



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dip. AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E  
AMBIENTE**

**Corso di laurea in SCIENZE E TECNOLOGIE VITICOLE ED  
ENOLOGICHE**

**EFFETTI DELL'AMMENDAMENTO DEL SUOLO DI  
VIGNETO CON BIOCHAR SULLA PRODUZIONE  
DELLA E LA QUALITÀ DELL'UVA**

**RELATORE: RENELLA GIANCARLO**

**LAUREANDO: ZAMPESE MARCO**

**MATRICOLA N. 2007857**



## **Indice:**

Abstract.....	pag. 4
<b>La viticoltura: principali caratteristiche agronomiche e ambientali.....</b>	<b>pag. 6</b>
Forme di allevamento della vite.....	pag.6
<b>Principali impatti ambientali del settore vitivinicolo.....</b>	<b>pag. 8</b>
Impatti sul suolo .....	pag. 9
Viticultura di precisione.....	pag. 9
La gestione dell'acqua in vigneto.....	pag. 10
Produzione enologica.....	pag. 12
Caratteri chimici distintivi dei vini.....	pag. 13
<b>Definizione biochar.....</b>	<b>pag. 14</b>
Produzione biochar.....	pag. 14
Normative per l'utilizzo in agricoltura (europa, italia, veneto).....	pag. 15
Normativa Europea.....	pag. 15
Normativa Italiana.....	pag. 16
Il mercato dei crediti di carbonio.....	pag. 17
<b>Utilizzo in vigneto: evidenze sperimentali.....</b>	<b>pag. 18</b>
Tolleranza alla siccità.....	pag. 20
Biochar e qualità dell'uva.....	pag. 24
<b>Conclusioni.....</b>	<b>pag. 26</b>
<b>Letteratura citata.....</b>	<b>pag. 28</b>

## **Abstract**

Il biochar è il sottoprodotto carbonioso del processo di pirolisi di biomasse vegetali per la produzione di bio energia. Il biochar è una sostanza che è possibile utilizzare come ammendante del suolo sia secondo la normativa agricola nazionale sia per la creazione di fertilizzanti e ammendanti ai sensi del Regolamento Comunitario EU 1009/2019. Il biochar aumenta fertilità fisica, chimica e biologica del suolo, in misura tanto maggiore quanto maggiore è il livello di degradazione del suolo. La viticoltura è un settore trainante non solo del settore agro-alimentare ma dell'intera economia nazionale e i mercati vitivinicoli sono in costante ascesa in termini di fatturato e di volumi prodotti. Sebbene la viticoltura moderna abbia significativamente ridotto l'impatto ambientale attraverso la selezione di varietà resistenti e il concomitante minor ricorso ai prodotti di sintesi per la protezione delle piante e a gestioni agronomiche in grado di prevenire la degradazione del suolo, i suoli di vigneto restano tra i più suscettibili alla degradazione a causa delle caratteristiche pedologiche e climatiche delle zone a vocazione vitivinicola. In tal senso, l'utilizzo del biochar soprattutto se ottenuto dalla pirolisi dei residui della gestione della vite può essere una pratica virtuosa che minimizza i rifiuti e promuove la fertilità del suolo. Con la mia tesi ho esaminato le conoscenze sugli effetti del biochar sulla fertilità del suolo, approfondendo in particolare gli effetti sulla ritenzione idrica, che in genere è più alta nei suoli ammendati con biochar rispetto ai suoli non ammendati, anche discutendo i risultati di uno studio condotto dal gruppo di chimica agraria del DAFNAE. Inoltre, nell'ambito della mia tesi rilevo la mancanza di sufficienti informazioni sull'effetto che il biochar può avere sulla qualità dell'uva, che rappresenta il materiale di base per la vinificazione. Concludo affermando che, sebbene non vi siano dubbi sulla capacità del biochar di incrementare la fertilità dei suoli di vigneto e che la pirolisi rappresenti una tecnologia che può abbassare l'impatto complessivo della viticoltura, l'efficacia della tecnica andrà comunque valutata alla luce della qualità dell'uva e dei vini ottenuti dai vigneti ammendati.

## **Abstract**

Biochar is the carbonaceous by-product of the process of plant biomass pyrolysis for bio-energy production. Biochar is a substance that can be used as a soil improver both under national agricultural legislation and for the creation of fertilizers and soil improvers under Community Regulation EU 1009/2019. Biochar increases the physical, chemical, and biological fertility of the soil, to a larger extent in the most degraded soils. Viticulture is a leading sector not only of the agri-food sector but of the entire national economy and wine markets are steadily growing in terms of turnover and volumes produced. Although modern viticulture has significantly reduced the environmental impact through the selection of resistant varieties and the concomitant reduction in the use of synthetic plant protection products and agronomic management to prevent soil degradation, vineyard soils remain among the most susceptible to degradation due to the soil and climate characteristics of wine-growing areas. In this sense, the use of biochar especially if obtained from the pyrolysis of vine management residues can be a virtuous practice that minimizes waste and promotes soil fertility. In my thesis I examined the knowledge on the effects of biochar on soil fertility, in particular, the effects on water retention, which is generally higher in soils amended with biochar than in unamended soils, also discussing the results of a study conducted by the agricultural chemistry group of DAFNAE. In my dissertation I underline that there is a lack of sufficient information on the effects of biochar on the quality of the grapes, which is the basic material for winemaking. I conclude that, although there is no doubt that biochar can increase the fertility of vineyard soils, and that pyrolysis is a technology that can reduce the overall impact of viticulture, the acceptability of this technique will still have to be assessed in the light of the quality of the grapes and wines obtained from the biochar amended vineyards.

## **1.1 La viticoltura: principali caratteristiche agronomiche e ambientali**

La vite è una pianta coltivata in tutti i continenti, particolarmente sensibile alle condizioni climatiche ed atmosferiche, le sue zone di coltivazione sono individuate all'interno di precise fasce climatiche, in termini di latitudine varia dai 30° ai 50° nord e dai 30° ai 40° sud, in quella che viene definita "Wine Belt".

All'interno di questi intervalli di latitudine si realizzano i requisiti minimi che permettono l'allevamento della vite, in termini di temperatura (assenza di gelate primaverili e di caldo estremo in estate), illuminazione buona e livelli di piovosità media, con bassa piovosità in estate e durante l'epoca di maturazione dei grappoli. In Europa e nella zona caucasica, l'intervallo 30-50° nord include a sud la Spagna, la costa nord della Tunisia, l'Italia, la Grecia, il Medio Oriente, Libano e Israele, nel Caucaso l'Armenia, la Georgia e in Asia l'Iran e alcune regioni dell'Uzbekistan, la California e il Messico. A nord la Francia, la Germania e l'Austria. I cambiamenti climatici sono arrivati a permettere coltivazioni vinicole di un certo successo anche nel sud dell'Inghilterra (Galles, Cornovaglia) e a Long Island nello Stato di New York. Le variazioni climatiche influenzano molto le annate vinicole. Nell'emisfero australe le aree a maggior produzione vitivinicola sono il Cile e l'Argentina, il Sud Africa e diverse aree costiere dell'Australia caratterizzate da clima mediterraneo.

In Italia si producono 65 milioni di ettolitri e sono presenti 644 mila ettari di vigneti sparsi in tutte le regioni. Per garantire un prodotto di qualità al cliente finale sono state istituite delle denominazioni che si integrano nel territorio e fungono da collegamento tra le Zone di produzione (regioni e province), i vitigni che vi si coltivano ed i metodi di coltivazione e vinificazione che portano ad ottenere il prodotto finale. Tutti questi aspetti sono definiti nei disciplinari di produzione (spesso molto selettivi e rigorosi), che costituiscono l'ossatura del sistema normativo sul quale si basa il sistema di assicurazione della Qualità per il vino Italiano.

### **Forme di allevamento della vite**

L'Italia è il paese con il maggior numero di forme di allevamento della vite, che si differenziano principalmente in base all'altezza e alla direzione nello spazio dei rami a frutto e alla potatura corta o lunga. La viticoltura moderna punta a massimizzare la produzione sia in termini qualitativi e quantitativi agendo sul sesto d'impianto, sul numero di gemme e sulla superficie fogliare totale. Questi sistemi hanno sì abbassato i costi di gestione rendendo meccanizzabili molte operazioni ma hanno avuto spesso impatti negativi sia sulla fisiologia della vite in termini di sopravvivenza alle avversità biotiche e abiotiche, sia sull'ambiente agrario perché non ha

tenuto conto del legame tra la pianta e l'ambiente ambiente in cui è coltivata, in particolare del clima e del suolo. In ultima analisi, forme di allevamento squilibrate hanno portato anche alla perdita della qualità del vino attesa da una determinata varietà. I principali sistemi di allevamento sono: alberate, alberello, Guyot, capovolto, cordone speronato, Sylvoz, Casarsa, Geneva Double Curtain (GDC), cortina semplice, pergola trentina, tendone, sistema a raggi. Il sistema di allevamento è importante perché modifica il microclima della chioma e l'incidenza delle malattie fungine perché varia l'ombreggiamento del grappolo, andando a ridurre il numero di trattamenti di protezione e a migliorare la produzione. In Veneto ma anche nelle regioni circostanti, i sistemi di allevamento più diffusi sono quelli a controspalliera di tipo Sylvoz, Guyot e Geneva Double Curtain (GDC), sistemi a ridotta espansione che però necessitano di palizzate e fili di contenimento che favoriscono il portamento assurgente della vegetazione. Tali sistemi si sviluppano in verticale, che massimizzano la superficie fogliare esposta al sole e diminuendo l'umidità nella zona del grappolo, prevenendo così l'insorgere di malattie.

Le forme di allevamento più diffuse in Veneto sono il Casarsa, il cordone libero e il GDC, che favoriscono la verticalità, anche se all'apice vegetativo portano a scarsa illuminazione ed elevata umidità possono rendere difficile la gestione delle piante infestanti. La forma di allevamento Guyot è a ridotta espansione, adatta a condizioni ambientali in cui la vite ha uno sviluppo contenuto. Il tronco è alto circa 1 metro e su questo è inserito un capo a frutto di circa 10 gemme, piegato orizzontalmente lungo la direzione del filare, e uno sperone di 1-2 gemme, che ha lo scopo di dare i rinnovi per gli anni successivi. Questa forma di allevamento richiede con pali di sostegno alti almeno 2 m fuori terra e distanti tra loro 5-6-m e in genere 3 fili, uno all'altezza del capo a frutto e gli altri due al di sopra per sostenere la vegetazione dell'anno. Durante la potatura di produzione vengono operati tre tipi di tagli: taglio del passato che elimina la branca di due anni che ha dato origine ai germogli fruttiferi, taglio del presente a una lunghezza di 10 gemme il tralcio emesso sperone e taglio del futuro in cui un altro tralcio emesso dallo sperone viene speronato a 2 gemme e sarà lo sperone che fornirà i tralci per la produzione dell'anno successivo.

Il sistema di allevamento deve tener conto anche dei limiti imposti dai disciplinari di produzione, specialmente dei vini con denominazione protetta. Ad esempio, la resa massima di uva ammessa per la produzione dei vini a denominazione di origine controllata e garantita "Amarone della Valpolicella" non deve essere superiore a 12 tonnellate ad ettaro di vigneto e le uve devono garantire un titolo alcolometrico volumico naturale minimo di 11% vol. Per garantire questo i viticoltori devono mettere in atto delle tecniche come defogliazioni, potature e diradamenti. Le prime si possono attuare in tre diversi periodi:

- in prefioritura, con conseguente aumento della sintesi degli aromi e formazione di grappoli più spargoli,

- in allegazione-invaiaatura per ottenere un aumento dello spessore della buccia,
- tra l'invaiaatura e la vendemmia dell'uva per aumentare gli antociani e prevenire la formazione di botrite.

La potatura consiste nella rimozione di parti come germogli e tralci e può essere effettuata manualmente o meccanicamente per eliminare la competizione tra grappoli e attività vegetativa nelle giovani viti (potatura di allevamento), oppure durante l'invaiaatura per diminuire la quantità di grappoli e aumentare la qualità degli stessi (potatura di produzione).

L'ultima tecnica che si può attuare è il diradamento, nonché la rimozione selettiva del grappolo d'uva, viene definita di allevamento se il grappolo si è appena formato (aumenta la vigoria della vite) o di produzione se rimosso all'invaiaatura (aumento di qualità dell'uva).

## **1.2 Principali impatti ambientali del settore vitivinicolo**

### **Prodotti fitosanitari**

In viticoltura è indispensabile l'uso di prodotti fitosanitari. Per i produttori, le modalità dell'applicazione sono complesse e necessitano la padronanza di tutte le operazioni, dalla scelta del prodotto alla sua applicazione, considerando pure i potenziali rischi per la salute umana e per l'ambiente.

L'origine dell'inquinamento legato a prodotti fitosanitari è stata oggetto di un'inchiesta realizzata da CORPEN (Comitato d'orientamento per la riduzione dell'inquinamento delle acque dai nitrati) e dall'agenzia dell'acqua Seine-Normandie sull'arco di dieci anni, rivelando che più del 75% delle contaminazioni è da imputare a manipolazioni prima (60,7%) e dopo il trattamento (16,6%) e che solamente il 6% delle contaminazioni accidentali diffuse avviene durante i trattamenti. Questi inquinamenti sono dovuti a quattro elementi: i ritorni di poltiglia non utilizzata, i fondi della cisterna, l'acqua di risciacquo delle irroratrici e delle cisterne, come pure l'acqua usata per pulire le parti esterne. Questi inquinamenti accidentali puntuali o cronici non possono essere tollerati e devono, a lungo termine, essere evitati.

Ogni persona che utilizza dei prodotti fitosanitari deve essere titolare di un permesso per i trattamenti. Lo spettro d'azione dei prodotti, la concentrazione (%), rispettivamente la quantità di prodotto (L o kg/ha), il momento dell'intervento, i termini d'attesa le altre limitazioni (condizioni d'uso) indicati sull'etichetta devono essere rispettati. Indossare dispositivi di protezione adeguati durante la preparazione della poltiglia. La quantità di poltiglia deve essere adattata alla superficie da trattare e non può essere preparata in anticipo o per diversi giorni. L'area di preparazione (locale chiuso o riparo esterno) deve permettere di pesare o di misurare il prodotto da aggiungere alla cisterna dell'irroratrice durante il riempimento. Uno spazio per lo stoccaggio degli imballaggi vuoti deve essere disponibile nelle vicinanze. Per le formulazioni

liquide, risciacquare due o tre volte i bidoni di plastica e versare il liquido di risciacquo nella cisterna dell'irroratrice.

### **Impatti sul suolo**

In viticoltura, prendersi cura del suolo è indispensabile per una buona gestione del vigneto e per una buona produzione. Il suolo è uno dei principali elementi del terroir. Interagisce con il ceppo e influisce sulla quantità e la qualità delle uve. È importante salvaguardare le sue proprietà intrinseche e tenere sotto controllo la flora spontanea quando si sviluppa a scapito della vigna.

Gli effetti della viticoltura sul suolo sono stati descritti anche per la biodiversità. Uno studio pubblicato da Holland et al. (2016) ha evidenziato come campioni di suolo prelevati da quindici vigneti avevano una biodiversità batterica e fungina molto inferiore a quella di suoli prelevati da ambienti circostanti non coltivati, confermando che la viticoltura incide sui fattori ambientali chiave che controllano la biodiversità microbica del suolo quali la concentrazione e la biodisponibilità dei nutrienti e la presenza di pesticidi e ai trattamenti erbicidi. Inoltre suolo è continuamente soggetto ad erosione; fenomeno naturale che avviene ovunque, anche negli ambienti a bassa piovosità, diventa drammatico nei terreni collinari caratterizzati da suoli di medio impasto tendenti al sabbioso, in particolare se abitualmente sottoposti a lavorazioni. Ciò si traduce in un continuo asporto di terra dalla cima delle colline, verso valle.

### **Viticultura di precisione**

Per ottenere un vino equilibrato e armonico è molto importante avere dell'uva sana e di qualità, a volte però anche aziende medio-piccole con pochi ettari faticano ad ottenere determinati risultati. Fortunatamente in questi ultimi anni a pari passo con l'avanzamento tecnologico si è creata la viticoltura di precisione, ossia una viticoltura che permette grazie a nuove tecnologie di monitorare le risposte vegeto produttive delle singole piante. Così sapendo quale porzione deve essere irrigata o defogliata, o quale appezzamento ha sofferto di più la siccità. Per ottenere le informazioni necessarie al monitoraggio ci si avvale di sofisticate e moderne tecnologie tra cui GPS, software per gestione delle informazioni come GIS e i sensori (principalmente ottici) che catturano le informazioni.

Queste tecnologie di remote sensing si basano sull'interpretazione dello spettro luminoso riflesso dalle superfici delle piante e del suolo mediante sensori iperspettrali posizionati su satelliti, velivoli pilotati o droni. Al contrario, gli strumenti di proximal sensing come sistemi ottici, scansioni laser e acquisizioni ad ultrasuoni permettono il monitoraggio a distanza ravvicinata o a contatto con le superfici delle foglie. Indipendentemente dalla tecnica utilizzata

i sensori sono in grado di catturare dati sulla superficie delle piante a varie lunghezze d'onda, attraverso dei calcoli matematici queste informazioni vengono poi rielaborate al fine di ottenere degli indici in grado di descrivere lo stato fisiologico della vegetazione. L'indice più comune è NDVI; descrive il livello di vigoria della coltura e si calcola come il rapporto tra la differenza e la somma delle radiazioni riflesse nel vicino infrarosso e nel rosso, ossia come  $(NIR-RED)/(NIR+RED)$ . Valori bassi di questo indice rispecchia zone con poca o nulla copertura vegetale, viceversa valori alti indicano una situazione di forte attività fotosintetica.

Sulla base delle informazioni ottenute il tecnico sarà in grado di tenere conto dei diversi fabbisogni per le singole porzioni di ogni appezzamento.

I vantaggi maggiori si hanno nelle operazioni che riguardano la gestione del vigneto; migliorandola gestione delle risorse naturali, dei quantitativi e delle tempistiche di applicazione dei fitofarmaci, fertilizzanti, acqua e diminuendo allo stesso tempo l'impatto ambientale delle pratiche viticole. Si può anche notare la varia maturazione dell'uva e quindi vendemmiare in modo mirato migliorando la qualità delle uve.

### **La gestione dell'acqua in vigneto**

Per gli scopi della mia tesi, un particolare riguardo è riservato alla gestione dell'acqua in viticoltura. L'irrigazione del vigneto sta diventando una pratica sempre più importante per garantire un'adeguata produttività della vite sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo. È verosimile che nel medio termine tale pratica aumenti di rilevanza a causa dei cambiamenti climatici. La gestione dell'acqua in vigneto è operata principalmente come irrigazione di soccorso ma per realizzarla in maniera opportuna è importante conoscere il reale fabbisogno della vite poiché la vite è una specie capace di sopportare lo stress idrico, al punto che in Italia, ancora oggi alcuni disciplinari di produzione vietano l'irrigazione. Questa usanza deriva dal fatto che l'irrigazione aumenta le produzioni a scapito della qualità delle uve. Comunque, a causa dei cambiamenti climatici che comportano la concentrazione delle precipitazioni in periodi brevi intervallati da periodi asciutti anche prolungati, l'irrigazione sta diventando una necessità per garantire una buona produttività dei vigneti e qualità delle uve. I principali fattori che influiscono sulla perdita di acqua sono in un vigneto sono l'irraggiamento solare e la ventosità che aumentano l'evapotraspirazione fogliare, l'umidità relativa dell'aria, le dimensioni della chioma per la quale si stima un consumo idrico medio giornaliero di 1 m<sup>2</sup> di superficie fogliare sia di 1-1.5 litri giorno<sup>-1</sup>, il sistema di allevamento, l'esposizione e l'inclinazione. Un fattore che ha assunto crescente interesse negli ultimi decenni è l'inerbimento del suolo che riduce la perdita di acqua dal vigneto ed è pertanto incentivato anche da finanziamenti pubblici. Stress idrici moderati nelle fasi successive l'allegagione provocano un aumento della concentrazione di zuccheri nelle bacche causato dalla loro

disidratazione e all'accumulo di composti polifenolici e aromatici, che conferiscono importanti note nella fase di vinificazione. Inoltre, un moderato stress idrico contiene la vigoria delle viti facilitando la gestione. Al contrario, sebbene la vite possa crescere bene anche in ambienti con scarse precipitazioni perché in grado di sviluppare un apparato radicale plastico che può raggiungere notevoli profondità per l'assorbimento dell'acqua, una carenza idrica prolungata provoca un rallentamento della crescita, la formazione di foglie di minori dimensioni, una riduzione della lunghezza degli internodi, ma anche alterazioni nella qualità delle uve. In particolare, stress idrici nelle fasi di allegagione e di invaiatura compromettono la fase di proliferazione cellulare nei frutticini. Nei casi estremi lo stress idrico può provocare l'essiccamento degli apici e dei viticci, ingiallimenti precoci delle foglie e a colature fiorali, avvizzimenti di grappoli e alla perdita di acini.

Il monitoraggio dell'idratazione della vite è quindi importante ma difficile da realizzare perché il fabbisogno idrico di una vite varia a seconda dello stadio fenologico, con le fasi iniziali di formazione della chioma che comportano il maggior consumo di acqua che decresce dall'allegagione in avanti, da fattori ambientali quali temperatura e umidità dell'aria, irraggiamento solare e ventosità e dalla disponibilità di acqua nel suolo. Mediamente, in caso di irrigazione di soccorso si punta a reintegrare nel suolo i  $\frac{3}{4}$  dell'acqua persa per realizzare quella condizione di lieve stress idrico che stimola la vite a produrre uve di qualità superiore. Viceversa, un ristagno di acqua provoca un eccesso di vigore della pianta e la espone all'attacco di patogeni, specialmente fungini.

Uno dei problemi non facilmente risolvibili nei vigneti è che i suoli hanno una diversa capacità di trattenere l'acqua nelle in quantità adeguate e renderla disponibile in situazioni di prolungata siccità, mentre un ristagno d'acqua può provocare un dilavamento di nutrienti per erosione o lisciviazione verso il sottosuolo, peggiorando la qualità delle uve prodotte.

Riassumendo, lo stress idrico per la vite dovrebbe essere nullo dal germogliamento fino all'allegagione, mentre sarebbe auspicabile che aumentasse lievemente nelle fasi fenologiche successive di invaiatura e maturazione.

Come ho anticipato, oggi, dove possibile, la gestione dell'acqua nel vigneto è realizzata mediante impianti di irrigazione di vario tipo che, anche nelle versioni più semplici impongono un costo alla produzione, mentre dove non è possibile irrigare si interviene con lavorazioni superficiali che interrompono la risalita capillare e l'evapotraspirazione dovuta flora spontanea, la semina di cover crop autunno vernine terminate e lasciate al suolo come pacciamatura del terreno, tecniche migliorano la conservazione dell'umidità del suolo. Sono stati testati anche prodotti per la gestione della radiazione che come le polveri di roccia che aumentano l'albedo del suolo e prodotti antitraspiranti, che di fatto bloccano la perdita di acqua dagli stomi. Tuttavia, questi mezzi tecnici sono costosi, non ammessi in molti disciplinari di produzione e possono anche danneggiare le piante a danni. Nei vigneti di nuovo impianto il

una maggiore densità d'impianto e l'orientamento dei filari in direzione Est-Ovest comportano un minore irraggiamento.

### **Produzione enologica**

Dopo aver ottenuto un'uva di qualità, la bravura sta all'enologo nell'avviare e seguire la fermentazione in modo molto attento, una volta arrivata l'uva in cantina è consigliato utilizzare del ghiaccio secco per abbassare la temperatura evitando la partenza di fermentazioni spontanee e l'ossidazione di composti che possono produrre difetti aromatici. Poi l'uva pigiata (quindi senza bucce, in certi vini bianchi) o non pigiata (lasciata macerare con le bucce, in tutti i vini rossi, rosati e anche alcuni bianchi) si lascia raffreddare grazie a degli appositi sistemi di raffreddamento posti all'interno delle vasche. Così facendo si riesce a separare la feccia grossa dal mosto limpido sul quale si avvierà la fermentazione spontanea utilizzando i lieviti presenti nella buccia (molto difficile da gestire e da portare a termine) o guidata con lieviti secchi attivi, questi ultimi vengono prodotti in bioreattori in condizioni respirazione e nutrizione controllate proprio per la loro riproduzione, una volta ottenuti vengono seccati e messi in vendita. Prima di utilizzarli in cantina bisogna reidratarli in acqua (37-42°C) ed è molto importante evitare sbalzi termici maggiori di dieci gradi aggiungendoli al mosto freddo (necessario raffreddare il preparato poco alla volta con del mosto). Una volta aggiunti al mosto è necessario arieggiare la vasca per permettere agli stessi di prodursi acidi grassi e steroli che sintetizzano solo in presenza di ossigeno per difendersi dall'etanolo. Più il mosto è limpido e zuccherato e più avranno bisogno di aerazioni, se la temperatura di fermentazione è elevata (maggiore di 30°C nei rossi e di 18°C nei bianchi) la fermentazione sarà molto rapida ma è difficile che fermenti tutti gli zuccheri presenti e anche il profilo aromatico ne risente. La temperatura ottimale è di 15°C per i bianchi e minore di 25°C per i rossi giovani fino a massimo 30°C per i rossi di struttura. Finita la fermentazione alcolica su certi vini (principalmente nei vini rossi o nei vini bianchi spumanti ottenuti con metodo classico) si favorisce l'avvio della fermentazione malolattica, una fermentazione attuata da dei batteri lattici (*Oenococcus oeni*, *Lactobacillus plantarium*), questi batteri utilizzano l'acido malico come fonte di energia per il loro metabolismo e a seguito di una decarbossilazione ossidativa lo convertono in acido lattico. L'acido lattico in confronto al malico è monoprotico proprio per questo è meno acido del malico e conferisce un sapore più morbido. Questa fermentazione può partire in modo spontaneo ma a volte c'è bisogno di inoculare dei batteri lattici appositi per aiutare l'avvio. A fine fermentazione si aggiunge 4-5g/hl di SO<sub>2</sub> per evitare ulteriori rifermentazioni e ossidazioni.

## **Caratteri chimici distintivi dei vini**

Pur essendo essenzialmente una spremuta di uva fermentata da lieviti e batteri, quindi una bevanda naturale a cui non è permesso aggiungere aromatizzanti (salvo quelli naturali eventualmente ceduti dalle botti di legno), il vino presenta una gamma di sapori e di aromi difficilmente riscontrabile in altri prodotti.

La percezione degli aromi è di tipo prototipale, cioè i composti volatili interagiscono con le centinaia di recettori olfattivi presenti nell'uomo, generando segnali che il cervello poi traduce per riconoscere l'aroma, principalmente associandolo a una sensazione nota, già codificata nell'esperienza dell'assaggiatore. Grazie alla variabilità della composizione delle uve e al contributo della fermentazione, è possibile produrre vini che abbiano sentori floreali (di rosa, garofano, viola), fruttati (mela, banana, pesca, frutto della passione, agrumi, noce, nocciola), speziati (chiodi di garofano, pepe), vegetali (peperone, salvia, bosso), evolutivi (tabacco, fieno, zafferano, caffè), balsamici (menta, anice, eucalipto ecc.). I caratteri del vino dipendono dalla composizione chimica delle uve, ma anche i processi di vinificazione e affinamento giocano un ruolo molto importante. Da sempre la decisione imprescindibile per produrre vini di qualità è relativa al grado di maturazione delle uve che si vuole ottenere.

Per ragioni pratiche, la scelta della data di vendemmia si basa, oltre che sulla sanità delle uve, anche sul raggiungimento di un adeguato contenuto in zuccheri, che determina il contenuto potenziale di etanolo che può essere raggiunto. Molto spesso anche il pagamento delle uve avviene su questo parametro.

Per molti stili di vini, in particolare per la produzione di vini bianchi e spumanti, è fondamentale avere un idoneo contenuto di acidi alla raccolta, quindi risulta imprescindibile considerare anche la maturazione acidica.

Per i vini bianchi di qualità spesso però si presta più attenzione al completamento dell'accumulo nella bacca dei precursori di aroma (maturità aromatica), mentre, per i vini rossi da affinamento, al raggiungimento di un contenuto equilibrato di polifenoli (maturità fenolica) e di una perfetta lignificazione dei vinaccioli.

Il punto essenziale da tenere presente è che per produrre vini di qualità è fondamentale il raggiungimento di una buona maturità fisiologica delle bacche. Quasi tutti i processi legati alla maturazione partono dal momento dell'invasatura, quando le bacche verdi iniziano a prendere colore, e si completano solo nelle fasi finali della maturazione.

I composti responsabili della caratterizzazione del vino sono quindi assenti, o in quantità non ottimali, prima della piena maturità.

## **Definizione biochar**

Il biochar è definito il residuo solido carbonioso, ottenuto per degradazione termica in assenza di ossigeno (pirolisi) della biomassa, quando è incorporato nel suolo.

I prodotti della degradazione termica sono tre; solido (charcoal) ad elevato contenuto di carbonio in forma stabile (recalcitrante), liquido (bio-oil), e gas (synigas).

Il biochar è un materiale molto eterogeneo, le sue caratteristiche fisico-chimiche vengono influenzate dal tipo di feedstock di partenza e dalla tipologia di processo applicato per sua la produzione. L'interazione del biochar come ammendante agricolo nel suolo è influenzata da molteplici fattori. La sua granulometria gioca un ruolo importante sull'interazione con i microorganismi del suolo, più sono fini le particelle maggiore sarà la suscettibilità ai loro attacchi (Leng et al., 2018).

L'ammendamento con il biochar comporta una variazione di pH del suolo iniziale. Questa variazione di pH del suolo con la presenza dell'ammendante, è dovuto a una maggiore concentrazione di ossidi di metalli ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$ ) nel biochar, il quale è generalmente alcalino, questo è principalmente correlato ai minerali inorganici e alla cenere formata durante la pirolisi e la carbonizzazione, fattori come le materie prime e la temperatura di carbonizzazione della pirolisi incidono sul valore di pH.

La recalcitranza del biochar data dalla percentuale di carbonio stabile presente nella sua struttura determina il tempo di presenza nel suolo. In letteratura prendendo in considerazione un arco di permanenza minimo di 100 anni, si apre la possibilità nel concreto di considerare il biochar come strumento di mitigazione in agricoltura. In termini di cambiamento climatico vengono offerte nuove soluzioni nella gestione agronomica.

## **Produzione biochar**

Tradizionalmente il carbone vegetale veniva prodotto nelle carbonaie, strutture costituite da cumuli di legno coperti da terriccio per innescare la pirolisi, processo che viene definito come decomposizione termochimica in assenza di ossigeno.

Oggi i processi di pirolisi e gassificazione consentono di recuperare il contenuto energetico delle biomasse vegetali con una maggiore efficienza attuando processi di carbonizzazione si ha l'immissione di calore in assenza dell'agente ossidante, la biomassa subisce la perdita di ossigeno, idrogeno e azoto.

Il materiale di partenza usato nei moderni impianti può avere origini differenti come: residui agricoli e forestali e colture bioenergetiche come stabilito dalla normativa italiana nel Dlg. 75/2015).

Il sistema biochar può contribuire alla limitazione della produzione di  $\text{CO}_2$  e a ridurre le emissioni di gas serra.

Durante il processo di produzione del biochar (pirolisi e/o gassificazione di biomassa vegetale) una quota significativa di carbonio di origine vegetale (fotosintetizzato a partire da CO<sub>2</sub> atmosferica) viene “intrappolata” nel biochar (carbonificazione).

Una frazione di questo carbonio è presente in forma inorganica (viene persa in poche settimane), un'altra in forma labile (lentamente mineralizzata nel corso degli anni), la restante in forma stabile (permanenza nel suolo per centinaia di anni); nella stragrande maggioranza dei casi il 90% del carbonio presente nel biochar prodotto da biomassa vegetale è in forma stabile, ovvero persiste nel suolo per centinaia di anni.

Per tale motivo la produzione e applicazione al suolo di biochar può essere considerata una strategia di mitigazione del cambiamento climatico con il quale il mondo intero sta facendo i conti. Oltre a questo aspetto di puro stoccaggio nel suolo di CO<sub>2</sub>, l'applicazione del biochar alle colture agricole e in zootecnica contribuisce alla riduzione delle emissioni dei gas serra, protossido di azoto in primis (N<sub>2</sub>O), gas serra con un potenziale di riscaldamento globale di circa 300 volte superiore a quello della CO<sub>2</sub>.

Questa potenzialità del biochar dipende ovviamente dalle caratteristiche dello stesso, influenzate dalla biomassa vegetale di partenza, dal processo di produzione, dalle condizioni pedo-climatiche di utilizzo.

### **Normative per l'utilizzo in agricoltura (europa, italia, veneto)**

Per denominare un carbone vegetale biochar, il prodotto deve essere certificato. La certificazione volontaria, a cui viene sottoposto l'ammendante prima di dichiararlo idoneo, varia a seconda delle norme legislative dello Stato a cui si fa capo.

In Italia in seguito alla norma legislativa (Dlgs 75/2010 allegati 2 e 4), sono stati creati due marchi MVVB ICHAR e MVVB ICHAR PLUS. La durata del marchio ha una valenza di due anni, si distinguono per il valore di diversi parametri.

### **Normativa Europea**

La nuova norma Europea sui fertilizzanti (Regolamento UE 2019/1009 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 5 giugno 2019), in vigore dal luglio 2019, è entrata in applicazione il 16 luglio 2022, con contestuale abrogazione del Regolamento CE 2003/2003 relativo ai concimi minerali a marchio CE.

Il nuovo regolamento norma tutti i fertilizzanti a marchio CE utilizzabili in agricoltura, che vengono classificati come “Categorie Funzionali di Prodotti” (PFC). Sono 7 le categorie di prodotti, che contemplano i concimi, i correttivi, gli ammendanti, i substrati di coltivazione, gli inibitori e i biostimolanti; l'ultima categoria è rappresentata da un mix di due o più prodotti precedentemente elencati.

Questi prodotti possono essere realizzati solo a partire da determinati e ben specificati materiali costituenti (CMC) che vengono identificati e definiti nel regolamento stesso. Il biochar, non incluso nella prima stesura del Regolamento, è stato successivamente inserito nella categoria CMC 14 – materiali da pirolisi o gassificazione”.

**CMC 14** materiale da pirolisi (secca o umida) e gassificazione: materiale carbonioso ottenuto da matrice organica che ha subito una conversione termochimica in limitata presenza di ossigeno  
Processo: limitata presenza di ossigeno, temperatura di processo  $\geq 180$  °C, durata minima trattamento 2 minuti  
Lista materiale organico in ingresso:

- prodotti derivati e sottoprodotti di origine animale (Regolamento CE 1069/2009) ;
- organismi viventi o morti (o parti di essi), vergini o trattati esclusivamente in modalità manuale, meccanica, dissoluzione/estrazione in acqua, ad esclusione dei rifiuti municipali, fanghi di depurazione, fanghi industriali, fanghi da dragaggio ;
- rifiuti vegetali dell'industria alimentare, rifiuti vegetali fibrosi della produzione di farine e di carta ;
- rifiuti organici provenienti da raccolta differenziata (Direttiva CE 2001/77 e 2003/30) ;
- residui della produzione di bioetanolo e biodiesel;
- additivi (massimo 25%).

#### **REQUISITI PER CMC 14** materiale da pirolisi e gassificazione

- stabilità: H:Corg <0,7;
- Cl -  $\leq 30$  g/kg s.s.;
- se un PFC con materiale da pirolisi e gassificazione ha Mn>3,5%, va dichiarato ;
- TI  $\leq 2$  mg/kg s.s. se dichiarata una presenza di additivi >5% ;
- IPA16  $\leq 6$  mg/kg s.s. ;
- PCDD/F  $\leq 20$  ng/kg s.s. (WHO toxicity equivalents);
- PCB  $\leq 0,8$  mg/kg s.s.

#### **Normativa Italiana**

Dal 2015 il biochar è incluso nella lista degli ammendanti utilizzabili nel suolo (All. 2 del D.Lgs. 75/2010).

Successivamente, nel dicembre 2018, l'associazione ICHAR ha presentato al Ministero competente nuova istanza per includere il biochar nella lista dei prodotti utilizzabili quale componente dei substrati di coltivazione (All. 4 del D.lgs. 75/2010) e, sempre come ammendante, nella lista dei fertilizzanti consentiti in agricoltura biologica (All. 13 del D.Lgs. 75/2010).

Nel 2019 il Regolamento di Esecuzione (UE) 2019/2164 della Commissione (17/12/19), modificando il Regolamento (CE) 889/2008, ha incluso il biochar nell'elenco degli ammendanti

utilizzabili in agricoltura biologica (autorizzazione a norma del regolamento CE 834/2007).

Ma per il riconoscimento del biochar in agricoltura biologica anche a livello nazionale occorre attendere il DM 10/10/2022 (pubblicato il 29 dicembre 2022), con l'inserimento dello stesso nell'allegato 13 del D.Lgs. 75/2010. Per l'impiego in agricoltura biologica è stato inserito un limite massimo maggiormente restrittivo per il contenuto di IPA.

Per quanto attiene il settore dei substrati di coltivazione, il biochar ancora non può essere impiegato come componente, ma potrebbe essere aggiunto come ammendante dall'utilizzatore finale in fase di impiego.

Il nuovo Regolamento Europeo sui fertilizzanti è in applicazione esclusivamente per i prodotti a marchio CE, che potranno così liberamente circolare fra gli Stati membri dell'UE.

Il biochar, ai sensi del presente regolamento, può essere inserito quale componente costitutivo nelle diverse PFC previste dal regolamento (ad esempio, nei concimi organo-minerali, nei concimi organici, nei substrati di coltivazione, negli ammendanti) o come componente unico (ammendante organico), sempre nel rispetto delle prescrizioni previste per la CMC 14 e per le PFC che lo stesso andrà a comporre.

Il nuovo Regolamento UE ha il pregio di consentire l'uso del biochar con altre componenti per la produzione di fertilizzanti (PFC), aspetto alquanto limitato dalla normativa nazionale vigente.

La normativa nazionale, che a seguito dell'applicazione del Reg europeo è ora in fase di rivisitazione, resta in vigore per quei prodotti che vengono commercializzati solo a livello nazionale (prodotti non a marchio CE).

#### **- Il mercato dei crediti di carbonio**

La possibilità di generare crediti di carbonio per il mondo agricolo diverrà molto importante nei prossimi anni e decenni. Non solo per ridurre le emissioni proprie del settore agroindustriale, ma anche per la possibilità di valorizzare l'enorme potenziale di compensazione (offset) del mondo agroforestale nei molti settori soggetti ad una drastica riduzione delle proprie emissioni di gas serra (sino alla completa riduzione al 2050).

In questo contesto, il biochar rappresenta un'opzione di particolare rilievo: presenta infatti caratteristiche peculiari, e per questo può essere efficacemente impiegato in combinazione e sinergia con altre forme, quali appunto il compost. In particolare, come ormai ampiamente riportato nella letteratura scientifica e da organismi internazionali quali l'International Panel on Climate Change (IPCC), il biochar rappresenta una forma

molto stabile di sequestro ed utilizzo del carbonio, e questo lo rende particolarmente idoneo alla valorizzazione sui mercati del Carbonio.

La soluzione offerta dalla pirolisi delle biomasse lignocellulosiche per produrre biochar consente chiaramente di conseguire risultati win-win, in grado cioè di portare benefici su diversi piani e rispetto a molteplici degli obiettivi Europei e globali: in sostanza, attraverso la produzione e l'impiego di biochar nel terreno (tipicamente nei primi 30 cm di suolo, topsoil), la rimozione del carbonio avviene contestualmente all'aumento della resilienza dei suoli rispetto agli effetti del cambiamento climatico, generando un percorso virtuoso nel lungo periodo. Il beneficio è particolarmente rilevante per le aree mediterranee, soggette a desertificazione e marginalizzazione, aree stimate in 8.5 Mha nei soli Paesi Europei dell'area del EU MED. Tutto ciò, ovviamente, se combinato con l'impiego di pratiche agronomiche sostenibili, la selezione di colture idonee alle mutate condizioni climatiche, l'intensificazione ed alla valorizzazione dei nutrienti organici recuperabili da molteplici stream, a partire dall'impiego del compost.

### **Utilizzo in vigneto: evidenze sperimentali**

Il biochar, quando incorporato nel terreno dei vigneti, può svolgere un ruolo significativo nella gestione delle risorse idriche. Negli ultimi anni, i rapporti che documentano i benefici di questo miglioratore del suolo nell'aumentare la ritenzione idrica e la disponibilità per le colture di vite stanno diventando sempre più numerosi. In una revisione sistematica della letteratura pubblicata nel periodo 2010-2019 Razzaghi et al. (2020) hanno evidenziato che il biochar influisce positivamente sulla capacità di ritenzione idrica del suolo, sul punto di avvizzimento e sul contenuto di acqua disponibile per le piante, principalmente riducendo la densità del terreno. Dalla revisione della letteratura disponibile emerge che il biochar tende ad aumentare la capacità di ritenzione idrica e il punto di avvizzimento, oltre alla disponibilità d'acqua per le piante, soprattutto nei suoli a tessitura grossolana e in misura minore nei suoli a tessitura media o fine.

Baronti et al. (2014), in collaborazione con il Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse Naturali e Ambiente (DAFNAE) dell'Università di Padova, hanno condotto uno studio che dimostra come il biochar migliori lo stato idrico delle viti. I primi risultati sono stati presentati venerdì 19 gennaio 2024 a Castelnuovo Berardenga (SI) dal team di ricerca del Progetto B-Wine. La crisi climatica nel bacino del Mediterraneo ha comportato una diminuzione del numero di giorni piovosi e un aumento dell'intensità dei singoli eventi. L'aumento della temperatura e l'estensione del periodo estivo hanno conseguenze negative

sull'agricoltura, inclusa la viticoltura, dove lo stress idrico influisce sulla produzione dell'uva e sulla qualità del vino. Ad esempio, in Piemonte, i vigneti di Chardonnay e Pinot Nero si sono spostati dai 250 metri fino a 1.000 metri per preservare le caratteristiche organolettiche. Gli obiettivi principali di B-Wine sono la valutazione degli effetti del biochar sull'aumento della fertilità del suolo e sul miglioramento della produzione nelle tre aziende pilota, nonché la promozione della sostenibilità delle aziende vitivinicole attraverso l'ottimizzazione degli input agronomici e la valutazione dell'impronta carbonica e idrica del prodotto in contesti reali.

Le misurazioni prossimali comprendono analisi del suolo, analisi ecofisiologiche e valutazioni dello stato idrico delle viti, insieme alla determinazione della resa e della qualità dell'uva. Le misurazioni da telerilevamento comprendono l'uso di strumenti per l'analisi dello stato vegetativo delle colture, inclusi i satelliti per l'analisi pregressa e continuativa nel tempo, e l'utilizzo di droni equipaggiati con sensori per l'imaging. L'analisi dei dati permetterà di valutare gli indici di performance delle diverse modalità di trattamento con il biochar nelle varie realtà produttive prese in esame. Successivamente, verrà effettuata una valutazione dell'impatto ambientale del trattamento con il biochar in termini di risparmio idrico (water footprint) e di impronta carbonica (carbon footprint).

Risultati: I risultati preliminari delle analisi prossimali hanno indicato che il biochar migliora lo stato idrico delle piante. Con il biochar, l'umidità del suolo è risultata del 35%, rispetto al 32-33% nel controllo. Questo parametro influenza il potenziale idrico fogliare, utilizzato per valutare lo stato idrico delle viti, che risulta più negativo nel controllo e meno negativo nel trattato. In breve, la presenza del biochar consente una migliore gestione dell'acqua nel suolo, fungendo da riserva durante i periodi di siccità e riducendo la suscettibilità delle piante alla carenza idrica. Infine, la ricerca ha evidenziato un aumento della permeabilità del terreno e una minore compattazione dello stesso.

### **Tolleranza alla siccità**

Quasi tutte le regioni vinicole del mondo si trovano in zone temperate e molte hanno un clima mediterraneo caratterizzato da estati calde e secche. In queste regioni le viti sono regolarmente esposte a periodi di siccità a meno che non venga applicata l'irrigazione, e attualmente gran parte della produzione mondiale di uva da vino non è irrigata. Ad esempio, nel 2016, meno del 10% dei vigneti in Europa erano irrigati, tuttavia, questa percentuale sembra essere in aumento per una serie di ragioni, tra cui il cambiamento climatico e l'allentamento delle restrizioni sull'irrigazione in molte regioni tradizionalmente alimentate

dalla pioggia. Ad esempio, in Spagna la superficie vitata irrigata è aumentata dal 2% circa negli anni '50 a quasi il 27% nel 2015 (Ayuda et al., 2020) e guardando i dati più recenti relativi alla Spagna nel 2018, tale percentuale è aumentata ulteriormente fino al 30% circa (dati ottenuti dall'Anuario de Estadística, Ministero dell'Agricoltura spagnolo). I deficit idrici compromettono la crescita della vite e diminuiscono la resa, ma possono migliorare la qualità dell'uva e del vino a meno che non siano gravi.

Nelle regioni in cui la vite è irrigata, molta attenzione viene posta sullo sviluppo di strategie di irrigazione deficitaria (ovvero applicazione dell'irrigazione a livelli inferiori a quelli necessari per sostenere l'evapotraspirazione al 100%) con l'obiettivo di produrre uve di alta qualità, in particolare per i vini rossi, riducendo al minimo perdite di resa. L'importanza relativa della resa rispetto alla qualità varia a seconda del tipo di uva prodotta e degli obiettivi del produttore.

Secondo la teoria coesione-tensione l'acqua fluisce dal suolo all'atmosfera attraverso la rete xilematica della pianta sotto tensione (cioè sotto una pressione negativa), attirata dai potenziali idrici più negativi ( $\Psi$ ) nei tessuti fogliari dove l'acqua viene traspirata nell'atmosfera attraverso gli stomi. Regolando la sua conduttanza stomatica e idraulica la pianta può determinare il suo  $\Psi$  ovunque tra il potenziale idrico del suolo e il potenziale idrico atmosferico. Nella vite,  $\Psi$  varia solitamente tra  $-0,3$  e  $-2,0$  MPa (es. Suter et al., 2019). Poiché l'acqua scorre in uno stato metastabile (cioè sotto tensione), quando la tensione supera determinati limiti si verifica la cavitazione, che porta a guasti idraulici e al rischio di mortalità.

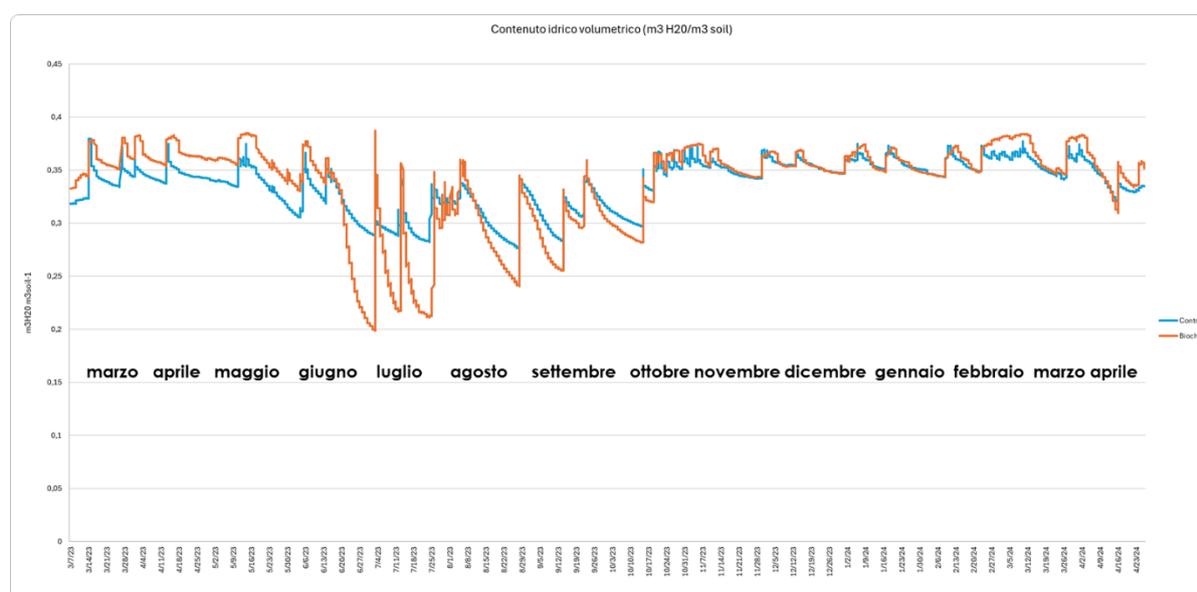
Gli stomi sono le strutture morfologiche che controllano la risposta di una pianta alla siccità. Durante la siccità gli stomi si chiudono per ridurre la traspirazione, evitare  $\Psi$  critici e conservare l'acqua. Senza questa riduzione della traspirazione, il flusso veloce potrebbe portare a grandi perdite di pressione tra il suolo e la foglia (cioè  $\Psi$  sempre più negativi). I vigneti irrigati tipicamente funzionano entro un intervallo sicuro di potenziali idrici che non portano a cavitazione o perdita di turgore. Anche i vigneti non irrigati raramente superano questi valori (Suter et al., 2019). Quando i gestori dei vigneti utilizzano strategie di irrigazione in deficit, più comunemente in associazione con la produzione di uva da vino rossa di alta qualità, normalmente mirano ai livelli di deficit idrico ( $\Psi_{\text{FUSTO}} -1.2$  a  $-1.4$  MPa) che sono certamente abbastanza grandi da diminuire la conduttanza stomatica (GS), traspirazione, fotosintesi e, infine, resa dei frutti (Figura 2). Deficit idrico più grave ( $\Psi_{\text{FUSTO}} < -1.6$  MPa) potrebbe indurre perdita di turgore e cavitazione dello xilema che potrebbe portare alla caduta delle foglie e persino alla morte della pianta.

Diversi genotipi di vite mostrano un continuum di sensibilità stomatica al deficit idrico

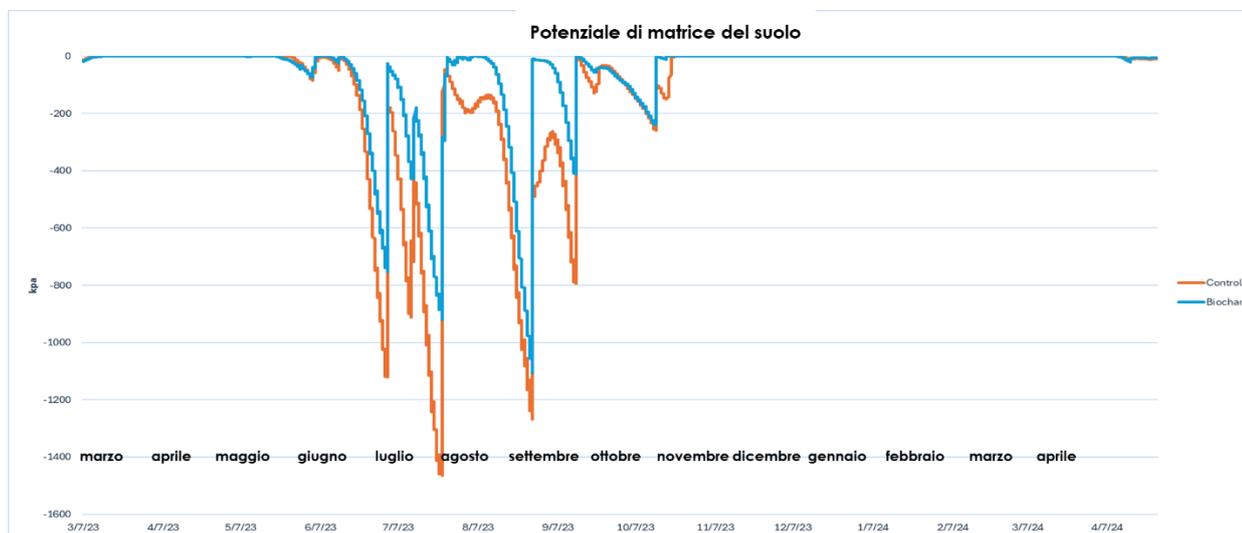
L'elemento biochimico più importante studiato è l'ormone vegetale acido abscissico (ABA), che è diventato sinonimo di stress da siccità, sebbene l'ABA funzioni in numerosi processi vegetali. L'ABA influisce direttamente sul livello delle cellule di guardia, e i meccanismi molecolari che guidano questi effetti diretti sono ben studiati. L'ABA si lega ai recettori ABA

PYR/PYL/RCAR che interagiscono con le protein fosfatasi 2C (PP2C) e ne rimuovono l'azione inibitoria.

Durante la siccità, la fotosintesi è limitata sia dalla chiusura degli stomi che dal deterioramento del meccanismo fotosintetico (cioè fattori metabolici). I contributi relativi di questi due meccanismi non sono sempre chiari e una discussione approfondita di questi fattori esula dall'ambito della presente revisione. Nell'uva, il meccanismo fotosintetico sembra essere molto tollerante a livelli lievi, e anche medi, di deficit idrico. Di seguito riporto l'andamento del contenuto di umidità e del potenziale idrico del suolo di un vigneto commerciale della varietà 'Ribolla' ed situato a Manzano (UD), ammendato con biochar nel febbraio del 2024 con biochar da pirolisi di biomasse legnose vergini svolta a 600°C, ad un tasso di ammendamento equivalente a 20 tonnellate di biochar per ettaro distribuito nel suolo dell'interfilare e interrato meccanicamente alla profondità di 15-25 cm. L'ammendamento del vigneto è stato effettuato in tre blocchi alternati contenenti 4 interfile ognuna per un totale di 12 interfile trattate e 12 interfile non trattate. Il vigneto è situato su un suolo franco, con pH neutro alcalino in pendenza ed è gestito in maniera convenzionale, con inerbimento a interfile alternate e letamazioni equivalenti a 0.5 tonnellate per ettaro ogni anno. I problemi principali del suolo sono una lenta erosione, una scarsa ritenzione dei nutrienti e la formazione di croste in superficie mentre il suolo alla profondità superiore ai 10 cm appare molto compatto e provoca asfissia alle radici. I dati di contenuto idrico del suolo, rilevati mediante sensori inseriti nella zona delle radici di piante sia ammendate con biochar che non ammendate, alla profondità di 20 cm dimostrano come nei circa 18 mesi, l'ammendamento con biochar mantenga sempre un'umidità superiore rispetto al suolo non ammendato (Figura 1) e come nel suolo ammendato il potenziale idrico del suolo non abbia mai raggiunto la soglia di  $10^{-3}$  KPa nel periodo estivo (Figura 2), che rappresenta il possibile potenziale di avvizzimento delle piante.

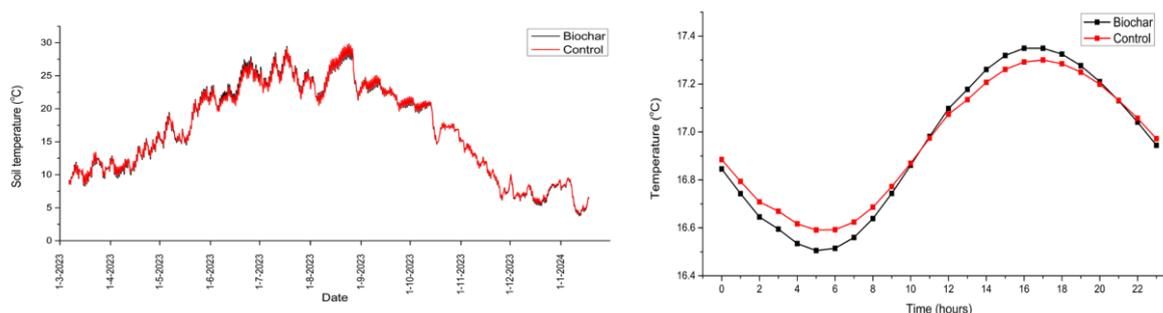


**Figura 1.** Contenuto di umidità del suolo del Vigneto di Manzano ammendato con biochar e non ammendato, monitorato in continuo con sensori interrati. I dati sono stati ottenuti dal Dott. Nicholas Zaramella.



**Figura 2.** Andamento del potenziale del suolo del Vigneto di Manzano ammendato con biochar e non ammendato, monitorato in continuo con sensori interrati. I dati sono stati ottenuti dal Dott. Nicholas Zaramella.

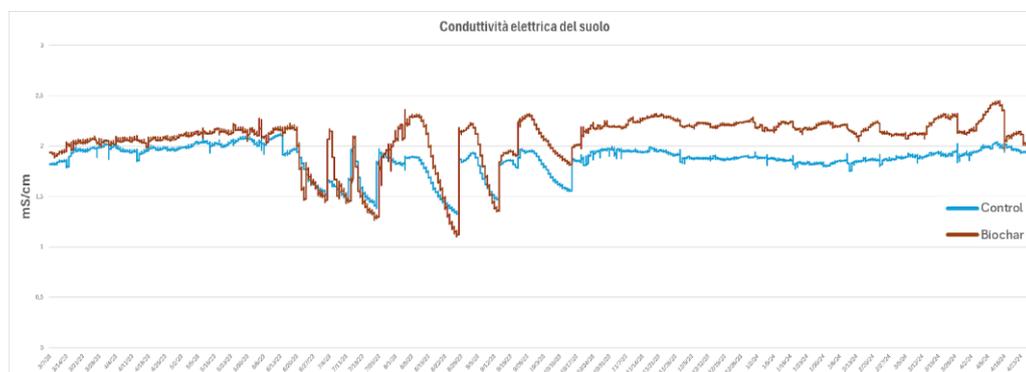
Poiché i sensori installati nelle parcelle sperimentali consentono anche il monitoraggio della temperatura del suolo e della conducibilità elettrica, le misurazioni mostrano come l'efficace interrimento del biochar non abbia alterato la temperatura del suolo, neppure nella fluttuazione giornaliera (Figura 3).



**Figura 3.** Andamento annuale della temperatura del suolo (sinistra) e della fluttuazione della temperatura media giornaliera (destra) del suolo del Vigneto di Manzano ammendato con biochar e non ammendato, monitorato in continuo con sensori interrati. I dati sono stati ottenuti dal Dott. Nicholas Zaramella.

L'ammendamento con biochar ha aumentato la conducibilità elettrica del suolo (Figura 4). L'analisi chimica del suolo ha chiarito che l'incremento della conducibilità elettrica nei suoli

delle parcelle ammendate con biochar (Figura 4) è dovuto all'aumento della disponibilità di  $K^+$ ,  $HPO_4^-$ ,  $HSO_4^-$  e  $Ca^{2+}$ , e mentre l'ammendamento con biochar non ha incrementato significativamente la concentrazione di  $Na^+$  e  $Mg^{2+}$ .



**Figura 4.** Andamento del valore di conducibilità elettrica del suolo del Vigneto di Manzano ammendato con biochar e non ammendato, monitorato in continuo con sensori interrati. I dati sono stati ottenuti dal Dott. Nicholas Zaramella.

I risultati dell'analisi del suolo del vigneto di Manzano sono importanti perché, l'aroma e il carattere del vino è influenzato dallo stato idrico della vite ma nonostante la rilevanza dell'argomento per la produzione commerciale, l'impatto del deficit idrico sull'accumulo dei precursori degli aromi del vino è stato raramente studiato. Nelle uve rosse, il deficit idrico si traduce in vini con una maggiore concentrazione di sostanze volatili (Talaverano et al., 2017) e caratteristiche organolettiche distintive come un livello più elevato di aromi di frutti a bacca rossa/nera, marmellata/bacca cotta, frutta secca e aromi di uvetta.

Il deficit idrico ha aumentato la concentrazione di alcoli terpenici sia nelle uve bianche che in quelle rosse, in parte attraverso la sovraregolazione dei geni chiave della via del metileritritolo fosfato (MEP), comprese le terpeni sintasi (Savoi et al., 2016). Tuttavia, la risposta dei terpeni alla carenza idrica potrebbe non essere comune per tutte le varietà poiché studi recenti riportano anche diminuzioni della concentrazione di terpeni in condizioni di carenza idrica.

Il cambiamento climatico sta minacciando i nostri ecosistemi e agrosistemi e non abbiamo ancora le conoscenze per prevedere con precisione come le colture risponderanno a queste nuove sfide. Per quanto riguarda la viticoltura, la minaccia del cambiamento climatico produce ansia nei singoli coltivatori e viticoltori, nonché nei governi regionali e nazionali, che fanno tutti affidamento su questa coltura economicamente e culturalmente importante. Una chiara comprensione delle risposte della vite al deficit idrico è fondamentale per affrontare queste problematiche, soprattutto per aumentare l'efficienza e la resilienza delle pratiche viticole e guidare lo sviluppo di varietà e portinnesti resistenti alla siccità.

## Biochar e qualità dell'uva

Nonostante molti esperimenti abbiano dimostrato effetti positivi dell'applicazione del biochar sulle colture, la maggior parte di essi non si riferisce a esperimenti a lungo termine (Lorenz e Lal, 2014) e in alcuni casi i benefici del biochar hanno dimostrato di avere natura transitoria (Quilliam et al., 2012). Inoltre, sebbene sia stata prodotta una quantità di letteratura che descrive l'effetto agronomico del biochar sulle colture erbacee, pochi studi sono stati dedicati alle colture arboree, a causa delle difficoltà nell'effettuare esperimenti rappresentativi in ambiente controllato, e del tempo più lungo necessario per produrre effetti rilevabili sulle colture erbacee. specie con un apparato radicale ampiamente sviluppato.

L'aspetto della qualità ha una particolare rilevanza per la viticoltura che notoriamente è molto sensibile alla variabilità climatica interannuale. I parametri qualitativi dell'uva incidono sostanzialmente sul valore della produzione, delineano il carattere distintivo di un terroir e definiscono il rating di un'annata rispetto ad un'altra.

In un esperimento Condotta dal CNR IBE di Firenze è stato applicato biochar per due stagioni consecutive ad un vigneto commerciale (Marchesi Antinori) non irrigato in Toscana (Italia centrale), hanno riportato un aumento del contenuto di acqua nel suolo, una riduzione dello stress idrico delle piante e un aumento dell'attività fotosintetica durante la siccità.

L'esperimento è stato condotto su un vigneto presso "Tenuta La Braccasca" (Marchesi Antinori srl) nel Comune di Montepulciano (Toscana, altitudine 290 m s.l.m.). Il vigneto è stato impiantato nel 1995 (cv. Merlot, clone 181; portinnesto 3309 Couderc) e l'impianto è a spalliera unica con sesto interfilare rispettivamente di 0.8 m e 2.5 m. Il vigneto non è irrigato e viene concimato con concime inorganico (15.0.26) due volte l'anno (a novembre e aprile) in ragione di 120 kg ha<sup>-1</sup>. Il suolo è acido, poco profondo e con tessitura sabbioso-argillosa-limoso ed è altamente compattato al di sotto di 0.4 m di profondità.

Il biochar è stato applicato con due trattamenti, in cinque repliche distribuite casualmente, come segue: 22 t ha<sup>-1</sup> di biochar applicato nel 2009 (B); 22 t ha<sup>-1</sup> nel 2009 e ulteriori 22 t ha<sup>-1</sup> nel 2010 (BB) e appezzamenti di controllo non trattati (C). Il contenuto di acqua del biochar era del 25%, quindi ogni applicazione corrispondeva a 16,5 t ha<sup>-1</sup> di biochar secco. Ciascun appezzamento (15 in totale) aveva una superficie di 225 m<sup>2</sup> (7,5 m di larghezza e 30 m di lunghezza) di cui 4 file e 3 interfilari. Il Biochar è stato applicato superficialmente al terreno dell'interfilare del vigneto con uno spandiconcime e parzialmente interrato con una fresa aratro a scalpello fino a 0.3 m di profondità.

Il biochar utilizzato nell'esperimento è un biochar commerciale a pirolisi lenta a bassa temperatura (500°) derivato da materia prima di potatura di frutteto. I principali risultati

mostrano che l'aggiunta di biochar al suolo ha causato un cambiamento sostanziale e significativo nelle caratteristiche fisiche del suolo con una diminuzione della densità apparente del suolo e un aumento del contenuto di acqua disponibile nei suoli trattati rispetto ai suoli di controllo (dal 3,2% al 45% nei terreni BB). Questi cambiamenti si sono tradotti in un aumento del potenziale idrico delle foglie (24-37%) durante i periodi di siccità.

I risultati del campionamento dei frutti effettuato al momento della raccolta indicano che la resa di uva per pianta è aumentata significativamente negli appezzamenti trattati con biochar in tutti gli anni di raccolta. L'aumento proporzionale rispetto al controllo variava dal 16% al 66% durante i quattro anni dell'esperimento; il trattamento di riapplicazione del biochar non ha portato ad alcun miglioramento significativo.

Analizzando la differenza di resa nei quattro raccolti tra il controllo e i trattamenti con biochar (aggregati insieme), l'aumento osservato della produttività era inversamente correlato con le precipitazioni registrate durante la stagione di crescita. L'effetto del biochar sulla resa è stato quindi maggiore negli anni con precipitazioni più basse.

I parametri di qualità dell'uva mostrano un'elevata variabilità interannuale confermando l'importanza dei fattori climatici sulla qualità della vite. L'aumento osservato della produttività non corrispondeva ad una variazione significativa in nessuno dei parametri di qualità selezionati tra i trattamenti e i relativi controlli.

L'applicazione del biochar ha aumentato il contenuto di acqua nel suolo e l'acqua disponibile per le piante, ciò probabilmente ha determinato un aumento sostanziale della produttività (resa, peso medio dei grappoli e dimensione degli acini) in tutti i raccolti. Questo effetto è stato maggiore negli anni con precipitazioni più basse, supportando in modo convincente l'idea di un effetto di regolazione positiva del biochar in caso di scarsità d'acqua. Inaspettatamente, non sono stati osservati effetti significativi sui parametri chiave della qualità dell'uva, ciò suggerisce che la maggiore disponibilità di acqua nelle piante dovuta al biochar ha un meccanismo d'azione complesso sulla fisiologia vegetale e comporta un effetto sulla formazione dei tessuti.

L'assenza di differenze significative nella resa tra i due trattamenti con biochar suggerisce che una risposta di saturazione era già stata raggiunta con l'applicazione di 22 t ha<sup>-1</sup>, in accordo con la saturazione osservata sui rapporti idrici delle piante (Baronti et al., 2014). Nelle condizioni specifiche del nostro esperimento, è probabile che la soglia di saturazione del biochar sia inferiore a 22 t ha<sup>-1</sup>. Inoltre, nel nostro esperimento, i benefici del biochar non hanno avuto natura transitoria come osservato altrove dopo la riapplicazione del biochar (Quilliam et al., 2012) ma, al contrario, il suo effetto è stato mantenuto per almeno quattro anni.

Ciò suggerisce che l'applicazione del biochar ai vigneti è una strategia di adattamento fattibile per ridurre l'impatto di periodi di grave stress idrico senza ricorrere all'irrigazione. Tuttavia,

nonostante questi risultati positivi, permangono alcune preoccupazioni sul potenziale impatto di tale strategia sulla qualità della produzione. L'unico tentativo di esplorare la relazione tra l'applicazione del biochar e la qualità dell'uva è stato fatto da Schmidt et al. (2014) che hanno applicato bassi tassi di biochar ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ) ad un vigneto vicino al Vallese e non hanno osservato variazioni significative nella crescita delle piante né cambiamenti nei parametri di qualità dell'uva.

## **Conclusioni**

Nella mia tesi ha analizzato la potenzialità del biochar come possibile ammendante dei suoli di vigneto, che ad oggi ha mostrato molteplici effetti positivi sul suolo e sulla produttività della vite, ma i cui effetti sulla qualità dell'uva non sono stati ancora studiati. Pertanto, sebbene dal punto di vista agronomico le ricerche a me esaminate dimostrano che l'utilizzo del biochar migliora significativamente la fertilità e la qualità, sia in termini di ritenzione idrica che di disponibilità dei nutrienti, a mio avviso occorre ancora comprendere gli effetti sulla qualità chimica dell'uva prodotta e gli effetti sul processo di vinificazione. Questi aspetti richiederanno studi di microvinificazione per diverse varietà prodotte in diverse condizioni pedo-climatiche. Mentre una maggior disponibilità di nutrienti primari e secondari è certamente positiva per la salute della pianta, una domanda importante che secondo me resta di rispondere è la seguente: come una maggiore umidità del suolo, soprattutto nella fase finale della maturazione, influenza la qualità dell'uva e il mosto ottenuto? Senza informazioni solide su questo aspetto, l'importanza del miglioramento della qualità del suolo e dell'ambiente insieme alla possibilità di valorizzare il sequestro del carbonio nel suolo a lungo termine potrebbe attrarre i consumatori più sensibili alle tematiche ambientali, ma potrebbe non bastare ad incentivare l'utilizzo di questo ammendante in viticoltura.

### **Letteratura citata**

Ayuda, M-I., Esteban, E., Martín-Retortillo, M., Pinilla, V. 2020. The blue water footprint of the Spanish wine industry: 1930–2015. Working paper no. 248. New York: American Association of Wine Economists.

Baronti, S., Vaccari, F.P., Miglietta, F., Calzolari, C., Lugato, E., Orlandini, S., Pini, R., Zulian, C., Genesio, L. 2014. Impact of biochar application on plant water relations in *Vitis vinifera* (L.). *European Journal of Agronomy* 53, 38-44.

Fregoni M. 2013. *Viticultura di qualità*. Ed.

Giagnoni, L., Renella, G. 2022. Effects of Biochar on the C Use Efficiency of Soil Microbial Communities: Components and Mechanisms. *Environments* 9, 138.

Holland, T.C., Bowen, P.A., Bogdanoff, C.P., Lowery, T.D., Shaposhnikova, O., Smith, S., Hart, M.M. 2016. Evaluating the diversity of soil microbial communities in vineyards relative to adjacent native ecosystems. *Applied Soil Ecology* 100, 91-103.

Leng, L., Huang, H., Li, H., Li, J., Zhou, W 2019. Biochar stability assessment methods: A review. *Science of The Total Environment* 647, 210-222.

Lorenz, K., Lal, R. 2014. Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177, 651-670.

Razzaghi, F., Obour, P.B., Arthur, E. 2020. Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. *Geoderma* 361, 114055.

Savoi, S., Wong, D.C.J., Arapitsas, P., Miculan, M., Bucchetti, B., Peterlunger, E., Fait, A., Mattivi, F., Castellarin, S.D. 2016. Transcriptome and metabolite profiling reveals that prolonged drought modulates the phenylpropanoid and terpenoid pathway in white grapes (*Vitis vinifera* L.). *BMC Plant Biology* 16, 67.

R development team, 2014. A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria <http://www.R-project.org/> (accessed 22.04.14.).

Nicholas, K.A., Durham, W.H., 2012. Farm-scale adaptation and vulnerability to environmental stresses: insights from winegrowing in Northern California. *Global Environ. Change* 22 (2), 483–494.

Park, J.H., Choppala, G.K., Bolan, N.S., Chung, J.W., Chuasavathi, T., 2011. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant Soil* 348 (1–2), 439–451.

Quilliam, R.S., Marsden, K.A., Gertler, C., Rousk, J., DeLuca, T.H., Jones, D.L. 2012. Nutrient dynamics: microbial growth and weed emergence in biochar amended soil are influenced by time since application and reapplication rate. *Agriculture Ecosystems and Environment* 158, 192-199.

Suter, B., Triolo, R., Pernet, D., Dai, Z., Van Leeuwen, C. 2019. Modeling stem water potential by separating the effects of soil water availability and climatic conditions on water status in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Frontiers in Plant Science* 10, 1485.