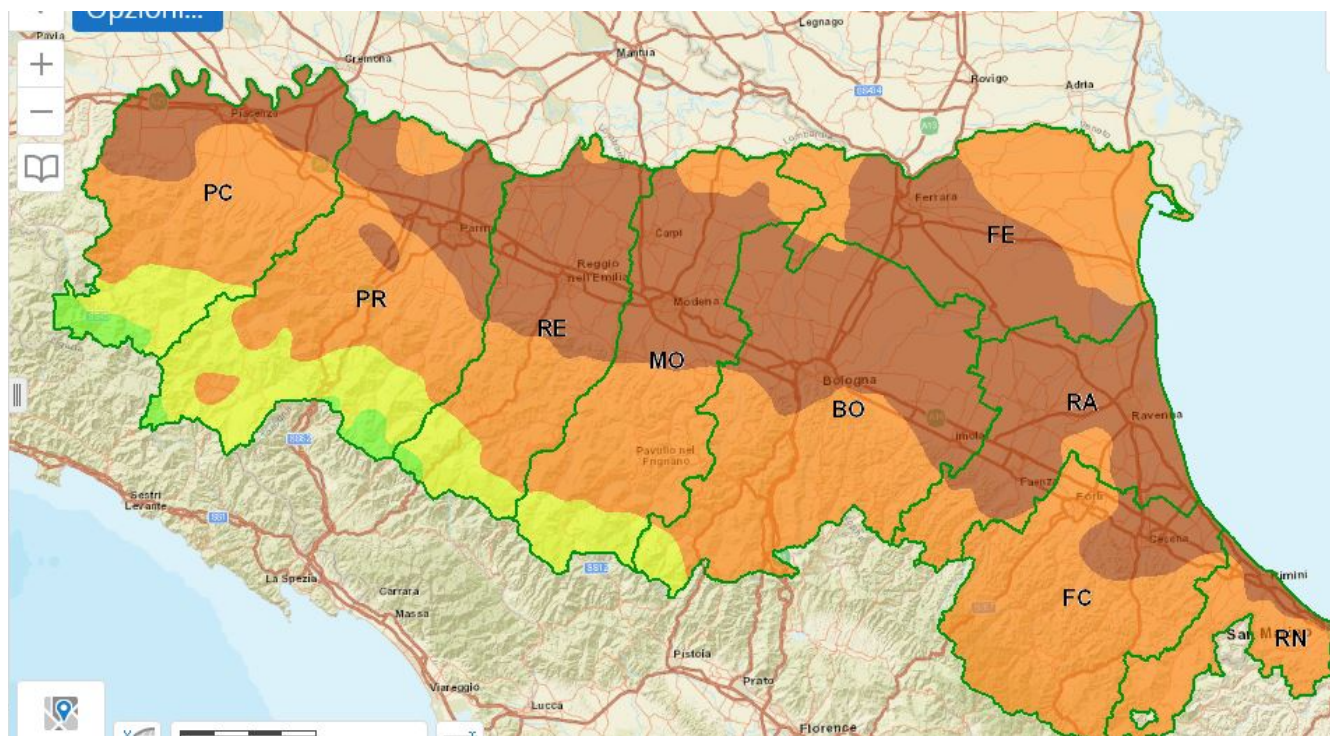


Figura 2. Comparazione precipitazioni mesi Giugno-Luglio-Agosto.

Come si nota in Figura 2 nei tre mesi di Giugno-Luglio-Agosto, la regione Emilia-Romagna dovrebbe, secondo le medie climatologiche degli ultimi anni (2020-2021), ricevere grossomodo tra i 130 e i 170 mm di precipitazioni; nelle zone più secche, in pianura, possono cadere mediamente (poco) meno di 130 mm, mentre nelle zone più piovose, in montagna, si raggiungono tra i 250 e i 300 mm di precipitazioni medie estive. Dopo questa analisi, giungiamo quindi alla conclusione che siano caduti, generalmente, 100 mm di pioggia in meno rispetto alle attese, con anomalie quindi comprese tra -73% e -42% (in media sul -60%). In Emilia-Romagna durante l'estate 2021, è quindi piovuto meno della metà del normale, i valori riscontrati (35-75 mm) in Emilia-Romagna, sono tipici delle aree costiere di Toscana, Lazio, Campania, Basilicata e di aree interne della Puglia, Calabria, Sardegna e Sicilia nord-orientale. Zone dal clima completamente diverso rispetto a quello emiliano-romagnolo (Maggioni, 2021).

Un altro confronto interessante è quello con le estati più secche del clima recente in Emilia-Romagna, ovvero quelle del 2012 e del 2017, dove il primo valore a sinistra è quello dell'accumulo di pioggia (in mm) nel 2012, in centro del 2017 e a destra, del 2021:

- Piacenza: 28 / 114.2 / 66.8
- Parma: 21.4 / 75.8 / 57.5
- Reggio Emilia: 36 / 35.8 / 43

- Modena: 8.2 / 24.8 / 74.2
- Bologna: 15.0 / 65 / 37.2
- Ferrara: 18.8 / 28.2 / 68
- Ravenna: 33.6 / 82.4 / 69.2
- Forlì: 66.8 / 84.4 / 75.8
- Cesena: 25.6 / 29.8 / 68.6
- Rimini: 69.2 / 25.8 / 38.8

I dati evidenziano un andamento molto chiaro: l'estate più secca del clima recente si conferma essere quella del 2012, seguita dal 2021 e, infine, dal 2017.

Pertanto, il 2021 si classifica come anno con la seconda estate più secca di sempre, o, sicuramente, del clima recente in Emilia-Romagna.

Le condizioni drastiche che si sono venute a creare negli ambienti dell'Emilia-Romagna non sono certamente soltanto il risultato della seconda estate più secca da quando si effettuano misurazioni, specialmente nella sezione centro-orientale. Invece in figura 3 sono rappresentati gli accumuli precipitativi storici tra i mesi di Marzo e di Luglio in Romagna.

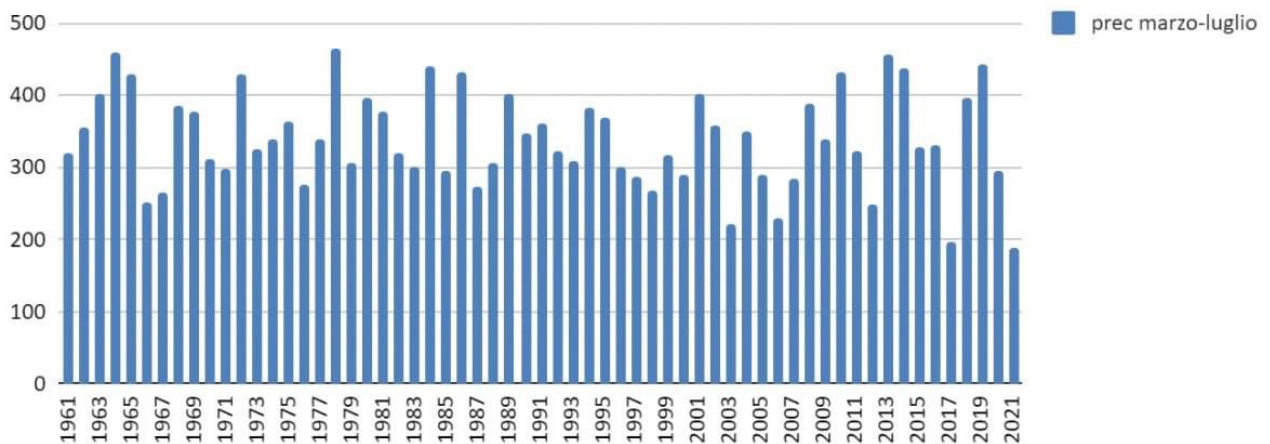


Figura 3. Precipitazioni cumulate Marzo-Luglio dal 1961 al 2021.

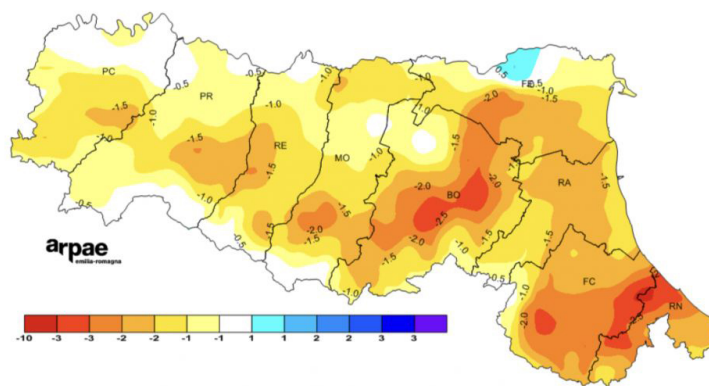
Come si evince dal grafico, con valori non troppo inferiori ai 200 mm il periodo Marzo-Luglio 2021 si classifica come il più avaro di precipitazioni di sempre in Romagna. Dati simili sono applicabili alla maggior parte dell'Emilia.

I dati evidenziano come il 2021 sia risultato un anno eccezionale in Emilia-Romagna non solo per la siccità estiva, ma anche per quella annuale. (Maggioni, 2021).

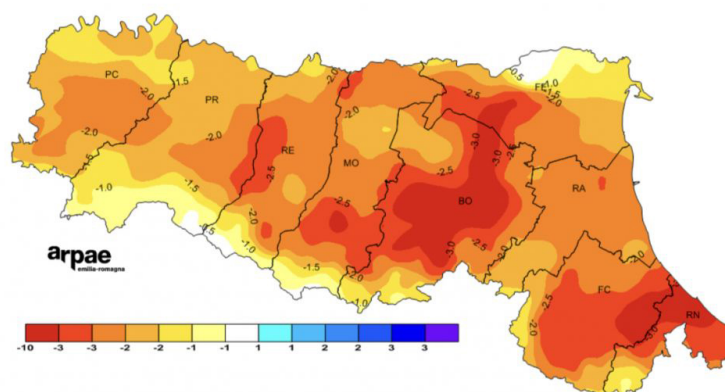


### 1.3. Effetti della siccità in agricoltura e viticoltura

Un metodo per determinare gli effetti della siccità è lo Standardized Precipitation Index (SPI), il quale deriva da un calcolo matematico complicato che mette in relazione le precipitazioni cadute in una determinata zona, l'evaporazione (o meglio, l'evapotraspirazione) e le temperature. Serve per stabilire come si presenta l'ambiente naturale e agricolo lungo un determinato lasso di tempo. Lo SPI calcolato in 3 mesi e in 6 mesi permette di stabilire se è presente siccità agricola-meteorologica, se si è in media oppure se c'è un surplus idrico: in poche parole, serve a capire se le precipitazioni cumulate in 3 e 6 mesi sono inferiori, uguali o superiori alle medie climatiche e se i terreni, di conseguenza, risultano, rispettivamente, secchi, normali per il periodo oppure in surplus idrico (Maggioni, 2021).



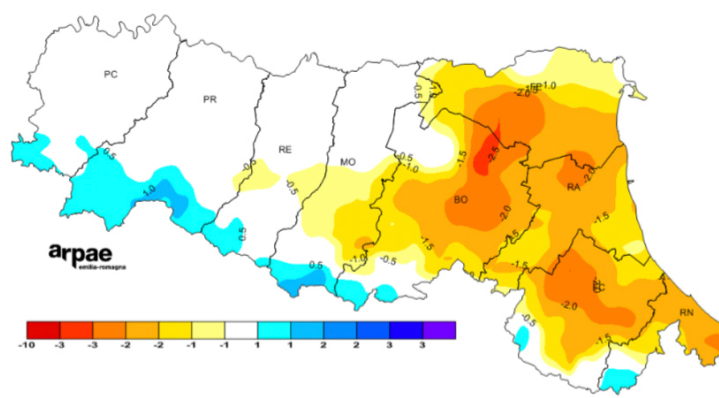
Luglio 2021: Standardized Precipitation Index a 3 mesi



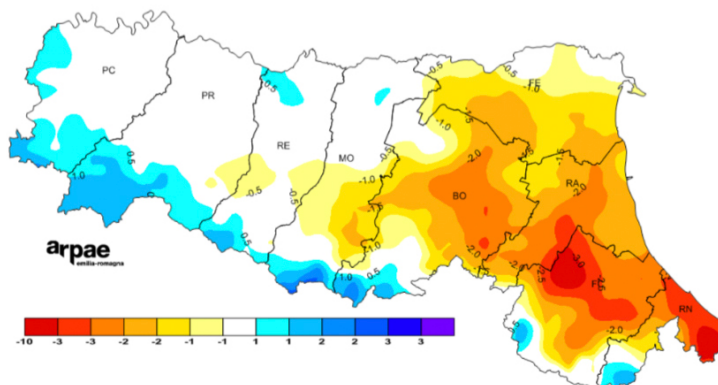
Luglio 2021: Standardized Precipitation Index a 6 mesi

Figura 4. Luglio 2021, SPI 3 e 6 mesi.

Come si osserva in Figura 4 sia a 3 che a 6 mesi lo SPI risulta ampiamente negativo letteralmente in tutta la regione, con maggiori anomalie negative nelle aree centro-orientali: ciò ci permette di capire che tutta l'Emilia-Romagna presenta condizioni di siccità agricola-meteorologica tra le moderate e le gravi. Lo SPI a 12 e 24 mesi, invece, ci permette di capire la situazione idrica nel sottosuolo, ovvero nelle falde. Se è in media, le falde acquifere non presentano anomalie; se è sotto media, c'è una carenza di acqua persino nel sottosuolo, a conseguenza di una siccità prolungata per 1-2 anni almeno; se è sopra media, c'è, invece, abbondanza di acqua (Maggioni, 2021).



Luglio 2021: Standardized Precipitation Index a 12 mesi



Luglio 2021: Standardized Precipitation Index a 24 mesi

Figura 5. SPI 12 e 24 mesi.

Sulla base delle mappe dello SPI a 12 e 24 mesi per il territorio emiliano-romagnolo nel lungo periodo (Figura 5) non presentano condizioni di siccità estrema, che influenza anche le falde acquifere sotterranee, soltanto porzioni dell'Emilia occidentale e dell'Alto Appennino; al contrario, la situazione è molto grave nel bolognese, nel ravennate e in tutta la Romagna, dove persistono condizioni estreme di siccità. Questi dati indicano condizioni di siccità pluriennale (Maggioni, 2021).

In viticoltura, il clima anomalo ha causato effetti negativi anche sulla produzione di uva (Figura 6). È atteso un calo produttivo medio del 20-30% in Emilia-Romagna, con picchi fino al 40% nella zona del Lambrusco e si registrano differenze significative tra aree in base all'intensità dei fenomeni atmosferici a cui sono state sottoposte oltre al problema siccità anche ondate di gelo e grandinate, hanno colpito a macchia di leopardo il territorio regionale. “È stato un anno nero per l'agricoltura in generale perché i danni degli eventi meteo, dalle gelate primaverili alle grandinate, dalle improvvise bombe d'acqua alla siccità perdurante hanno pesantemente danneggiato le colture, anche quelle vitivinicole” commenta il presidente di Confagricoltura Emilia Romagna, Marcello Bonvicini. L'Emilia-Romagna è la terza regione d'Italia per quantitativi di vini prodotti, dopo Veneto e Puglia, e la quinta per superficie vitata (52.035 ha totali nel 2020).

Anche Modena conferma la scarsa produzione. A risentirne di più è la collina dove persiste la carenza d'acqua. Soffre, in particolar modo, il Lambrusco Grasparossa, peraltro già fiaccato dalle gelate di aprile, fino a mettere in preventivo una riduzione del 30-35%. Nello specifico, le grandinate hanno duramente colpito gran parte dell'area del Grasparossa (Formigine, Maranello, Spilamberto e alcune frazioni di Castelvetro di Modena) e quello del Lambrusco di Sorbara (Bomporto, Carpi e zone limitrofe), come pure la zona dei bianchi (Pignoletto, Montù e Trebbiano) soprattutto a Castelfranco e a Carpi.



Figura 6. Vigneto colpito da siccità in Emilia-Romagna.

## **2. Morfologia, fisiologia ed ecologia della vite**

Da un punto di vista anatomico la vite presenta la struttura tipica delle dicotiledoni, con delle caratteristiche peculiari che la rendono adattabile a condizioni ecologiche variabili.

### **2.1. La radice**

L'apparato radicale assume una grande importanza nell'adattabilità della pianta, svolgendo funzioni di ancoraggio, assorbimento, accumulo di sostanze di riserva e produzione di metaboliti, principalmente ormoni, essenziali per il metabolismo e la regolazione dei processi fisiologici.

Una radice di vite (Figura 7) è avvolta esternamente da uno strato protettivo, un'epidermide più o meno spessa che, nelle radici più grosse e strutturali, è lignificata (corteccia). La parte centrale, avvolta da un secondo tessuto protettivo (l'endoderma) comprende i tessuti più delicati, compresi quelli con capacità di crescita (il periciclo) e che sono responsabili del trasporto nella pianta. Questi ultimi sono due, diversi per funzione e struttura: lo xilema ed il floema. Lo xilema ha la funzione di trasportare ai diversi organi

della pianta l'acqua, elementi minerali, fitoregolatori e altri composti. È fatto da tubicini cavi ed il trasporto avviene per flusso capillare, guidato principalmente dalla traspirazione fogliare. Il floema ha prevalentemente un percorso inverso: dalle foglie trasporta i prodotti della fotosintesi al resto della pianta. È fatto da cellule vive, che attivamente traslocano questi prodotti attraverso di esse. Queste parti essenziali possono essere strutturate in modo diverso a seconda dei diversi tipi di radice, del loro ruolo e del genotipo.

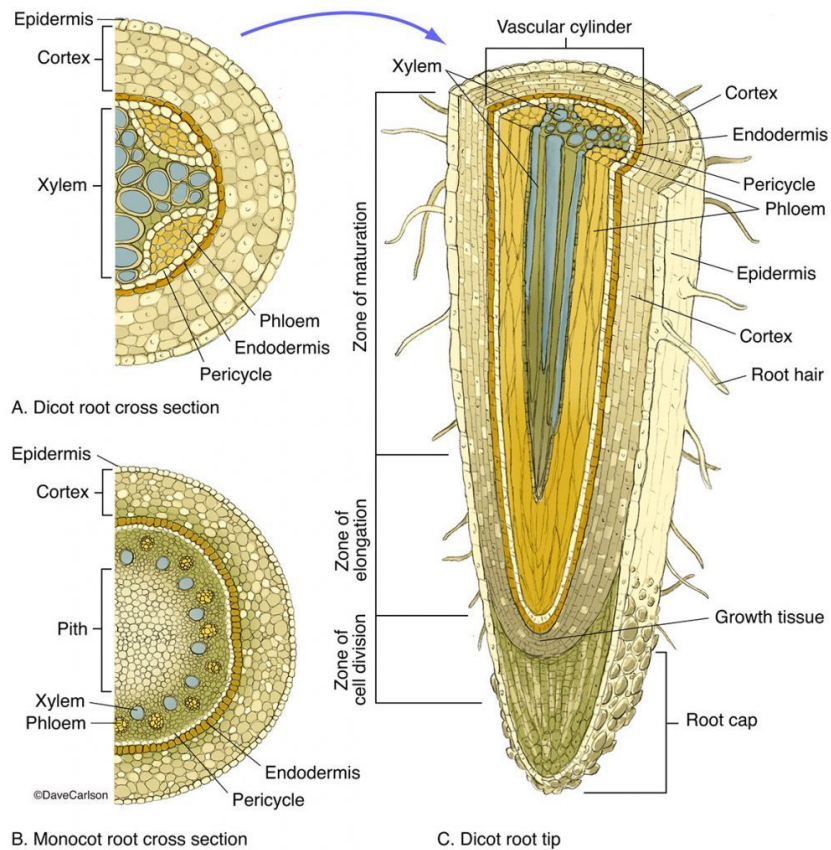


Figura 7. Sezione longitudinale e trasversale di una radice.

Poiché la radice è l'organo deputato all'assorbimento di acqua ed elementi minerali, riveste una grande importanza nel mantenimento di un corretto bilancio idrico, attraverso un diverso sviluppo, una diversa distribuzione spaziale e capacità di suzione. La sua espansione varia con le caratteristiche del terreno, la densità d'impianto, il tipo di portinnesto, il clima e la gestione agronomica del suolo. Generalmente il suo sviluppo avviene entro due metri di profondità anche se può raggiungere una profondità superiore ai 30 metri. L'espansione laterale (Figura 8) è influenzata notevolmente dal terreno e dalla densità d'impianto e raggiunge generalmente qualche metro (fino a 4-5 m). Le radici sono sempre di tipo

avventizio e fascicolato poiché si originano dalla talea. L'angolo geotropico è un carattere con una forte componente genetica ma influenzabile dalle condizioni pedoclimatiche. Un angolo geotropico ampio corrisponde ad un apparato radicale superficiale, come in *Vitis riparia*; mentre uno ridotto, come in *Vitis rupestris*, consente un buon approfondimento delle radici che permette alla pianta di sopportare meglio la siccità (Fregoni, 2013). La resistenza alla carenza idrica è però determinata non solo dalla profondità, ma anche dalla capacità di assorbimento e di regolazione dell'apertura e della chiusura stomatica.

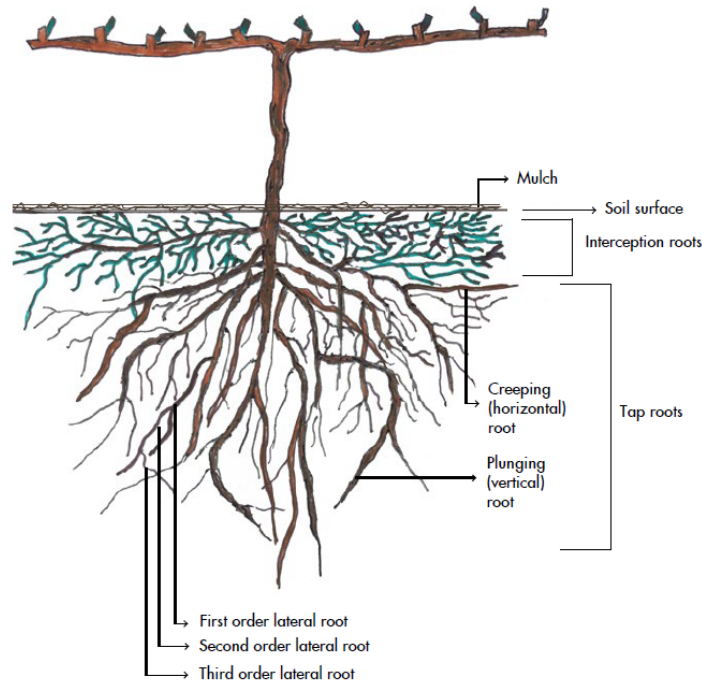


Figura 8. Espansione sistema radicale vite.

L'acqua si muove all'interno delle strutture vegetali attraverso tre diverse vie: apoplastica, simplastica e transmembrana. La via apoplastica individua il passaggio del liquido attraverso il continuum di pareti cellulari e spazi aeriferi intercellulari che incontra nei tessuti della pianta, senza penetrare la membrana cellulare. Questo tipo di trasporto è guidato da forze fisiche e regolato principalmente da differenze di potenziale tra suolo, pianta e atmosfera (Lovisolo et al., 2002). La via transmembrana, con cui l'acqua attraversa il citoplasma percorre almeno due volte, in entrata ed in uscita la membrana e la via simplastica, creata dai plasmodesmi quale passaggio preferenziale fra due cellule contigue, è invece difficilmente distinguibile sperimentalmente. Queste ultime due generalmente vengono classificate sotto la più ampia definizione di via cellulare.

La conduttanza della via cellulare è fortemente influenzata dalla presenza e attività delle acquaporine,

proteine coinvolte nella regolazione del movimento radiale dell'acqua attraverso le radici (Vandeleur et al., 2009).

Un aspetto interessante delle acquaporine vegetali consiste nella loro abbondanza e complessità: basti pensare che solo in *Vitis* ne sono state identificate 28, attraverso analisi del genoma sequenziato (Fouquet et al., 2008). Le acquaporine rientrano in tutti i processi fondamentali in cui entra in gioco il trasporto idrico, dall'assorbimento radicale, alla crescita cellulare (Maurel et al., 2008), alla traspirazione e al controllo dell'embolizzazione (Kaldenhoff et al., 2008).

L'adattabilità dei portinnesti alla siccità è un aspetto determinante considerando la collocazione delle principali aree viticole e gli sviluppi futuri riguardanti la disponibilità di acqua a livello globale. Con il miglioramento genetico sono stati selezionati portinnesti con un diverso grado di resistenza, valutati prendendo in considerazione diversi parametri biochimici, fisiologici e morfologici come l'angolo tra picciolo e lembo fogliare di piante sottoposte a stress. Tramite l'ibridazione sono stati ottenuti diversi portinnesti con una certa resistenza partendo da specie come *Vitis monticola*, *Vitis berlandieri* e *Vitis vinifera* che possiedono tale caratteristica. È possibile classificare i portinnesti come molto resistenti (140 Ru, 1103 P, 110 R, ecc.), mediamente resistenti (41 B, 420, Rupestris du lot, ecc.) e con scarsa resistenza (K 5BB, SO4, *Vitis riparia*, ecc.) alla siccità (Fregoni, 2013). Un ruolo importante nel determinare l'efficienza di utilizzo dell'acqua e conseguentemente nell'influenzare la resistenza agli stress idrici è svolto dalle simbiosi micorriziche.

## **2.2. La chioma**

Le foglie della vite (Figura 9) sono semplici, palmato-lobate con cinque nervature principali che originano altrettanti lobi. La loro forma può essere sensibilmente differente in relazione alla cultivar presa in considerazione, tanto da essere un carattere fondamentale da un punto di vista ampelografico. Generalmente sono orbicolari ma possono essere anche più o meno allungate. Sono disposte lungo il tralcio secondo due serie longitudinali opposte ed alterne.

La pagina superiore è caratterizzata dall'assenza o dalla scarsa presenza di tomentosità, che è invece presente nella pagina inferiore e svolge un ruolo importante nella coibentazione termica e nell'ostacolare la traspirazione, trattenendo acqua e rugiada e stabilizzando lo strato limite.

L'epidermide superiore è ricoperta dalla cuticola ed è fornita di stomi solamente lungo le nervature principali; al di sotto dell'epidermide è presente il mesofillo a palizzata costituito da un solo strato di cellule molto allungate; segue il tessuto lacunoso costituito da vari strati di cellule tra le quali sono presenti spazi aeriferi.

L'epidermide inferiore è meno cutinizzata e con un elevato numero di stomi (100-230 nella *Vitis vinifera* e 200-300 nelle viti americane) costituiti da due cellule di guardia reniformi (Fregoni, 2013).

Il picciolo presenta un'epidermide provvisto di stomi che ricopre il tessuto parenchimatico nel quale scorrono i fasci fibrovascolari.

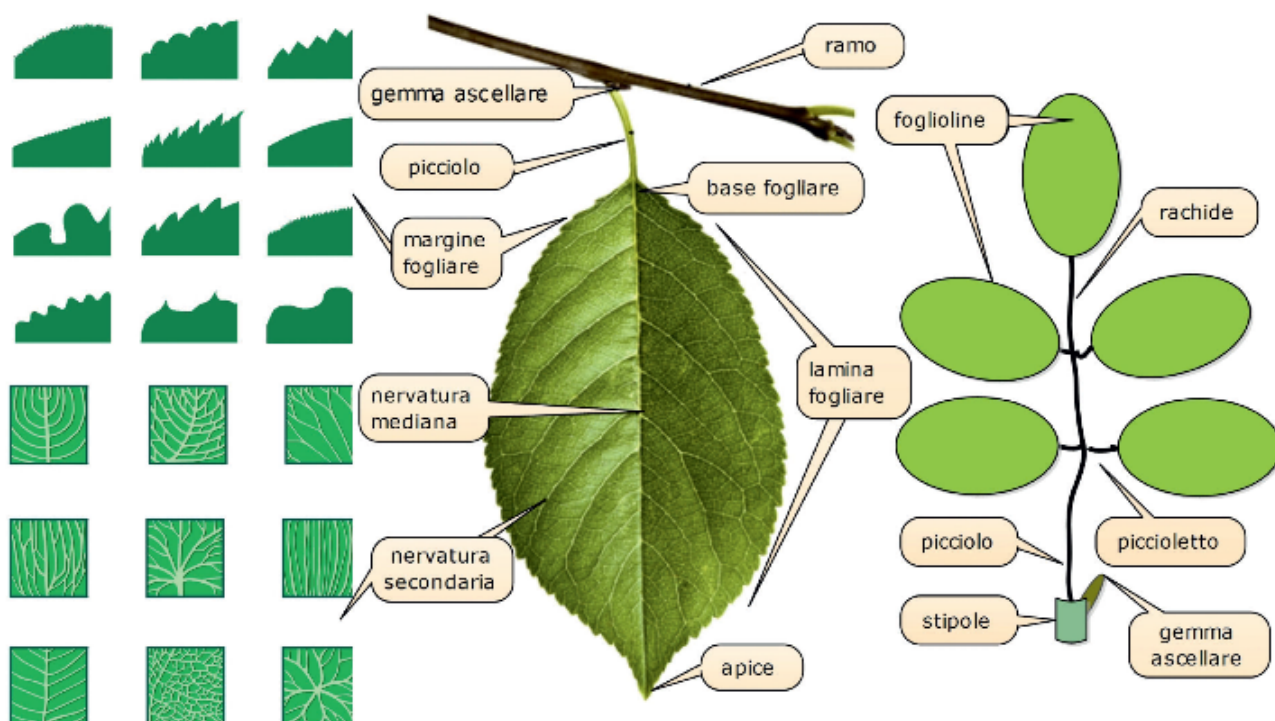


Figura 9. Rappresentazione foglia di vite.

Un fattore molto importante dal punto di vista dei consumi idrici è la gestione della chioma fatta attraverso la scelta della forma di allevamento. Le forme di allevamento e la realizzazione di interventi in verde caratterizzate da una maggiore espansione dell'apparato fogliare producono generalmente una maggiore quantità di sostanza secca e sono più esigenti da un punto di vista idrico.

Nella vite, i cambiamenti stagionali della superficie fogliare influenzano la perdita di acqua attraverso la traspirazione, che è nulla durante la dormienza e diventa alta durante le fasi di crescita della pianta, specialmente quando le foglie sono pienamente espanse e durante la crescita del frutto.



Un parametro fisiologico molto importante per valutare lo stato idrico del fusto è il Potenziale idrico ( $\Psi_s$ ) determinato nelle ore centrali della giornata mediante una camera a pressione portatile (modello Scholander) (Figura 10), secondo le procedure di Boyer (1995).



Figura 10. Camera a pressione portatile modello Scholander.

### 3. Impatto dello stress idrico sulla vite

A livello globale la scarsità d'acqua è il principale limite alla produzione agricola e questo potrebbe essere accentuato dai cambiamenti climatici. Nell'Europa meridionale, l'agricoltura impiega il 60% di tutta l'acqua e in alcune zone anche l'80%.

L'acqua è un fattore importante che incide sulla produzione della vite, dal punto di vista quantitativo, qualitativo e sanitario.

Lo stress idrico indica una situazione, temporanea o prolungata, in cui l'acqua diventa un fattore limitante per le normali funzioni della pianta, causandole talvolta danni importanti, come un blocco della crescita dei tessuti vegetali per scarso turgore cellulare. Questa condizione di stress determina la tendenza alla chiusura degli stomi, con conseguente diminuzione del potenziale idrico e della traspirazione, aumentando l'efficienza nell'uso dell'acqua. Uno stress idrico importante comporta talvolta la diminuzione dell'assimilazione del carbonio con ripercussioni negative sulla crescita, sull'accumulo di riserve negli organi perenni e sulla maturazione delle bacche (Bernardo et al., 2018).

Le alterazioni nel funzionamento dell'apparato radicale innescano una serie di regolazioni che coinvolgono la pianta dal suolo all'estremità dell'apparato aereo.

Attraverso la regolazione dell'apertura stomatica, la pianta è in grado di limitare la perdita di acqua pur permettendo l'assimilazione della CO<sub>2</sub> (Tombesi, et al., 2016).

La siccità, a seconda dell'intensità con cui si presenta, può avere diversi effetti sulla pianta: a livelli bassi può limitare il vigore vegetativo, favorire un anticipo della maturazione, una riduzione delle dimensioni della bacca e un aumento dell'accumulo di zuccheri, mentre a livelli elevati la fotosintesi viene inibita riducendo la sintesi degli zuccheri (Van Leeuwen e Destrac-Irvine, 2017) e compromettendo le normali funzioni della pianta.

Il contenuto di acqua all'interno del suolo rappresenta, quindi, un fattore limitante per lo sviluppo della pianta e le sue normali funzioni. Il cambiamento climatico ha portato all'alterazione del regime pluviometrico causando, in alcune zone, la diminuzione della piovosità e l'aumento della siccità (Bernardo et al., 2018). In più il riscaldamento globale, promuovendo la perdita d'acqua per evapotraspirazione, ha intensificato gli effetti della siccità sottoponendo la vite a forti e prolungati periodi di stress idrico (Van Leeuwen e Destrac-Irvine, 2017).

La risposta fisiologica della pianta allo stress idrico prende avvio dal segnale di stress prodotto dalle radici e trasferito ai germogli (Figura 11). In condizioni di stress idrico le radici infatti aumentano l'espressione dei geni VvPRP1 e VvPRP2 coinvolti nella sintesi delle PR-proteins, proteine impegnate nella risposta agli stress abiotici (Lovisolo et al., 2010). L'aumento della concentrazione di PR-proteins si traduce nel rallentamento o inibizione della crescita dei germogli. La crescita in estensione dell'apparato aereo viene, infatti, limitata in quanto viene a mancare il livello di turgore necessario alla distensione cellulare (Fregoni, 2013), ciò si traduce in una riduzione dell'estensione degli internodi, dell'espansione delle foglie, dell'allungamento dei viticci (Lovisolo et al., 2010). Altre manifestazioni osservabili dello stress idrico sono la riduzione dell'angolo picciolo-lamina delle foglie, l'accorciamento degli internodi, la necrosi degli apici dei germogli e l'abscissione delle foglie (Castellarin et al., 2011).



Figura 11. Viti colpite da stress idrico severo.

La traspirazione è un processo che, attraverso il controllo dell'apertura stomatica, permette alla pianta di regolare la temperatura interna delle foglie mediante la perdita di acqua per evaporazione: l'acqua, infatti, evaporando dissipa il calore in eccesso e riduce la temperatura degli organi traspiranti.

La chiusura stomatica è regolata da stimoli di tipo ormonale; in letteratura è stato, infatti, ampiamente dimostrato che alla chiusura degli stomi corrisponde un aumento della concentrazione interna di acido abscissico (ABA) (Bernardo et al., 2019).

L'ABA aumenta la tolleranza della pianta agli stress idrici regolando la conduttanza stomatica, l'espressione dei geni di acquaporine e riparando i danni da embolismo (Bernardo et al., 2018).

Quando la risorsa idrica del suolo non è sufficiente per soddisfare il fabbisogno idrico dell'intera pianta, l'apparato vegetativo, da principale source diventa sink (Fregoni, 2013).

L'impatto dello stress idrico sulla quantità e sulla qualità della produzione varia a seconda della fase vegetativa in cui si verifica e può modificare positivamente o negativamente le caratteristiche chimiche della bacca.

- Durante la fioritura lo stress idrico ha un effetto negativo in quanto provoca la colatura e in seguito la cascola dei frutti, inoltre può ridurre la fertilità nell'anno successivo compromettendo il processo di differenziazione a fiore delle gemme (Castellarin et al., 2011; Fregoni, 2013).

- La limitata disponibilità d'acqua nelle due settimane successive all'antesi porta al parziale o totale disseccamento del grappolo (Figura 12) in funzione dell'intensità dello stress idrico (Fregoni, 2013). Ciò può portare a perdite produttive ma può anche favorire una maggior concentrazione dei composti polifenolici all'interno della bacca (Kizildeniz et al., 2018).



Figura 12. Disseccamento del rachide.

- Durante l'invasatura, stress idrici di media intensità, compromettendo i processi di distensione cellulare, possono diminuire le dimensioni dell'acino e portare a perdite produttive. Le perdite maggiori si verificano quando lo stress idrico colpisce la pianta nella fase di pre-invasatura rispetto alla fase di post-invasatura (Castellarin et al., 2011).
- Stress idrici (Figura 13) riducono il peso fresco degli acini per disidratazione (Kizildeniz et al., 2018). Si possono avere delle conseguenze positive sulla qualità dell'uva poiché aumenta il rapporto buccia-polpa e quindi la concentrazione di antociani all'interno del mosto.



Figura 13. Disidratazione della bacca.

La disidratazione lieve non comporta sintomi riscontrabili visivamente quindi, piante sottoposte a stress idrico moderato potrebbero anticipare la maturazione, mentre in condizioni di stress severi e prolungati la maturazione potrebbe essere rallentata o inibita dalla diminuzione dell'attività fotosintetica (Castellarin et al., 2011).

Stress idrici moderati durante la fase di maturazione possono ridurre la competizione tra l'apparato vegetativo e i grappoli aumentando la concentrazione di zuccheri all'interno della bacca (van Leeuwen e Destrac-Irvine, 2017).

La diminuzione dell'apparato vegetativo, dovuta allo stress idrico, porta ad una maggior esposizione dei grappoli e ad un conseguente aumento della loro temperatura interna, ciò potrebbe favorire la degradazione dell'acido malico e la riduzione di acidità del mosto.

Lo stress idrico, inoltre, può influenzare la concentrazione di antociani all'interno della bacca a maturità e in un secondo luogo, l'aumento della concentrazione di composti antocianici viene promossa per riparare ai danni ossidativi indotti dallo stress idrico e contrastare i radicali liberi dell'ossigeno (Bernardo et al., 2018).

#### **4. Interventi sulla chioma delle viti per aumentare tolleranza alla siccità**

I viticoltori hanno osservato da tempo che alcuni vitigni tollerano meglio la siccità rispetto ad altri. Oggi è disponibile un'ampia, ma poco utilizzata gamma di vitigni, e la scienza sta rivelando i meccanismi complessi della risposta della vite alla siccità (Gambetta et al., 2020).

Durante la fase iniziale della risposta alla scarsa disponibilità di acqua nel suolo, le viti resistenti riducono la loro crescita e le loro prestazioni attraverso un processo chiamato "aggiustamento osmotico". Questo è il processo mediante il quale la vite aumenta la concentrazione di ioni e di piccole molecole nelle cellule per mantenere il turgore. Nel caso in cui lo stress idrico persista, gli stomi si chiudono completamente e la vite raggiunge livelli di  $\Psi$  in cui le cellule perdono il loro turgore e diventano flaccide provocando l'appassimento delle foglie. Questa fase è indicata come il punto di perdita del turgore ( $\Psi$ TLP), una caratteristica che può dipendere dal vitigno (Figura 14).

Dopo la chiusura degli stomi, la perdita dell'acqua continua (ma a un ritmo molto più lento). Quindi il  $\Psi$  diventa sempre più negativo fino a raggiungere una soglia critica alla quale iniziano a formarsi embolie, bolle d'aria nello xilema della pianta che bloccano il trasporto dell'acqua. Le viti mostrano una capacità chiamata "segmentazione della vulnerabilità", in cui le foglie sono più vulnerabili agli embolismi rispetto ai tralci. Ciò significa che durante la siccità estrema le viti perdono le foglie per proteggere i tralci e i tronchi (Charrier et al., 2018).

Le viti che sopravvivono a una siccità estrema possono riprendersi durante l'inverno e vegetare normalmente nella stagione successiva, ma possono anche riportare effetti negativi sul ciclo dell'anno successivo a causa dell'esaurimento delle riserve di carboidrati che causano una minore fertilità delle gemme, e di conseguenza, una riduzione delle rese produttive (Charrier et al., 2018).

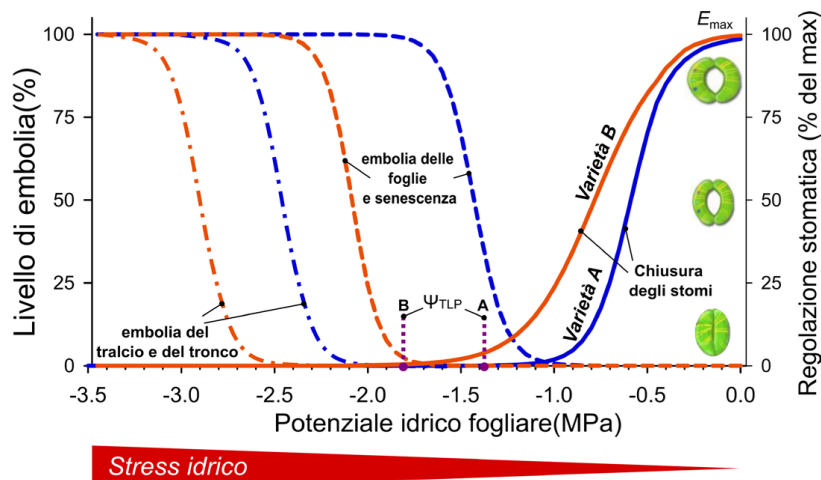


Figura 14. La sequenza delle risposte della vite alla siccità di due vitigni generici “A” e “B”. Numerose caratteristiche come la traspirazione massima ( $E_{max}$ ), la velocità della chiusura stomatica, il punto di perdita del turgore ( $\Psi_{TLP}$ ) e le soglie di formazione di embolia nelle foglie e nei tralci possono differire tra i vitigni e costituiscono la loro tolleranza alla siccità (Gambetta et al., 2020).

#### 4.1. Strategie di adattamento al cambiamento climatico nel vigneto

Alcuni esempi lampanti si possono trovare nel bacino del Mediterraneo, dove i viticoltori coltivano la vite in ambienti aridi da migliaia di anni e in molti casi senza irrigazione. Il vigneto ideale adattato alla siccità può essere progettato in base alla loro esperienza e molte delle loro osservazioni sono coerenti con ciò che gli scienziati stanno scoprendo sui meccanismi di tolleranza alla siccità. Fondamentalmente, i vigneti adattati alla siccità massimizzano il rapporto tra l’approvvigionamento idrico e la richiesta di traspirazione utilizzando approcci che riducono la traspirazione e aumentano la disponibilità dell’acqua del suolo (Figura 15) (Tomás et al., 2012).

L’aumento della disponibilità dell’acqua nel suolo può essere ottenuta utilizzando portainnesti con un alto vigore e resistenti alla siccità come 110R, 140Ru e Ramsey (Ollat et al., 2016).

La scelta di suoli con una maggiore capacità di ritenzione idrica, la creazione nel suolo di condizioni favorevoli possono contribuire o stimolare lo sviluppo dell’apparato radicale più profondo attraverso lavorazioni profonde del terreno prima dell’impianto, possono contribuire a una maggiore disponibilità d’acqua nel suolo. Un sistema di allevamento particolarmente resistente alla siccità è l’alberello, noto anche come head-training o bushvine. Quando i vigneti sono condotti per tollerare le condizioni di siccità, l’utilizzo dell’irrigazione può essere ridotto al minimo, o eliminato, riducendo quindi la necessità d’acqua che risulta essere sempre più scarsa, contribuendo così alla produzione sostenibile di uva per il vino.

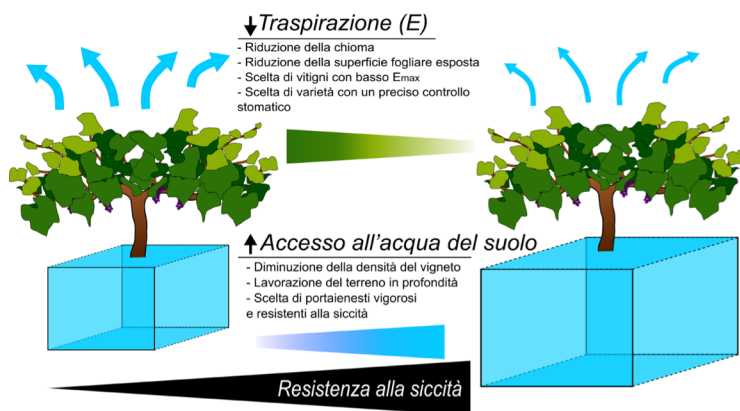


Figura 15. Esistono diverse strategie di gestione che possono aiutare a creare un vigneto maggiormente tolleranti alle condizioni di siccità attraverso la diminuzione del rapporto tra la domanda di traspirazione e l'approvvigionamento idrico del suolo (Gambetta et al., 2020).

Nel capitolo che segue verranno trattate alcune strategie applicabili nel vigneto che possono, se utilizzate singolarmente o in sinergia tra di loro, aiutare il viticoltore a contrastare gli effetti del cambiamento climatico. Le strategie trattate come la potatura tardiva e la defogliazione, sono state scelte per la loro sostenibilità e il loro basso impatto ambientale. Inoltre, queste strategie grazie alla loro semplicità di applicazione possono essere utilizzate anche da cantine di medie-piccole dimensioni poiché non richiedono un elevato impiego di tempo e di manodopera.

In generale, lo scopo di queste strategie è quello di minimizzare l'anticipo della fase di maturazione, indotto dal cambiamento climatico, e ridurre il disaccoppiamento tra maturità tecnologica, fenolica e aromatica, fenomeno che si riflette negativamente sulle caratteristiche chimiche e sensoriali del vino.

#### 4.1.1. Potatura tardiva

La potatura tardiva è una strategia proposta per prevenire l'anticipo del ciclo fenologico della vite. La potatura è una pratica annuale che permette di formare o mantenere la forma della chioma della vite attraverso la scelta di uno o più tralci produttivi e la rimozione dei tralci fruttiferi dell'anno precedente. La potatura, a seconda del periodo in cui viene effettuata può anticipare o ritardare la ripresa vegetativa della vite. È noto che potature precoci, durante la stagione autunno- invernale, portano ad un anticipo della ripresa vegetativa della pianta, mentre potature tardive, effettuate durante o dopo il pianto possono ritardare il germogliamento della vite.

Poiché nell'attuale situazione di riscaldamento globale, l'aumento di 1°C di temperatura si traduce in un anticipo del ciclo fenologico di 7-9 giorni (Tommasi et al., 2011), la scelta della data di potatura può contribuire a ritardare l'avvio del ciclo fenologico in modo da ricollocare la fase di maturazione in un



periodo dell'anno in cui le temperature medie sono più basse, riequilibrando la composizione chimica dell'uva e migliorandone le caratteristiche organolettiche (Petrie et al., 2017).

Ciò è stato dimostrato, ad esempio da uno studio di Gatti et al., (2016) sulla cv. Sangiovese, dal confronto tra trattamenti di potatura tardiva effettuati in due diverse epoche in post germogliamento, rispetto al controllo potato quando le gemme erano ancora dormienti, è emerso che la potatura tardiva ha indotto un posticipo dell'intero ciclo fenologico (Figure 16a e 16b).

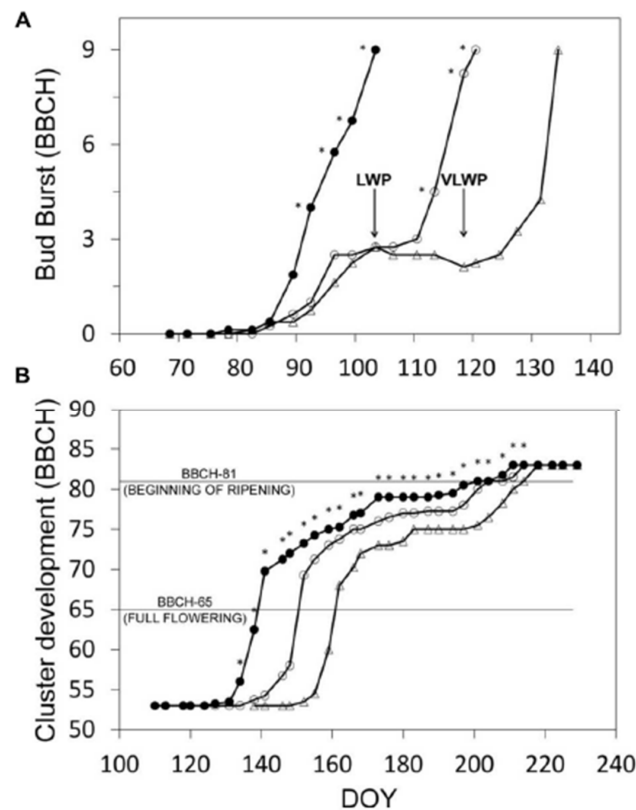


Figure 16a e 16b . Effetto del trattamento di potatura precoce (gemme dormienti), a due foglie (LWP) e a sei foglie (VLWP) sull'epoca di germogliamento (A) e sull'intero ciclo (B). Esperimento effettuato sulla cv. Sangiovese nell'annata 2015 nella Pianura Padana (Gatti et al., 2016).

È stato osservato che il cospicuo depauperamento di carboidrati nelle piante potate tardivamente portava ad un'alterazione del rapporto source:sink e quindi ad un utilizzo maggiore dei carboidrati di riserva durante la fioritura (Petrie et al., 2017).

#### 4.1.2 Interventi in verde

La defogliazione è un'altra pratica viticola che, se applicata dopo l'invaiaatura, può contribuire a ritardare la fase di maturazione e rallentare il processo di accumulo degli zuccheri all'interno della bacca. La rimozione di una parte della superficie fogliare modifica il rapporto tra source e sink, un minor numero di organi fotosintetici (source) porta ad una minor sintesi di carboidrati e ad una diminuzione della loro concentrazione all'interno della bacca. Per ottenere un rallentamento del processo di accumulo degli zuccheri è necessario rimuovere le foglie che presentano la massima efficienza fotosintetica all'invaiaatura, ovvero la porzione di foglie comprese nei 50 cm della fascia soprastante i grappoli e al di sotto della zona apicale. Ad esempio, in uno studio di De Bei et al. (2019) effettuato sulle cv. Shiraz e Semillon in Australia, la defogliazione era stata applicata in postinvaiaatura (12 Brix) ed interessava i 50 cm compresi tra il 4-5° nodo e le ultime 4-5 foglie apicali.

I grappoli sono coperti dalla vegetazione per diminuirne la temperatura durante la fase di maturazione e per rallentare la degradazione dell'acido malico e degli antociani e per evitare danni da scottatura con l'esposizione tardiva dei grappoli. I trattamenti influenzano il processo di traslocazione degli zuccheri dalle foglie ai grappoli (Palliotti et al., 2013; De Bei et al., 2019). In particolar modo è stata osservata una diminuzione del tasso giornaliero di accumulo degli zuccheri.

Il rallentamento dell'accumulo degli zuccheri permetteva di prolungare il periodo di sintesi di antociani e aumentare, quindi, la loro concentrazione nell'uva. L'entità del rallentamento dipendeva quindi dalla capacità di compensazione delle foglie rimaste, la quale a sua volta era influenzata dalle condizioni meteorologiche dell'annata (Palliotti et al., 2013; De Bei et al., 2019). La fotosintesi, infatti, è un processo che dipende dai fattori legati all'andamento stagionale e in particolar modo alla temperatura. Le maggiori differenze erano state osservate nelle annate fredde e piovose in cui la pianta non era riuscita a compensare la diminuzione dell'attività fotosintetica per le basse temperature (De Bei et al., 2019) e nelle annate molto calde in cui il processo fotosintetico era stato ostacolato o inibito da temperature superiori ai 35 °C (Palliotti et al., 2013; De Bei et al., 2019).

L'intensità della defogliazione deve essere regolata in funzione della vigoria della pianta e del carico produttivo in modo che la diminuzione del rapporto tra superficie fogliare e produzione porti ad una minor concentrazione di zuccheri a maturità (Tessarini et al., 2013). La cimatura tardiva (in postinvaiaatura), che rimuove una consistente porzione di area fogliare, riduce i consumi idrici del vigneto.

### **4.1.3 Trattamento con caolino**

Il caolino è una roccia clastica formata principalmente da un minerale silicatico delle argille, chiamato, per l'appunto, caolinite. Le prime ricerche sull'impiego del caolino in viticoltura sono state condotte dall'Università di Bologna nel 2008 (Tessarini et al., 2013). In agricoltura il caolino viene distribuito irrorandone la sospensione sulla vegetazione e sulla fascia fruttifera, in modo da formare un film protettivo dilavabile in seguito ad intense piogge. Viene impiegato su diverse varietà frutticole (melo, pero, agrumi, piccoli frutti, olivo, ...) e su vite per proteggere le piante da eccessi luminosi e termici, per contrastare lo stress idrico e per difendere la pianta dall'attacco di alcuni insetti. Prima dell'invasione l'utilizzo di caolino è una strategia sostenibile utilizzabile nel breve termine per limitare i danni estivi provocati dal cambiamento climatico in alcune regioni viticole (aumento delle temperature e della radiazione UV-B e diminuzione delle precipitazioni). Il caolino, formando un film protettivo bianco sulla parte aerea della pianta, è in grado di assorbire la radiazione fotosinteticamente attiva e di riflettere invece la radiazione ultravioletta e infrarossa (Dinis et al., 2018). In questo modo porta ad una diminuzione della temperatura della foglia e dei grappoli, limitando i danni ossidativi e da ustione (Dinis et al., 2018). In condizioni di elevate temperature e di stress idrico, infatti, la temperatura della foglia in piante trattate risultava essere inferiore di 1.1°C rispetto al controllo (Frioni et al., 2019). Ciò porta ad un miglioramento della qualità della produzione attraverso la diminuzione del disseccamento dei grappoli e a una minor perdita delle caratteristiche organolettiche e cromatiche (diminuzione dell'acidità e del contenuto di antociani). Inoltre, il caolino svolge un'efficace azione contro lo stress idrico: piante trattate con caolino risultavano, infatti, più adattate a condizioni di stress idrico rispetto al controllo non trattato (Frioni et al., 2019). La pianta sottoposta a trattamento, infatti, è in grado di mantenere attiva la capacità fotosintetica e la conduttanza stomatica, e di conseguenza di sviluppare una maggior efficienza di utilizzo dell'acqua (Dinis et al., 2018; Frioni et al., 2019) (Figura 17, Figura 18).

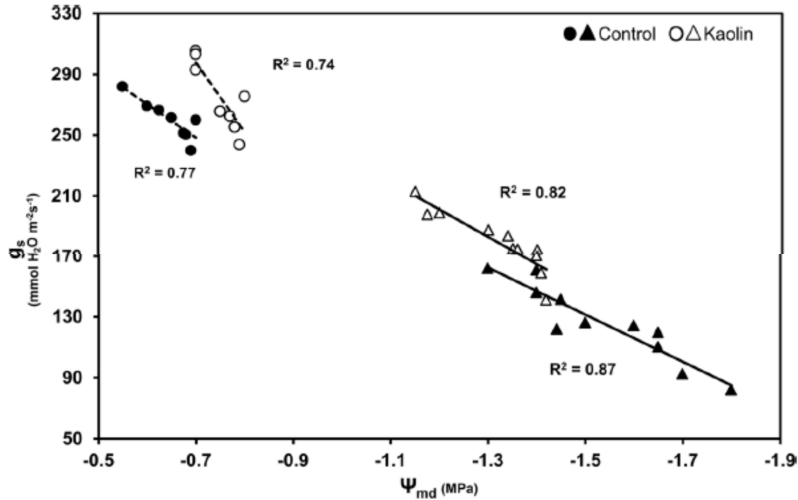


Figura 17. Relazione tra il potenziale fogliare a mezzogiorno ( $\Psi_{md}$ ) e la conduttanza stomatica ( $g_s$ ) calcolati a luglio (cerchi) e agosto (triangoli) nel trattamento con caolino (simboli vuoti) e nel controllo (simboli pieni) (Dinis et al., 2018).

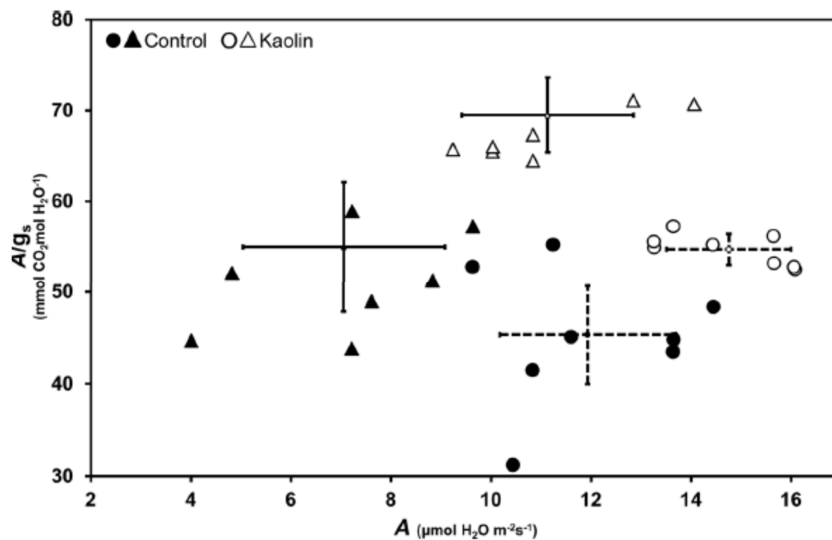


Figura 18. Relazione tra l'assimilazione di  $\text{CO}_2$  ( $A$ ) e l'efficienza d'uso dell'acqua ( $A/g_s$ ), a luglio (cerchi) e agosto (triangoli) nel trattamento con caolino (simboli vuoti) e nel controllo (simboli pieni) (Dinis et al., 2018).

Inoltre, la diminuzione della temperatura della foglia e dei grappoli e la protezione dal vento portavano ad una diminuzione del tasso di traspirazione (Figura 19) nelle piante trattate rispetto al controllo anche a fronte di un aumento della conduttanza stomatica (Frioni et al., 2019). Ciò permetteva quindi il mantenimento del processo fotosintetico e la diminuzione della perdita d'acqua per traspirazione.

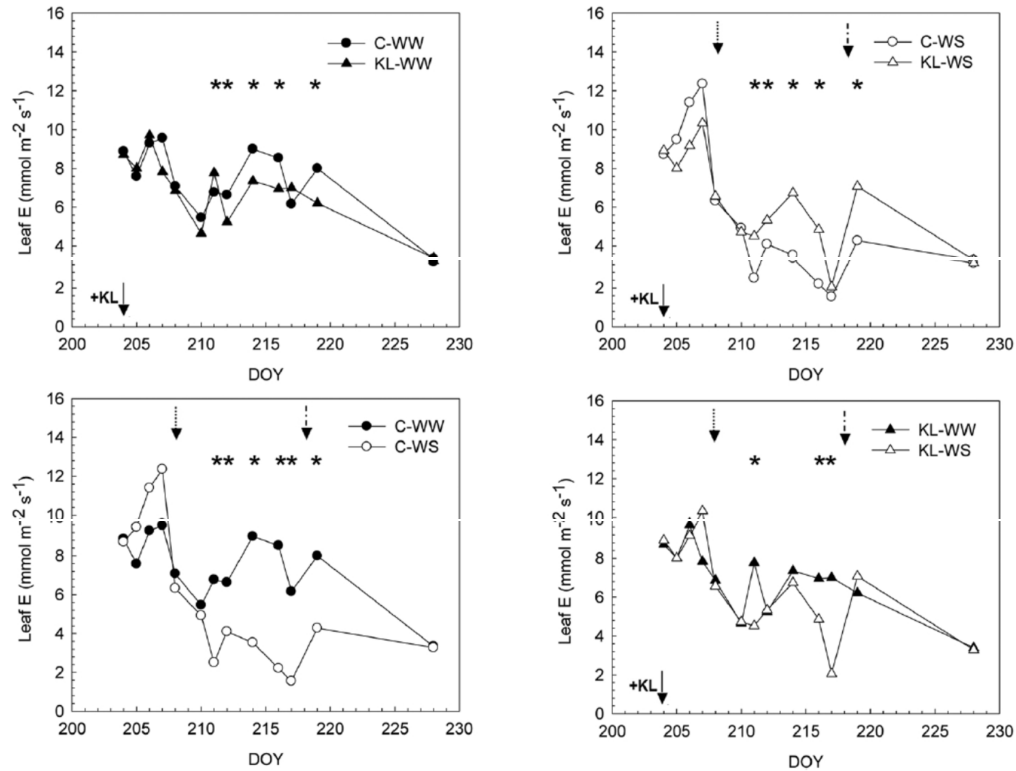


Figura 19. Effetto del trattamento con caolino sulla traspirazione (E) in condizioni di diversa disponibilità idrica e di stress idrico sulla cv. Sangiovese. C-WW= controllo irrigato, KL- WW= trattamento con caolino e irrigazione; C-WS= controllo non irrigato, KL-WS= trattamento con caolino e non irrigato. Gli asterischi indicano le date in cui era stata osservata una significativa differenza ( $P < 0.05$ ). Le frecce punteggiate indicano l'inizio della diminuzione di acqua nel suolo; le frecce tratteggiate indicano la data di totale reidratazione (Frioni et al., 2019).

Il trattamento con caolino, quindi, risulta essere una strategia ideale nelle regioni a clima caldo e secco. Infatti, dallo studio di Frioni et al., (2019), gli effetti positivi indotti dal trattamento con caolino erano visibili principalmente in condizioni di forte stress idrico, mentre nelle viti sottoposte a irrigazione il caolino poteva portare ad effetti opposti, come la diminuzione della fotosintesi e della conduttanza stomatica. Inoltre, è stato dimostrato che il trattamento con caolino contribuiva ad un recupero più rapido delle normali funzionalità della pianta dopo un periodo di stress idrico (Frioni et al., 2019).

L'irrorazione di caolino alla chioma non ha modificato la concentrazione di solidi solubili, acidità totale e il pH (Frioni et al., 2019).

## 5. Esperimento sulla bioirrigazione in condizioni di siccità estrema

Di seguito vengono esposti i principali risultati di un esperimento sulla bioirrigazione realizzato in condizione di siccità estrema. Il Sahel è una zona climatica di transizione tra l'arido deserto del Sahara a nord e la savana a sud, dove un terzo dei 20,2 milioni di abitanti affronta insicurezza alimentare ed economica. La maggior parte della popolazione è impiegata in agricoltura, che per il 97% è interessata da suoli non irrigati e con bassa fertilità (Calzadilla et al., 2013). Le precipitazioni sono scarse e imprevedibili e frequenti fenomeni di siccità comportano rese scarse o perdite del raccolto (Terrasson et al., 2009). Pertanto, l'acqua è il fattore più importante che gli agricoltori devono utilizzare in modo efficace per ottimizzare la produttività delle colture.

La tessitura del suolo è sabbiosa (95% di sabbia) e l'esperimento è stato eseguito durante la stagione secca.

La redistribuzione idraulica (HR) da parte della vegetazione legnosa è stata proposta come una potenziale fonte d'acqua per le colture nei sistemi consociati. L'arbusto legnoso autoctono, *Guiera senegalensis* che cresce nei campi in tutto il Sahel ha mostrato profondi benefici in termini di resa per le piante associate di miglio perlato (*Pennisetum glaucum*) (Bogie et al., 2018). È stato studiato se tale beneficio fosse riconducibile all'acqua assorbita dall'arbusto, trasmessa al miglio attraverso il fenomeno della redistribuzione idraulica.

Durante un periodo di stress idrico si è applicata sperimentalmente acqua arricchita di deuterio (2H), somministrata a radici profonde 1 m di arbusti di *Guiera senegalensis*, è stata riscontrata dopo 12-96 h in piante di miglio. La produzione di biomassa di miglio in consociazione con arbusti è stata superiore di oltre il 900% rispetto alle colture coltivate senza la presenza di arbusti (Bogie et al., 2018). Questa scoperta mette in luce la redistribuzione idraulica come un meccanismo importante in un sistema agroforestale di successo in una regione in cui la sicurezza alimentare e lo stress idrico sono un problema serio.

## **6. Scopo della tesi**

La gestione del suolo in viticoltura si è evoluta fino a diventare uno strumento chiave per incrementare la sostenibilità dell'ecosistema vigneto e dei comprensori viticoli.

Attraverso l'elaborato finale sono state approfondite le conoscenze sugli esperimenti di gestione agroecologica nel suolo in sistemi viticoli considerando i possibili benefici che le consociazioni con trifoglio brachicalicino (*Trifolium brachycalycinum*) lungo il filare e sulla (*Hedysarum coronarium*) nell'interfilare possono apportare alla tolleranza allo stress idrico della vite.

Il lavoro si è svolto nell'ambito delle ricerche sullo sviluppo e sulla disseminazione di strategie e sistemi agroecologici in corso presso l'Università di Bologna.

## 7. Agroecologia

L'agroecologia è una scienza multidisciplinare che utilizza concetti e principi ecologici per la progettazione e la gestione di agroecosistemi sostenibili nei quali gli input esterni, in particolare l'utilizzo di prodotti chimici di sintesi, sono sostituiti da processi naturali basati sulla fertilità del suolo e il controllo biologico di patogeni e parassiti.

Ad esempio, i sistemi-agroforestali o le consociazioni erbacee di alberi con colture sono considerati sistemi agrari in grado di contrastare il cambiamento climatico (Dinesh et al., 2017).

I principi agroecologici per la progettazione di sistemi agricoli biodiversi, efficienti dal punto di vista energetico, rispettosi dell'ambiente e resilienti sono numerosi (Gliessman, 1998):

- ✓ migliorare il riciclo di biomasse, con l'obiettivo di ottimizzare nel tempo la decomposizione della sostanza organica e il ciclo degli elementi nutritivi;
- ✓ rafforzare il "sistema immunitario" dei sistemi agricoli mediante la valorizzazione della biodiversità funzionale (nemici naturali);
- ✓ fornire condizioni del terreno favorevoli alla crescita e allo sviluppo delle piante, in particolare mediante la gestione della sostanza organica e l'incremento dell'attività biologica del suolo;
- ✓ minimizzare le perdite di energia, acqua, sostanze nutritive e risorse genetiche, migliorando conservazione e rigenerazione delle risorse del suolo, acqua e agrobiodiversità;
- ✓ diversificare specie e risorse genetiche presenti nell'agroecosistema nel tempo e nello spazio, a livello del sistema agrario e del paesaggio;
- ✓ incrementare interazioni e sinergie biologiche vantaggiose tra le componenti dell'agrobiodiversità, promuovendo in tal modo processi e servizi ecologici chiave.

Nel perseguire questo obiettivo, l'agroecologia si occupa di diversi aspetti. Uno di questi riguarda le pratiche agricole sostenibili che ottimizzano e stabilizzano i raccolti e migliorano la sostenibilità economica.

La sostenibilità viene conseguita grazie a pratiche che si basano su vari processi ecologici e servizi ecosistemici, come il ciclo dei nutrienti, la fissazione biologica dell'azoto, la regolazione naturale dei parassiti, la conservazione del suolo e delle acque, la conservazione della biodiversità e il sequestro del carbonio (Wezel et al., 2014).

Alcuni sistemi agroecologici sono noti sin dall'antichità, ne è un esempio, in Italia, l'alberata (Figura 20), cioè la consociazione fra vite e altre specie arboree. Gli alberi maggiormente utilizzati come tutori per la vite possono essere di diverse specie, a seconda delle condizioni ambientali, primo tra tutti l'acero, che non entra in competizione con la vite, poi salici e pioppi nelle aree con terreni freschi, orniello dove



le condizioni sono più siccitose, il gelso, soprattutto quello bianco e il noce. Possono essere utilizzati anche alberi da frutto, solitamente ubicati all'inizio e alla fine del filare per rendere più agevole la raccolta dei frutti. Gli alberi devono essere costantemente potati per favorire l'esposizione alla luce e all'aria delle viti.



Figura 20. Alberata.

L'applicazione dei principi dell'agrosilvicoltura alla coltivazione della vite potrebbe offrire diversi vantaggi, in particolare attraverso servizi ecosistemici, come il miglioramento della biodiversità, lo stoccaggio del carbonio, la mitigazione degli eccessi climatici, la produzione di legname.

Esistono diversi tipi di applicazione: filari di alberi intercalati tra filari di viti, siepi di arbusti che delimitano un appezzamento o intercalati tra isolotti di viti, alberi isolati piantati all'interno dei filari di viti.

La competizione tra alberi e viti deve essere presa in considerazione. Questa competizione riguarda l'acqua, le sostanze nutritive, la luce.

La consociazione tra alberi e viti comporta forti cambiamenti del microclima:

- L'ombra degli alberi ha un effetto sulla radiazione intercettata dalla vite. Questo ha un impatto soprattutto sulla prima o sulle prime 2 file a nord del filare di alberi (Grimaldi et al., 2016).

- Gli alberi cambiano anche la circolazione dell'aria: la riduzione della turbolenza su una distanza da 2 a 4 volte l'altezza dell'albero nell'asse dei venti prevalenti. La presenza di alberi isolati, in particolare quando sono spogli alla base, può contribuire ad aumentare i flussi turbolenti e portare a una diminuzione dei picchi di temperatura estiva, e una riduzione della durata della bagnatura fogliare (Grimaldi et al., 2016).
- Modifica del ciclo dell'acqua nelle vicinanze: si verifica un recupero delle risorse idriche profonde verso l'atmosfera, con conseguente aumento dell'umidità relativa e raffreddamento dell'aria. L'acqua è intrappolata dalla condensazione dell'umidità (rugiada) e la pioggia viene intercettata. (Bellassen et al., 2019).

Le ricerche sullo sviluppo di sistemi agroforestali per la coltivazione della vite mirano a mitigare gli impatti del cambiamento climatico, migliorando le caratteristiche qualitative delle uve e del vino, controllando gli stress abiotici (idrico, termico) e biotici (fitopatie) con metodi a basso impatto e riducendo, così, il ricorso a fitofarmaci.

### **7.1. Descrizione dei siti sperimentali Fari Agroecologici**

L'approfondimento delle conoscenze sulle strategie agroecologiche è stato realizzato in quattro Fari Agroecologici dell'Emilia Romagna, vigneti nei quali sono stati implementati strategie agroecologiche. Nello specifico, gli esperimenti sono stati condotti in quattro vigneti: presso la Tenuta del Monsignore a San Giovanni in Marignano, nel riminese; presso la Tenuta Massellina a Castel Bolognese, nel ravennate, presso la Cantina Bulzaga a Brisighella, sempre nel ravennate e presso Corte d'Aibo a Monteveglio, nel bolognese.

#### **7.1.1 Tenuta del Monsignore, San Giovanni in Marignano (RN)**

La Tenuta del Monsignore dei F.lli Bacchini con centro aziendale situato a San Giovanni in Marignano, (RN) si estende su di una superficie di circa 135 ettari, di cui circa 85 vitati e 13 oliveti. Il vigneto della prova sperimentale, avviata a Ottobre 2020, è localizzato nel comune di Saludecio, (RN), (43.909218, 12.711809) che si trova nella parte sud-est della Valconca.

Il vigneto costituito da piante della cultivar Sangiovese è stato realizzato nel 1987 e le viti sono allevate a cordone libero, con un'altezza del cordone di 160 cm, con una distanza interfilare di 2,5 m e una distanza tra i ceppi di 1 m, cui corrisponde una densità d'impianto di 4000 piante per ettaro. La resa è di 100-110 quintali per ettaro (Figura 21).

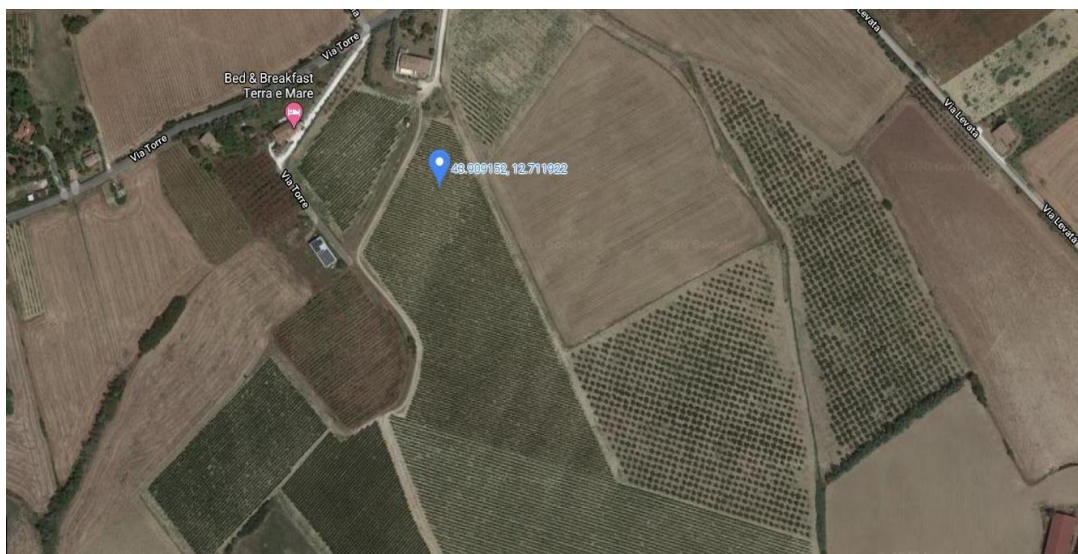


Figura 21. Visione satellitare del vigneto Tenuta del Monsignore, Saludecio (RN).

Nel vigneto sono stati condotti due esperimenti: uno sulle modalità e l'altro sull'epoca di semina del trifoglio brachicalicino. In entrambi gli esperimenti è stato adottato un disegno sperimentale a blocchi randomizzati. Nell'esperimento sulle modalità di semina, sono stati confrontati quattro trattamenti:

- 1) Controllo, non è stata effettuata alcuna operazione di semina.
- 2) Tradizionale, semina su suolo lavorato superficialmente.
- 3) Fukuoka, semina su sodo di semi ricoperti di argilla.
- 4) Paglia, semina su sodo e successiva copertura del suolo con paglia.

### **7.1.2 Tenuta Massellina, Castel Bolognese (RA)**

La prova sperimentale è stata condotta presso l'Azienda Agricola Tenuta Masselina in località Serra, Castel Bolognese (RA), latitudine 44°31' e longitudine 11°76', la quale possiede un'estensione di 22 ha di cui 16 vitati.

L'esperimento è stato eseguito in una porzione del vigneto avente un'estensione di 1 ettaro ubicata sui primi rilievi collinari a sud della via Emilia, nelle campagne di Castel Bolognese (RA), con i filari orientati in direzione Nord-Est/Sud-Ovest. Il paesaggio in cui ricade la Tenuta Masselina è tipico del margine appenninico, in ambiente di paleoconoidi al passaggio con la fascia collinare.

Il terreno è stato suddiviso in due appezzamenti, contenenti 6 filari e 6 interfilari ciascuno: uno di controllo (C) e l'altro innovativo, definito Agroecologico (AE) (Figura 22).



Figura 22. Visione satellitare della Tenuta Masselina, Castel Bolognese, RA, località Serra. In rosso l'area del vigneto di interesse. Il rettangolo a sinistra indica l'appezzamento Agroecologico (AE); quello a destra l'appezzamento di controllo (C).

La geomorfologia è rappresentata da estese superfici ondulate e di pendenza moderata di terrazzo o di versante impostate su sabbie pleistoceniche o argille plioceniche.

Il vigneto in esame è costituito da piante della cultivar Sangiovese (clone VCR 106), innestate su portinnesto 110 Richter e allevate a cordone speronato, con sesto di impianto 2,30 m x 0,7 m e un'altezza del cordone da terra di 80 cm. Il vigneto, impiantato nel 2011, ha così una densità di impianto di circa 6200 piante/ha.

### **7.1.3 Cantina Bulzaga, Brisighella (RA)**

Presso l'azienda vitivinicola del Sig. Alessandro Bulzaga, Cantina Bulzaga, situata a Brisighella è stata condotta una prova sperimentale durante il periodo Ottobre 2020 – Novembre 2021.

L'azienda nasce nel 2009 e conta circa 50 ha di cui 6 ha di vigneti e i restanti sono utilizzati a frutteti, oliveti e seminativo. L'azienda presenta numerosi vitigni come Sangiovese, Albana, Trebbiano, Famoso, Centesimino, Alicante, Ciliegio, Malbo Gentile e Malvasia. I vigneti sono situati nelle prime colline Brisighellesi a circa 200 metri s.l.m., proprio ai piedi delle formazioni calanchive che caratterizzano l'area (Figura 23) e dove viene coltivato anche il famoso carciofo Moretto di Brisighella.



Figura 23. Visione paesaggistica dei vigneti dell'azienda Cantina Bulzaga, Brisighella (RA), Ottobre 2020.

L'esperimento è stato condotto in un giovane vigneto di Grechetto Gentile, in fase di allevamento, realizzato nel 2019, con un sesto d'impianto di 2,90 m x 1 m. Per la difesa fitosanitaria sono stati effettuati cinque trattamenti con rame e zolfo e un trattamento, a Ottobre, a base di rame.

#### **7.1.4 Corte d'Aibo, Monteveglio (BO)**

Il nucleo rurale sorge sulle pendici occidentali di Monte Morello, colle che si erge sulla pianura tra Bazzano e Monteveglio all'interno del Parco Regionale dell'Abbazia di Monteveglio. Al centro spicca l'edificio più antico in pietra, a pianta irregolare, che tra corpi di diverse epoche ingloba i resti di una torre medievale (Figura 24).

L'azienda ha una superficie di 35 ettari ed è condotta con il metodo di coltivazione biologico.

L'esperimento sarà condotto in un giovane vigneto (portinnesto 1103 Paulsen, sesto d'impianto 1 x 3,10 m) e prevede la consociazione di due specie leguminose, sulla (*Hedysarum coronarium*) e trifoglio brachicalicino (*Trifolium brachycalycinum*).

L'esperimento prevede di confrontare la gestione del filare mediante lavorazione con la consociazione con trifoglio brachicalicino, all'interno di un disegno sperimentale a blocchi randomizzati e in ciascun interfilare è prevista la semina di sulla.



Figura 24. Complesso di 35 ettari in cui si estende Corte d'Aibo.

## 7.2. Scelte di semina

Le scelte relative alla semina in questi quattro Fari Agroecologici sono state pressoché simili (metodo tradizionale) utilizzando semi di trifoglio brachicalicino (*Trifolium brachycalycinum*) nel sottofila e semi di sulla (*Hedysarum coronarium*) nell'interfila. Nell'azienda Tenuta del Monsignore sono state confrontate diverse modalità di semina per il trifoglio brachicalicino.

Negli appezzamenti sono stati effettuati inerbimenti con trifoglio brachicalicino nel sottofila utilizzando circa dai 3 ai 10 g/m<sup>2</sup> di semi, e sulla nell'interfila, con 3-6 g/m<sup>2</sup> di semi (Figura 25).

Poco prima della semina è stato effettuato l'assullamento cioè ai semi di sulla è stato aggiunto lo specifico rizobio (*Rhizobium sullae*).

Venendo a contatto con le radici delle piantine di sulla, i rizobi le infettano formando noduli radicali e instaurando una simbiosi. All'interno dei noduli, i rizobi convertono l'azoto atmosferico in ammoniaca, la quale, successivamente, viene impiegata dalla pianta come fonte azotata.

La scelta delle sementi è stata effettuata in relazione alle condizioni pedo-climatiche, considerando le loro esigenze idriche e nutrizionali, i rapporti di consociazione tra le specie e le velocità d'insediamento.



Figura 25. Vigneto in cui si è svolto l'esperimento, Cantina Bulzaga, Brisighella (RA).

Trovandoci in presenza di un suolo molto pesante e quindi difficile da lavorare, si è scelto di intervenire con una semina manuale e la scelta delle essenze è stata effettuata in base alle condizioni pedo-climatiche e aziendali.

Il trifoglio brachicalicino, leguminosa annuale, è stato scelto sia per il suo apporto di sostanza organica e azoto, sia perché è risultato efficace nel contenere il fenomeno delle crepacciature, piuttosto frequenti in questo tipo di suoli (Poggioli, 2020).

Inoltre il trifoglio forma una copertura vegetale di lunga durata, superando le estati siccitose delle aree con consistenti depositi di semi nel terreno, che germinano in autunno con le condizioni favorevoli.

La sulla (Figura 26) leguminosa perenne, è stata adottata soprattutto per l'apporto di azoto e per la sua ottima capacità di radicazione, essendo dotata di radici molto robuste che si sviluppano in profondità, consentendoli di migliorare la struttura del suolo. Unica tra le leguminose nella sua capacità di penetrare e crescere anche nei terreni argillosi e di pessima tessitura, come i terreni pliocenico-argillosi.



Figura 26. Semi di sulla prima della semina a Corte d'Aibo, Ottobre 2021.

La sulla è una pianta preziosissima per migliorare, stabilizzare e ridurre l'erosione, le argille anomale e compatte dei calanchi e delle crete. Inoltre, come per molte altre leguminose, i residui della sulla sono particolarmente adatti a migliorare la struttura del suolo e la sua fertilità, specialmente per quanto riguarda l'azoto.

Presso l'azienda Tenuta del Monsignore, oltre alla semina tradizionale sono state adottate altre modalità di semina.

Le essenze selezionate per l'inerbimento dei filari e dei relativi interfilari sono state seminate usando tre modalità differenti di semina: tradizionale, metodo Fukuoka e copertura con paglia.

Nel caso della semina mediante metodo tradizionale, è stato preparato il letto di semina attraverso zappatura e successivo livellamento del suolo mediante rastrello.

Il metodo Fukuoka prende il nome da Masanobu Fukuoka, ideatore dell'agricoltura naturale, conosciuta anche come "l'agricoltura del non-fare", che mira a riprodurre per quanto più sia possibile le condizioni



naturali, limitando al massimo l'intervento dell'uomo (Fukuoka e Pucci, 1983). La tecnica di semina che ne deriva si basa sulla copertura dei semi con dell'argilla che li proteggerà fino alla germinazione.



Figura 27. Letto di semina nel sottofila sottoposto a semina con metodo tradizionale. Tenuta del Monsignore, Saludecio (RN). Ottobre 2020.

Le parcelle sperimentali in cui il trifoglio brachicalicino è stato seminato con le altre due modalità, sono state sottoposte a scerbatura (rimozione manuale delle piante infestanti). Il seme è stato distribuito a spaglio, in una porzione di suolo larga 60 cm. Soltanto nelle parcelle in cui è stato adottato il metodo tradizionale, il seme è stato interrato leggermente con l'ausilio del rastrello.

Nelle parcelle del trattamento "Paglia", dopo la semina, il suolo è stato ricoperto con paglia (Figura 28), la quale è stata successivamente sottoposta a leggera bagnatura manuale, al fine di favorire la germinazione.



Figura 28. Copertura del suolo con paglia dopo la semina. Tenuta del Monsignore, Saludecio (RN). (Raoul Terenzi, Ottobre 2020).

## 8. RISULTATI E DISCUSSIONE

Questo studio ha messo in luce i diversi benefici generati dalla gestione agroecologica del vigneto, al fine del raggiungimento del benessere generale dell'agroecosistema.

Le attività realizzate nei quattro Fari Agroecologici hanno consentito di evidenziare le potenzialità delle strategie di gestione del suolo adottate in relazione alle diverse condizioni pedoclimatiche.

La creazione di un cotico erboso, incentrato sulla biodiversità funzionale, è fondamentale nelle condizioni riscontrate nei vigneti oggetto di studio.

In questi comprensori viticoli il suolo è frequentemente soggetto a erosione idrica, con conseguente impoverimento del contenuto di sostanza organica, con creazione di avvallamenti e frane.

Nei vigneti, la tecnica dell'inerbimento consente di incrementare il contenuto di sostanza organica (Garcia-Diaz et al., 2018) e di prevenire la perdita di suolo (Capello et al., 2019).

I dati ottenuti nei Fari Agroecologici indicano che la presenza del trifoglio è in grado di ridurre sensibilmente la percentuale di crepacciature (Poggioli, 2020). Questo effetto risulta agronomicamente importante perché riduce le perdite per evaporazione e preserva l'integrità degli apparati radicali, i quali a causa delle crepacciature possono essere soggetti a stress meccanici fino alla rottura.

Le radici di trifoglio sotterraneo rilasciano nel suolo, essudati contenenti acidi organici, aminoacidi e flavonoidi che influenzano i microrganismi presenti e la disponibilità di nutrienti (Contreras et al., 2019).

A seguito del disseccamento del trifoglio brachicalicino si è prodotto uno strato pacciamante (Poggioli, 2020) (Figura 29), il quale ha permesso di rallentare il deflusso delle acque formando una barriera al loro scorrimento, responsabile delle erosioni laminari, consentendo anche una maggiore infiltrazione dell'acqua meteorica nel terreno.



Figura 29. Disseccamento del trifoglio brachicalicino.

I benefici apportati dal trifoglio al suolo, sono stati riscontrati anche sulle viti, in particolare sullo stato idrico e sulla produzione (Poggioli et al., 2020).

La produttività delle viti consociate con trifoglio è risultata più elevata rispetto a quella delle viti di controllo (Rombolà, p.c) (Figura 30).



Figura 30. Piantine di sulla nell'interfilare. Tenuta del Monsignore, Saludecio (RN), ottobre 2021.

Sugli internodi basali dei germogli si è evidenziato una minore dimensione del diametro dei vasi xilematici, la quale può essere una condizione risultante dall'adattamento ad un moderato stress idrico (Netzer et al., 2019) e una maggior presenza di composti quali amido, lignina e cellulosa (Poggioli et al., 2020).

La germinazione dei semi necessita di adeguate temperature, le piogge, per esempio se si verificassero nei giorni precedenti le semine potrebbero favorire la germinazione.

I dati sperimentali rilevati presso l'Azienda Bulzaga hanno evidenziato un'elevata percentuale di germinazione della sulla (61,1%) (Figura 31), riconducibile all'ottimale preparazione del letto di semina e all'interramento superficiale dei semi (Terenzi, 2020).



Figura 31. Alta percentuale sulla germinata Azienda Bulzaga.

La semina tradizionale del trifoglio brachicalicino, consiste in una lavorazione superficiale seguita dall'interramento dei semi ha fornito risultati soddisfacenti, migliori in termini di germinabilità e crescita delle piante rispetto ad altre strategie.

Nei vigneti che ospitano le ricerche, il suolo è molto pesante, soprattutto nell'azienda Corte d'Aibo, che presenta un suolo estremamente argilloso e in forte pendenza (Figura 32).



Figura 32. Terreno argilloso e in forte pendenza Corte d'Aibo.

Le specie seminate hanno creato una copertura vegetale importante per proteggere la superficie del suolo dall'impatto delle gocce di pioggia, riducendo l'energia del deflusso e stimolando la formazione e la stabilizzazione degli aggregati del suolo.

La consociazione con la sulla, che presenta radici molto profonde ha l'obiettivo di creare un complesso radicale in grado di trattenere il terreno ed evitare gli smottamenti, di migliorare il contenuto della sostanza organica del suolo.

La semina del trifoglio è avvenuta manualmente evitando l'intervento di mezzi agricoli che, oltre a l'emissione di gas serra, avrebbero compattato ulteriormente il suolo, peggiorandone lo stato.

Per limitare l'utilizzo di mezzi agricoli in queste tipologie di suolo si potrebbe attuare la possibilità di impiegare animali in sostituzione alle trattrici, ad esempio le pecore al pascolo potrebbero con i loro zoccoli interrare i nuovi semi appositamente distribuiti sul suolo.

## 9. CONCLUSIONI

La ricerca per lo sviluppo di strategie agronomiche in grado di contrastare il cambiamento climatico nei sistemi viticoli rappresenta una priorità del settore produttivo e della formazione.

Il lavoro di tesi ha approfondito le conoscenze su esperimenti di gestione agroecologica nel suolo in sistemi viticoli con trifoglio brachicalicino lungo il filare e sulla nell'interfilare.

La consociazione con trifoglio brachicalicino, leguminosa annuale autoriseminante che disseca nel periodo estivo, ha migliorato lo stato idrico del suolo e delle viti, incrementato sensibilmente le rese produttive e ridotto le anomalie di maturazione in annate caratterizzate da marcata siccità estiva.

L'introduzione della sulla, leguminosa perenne dotata di apparato radicale fittonante in grado di esplorare gli strati profondi del suolo, può migliorare ulteriormente la tolleranza delle viti alla siccità, anche attraverso il fenomeno della redistribuzione idraulica.

Le strategie agroecologiche in grado di contenere gli effetti e contrastare le cause del cambiamento climatico nei sistemi viticoli implicano una maggior conoscenza della biodiversità, non soltanto di quella viticola, attraverso la ricerca scientifica, il sapere rurale, il pensiero sistemico.

## BIBLIOGRAFIA

**Bellassen V., Cardinael R., Mézière D., et al. (2019).** *Développer l'agroforesterie dans les parcelles cultivées*. In: Le potentiel de l'agriculture et de la forêt françaises en vue de l'objectif d'un stockage de carbone dans les sols à hauteur de 4 pour mille. (Coord. S. Pellerin), INRA, p. 117.

**Bernardo S, Dinis L-T., Machado N., Moutinho-Pereira J. (2018).** *Grapevine abiotic stress assessment and search for sustainable adaptation strategies in Mediterranean-like climates. A review*. *Agronomy for Sustainable Development*, 66, pp. 38-66.

**Bogie N.A., Bayala R., Diedhiou I., Conklin M.H., Fogel M.L., Dick R.P., Ghezzehei T.A., (2018).** *Hydraulic Redistribution by Native Sahelian Shrubs: Biorrigation to Resist In-Season Drought*. *Frontiers in Environmental Science*, 6, pp. 1-12.

**Calzadilla, A., Zhu, T., Rehdanz, K., Tol, R. S. J., and Ringler, C. (2013).** *Economy- wide impacts of climate change on agriculture in Sub-Saharan Africa*. *Ecol. Econom*, 93, pp. 150-165.

**Capello G., Biddoccu M., Ferraris S., Cavallo E. (2019).** *Effects of Tractor Passes on Hydrological and Soil Erosion Processes in Tilled and Grassed Vineyards*. *Water*, 11, pp. 2118-2142.

**Castellarin S.D., Bucchetti B., Falginella L., Peterlunger E. (2011).** *Influenza del deficit idrico sulla qualità delle uve: aspetti fisiologici e molecolari*. *Review n.14 – Italus Hortus*, 18,2, pp. 63-79.

**Charrier G., Delzon S., Domec J. C., Zhang L., Delmas, C. E., Mer- lin I., ... & Prieto, J. A. (2018).** *Drought will not leave your glass empty: Low risk of hydraulic failure revealed by long-term drought observations in world's top wine regions*. *Science advances*, 4, pp. 1-9.

**Contreras F., Díaz J., de la Luz Mora M., Rombolà A.D. (2019).** *Prospecting intercropping between subterranean clover and grapevine as potential strategy for improving grapevine performance*. *Current Plant Biology*, 19, 100110, pp. 1-7.

**De Bei R., Wang X., Papagiannis L., Cocco M., O'Brein P., Zito M., Ouyang J., Fuentes S., Giliham M., Tyerman S., Collins C. (2019).** *Does Postveraison leaf removal delay ripening in Semillon and Shiraz in hot australian climate?* *American Journal of Enology and Viticulture*, 70, pp. 398-410.



**Dinesh D, Campbell B, Bonilla-Findji O, Richards M. (2017).** *10 best bet innovations for adaptation in agriculture. A supplement to the UNFCCC NAP Technical Guidelines.* (Working paper No. 215), CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAS). <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/89192/CCAFSWP215.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

**Dinis L.T., Bernardo S., Luzio A., Pinto G., Meijón M., Pintó-Marijuan M., Cotado A., Correia C., Moutinho-Pereira J. (2018).** *Kaolin modulates ABA and IAA dynamics and physiology of grapevine under Mediterranean summer stress.* *Journal of Plant Physiology*, 220, pp. 181-192.

**Fregoni, M. (2013).** *Viticultura di qualità: trattato dell'eccellenza da terroir.* Tecniche nuove, p. 14.

**Frioni T., Saracino S., Squeri C., Tombesi S., Palliotti A., Sabbatini P., Magnanini E., Poni S. (2019).** *Understanding kaolin effects on grapevine leaf and whole canopy physiology during water stress and re-watering.* *Journal of Plant Physiology*, 242, p. 242.

**Fukuoka M., Pucci G. (1983).** *La rivoluzione del filo di paglia: un'introduzione all'agricoltura naturale.* Libreria editrice fiorentina, Firenze, pp. 1-140.

**Fouquet R., Leon C., Ollat N., Barrieu F. (2008).** *Identification of grapevine aquaporins and expression analysis in developing berries.* *Plant Cell Reports*, 27, pp. 1541-1550.

**Gambetta, G. A., Herrera, J. C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U., & Castellarin, S. D. (2020).** *The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance.* *Journal of experimental botany*, 71, pp. 4658–4676.

**Garcia-Diaz A., Marques M.J., Sastre B., Bienes R. (2018).** *Labile and stable soil organic carbon and physical improvements using groundcovers in vineyards from central Spain.* *Science of The Total Environment*, 621, pp. 387-397.

**Gatti M., Pirez F.J., Chiari G., Tombesi S., Palliotti A., Merli M.C., Poni S. (2016).** *Phenology, canopy aging and seasonal carbon balance as related to delayed winter pruning of Vitis vinifera L. cv. Sangiovese grapevines.* *Frontiers in Environmental Science*, 7, pp. 1-14.

**Gliessman, S.R. (1998).** *Agroecology: ecological process in sustainable agriculture*. Ann Arbor Press, Michigan, 78, pp. 3-14.

**Grimaldi, Juliettz and Fieuzal, Rémy and Pelletier, Charlotte and Bustillo, Vincent and Houet, Thomas and Sheeren. (2016).** *Microclimate patterns in an agroforestry intercropped vineyard: First results*. In: 3ème congrès européen de Montpellier (France), pp. 191-194.

**Kaldenhoff R., Ribas Carbo M., Flexas Sans J., Lovisolo C., Heckwolf M., Uehlein N. (2008).** *Aquaporins and Plant Water Balance*. *Plant, Cell and Environment*, 31, pp. 658-666.

**Kizildeniz T., Pascual I., Irogoyen J.J., Morales F. (2018).** *Using fruit-bearing cuttings of grapevine and temperature gradient greenhouse to evaluate effects of climate change (elevated CO<sub>2</sub> and temperature, and water deficit). Yield and must quality in three consecutive growing season (2013-2015)*. *Agricultural Water Management*, 202, pp. 299-310.

**Lovisolo C., Hartung W., Schubert A. (2002).** *Whole-plant hydraulic conductance and root-to-shoot flow of abscisic acid are independently affected by water stress in grapevines*. *Functional Plant Biology*, 29, pp. 1349-1356.

**Lovisolo C., Perrone I., Carra A., Ferrandino A., Flexas J., Medrano H., Schubert A. (2010).** *Drought-induced change in development and function of grapevine (*Vitis* spp.) organs and in their hydraulic and non-hydraulic interactions at the whole-plant level: a physiological and molecular update*. *Functional Plant Biology*, 37, pp. 98-116.

**Maggioni M. (2021, Settembre 7).** *Meteo Record: Siccità estiva estrema in Emilia-Romagna, una delle più intense della storia*. Meteo Giuliacci. <https://www.meteogiuliacci.it/cronaca/meteo-record-siccità-estiva-estrema-emilia-romagna-una-delle-più-intense-della-storia>.

**Maurel C., Verdoucq L., Luu D-T, Santoni V. (2008).** *Plant aquaporins: membrane channels with multiple integrated functions*. *Annual Review of Plant Biology*, 59, pp. 595-624.

**Netzer Y., Munitza S., Shteina I., Schwartz A. (2019).** *Structural memory in grapevines: Early season water availability affects late season drought stress severity*. *European Journal of Agronomy*, 105, pp. 96-103.

**Ollat, N. et al. (2016).** *Rootstocks as a component of adaptation to environment (capitolo 4)*. In: *Grapevine in a Changing Environment: A Molecular and Ecophysiological Perspective*, Wiley Blackwell, pp. 68–108.

**Palliotti A., Panara F., Silvestroni O., Lanari V., Sabbatini P., Howell G.S., Gatti M., Poni S. (2013).** *Influence of mechanical postveraison leaf removal apical to cluster zone on delay of fruit ripening in Sangiovese (Vitis vinifera L.) grapevines*. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19, pp. 369-377.

**Petrie P.R. Brooke S.J., Moran M.A., Sadras V.O. (2017).** *Pruning after budburst to delay and spread grape maturity*. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23, pp. 378-389.

**Poggioli T. (2020).** *Evidente multiple dei benefici agronomici della gestione agroecologica del vigneto (cv Sangiovese)*. Tesi in Tecnica Viticola. Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Università di Bologna.

**Terenzi R. (2020).** *Transizione agroecologica di fari viticoli*. Tesi in Tecnica Viticola. Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Università di Bologna.

**Terrasson, I., Fisher, M. J., Andah, W., and Lemoalle, J. (2009).** *Yields and water productivity of rain-fed grain crops in the Volta Basin, West Africa*. *Water Intil*, 34, pp. 104-118.

**Tessarini, P., Ingrosso, E., Pezzi, C., Rusin, C., Marodin, F., di Foggia, M., Botelho, R., Boliani, A., Marodin, G., Versari, A., Parpinello, G., Rombolà, A.D. (2013).** *Silicio, alleato in vigneto per migliorare la qualità dell'uva*. *Informatore Agrario*, 27, pp. 47-51.

**Tomás, M., Medrano, H., Pou, A., Escalona, J., Martorell, S., Rib- as-Carbó, M. and Flexas, J. (2012).** *Water-use efficiency in grape- vine cultivars grown under controlled conditions: effects of water stress at the leaf and whole-plant level*. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18, pp. 164-172.

**Tombesi, S., Poni, S. & Palliotti, A. (2016).** *Stress idrico in Vitis vinifera: variabilità delle risposte fisiologiche interspecifiche e loro potenziale sfruttamento nella mitigazione degli effetti de cambiamenti climatici.* Italus Hortus, 23, pp. 45-53.

**Vandeleur R.K., Mayo G., Shelden M.C., Shelden M.C., Gilliam M., Kaiser B.N., Tyerman S.D. (2009).** *The role of plasma membrane intrinsic protein aquaporins in water transport through roots: diurnal and drought stress responses reveal different strategies between isohydric and anisohydric cultivars of grapevine.* Plant Physiology, 149, pp. 445-460.

**Van Leeuwen C., Destrac-Irvine A. (2017).** *Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard.* Oeno one Vine and Wine open access journal, 51, pp. 147-154.

**Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J.F., Ferrer, A., Peigné, J. (2014).** *Agroecological practices for sustainable agriculture. A review.* Agronomy for Sustainable Development, 34, pp. 1-20.