



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

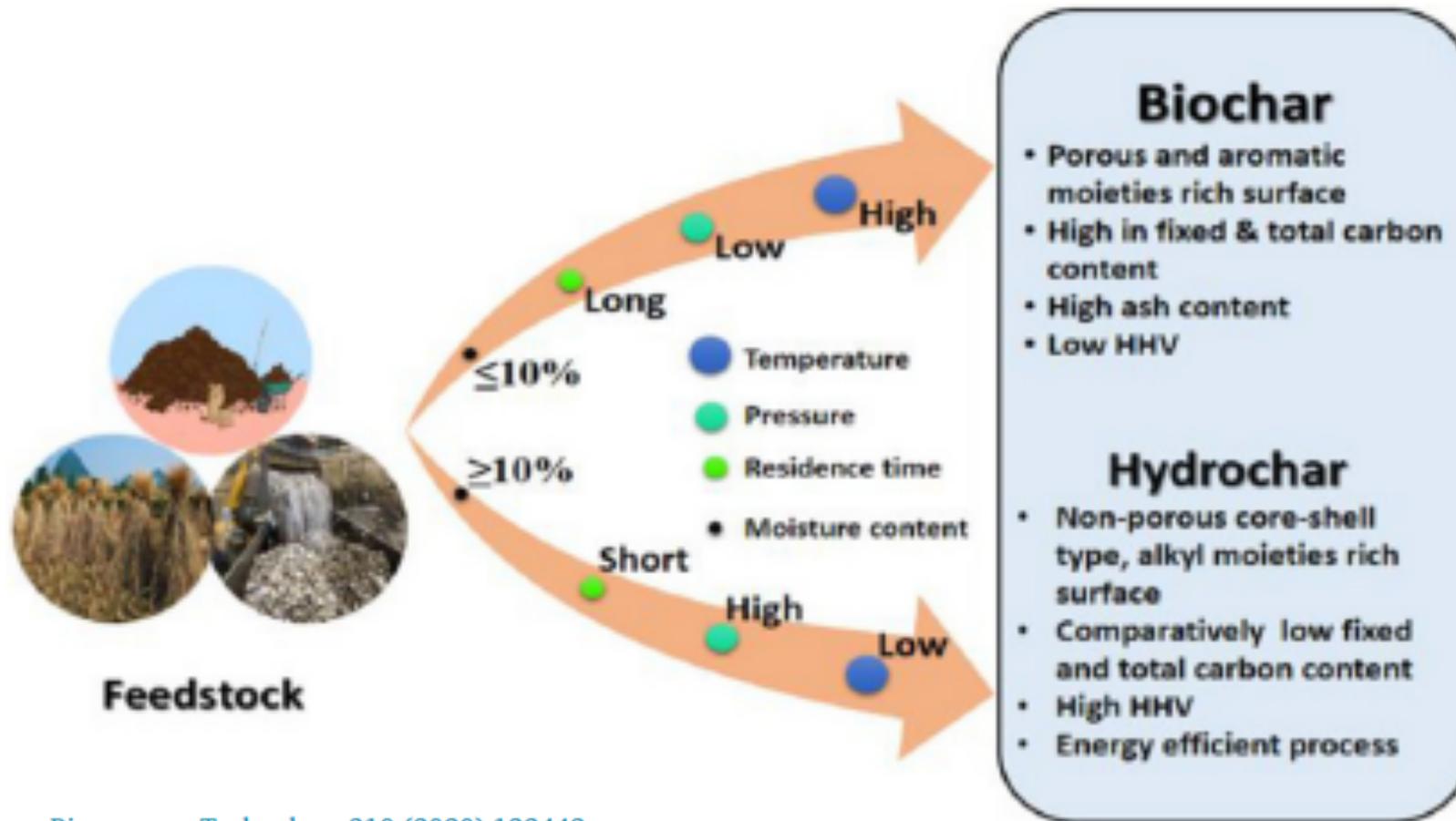
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE  
E AMBIENTALI - PRODUZIONE,  
TERRITORIO, AGROENERGIA

# Biochar-Idrochar sui suoli agricoli: caratteristiche chimiche e proprietà ammendanti

Fulvia Tambone, UNIMI

"Chiudere il Cerchio" - Bologna 20 giugno 2023

# Hydochar e biochar: processo



Bioresource Technology 310 (2020) 123442

# BIOCHAR

Il biochar viene convenzionalmente prodotto da biomasse a basso contenuto di umidità (max 10%), attraverso metodi termochimici come pirolisi, torrefazione, carbonizzazione e gassificazione. Tali processi termochimici sono ad alta intensità energetica e non adatti per convertire biomasse umide, poiché richiedono essiccazione preventiva, che non risulta economicamente sostenibile (Sharma et al., 2019)



Piscitelli et al., 2022

# BIOCHAR

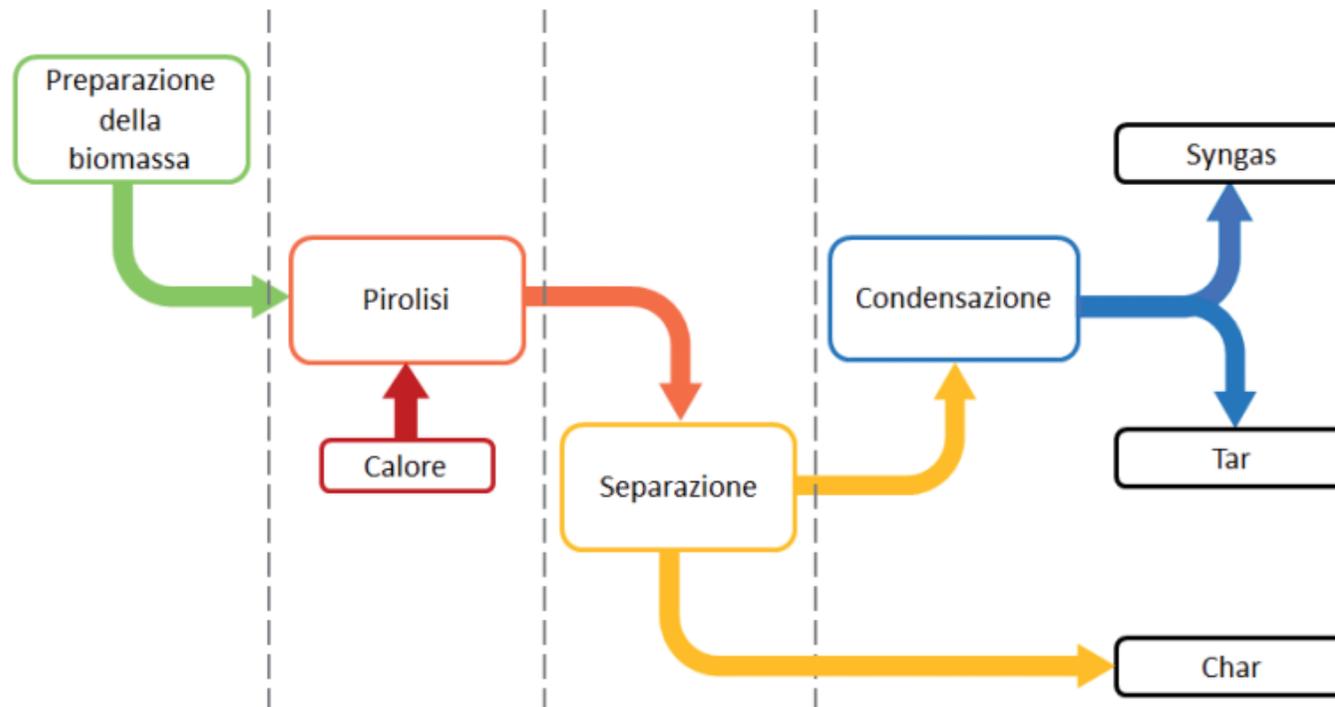
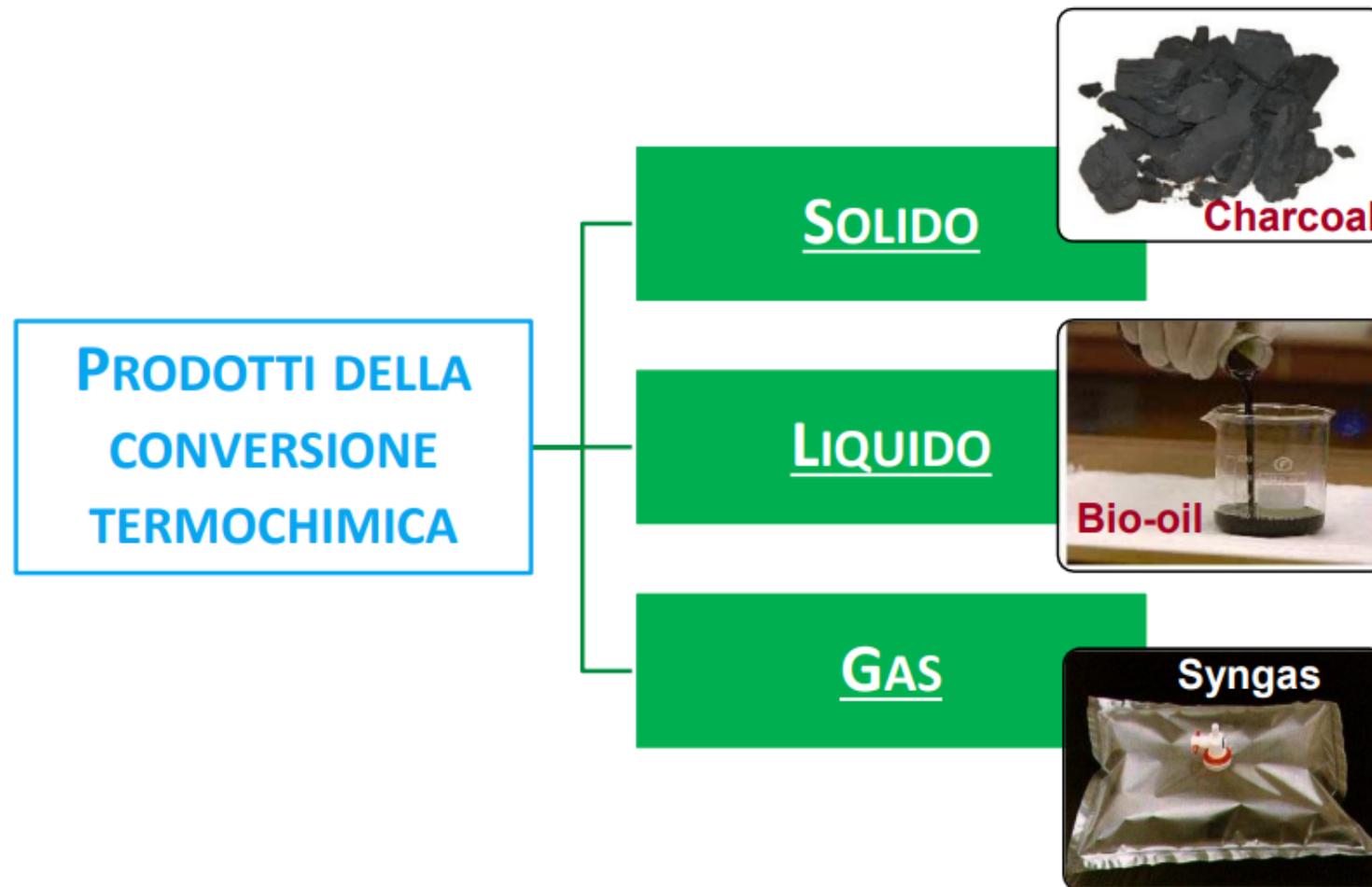


Fig.9.3. Rappresentazione schematica del processo di pirolisi nelle sue quattro fasi.

- 350-650° C Pirolisi lenta
- 650-850° C Pirolisi veloce
- 850-1000° C Pirolisi flash

# BIOCHAR



# BIOCHAR



**BIOCHAR È UN TERMINE MOLTO GENERICO, CHE RACCHIUDE UNA ENORME QUANTITÀ DI PRODOTTI SIMILI, MA ANCHE PROFONDAMENTE DIFFERENTI**

**IL PRODOTTO SOLIDO OTTENUTO PUÒ AVERE LE PIÙ DISPARATE CARATTERISTICHE IN TERMINI DI:**

- POROSITÀ (IN TERMINI QUANTITATIVI E QUALITATIVI)
- CONTENUTO DI CARBONIO ORGANICO E CENERI ( $C_{ORG}$ , ASH)
- STABILITÀ ( $H/C_{MOL}$ ,  $O/C_{MOL}$ )
- PH
- GRUPPI FUNZIONALI SULLE SUE SUPERFICI (CEC)

**CHE CARATTERIZZANO IL RUOLO MERCEOLOGICO E FUNZIONALE DEL PRODOTTO, CHE NE DETERMINA IL VALORE**

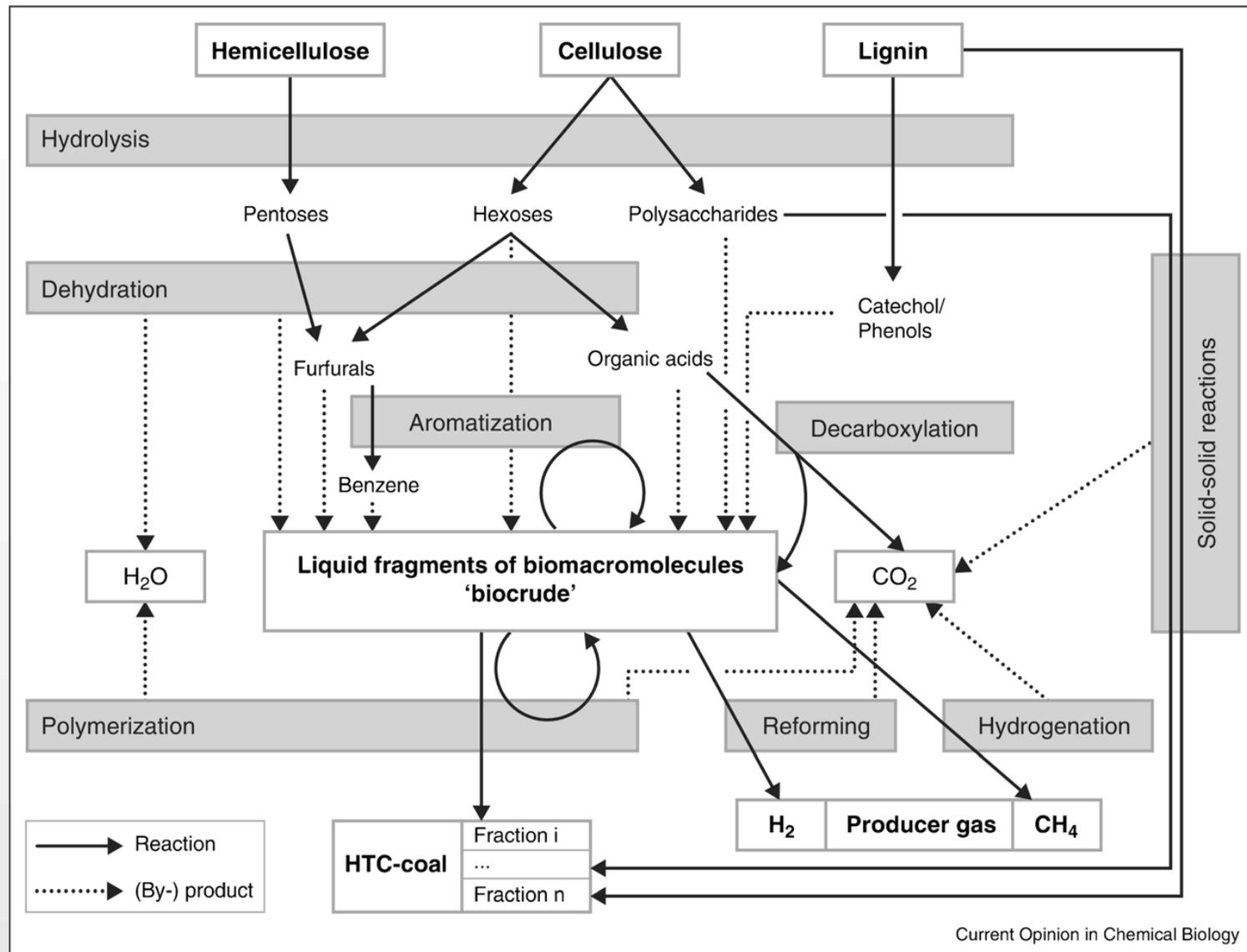
# HYDROCHAR

La carbonizzazione idrotermica (HTC) è un processo adatto per la conversione diretta di biomasse ad alto contenuto di umidità in un residuo solido denominato hydrochar. L'HTC viene eseguito nelle condizioni subcritiche dell'acqua, cioè a temperatura tra 180-250 ° C e a condizione di pressione di 2-6 MPa (Mumme et al., 2011). HTC utilizza il contenuto di umidità presente nella materia prima durante la reazione (Benavente et al., 2015). L'acqua utilizzata durante HTC può essere riutilizzata, oppure può essere convertita in biogas o metano attraverso digestione anaerobica

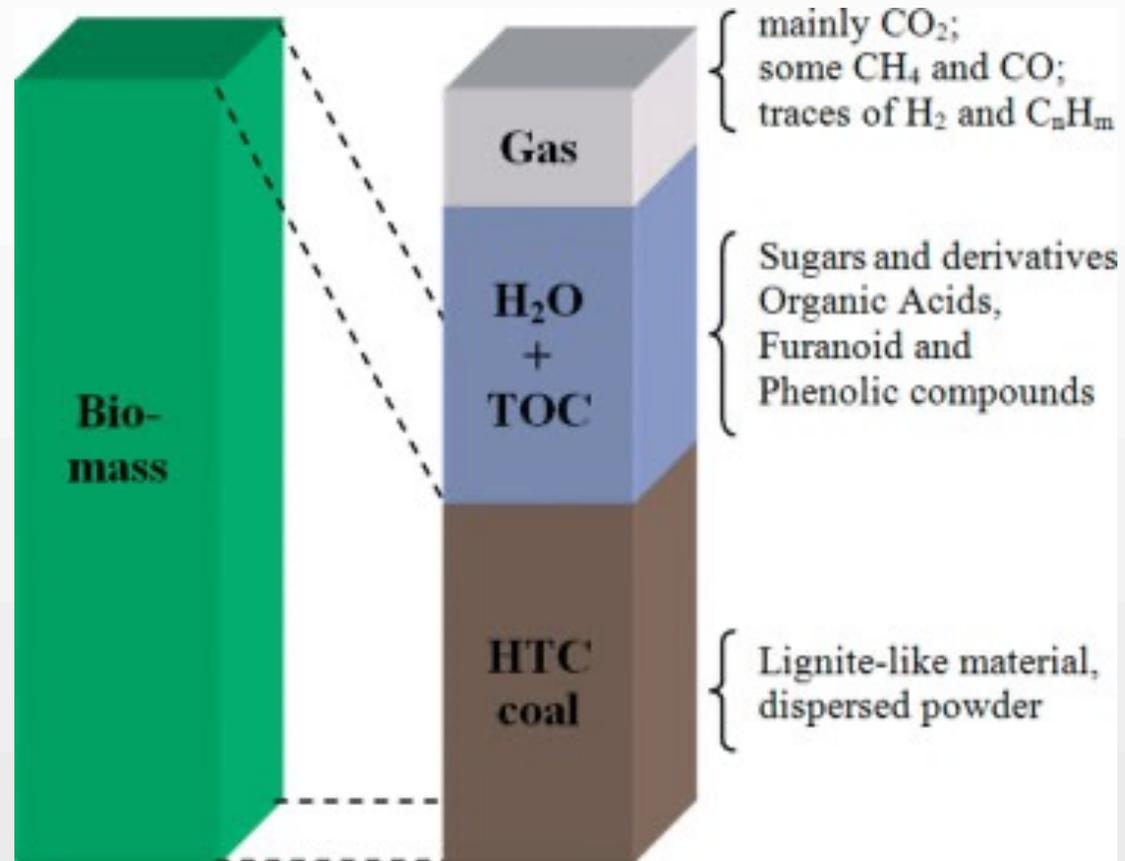


Kalderis et al., 2019

# Meccanismi di formazione dell'hydrochar



# Prodotti del HTC, separati in base al loro stato di aggregazione.



# Legislazione - Cenni

- Dal 2015, con l'aggiornamento del 22 giugno dell'allegato 2, il **biochar** è rientrato nella classificazione degli ammendanti riconosciuti in Italia dal Decreto Legislativo n.75 del 2010 che ne definisce le caratteristiche per la classificazione e commercializzazione.
- Allo stato attuale, in Italia per legge non è permesso l'uso di **hydrochar** come ammendante

# BIOCHAR vs HYDROCHAR

Le differenze sostanziali stanno nel **processo di produzione** e nella **tipologia di biomasse** utilizzabili.

Per la produzione di Hydrochar possono essere valorizzate biomasse ad elevate umidità come frazione organica degli RSU, fanghi di depurazione, reflui e altri scarti umidi.

## MA

- Hydrochar si caratterizza per un maggiore contenuto di frazioni labile di carbonio e una componente meno aromatica (Libra et al., 2011)
- Biochar ha un maggiore contenuto di ceneri (Kambo and Dutta, 2015).
- HC ha Maggiore idrofilicità
- In entrambi sono presenti piccolo quantità di N, P, S, e Fe. Meno nell'HC a seguito della maggiore presenza di acqua e dei processi di lisciviazione.

# BIOCHAR vs HYDROCHAR

*A. Kumar, et al.*

**Table 1**  
Comparison of physicochemical properties of biochars and hydrochars.

Properties	Biochar	Hydrochar
<b>Chemical</b>		
Elemental	Total carbon content	60–80%
	Inorganics	–
Proximate	Volatiles	12.3–60.6%
	Fixed carbon	10.70–86.37 wt%
	Ash content	0–40%
Ultimate	O/C molar ratio	> 0.7
	H/C molar ratio	> 1.5
Others	pH	3.5–11.3
Physical	Surface texture	Porous and rich in aromatic moieties
	Shape	Non-defined
	Surface area	0.8–3320 m <sup>2</sup> /gm

# BIOCHAR vs HYDROCHAR

In uno studio (Taskin et al., 2019) hanno valutato le interazioni tra suolo, BC and HC in particolare gli effetti verso funghi lignolitici dimostrando il loro effetto nel favorirne la crescita e alcune funzioni enzimatiche. In particolare la maggiore attività si registrava con l'apporto di HC. La ricerca apre inoltre scenari futuri nell'utilizzo di BC e HC nei processi di bioremediation sfruttando l'azione degradativa dei funghi nei confronti di alcuni contaminanti organici.

Altre esperienze hanno invece evidenziato una diminuzione della biodiversità del suolo a seguito dell'utilizzo di BC: presenza di composti tossici in funzione del processo di Produzione (Badalucco et al., 2022)

# UTILIZZO AGRONOMICO BIOCHAR

## BIOCHAR E FERTILITÀ DEL SUOLO

### PRINCIPALI APPORTI POSITIVI ALLE PROPRIETÀ CHIMICO-FISICHE DEL SUOLO

- MIGLIORAMENTO DELLA STRUTTURA MECCANICA
- MIGLIORAMENTO DELLA POROSITÀ TOTALE ED AREAZIONE
- AUMENTO DELLA CAPACITÀ DI RITENZIONE IDRICA
- AUMENTO DEL PH
- AUMENTA LA CAPACITÀ DI SCAMBIO CATIONICA ED ANIONICA
- DIMINUISCE LA LISCIVIAZIONE DEI NUTRIENTI PRESENTI/APPORTATI NEL SUOLO
- APPORTO E STOCCAGGIO DI CARBONIO DI MATRICE ORGANICA, RECALCITRANTE
- HABITAT IDEALE PER LO SVILUPPO DI MICRORGANISMI



# UTILIZZO AGRONOMICO BIOCHAR

Tab. 14.6. Influenza dell'applicazione di biochar sulle rese produttive riportate in relazione alla matrice d'origine, alla quantità di applicazione ed alla tipologia del suolo (modificata da Borah *et al.*, 2020).

Coltura	Biomassa di origine	Tipo di suolo	Dosi	Risposta produttiva
Amaranto	Giacinto d'acqua, residui domestici organici	Calcareous Fluvisols	10 t ha <sup>-1</sup>	Aumento della resa produttiva del 17-64%
Lattuga	Letame	Sabbioso franco e franco sabbioso	0, 10, 20, 30 t ha <sup>-1</sup>	Aumento della resa produttiva
Mais	Pannocchie di mais	Alfisols	2% w/w	Aumento della resa produttiva
Cotone	Legno duro	Fine, kaolinitic, thermic Rhodic Kandudults	0, 22,4, 44,8, 89,6, e 134,4 t ha <sup>-1</sup>	Nessuna differenza di resa produttiva
Mais	Legno duro	Fine, kaolinitic, thermic Rhodic Kandudults	0, 22,4, 44,8, 89,6, e 134,4 t ha <sup>-1</sup>	Nessuna differenza di resa produttiva
Arachide	Legno duro	Fine, kaolinitic, thermic Rhodic Kandudults	0, 22,4, 44,8, 89,6, and 134,4 t ha <sup>-1</sup>	Nessuna differenza di resa produttiva
Cotone	Residui di mais	Inceptisol	0, 5, 10, and 20 t ha <sup>-1</sup>	Incremento di rese tra 8,1 e 17,1%, 9,6 e 13,5%, 8,1 e 18,6%, rispettivamente, negli anni 2013, 2014 e 2015
Mais	Legno di acacia	Argilloso	50+50 t ha <sup>-1</sup>	Aumento di produzione stagionale in media di circa 1,2 t ha <sup>-1</sup>
Soia	Legno di acacia	Argilloso	50+50 t ha <sup>-1</sup>	Aumento di produzione stagionale in media di circa 0,4 t ha <sup>-1</sup>
Mais	Cippato di pino	Ultisols (franco sabbioso)	30 t ha <sup>-1</sup>	Nessuna differenza di resa produttiva

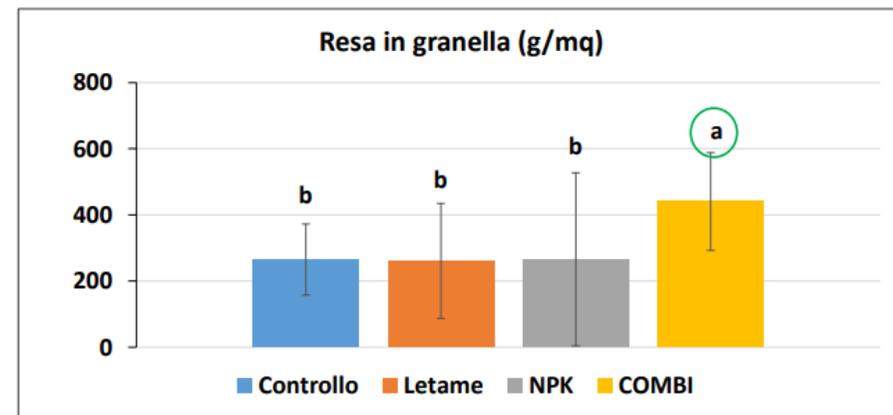
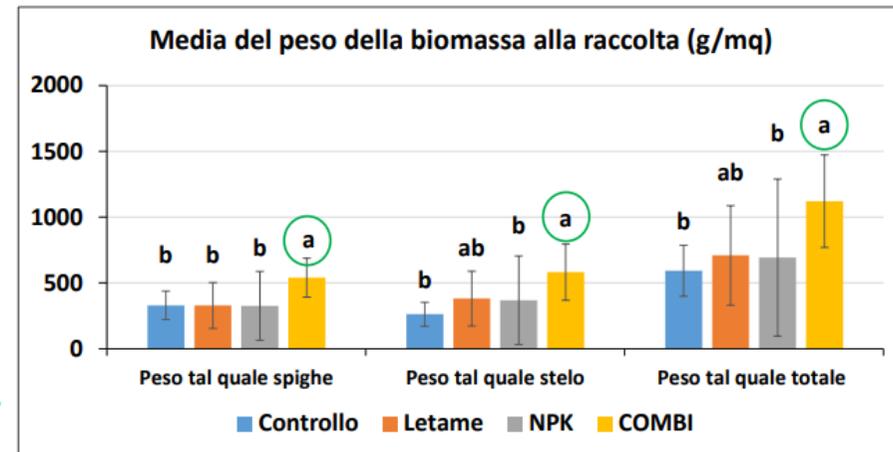
### PRINCIPALI RISULTATI

#### Tesi sperimentali

- **CONTROLLO:** no fertilizzazione
- **NPK:** 1 ton/ha
- **LETAME:** 20 ton/ha
- **COMBI:** letame co-compostato con biochar (20 ton/ha, con circa 2 t/ha di biochar)

Incremento biomassa fresca raccolta per le piante ammendate con COMBI

La resa in granella delle piante coltivate con COMBI risulta significativamente più alta delle altre tesi



# UTILIZZO AGRONOMICO BIOCHAR Prova su basilico



**Fig. 1** - Confronto tra le piante di basilico cresciute sul controllo e quelle cresciute su SP-Bc+torba

In quasi tutti le sperimentazioni effettuate, la biomassa prodotta dai vasi contenenti biochar è risultata maggiore rispetto al controllo.

# UTILIZZO AGRONOMICO BIOCHAR

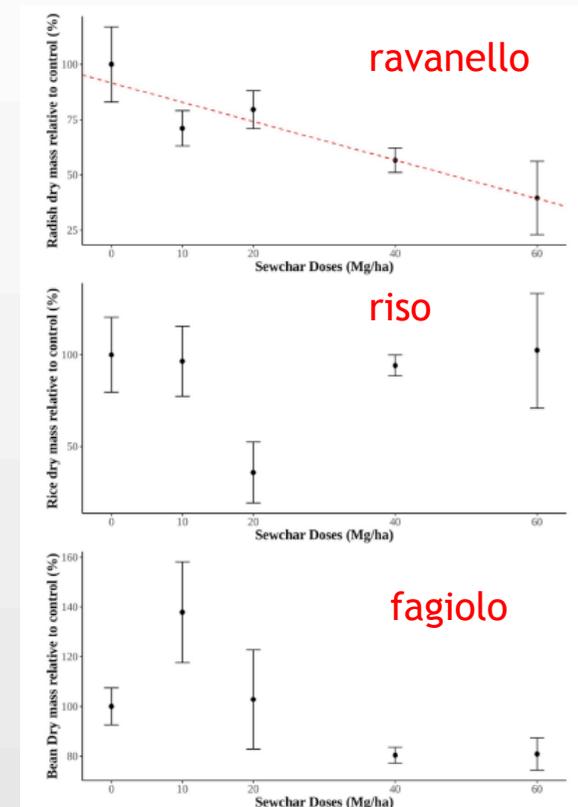
L'applicazione di biochar può, tuttavia, determinare effetti indesiderati come rendere poco disponibili nutrienti e, in caso di trattamenti a base di agrofarmaci, potrebbe legare e disattivare i principi attivi. Inoltre, potrebbe aumentare il pH e la conducibilità elettrica del suolo a livelli non favorevoli alla germinazione, all'adattamento delle plantule in fase di trapianto e ad alcuni processi biologici del suolo. Baglieri et al., (2022)

# UTILIZZO AGRONOMICO HYDROCHAR

Applicazione di HC su lattuga: HC inibisce la crescita ma aumenta il contenuto nelle piante di macro (Ca, Na and Mg) e microelementi (Cu and Fe) probabilmente per l'elevato contenuto di polifenoli nell'HC. Servono studi più specifici circa la stabilità biologica del carbonio contenuto nell'HC al fine di utilizzarlo come ammendante. [Waste Management 120 \(2021\) 322–329](#)

Applicazione di HC su riso, fagioli e ravenello: le dosi di  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $60 \text{ Mg ha}^{-1}$  determinavano le massime rese per fagiolo e riso. Effetto negative si registrava su ravenello. Quindi HC ha potenzialità come ammendante ma molto dipende dal tipo di HC e dal vegetale. Sarebbero necessary studi di pieno campo per definirne meglio l'utilizzo e la messa a punto di tecniche atte a standardizzare la produzione di HC al fine di avere caratteristiche più costanti.

[Journal of Environmental Management 237 \(2019\) 200–214](#)



# UTILIZZO AGRONOMICO HYDROCHAR

Applicazione di HC su piantine di pino: l'aggiunta di HC [20% (v/v)] aveva effetti positivi o neutrali sulla biomassa prodotta e il diametro degli steli rispetto al controllo. Anche il contenuto di metalli pesanti (Cu, Ni, Pb, Zn and Cr) e nutrient era simile (P, K, Ca and Mg). L'effetto della colonizzazione con ectomycorrhizae aumentava significativamente in presenza di HC. Si concludeva che l'aggiunta di HC a dosi opportune è in grado di limitare l'aggiunta di fertilizzanti minerali. Tuttavia, maggiori informazioni sull'interazione dell'HC con i substrati di crescita e sull'attività microbica sono necessari.

*Agronomy* 2019, 9, 350; doi:10.3390/agronomy9070350

Effetti di HC sulla germinazione di *Arabidopsis thaliana*, *Chenopodium quinoa*, and *Solanum lycopersicum*: incremento della germinazione di pomodoro (10-20%) con una dose del 3% di HC previa lisciviazione dello stesso. HC tal quale però deprimeva la germinazione. La lisciviazione allontanava il 90% di total volatile fatty acid e riduceva furans, amines, amides, pyridines, pyrazines, benzoic compounds, che possono limitare germinazione.

Biomass Conversion and Biorefinery  
<https://doi.org/10.1007/s13399-023-04015-0>

Applicazione di HC su riso: utilizzo di HC su paddy-soil in laboratorio (0,5 e 3%). Mettono in evidenza un decremento delle rese, alla dose maggiore, causato da un minore uptake di azoto. Quello che suggeriscono è quindi un pre-trattamento prima dell'utilizzo.

[Journal of Ecology and Rural Environment](#) 2018 Vol.34 No.8 pp.755-761



Waste Management 159 (2023) 75–83



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Waste Management

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman)

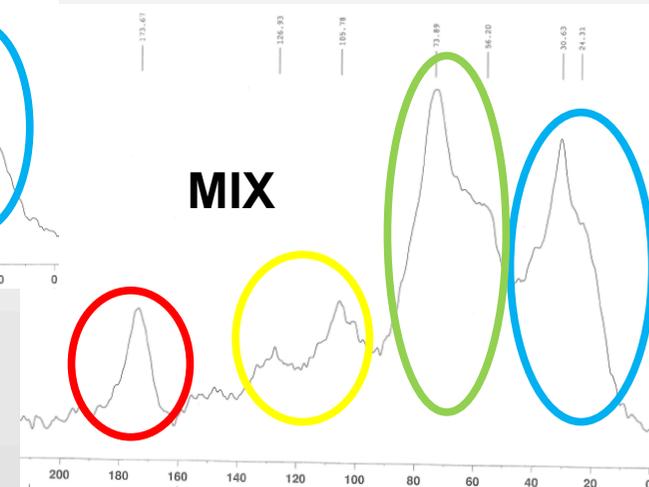
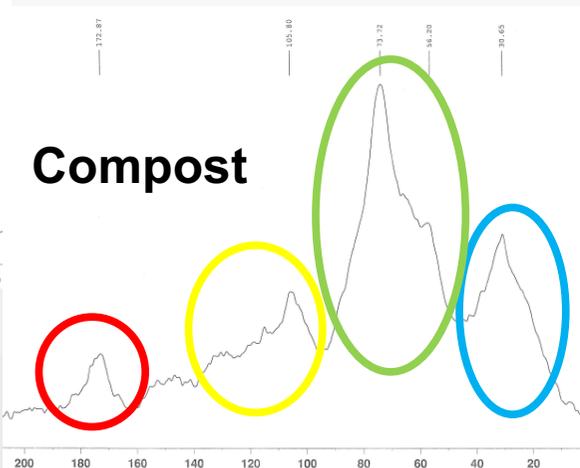
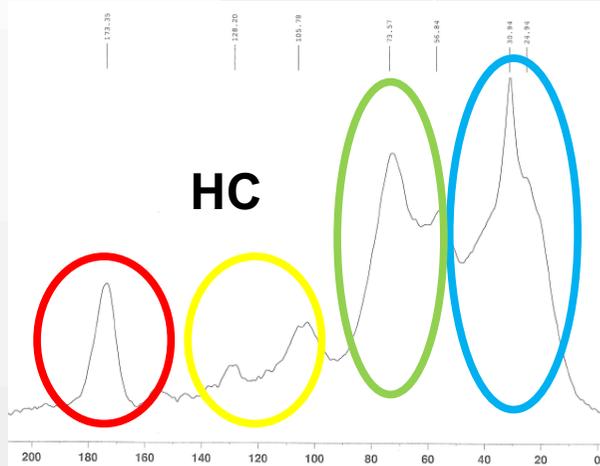


## Evaluating the potential of hydrochar as a soil amendment

Daniela Bona <sup>a,\*</sup>, Daniela Bertoldi <sup>a</sup>, Gigliola Borgonovo <sup>b</sup>, Stefania Mazzini <sup>b</sup>, Stefano Ravasi <sup>c</sup>,  
Silvia Silvestri <sup>a</sup>, Claudio Zaccone <sup>d</sup>, Beatrice Giannetta <sup>d</sup>, Fulvia Tambone <sup>c,\*</sup>

# Spettri $^{13}\text{CPMAS}$ NMR

Samples	aliphatic C bonded to other aliphatic chain or to H	O-CH <sub>3</sub> or N-alkyl O-alkyl C di-O-alkyl C	aromatic C phenol or phenyl ether C	carboxyl C keto C
	0-47 ppm	47-115 pmm	115-160 pmm	160-210 pmm
HC	37.22	47.81	7.12	7.86
Compost	23.03	57.39	12.88	6.70
MIX	29.91	52.90	9.83	7.36



# Curve TG e DTG

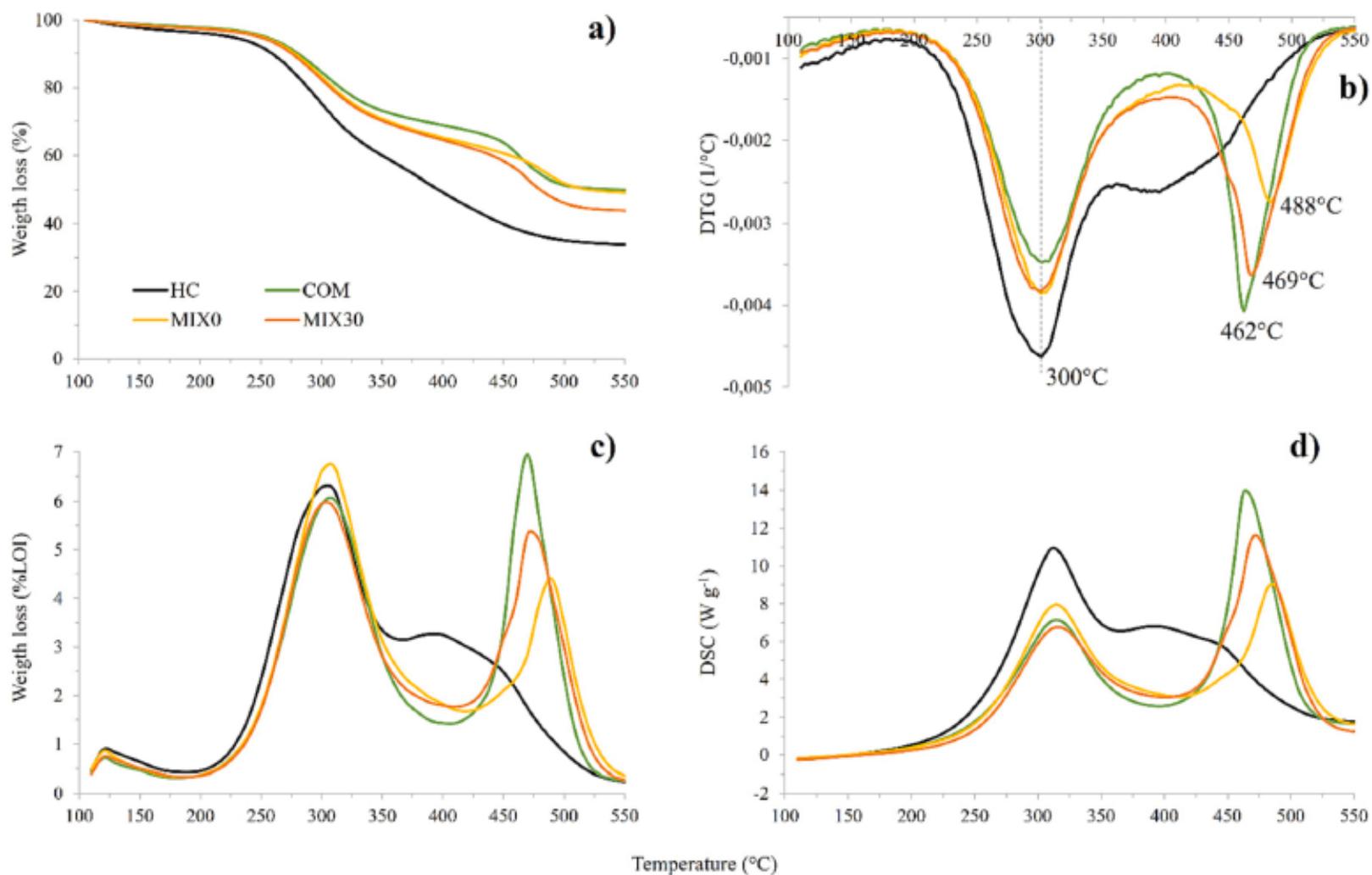
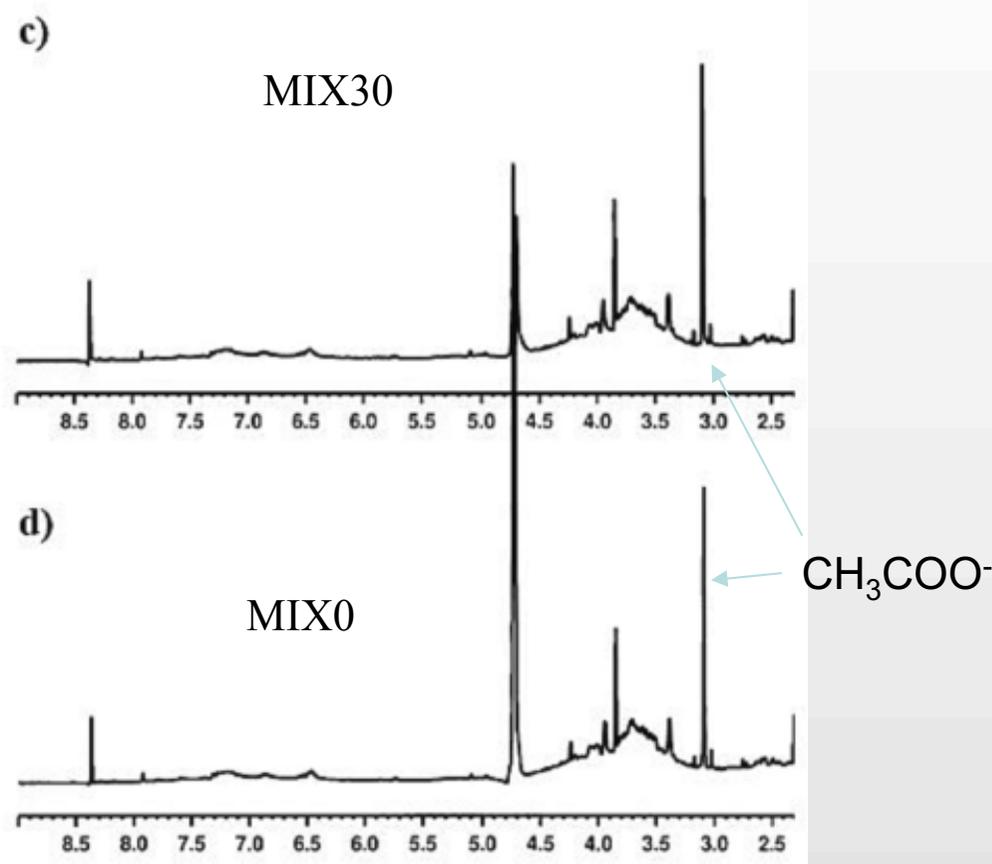
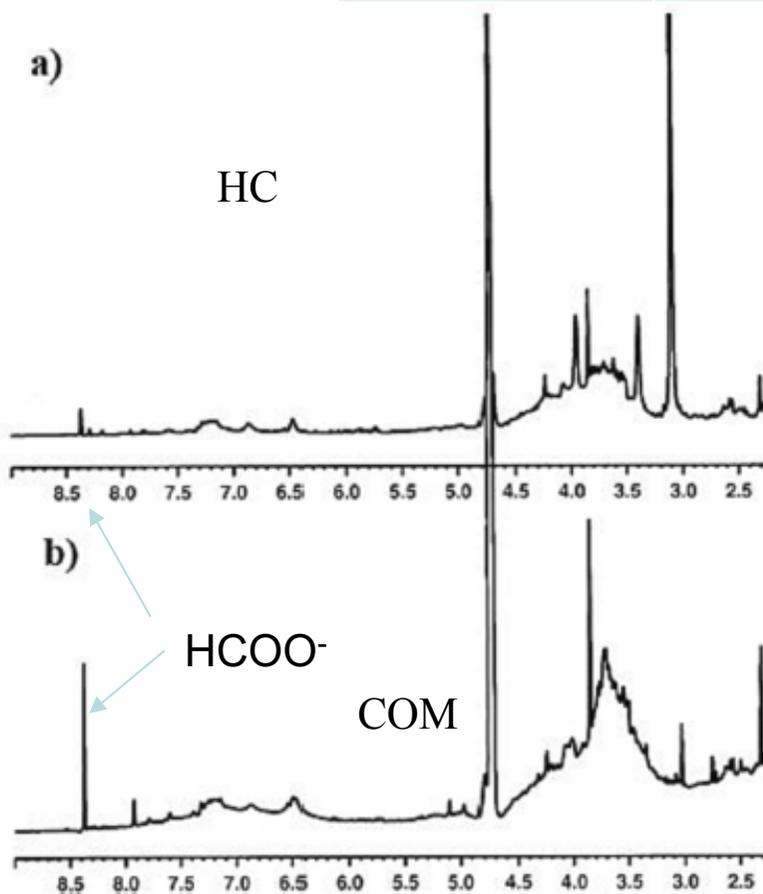


Fig. 4. TG and DTG curves of HC, COM, MIX0 and MIX30 (a, b). In panel (c), weight losses (WL) are expressed as % of the loss-of-ignition (LOI) at 550 °C, and integrated each 10 °C. In panel (d), DSC curves are reported.

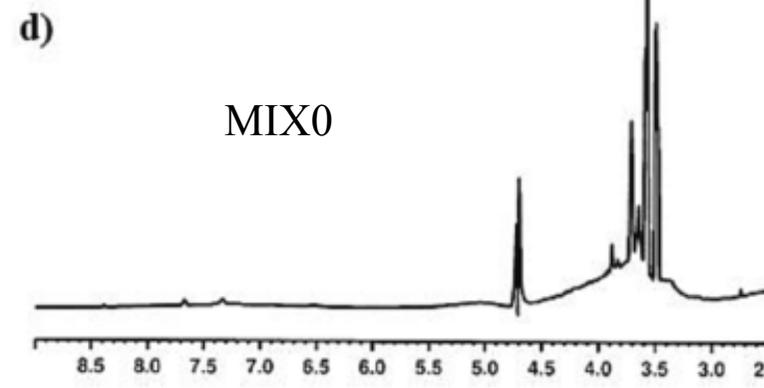
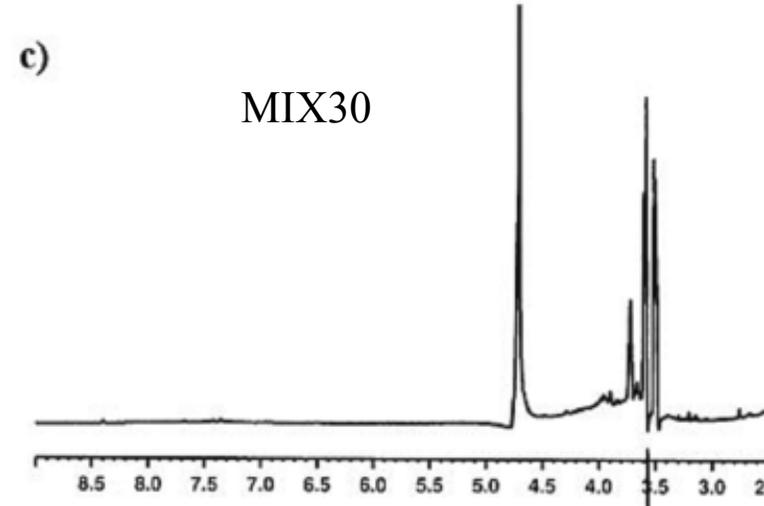
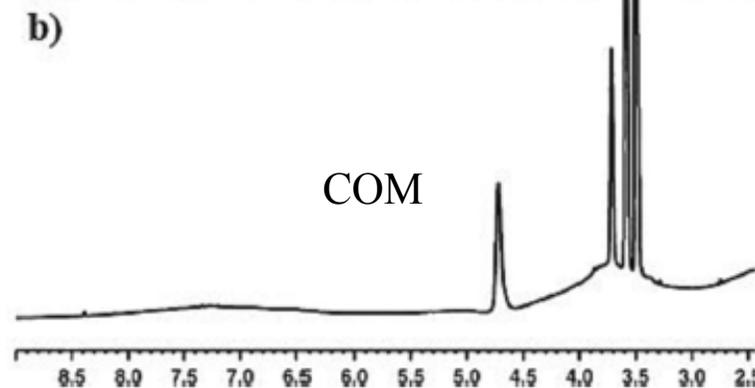
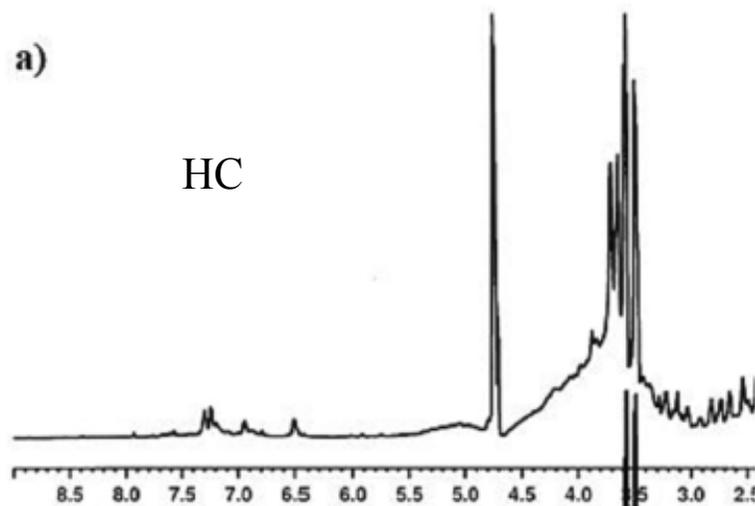
# Profili $^1\text{H}$ NMR - ROM= Recalcitrant Organic Matter

regione	HC	Compost	$M_{30}$	$M_0$
0.6-2.9 ppm	53.85	53.41	54.46	55.41
2.0-6.2 ppm	41.48	39.33	39.75	40.19
6.2-9.0 ppm	4.67	7.25	4.84	5.36



# Profili $^1\text{H}$ NMR - DOM= Dissolved Organic Matter

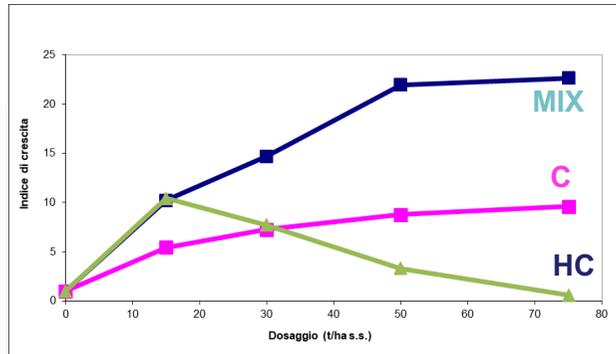
regione	HC	COM	$M_{30}$	$M_0$
0.6-2.9 ppm	48.71	46.91	45.43	46.18
2.0-6.2 ppm	49.43	45.17	47.61	49.85
6.2-9.0 ppm	1.85	7.92	6.95	3.96



# Test di fitotossicità

## Effetto di matrici complesse sulla crescita delle piante superiori (\*)

Pianta test: *Lactuca sativa* L.



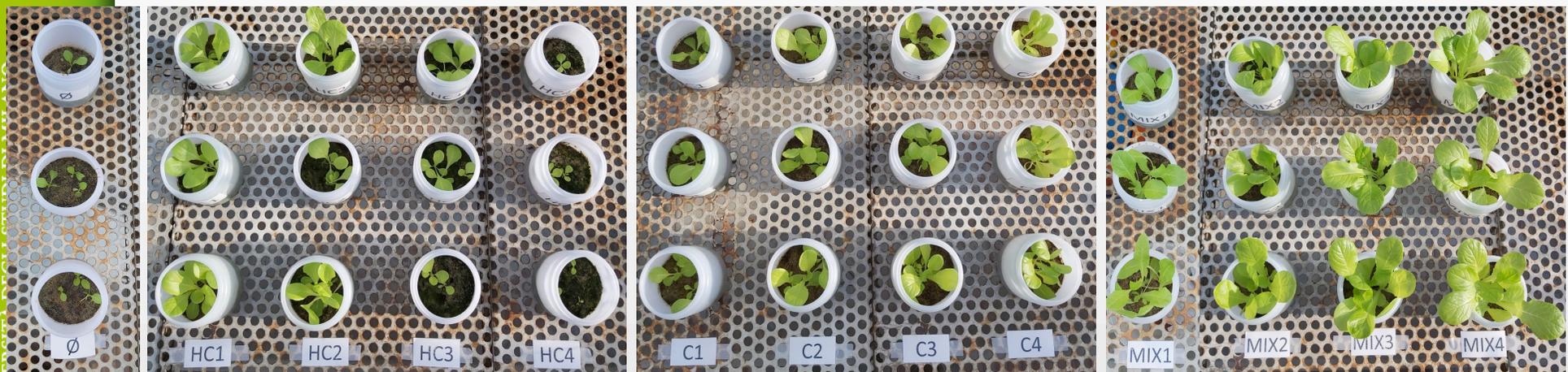
Dosaggi	t/ha di s.s.
Ø	0
1	15
2	30
3	50
4	75

TESTIMONE

HYDROCHAR

COMPOST

MIX



## Cosa è emerso?

- ✓ Elevate dosi di HC determinavano effetti fitotossici
- ✓ La tossicità dell'HC riscontrata con il test è verosimilmente attribuibile alla presenza di composti organici derivanti dal processo di produzione più che alla presenza di composti tossici in senso stretto
- ✓ Quando HC veniva miscelato al compost e veniva sottoposto ad una rapida stabilizzazione le performance del MIX erano sensibilmente maggiori del compost da solo
- ✓ L'elevato contenuto di composti organici facilmente degradabili determinava probabilmente competizione per l'ossigeno
- ✓ I risultati ottenuti suggeriscono che, se opportunamente trattato, HC può avere proprietà ammendanti, valorizzando biomasse ad elevato contenuto di umidità.

# CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

- ✓ Biochar e Hydrochar, essendo, soprattutto il secondo, dei prodotti la cui introduzione quali ammendanti è relativamente recente necessitano di studi ulteriori al fine di valutarne la reale valorizzazione in ambito agricolo
- ✓ Quanto è conosciuto sino ad oggi mette in luce l'esigenza di ulteriori ricerche a anche a scala di pieno campo e nel lungo periodo
- ✓ Nello studio di tali matrici piuttosto complesse è necessario un approccio multidisciplinare: processistico, agronomico e chimico, che potrebbe consentire la piena comprensione dei loro effetti sul suolo e sui vegetali



# Grazie per l'attenzione!