

Effetto dell'aggiunta di biochar nel suolo sulla produttività di vigneti e meleti dell'Alto Adige

Valentina Lucchetta – Centro di Sperimentazione Laimburg

Barbara Raifer – Centro di Sperimentazione Laimburg

Maximilian Lösch – Centro di Sperimentazione Laimburg

Aldo Matteazzi – Centro di Sperimentazione Laimburg

Christoph Patauner – Centro di Sperimentazione Laimburg

Abstract

L'utilizzo del carbone pirogenico (o *biochar*) in agricoltura ha origini antiche: nel corso dei secoli venne quasi dimenticato, e solo di recente è stato riscoperto. Il suo impiego ha lo scopo di migliorare la fertilità dei suoli, modificandone le proprietà chimiche e fisiche grazie all'interazione del biochar con i substrati con esso ammendati. In Alto Adige gli impianti di gassificazione del legno vengono utilizzati principalmente per il teleriscaldamento e generano come sottoprodotto una discreta quantità (1300 t/anno) di biochar. Esso presenta differenti caratteristiche a seconda della tipologia di impianto e delle biomasse utilizzate; ad oggi purtroppo non è utilizzato, pertanto viene smaltito in discarica. Il progetto "WoodUp", finanziato dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR), è stato avviato allo scopo di caratterizzare il biochar prodotto localmente, e verificarne l'idoneità ad un suo riutilizzo agricolo, in particolare nella frutticoltura locale. Viene qui di seguito presentata quest'ultima parte del progetto.

Lo studio ha messo in evidenza alcuni effetti interessanti dell'applicazione del biochar tra cui: l'apporto di minerali e l'aumento del pH e del carbonio organico nei suoli, l'aumento della produttività frutticola e una qualità dei vini pressoché inalterata. L'utilizzo di biochar o di biochar arricchito con compost in viticoltura, senza ulteriori concimazioni azotate, non ha modificato significativamente la disponibilità di azoto nel terreno né il comportamento produttivo e qualitativo delle viti. Dunque, un'aggiunta di biochar può essere utile per correggere il pH del terreno, aumentarne la capacità di assorbimento e ritenzione idrica e fissare carbonio a lungo termine, non alterando produttività e qualità viticole.

In frutticoltura invece, nonostante le condizioni già ottimizzate, il biochar ha evidenziato effetti positivi sulla produttività. Nei suoli dei meleti si parte da una situazione di maggiore disponibilità di azoto ed acqua rispetto ai vigneti, grazie ad una regolare concimazione ed irrigazione: in queste condizioni il biochar, con la sua elevata capacità di stoccaggio, sembra aver contribuito ad un approvvigionamento più equilibrato delle piante.

1. Introduzione

Il biochar è un prodotto ricco di carbonio ottenuto da processi di pirolisi di biomasse vegetali. Quando usato come ammendante del suolo, ne può migliorare la produttività, le proprietà fisiche e chimiche e aumentarne la capacità di ritenzione idrica (Lehmann e Joseph, 2009). Queste proprietà fanno del biochar un prodotto molto interessante per l'agricoltura, in quanto le temperature elevate ed i prolungati periodi di siccità conseguenti ai cambiamenti climatici favoriscono e accelerano la degradazione della sostanza organica nei suoli (Kirschbaum, 1995) e l'insorgere di condizioni di stress per le colture. Anche in Europa è previsto nei prossimi decenni un calo sempre maggiore delle rese agricole (Cammarano, 2019; Ray, 2019). Oltre all'aumento delle temperature si prevede un generale aumento di eventi climatici estremi e di conseguenza anche una maggior erosione del suolo, con ulteriori effetti negativi sulla sua fertilità e produttività. In futuro perciò il biochar potrebbe essere molto utile per salvaguardare la produttività dell'agricoltura. È inoltre un candidato interessante per il sequestro a lungo termine del carbonio: può infatti ridurre le emissioni di CO₂ sequestrando nel suolo circa il 50% del carbonio presente nel materiale di partenza attraverso la formazione di strutture stabili, mentre la combustione e la decomposizione biologica (dopo 5-10 anni) fissano nel suolo rispettivamente solo il 3% e il 10% del carbonio (Lehmann et al., 2006). La combustione inoltre rilascia immediatamente in atmosfera la maggior parte del carbonio presente nella biomassa originaria. Il biochar può anche aumentare la ritenzione di azoto minerale del 70% (Sánchez-García et al., 2015; Steiner et al., 2010), riducendo gli ioni ammonio disponibili per i processi di nitrificazione (Clough et al., 2010, Taghizadeh-Toosi et al., 2012).

L'applicazione di biochar nel suolo aiuta quindi a rendere disponibile alle colture una maggiore quantità di azoto, riducendone la lisciviazione e l'emissione in atmosfera sotto forma di gas serra (N_2O).

Per i motivi sopracitati il biochar si propone come nuovo metodo per ridurre significativamente e a lungo termine la concentrazione di CO_2 atmosferica ed altri gas serra. Tuttavia, è controproducente trasportare il biochar per lunghe tratte e con elevati consumi energetici: è molto più importante produrre char di alta qualità a partire da materie prime disponibili in loco e sfruttare al meglio i prodotti esistenti, come quelli provenienti dagli impianti di gassificazione del legno già esistenti in Alto Adige. L'obiettivo del presente progetto è quello di indagare fino a che punto ciò sia possibile per l'agricoltura altoatesina.

1.1 Effetti dell'applicazione di biochar in vigneto e frutteto

Nel vigneto un moderato ma sufficiente approvvigionamento di acqua e azoto è di grande importanza per mantenere in equilibrio lo sviluppo vegeto-produttivo delle piante e favorire il miglioramento della composizione delle uve. Nelle annate con condizioni meteorologiche più estreme le rese produttive auspiccate spesso non vengono più raggiunte. Per evitare stress idrici troppo intensi, dove possibile, si ricorre quindi all'irrigazione delle viti; quest'acqua però non è disponibile ovunque e potrebbe esserlo ancora di meno in futuro. L'utilizzo del biochar potrebbe dunque essere vantaggioso in viticoltura laddove si prevede il verificarsi di importanti stress idrici, la fertilità del suolo è già compromessa, o dove le rese auspiccate non vengono più raggiunte. Prima però vanno indagati i possibili effetti collaterali di questa pratica, soprattutto sulla qualità dei vini. Va chiarito per esempio se, in annate con precipitazioni sopra la media, si possano manifestare effetti indesiderati con conseguenze negative sulla qualità del prodotto. Schmidt et al. (2014) hanno messo in evidenza che applicazioni di biochar e biochar addizionato a compost non influenzano i parametri di crescita di vigneti in produzione (*Vitis vinifera* cv. Pinot Noir, 25-35 anni) coltivati su suoli calcarei in condizioni climatiche temperate, così come non influenzano negativamente i parametri qualitativi dei mosti. Holweg (2019) ha riscontrato contenuti più elevati di

azoto prontamente assimilabile (APA) nei mosti provenienti da parcelle ammendate con biochar; un contenuto sufficiente di APA nei mosti agevola la fermentazione e fornisce precursori per la sintesi dei composti aromatici dei vini. I risultati ottenuti da Genesio et al. (2015) in Toscana rivelano che l'incorporazione del biochar nel terreno ha portato a rese significativamente migliori in annate con siccità prolungata e in assenza di irrigazione, senza però alterare i parametri qualitativi delle uve. L'applicazione di biochar su suoli in pendenza, inoltre, può limitarne l'erosione, la formazione di vie preferenziali di scorrimento idrico ed il dilavamento di nutrienti e/o trattamenti fitosanitari (P.S. Blackwell, 2000). Non sono tuttavia ancora stati indagati gli effetti dell'applicazione di biochar sulla qualità dei vini.

Nei frutteti è un problema crescente la stanchezza del terreno, che può insorgere durante il rinnovo dell'impianto. Soprattutto negli impianti dotati di reti antigrandine, la coltivazione spesso viene protratta sullo stesso terreno per lunghi periodi, in quanto la rete, o la struttura portante della rete, se ancora in buone condizioni, non viene sostituita, e gli alberi vengono perciò ripiantati lungo il vecchio filare. Gli esperimenti finora condotti con biochar in meleto hanno mostrato differenti risultati: secondo Wang et al. (2019), l'utilizzo del biochar è molto vantaggioso soprattutto in caso di problemi da reimpianto, ove migliora la crescita dei giovani alberi così si hanno influenze positive sullo sviluppo della comunità microbica del suolo. Gli esperimenti di Eyles et al. (2015), tuttavia, hanno dimostrato che nei "sistemi ad alto input" come i meleti odierni, l'uso di compost o biochar non produce alcun effetto positivo aggiuntivo.

1.2 Finalità dell'esperimento

Lo scopo delle attività di ricerca qui presentate era di ottenere primi risultati sugli effetti prodotti dall'impiego di biochar nei vigneti e meleti altoatesini. In viticoltura, in particolare, era previsto di indagare gli effetti sulla qualità delle uve e dei vini, per determinare un'eventuale influenza negativa del biochar. Se così fosse, l'utilizzo di questo ammendante nella viticoltura di qualità non dovrebbe essere raccomandato, o comunque fortemente limitato.

La prova in frutticoltura è stata effettuata in un meleto al momento del reimpianto, in quanto problemi di crescita dovuti a stanchezza del suolo, tuttora

non sono risolti in maniera soddisfacente. Il biochar, con i suoi effetti benefici sulla fertilità del suolo in generale, potrebbe essere uno strumento adatto anche a questo contesto. Esso inoltre può essere applicato direttamente sull'apparato radicale di limitate dimensioni dei meli innestati su M9, solo in occasione di reimpianti. Si intendeva monitorare in particolare gli effetti che il biochar può avere sullo sviluppo e la produttività dei meli nei primi anni.

Un altro obiettivo era verificare se, anche in colture pluriennali come la vite, sia più indicato l'utilizzo di biochar arricchito con compost o altri ammendanti, come suggerito da Kammann et al. (2015), oppure si possa utilizzarlo senza effetti negativi anche puro. In questo caso l'applicazione del biochar sarebbe incentivata. Si è cercato inoltre di ottenere delle indicazioni sui dosaggi ottimali consigliabili per la pratica in campo, applicando il biochar a due differenti concentrazioni.

2. Materiali e metodi

2.1 Siti sperimentali



Fig. 1 – Mapa geografica dell'Alto Adige con indicazione dei siti sperimentali

I due vigneti sperimentali di Moarhof (1) e Weißplatter (2) sono situati nella zona collinare che circonda la città di Merano; il frutteto (3) invece si trova nel fondovalle dell'Adige presso il Centro di Sperimentazione Laimburg, comune di Vadena, Bolzano (Fig. 1). La Tabella 1 riporta alcune informazioni sui siti sperimentali; le sigle riferite al tipo di trattamento applicato sono specificate successivamente nelle planimetrie dei rispettivi campi (Fig. 2–4). Tutti gli esperimenti sono stati effettuati utilizzando un disegno sperimentale a blocchi randomizzati con quattro repliche per trattamenti.

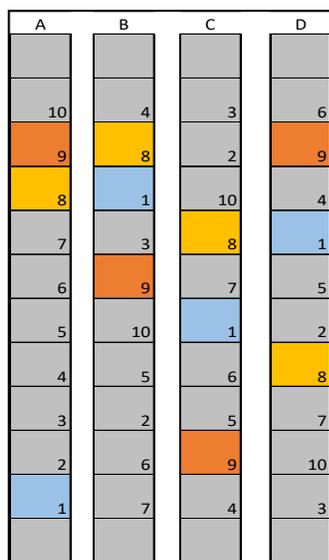
Tabella 1 – Elenco e principali caratteristiche dei siti

Sito	Luogo	Coordinate	Altitudine (m s.l.m.)	Specie e cultivar	Tratta- menti	N. di repliche
1. Moarhof	Merano	46°40'2.7"N 11°11'43.5"E	~600 m	<i>Vitis vinifera</i> cv. Müller Thurgau	N – C – B1 – B2 – B1C – B2C	4
2. Weißplatter	Merano	46°39'17.27"N 11°11'28.49"E	~550 m	<i>Vitis vinifera</i> cv. Sauvignon Blanc	N – C – B1 – B2 – B1C – B2C	4
3. Blocco 65	Laimburg	46°23'23.16"N 11°17'29.74"E	~225 m	<i>Malus domestica</i> cv. Pink Lady	N – C – BC	4

B1	N	B2	B1C
25	31	37	43
B1C	B1C	C	N
26	32	38	44
C	C	B2C	B2
27	33		45
B2	B2C	B1	B2C
28	34	40	46
B2C	B2	N	C
29	35	41	47
N	B1	B1C	B1
30	36	42	48

N	controllo non trattato
C	compost: 3,9 kg/m (di filare piantato)
B1	biochar 1: 2,5 kg/m (di filare piantato)
B2	biochar 2: 5 kg/m (di filare piantato)
B1C	biochar 1+ compost (3,9 kg/m)
B2C	biochar 2+ compost (3,9 kg/m)

Fig. 3 – Schema impianto Weißplatter



N	controllo non trattato
C	compost: 1,8 kg/pianta
BC	biochar 1 kg + compost 1,8 kg / pianta

* Gli altri numeri presenti nella planimetria sono diverse tipologie di fertilizzazione del suolo condotte nell'ambito di un altro progetto.

Fig. 4 – Schema impianto Blocco 65

2.2 Prove sperimentali

Il biochar utilizzato proviene da un'azienda marchigiana (Novolegno) ed è stato acquistato per l'impossibilità di reperirne localmente uno idoneo. Si tratta di un sottoprodotto della gassificazione, a grana fine e piuttosto polveroso (caratteristiche principali riportate in Tabella 2); il compost è stato invece fornito dall'impianto di compostaggio di Egna/San Floriano (Bz). Per le prove in vigneto sono state applicate due concentrazioni diverse di biochar: 2,5 (biochar 1) e 5,0 (biochar 2) kg distribuiti per m² nelle interfile nell'impianto di Moarhof, per metro di filare piantato nel giovane vigneto di Weissplatter.

Questi dosaggi sono stati utilizzati sia per il biochar puro che in combinazione con compost (3,9 kg/m² o metro lineare), la cui concentrazione resta invariata. Per la prova nel giovane meleo si è utilizzata una concentrazione di biochar pari a 7,8 kg associata al compost (3,9 kg), confrontata con solo compost e un controllo non trattato. I dosaggi sono espressi per singolo ceppo.

Gli ammendanti sono stati preparati due settimane prima dell'interramento effettuato con un aratro; le dosi sono state calcolate trasformando i pesi in volumi, e distribuite secondo il disegno sperimentale il più uniformemente possibile. Le seguenti tabelle mostrano le caratteristiche chimiche del biochar ed il rapporto carbonio-azoto (C/N) di ciascuna variante di ammendanti utilizzata nei vari campi sperimentali.

Tabella 2 – Principali caratteristiche del biochar utilizzato.

	solubilità	valore	unità	metodo
pH	in CaCl ₂	9,6		1
N		0,1	% m/m	2
NO ₃ -N	in acqua	< 0,1	% m/m	3
NH ₄ -N	in acqua	< 0,1	% m/m	3
P ₂ O ₅	in acidi	0,3	% m/m	4
P ₂ O ₅	in acqua	< 0,1	% m/m	4
K ₂ O	in acidi	3,5	% m/m	4
K ₂ O	in acqua	3,5	% m/m	4
CaO	in acidi	4,2	% m/m	4
CaO	in acqua	< 0,1	% m/m	4
MgO	in acidi	0,8	% m/m	4
MgO	in acqua	< 0,1	% m/m	4
B	in acidi	< 0,1	% m/m	4
B	in acqua	< 0,1	% m/m	4
Fe	in acidi	0,06	% m/m	4
Fe	in acqua	< 0,1	% m/m	4
Mn	in acidi	0,04	% m/m	4

Effetto dell'aggiunta di biochar nel suolo sulla produttività di vigneti e meleti

Mn	in acqua	< 0,1	% m/m	4
Cu	in acidi	< 0,1	% m/m	4
Cu	in acqua	< 0,1	% m/m	4
Zn	in acidi	< 0,1	% m/m	4
Zn	in acqua	< 0,1	% m/m	4
Na ₂ O	in acidi	0,12	% m/m	4
Na ₂ O	in acqua	0,12	< 0,1	4
Fe	in acqua regia	0,63	g/kg FM	5
Al	in acqua regia	0,54	g/kg FM	5
Mn	in acqua regia	358,34	mg/kg FM	5
Cu	in acqua regia	19,38	mg/kg FM	5
Zn	in acqua regia	68,58	mg/kg FM	5
Cr	in acqua regia	6,57	mg/kg FM	5
Ni	in acqua regia	6,12	mg/kg FM	5
Pb	in acqua regia	5,65	mg/kg FM	5
Co	in acqua regia	0,75	mg/kg FM	5
Hg	in acqua regia	0,029	mg/kg FM	6
Cd	in acqua regia	1,112	mg/kg FM	5
As	in acqua regia	< 0,1	mg/kg FM	7
Sostanza secca		33,4	%	8
Umidità		66,6	%	8
Ceneri		13,4	% FM	9
Sostanza organica		20	% FM	8
Sali (KCl)	in acqua	3106	mg/100g	10

Legenda metodi

1	DIN EN 15933:2012
2	Reg. CEE n. 2003 del 13.10.2003, determinazione con analizzatore elementare
3	Reg. CEE n. 2003 del 13.10.2003, determinazione con AutoAnalyzer
4	Reg. CEE n. 2003 del 13.10.2003, determinazione con ICP-OES
5	Mineralizzazione al microonde con acqua regia, determinazione con ICP-OES
6	EPA 7473:2007
7	Mineralizzazione al microonde con acqua regia, determinazione con ICP-MS
8	VDLUFA Methodenbuch I A 2.1.1
9	VDLUFA Methodenbuch I A 15.2
10	VDLUFA Methodenbuch I A 10.1.1

Tabella 3 – Rapporto carbonio:azoto espresso per ciascun ammendante.

Ammendanti	rapporto C/N
Biochar	145
Biochar 2,5 kg + compost 3,9 kg	24
Biochar 5 kg + compost 3,9 kg	46
Compost	13

Nei singoli siti si è proceduto come segue:

2.2.1 Moarhof – inizio prova: 2017

Si tratta di un vigneto in produzione di Müller Thurgau, innestato su SO4 ed impiantato nel 2007. Il terreno, franco-sabbioso, è caratterizzato da un pH di 6,3 e un contenuto di sostanza organica tra il 2,5 e il 3,0% nei primi 30 cm di suolo. Gli ammendanti sono stati incorporati nelle interfile con l'uso di un aratro a vanga e di un erpice rotante, a circa 30 cm di profondità. Ogni replica, compresa in due file, consiste di 20 piante, per un totale di 80 piante per trattamento (Fig. 5).



Fig. 5 – Distribuzione degli ammendanti nelle interfile: si notano le diverse gradazioni di colore dei vari trattamenti.

2.2.2 Weißplatter – inizio prova: 2017

Il terreno è simile a quello dell'impianto di Moarhof, con un contenuto di sostanza organica del 2,5% e un pH di 6,1. Gli ammendanti sono stati incorporati nelle file prima dell'impianto delle barbatelle di varietà Sauvignon Blanc (Fig. 6), innestate su SO4. Ogni replica, compresa in una fila, consiste di 12 piante, per un totale di 48 piante per trattamento.



Fig. 6 – Distribuzione degli ammendanti nelle file prima dell'impianto delle barbatelle.

2.2.3 Blocco 65 – inizio prova: 2017

Questo esperimento in meleto è stato condotto in collaborazione con il settore di frutticoltura, in occasione di una prova sperimentale che utilizza altre sette tipologie di fertilizzanti. Il suolo in questo sito è limoso-sabbioso, con contenuto di sostanza organica dell'1,8% e un pH di 7,4. Gli ammendanti sono stati incorporati nelle file prima dell'impianto dei giovani meli di varietà Pink Lady, clone Rosy Glow, innestati su M9 (Fig. 7). Ogni replica, compresa in una fila, consiste in 8 piante, per un totale di 32 piante per trattamento.



Fig. 7 – Meli al primo e secondo anno dalla messa a dimora dopo l'ammendamento del suolo.

Dopo l'applicazione dei diversi ammendanti, i campi sperimentali sono stati trattati in maniera usuale ed omogenea. I vigneti, nelle tre annate della sperimentazione, non sono stati né concimati né irrigati, data la buona crescita delle piante e l'adeguato stato nutritivo; non si sono inoltre manifestati periodi di forte stress idrico. Il frutteto invece è stato concimato annualmente in maniera uniforme (30-50 kg N/ha/anno) ed irrigato con regolarità.

2.3 Analisi

Attività di campo: monitoraggio degli stadi fenologici delle piante; prelievo di campioni per analisi fogliari e del suolo; conta dei grappoli per la stima della produttività potenziale; monitoraggio della maturazione delle bacche tramite regolare campionatura ed analisi di laboratorio; quantificazione della produttività finale in vendemmia e in peso del legno di potatura.

Al fine di valutare l'effetto degli ammendanti del suolo sul prodotto finale, nel campo sperimentale di Moarhof sono state effettuate tre microvinificazioni (una per annata) con relative degustazioni.

Le analisi sono state condotte secondo il metodo proposto da VDLUFA (Association of German Agricultural Analytic and Research Institutes): l'azoto è stato determinato secondo Dumas (DIN EN ISO 16634--1:2009), gli altri elementi tramite ICP--OES (EPA 3052:1996 + EPA 6010D:2018).

Le indagini effettuate hanno riguardato i seguenti aspetti:

i) Analisi del suolo

I campionamenti del suolo sono stati effettuati prima dell'invasatura e dopo la vendemmia. Carotaggi effettuati a mano a due profondità: 0-30 cm (suolo) e 30-60 cm (sottosuolo). Prelevati dalle interfile due campioni per replica, costituiti da una decina di carote per coprire tutta la parcella, quindi mescolati e setacciati a 2 mm. I macroelementi analizzati sono stati i seguenti: azoto mineralizzato (N min), carbonio organico (C org), fosforo (P_2O_5), potassio (K_2O), magnesio (Mg). I microelementi analizzati sono stati: boro (B), manganese (Mn), rame (Cu), zinco (Zn). Queste analisi sono state condotte presso il laboratorio di Chimica Agraria e Qualità Alimentare del Centro di sperimentazione Laimburg.

ii) Analisi fogliari

I campionamenti di foglie sono stati effettuati due volte in ciascuna stagione, alla fioritura e all'invasatura. In ogni campionamento sono state raccolte 30 foglie per replica, in corrispondenza del primo grappolo; private di picciolo, sono state lavate e messe a seccare a 65 °C per 12 ore. I macroelementi analizzati sono i seguenti: azoto (N), fosforo (P), potassio (K), calcio (Ca), magnesio

(Mg). I microelementi analizzati sono stati: boro (B), manganese (Mn), rame (Cu), zinco (Zn). Le analisi sono state condotte presso il laboratorio di Chimica Agraria e Qualità Alimentare del Centro di Sperimentazione Laimburg. Nel meleto le analisi elementali delle foglie sono state condotte similmente alle sopra descritte, così come quelle del suolo, in cui però è stata campionata una sola profondità (0-30 cm).

iii) Maturazione delle bacche

A partire dall'inviatura, a cadenza settimanale è stato valutato l'avanzamento della maturazione delle uve. Per ogni replica sono state raccolte 120 bacche campionandole in modo da coprire tutta la lunghezza dei grappoli, quindi è stato misurato il peso medio per bacca. Successivamente le bacche sono state pressate: il succo risultante, una volta centrifugato, separato dal residuo e filtrato (filtri a disco per siringa da 5µm), è stato conferito in laboratorio per l'analisi FT--IR sulla base di RESOLUTION OIV/OENO 390/2010 (FOSS®, WineScan™, SO₂ dei vini con l'uso della calibratura del Laimburg laboratorio vini). I risultati ottenuti, in termini di concentrazione di zuccheri e acidità, sono stati utilizzati per individuare il momento più adatto alla raccolta.

Parametri analizzati:

<i>zr</i>	zuccheri riduttori (g/l)	<i>K</i>	potassio (g/l)
<i>babo</i>	gradi Babo	<i>apa</i>	azoto prontamente assimilabile (mg/l)
<i>pH</i>	pH	<i>ami</i>	azoto amminico (mg/l)
<i>at</i>	acidità totale (g/l)	<i>amo</i>	azoto ammoniacale (mg/l)
<i>as</i>	acido malico (g/l)	<i>agl</i>	acido gluconico (g/l)
<i>ws</i>	acido tartarico (g/l)		

iv) Produttività

Vigneto

In estate, poco prima delle operazioni di diradamento, sono stati contati i grappoli prodotti per ogni singola pianta. Al momento della vendemmia, tutti i grappoli delle parcelle sperimentali sono stati raccolti e pesati separatamente per le varie repliche con una bilancia portatile a pavimento.

Meleto

La raccolta è avvenuta separatamente per ogni pianta e successivamente quantificata attraverso la macchina cernitrice. Si tratta di una cernitrice automatica Aweta con rilevamento meccanico del peso e acquisizione di colore e dimensioni dei singoli frutti tramite elaborazione di immagini PowerVision.

v) Crescita vegetativa

Vigneto

In inverno si è proceduto alla potatura dei tralci annuali, i quali sono stati pesati pianta per pianta con una bilancia portatile a pavimento.

Meleto

La crescita vegetativa è stata valutata misurando con un flessometro i rami annuali con lunghezze superiori ai 5 cm, e con un calibro elettronico i diametri dei fusti ad un'altezza di circa un metro dal suolo.

vi) Microvinificazione e monitoraggio vini

Le uve, accorpate per trattamento allo scopo di avere due repliche ciascuno, sono state conferite alla cantina Laimburg per la vinificazione, con procedura standard. L'uva è stata prima sottoposta a diraspatura meccanica, quindi pressata con una pressa pneumatica a membrana (100L Europress T1 - Scharfenberger), a capacità massima 100 kg, in due cicli: prima 10' a 1 bar, poi 20' a 2 bar. Il mosto ottenuto è stato quantificato, vi si è aggiunto metabisolfito di potassio (E 224, 20 mg/l) e quindi posto a riposo in damigiane da 34 litri in cella frigorifera per una notte, per la sedimentazione statica a freddo. Si è proseguito separando il mosto dal sedimento con un travaso, quindi, riportati 22 °C, sono stati inoculati i lieviti (VL2-Laffort, *S. cerevisiae* reidratato, 20 g/hl). La fermentazione è avvenuta a temperatura ambiente (20,5 °C). Terminata la fermentazione (residuo zuccherino < 4,0 g/l), dopo 10-15 giorni, sono state

eliminate le fecce grossolane con un nuovo travaso senza arieggiamento; è avvenuta un'ulteriore solfitazione (E244, 15 mg/l) e quindi il trasferimento in cella frigo per 15-20 giorni, al fine di favorire la stabilizzazione tartarica del vino. Dopo questo periodo è avvenuto un ulteriore travaso in damigiane poste a temperatura ambiente (14-18 °C); periodicamente sono stati effettuati controlli del tenore di anidride solforosa libera (da tenere sui 25 g/l). In tarda primavera i vini sono stati filtrati attraverso un filtro a 4 strati di cartone e successivamente un filtro a cartuccia sterile (45µm), quindi imbottigliati in bottiglie da 0,5 l.

Le degustazioni sono state condotte da un panel di esperti interni ed esterni, che hanno valutato i 12 vini (degustazione alla cieca) attraverso 16 assaggi: sono stati infatti duplicati quattro campioni per verificare l'omogeneità delle valutazioni di ogni singolo assaggiatore, e quindi l'affidabilità nel valutare e caratterizzare i vini.

vii) Sviluppo dell'apparato radicale

Nel vigneto maturo di Moarhof sono inoltre stati eseguiti degli scavi per esaminare l'estensione di un apparato radicale sviluppatosi in presenza di biochar e verificare la preferenza o meno delle radici per questo tipo di ammendante.

3. Risultati

3.1 Moarhof

i) Analisi del suolo

I valori di pH (Fig. 8) risultano significativamente più alti nei suoli ammendati con biochar, con una leggera differenza fra le due concentrazioni. Sorprendentemente queste significatività si riscontrano anche nel sottosuolo, nonostante l'incorporazione degli ammendanti sia stata effettuata ad una profondità minore.

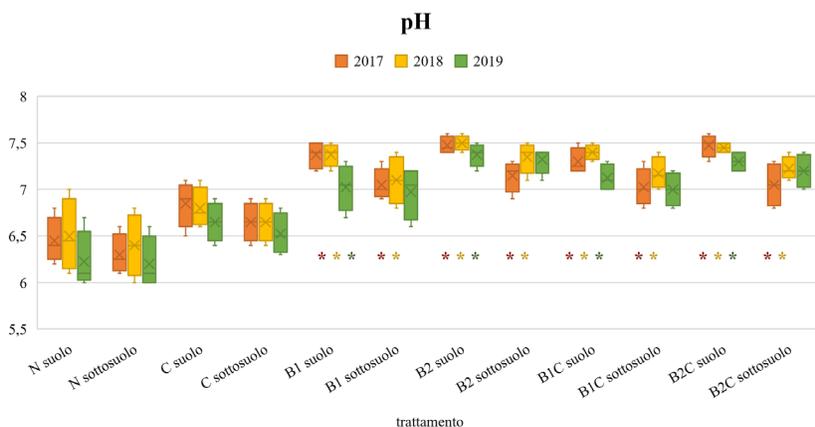


Fig. 8 – Valori di pH del suolo e sottosuolo nelle tre annate: gli asterischi indicano una differenza significativa dei trattamenti ($p < 0,05$) rispetto al controllo non ammendato (N).

L'azoto mineralizzato (Fig. 9) non presenta differenze significative tra i trattamenti (eccetto nel 2018 nel suolo ammendato con B2), ma si può notare una percentuale maggiore di esso nel primo anno: questo risultato è da ricondursi alla lavorazione del suolo pre-ammendamento, e successivamente all'apporto nitrico a causa dell'incorporazione. Questi valori sono in ogni caso piuttosto bassi per un vigneto.

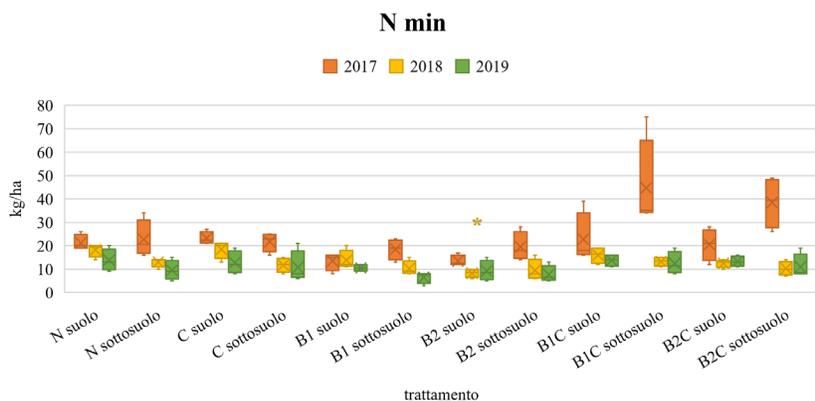


Fig. 9 – Valori di azoto mineralizzato del suolo e sottosuolo nelle tre annate: gli asterischi indicano una differenza significativa dei trattamenti ($p < 0,05$) rispetto al controllo non ammendato (N).

La percentuale di carbonio organico espresso come humus (%) è significativamente più alta in presenza di biochar, soprattutto nella doppia concentrazione (Fig. 10).

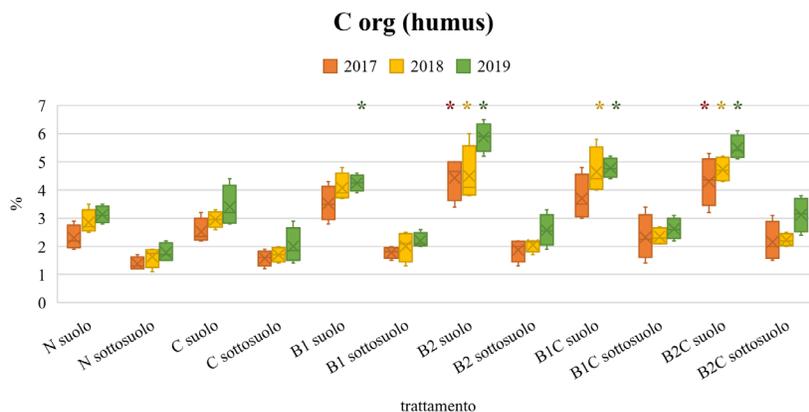


Fig. 10 – Valori di carbonio organico espresso come humus (%) del suolo e sottosuolo nelle tre annate: gli asterischi indicano una differenza significativa dei trattamenti ($p < 0,05$) rispetto al controllo non ammendato (N).

La concentrazione di fosforo (Fig. 11) è risultata maggiore in presenza della combinazione biochar+compost in entrambi i dosaggi.

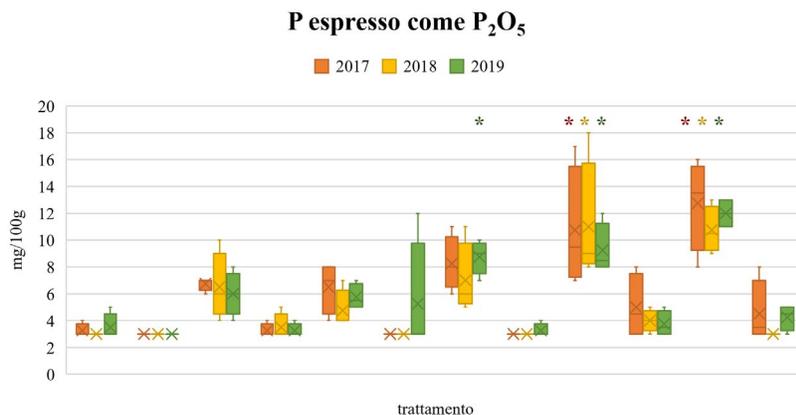


Fig. 11 – Valori di fosforo del suolo e sottosuolo nelle tre annate: gli asterischi indicano una differenza significativa dei trattamenti ($p < 0,05$) rispetto al controllo non ammendato (N).

I valori di potassio (Fig. 12) sono significativamente maggiori in presenza della dose maggiore di biochar e della combinazione biochar+compost, soprattutto il primo anno.

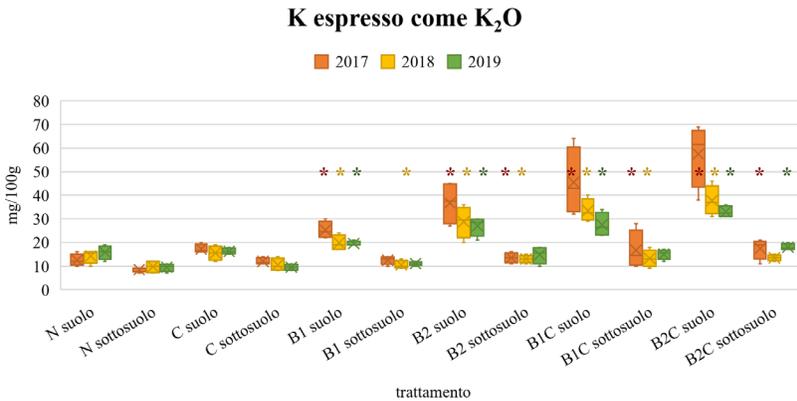


Fig. 12 – Valori di potassio del suolo e sottosuolo nelle tre annate: gli asterischi indicano una differenza significativa dei trattamenti ($p < 0,05$) rispetto al controllo non ammendato (N).

I valori di magnesio (Fig. 13), in tutte le annate, sono risultati maggiori in presenza di biochar; sorprendentemente queste significatività si riscontrano quasi sempre anche nel sottosuolo.

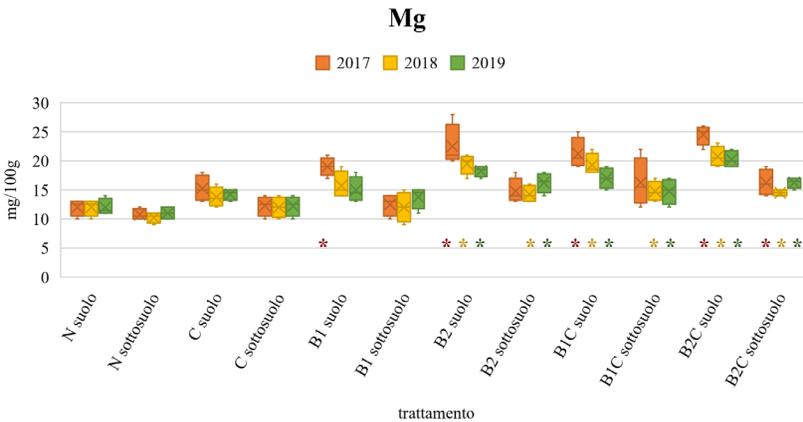


Fig. 13 – Valori di magnesio del suolo e sottosuolo nelle tre annate: gli asterischi indicano una differenza significativa dei trattamenti ($p < 0,05$) rispetto al controllo non ammendato (N).

Il boro (Fig. 14) mostra una concentrazione notevolmente maggiore in presenza di biochar, sia solo che in combinazione con il compost, anche nel sottosuolo.

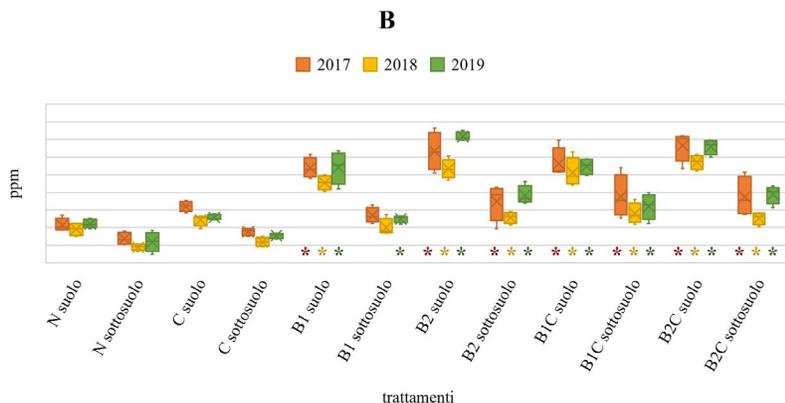


Fig. 14 – Valori di boro del suolo e sottosuolo nelle tre annate: gli asterischi indicano una differenza significativa dei trattamenti ($p < 0,05$) rispetto al controllo non ammendato (N).

Il manganese (Fig. 15) e il rame (Fig. 16) sono gli unici elementi che presentano una concentrazione minore nei suoli ammendati con biochar. Si è verificata una riduzione significativa in ogni annata nei trattamenti con doppio biochar e ciò evidenzia l'efficacia di quest'ultimo nel sequestrare alcuni metalli pesanti.

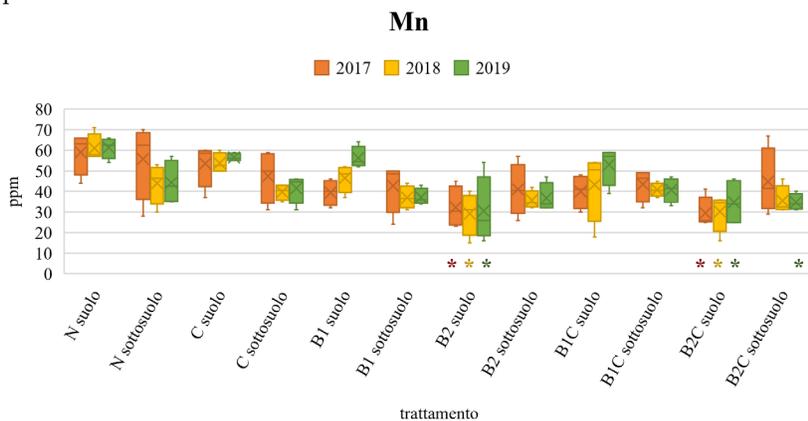


Fig. 15 – Valori di manganese del suolo e sottosuolo nelle tre annate: gli asterischi indicano una differenza significativa dei trattamenti ($p < 0,05$) rispetto al controllo non ammendato (N).

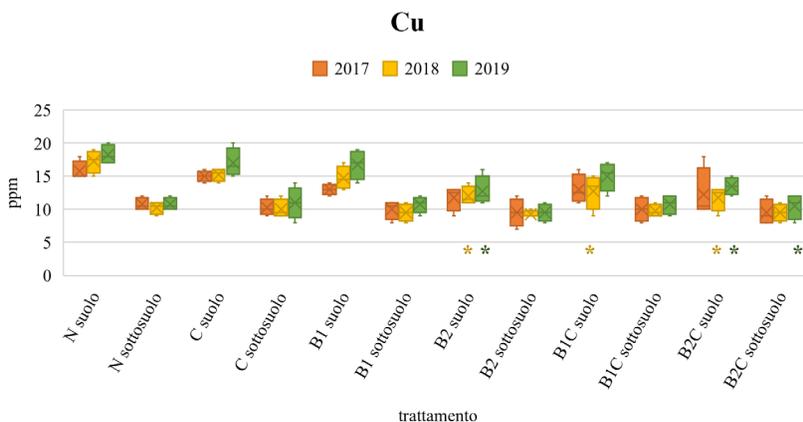


Fig. 16 – Valori di rame del suolo e sottosuolo nelle tre annate: gli asterischi indicano una differenza significativa dei trattamenti ($p < 0,05$) rispetto al controllo non ammendato (N).

Lo zinco (Fig. 17) tendenzialmente mostra una concentrazione maggiore, che si mantiene piuttosto stabile nelle varie annate, soprattutto in presenza della combinazione doppio biochar+compost.

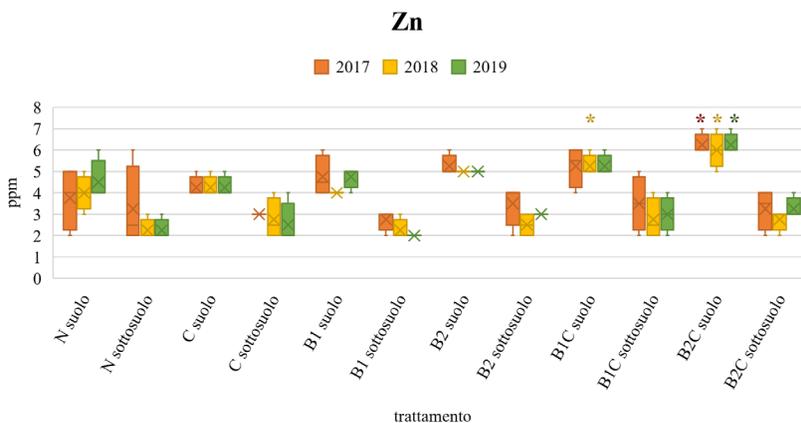


Fig. 17 – Valori di zinco del suolo e sottosuolo nelle tre annate: gli asterischi indicano una differenza significativa dei trattamenti ($p < 0,05$) rispetto al controllo non ammendato (N).

ii) Analisi fogliari

Sebbene si siano registrati effetti molto significativi degli ammendanti sulle concentrazioni degli elementi nutritivi dei suoli, lo stesso non si è verificato per quanto riguarda lo stato nutrizionale delle viti. Le analisi fogliari non

hanno infatti rivelato differenze significative fra i trattamenti ad eccezione del boro a giugno 2019 (Fig. 18). Non sono state inoltre riscontrate alterazioni cromatiche o altri tipi di segnali di stress nelle foglie che potessero indicare uno squilibrio fisiologico, nonostante la variazione delle concentrazioni degli elementi misurate nel suolo.

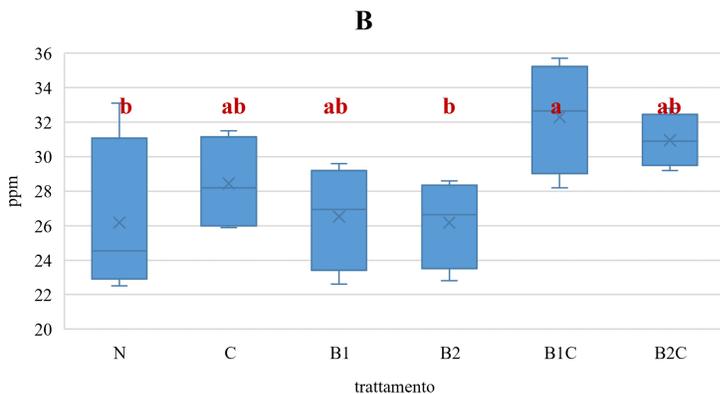


Fig. 18 – Abbondanze relative di boro nelle foglie a giugno 2019; lettere diverse indicano significativa differenza ($p < 0,05$) fra i trattamenti (N=controllo non ammendato).

iii) Maturazione delle bacche

In nessun caso sono state evidenziate differenze significative tra i trattamenti nei vari parametri considerati (dati non riportati).

iv) Produttività

In tutte e tre le annate la vendemmia è avvenuta ad inizio settembre, quando le uve presentavano mediamente un contenuto zuccherino di 16-17 °Babo. Nel primo anno, la produzione per pianta è stata ridotta a causa di una gelata tardiva verificatasi il 21 aprile. Tutti gli anni è stata attuata inoltre la regolazione della produttività tramite diradamento dei grappoli; prima che questo avvenisse si è proceduto alla conta dei grappoli per pianta, per un'eventuale variazione del numero di questi in base ai trattamenti. Non è stata riscontrata nessuna differenza significativa, pertanto i dati che seguono riguardano solo la vendemmia (Tabella 4, Fig. 19).



Fig. 19 – Vendemmia 2019: le repliche per trattamento sono accorpate in due cassoni ciascuno.

Tabella 4 – Valutazione della resa media per pianta per trattamento: non è stata riscontrata nessuna differenza significativa fra i trattamenti in nessuna delle tre annate.

Trattamento/ anno	produzione/pianta (kg)		
	2017	2018	2019
N	1,25	2,96	1,61
C	1,51	2,81	1,71
B1	1,49	3,10	1,83
B2	1,44	2,57	1,62
B1C	1,41	2,98	1,79
B2C	1,34	3,31	1,52

v) Crescita vegetativa

Il legno rimosso con la potatura invernale è un indice di crescita vegetativa della vite. Durante la potatura questo viene pesato per quantificare la crescita delle piante. Nel 2017 e 2019 non sono state riscontrate differenze significative nel peso del legno di potatura fra i trattamenti (Fig. 20), mentre non sono disponibili informazioni relative al 2018 in quanto quell'anno non è stato possibile misurare tale parametro.

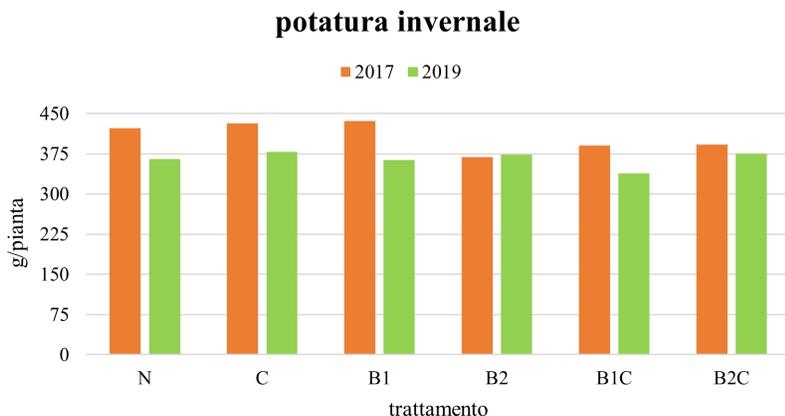


Fig. 20 – Valutazione dell'accrescimento medio per pianta per trattamento: non è stata riscontrata nessuna differenza significativa fra i trattamenti (N=controllo non ammendato).

vi) Microvinificazione

Per il mosto in pre-fermentazione, non sono state riscontrate differenze significative tra i trattamenti nei parametri considerati in nessuna degli anni di sperimentazione (Tabella 4).



Fig. 21 – Microvinificazione delle parcelle sperimentali di Moarhof: due repliche per trattamento.



Fig. 22 – Imbottigliamento dei vini a circa 8 mesi dalla vendemmia.

Il grado zuccherino e il pH sono risultati abbastanza simili nei tre anni, mentre l'acidità totale e l'APA sono sembrati maggiormente variabili.

Tabella 5 – Caratteristiche principali della composizione dei mosti alla vendemmia.

Trattamento /anno	°Babo			pH		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
N	16,30	16,76	16,81	3,32	3,31	3,33
C	16,14	16,66	16,76	3,3	3,3	3,32
B1	16,05	17,10	16,49	3,3	3,33	3,32
B2	16,07	17,01	16,46	3,3	3,34	3,33
B1C	16,43	16,27	16,44	3,35	3,29	3,33
B2C	16,32	15,98	16,35	3,36	3,31	3,35

Trattamento /anno	Acidità totale (g/l)			APA- azoto prontamente assimilabile (mg/l)		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
N	5,67	4,675	6,07	120	73,5	87,5
C	5,96	4,73	6,21	123	75,5	75,5
B1	5,98	4,5	5,99	111	65	70,5
B2	6,15	4,47	6,11	123	63	67,5
B1C	6,19	4,68	5,7	158	58,5	57,5
B2C	6,37	4,87	5,78	163,5	80,5	72,5

Dopo circa sette mesi, i vini sono stati considerati pronti per l'assaggio. All'analisi gustativa non sono state riscontrate differenze significative fra trattamenti. Si può notare però che i vini con dose singola di biochar sembrano tendenzialmente avere una valutazione più positiva nella tipicità, mentre il trattamento con solo compost ha un'armonia ed impressione generale minore rispetto agli altri trattamenti (Fig. 23).

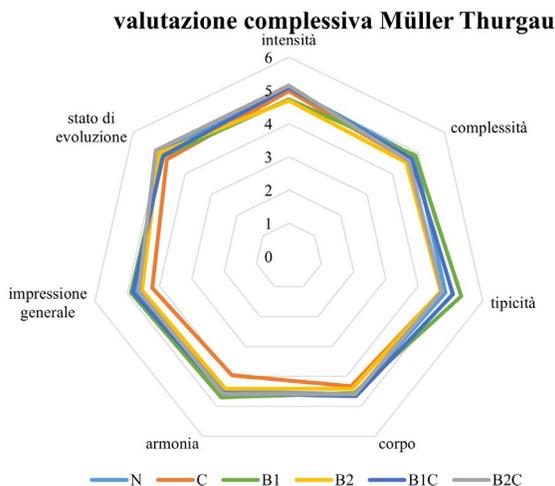


Fig. 23 – Valutazione sensoriale dei vini mediata per gli assaggi di tutte e tre le annate: nessuna tesi si discosta molto dalle altre, pertanto non vi sono differenze statisticamente significative ($p < 0,05$) per nessuna caratteristica considerata (N=controllo non ammendato).

vii) Sviluppo dell'apparato radicale

Con l'aiuto di una palette e un piccolo rastrello è stato messo a nudo l'apparato radicale di una vite cresciuta su suolo non ammendato (N), e di una cresciuta sulla variante con doppia concentrazione di biochar (B2). La Fig. 24 mostra le radici colonizzare chiaramente anche l'area interessata dalla presenza di biochar.



Fig. 24 – Apparato radicale di una vite cresciuta su B2: le radici crescono e si espandono anche attraverso il suolo ammendato con biochar.

3.2 Weißplatter

i) Analisi del suolo

A differenza del sito sperimentale precedentemente analizzato, in questo vigneto gli ammendamenti del suolo sono avvenuti preimpianto, lavorando le file con un escavatore fino ad una profondità di 60 cm. Gli arricchimenti di elementi nutritivi, di conseguenza, si sono verificati anche nei sottosuoli trattati. In generale, si può dire che i risultati concordano con quelli ottenuti a Moarhof, pertanto non sono stati riportati in dettaglio.

ii) Analisi fogliari

In generale non si è riscontrata nessuna differenza significativa tra i trattamenti nelle concentrazioni degli elementi nutritivi analizzati in entrambe le annate, con le sole eccezioni del magnesio e del manganese. Il magnesio (Fig. 25), a giugno 2018, ha presentato concentrazioni significativamente maggiori in tutti i trattamenti con biochar; presenta tuttavia una soglia di disponibilità piuttosto bassa, ma riconducibile alla giovane età dell'impianto. Il manganese (Fig. 26), nelle analisi di entrambe le annate, mostra invece un calo significativo in tutti i trattamenti con biochar. Questo dato coincide con la ridotta disponibilità di manganese riscontrata, per gli stessi trattamenti, nelle analisi del suolo.

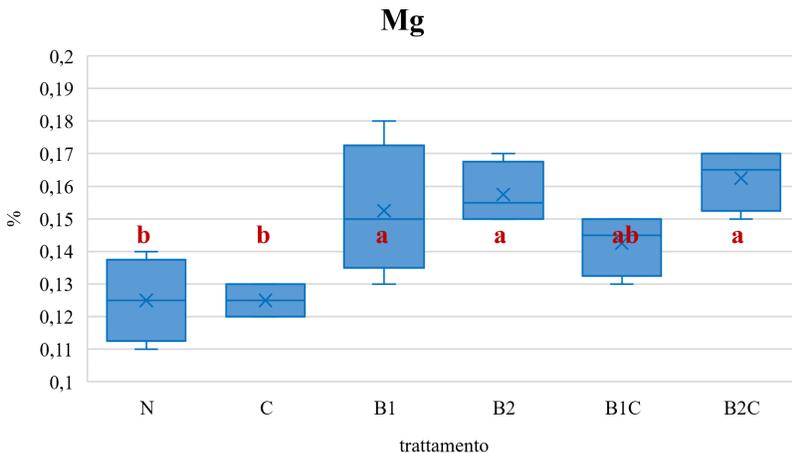


Fig. 25 – Abbondanze relative di magnesio nelle foglie a giugno 2018; lettere diverse indicano la differenza ($p < 0,05$) fra i trattamenti (N=controllo non ammendato)

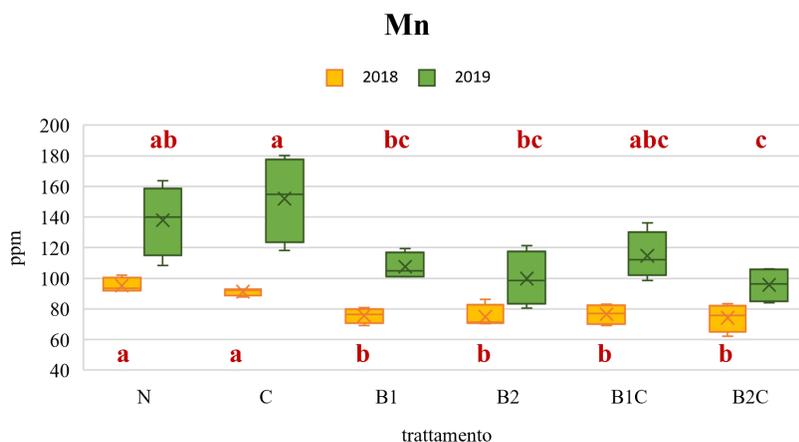


Fig. 26 – Abbondanze relative di manganese nelle foglie a giugno 2018 e 2019; lettere diverse indicano la differenza ($p < 0,05$) fra i trattamenti (N=controllo non ammendato).

iii) Maturazione delle bacche

Come per il precedente impianto sperimentale, è stato raccolto un campione di bacche per parcella, per verificare lo stato di maturazione e definire i tempi di vendemmia. In questo caso, data la giovane età delle viti, il campionamento è avvenuto una volta sola: non si sono evidenziate differenze significative tra i trattamenti in nessuno dei parametri considerati.

iv) Produttività

La vendemmia è stata effettuata a metà settembre, quando le uve presentavano mediamente 19,7 °Babo. Per la valutazione della produzione per pianta i grappoli sono stati raccolti e pesati separatamente per ogni replica: non si sono riscontrate differenze significative, sebbene sia visibile una tendenza verso una maggiore produzione nei trattamenti con biochar (Tabella 5). Essendo questo il primo raccolto del giovane impianto non si è proceduto alla microvinificazione.

Tabella 5 – Valutazione della resa media per pianta nell'annata 2019: nessuna differenza significativa fra i trattamenti (N=controllo non ammendato).

Trattamento	produzione/ pianta (kg)
N	0,7
C	0,69
B1	0,84
B2	0,96
B1C	0,94
B2C	0,76

v) Crescita vegetativa

La potatura invernale è stata eseguita pesando ogni singola vite e mediando i risultati per trattamento (Fig. 27). Come nel caso precedente, in tutte le annate si nota una tendenza verso una maggior crescita di alcune varianti con biochar.

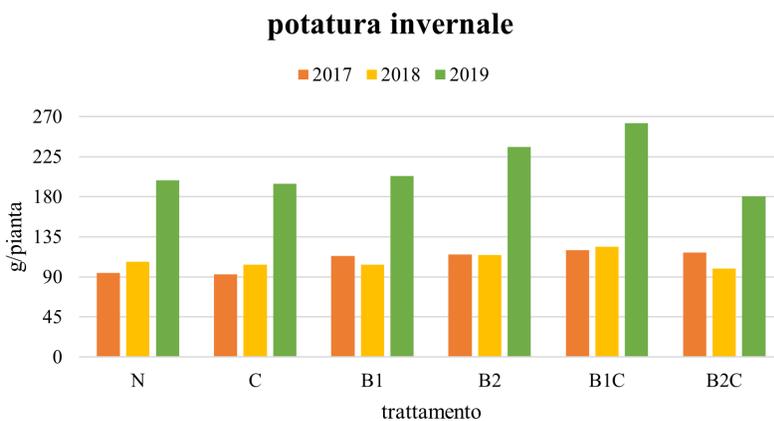


Fig. 27 – Valutazione dell'accrescimento medio per pianta per trattamento: non è stata riscontrata nessuna differenza significativa fra i trattamenti (N=controllo non ammendato).

3.3 Blocco 65

i) Analisi del suolo

Le analisi complete degli elementi nutritivi nel suolo sono state eseguite solo il primo anno di sperimentazione, mentre in seguito è stato valutato solo il contenuto di azoto. Il pH di partenza nel meletto è maggiore (mediamente di 7,4) rispetto ai vigneti sperimentali, perciò l'aumento dovuto ad ammendamenti del suolo non è tanto evidente, ma in presenza di biochar è significativo (7,7, Fig. 28). La sostanza secca (Fig. 29) è risultata invece leggermente minore in presenza di biochar.

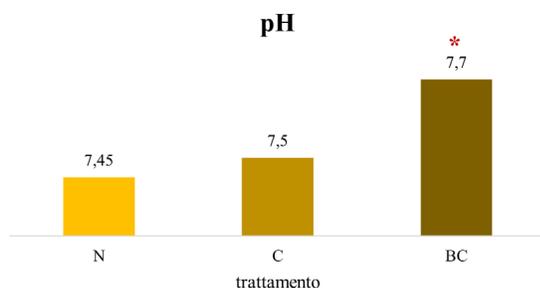


Fig. 28 – Valori di pH del suolo a giugno 2017: gli asterischi indicano una differenza significativa dei trattamenti ($p < 0,05$) rispetto al controllo non ammendato (N).

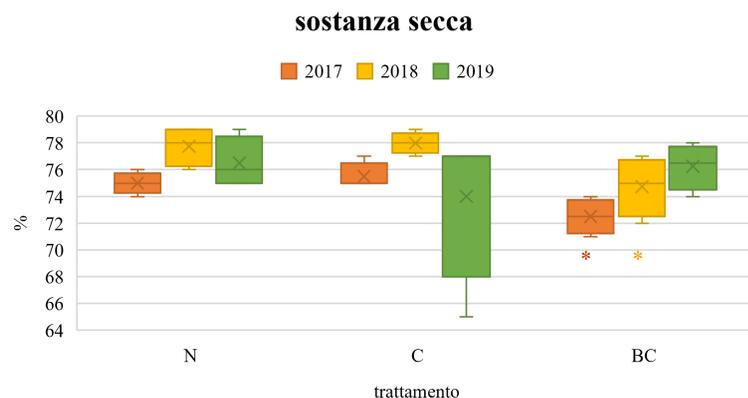


Fig. 29 – Percentuale di sostanza secca del suolo nelle tre annate: gli asterischi indicano una differenza significativa dei trattamenti ($p < 0,05$) rispetto al controllo non ammendato (N)

Non si è riscontrata nessuna differenza significativa per quanto riguarda l'azoto. È possibile rilevare invece un aumento del contenuto di carbonio

organico (espresso come humus %), fosforo, potassio e magnesio in seguito all'applicazione di biochar (Fig. 30).

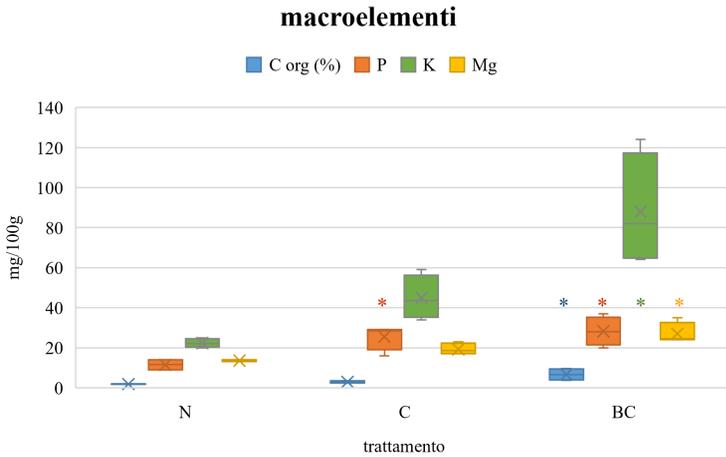


Fig. 30 – Valori dei macroelementi del suolo a giugno 2017 (valori di C espressi in humus %): gli asterischi indicano una differenza significativa dei trattamenti ($p < 0,05$) rispetto al controllo non ammendato (N).

Le analisi dei microelementi mostrano risultati simili a quelli ottenuti in vigneto: un contenuto di boro e zinco leggermente più elevato, ma valori di rame inferiori (Fig. 31); il manganese (non riportato) rimane inalterato.

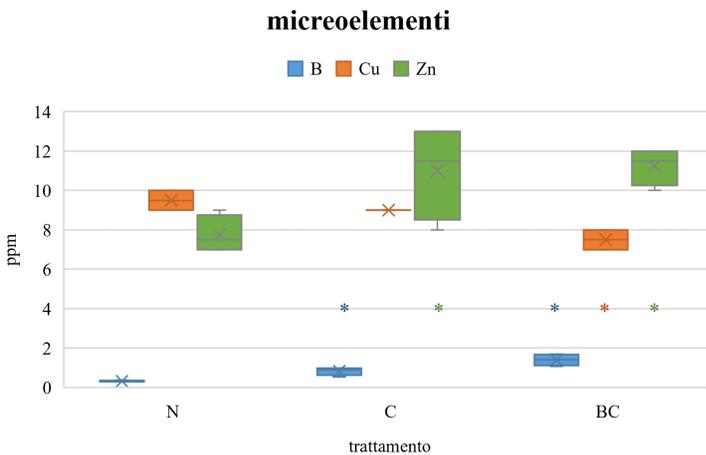


Fig. 31 – Valori dei microelementi del suolo a giugno 2017: gli asterischi indicano una differenza significativa dei trattamenti ($p < 0,05$) rispetto al controllo non ammendato (N).

ii) Analisi fogliari

Le analisi fogliari sono state condotte con un campionamento estivo nel secondo e terzo anno della prova. A luglio 2018 si sono rilevati maggiori livelli di potassio, magnesio (Fig. 32) e manganese (Fig. 33) nelle tesi con biochar rispetto al controllo. Il calcio, al contrario, diminuisce significativamente.

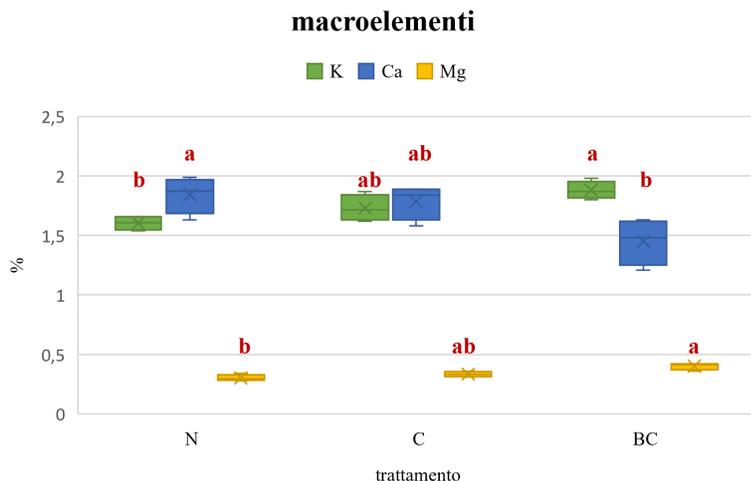


Fig. 32 – Abbondanze relative di potassio, calcio e magnesio nelle foglie a luglio 2018; lettere diverse indicano la differenza ($p < 0,05$) fra i trattamenti (N=controllo non ammendato).

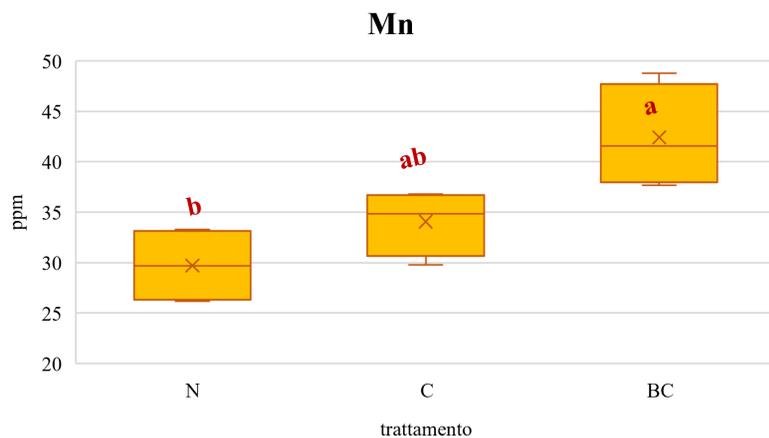


Fig. 33 – Abbondanze relative di manganese nelle foglie a luglio 2018; lettere diverse indicano la differenza ($p < 0,05$) fra i trattamenti (N=controllo non ammendato).

iv) Produttività

La produttività è stata valutata nel secondo e terzo anno attraverso il peso dei frutti per pianta, considerando le quattro centrali di ogni parcella, per un totale di 16 piante per trattamento (Tabella 7).

Tabella 7 – Dati della cernitrice mediati per trattamento ed annata. Le percentuali di colorazione sono da attribuirsi alla stagionalità (mele raccolte tutte lo stesso giorno) e non rispecchiano i massimi valori raggiungibili. Gli asterischi indicano differenze significative ($p < 0,05$) rispetto al controllo (N).

Trattamento	*	*	*	*	*
2018	media mele/ pianta	peso medio mela (g)	% colore rosso	% colore giallo	% colore verde
N	42,2	180,35	76,04	1,96	20,5
C	48,4	184,1	80,3	2,11	16,11
BC	46,9	194,9	77,9	3,01	17,6
Trattamento	*				
2019	media mele/ pianta	peso medio mela (g)	% colore rosso	% colore giallo	% colore verde
N	44,5	184,6	88,55	1,179	8,901
C	46,4	177,49	91,08	0,77	6,843
BC	58,1	176,03	90,52	0,799	7,377

Il primo anno le parcelle non trattate hanno prodotto mele di dimensioni significativamente minori rispetto alle altre tesi; in entrambe le annate si è riscontrata una produzione media per pianta significativamente minore nelle tesi di controllo (Fig. 34).

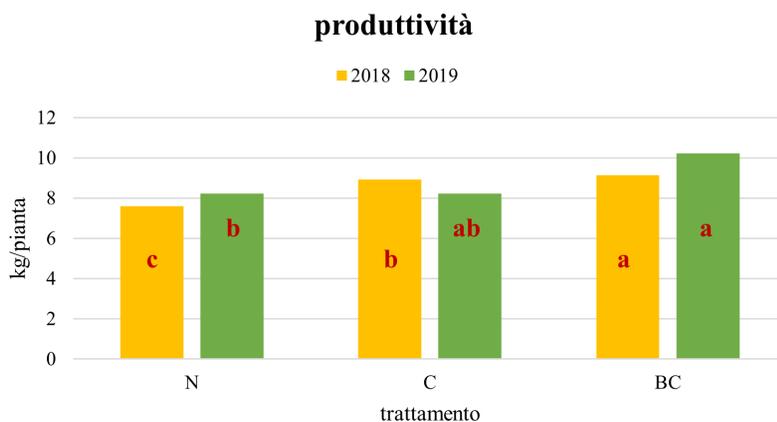


Fig. 34 – Produzione media in chili di mele per pianta nelle due annate: le lettere indicano una differenza ($p < 0,05$) fra i trattamenti (N=controllo non ammendato).

v) Crescita vegetativa

La Tabella 8 e la Fig. 35 mostrano la lunghezza media dei rami annuali (> 5 cm) prodotti per pianta. La crescita dei meli non trattati nelle parcelle di controllo è significativamente minore rispetto ai trattamenti; la performance migliore è stata riscontrata nelle parcelle ammendate con la combinazione bio-char+compost.

Tabella 8 – Accrescimento medio annuale per pianta e per trattamento. Gli asterischi indicano una differenza significativa dei trattamenti ($p < 0,05$) rispetto al controllo non ammendato (N).

Trattamento/ anno	2017		2018		2018 *	
	media rami/ pianta	media cm/ pianta	media cm / ramo	media rami/ pianta	media cm/ pianta	media cm/ ramo
N	14	7322	16,34	33	23323	22,06
C	15,9	8613	16,88	36,9	27019	22,85
BC	13,8	8969	20,33	41,3	35967	27,2

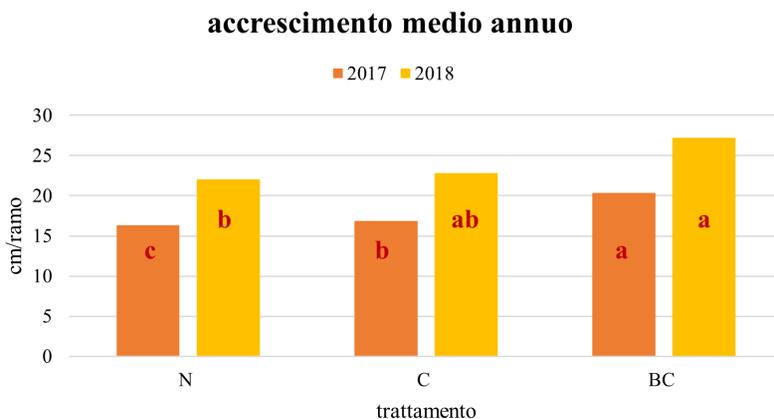


Fig. 35 – Accrescimento medio dei rami per trattamento nelle due annate: le lettere indicano differenza significativa ($p < 0,05$) fra le tesi (N=controllo non ammendato).

La Tabella 9 riporta il diametro medio del fusto del melo misurato ad un metro dal suolo (Tabella 8) nelle tre annate: in nessun caso è stata riscontrata una significativa differenza fra i trattamenti.

Tabella 9 – Accrescimento medio annuale per pianta: nessuna differenza significativa fra i trattamenti (N=controllo non ammendato).

Trattamento/anno	2017	2018	2019
	accrescimento medio fusti (mm)		
N	+3,97	+4,11	+7,05
C	+4,38	+4,15	+6,51
BC	+3,77	+5,04	+6,96

4. Discussione

I risultati ottenuti suggeriscono che i trattamenti con biochar e biochar+compost modificano i parametri chimici del suolo, nella fattispecie aumentando la disponibilità di alcuni nutrienti, in particolare i macroelementi potassio, magnesio e fosforo. È stata dimostrata chiaramente la capacità del biochar di innalzare il pH del suolo, per cui in viticoltura può essere utilizzato vantaggiosamente su suoli acidi. Nel caso del solo compost invece non si sono registrate variazioni significative dei suddetti parametri. L'aumento della concentrazione dei nutrienti è riscontrabile anche nel sottosuolo e in parte anche nelle parcelle ammendate con solo compost, mentre questo effetto è risultato meno accentuato nei trattamenti dove l'incorporazione è avvenuta solo nei primi 30 cm, e più regolare invece dove gli ammendanti sono stati incorporati più in profondità. Questi valori sono rimasti pressoché stabili durante tutto il periodo di sperimentazione, e confermano il potenziale impiego del biochar come ammendante dei terreni vinicoli (Schmid et al. 2014, Genesio et al. 2015), consentendo un aumento del contenuto di carbonio organico e con esso della capacità di ritenzione idrica, e aumentando la disponibilità di nutrienti. È stato inoltre dimostrato che un aumento di disponibilità di nutrienti nel suolo ha portato solo in pochi casi ad un assorbimento maggiore di questi. Dalle analisi fogliari condotte nel vigneto in produzione risulta infatti solo un caso in cui vi sono concentrazioni maggiori di boro nei trattamenti con biochar e compost. Il giovane impianto, inizialmente carente in magnesio a causa del limitato sviluppo dell'apparato radicale delle giovani viti, dal secondo anno ha mostrato in tutte le varianti trattate con biochar un maggior assorbimento di magnesio. Questo suggerisce che i terreni arricchiti con biochar contribuiscono ad un migliore approvvigionamento delle viti soprattutto in situazioni di stress e carenze.

Nel 2018 si è rilevato anche nel meletto un aumento delle concentrazioni di magnesio fogliare, accompagnato da un maggior assorbimento di potassio e un minore contenuto di calcio.

Un risultato che a prima vista appare contraddittorio è quello del manganese: in linea con la minore disponibilità di manganese riscontrata nelle parcelle trattate di entrambi i vigneti sperimentali, nel 2018 e 2019 a Weissplatter le

foglie delle varianti arricchite con biochar avevano un contenuto di manganese significativamente minore. Il giovane meleto, al contrario, nel 2018 ha mostrato un maggior contenuto di manganese fogliare nelle parcelle arricchite con biochar. La disponibilità di manganese riscontrata in tali parcelle, in questo caso, non è stata ridotta rispetto al controllo non trattato (dati non mostrati).

Questi dati contrastanti potrebbero dunque indicare che il biochar non è direttamente responsabile della disponibilità di manganese nel suolo, che dipenderebbe piuttosto da uno spostamento del pH. In entrambi i vigneti sperimentali il pH iniziale del suolo era leggermente acido (6,35 e 6,28 per Moarhof e Weissplatter rispettivamente) e favoriva l'assorbimento di manganese. In seguito all'aggiunta di biochar il pH è aumentato significativamente a 7,16 e 7,36 rispettivamente, livello in cui la capacità di assorbimento del manganese per le viti è minima (Keller, 2015). Nel meleto invece il pH originario del suolo era più alto (7,45), e l'alcalinità non è aumentata in maniera apprezzabile (7,7). Le analisi del suolo indicano un'invariata disponibilità di manganese, ma ne è aumentato l'assorbimento da parte dei meli: questo fa pensare che il biochar di per sé non possa bloccare efficacemente questo elemento e che la capacità di assorbimento di manganese non sia quindi influenzata dal biochar in sé, ma piuttosto da una variazione dei livelli di pH del suolo.

Anche la minore disponibilità di rame riscontrata nei terreni ammendati con biochar in entrambi i vigneti è da ricondursi con molta probabilità allo spostamento di pH verso un range leggermente alcalino. La calce infatti viene utilizzata nelle pratiche agricole sia per ridurre la disponibilità di rame nel terreno che con l'obiettivo di aumentarne il pH (Park, 2011).

Nel complesso, come hanno dimostrato queste prove, l'introduzione di biochar nel terreno è un buon modo per aumentarne i valori di pH. Più il suolo è acido, più alto potrà essere il valore di pH che avrà il biochar utilizzato come ammendante.

Le analisi delle bacche e successivamente dei mosti non hanno mostrato variazioni significative nell'avanzamento della maturazione così come negli altri parametri considerati. Generalmente più variabili sono stati invece il contenuto di azoto prontamente assimilabile (APA) e l'acidità totale, seppure non significativamente differenti fra le tesi. A differenza di quanto descritto da

Holweg (2019), in entrambi i vigneti le tesi con biochar non hanno mostrato livelli di APA più elevati nei mosti.

Alla degustazione, i vini sperimentali delle singole tesi non hanno evidenziato differenze sensoriali o analitiche significative fra loro in nessuna delle tre annate. Generalmente i vini sono stati considerati molto simili, ma con una tendenza di maggiore tipicità rispetto al controllo nelle tesi di biochar in dose minore. I vini della tesi compost, al contrario, sono stati tendenzialmente meno apprezzati per quanto riguarda l'armonia e il giudizio complessivo.

Per quanto riguarda la produzione, i vigneti non hanno mostrato differenze di resa fra parcelle ammendate e non. Il meleto, al contrario, in entrambe le annate ha avuto un aumento significativo del numero di frutti sui suoli ammendati, sia con solo compost che, ancora più nettamente, nella tesi con biochar+compost. Questo effetto è confermato anche dall'accrescimento dei rami, ma non da quello dei tronchi; nei vigneti invece non si è registrata alcuna differenza significativa nella crescita vegetativa delle piante. Differenti sviluppi tra vigneti e meleto sono probabilmente dovuti al fatto che il meleto aveva subito una regolare concimazione minerale annuale e di conseguenza ha mantenuto costantemente un livello nettamente più elevato di azoto disponibile per le piante rispetto ai vigneti. Questi, al contrario, possedevano già sufficiente sostanza organica e nutrienti da rendere superflua una concimazione. Il primo anno di sperimentazione, a causa della lavorazione del terreno dopo un lungo periodo di inerbimento permanente, per incorporare gli ammendanti, si sono visti elevati valori di azoto mineralizzato in tutte le parcelle trattate; già l'anno successivo però tali valori sprofondano in ogni tesi, rimanendo attorno ai 20 kg/ha. L'applicazione di notevoli quantità di biochar e biochar con compost ha innalzato significativamente i livelli di carbonio organico, ma non ha portato ad un cambiamento duraturo nella disponibilità di azoto per le viti. Di conseguenza non si è verificata una crescita vegetativa maggiore delle viti trattate ed anche la qualità dei vini è rimasta inalterata; questo è un buon risultato, in quanto una disponibilità elevata di azoto in generale porterebbe ad una maggiore crescita vegetativa, che nella viticoltura di qualità, con rese piuttosto basse, può avere effetti negativi sulla qualità delle uve e del vino.

Non si deve perciò temere che l'utilizzo del biochar come ammendante per aumentare il pH, la capacità di ritenzione idrica o di sequestro di anidride carbonica del suolo possa favorire un eccessivo sviluppo vegetativo delle viti con conseguenze sulla qualità dei vini.

Al contrario, laddove è necessario un effettivo miglioramento della crescita vegetativa in viticoltura, l'aggiunta di biochar puro o biochar con compost poco azotato possa essere insufficiente per ottenere gli effetti desiderati. È quindi consigliabile in questi casi aggiungere al biochar sostanze più ricche in azoto, come ad esempio il letame o il liquame.

Anche nel giovane meletto non si è potuto notare un aumento significativo delle concentrazioni di Nmin nelle tesi con biochar, ma i valori sono generalmente da due a tre volte superiori a quelli dei vigneti: con un'abbondanza fra i 50 e i 70 kg/ha presenta una disponibilità totale di azoto complessivamente più elevata. Ciò suggerisce che nelle parcelle arricchite con biochar la capacità di stoccaggio di azoto sia più elevata, come descritto da Steiner et al. (2010), Ventura et al. (2013), Sánchez-García et al. (2015), rendendo poi esso disponibile per le piante in maniera più efficace rispetto al controllo.

Nei vigneti non sono state riscontrate difficoltà di crescita nelle tesi arricchite con solo biochar, al contrario di quanto riportato da alcuni autori (Deenik et al., 2010; Nelson et al., 2012). Ciò potrebbe attribuirsi al notevole contenuto di sostanza organica nei terreni (intorno al 3%) già all'inizio della sperimentazione, dovuto alle pratiche di inerbimento permanente: da decenni infatti nei vigneti altoatesini si utilizza questa pratica, e anche il materiale organico proveniente dalle potature verdi ed invernali viene lasciato sul posto, aumentando la sostanza organica presente negli strati superficiali del terreno. La lavorazione del suolo per incorporare gli ammendanti ha in questo caso liberato inevitabilmente una discreta quantità di azoto dalla sostanza organica presente, permettendo anche al biochar puro un certo arricchimento.

I risultati ottenuti indicano dunque che, nelle condizioni prevalenti in cui si pratica viticoltura in Alto Adige, può essere possibile l'utilizzo di biochar puro senza conseguenze negative, se non si punta ad aumentare la crescita vegetativa delle piante. Infatti, lo sviluppo delle giovani viti nelle tesi con biochar puro non è stato più marcato o più debole rispetto al controllo o al solo compost.

In melicoltura invece, il rifornimento di azoto è di maggiore importanza e necessita livelli più alti rispetto alla viticoltura: qui sembra dunque più appropriato l'uso di biochar arricchito. Va specificato che nel meleto con valori di pH del suolo già elevati, l'uso di un biochar con pH pari a 9,6 non ha causato problemi e né ha portato a cambiamenti rilevabili o visibili.

Le due dosi di biochar utilizzate nelle sperimentazioni si sono comportate in modo simile: il dosaggio maggiore ha prodotto effetti più pronunciati ad esempio nell'aumento del pH del suolo, ma nel complesso non sono stati rilevati effetti negativi dovuti alla maggiore quantità di biochar.

5. Conclusioni

I risultati qui esposti indicano che l'utilizzo di biochar va fatto secondo necessità in base alla situazione colturale. Per stimolare la crescita delle piante è necessario arricchire il biochar con composti azotati, prima o dopo l'applicazione al suolo. Se invece, come nel caso della viticoltura di qualità, si vuole mantenere una vigoria moderata, è consigliabile un minimo arricchimento oppure l'utilizzo di solo biochar. Oltre alla capacità di fissare a lungo termine il carbonio, possibilità che va sfruttata se si volesse limitare il progredire del cambiamento climatico, le sperimentazioni hanno confermato, che un biochar di qualità porta in ogni caso ad un miglioramento delle proprietà del suolo. Non sono stati riscontrati invece effetti collaterali negativi dovuti all'applicazione di biochar nel suolo in frutticoltura e viticoltura.

Bibliografia

- Blackwell, P. S. (2000–). Management of water repellency in Australia, and risks associated with preferential flow, pesticide concentration and leaching. *Journal of Hydrology* 231(2), 384–395. Accesso via [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00210-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00210-9)
- Cammarano, D., Ceccarelli, S., Grando, S., Romagosa, I., Benbelkacem, A., Akar, T., Al-Yassin, A. & Ronga, D. (2019). The impact of climate change on barley yield in the Mediterranean basin. *European Journal of Agronomy* 106, 1-11.
- Clough, T. J. & Condrón, L. M. (2017). Biochar and the nitrogen cycle: introduction. *Journal of Environmental Quality* 39, 1218–23. Accesso via <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20830909>
- Deenik, J. L., McClellan, T., Uehara, G., Antal, M. J. & Campbell, S. (2010). Charcoal volatile matter content influences plant growth and soils nitrogen transformations. *Soil Science Society of America Journal* 74(4), 1259-70.
- Eyles, A., Bound, S. A., Oliver, G., Corkrey, R., Hardie, M., Green, S. & Close D. C. (2015). Impact of biochar amendment on the growth, physiology and fruit of a young commercial apple orchard. *Trees* 29, 1817–1826. Accesso via <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1263>
- Genesio, L., Miglietta, F., Baronti, S. & Vaccari, F. P. (2015). Biochar increases vineyard productivity without affecting grape quality: results from a four-year field experiment in Tuscany. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 201, 20–25. Accesso via <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.11.021>
- Holweg, C. (2019). Pflanzenkohle als Maßnahme gegen Nitratauswaschung im Weinbau. *Abschlussbericht Projekt VinoCarb*, Badenova. Accesso via <https://www.badenova.de/downloads/unternehmen/engagement/innovationsfonds-downloads/unternehmensbereiche/stab/innovationsfonds/abschlussberichte/2016/2016-01-abschlussbericht-pflanzenkohle-nitrat-weinbau.pdf>
- Kammann, K., Schmidt, H. P., Messerschmidt, N., Linsel, S., Steffens, S., Müller, C., Koyro, H. W., Conte, P. & Stephen, J. (2015). Plant growth

- improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar. *Scientific Reports* 5, 11080. Accesso via <https://doi.org/10.1038/srep11080>
- Keller, M. (2015). *The Science of Grapevines, Anatomy and Physiology*. Second edition. Academic Press, Elsevier.
- Kirschbaum, M. U. F. (1995). The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biology Biochemistry* 27(6), 753–760.
- Lehmann, J., Gaunt, J. & Rondon, M. (2006). Biochar sequestration in terrestrial ecosystems – a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change* 11, 403–27. Kluwer Academic Publishers-Plenum Publishers. Accesso via <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9006-5>
- Lehmann, J. & Joseph, S. (2009). *Biochar for environmental management: Science and Technology*. Earthscan, London.
- Nelson, D. C., Flematti, G. R., Ghisalberti, E. L., Dixon, K. W. & Smith, S. M. (2012). Regulation of seed germination and seedling growth by chemical signals from burning vegetation. *Plant biology* 63, 107-30.
- Park, J. H., Choppala, G. K., Bolan, N. S., Chung J. W. & Chuasavati, T. (2011). Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant Soil* 348, 439. Accesso via <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0948-y>
- Ray, D.K., West, P.C., Clark, M., Gerber, J.S., Prishchepov, A.V. & Chatterjee, S. (2019). Climate change has likely already affected global food production. *PLoS ONE* 14(5): e0217148. Accesso via <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217148>
- Sánchez-García, M., Albuquerque, J. A., Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A. & Cayuela, M. L. (2015). Biochar accelerates organic matter degradation and enhances N mineralisation during composting of poultry manure without a relevant impact on gas emissions. *Bioresource Technology* 192, 272–79. Accesso via <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.003>
- Schmidt, H. P., Kammann, C., Niggli, C., Evangelou, M. V. H. & Mackie, K. A. (2014). Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 191, 117–123. Accesso via <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.04.001>

- Steiner, C., Das, K. C., Melear, N. & Lakly, D. (2016). Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar. *Journal of Environment Quality* 39(4), 1236. Accesso via <https://doi.org/10.2134/jeq2009.0337>
- Taghizadeh-Toosi, A., Clough, T. J., Condrón, L. M., Sherlock, R. R., Anderson, C. R. & Craigie, R. A. (2011). Biochar incorporation into pasture soil suppresses in situ nitrous oxide emissions from ruminant urine patches. *Journal of Environment Quality* 40(2), 468. Accesso via <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0419>
- Ventura, M., Sorrenti, G., Panzacchi, P., George, E. & Tonon, G. (2013). Biochar reduces short-term nitrate leaching from a horizon in an apple orchard. *Journal of Environment Quality* 42, 76-82.
- Wang, Y., Ma, Z., Wang, X., Sun, Q., Dong, H., Wang, G., Chen, X., Yin, C., Han, Z. & Mao, Z. (2019). Effects of biochar on the growth of apple seedlings, soil enzyme activities and fungal communities in replant disease soil. *Scientia Horticulturae 2019 - Amsterdam*. Accesso via <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108641>

