

Utilizzo di biochar arricchito in orticoltura e produzione di biogas e biometano per l'utilizzo circolare dei residui agricoli come ammendanti e fertilizzanti bio-based





**Finanziato dalla Regione Toscana,
SOTTOMISURA 16.2 PSR 2014-2022**



**Visita la pagina del progetto
<https://ch4r.agricolturaorganica.org>**



**Pubblicato nel 2025
Impaginato da Albanova Studio**

Indice

1	-----	IL BIOCHAR
2	-----	I PRINCIPALI VANTAGGI IN AGRICOLTURA
4	-----	LA QUALITA' DEL BIOCHAR: FEEDSTOCK E PROCESSO
6	-----	ASPETTI AGRONOMICI DELL'UTILIZZO DEL BIOCHAR IN AGRICOLTURA
6	-----	Modalità di applicazione e di impiego
7	-----	Inoculazione ed arricchimento del biochar
8	-----	Biochar per la coltivazione fuori suolo
9	-----	Biochar e co-compostaggio
10	-----	Adattabilità del biochar a diverse colture
11	-----	Il biochar e il settore zootecnico
12	-----	IL PROGETTO CH4R
13	-----	IL BIOCHAR COME ADDITIVO NELLA DIGESTIONE ANAEROBICA
14	-----	Attività sperimentali
15	-----	Principali risultati
16	-----	IL BIOCHAR COME FILTRO PER LA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI AZOTATE
16	-----	Attività sperimentali
17	-----	Principali risultati
17	-----	IL BIOCHAR COME CARRIER DI NUTRIENTI PER LA FERTILITA' DEI SUOLI
18	-----	Attività sperimentali
19	-----	Principali risultati



IL BIOCHAR

Il biochar è un materiale carbonioso di origine vegetale ottenuto tramite processi termochimici. A differenza di altri tipi di carbone, il biochar si distingue per le sue specifiche proprietà chimiche e fisiche, che lo rendono particolarmente adatto come ammendante organico per i suoli in agricoltura (Figura 1).

Dal punto di vista legislativo, il biochar è riconosciuto come ammendante organico dei suoli dal Regolamento Europeo sui Fertilizzanti 2019/1009 ed è autorizzato per l'uso in agricoltura biologica in Italia secondo il nuovo decreto di riordino del D.Lgs. 75/2010, in conformità al Regolamento Europeo sull'agricoltura biologica 848/2008. La definizione normativa di biochar comprende materiali ottenuti dalla pirolisi e gassificazione di soli prodotti e residui vergini di origine vegetale provenienti dall'agricoltura e dalla silvicoltura. Inoltre, possono essere utilizzati rifiuti vegetali delle industrie alimentari e quelli derivanti dalla raccolta differenziata di cucina e ristorazione. Sono invece esclusi i rifiuti municipali, i fanghi di varia origine e i sottoprodotti animali, ad eccezione di alcune categorie specifiche come stallatico, pelli, corna e parti di ossa di animali non destinati al consumo umano. I requisiti tecnici del biochar si concentrano sulla stabilità (determinata dal rapporto H:C molare) e sul contenuto di contaminanti come diossine/furani, IPA e PCB.

Grazie alla sua stabilità e al suo alto contenuto di carbonio organico, il biochar, una volta applicato al suolo, permette di fissare il carbonio nel suolo per secoli, rendendolo uno strumento efficace per il sequestro di CO₂. Questa caratteristica lo rende parte di una strategia "carbon negative", contribuendo alla rimozione netta di anidride carbonica dai sistemi agricoli e supportando così la mitigazione dei cambiamenti climatici e l'adattamento agli stessi.



Figura 1: La filiera del biochar come ammendante organico

I PRINCIPALI VANTAGGI IN AGRICOLTURA

Il biochar offre numerosi vantaggi in agricoltura, in particolare grazie alle sue proprietà uniche che lo rendono una risorsa preziosa per il miglioramento del suolo. Una delle applicazioni più interessanti riguarda la sua capacità di trattenere l'**umidità**, agendo come una spugna con pareti di carbonio. La sua superficie interna, che può raggiungere tra i 100 e i 200 metri quadrati per grammo, consente di accumulare e rilasciare lentamente l'acqua, migliorando la ritenzione idrica del suolo. Questo fenomeno permette alle piante di mantenere una buona idratazione, evitando che l'acqua piovana o di irrigazione venga rapidamente dilavata, caratteristica particolarmente importante per le zone vulnerabili a fenomeni di desertificazione (Figura 2).



Figura 2: Applicazione di biochar in zone agricole soggette a fenomeni di degradazione.

Oltre a migliorare la gestione dell'acqua, il biochar ha un impatto significativo anche sulla **disponibilità dei nutrienti** nel suolo. Grazie alla sua struttura porosa e alla vasta superficie (Figura 3), il biochar è in grado di trattenere i nutrienti disciolti all'interno della sua matrice, compresi quelli altamente mobili come i nitrati. In questo modo, impedisce la loro perdita per lisciviazione e promuove la loro disponibilità nel tempo, favorendo una nutrizione più stabile per le piante. La sua capacità di agire come un "contenitore" per i nutrienti permette di estendere la loro disponibilità a livello della zona radicale, facendo del biochar un fertilizzante a lento rilascio. Questo approccio consente alle piante di ricevere un apporto costante di nutrienti, migliorando l'efficienza e la sostenibilità dell'uso agricolo del suolo.

Il biochar offre numerosi vantaggi anche per le proprietà fisiche del suolo.

La sua applicazione influisce significativamente sulla densità apparente del suolo, sulla struttura e sulla porosità. La **densità apparente** del suolo tende a diminuire grazie alla natura porosa del biochar, che ha una densità inferiore rispetto alle particelle di suolo.

Questo fenomeno favorisce una **maggiore aerazione**, evitando la compattazione del suolo e riducendo il rischio di asfissia radicale. Inoltre, l'applicazione di biochar migliora la stabilità delle aggregazioni del suolo, aumentando la resistenza alla compattazione e migliorando la penetrazione delle radici e l'infiltrazione dell'acqua e la diffusione dei nutrienti. Questo processo favorisce una migliore struttura del suolo, creando un ambiente più adatto per lo sviluppo delle piante.

La migliorata porosità e la stabilità della struttura del suolo riducono anche il **rischio di erosione**, poiché il suolo diventa meno suscettibile alla perdita di particelle e al deflusso, contribuendo al controllo dei fenomeni erosivi, particolarmente importante per i terreni in pendenza.

Infine, il biochar promuove la **biodiversità microbica** nel suolo.

La sua struttura porosa fornisce habitat protetti per diversi microrganismi, inclusi batteri e funghi, favorendo la colonizzazione microbica e migliorando le attività biologiche del suolo. I pori offrono protezione fisica ai microrganismi, conservando acqua e sostanze solubili essenziali per il loro metabolismo. Questo incremento della biodiversità microbica contribuisce a un suolo più sano e produttivo, migliorando la fertilità e la sostenibilità a lungo termine delle coltivazioni.

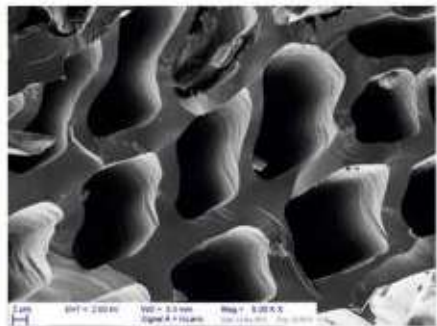


Figura 3: Esempio di biochar prodotto da biomassa legnosa (cippato di pioppo) (a sx); dettaglio della struttura porosa interna di un biochar prodotto da pino nero (a dx).

LA QUALITA' DEL BIOCHAR: FEEDSTOCK E PROCESSO

Una vasta gamma di fattori contribuisce alla determinazione delle caratteristiche del biochar, in particolare la tipologia di biomassa utilizzata ed il processo adottato per la sua produzione.

Questi parametri influenzano notevolmente la funzionalità del biochar ottenuto, definendo principalmente la sua composizione fisico-chimica e la struttura morfologica.

Nell'ambito dell'economia circolare, l'utilizzo di **materiali di scarto agroforestali**, come i residui di potatura e della cippatura, paglie e stocchi di cereali, è particolarmente vantaggioso, poiché permette di ridurre lo spreco di risorse e valorizzare materiali che altrimenti verrebbero abbandonati o soggetti a combustione. L'impiego di queste biomasse è in linea con i principi della **sostenibilità agricola**, favorendo un ciclo virtuoso di recupero e riciclo delle risorse.

La biomassa lignocellulosica è considerata il feedstock ideale per la produzione di biochar, grazie al suo alto contenuto di lignina e al basso contenuto di ceneri e umidità. Questi materiali consentono di ottenere un biochar stabile, con un elevato contenuto di carbonio fisso e una struttura porosa che migliora le proprietà fisiche del suolo. Tuttavia, altre biomasse, come residui di colture erbacee (paglie, stocchi di cereali, sottoprodotti alimentari), possono essere utilizzate in quanto fonti economiche e abbondanti. Il biochar che si genera da questi materiali erbacei, generalmente contiene più ceneri e nutrienti. Residui organici come letame e digestato sono anch'essi impiegabili, ma richiedono una gestione attenta per evitare la contaminazione con metalli pesanti o sostanze organiche indesiderate. Per garantire l'uso agronomico del biochar, è necessario rispettare requisiti di qualità definiti dalle normative sui fertilizzanti e sui prodotti biologici.

Un approccio precauzionale fondamentale nella scelta dei feedstock può essere riassunto come segue: per la produzione di biochar, si dovrebbero utilizzare solo i feedstock che normalmente vengono già utilizzati come ammendanti direttamente nel suolo o per la produzione di compost.

Questo principio rappresenta una condizione pregiudiziale anche per una prospettiva circolare più ampia, che può favorire cicli rigenerativi virtuosi nelle aziende agricole basate su principi convenzionali, biologici o agro-ecologici.

Per quanto riguarda la produzione di biochar, tre sono i principali metodi quali la pirolisi, la gassificazione e la carbonizzazione idrotermica, ciascuno caratterizzato da condizioni operative specifiche e da differenti rese e qualità del prodotto. Tra questi, la **pirolisi lenta** è universalmente riconosciuta come il processo più adatto per produrre un biochar di alta qualità destinato ad usi agronomici. La pirolisi consiste nel riscaldamento della biomassa in assenza di ossigeno, favorendo la decomposizione termochimica del materiale organico in un solido (biochar), un liquido (bio-olio) e un gas (syngas). Nella pirolisi lenta, le temperature operative si attestano generalmente tra 400 e 600°C, con tempi di reazione lunghi e velocità di riscaldamento lente. Queste condizioni massimizzano la produzione del residuo solido, che può raggiungere il 25-30% in peso della biomassa iniziale.

La Figura 4 mostra un impianto di pirolisi lenta del consorzio RE-CORD.



Figura 4: Impianto di pirolisi lenta del Consorzio RE-CORD.

ASPETTI AGRONOMICI DELL'UTILIZZO DEL BIOCHAR IN AGRICOLTURA

Modalità di applicazione e di impiego

Le modalità di utilizzo e applicazione del biochar in agricoltura sono molteplici e variano in funzione di alcuni fattori come suolo, coltura, clima, tipologia di biochar. Il primo passo per un utilizzo efficiente di un ammendante come il biochar è l'attenta valutazione delle caratteristiche chimico-fisiche dei suoli. A seconda della diversa tessitura dei suoli, gli effetti e le modifiche del comportamento fisico, idrologico e chimico possono variare anche in maniera consistente. In linea di massima, si può affermare che nei suoli a tessitura più fine, come quelli con maggior contenuto di argilla e limo, l'applicazione di biochar si traduce in un miglioramento principalmente delle caratteristiche fisiche, dato dall'**aumento della macroporosità** e una diminuzione della **densità apparente**, portando ad un "**alleggerimento**" del suolo stesso, con risvolti positivi anche sulle **operazioni di lavorazione** del suolo (es. precocità e mantenimento prolungato dello stato di tempera del suolo).

Per quanto riguarda le caratteristiche chimiche, data la generale elevata fertilità dei suoli a tessitura fine (capacità di scambio cationico, disponibilità di elementi nutritivi), disponibilità e capacità di ritenzione idrica, l'applicazione di biochar potrebbe apportare benefici meno rilevanti se comparati a quelli espletati in suoli a tessitura grossolana. Infatti, alcuni studi effettuati su colture come la vite, dimostrano come i benefici maggiori del biochar, soprattutto in relazione alla **disponibilità di acqua** per le colture, si verificano in condizioni molto limitanti per le piante e per la funzionalità dei suoli, come periodi prolungati di siccità o in terreni sabbiosi o tendenti allo sciolto.

Relativamente alle modalità di distribuzione e scelta del tipo di prodotto biochar da applicare, alcune differenziazioni e scelte operative possono essere modulate in base alla **tipologia di suolo e coltura di riferimento**. Un aiuto concreto per un utilizzo ragionato e senza sprechi del biochar, è quello di sfruttare sistemi di **agricoltura di precisione** come la distribuzione a rateo variabile utilizzando precise carte del suolo o carte di disponibilità idrica dei suoli.

Per suoli sciolti (sabbiosi) è consigliato l'utilizzo di prodotti con **pezzatura** minore e conseguente maggiore superficie specifica, quindi maggiore presenza di siti di contatto e scambio con il biochar; viceversa, per suoli pesanti e a tessitura fine (tendenti all'argilloso) è consigliato l'utilizzo di pezzature più grossolane così da garantire una porosità maggiore.

In base alla tipologia di coltura e i risultati ricercati possono variare le dosi e i momenti di applicazione. In generale, si può optare per una sola applicazione di quantitativi ingenti come 10-20 ton/ha, senza ripeterle in futuro. È utile ricordare, infatti, che il biochar è un prodotto **recalcitrante**, resistente alla degradazione biotica e abiotica per diverse decine o centinaia di anni, di conseguenza alcuni degli effetti esercitati al suolo si protraggono fin quando esso sarà presente nel suolo, motivo per cui è importante non distribuire dosi troppo elevate (oltre 25 ton/ha), sia per il rischio di effetti indesiderati, sia per uno spreco di risorse. Un'altra strategia, invece, è quella di distribuire dosi basse (<5 t/ha) in ogni stagione o durante le diverse operazioni annuali di gestione del suolo. L'applicazione di biochar può essere effettuata in **concomitanza con la distribuzione di concimi e/o ammendanti**, ad esempio nel periodo che intercorre tra l'autunno e la primavera per quanto riguarda le arboree, oppure ogniqualvolta ci si prepara per un nuovo trapianto di ortive, sfruttando le finestre di azione delle **operazioni colturali abitudinarie**.

La distribuzione del biochar può essere effettuata utilizzando macchinari già esistenti per la distribuzione di ammendanti e concimi, come **carri spandiletame o spandicompost**, oppure **spandiconcimi** di varia misura, con l'accortezza di inumidire la massa prima della distribuzione per evitare emissione di polveri sottili e perdere prodotto. Dopo la distribuzione è consigliato **interrare l'ammendante** nei primi 10-30 cm (a seconda della coltura, del periodo della stagione e del tipo di operazione di gestione del suolo che stiamo effettuando) attraverso una lavorazione superficiale.

Inoculazione ed arricchimento del biochar

Numerosi studi evidenziano come l'**inoculazione** del biochar prima della sua distribuzione migliori le performance del prodotto (Bai et al., 2022) (Figura 5). Quest'ultima consiste nell'aggiunta, qualche settimana prima della distribuzione, di una quota di biochar ai concimi (organici o organo-minerali), **ammendanti** (letame, compost, digestato), **estratti e macerati di erbe e consorzi microbiologici**, tra i quali anche accumulatori di microrganismi autoprodotti (Mancini, 2019), estratti e tè di compost (Zaccardelli et al., 2023). Grazie alle sue caratteristiche fisico-chimiche, gli elementi minerali presenti nei prodotti miscelati, vengono "conservati" sulle pareti del biochar, evitando la lisciviazione o erosione e ceduti più lentamente, mentre al suo interno i microrganismi trovano le condizioni ideali per proliferare e svolgere al meglio le proprie funzioni (riparo e catalizzazione). In generale è stato dimostrato un effetto di **miglioramento dell'efficienza d'utilizzo** di concimi, ammendanti e prodotti microbiologici, che diventano a loro volta anche più economici potendo valutare una diminuzione della quantità del loro utilizzo.



Figura 5: Biochar caricato con biofertilizzante applicato in campo come ammendante per reimpianto di un actinidiato (a sx), evidente stimolo alla radicazione delle giovani piante (a dx).

Biochar per la coltivazione fuori suolo

Un settore molto incentrato sulla ricerca di tecnologie di coltivazione in cui coniugare efficienza produttiva e sostenibilità ambientale è quello dell'orto florovivaismo, in cui il biochar potrebbe esprimere molte delle sue qualità, tra le quali la **parziale (fino al 50%) sostituzione** di ingenti quantità di torba nella costituzione dei substrati di coltivazione in vaso, risorsa non rinnovabile (Iacomino et al., 2023). In questo senso sono già numerosi gli studi che evidenziano l'idoneità del biochar come ingrediente nei substrati di coltivazione, anche in coltivazione idroponica (Lampel et al., 2022) oltre che esprimere effetti positivi soprattutto sul risparmio idrico, aumento dell'efficienza d'uso di fertilizzanti e disponibilità di elementi nutritivi, utilizzo di acque leggermente saline per l'irrigazione (Nocentini et al., 2023; Di Lonardo et al., 2017; Fascella et al., 2016).

Biochar e co-compostaggio

All'interno della polivalenza del biochar, troviamo la pratica del **co-compostaggio**, ovvero l'aggiunta del biochar alle matrici per la formazione di un cumulo di compostaggio in una percentuale del 3-10% in peso secco (Figura 6) (Casini et al., 2019).



Figura 6: Spandimento in campo di biochar co-compostato con letame e paglia, prima della semina dell'orzo (a sx) e campo di orzo in fase di maturazione (a dx).

Le funzioni svolte dal biochar all'interno del cumulo portano ad un miglioramento del processo globale di compostaggio, tra queste troviamo:

1. funzione di materiale **strutturante**, migliorando l'omogeneità e la struttura della mistura dei materiali organici;
2. contributo al mantenimento di **condizioni di aerazione e umidità costanti** e idonee per un compostaggio lineare in tutte le fasi, con conseguenti tempi ottimali del processo;
3. stimolo e mantenimento dell'**attività microbiologica** all'interno del cumulo;
4. **arricchimento** del biochar di elementi nutritivi e microrganismi ("caricamento");
5. diminuzione delle **emissioni** di gas climalteranti.

Adattabilità del biochar a diverse colture

Nel contesto italiano, e mondiale, sono oramai numerosi gli studi che dimostrano effetti positivi dell'applicazione di biochar al suolo su diverse colture.

A titolo di esempio, nel corso di ricerche decennali sulla **vite**, l'utilizzo di biochar distribuito nell'interfila in una singola dose, ha portato ad un aumento significativo delle rese ad ettaro senza però intaccare la qualità (Genesio et al., 2015). Tale risultato è dovuto principalmente ad un aumento dell'acqua disponibile nel suolo durante i periodi siccitosi e di conseguenza ad una riduzione dello stress e aumento dell'attività fotosintetica, risultati riscontrati anche precedentemente (Baronti et al., 2014). Inoltre non sono stati riscontrati effetti indesiderati sulla comunità biologica del suolo (Maienza et al., 2017).

Alcune ricerche hanno investigato l'impatto su quantità e qualità di produzione su **grano duro**, confermando un aumento del 30% sulla produzione di biomassa e resa della granella senza intaccare la qualità del prodotto (Vaccari et al., 2011).

Nel **settore orticolo**, una recente review (Lentini et al., 2025) analizza i risultati di molte ricerche sulla capacità del biochar di limitare o inibire i problemi legati agli stress abiotici su diverse colture tra le quali: cavolo (*Brassica oleracea* L.), fagiolo comune (*Phaseolus vulgaris* L.), melanzana (*Solanum melongena* L.), lattuga (*Lactuca sativa* L.), patata (*Solanum tuberosum* L.), pomodoro (*Solanum lycopersicum* L.), e altre. In molti casi il biochar ha garantito una risposta molto positiva allo **stress salino**, ai periodi siccitosi o agli stress indotti da irrigazione controllata e alla presenza di metalli pesanti nel suolo, inoltre, molti studi mostrano anche un aumento nelle produzioni in diverse colture, tra cui pomodoro e lattuga, protagonisti del progetto CH4R.



Il biochar e il settore zootecnico

Infine, negli ultimi anni l'utilizzo di biochar ha suscitato interesse anche nel **settore zootecnico**, sia per un suo possibile utilizzo in stalla, utile a ridurre le emissioni gassose in aggiunta alla lettiera o ad altre matrici derivanti dalle deiezioni animali, sia come supplemento nella razione al fine di ottenere vantaggi nella digestione e nell'assorbimento dei minerali.

La distribuzione di biochar in stalla sembrerebbe poter confermare l'efficacia del biochar nel contenere le emissioni in aria derivanti dalla fermentazione del letame. Nel progetto italiano RBR.EAS per esempio, si è attestata una **riduzione del 20% delle emissioni di CO₂** dalle deiezioni animali e del 40% di CH₄ nel letame e liquame. La sua elevata capacità di scambio cationico potrebbe quindi divenire soluzione promettente in tutti quei casi in cui è necessario ridurre la volatilizzazione nello stoccaggio dei reflui animali. La mancata volatilizzazione di carbonio e azoto si traduce più concretamente in un miglioramento delle condizioni qualitative dell'aria nella stalla e nella potenziale riduzione della proliferazione di insetti come mosche o tafani. Il **co-compostaggio di deiezioni/biochar in stalla** permetterebbe quindi la produzione di un ammendante dalla qualità minerale superiore. L'utilizzo del biochar come **supplemento alla razione** ha raccolto invece risultati meno condivisi confermando la necessità di ulteriori studi.

Non sembrano essere stati riportati rilevanti effetti negativi sulle performance generali degli animali mentre tra gli effetti positivi riscontrati in alcuni studi vi sono: il livello di riduzione dei gas emessi, il miglioramento degli indici di crescita e la disintossicazione da metalli pesanti o tossine. In generale, le caratteristiche fisico-chimiche del biochar appaiono ancora una volta sfruttabili positivamente anche in ambito alimentare zootecnico con particolare attenzione al materiale d'origine e la temperatura di pirolisi con cui è stato prodotto.



II PROGETTO CH4R



Il contesto attuale enfatizza la valorizzazione dei residui agro-forestali e il miglioramento dell'autosufficienza energetica nazionale in termini di elettricità e metano, in linea con i principi dell'economia circolare. Di conseguenza, il progetto CH4R ha l'obiettivo di studiare come il biochar possa essere integrato nella filiera della digestione anaerobica per migliorare la produzione di biogas e ridurre le emissioni, oltre a sviluppare ammendanti bio-based per uso agricolo.

Con il modello CH4R, si creerà una cascata di opportunità a livello energetico e ambientale:

- massimizzare e valorizzare diversi residui organici (residui agricoli da valorizzare con la digestione anaerobica e residui forestali per la produzione di biochar di alta qualità);
- integrare i processi bioenergetici come la digestione anaerobica con quelli per la produzione di biochar (pirolisi e gassificazione) per aumentare la produzione di energia rinnovabile;
- produrre ammendanti organici a base di digestato e biochar per promuovere i meccanismi di fertilità del suolo;
- proporre e sviluppare una filiera agro-bioenergetica sostenibile, circolare e locale da contestualizzare nella realtà produttiva della regione Toscana.

Nel progetto CH4R sono stati analizzati tre principali ruoli che il biochar può svolgere quando integrato con il processo di digestione anaerobica (Figura 7):

1. il biochar può essere utilizzato come additivo insieme ad altre matrici organiche per aumentare la produzione di biogas e biometano, oltre a contribuire alla stabilizzazione del processo di digestione anaerobica;
2. il biochar può essere impiegato come filtro per il digestato, catturando i composti azotati ancora presenti e prevenendo la loro volatilizzazione nell'ambiente;
3. quando miscelato con il digestato, il biochar si arricchisce di nutrienti, fungendo da vettore che, una volta applicato al suolo, li rilascia lentamente, contribuendo così alla fertilizzazione del suolo in modo sostenibile.

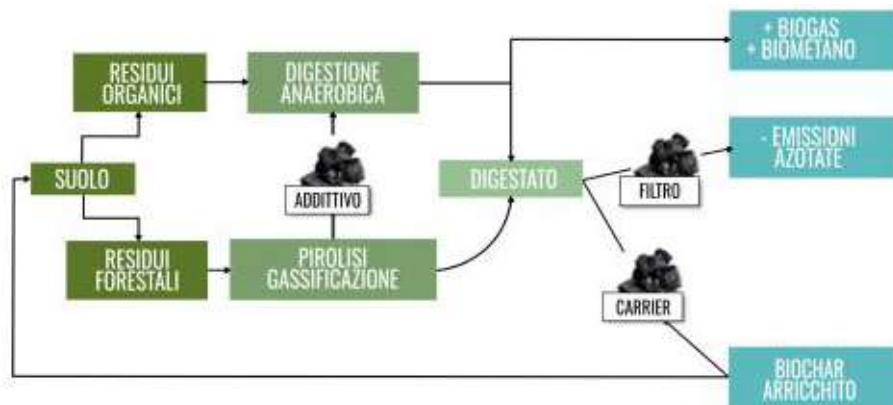


Figura 7: I diversi ruoli del biochar nella digestione anaerobica investigati durante il progetto CH4R.

IL BIOCHAR COME ADDITIVO NELLA DIGESTIONE ANAEROBICA

Il biochar gioca un ruolo fondamentale nella digestione anaerobica in quanto materiale sia poroso che conduttivo. In condizioni standard di digestione anaerobica, alcune tipologie di batteri si scambiano elettroni, tramite pili o contatto diretto delle membrane cellulari, innescando meccanismi che sono alla base della produzione del metano.

L'aggiunta di biochar, grazie alla sua alta conduttività elettrica, in certi casi addirittura simile a quella della grafite, facilita questo scambio, accelerando il trasferimento di elettroni tra le diverse specie batteriche (es. trasferimento diretto di elettroni interspecie tra i batteri e i metanigeni). Inoltre, la sua vasta superficie fornisce un habitat ideale per la colonizzazione dei batteri, che possono così vivere e interagire in modo più efficace, favorendo la produzione di biogas e biometano. Il biochar, quindi, non solo ottimizza la cinetica del processo, ma incrementa anche il rendimento in biometano, migliorando l'efficienza complessiva della digestione anaerobica.

Attività sperimentali

Le prove sperimentali per valutare le performance del biochar come additivo nella digestione anaerobica sono state condotte utilizzando due tipi di biochar: uno prodotto dall'impianto di gassificazione di proprietà dell'azienda agricola Frescobaldi, e l'altro ottenuto tramite pirolisi lenta, prodotto nell'impianto di pirolisi di RE-CORD. Gli esperimenti sono stati realizzati utilizzando le matrici organiche residuali provenienti dalla stessa azienda agricola Frescobaldi, come sansa, vinaccia e deiezioni suine che vengono convertite nell'impianto di digestione anaerobica dell'azienda, dal quale deriva anche l'inoculo batterico utilizzato nelle prove. Le prove di digestione anaerobica sono state svolte seguendo un iter tipico di screening, partendo da test su scala di laboratorio, utilizzando contenitori da 100 ml e 3 l con diverse concentrazioni di biochar. Durante le prove, è stato monitorato il flusso di biogas volumetricamente. In seguito, le opzioni più promettenti sono state avviate a test su scala pilota, utilizzando un reattore continuo da 1 m³ per valutare meglio l'effetto del biochar in un impianto di digestione anaerobica su scala più ampia (Figura 8).



Figura 8: Realizzazione di prove di digestione anaerobica con biochar a scala laboratorio (a sx) e a scala pilota (a dx) presso la sede sperimentale di RE-CORD.

Principali risultati

Il mix di substrati testato è risultato caratterizzato da un'elevata eterogeneità e dalla presenza di componenti più difficilmente digeribili (es. parti legnose provenienti dalle vinacce, noccioli di oliva etc.) e per questi motivi le produzioni di biogas hanno presentato una variabilità non trascurabile tra le repliche considerando che soprattutto nei test a scala laboratorio le prove hanno riguardato solo pochi grammi di materiale.

La Figura 9 mostra i risultati di un test effettuato a scala laboratorio dove sono stati confrontati due tipologie di biochar, uno prodotto dall'impianto gassificazione di Frescobaldi ("F") e uno dall'impianto di pirolisi lenta di RE-CORD ("R") a due concentrazioni differenti (5 e 10 g/l). La presenza di biochar tuttavia sembra aver migliorato le prestazioni della comunità batterica nell'aggreire questi substrati in quanto dalle prove è emerso che tutti i campioni addizionati con biochar hanno prodotto mediamente più biogas dei campioni di controllo (non addizionati con biochar, blank) e con minor variabilità nelle repliche, soprattutto le tesi presentanti il char da gassificazione di Frescobaldi.

Miglioramenti nelle produzioni sono stati osservati anche passando dall'utilizzo degli stessi substrati tal quali, cioè freschi, invece che secchi e macinati come nelle prove preliminari (soprattutto a scala 100 ml). L'utilizzo di substrati tal quali seppur aumenta la variabilità dei risultati ne migliora mediamente le produzioni rispetto al materiale secco in quanto nel processo di essiccazione porta via organici volatili che non vengono così convertiti in biogas.

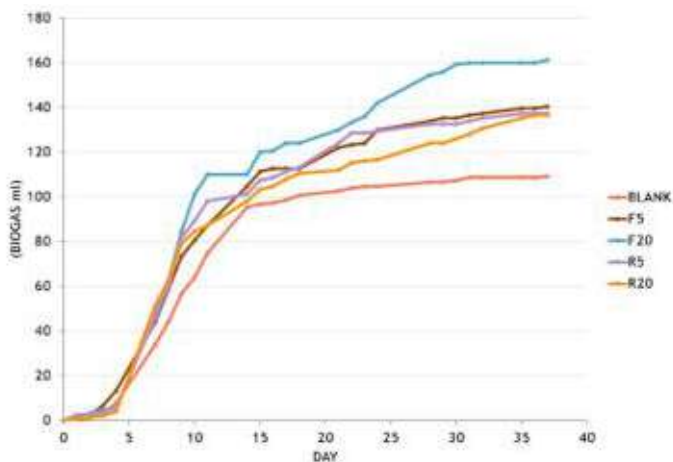


Figura 9: Curve di produzione di biogas in presenza di biochar

IL BIOCHAR COME FILTRO PER LA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI AZOTATE

La struttura porosa del biochar e la presenza di funzionalizzazioni in queste superfici (gruppi chimici esposti nella superficie o nei pori del biochar) lo rendono capace nell'interazione con diverse tipologie di molecole permettendo di "intrappolarle" all'interno del reticolo spugnoso del biochar.

Tra queste vengono citate in letteratura molecole azotate quali ammoniaca e nitrati spesso prodotte da processi biologici, quali ad esempio il compostaggio o la digestione anaerobica, dove la presenza di biochar ne evita la perdita sotto forma di emissione. Evitare le emissioni azotate ha un rilevante impatto ambientale oltre che nella riduzione degli odori spesso legati a questi processi e il recupero dell'azoto assume un'importanza rilevante soprattutto se associato alla gestione del sistema suolo. Il biochar è in grado di interagire con queste molecole sia che si trovino in forma gassosa sia disciolte in un liquido quali ad esempio un digestato.

Attività sperimentali

Al fine di valutare l'efficacia del biochar nel intrappolare l'ammonio in vista soprattutto della sua interazione con la frazione liquida del digestato, sono stati condotti test di laboratorio per valutare la capacità di assorbimento di ammonio da parte del biochar in quanto molecola presente nei digestati soprattutto prodotti a partire da letami suini. Sono stati testati un biochar da pioppo e da ontano, entrambi prodotti da RE-CORD. Il biochar da ontano è stato inoltre attivato sia chimicamente mediante K_2CO_3 sia mediante attivazione termica a 800°C in un reattore tubolare in quarzo sotto flusso di CO_2 al fine di testare eventuali aumenti nelle performance di assorbimento rispetto al char non modificato (Figura 10).

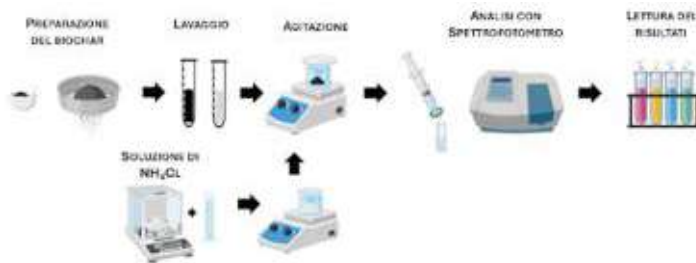


Figura 10: Protocollo di analisi e preparazione del campione di biochar

I char sono stati fatti interagire con una soluzione di cloruro di ammonio in agitazione, e successivamente, è stata valutata la concentrazione di ammonio, mediante il metodo colorimetrico allo spettrofotometro, presente in soluzione.

E' stato così possibile valutare l'efficacia dei campioni nel trattenere questa molecola.

Principali risultati

I campioni di char di pioppo e ontano non trattati hanno assorbito la stessa quantità di ammoniaca a differenza dei char trattati che sono risultati entrambi inefficaci nell'assorbimento (Figura 11). Tuttavia per migliorare le performance dei char sono necessari studi ulteriori e non sono da escludere ulteriori trattamenti di attivazione al fine di dotare i char dei gruppi funzionali adeguati all'assorbimento dell'ammonio in vista soprattutto delle prove su una soluzione più complessa quale la frazione liquida del digestato.

Tipologia di biochar	Trattamento	Assorbimento di NH_4 (%)
Biochar da pioppo	Non trattato	29
Biochar da ontano	Non trattato	25
Biochar da ontano	Trattamento chimico	0
Biochar da ontano	Trattamento fisico	3

Figura 11: Risultati dei test di assorbimento dell'ammonio

IL BIOCHAR COME CARRIER DI NUTRIENTI PER LA FERTILITA' DEI SUOLI

L'integrazione di biochar e digestato porta alla produzione di un ammendante organico con un elevato valore nutritivo, capace di migliorare sia le proprietà fisiche che quelle chimiche del suolo. Il biochar, con la sua struttura porosa, agisce inizialmente come un serbatoio che assorbe i nutrienti (es. ioni scambiabili) presenti nel digestato che si accumulano nelle sue pareti porose. Una volta che il biochar arricchito di digestato viene applicato al suolo, i nutrienti vengono quindi

rilasciati lentamente nel suolo, a beneficio della nutrizione delle piante. Questo processo consente di ridurre la perdita di nutrienti per lisciviazione, garantendo una disponibilità continua e prolungata. L'uso di questo ammendante riduce la necessità di fertilizzanti chimici provenienti da fonti esterne, contribuendo a una gestione agricola più sostenibile e a un incremento della fertilità a lungo termine del suolo.

Attività sperimentali

Il biochar arricchito di pioppo è stato preparato utilizzando la frazione liquida del digestato, proveniente dall'azienda agricola Frescobaldi. I test di laboratorio hanno mostrato che il biochar di pioppo è in grado di assorbire fino a tre volte il suo peso nella frazione liquida del digestato. Questo processo è stato replicato con successo su scala di campo. La prova agronomica è stata condotta presso l'azienda agricola OrtoBioattivo. Sono stati preparati tre trattamenti sperimentali:

- Concime organico a base di NPK (eq. 0,7 t/ha) (NPK);
- Biochar (eq. 6 t/ha) e concime organico a base di NPK (eq. 0,7 t/ha) (BC);
- Biochar arricchito con digestato (eq. 6 t/ha) e concime organico a base di NPK (eq. 0,5 t/ha) (BCA).

La stessa quantità di azoto è stata distribuita in tutte le parcelle. Nella parcella ammendata con biochar arricchito, l'azoto fornito dal digestato è stato preso in considerazione, consentendo una riduzione del 20% nell'uso di fertilizzante organico. La sperimentazione ha previsto prima la coltivazione di lattuga per il periodo autunnale, e successivamente la coltivazione di pomodoro per il periodo primaverile/estivo in rotazione (Figura 12).



Figura 12: Preparazione delle parcelle sperimentali con biochar e pomodori coltivati presso l'azienda agricola OrtoBioattivo.

Principali risultati

Le rese delle colture di lattuga e pomodoro hanno mostrato risposte differenziate ai trattamenti sperimentali. Per la lattuga, non sono state osservate differenze significative in termini di produttività tra i vari trattamenti. Al contrario, la produttività del pomodoro è stata significativamente influenzata dalla presenza del biochar. Le parcelle trattate con biochar hanno registrato un aumento della resa del 20% rispetto al trattamento con fertilizzante organico a base di NPK, evidenziando un effetto positivo del biochar sulla coltura. Tale comportamento differenziato è probabilmente attribuibile a diversi fattori. Innanzitutto, le specie vegetali rispondono in modo diverso ai trattamenti; è plausibile che il pomodoro abbia beneficiato maggiormente della presenza del biochar rispetto alla lattuga. Inoltre, anche il periodo di svolgimento del test potrebbe aver influenzato i risultati. Durante la stagione estiva, caratterizzata da alte temperature e scarse precipitazioni, il biochar tende a esprimere al meglio il suo effetto positivo, migliorando la capacità del suolo di trattenere l'umidità e favorendo una maggiore efficienza idrica per le colture.

Dal punto di vista delle caratteristiche del suolo, al termine del ciclo colturale (raccolta alla maturità commerciale), sono stati prelevati campioni di suolo per l'analisi dei parametri chimico-fisici. I risultati più rilevanti riguardano la disponibilità di nutrienti, in particolare nitrati e fosforo. In entrambi i cicli colturali, le parcelle trattate con biochar (BC e BCA) hanno mostrato un incremento significativo di questi elementi rispetto a quelle fertilizzate esclusivamente con NPK (Figura 13). Questo risultato suggerisce che il biochar abbia favorito la ritenzione dei nutrienti nel suolo, riducendo le perdite per lisciviazione durante gli eventi meteorici. La maggiore disponibilità di nutrienti residui nel suolo rappresenta un vantaggio significativo, poiché può essere sfruttata dalle colture successive in rotazione, migliorando la sostenibilità agronomica e riducendo la necessità di ulteriori apporti fertilizzanti.

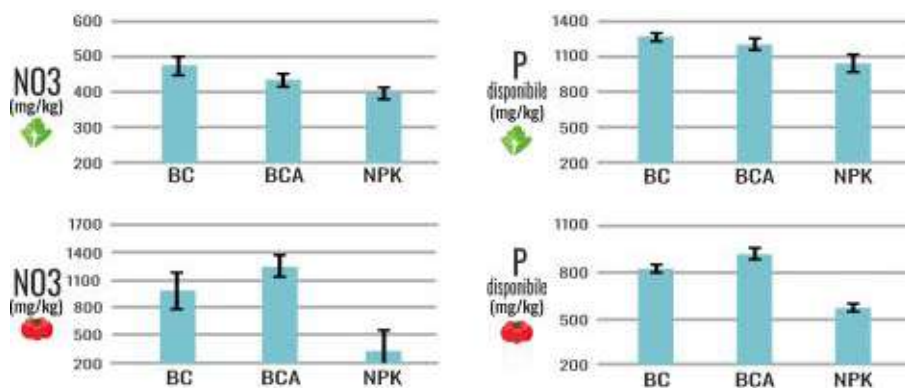


Figura 13: Concentrazione di nitrati e fosforo disponibile nelle parcelle trattate con biochar, biochar arricchito e concime organico a base di NPK a fine ciclo della lattuga e del pomodoro.

Bibliografia

Bai, X., et al. (2022). [Inoculation of biochar and its effects on agricultural performance]. *Journal of Agricultural Science*, 10(3), 45-56.

Baronti, S., et al. (2014). [Impact of biochar application on vineyard productivity and soil health]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191, 124-132.

Casini, D., et al. (2019). [Co-composting of biochar with manure and straw]. *Waste Management*, 88, 1-10.

Di Lonardo, S., et al. (2017). [Biochar as a substrate for soilless cultivation]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 180(5), 573-584.

Fascella, G., et al. (2016). [Biochar in horticultural substrates: Effects on plant growth and water use efficiency]. *Scientia Horticulturae*, 210, 1-8.

Genesio, L., et al. (2015). [Biochar application in vineyards: Effects on yield and soil properties]. *European Journal of Agronomy*, 62, 1-10.

Iacomino, G., et al. (2023). [Biochar as a peat substitute in horticultural substrates]. *Journal of Environmental Management*, 330, 117-125.

Lampel, A., et al. (2022). [Biochar in hydroponic systems: Effects on nutrient availability and plant growth]. *Agricultural Water Management*, 260, 107-115.

Lentini, M., et al. (2025). [Biochar and abiotic stress mitigation in vegetable crops]. *Journal of Sustainable Agriculture*, 15(2), 89-102.

Maienza, A., et al. (2017). [Biochar effects on soil microbial communities in vineyards]. *Soil Biology and Biochemistry*, 110, 1-10.

Mancini, L. (2019). [Microbial inoculants and biochar interactions in agriculture]. *Applied Soil Ecology*, 140, 1-8.

Nocentini, A., et al. (2023). [Biochar in saline water irrigation systems]. *Agricultural Water Management*, 280, 108-120.

Vaccari, F. P., et al. (2011). [Biochar effects on durum wheat yield and soil properties]. *Plant and Soil*, 345(1-2), 1-12.

Zaccardelli, M., et al. (2023). [Compost tea and biochar interactions in soil fertility]. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(1), 45-56.

