

## INDICE

INTRODUZIONE .....	2
PARTE I : TRASFORMAZIONE DELLE BIOMASSE A FINI ENERGETICI.....	5
1.1 ENERGIA DALLE BIOMASSE.....	5
1.2 PROCESSI TERMOCHIMICI DI CONVERSIONE .....	10
1.3 IL BIOCHAR: DEFINIZIONE E CLASSIFICAZIONE .....	16
1.4 IL BIOCHAR: CARATTERISTICHE FISICO-CHIMICHE .....	21
1.5 ASPETTI AGRONOMICI ED AMBIENTALI .....	32
PARTE II – VALUTAZIONE DELLA POTENZIALITÀ DEL BIOCHAR COME SUBSTRATO PER LA COLTIVAZIONE DI PIANTE IN VASO.....	38
2.1 INTRODUZIONE E SCOPO DELLA RICERCA.....	38
2.2 MATERIALI E METODI.....	41
2.3 RISULTATI .....	50
2.4 DISCUSSIONE .....	79
2.5 CONCLUSIONI .....	81
BIBLIOGRAFIA .....	83

## INTRODUZIONE

L'utilizzo non sostenibile dei combustibili fossili contribuisce in modo sostanziale all'effetto serra ed è tra le principali cause del fenomeno delle piogge acide. L'inquinamento dell'aria attribuibile ai gas di scarico degli autoveicoli (CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, benzene, etc.) e alle emissioni derivanti dalle attività industriali e dagli impianti di riscaldamento, ha raggiunto ormai livelli preoccupanti per la salute umana. Il progressivo peggioramento della qualità dell'ambiente, correlabile all'utilizzo dei combustibili fossili e l'esigenza di garantire una maggiore sicurezza nella gestione del settore energetico, hanno determinato lo sviluppo di tecnologie per un migliore utilizzo di fonti di energia pulita, sicura e rinnovabile. La Conferenza di Kyoto del 1997, con l'elaborazione di un protocollo internazionale vincolante sulla riduzione delle emissioni di gas serra, ha rappresentato un momento di svolta, delineando obiettivi mirati alla riduzione dell'impatto ambientale dei sistemi di conversione dell'energia. Il protocollo di Kyoto, che fa seguito alla convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, è uno dei più importanti strumenti giuridici internazionali volti a combattere i cambiamenti climatici. Esso contiene gli impegni dei paesi industrializzati a ridurre le emissioni di alcuni gas ad effetto serra, responsabili del riscaldamento del pianeta.

Il protocollo di Kyoto concerne le emissioni di sei gas ad effetto serra:

- biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>);
- metano (CH<sub>4</sub>);
- protossido di azoto (N<sub>2</sub>O);
- idrofluorocarburi (HFC);
- perfluorocarburi (PFC);
- esafluoro di zolfo (SF<sub>6</sub>).

Esso rappresenta un importante strumento nella lotta contro il riscaldamento planetario perché contiene obiettivi vincolanti e quantificati di limitazione e riduzione dei gas ad effetto serra. Globalmente, gli Stati inclusi

nell'allegato I della Convenzione quadro (ovvero i paesi industrializzati) si impegnano collettivamente a ridurre le loro emissioni di gas ad effetto serra, nel periodo 2008-2012, per una riduzione delle emissioni totali dei paesi sviluppati di almeno il 5% rispetto ai livelli del 1990.

Tra il 2008 e il 2012, gli Stati che erano membri dell'UE prima del 2004 devono ridurre collettivamente le loro emissioni di gas ad effetto serra dell'8%. Gli Stati membri che hanno aderito all'UE dopo questa data s'impegnano a ridurre le loro emissioni dell'8%, ad eccezione della Polonia e dell'Ungheria (6%) e di Malta e Cipro.

Per il raggiungimento di questi obiettivi, il Protocollo propone una serie di mezzi di azione:

- rafforzare o istituire politiche nazionali di riduzione delle emissioni (miglioramento dell'efficienza energetica, promozione di forme di agricoltura sostenibili, sviluppo di fonti di energia rinnovabili, ecc.);
- cooperare con le altre parti contraenti (scambi di esperienze o di informazioni, coordinamento delle politiche nazionali attraverso i diritti di emissione, l'attuazione congiunta e il meccanismo di sviluppo pulito.

Nel dicembre 2011, a Durban dopo lunghi e difficili negoziati, si è riuscito ad evitare il fallimento e rinnovare il Protocollo di Kyoto come regime di transizione verso un nuovo accordo globale, che dovrà coinvolgere anche le maggiori economie del pianeta superando l'attuale contrapposizione tra paesi industrializzati e in via di sviluppo.

La Piattaforma di Durban prevede, infatti, la sottoscrizione di un nuovo accordo globale entro il 2015 e la sua applicazione a partire dal 2020. Gli obiettivi che sono stati definiti a Kyoto, sebbene non ancora ratificati dalla maggior parte dei Paesi, hanno portato ad un incremento di azioni positive nel settore energetico in molti paesi del mondo.

L'interesse comune a tutti i Paesi partecipanti è quello di attivare programmi che prevedono un maggiore uso delle fonti di energia rinnovabile al fine di contenere l'inquinamento. Le biomasse, tra le fonti di energia rinnovabile, hanno avuto attribuito un ruolo determinante, rappresentando una delle risorse energetiche più interessanti.

Il recente sviluppo della diffusione dell'impiego delle biomasse per la produzione di energia termica ed elettrica è stato determinato dalla definizione di nuove tecnologie di trasformazione in un contesto di maturazione di una consapevolezza ecologica da parte degli utilizzatori. Il settore, comunque, pur dimostrando una continua evoluzione deve ancora raggiungere un completo stadio di maturità. E' fondamentale che il sistema di trasformazione della biomasse, sia gestito da un punto di vista non solo energetico, ma anche ambientale e sociale. Manca, spesso una logica di sistema che consideri opportunamente le relazioni tra i vari elementi, dalla disponibilità di risorse alle emissioni in atmosfera, alla gestione dei rifiuti e sottoprodotti derivanti dai processi di trasformazione. Questo lavoro sperimentale vuole contribuire a valutare le potenzialità di utilizzo del carbone vegetale(biochar) sottoprodotto,della trasformazione termochimica di biomasse a fini energetici, come substrato per la coltivazione di piante in vaso nella filiera florovivaistica, in sostituzione della torba, carbon fossile non rinnovabile.



Figura 1 : Sorgho ibrido da biomassa in coltivazione con bassi input energetici. Campi sperimentali dell' azienda Luparello - Palermo ( Istituto sperimentale zootecnico della Regione Sicilia)

# **PARTE I : TRASFORMAZIONE DELLE BIOMASSE A FINI ENERGETICI**

## **1.1 ENERGIA DALLE BIOMASSE**

La biomassa, in particolare il legno, è stata storicamente una fonte importante di energia per i bisogni dell'umanità, per riscaldarsi, cuocere i cibi e trasformare i materiali. Nel periodo dell'industrializzazione il carbone ha sostituito, in parte, le biomasse per la sua elevata densità energetica e per la disponibilità a basso costo. All'inizio del secolo scorso il petrolio, scoperto negli Stati Uniti nel 1859, copriva solo il 4% della domanda energetica mondiale. Decenni più tardi divenne la fonte di energia più importante ed attualmente copre circa il 40% della domanda mondiale di energia e il 96% viene utilizzato per produrre carburanti. Alcuni scenari previsionali ipotizzano un incremento nella domanda mondiale di energia di circa il 40%, da qui al 2020 con una produzione di petrolio che non aumenterà di conseguenza. Il gas naturale, che oggi, copre quasi il 25% della domanda di energia mondiale, può superare il petrolio come fonte di energia più importante entro il 2025. Questa tendenza è motivata anche da preoccupazioni ambientali, quali il riscaldamento globale, che hanno portato alla programmazione di un maggiore utilizzo di gas naturale. Il gas naturale emette solo la metà di CO<sub>2</sub> per unità di energia prodotta, rispetto al carbone, e il 25% in meno rispetto al petrolio. Le riserve di gas naturale in tutto il mondo sono sufficientemente diffuse e ai tassi attuali di utilizzo dovrebbero durare ancora per 60 anni. In generale, alle attuali condizioni le riserve di combustibili fossili sono destinate nel medio lungo termine ad un progressivo esaurimento. In futuro l'umanità non potrà quindi, prescindere da un maggiore e migliore utilizzo di fonti di energia rinnovabili come il vento, l'energia solare e l'energia da biomassa. Un maggiore

utilizzo delle biomasse, come fonte energetica, potrebbe contribuire a conservare più a lungo le fonti fossili e ridurre i problemi derivanti dalle emissioni di gas serra e altri inquinanti. Le biomasse, che rappresentano attualmente la quarta fonte di energia, potrebbero, con un maggiore sviluppo delle tecnologie di trasformazione, acquisire un ruolo prioritario. Tuttavia, molti problemi devono ancora essere risolti prima che le biomasse possano essere utilizzate su scala molto più ampia come fonte di energia sostenibile. Alcuni sono relativi alla produzione di biomassa, per la gestione del territorio e la competitività con la produzione alimentare, altri riguardano la gestione delle biomasse come combustibile. La densità di energia relativamente bassa, in combinazione con il suo elevato contenuto di umidità, rende costoso il trasporto di biomassa dai luoghi di produzione alle centrali energetiche o alle future bioraffinerie. La produzione di energia da fonte rinnovabili e in particolar modo da biomasse, ha avuto nel corso degli ultimi anni uno sviluppo tale da richiedere alla comunità scientifica un monitoraggio attento e continuo dell'evoluzione delle tecnologie e delle strategie competitive (Biomass Energy Report 2011, Politecnico di Milano). Il Piano di Azione Nazionale per le fonti rinnovabili (PAN 2010) attribuisce alle biomasse un ruolo importante nel raggiungimento degli obiettivi nel 2020. Lo sfruttamento a fini energetici delle biomasse può assumere un ruolo strategico, contribuendo ad uno sviluppo sostenibile ed equilibrato delle risorse. Un impiego diffuso delle biomasse può comportare notevoli ricadute positive a livello economico, ambientale ed occupazionale. Le biomasse, in sostituzione agli attuali e tradizionali combustibili, consentono notevoli e importanti benefici ambientali. La biomassa assorbe  $\text{CO}_2$  dall'atmosfera durante tutto il ciclo vegetativo e la restituisce all'ambiente nel corso della trasformazione energetica. Il bilancio della  $\text{CO}_2$ , pertanto, può considerarsi nullo (produzione di energia senza contribuire all'effetto serra). I processi fotosintetici, complessivamente, sono in grado di fissare circa  $2 \times 10^{11}$  tonnellate di C all'anno, con un contenuto energetico equivalente a 70 miliardi di tonnellate di petrolio, pari a circa 10 volte l'attuale fabbisogno energetico mondiale (G. Alonzo, P. Aiello 2006). Le moderne tecnologie di combustione e depurazione dei fumi permettono di

controllare e ridurre le emissioni di inquinanti acidi, ossidi di azoto, polveri e microinquinanti. Le biomasse, con un basso contenuto di zolfo e di altri inquinanti, se utilizzate in sostituzione di carbone e di olio combustibile possono contribuire a limitare il fenomeno delle piogge acide. Colture dedicate e coltivazioni legnose fuori foresta, con specie autoctone, contribuiscono alla riduzione dell'impatto ambientale sul territorio per minori esigenze idriche, bassi bisogni nutrizionali, buona resistenza agli attacchi dei parassiti e delle malattie e buona adattabilità alle condizioni variabili del suolo. Il costo dell'energia da biomassa è ancora più elevato di quello derivante dalle fonti fossili, anche se nel breve periodo vi è una tendenza verso la competitività. Con la realizzazione di un recupero di tipo termico o trigenerativo, si sono sviluppate, negli ultimi anni, esperienze economicamente sostenibili e competitive, in considerazione anche all'incremento del costo dell'energia in agricoltura. La differenza di costo tra le fonti rinnovabili e quelle fossili si inverte considerando, nell'analisi costi-benefici, gli aspetti ambientali ed i costi sociali connessi alla combustione dei materiali fossili. E' possibile comunque la transizione verso un uso più efficiente della biomassa a fini energetici. Per rendere competitiva l'energia da biomassa è necessario applicare tecnologie in grado di aumentare il livello di rendimento della conversione in energia e di ridurre, contemporaneamente, i costi di investimento. Per ridurre i costi e le emissioni è indispensabile, inoltre limitare l'approvvigionamento delle biomasse, in una logica di filiera corta, entro un raggio ben determinato e limitato dal luogo di trasformazione. Uno strumento concreto per la realizzazione di questi obiettivi è la realizzazione sul territorio del Distretto Agro-energetico. Alcuni Distretti agro-energetici sono già operativi in diverse regioni del Nord Italia e contribuiscono attivamente alla promozione dello sviluppo delle agroenergie. La costituzione di un D.A. risponde alla necessità di coordinare, promuovere e realizzare progetti di ricerca applicata per ottimizzare i processi agro-energetici e produttivi delle aziende coinvolte nel distretto e creare economia di scala. Scopo della costituzione di un Distretto agro-energetico è di creare valore sul territorio, con l'attrazione d'investimenti in attività ad alta intensità tecnologica e a elevato

livello d'innovazione nel settore delle FER, con particolare attenzione alle biomasse. La biomassa utilizzabile ai fini energetici è costituita da tutti quei materiali organici che possono essere utilizzati direttamente come combustibili ovvero trasformati in combustibili solidi, liquidi o gassosi. Si definisce quindi biomassa qualsiasi sostanza di matrice organica, vegetale o animale, destinata a fini energetici o alla produzione di ammendante agricolo, e rappresenta una forma naturale di accumulo dell'energia solare. Sono quindi biomasse, oltre alle essenze coltivate espressamente per scopi energetici, tutti i prodotti delle coltivazioni agricole e della forestazione, compresi i residui delle lavorazioni agricole e della silvicoltura, gli scarti dei prodotti agro-alimentari destinati all'alimentazione umana o alla zootecnia, i residui, non trattati chimicamente, dell'industria della lavorazione del legno e della carta, tutti i prodotti organici derivanti dall'attività biologica degli animali e dell'uomo, come quelli contenuti nei rifiuti urbani. Nell'accezione più generale si può quindi considerare biomassa tutto il materiale di origine organica sia vegetale, sia animale. Una quota prevalente di produzione di biomassa è, quindi attribuibile alle attività agricole e forestali. I combustibili solidi, liquidi o gassosi derivati da questi materiali (direttamente o in seguito a processi di trasformazione) sono definiti biocombustibili, mentre qualsiasi forma di energia ottenuta con processi di conversione della biomassa è definita bio-energia. Secondo il PAN, nel 2010 i contributi delle biomasse agli usi finali sono stati pari a 5,23 MTEP; dati ENEA-FIRE sulla biomassa disponibile sul territorio nazionale (foreste, residui da agricoltura, scarti industriali, rifiuti) stimano un'energia potenziale di 19,7 MTEP oltre a 2,7 MTEP provenienti dal biogas ( G. Alonzo et a. 2011). Le filiere agroenergetiche che potenzialmente contribuiscono alla produzione di energia da biomasse sono:

- ✓ filiera biomasse forestali
- ✓ filiera coltivazione essenze erbacce annuali e perennanti
- ✓ filiera biomasse residuali
- ✓ filiera SRF (Short Rotation Forestry )
- ✓ filiera zootecnica

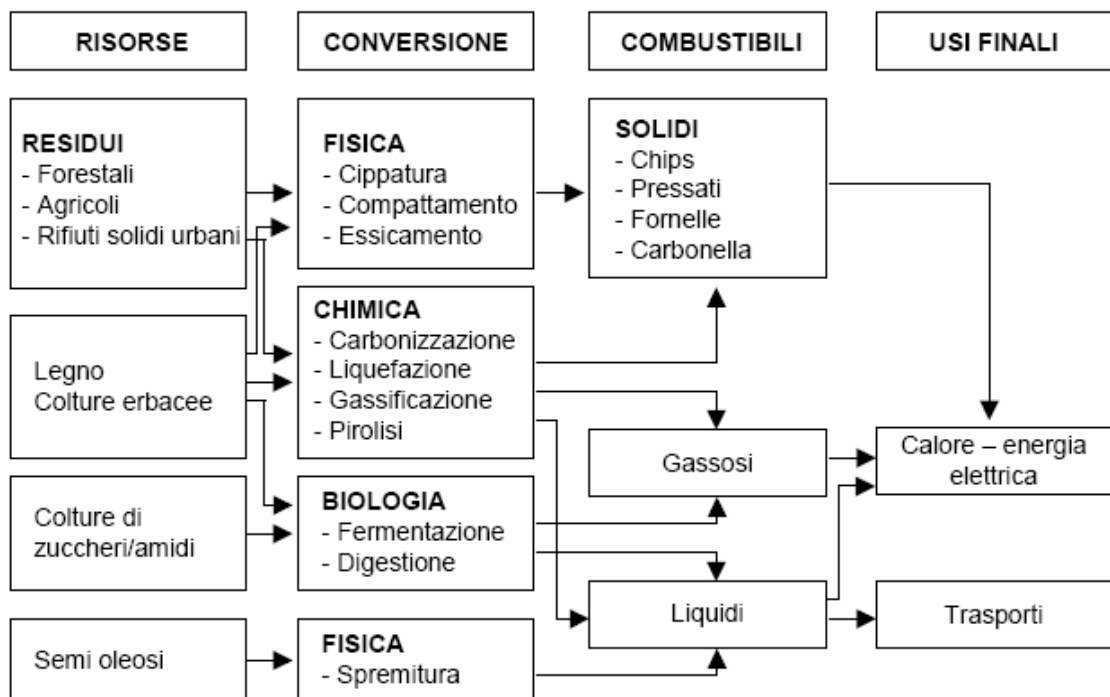




Figura 2: Miglio perlato da biomassa in coltivazione con bassi input energetici. Campi sperimentali dell'azienda Luparello Palermo ( Istituto sperimentale zootecnico della Regione Sicilia)

## 2 PROCESSI TERMOCHIMICI DI CONVERSIONE

La trasformazione delle biomasse in energia è fattibile con molteplici tecnologie in funzione delle matrici disponibili, delle esigenze produttive e del contesto territoriale. Molte hanno già raggiunto nel tempo uno sviluppo a scala industriale, alcune più recenti e molto complesse, sono da considerarsi in fase sperimentale e si lavora per aumentarne i rendimenti e ridurre i costi di conversione energetica.



**Figura 3 : schema di sintesi dei possibili percorsi di trasformazione della biomassa nelle filiere agroenergetiche** fonte: A. Romer

I processi effettivamente utilizzati sono classificabili in due gruppi: processi biochimici e processi termochimici. Il carbone vegetale ( biochar) può ottenersi, in misura differenziata, come sottoprodotto residuale dei processi termochimici.

## Processi termochimici

I processi di conversione termochimica sono basati sull'azione del calore che permette le reazioni chimiche necessarie a trasformare la materia in energia. Per essere trattati termicamente sono tecnologicamente vantaggiosi i prodotti ed i residui cellulosici e legnosi con un alto rapporto C/N e un basso contenuto di umidità. Le biomasse che possono essere sottoposte a processi di conversione termochimica sono: la legna e tutti i suoi derivati (segatura, trucioli, etc.), sottoprodotti colturali di tipo ligno-cellulosico (paglia di cereali, residui di potatura della vite e dei fruttiferi, etc.) scarti di lavorazione (lolla, pula, gusci, noccioli, etc.).

- combustione

è il più elementare dei processi termochimici e consiste nell'ossidazione completa del combustibile a  $H_2O$  e  $CO_2$ ; avviene, in caldaie con lo scambio di calore tra i gas di combustione ed i fluidi di processo (acqua, olio diatermico, etc.). La combustione di prodotti e residui agricoli si attua con buoni rendimenti, se si utilizzano come combustibili sostanze ricche di glucidi strutturati e con limitati contenuti di acqua. I prodotti utilizzabili a tale scopo sono: legname cippato e pellet; paglie di cereali; residui di raccolta di legumi secchi; residui di piante oleaginose (ricino, cartamo, etc.); residui di piante da fibra tessile (cotone, canapa, etc.); residui legnosi di potatura delle viti, delle piante da frutto e di piante forestali; residui dell'industria agro-alimentare. Il residuo della combustione è costituito principalmente da ceneri. La combustione è molto utilizzata attualmente, nelle caldaie domestiche con la valorizzazione di scarti del legno densificati, quali pellets e bricchetti.

- carbonizzazione

E' un processo di tipo termochimico che determina la trasformazione dei prodotti legnosi e cellulósici in carbone (carbone di legna o carbone vegetale), ottenuta mediante l'eliminazione dell'acqua e delle sostanze volatili dalla materia vegetale, per azione del calore. Il carbone di legna può essere usato come combustibile o anche come materia prima per l'ottenimento di prodotti chimici industriali quali ad esempio i carboni attivi. Il processo di carbonizzazione in carbonaie all'aperto è un metodo in regressione che, in passato ha avuto un ruolo importante e attualmente può considerarsi ancora un'attività di nicchia. Rappresenta il più antico e conosciuto processo di pirolisi, che avviene a temperature comprese tra i 300 e 500 °C. Da tale processo si recupera solo la frazione solida (carbone vegetale), per cui si procede in modo da minimizzare le altre frazioni. E' possibile che sia stato usato per fare carbone oltre 7.000 anni fa per la fusione di rame, o addirittura 30.000 anni fa per i disegni a carboncino della grotta Chauvet, ma la prima prova definitiva di pirolisi per la produzione di carbone proviene da reperti risalenti a oltre 5.500 anni fa trovati in Sud Europa e Medio Oriente. Da 4.000 anni fa, all'inizio dell'età del Bronzo, l'uso della pirolisi per la produzione di carbone deve essersi già diffusa poiché solo il carbone che brucia poteva permettere di raggiungere la temperatura necessaria per fondere lo stagno con il rame per la produzione del bronzo.

- pirolisi

nel processo di pirolisi si ha la trasformazione di un combustibile a bassa densità energetica (3.000-4.000 kcal/kg) in un altro con contenuto energetico più elevato (8.000-10.000 kcal/kg). Il processo si realizza, in quasi totale assenza di ossigeno, con temperature tra i 400 ed 800°C per cui le molecole delle sostanze organiche si trasformano in composti più semplici. In pratica non è possibile creare un ambiente completamente privo di ossigeno e come tale una piccola quantità di ossidazione si verifica

sempre. Tuttavia, il grado di ossidazione della materia organica è relativamente basso rispetto alla combustione in cui si verifica la quasi completa ossidazione di materiale organico, e come tale una percentuale notevolmente maggiore del carbonio residua nella carica e non viene emessa sotto forma di  $\text{CO}_2$ .

I prodotti della reazione sono:

- carbone vegetale (Carbon black o char) 20-30% (in peso) -Frazione solida contenente residui a più alto peso molecolare, furani derivati e composti fenolici;
- olio combustibile (Pyro-oil) 40-60% - Frazione liquida oleosa contenente acqua e composti organici a basso peso molecolare: alcoli aldeidi, acidi, chetoni;
- Gas 5-10% - Frazione gassosa a medio potere calorifico contenente  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , idrocarburi ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_3\text{H}_6$ ),  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$ ;

Sebbene le tre frazioni siano presenti come risultato del processo di pirolisi, è possibile incrementare la resa di una di esse, selezionando opportunamente le condizioni del processo:

- la temperatura finale di reazione;
- la velocità di riscaldamento della biomassa;
- il tempo di residenza del materiale alla temperatura di reazione;
- le dimensioni e la struttura fisica della biomassa da trattare;
- la presenza di specifici catalizzatori.

Per mezzo del controllo della velocità di svolgimento del processo, è possibile massimizzare la formazione delle frazioni più leggere (liquidi e gas) nella pirolisi veloce con temperature più elevate o pesanti (char e liquidi) nella pirolisi lenta con temperature più basse. La percentuale di trasformazione dei singoli componenti è quindi, determinata dalle condizioni di esercizio del processo pirolitico. La pirolisi è un processo che complessivamente richiede l'apporto di calore dall'esterno; tale energia è ottenibile per combustione di parte del gas di pirolisi. Il processo di pirolisi è utilizzato dall'industria chimica per la produzione di una vasta gamma di

composti tra cui carbone, carbone attivo, metanolo e gas di sintesi, per trasformare il carbone in coke e per la produzione di altre sostanze chimiche dal legno. Il sistema pirolitico essendo basato su reazioni indotte in totale assenza di ossigeno, si differenzia con il processo di gassificazione che al contrario utilizza discrete quantità di ossigeno (aria o vapore aggiunto per accelerare le reazioni di dissociazione della materia. La gassificazione necessita, pertanto di maggiori controlli e tarature sulla base delle tipologie dei materiali in ingresso che, spesso, sono molto eterogenei. Proprio per la sua semplicità e per il ridotto volume delle emissioni e delle ceneri, l'impianto pirolitico si può bene adattare alla produzione di energia da biomasse.

- gassificazione

il processo consiste nella trasformazione di biomassa in un combustibile gassoso attraverso una decomposizione termica in ossidazione parziale ad alta temperatura ( $900\div 1.000^{\circ}\text{C}$ ). La miscela di gas che si ottiene dal processo di gassificazione delle biomasse varia al variare del combustibile ma generalmente è costituita da un 50% circa di idrogeno, 35% circa di monossido di carbonio e dal restante 15% circa da metano ed anidride carbonica. La miscela può essere utilizzata per alimentare turbine a gas o grossi motori a combustione interna per produrre energia elettrica in cogenerazione o trigenerazione. Si può utilizzare il syngas anche, per ricavarne idrogeno e alimentare pile a combustibile per la produzione di energia elettrica. Il processo di gassificazione avviene in diversi stadi ad una temperatura prossima ai  $1000^{\circ}\text{C}$ . Inizialmente si riscaldano le biomasse in assenza di ossigeno ed in queste condizioni avviene la pirolisi durante la quale si formano idrogeno e metano e le biomasse perdono circa il 70% del peso subendo la carbonificazione. Successivamente si introduce ossigeno in quantità controllate determinando la combustione dei prodotti volatili e di una piccola parte del carbonio, si produce calore e si avviano le reazioni di gassificazione vere e proprie. Il carbonio che reagisce con la anidride

carbonica forma monossido di carbonio ed il carbonio che reagisce col vapor d'acqua forma monossido di carbonio ed idrogeno. Nel processo di gassificazione si producono quantitativi più limitati (3-8%) di carbone vegetale rispetto alla pirolisi. Tutte le fasi del processo, dall'essiccazione della biomassa fino alla conversione energetica, avvengono all'interno di gassificatori che offrono un elevato rendimento di generazione elettrica, anche a scala ridotta. Il gas viene convogliato ed inviato a motori endotermici accoppiati ad un generatore. Questa tecnologia pur essendo molto promettente soprattutto per la capacità di valorizzare biomasse erbacee, non ha ancora raggiunto un livello tecnologico e commerciale tale da poterla definire matura. Le maggiori criticità riguardano le problematiche relative al deposito di residui nei motori dovute all'utilizzo di syngas non ottimamente filtrato e alle condizioni di gestione dell'intero processo. Questa tecnologia, quindi, non ancora particolarmente sviluppata dal punto di vista commerciale, potrà in futuro essere un'alternativa alle altre tecnologie citate in precedenza. Da considerare comunque che, su scala aziendale, essa rappresenta una delle tecnologie più promettenti per l'elevata modularità e per l'ampio ventaglio di biomasse utilizzabili. Sono in fase di diffusione gassificatori di piccola taglia con alta efficienza produttiva e dimensioni contenute per l'utilizzo nelle aziende agricole. Annullando le distanze tra il luogo in cui si coltivano biomasse e quello in cui le biomasse sono trasformate in energia, è possibile realizzare la filiera corta con abbattimento dei costi di trasporto e un notevole contenimento delle problematiche legate allo stoccaggio. Rispetto alla combustione la gassificazione offre una serie di significativi vantaggi che sono così riassumibili:

- Un buon rendimento per la produzione di energia elettrica anche in impianti di piccole dimensioni.
- La possibilità di poter costruire l'impianto sul tipo di combustibile reperibile in loco.
- Emissioni di inquinanti più contenute rispetto alla combustione diretta.

### 1.3 IL BIOCHAR: DEFINIZIONE E CLASSIFICAZIONE

*"l'uso del biochar può rappresentare l'iniziativa più importante per il futuro ambientale dell'umanità ..."*

Tim Flannery (agosto 2008)

L' utilizzo agronomico del biochar deriva da un'antica tecnica usata dalle popolazioni precolombiane della regione amazzonica. Con la scoperta nella regione di terreni caratterizzati da un alto contenuto in materiale carbonioso, fino a oltre 70 volte più dei suoli circostanti, si è sviluppata l' ipotesi che questo carbone vegetale sia stato prodotto dalla combustione incompleta di parti vegetali e introdotto volontariamente nel terreno dalle popolazioni locali, nel corso di migliaia di anni. Un' antica ma innovativa tecnica del "taglia e carbonifica", in alternativa al "taglia e brucia", con un bilancio ambientale positivo. Infatti, le piante assorbono CO<sup>2</sup> dall'atmosfera per poi rilasciarla quando terminano il loro ciclo di vita, mentre trattenendole nel terreno si possono ridurre le emissioni di questo inquinante nell'atmosfera. Il valore evidente della Terra Preta ha portato a sviluppare investimenti in biochar e a considerare che l'applicazione al terreno agricolo può essere economicamente sostenibile e talora anche vantaggioso. Inoltre la necessità di proteggere il suolo, con un clima sempre più incerto, rende importante l' apparente capacità di biochar di aumentare la capacità del suolo di assorbire e immagazzinare l' acqua. Il biochar si ottiene dalla trasformazione di numerosi tipi di residui agricoli : tutoli, stocchi, paglia, gusci di mandorle, pula di riso, scarti di potatura e lavorazione del legno, ed anche da biomasse provenienti da colture dedicate. Il processo di decomposizione termochimica di materiali organici essenzialmente utilizzato è la pirolisi che, oltre al biochar, permette di produrre gas combustibile per la generazione di energia termica ed elettrica. Una gestione sostenibile dei residui culturali con la carbonificazione della biomassa ed il successivo interramento nel suolo



potrebbe contribuire al mantenimento della fertilità ed anche al recupero di terreni degradati. All' aumento delle rese agricole si aggiungerebbe la opportunità di potere nello stesso tempo sequestrare carbonio. In recenti sperimentazioni svolte in Toscana dall' Itabia si è rilevato che l'aggiunta di 10t/ha di biochar ha sequestrato oltre 30t/ha di CO<sub>2</sub> atmosferica nel suolo con il contemporaneo incremento percentuale della produzione di frumento duro.

Dalla letteratura disponibile pubblicata emerge, che esistono, relativamente alla produzione ed utilizzo del biochar, alcune problematiche aperte, possibili temi di ricerca eccellenti per il prossimo futuro:

- ✓ difficoltà di definizione delle caratteristiche fisiche e chimiche, notevolmente influenzate dalle materie prime utilizzate e dalle condizioni di processo, in particolare temperatura e tempo di trattamento.
- ✓ Parziale e frammentaria determinazione delle sue proprietà caratterizzanti le interazioni ambientali nelle applicazioni agronomiche.
- ✓ Costruzione di una tecnica di screening rapida ed efficace per il confronto dei diversi tipi di biochar in riferimento alle diverse possibilità di utilizzo.
- ✓ Definizione di metodi per la verifica delle caratteristiche di stabilità dei biochar e per lo studio dei processi di degradazione.
- ✓ Valutazione sistematica della concentrazione di sostanze tossiche, potenzialmente pericolose per l' ambiente prodotte nel processo termochimico, o contaminanti delle materie prime.
- ✓ Studio del rischio ambientale con la valutazione puntuale dell' impatto sugli ecosistemi terrestri ed acquatici.
- ✓ Stima delle quantità di biochar che è possibile aggiungere al terreno senza determinare effetti negativi per eccesso di apporto per i singoli tipi di suolo.
- ✓ Comprensione approfondita dei processi di interazione del biochar con il suolo, anche per mezzo di modelli adeguati alla localizzazione

geografica dei suoli, alle caratteristiche delle materie prime e alle tecnologie di produzione.

- ✓ Definizione di più evolute tecnologie produttive finalizzate alla ottimizzazione delle caratteristiche agronomiche più utili del biochar in rapporto alle matrici originarie.
- ✓ Studio della interazione simbiotica delle comunità microbiche del suolo con il biochar e dei possibili, conseguenti processi chimici e biologici.
- ✓ Definizione, in diversi scenari , di modelli del ciclo del carbonio e dell' azoto nel suolo con o senza applicazione di biochar.
- ✓ Determinazione della sostenibilità economica, nell' attuale scenario economico e normativo, della produzione di biochar come sottoprodotto dei processi di produzione di energia.
- ✓ Analisi degli aspetti socio-economici connessi alla certificazione della produzione di biochar in progetti Clean Development Mechanism (CDM), meccanismo flessibile previsto dal Protocollo di Kyoto.
- ✓ Valutazione sistemica del potenziale di mitigazione dell' effetto serra per tutti i gas con l' applicazione al terreno del biochar.

La definizione di biochar è stata scelta dall'IBI (International Biochar Initiative) per il carbone vegetale che trova applicazioni nell' agricoltura e nella gestione ambientale.

E' comunemente definita la materia organica carbonizzata prodotta con l'intento di applicare ai terreni per sequestrare il carbonio e migliorare le proprietà del suolo ( *Lehmann e Joseph, 2009*).

In alcune pubblicazioni è utilizzato anche il termine bio-char ed in altre, anche agrichar o agro-char quando viene riferito specificatamente al possibile utilizzo agricolo. Numerose prove indipendenti da parte di organizzazioni scientifiche internazionali ed anche in Nuova Zelanda, Paesi Bassi e Stati Uniti hanno avuto come oggetto l' agrichar con certificazione qualitativa ed ambientale. Biochar è venduto in molti Paesi con una vasta gamma di marchi e negli Stati Uniti principalmente con il marchio registrato Agrichar <sup>TM</sup>.

In Europa è iniziata da alcuni mesi la commercializzazione di biochar, in miscela con prodotti di compostaggio, da parte della società tedesca Palaterra GmbH & Co. KG con lo sviluppo e l'utilizzo della tecnologia Terra Preta.

Per le caratteristiche fisico-chimiche, biochar e carbone sono da considerarsi lo stesso prodotto. Non esiste infatti, sostanzialmente nessuna differenza tra biochar e carbone se non nell'utilizzo a cui sono destinati. Il carbone è prodotto per utilizzi domestici quali riscaldamento, barbecue, ecc., il biochar invece per uso agricolo e ambientale con caratteristiche ben definite.

**How's Yuh Gramma'?**

yuh wanna make th' greens smooth 'n slik, so the ball won't bounce off 'n the players don't kik? It's a trik that's almost simple—ther's reely little to it wherevva they use

**CLEVE-BRAND CHARCOAL**

jus 'nquire—or ask the leading greenkeepers how they do it.

**Cleveland Charcoal Supply Co**  
3905 Jennings Road, Cleveland, Ohio

Figura 4 : inserzione pubblicitaria, pubblicata nel 1933 in una rivista tecnica statunitense per promuovere l'uso del carbone vegetale come ammendante nell' impianto di tappeti erbosi.  
fonte : The National Greenkeeper (1933)

Si potrebbe quindi adottare la seguente definizione di biochar: "carbone proveniente da biomassa che è stata sottoposta ad un processo di pirolisi in un ambiente con poco o in assenza di ossigeno e che per le sue proprietà intrinseche può essere utilizzato per l' applicazione al suolo in un sito specifico con l' azione di sequestrare il carbonio e contemporaneamente di migliorarne le funzioni , evitando nel contempo effetti nocivi a breve e lungo termine per l'ambiente in generale e per la salute umana e animale ".

In sintesi , il biochar è definibile come:"carbone per l'applicazione al suolo". La distinzione tra biochar come concetto e come materiale è importante in relazione al suo utilizzo in campo.

## 1.4 IL BIOCHAR: CARATTERISTICHE FISICO-CHIMICHE

Il biochar può considerarsi un prodotto con un insieme unico di caratteristiche fisico-strutturali e chimiche, derivanti dalla diversità delle biomasse di provenienza e dalle tecnologie di trattamento. Le proprietà fisiche del biochar sono fondamentali nella determinazione delle sue possibilità e modalità di utilizzo nel settore agricolo e nel campo ambientale. Sono appunto le diverse proprietà fisiche a caratterizzare direttamente o indirettamente il biochar per le modifiche che il suo apporto può indurre nel suolo. Le proprietà dei suoli dipendono dalla composizione dei componenti minerali e organici, ed in particolare dai loro rapporti e dalle aggregazioni e relative interazioni.

L'apporto di biochar, conseguentemente, può influenzare in modo sostanziale il sistema suolo nelle sue proprietà fisiche e specificatamente la profondità, la tessitura, la struttura, la porosità e la consistenza ( grandezza e distribuzione dei pori, densità e impaccamento).

Lo sviluppo delle radici delle piante essendo collegate alla struttura fisica degli orizzonti del suolo, potrebbe condizionare la crescita e la produttività delle coltivazioni in terreni addizionati con biochar.

Caratteristiche pedologiche che potrebbero essere influenzate da apporto di biochar sono:

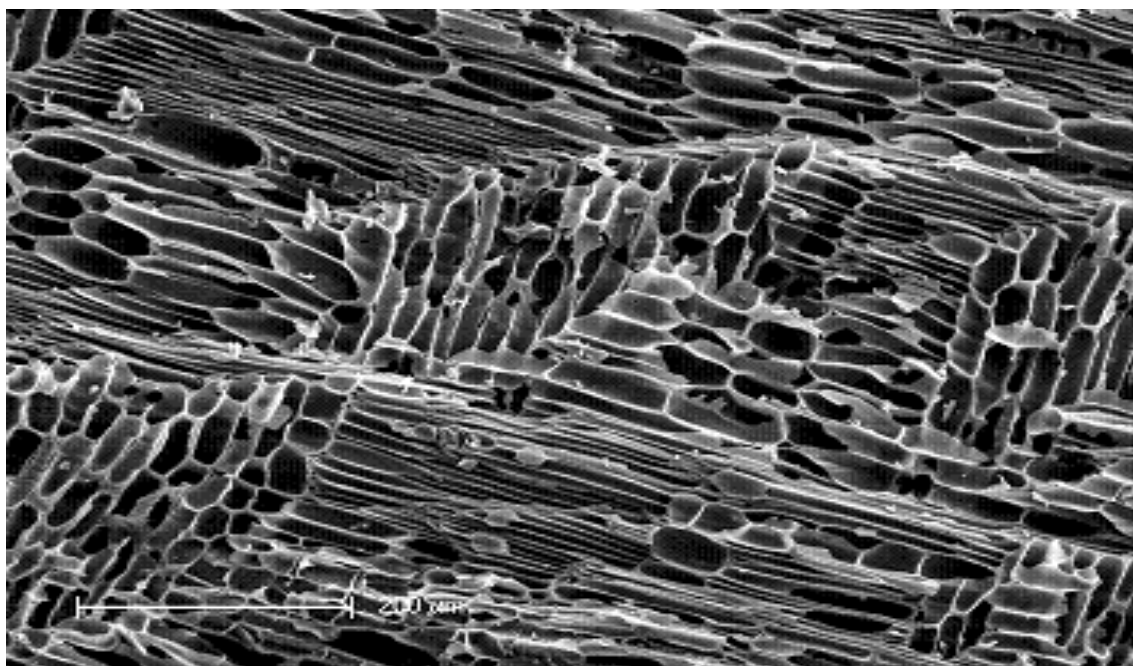
- ✓ l' affinità del suolo con l'acqua,
- ✓ la sua aggregazione,
- ✓ la lavorabilità durante la preparazione del suolo,
- ✓ il rigonfiamento-ritiro dinamico e la permeabilità,
- ✓ la capacità di ritenzione dei cationi
- ✓ la risposta ai cambiamenti di temperatura

Sono anche da considerare aspetti di natura biologica connessi alla fertilità del suolo, conseguenti alla modifica delle proprietà fisiche, quali lo sviluppo di siti attivi disponibili per le reazioni chimiche e di habitat vitali per i microbi del suolo. La materia organica di provenienza e la tecnologia produttiva sono determinanti per la definizione delle proprietà fisiche e delle caratteristiche strutturali del biochar.

La struttura originaria della biomassa, viene modificata durante processi di trasformazione con il verificarsi di attriti e fratture connessi a cambiamenti nella microstruttura, anche in dipendenza delle fasi di pretrattamento e condizionamento.

La struttura cellulare di origine determina la presenza nel biochar della maggior parte di macroporosità, anche se, durante i processi di pirolisi si è verificata una perdita di massa ed un restringimento di volume.

La macroporosità ( di  $10\mu\text{m}$  ) delle strutture a nido d'ape, rilevabili con l'analisi microscopica si origina dalle strutture capillari biologiche delle matrici di provenienza e da questa se ne sviluppano altre a meso e micropori.



**Figura 5 : biochar da legno di salice: frammenti di 0.2-0.5 mm di diametro**  
**Fonte: Saran Sohi**

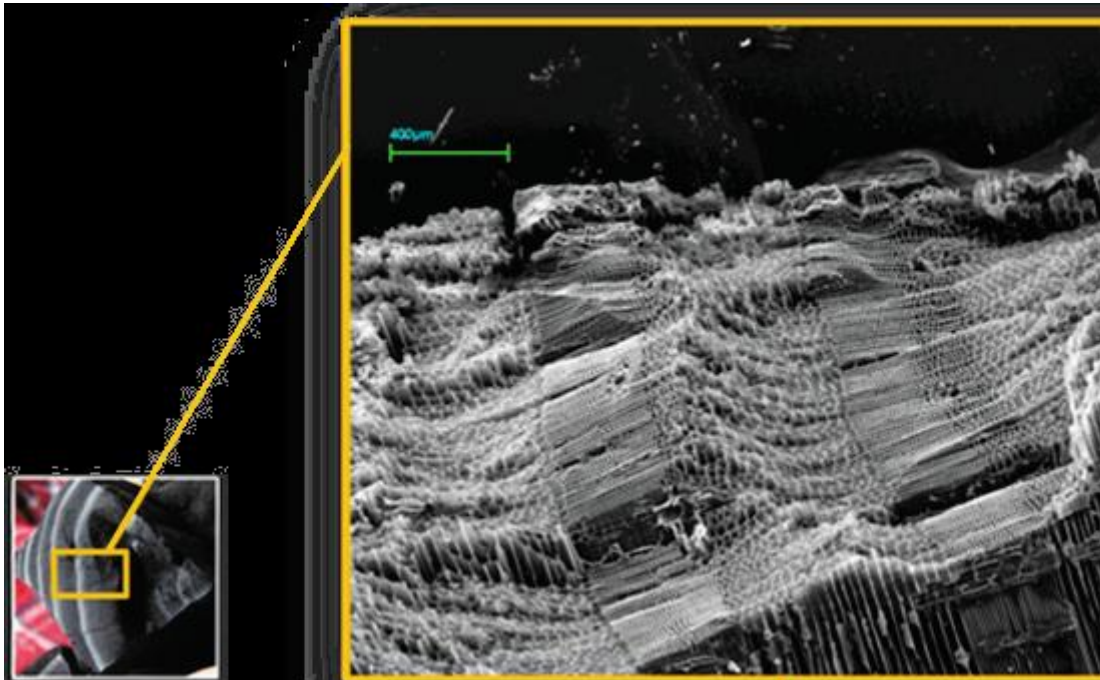
Esiste una notevole correlazione tra natura chimica delle matrici e le caratteristiche del biochar prodotto derivante dalle reazioni dei processi di pirolisi. I vari componenti delle biomasse vengono degradati a differenti temperature: dopo l' iniziale perdita di umidità (100-120 °C), viene degradata l' emicellulosa (200- 250°C), successivamente la cellulosa (240-340°C) ed infine la lignina (300-500°C).

Matrici con diversa composizione percentuale reagendo ai processi termici in modo diversificato, modificheranno la loro struttura fisica con diverso grado di intensità. Pertanto, la proporzione tra questi componenti, influenzerà il grado di reattività e quindi il grado con cui la struttura fisica verrà modificata durante i processi termici. Inoltre, è da considerare che è presente una frazione di componenti inorganiche (ceneri) che avrà implicazioni sulla struttura finale del biochar. Alcune condizioni di processo possono generare fusione o sinterizzazione delle ceneri, che rappresentano il peggior cambiamento nella composizione fisica e strutturale del biochar. I principali parametri di processo da tenere in considerazione durante la pirolisi, per il loro stretto legame con le proprietà finali del biochar sono: la velocità di riscaldamento, la più alta temperatura di trattamento (HTT), la pressione, il tempo di residenza delle reazioni, il recipiente di reazione (orientamento, dimensioni, regime di miscelazione, catalisi, ecc.), pre-trattamenti (essiccamento, amminutamento, attivazione chimica, ecc.), la portata delle componenti accessorie (azoto, CO<sup>2</sup>, aria, vapore ecc) e post-trattamenti (frantumazione, setacciatura, attivazione, ecc). Tra tutti questi parametri citati, quello da considerare maggiormente è la temperatura di trattamento, in quanto è proprio la temperatura ad influenzare maggiormente i cambiamenti fisici fondamentali che avvengono nella materia (rilascio di componenti volatili, formazione di intermedi liberi e rilascio di tali intermedi).

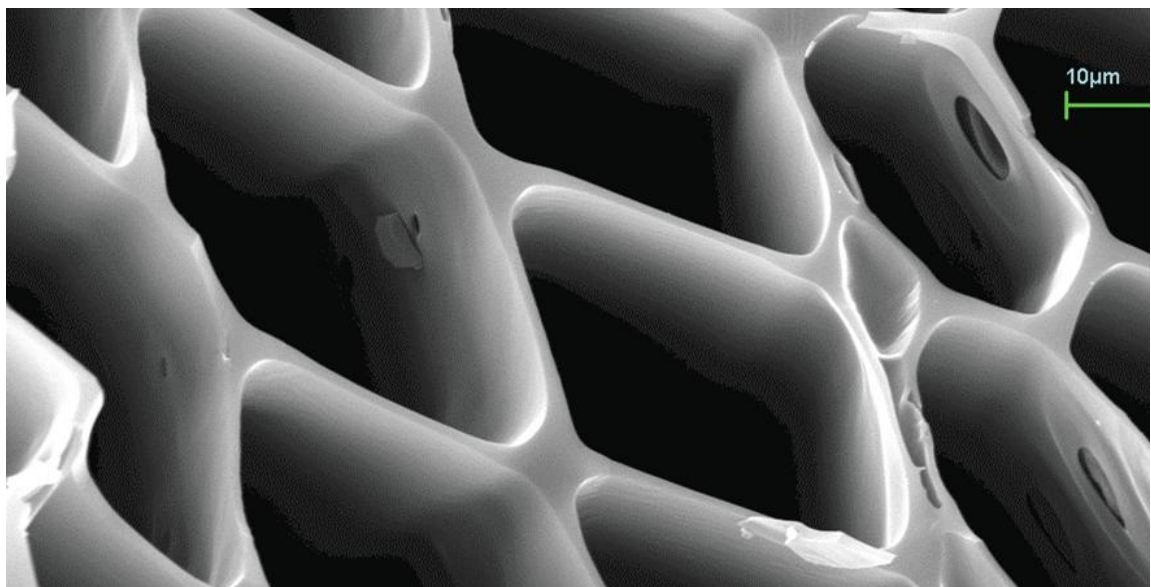
Il biochar ha molte caratteristiche fisiche che lo rendono un prodotto con una interessante attività positiva per il suolo. Queste caratteristiche includono l' alta microporosità, la bassa densità, l' elevata area superficiale, così come l' alta capacità di scambio cationico e il pH basico.



La figura 2 mostra un campione che biochar ingrandito e mette in evidenza le sue caratteristiche strutturali.



**Figura 6: Un microscopio SEM rivela la porosità del biochar (Feltz 2010). La struttura porosa è evidenziata in modo più particolareggiato nella figura 7.**



**Figura 7 : micrografia di un campione biochar (Feltz 2010).**



L'immagine della figura 7 evidenzia la grande quantità di spazio e superficie presenti nella struttura del biochar: la scala indica una vasta gamma dei pori dal diametro di 10 a 30 micron.

Possiamo riscontrare per la densità di biochar valori compresi tra 0,2 a 0,8 grammi per centimetro cubo, a seconda della provenienza della biomassa e delle temperature di produzione. L'aggiunta di biochar a bassa densità al suolo può determinare un duplice effetto positivo. Principalmente, esso riduce la densità di massa, permettendo ai sistemi di radici delle piante di penetrare il terreno e crescere più facilmente. Inoltre, riducendo la densità permette una maggiore ritenzione dell'umidità. Il fattore più significativo è la superficie molto elevata per unità di massa, con valori da poche centinaia a 3000 metri quadri per ogni grammo di biochar. Questa elevata area superficiale fornisce un habitat ideale per i microbi e i funghi del suolo e rappresenta un sito di deposito per le sostanze nutrienti del suolo. È stato dimostrato che ogni particella di biochar è composta essenzialmente da due frazioni strutturali: fogli di grafene cristallino impilati e strutture aromatiche amorfe disposte in modo casuale. Gli altri elementi H, O, N, P e S si trovano prevalentemente incorporati all'interno degli anelli aromatici come eteroatomi. Si ritiene che la presenza di eteroatomi ha un ruolo molto importante nello sviluppo della chimica di superficie, nel biochar. La distribuzione granulometrica delle particelle nel biochar è influenzata principalmente dalla natura delle materie prime della biomassa e dalle condizioni dei processi di pirolisi. Le trasformazioni strutturali che si verificano nella sostanza organica, determinano la formazione di un insieme di particelle di dimensioni diversificate in relazione alle caratteristiche dei processi produttivi. La distribuzione granulometrica delle particelle nel biochar ha anche implicazioni determinanti per la definizione dell'idoneità di ogni prodotto biochar per una specifica applicazione, così come per la scelta del metodo di applicazione più adeguato. Inoltre, bisogna considerare i problemi di salute e sicurezza relativi alla movimentazione, stoccaggio e trasporto di biochar anche in gran parte determinati dalla sua distribuzione granulometrica in particolare per quanto riguarda la sua frazione di polvere.

Le condizioni operative che durante la pirolisi possono influire sulle caratteristiche fisiche del prodotto sono:

- ✓ velocità di riscaldamento
- ✓ trattamento ad alta temperatura-HTT
- ✓ tempo di permanenza
- ✓ pressione
- ✓ velocità di flusso del gas inerte
- ✓ tipo e forma di reattore
- ✓ pre-trattamenti della biomassa (ad esempio l'essiccazione, attivazione chimica)
- ✓ post-trattamenti del biochar (setacciatura , attivazione)

Tali osservazioni sono stati ricavati principalmente da studi che coinvolgono il carbone attivo prodotto da una varietà di materie prime, tra cui sottoprodotti di lavorazione del mais. In altre ricerche, la velocità di riscaldamento, il tempo di permanenza e la pressione di trattamento hanno dimostrato di essere fattori determinanti per la produzione di biochar con particelle più fini, indipendentemente dalla matrice di provenienza.

Trattamenti delle biomasse con tassi di riscaldamento più elevati e tempi di permanenza più brevi, richiedendo materie prime con particelle più fini (5-20 micron) per facilitare il processo producono biochar con struttura fine.

La pirolisi lenta che permette l' utilizzo di materie prime con particelle più grandi, può determinare invece la formazione di particelle di biochar più grossolani . E' possibile incrementare la percentuale di particelle più grandi nella formazione del biochar con l' aumento della pressione di processo (da atmosferica a 5, 10 e 20 bar) durante la lavorazione. Il biochar presenta al suo interno una grande variabilità in termini di composizione chimica, essendo derivato da una diversificata tipologia di biomasse. Questa ampia eterogeneità di composti presenti è anche determinata dai diversi processi termochimici che sono alla base del processo di produzione del biochar. Per cui, ogni biochar che si ottiene da una determinata biomassa , con specifici processi, avrà una propria miscela di fasi e di microambienti, che daranno luogo ad un peculiare insieme di proprietà chimiche. In senso lato, si potrebbe assimilare la complessità chimica del biochar a quella dei suoli in

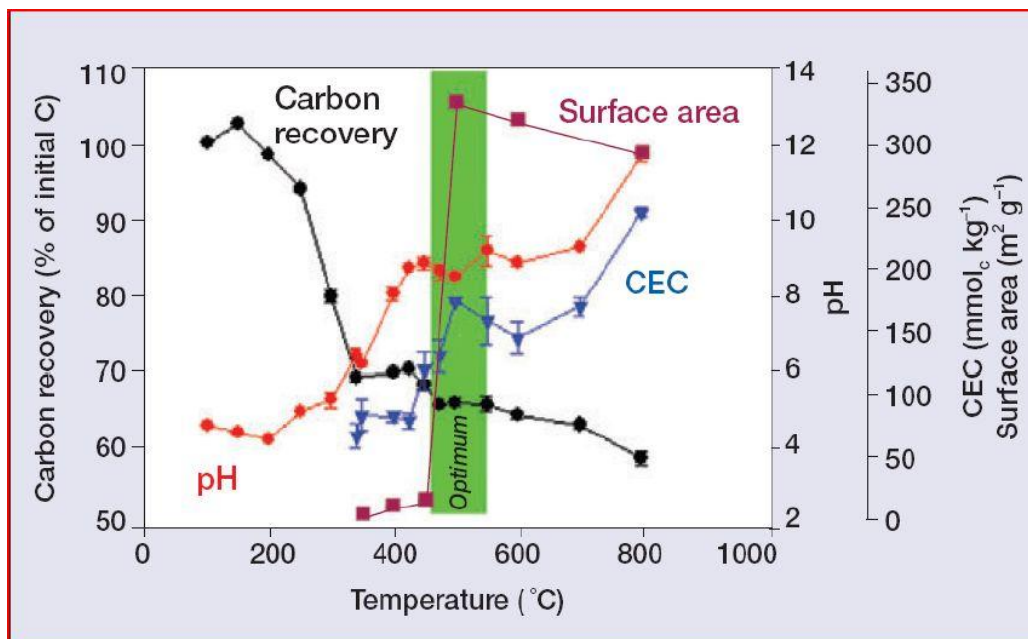
formazione. Il biochar è costituito da composti del carbonio stabili che si formano quando la biomassa viene riscaldata a temperature tra i 300 a 1000 ° C con basse concentrazioni di ossigeno. Il biochar può essere considerato un composto altamente aromatico, contenente pile di layer grafiteici disposte in maniera casuale.

Un'altra caratteristica particolare del biochar è il suo pH. La composizione strutturale e chimica del biochar è altamente eterogenea, ad eccezione del pH, che è in genere  $> 7$ . Considerando la grande eterogeneità delle sue proprietà, i valori di pH nel biochar sono relativamente omogenei. I valori di pH di biochar provenienti da un'ampia varietà di materie prime hanno una media di pH 8,1 in un intervallo totale di pH 6,2-9,6. I valori più bassi caratterizzano biochar prodotto da rifiuti verdi, i valori superiori biochar da materie prime di lettiere avicole. Relativamente alla tecnologia di trattamento, prodotti da processi di gassificazione sono caratterizzati da valori di pH decisamente alcalini, nei biochar da pirolisi veloce i valori sono più vicini alla neutralità, mentre con la pirolisi lenta si hanno valori con un intervallo molto ampio da acido ad alcalino (pH 4-10). I biochar prodotti da trattamenti idrotermali hanno un comportamento in genere sub-acido. Quindi mentre la maggior parte biochar ha un pH basico (da 8 a 9,5), alcuni biochar hanno un pH più basso, a seconda del contenuto minerale del materiale originario. La maggior parte delle piante preferiscono crescere in terreni leggermente acidi. Poiché il biochar è basico il suo apporto determina un aumento del pH di un terreno acido ad un livello più opportuno. Se il terreno ha già un pH adatto alla coltura il biochar può essere trattato mediante compostaggio per neutralizzare il suo pH. Proprietà che caratterizzano tutti i biochar, sono l'elevato contenuto di C e il grado di aromaticità. La composizione strutturale e la chimica di superficie, dipendono dalla combinazione del tipo di materia prima con le condizioni di pirolisi ed in particolare dalla temperatura di trattamento.

Questi stessi parametri sono fondamentali, inoltre nel determinare la dimensione delle particelle e dei pori (macro, meso e micropori) che caratterizzeranno il biochar prodotto. Le caratteristiche fisiche e chimiche di un biochar possono alterare significativamente le proprietà del suolo il suo

stato fisico e i relativi processi attivi e quindi, fondamentale una specifica caratterizzazione prima della sua applicazione al suolo. Le differenze nelle proprietà tra i diversi prodotti di biochar evidenziano la necessità di una valutazione, in ogni singolo caso, precedentemente all'incorporazione nel terreno in un sito specifico. La caratterizzazione è determinante per definire l'idoneità di ogni biochar per una data applicazione, le condizioni di trasporto e la valutazione della compatibilità ambientale. Il biochar presenta una composizione molto eterogenea di componenti stabili e labili. I costituenti principali sono carbonio (50-90%), sostanze volatili (0,5-40%), componenti minerali (0,3-5 %) e acqua (1-15%).

Ci sono differenze significative nel carbonio totale residuo in funzione del tipo di trattamento. Il contenuto di carbonio totale nel biochar è risultato compreso tra 172-905 g kg<sup>-1</sup>, anche se il C rappresenta spesso valori inferiori a 500g kg<sup>-1</sup>, per una ampia varietà di prodotti. Possiamo trovare biochar con strutture che possono presentare un contenuto di C per più del 90% in peso, quando in particolari condizioni (elevata temperatura e velocità di riscaldamento) di trattamento delle matrici il biochar viene carbonizzato con l'estrazione della maggior parte dell'ossigeno, dell'idrogeno, dello zolfo e del azoto. Naturalmente, sono i carboni attivi, i prodotti caratterizzati dal più alto contenuto totale di carbonio (90,7 ± 5,1%). La proporzione relativa dei componenti del biochar determina il comportamento chimico fisico e l'attività del biochar nel suo complesso, che a sua volta determina la sua idoneità per applicazioni specifiche. Per esempio, biochar grossolani e più resistenti sono generati dalla pirolisi di terie prime con alto tenore di lignina. Al contrario, biochar prodotti da residui di colture (ad esempio, segale, mais), deiezioni animali e alghe sono generalmente più sottili e con bassa resistenza meccanica. Questi ultimi sono anche ricchi di nutrienti, e quindi più facilmente degradabili da comunità microbiche del suolo.



**Figura 7 Le proprietà del biochar collegate alla temperatura di pirolisi. Effetti della temperatura sulla resa in carbonio, CEC, pH e area di superficie. Lehmann (2007),. Ecol. Environ.**

Il contenuto di ceneri del biochar dipende dal tenore di ceneri nelle materie prime della biomassa. Da materie prime come, erba, pula di grano, paglia e residui di allevamenti si ottengono biochar in genere con alto contenuto di cenere, in contrasto con quelli da materie prime legnose. Per esempio, un biochar prodotto da pollina può contenere fino al 45% in peso di ceneri.

IL tenore di azoto totale varia tra 1,8 e 56,4 g kg<sup>-1</sup> ed è collegato alla materia prima utilizzata. Anche se apparentemente può sembrare elevato, il totale di N contenuto può essere non necessariamente vantaggioso per i raccolti, dato che N è presente soprattutto in forma non disponibile.

Il P e il K nel biochar sono presenti in percentuale variabile a seconda delle materie prime, con valori compresi rispettivamente, tra 2,7-480 e 1,0-58,0 g kg<sup>-1</sup>. È molto significativo che i valori totali di N, P e K contenuti nel biochar sono più ampi rispetto a quelli riportati in letteratura per i fertilizzanti organici. Condizioni di lavorazione caratterizzate da diverse temperature hanno determinato differenze di contenuto di N in tre biochar provenienti da lettiere avicole.

Al contrario, basse temperature di trattamento ( $<500\text{ }^{\circ}\text{C}$  ) favoriscono l'accumulo relativo di K disponibile, Cl , Si, Mg, P e S.

E' evidente la necessità di una valutazione caso per caso delle proprietà chimiche e fisiche del biochar prima della sua applicazione nel terreno, in relazione agli eventuali effetti negativi, di un suo componente in particolare o della sua stessa concentrazione. Alcune prove sperimentali hanno dimostrato che la composizione, la distribuzione percentuale relativa e reattività dei gruppi funzionali all'interno di biochar dipendono da diversi fattori ed in particolare dal materiale di origine e dalla metodologia utilizzata per il processo di pirolisi. Il contenuto delle sostanze di natura minerale dipende dalla biomassa utilizzata e dalle condizioni di trattamento. Biochar derivato da matrici con alto contenuto di lignina, è caratterizzato da bassi contenuti in ceneri minerali ( $<1\%$  in peso). Da biomassa erbacea con alta concentrazione di silicati, si possono avere prodotti con contenuto di ceneri inorganiche fino al  $24\%$  in peso. In riferimento alle caratteristiche della tecnologia utilizzata, il contenuto in ceneri viene influenzato da parametri di processo quali, la velocità di riscaldamento, la più alta temperatura di trattamento (HTT) e la pressione. Gli elementi inorganici che formano le ceneri nel biochar sono presenti in buona parte come fasi separate rispetto alla struttura carboniosa. In alcune condizioni si hanno elementi come K e Ca diffusamente distribuiti nella struttura dove possono formare fenossidi, o K intercalato tra i fogli di grafene. Numerosi composti minerali sono riscontrabili nel biochar tra questi, quarzo ( $\text{SiO}_2$ ), silice amorfa, calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), anidrite ( $\text{CaSO}_4$ ), silvite (KCl), diversi nitrati, ossidi e idrossidi di Ca, Mg, Al, Ti, Mn, Zn, Fe. In particolare, il silicio è presente nelle pareti cellulari sotto forma di fitoliti di opale ha un ruolo molto importante nella stabilizzazione della struttura del biochar.

Il riscontro in un biochar di presenza di silicio microcristallino, nocivo per inalazione, potrebbe rappresentare un problema di compatibilità ambientale che dovrebbe essere meglio approfondito. Diverse tecnologie di analisi chimiche disponibili, permettono di avere informazioni dettagliate sul rapporto fra gli elementi chimici costituenti il biochar. In particolare con l'analisi spettroscopica NMR, che permette una diretta e dettagliata

conoscenza della struttura molecolare, è possibile studiare i cambiamenti che avvengono nella tipologia e nella distribuzione delle molecole durante il processo di trasformazione pirolitico.

La rilassometria a ciclo di campo o Fast Field Cycling (FFC) NMR è tra le più importanti tecniche rilassometriche: essa permette di monitorare i processi di rilassamento protonico in funzione del campo magnetico applicato. Le informazioni che ne derivano, legate soprattutto alla cosiddetta curva di dispersione (profilo NMRD), riguardano in particolare la mobilità protonica delle molecole nel campione osservato. Queste risultano fondamentali, per esempio, nella comprensione e nella caratterizzazione delle dinamiche di interazione delle molecole di acqua con la matrice in cui si annida: sistemi porosi, macromolecole, agenti di contrasti, sistemi biologici. Le informazioni che possono essere estrapolate dalle misure riguardano: lo stato di idratazione, il contenuto di acqua, l'effetto di additivi, la porosità. La possibilità di avere elementi di conoscenza, non solo strutturali ma anche legate alle dinamiche molecolari e allo stato di aggregazione, può contribuire ad una migliore caratterizzazione del biochar.

## 1.5 ASPETTI AGRONOMICI ED AMBIENTALI

Terreni della maggior parte dei continenti del nostro Pianeta, possono contenere biochar che si è depositato attraverso eventi naturali, come incendi di pascoli e foreste. Aree ad alto contenuto di naturale di biochar, come alcune regioni dell'America Settentrionale a ovest del Mississippi, possono essere considerate alcuni dei terreni più fertili al mondo. Ricerche recenti, hanno dimostrato che l'uso del biochar risale ad almeno 2000 anni fa: nel bacino amazzonico esistono prove di un ampio uso di biochar, in terreni particolarmente fertili noti come Terra Preta e Terra Mulata, che sono stati creati da antiche culture indigene (O'Neill et al. 2009). Grazie alla grande quantità di biochar incorporato nei suoi terreni, questa regione è ancora molto fertile, nonostante secoli di lisciviazione da intense piogge tropicali. Ricerche effettuate sui suoli del bacino amazzonico di Terra Preta e sul biochar naturale di foreste e praterie percorse da incendi hanno provato che il biochar può persistere per millenni con poco decadimento. Studi di laboratorio con l'utilizzo delle più recenti tecnologie stimano che biochar potrebbe avere un tempo medio di permanenza nei terreni dell'ordine di 1300-4000 anni (Cheng et al. 2008, Liang et al. 2008).

In alcune zone dell'Asia, in particolare Giappone e Corea, l'uso del biochar in agricoltura è abbastanza diffuso da molto tempo. Recentemente, con l'accresciuto interesse per sistemi agricoli più sostenibili è stato maggiormente considerato l'uso del biochar in agricoltura.

In una revisione della letteratura di studi sull'applicazione di biochar, Blackwell et al. (2009) elencano una serie di progetti in cui è stato applicato biochar a dosaggi compresi tra 1 e 30 tonnellate per ettaro. I risultati, anche evidenziando rese diverse, nella maggior parte dei casi sono molto positivi. Alcune ricerche indicano vantaggi con l'applicazione del biochar, sia nella fissazione biologica dell'azoto che nello sviluppo delle micorrizie in piante di fagiolo (Rondon et al. 2007, Warnock et al. 2007). In Brasile, la produttività di specie vegetali autoctone ha avuto un elevato incremento percentuale nelle aree dove è stato applicato biochar (Major et al. 2005).

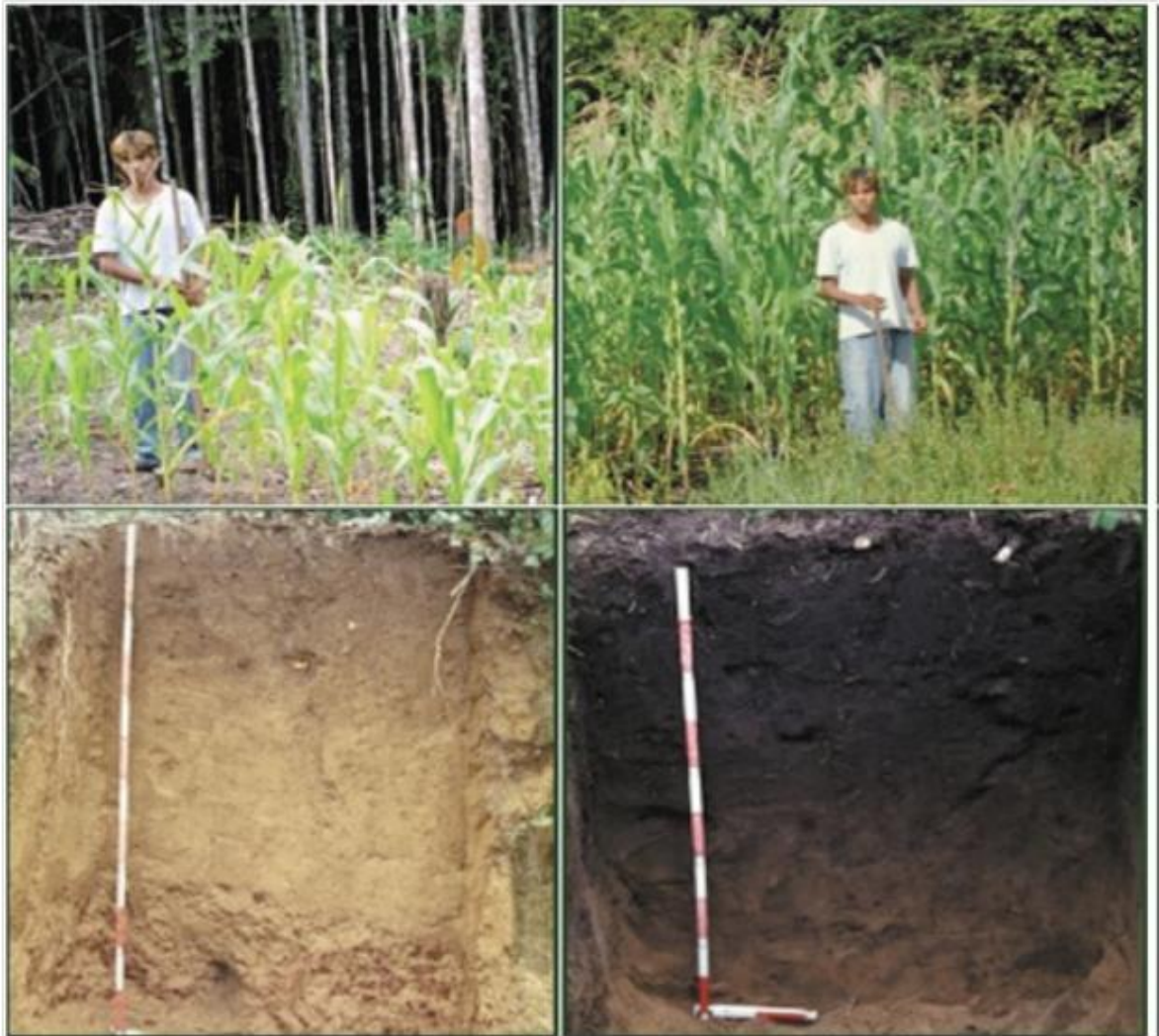


Altri studi, anche recenti, hanno inoltre dimostrato che l'azione positiva del biochar per la crescita delle piante, aumenta nel tempo dopo la incorporazione nel suolo (Cheng et al 2006, 2008; Maggiore et al. 2010). La ricerca in Italia, si è orientata in particolare sulla valutazione dell'effetto del biochar sulla produzione del grano duro in un esperimento svolto in Toscana dall' ITABIA ( associazione italiana biomasse) in collaborazione con il CNR . L'aggiunta di biochar al terreno di 10 t/ha in pre-semina ha determinato un effetto di stimolazione della produzione di circa il 15%. Le rese in biomassa, infatti, sono passate da 81 q/ha (sostanza secca) a 95 q/ha con l'aggiunta di biochar, confermando l'effetto positivo sulla produttività del biochar (Miglietta 2008) . Alcune ricerche, al contrario, hanno dimostrato una azione negativa sulla crescita delle piante, a causa della applicazione di biochar che ha determinato una temporanea alterazione del pH con conseguenti squilibri sulla disponibilità di nutrienti (McClellan et al. 2007). Biochar spesso può avere un pH inizialmente elevato, vantaggioso quando viene utilizzato in suoli acidi, ma che in ambienti alcalini può determinare conseguenze negative.

Sostanze catramose, resine e altre sostanze volatili, che possono permanere sulla superficie del biochar immediatamente dopo i processi produttivi, hanno dimostrato di potere inibire la crescita delle piante (McClellan et al. 2007, McLaughlin et al. 2009).

I metodi di applicazione utilizzati variano dalla semplice diffusione a sistemi localizzati a bande laterali o puntiformi. In genere , il biochar non viene aggiunto da solo, ma spesso, viene mescolato con fertilizzanti , compost, fanghi o letame. Nella regione amazzonica i terreni con biochar ad elevata fertilità, hanno un contenuto percentuale fino al 10% in peso nel profilo da 60 a 180 cm di profondità.

Recenti studi, comunque indicano che il biochar ad un livello superiore al 10% aggiunge poco valore al miglioramento delle caratteristiche del suolo (Yarrow 2010). Prove sul campo hanno dimostrato che il biochar, è caratterizzato da molte caratteristiche fisiche che lo rendono un ammendante molto interessante per la sua azione miglioratrice del suolo.



**Figura 8 : confronto della produttività tra un suolo comune amazzonico (a sinistra) e la Terra Preta (a destra) (Glaser 2007).**

Queste caratteristiche includono l'alta microporosità, la bassa densità, l'elevata area superficiale, così come alta capacità di scambio cationico e il pH basico. L'incorporazione di biochar nel suolo può alterare le proprietà fisiche, quali la tessitura, la struttura, la distribuzione delle dimensioni dei pori e la densità con implicazioni per l'aerazione del terreno. Altri effetti si possono avere sulla capacità di trattenere l'acqua, sulla crescita delle piante e sulla lavorabilità del suolo (Downie et al., 2009). Biochar ha una densità di massa di molto inferiore a quello dei suoli minerali e, quindi, l'applicazione di biochar può ridurre la densità di massa complessiva del terreno e anche differenze relativamente piccole possono determinare a

significativi vantaggi agronomici. La dimensione, la distribuzione dei pori e la resistenza meccanica delle particelle di biochar si sono dimostrati fattori determinanti che portano a risultati diversi nelle varie combinazioni ambientali e di gestione dei suoli. Da considerare, comunque, il potenziale effetto negativo della frazione di biochar costituita da particelle molto piccole, per un blocco parziale dei pori del terreno con conseguente diminuzione dei tassi di infiltrazione d'acqua. L'effetto dell'uso di macchine agricole pesanti sulla compattazione del terreno con aggiunta di biochar non è ancora stato studiato in dettaglio. Questo è un altro fattore che contribuisce all'incertezza nella definizione degli effetti a lungo termine dell'applicazione di biochar al terreno per il rischio potenziale di intasamento o cementazione dei pori del suolo con eventuale materiale disgregato. Tuttavia, essendo ancora molto scarsa l'evidenza sperimentale relativa a questa problematica, non è possibile una corretta valutazione della situazione. Ulteriori ricerche potrebbero permettere di conoscere meglio le implicazioni della distribuzione granulometrica del biochar sui processi del suolo e le conseguenti azioni sull'ambiente. I meccanismi che portano a potenziali miglioramenti nella ritenzione idrica del suolo sono relativamente semplici. L'aggiunta di biochar al terreno può avere effetti diretti e indiretti sulla capacità di trattenere acqua, che può essere di breve o lunga durata. La ritenzione idrica del suolo è determinata dalla distribuzione e dalla connettività dei pori nel terreno, che è in gran parte regolata dalla tessitura, dallo stato di aggregazione e dal contenuto di sostanza organica. L'effetto diretto di applicazione biochar è legato alla grande superficie interna del biochar. Gli effetti indiretti dell'applicazione di biochar sulla ritenzione idrica del suolo sono da attribuire all'influenza sulla struttura ed aggregazione del terreno derivante dalle interazioni con la sostanza organica, i componenti minerali e la flora microbica. Alla sua prima applicazione al terreno, il biochar può esercitare un'azione stimolante sulla microflora e microfauna edafica, con diversi suoi composti organici presenti sulla superficie. Dopo che questi saranno metabolizzati, le funzioni del biochar diventeranno quelle di una componente minerale del suolo, piuttosto che di una componente organica, come è dimostrato dal fatto che

non viene utilizzato come fonte di carbonio per la respirazione microbica. Il biochar costituisce nel suolo una rete altamente porosa colonizzabile dal biota edafico : la grande porosità intrinseca delle particelle di biochar nel suolo è in grado di fornire un ambiente protetto particolarmente favorevole all'insediamento e allo sviluppo dei microrganismi. Nei terreni a cui è stato aggiunto biochar è stata riscontrata una biomassa microbica maggiore e più diversificata rispetto ai terreni non modificati. Ricerche recenti hanno dimostrato che l'uso del biochar come componente del compost può avere sinergici benefici aumentando l'attività microbica e contribuendo a ridurre le perdite di nutrienti durante il compostaggio (Dias et al. 2010). Gli effetti del biochar sulla crescita e sopravvivenza dei lombrichi dipendono dalla composizione chimica delle materie prime con cui è stato prodotto e dalla percentuale di applicazione: dosi elevate di prodotto da lettiera avicole inibiscono lo sviluppo delle popolazioni di anellidi (Liesch et al. 2010). L'incorporamento di biochar nel terreno influenza anche, in modo positivo la capacità complessiva di assorbimento dei suoli nei confronti dei contaminanti organici di origine antropica (es. IPA, pesticidi, erbicidi), in modo più marcato e con meccanismi diversi da quelli attribuibili alla sostanza organica. Anche se tale comportamento potrebbe notevolmente contribuire a mitigare la tossicità e la deriva di sostanze inquinanti nel suolo, l'invecchiamento nel tempo del biochar potrebbe comportare la lisciviazione e una successiva maggiore biodisponibilità di tali composti. Sarebbe inoltre, necessario valutare sperimentalmente le conseguenze nel tempo di un accumulo localizzato di sostanze tossiche nei suoli. Altra problematica emergente è quella relativa alla potenziale introduzione con il biochar, di una vasta gamma di composti organici pericolosi (ad esempio metalli pesanti ed idrocarburi policiclici aromatici) nel sistema suolo. Queste sostanze possono essere presenti come contaminanti in un biochar prodotto da matrici contaminate o in condizioni di elaborazione che ne hanno determinato la nuova formazione. E' quindi, possibile ridurre questi rischi potenziali con uno stretto controllo sulla tipologia e provenienza delle materie prime e sulle condizioni di lavorazione utilizzate. Una precisa caratterizzazione fisico-chimica di ogni prodotto biochar, per una

valutazione sistemica dei rischi ambientali, prima della sua incorporazione nel terreno, è da ritenersi di fondamentale importanza. Sono attualmente scarse, le prove sperimentali sulle caratteristiche del fenomeno, della biodisponibilità e della tossicità dei contaminanti nel biochar e in particolare nel sistema suolo-biochar a medio e lungo termine. L' applicazione del biochar al terreno, è da considerarsi un processo irreversibile: una volta che è stato applicato è praticamente impossibile da rimuovere. Questa considerazione non può essere motivo di abbandono del suo uso nei suoli, ma una maggiore consapevolezza della irreversibilità del processo dovrebbe portare a una attenta valutazione caso per caso delle implicazioni ambientali, sostenuta da evidenze scientifiche prodotte in un contesto interdisciplinare. Anche se il biochar ha dimostrato interessanti potenzialità per l' utilizzo nel miglioramento del valore agronomico e ambientale dei suoli agricoli in studi pilota in alcune limitate condizioni ambientali, deve ancora essere raggiunto un consenso scientifico. Esistono, infatti problemi sostanziali, derivanti dalla difficoltà di potere generalizzare questi studi a causa della eterogeneità delle materie prime, la variabilità del biochar prodotto e le caratteristiche biofisiche e di gestione agronomica dei siti di applicazione. In quelle condizioni in cui l'applicazione di biochar potrebbe essere considerata vantaggiosa per l'agricoltura e l'ambiente, dovrebbe, in una visione sistemica, essere parte di una strategia integrata di conservazione del suolo finalizzata ad aumentare la resilienza del sistema agro-ambientale in combinazione con il sequestro di carbonio. Il valore di pratiche di conservazione del suolo, quali il no-tillage, la pacciamatura, le colture di copertura e sistemi di coltivazione mista o agroforestali, deve essere considerato nell'interazione con l' applicazione di biochar. A tale scopo, sarebbe fondamentale l' implementazione di un sistema di ricerca per la definizione delle misure di gestione dei suoli che meglio si adattano allo specifico territorio.

## **PARTE II – VALUTAZIONE DELLA POTENZIALITÀ DEL BIOCHAR COME SUBSTRATO PER LA COLTIVAZIONE DI PIANTE IN VASO**

### **2.1 INTRODUZIONE E SCOPO DELLA RICERCA**

Gli operatori del settore floro-vivaistico negli ultimi anni hanno messo in atto misure tecnologiche finalizzate alla riduzione dell' impatto ambientale connesso alla loro attività produttiva, mediante un attento controllo degli input e degli output coinvolti nel processo colturale. La ricerca nel settore dell'ortoflorovivaismo ha cercato di sviluppare tecnologie di coltivazione che coniugassero l'efficienza produttiva con la sostenibilità ambientale. Tra queste, un ruolo importante è senza dubbio svolto dalle coltivazioni fuori suolo in contenitore che rappresenta una delle soluzioni più efficienti. La diffusione di questa tecnologia ha determinato l'uso di ingenti quantitativi di torba, materiale che è diventato il substrato più usato per la preparazione di miscugli per la coltivazione in vaso. La coltivazione in contenitore interessa sempre più le coltivazioni protette e negli ultimi anni, anche il vivaismo ornamentale e frutticolo in piena aria. Uno dei fattori che più condizionano il risultato di una coltura in contenitore è certamente costituito dal tipo di substrato utilizzato. La definizione dei substrati di coltivazione è recentemente stata introdotta nella normativa italiana con il Decreto Legislativo n. 217 del 29 aprile 2006 che li nomina e li definisce quali: "i materiali diversi dai suoli in situ, dove sono coltivati vegetali". Il mercato dei terricci professionali utilizzati come substrati si è particolarmente sviluppato negli ultimi venticinque anni, con la ricerca da parte dei vivaisti di nuovi materiali con caratteristiche chimico fisiche migliori dei terricci disponibili nelle zone limitrofe a quelle di coltivazione. A questo scopo si è iniziato ad utilizzare la torba, che viene utilizzata in miscele di torbe bionde e brune, talvolta miscelate a perlite o pomice. I substrati per l' ortoflorovivaismo professionale hanno quindi come materiale di base prevalente la torba. Il

consumo nazionale annuo di substrati per usi floro-vivaistici può essere stimato intorno ai cinque milioni di m<sup>3</sup>, costituito in gran parte da torbe bionde e brune importate provenienti principalmente dal Nord Europa. La torba si forma da sostanza organica evolutasi in condizione di sommersione permanente in ambienti di palude. Le sue proprietà chimiche possono variare secondo le caratteristiche delle acque. Può essere neutra, con pH 7-7,5, rapporto C/N medio-alto, elevato tasso di saturazione in basi, o molto spesso possiamo avere una torba acida, con pH inferiore a 4, rapporto C/N molto alto, tasso di saturazione in basi molto basso. In genere l'umificazione è molto lenta e incompleta, mentre la mineralizzazione è stentata, e quindi può considerarsi una sostanza organica poco attiva con una struttura fibrosa. La torba presenta le caratteristiche ideali per un substrato di coltivazione: è leggera, omogenea, molto porosa, relativamente stabile, sufficientemente sicura dal punto di vista fitopatologico, ha in genere un pH acido, che però può essere facilmente corretto. Queste caratteristiche la rendono adatta in pratica alla coltivazione di tutte le specie vegetali. Esistono comunque tutta una serie di motivazioni che giustificano la ricerca di materiali alternativi alla torba da utilizzare per la formazione di substrati di coltivazione. Principalmente la torba è da considerarsi risorsa non rinnovabile, la cui formazione richiede in effetti migliaia di anni. Inoltre, è recentemente aumentata la domanda di substrati peat-free a seguito di una maggiore sensibilità ambientalista nelle attività di sfruttamento delle torbiere. I siti di estrazione rivestono un elevato valore naturalistico per i particolari habitat che si sono formati nel tempo, con particolari caratteristiche di flora e fauna che garantiscono la diversità biologica e la sopravvivenza di alcune specie a rischio. Rilevanti sono, anche le conseguenze che il prelievo di torba determina sull'equilibrio idrico del territorio delle torbiere che rappresentano una importante riserva di acque dolci e custodiscono la memoria geochimica e storica del pianeta terra. Relativamente alla sostenibilità economica i prezzi della torba sono strettamente collegati all'incremento dei costi energetici che incidono in larga misura su tutte le fasi del processo produttivo, compreso il trasporto dai paesi produttori del Nord-Europa. Numerose ricerche finalizzate all'

analisi del ciclo tradizionale di estrazione/trasporto/utilizzo di torba tradizionale hanno evidenziato un notevole livello di emissioni di gas serra non compatibile con le politiche europee di contenimento. La Commissione Europea, fin dal 2001, ha escluso dal rilascio del marchio comunitario di qualità ecologica, ECOLABEL, i substrati di coltivazione che contengono torba o derivati (Decisione 2001/688/CE). Comunque la discussione sulla opportunità della proibizione dell'utilizzo di torba nei tradizionali impieghi come substrato o come combustibile alternativo è attualmente all'ordine del giorno delle Istituzioni europee. Il Governo britannico ha autonomamente stabilito la messa al bando della torba entro il 2020. Nel Regno Unito molte catene della grande distribuzione richiedono attualmente, terricci peat-free e piante allevate in substrati praticamente privi di torba. Ultimamente, infatti, la richiesta di un prodotto sostitutivo della torba è quindi aumentata, anche per la pressione dell'Unione Europea. Si ritiene che un'eventuale proibizione o limitazione dell'uso della torba, potrebbe avere sul settore florovivaistico un impatto analogo a quello provocato dalla proibizione del bromuro di metile per la sterilizzazione del terreno. Pertanto, in molte nazioni europee e anche in Italia si sono avviati progetti per ricercare materie alternative alla torba che associno il basso costo a qualità fisiche, chimiche e biologiche ottimali. La ricerca di substrati alternativi alla torba, in grado di sostituirla completamente o almeno in gran parte, deve potere garantire, in ogni caso, una risposta agronomica analoga. L'esigenza di riciclare biomasse di scarto ha determinato l'interesse per la ricerca sulle possibilità di utilizzo di materiali derivati da compostaggio, a partire dalla frazione organica da raccolta differenziata dei rifiuti urbani, da matrici ligno-cellulosiche o da sottoprodotti agroindustriali. L'impiego di diverse matrici organiche in sostituzione parziale delle torbe nella costituzione di substrati di crescita per piante in contenitore, anche se già sperimentato e proposto negli ultimi anni, ha avuto una limitata diffusione nel settore florovivaistico italiano. Le motivazioni sono da attribuire principalmente alla variabilità delle caratteristiche di tali prodotti derivanti dalla matrice di provenienza e dalle diverse condizioni di trattamento. Numerose esperienze sono state condotte in Italia, da centri di ricerca come quelli della Fondazione Minoprio



di Vertemate e del Ce.Spe.Vi. di Pistoia con materiali quali la fibra di cocco, scarti ligno-cellulosici dell'industria del legno e compost di qualità. Scopo di questa ricerca è stato di valutare la possibilità di utilizzare il biochar come prodotto sostitutivo della torba nei substrati per la coltivazione in vaso di specie ornamentali. Il fine è stato quello di confrontare agronomicamente, i substrati contenenti diverse percentuali di biochar con i substrati standard costituiti essenzialmente da miscele di torbe. Allo scopo di valutare l'influenza del substrato di coltura con aggiunta di biochar sugli aspetti quali-quantitativi della produzione, nonché di aggiungere conoscenze alle possibilità di coltivazione in vaso con un utilizzo limitato di torba è stata effettuata una prova di allevamento con una cultivar di ibridi di *Euphorbia x lomi Rauh*. La scelta di questa specie ornamentale ha permesso di avere disponibili in pochi mesi i primi dati sperimentali sulla validità della coltivazione con il biochar, con piante pronte per la commercializzazione in 100 giorni circa.

## 2.2 MATERIALI E METODI

**OBIETTIVI :** Valutazione della possibilità di sostituire in un substrato per la coltivazione in vaso di specie ornamentali una parte della torba con biochar.

specie ornamentale: *Euphorbia x lomi Rauh*

Disegno sperimentale:

-5 tipi di substrato (v/v) :

-(A) substrato torboso: biochar (100:0)

-(B) substrato torboso: biochar (85:15)

-(C) substrato torboso: biochar (70:30)

-(D) substrato torboso: biochar (55:45)

-(E) substrato torboso: biochar (40:60)

4 repliche di 20 piante ciascuna per ciascun trattamento

L'esperimento è stato condotto a Bagheria (vicino Palermo, Sicilia, 38 ° 5 'N, -13 ° 30' E, 23 m slm), nel periodo estivo del 2011, in una serra non riscaldata orientata est-ovest (34 x 16 m ) con struttura zincata e copertura in telo di polietilene (spessore 0,15 mm), sugli ibridi commerciali di *Euphorbia milii*, presso i campi sperimentali del C.R.A. - Unità di ricerca per il recupero e la Valorizzazione delle Specie Floricole Mediterranee .



Figura 9: prove sperimentali in una serra del C.R.A. - Unità di ricerca per il recupero e la Valorizzazione delle Specie Floricole Mediterranee Bagheria Palermo

gli ibridi di *Euphorbia x lomi* Rauh sono degli incroci interspecifici tra *Euphorbia milii* Des Moulins, nota anche come Spina di Cristo ed *E. lophogona* Lamarck, entrambe originarie del Madagascar. Questi ibridi sono arbusti succulenti (fam. Euphorbiaceae), con limitate esigenze colturali (elevati regimi termico-luminosi, buon drenaggio) e tolleranti la siccità. Sono più alti e più robusti rispetto alle specie originali e hanno uno stelo spesso, eretto e carnoso fino a 1-1,5 m di altezza, adattato per lo

stoccaggio dell'acqua, con foglie obovate e grandi infiorescenze composte da una struttura specializzata chiamato ciazio (cyathium), sotteso da due brattee colorate che prendono il nome di ciatofilli. Le piante sono caratterizzate da un lungo periodo di fioritura (aprile-ottobre) che risulta essere influenzata dalle condizioni di luce e temperatura. Negli anni '60, un programma di incroci mirati tra questa ed altre specie affini ha portato alla creazione di ibridi commerciali (E. milii x lophogona) valorizzati oltre che per la dimensione delle brattee del fiore e delle foglie, anche per l'ampliamento della gamma di colori che oggi è possibile apprezzare. Più recentemente, la Thailandia è il Paese che maggiormente si è specializzato sulla propagazione in vivo di piante di Euphorbia x lomi. Negli ultimi 20 anni i coltivatori in Thailandia hanno sviluppato una serie di ibridi con fiori molto grandi e una notevole varietà di combinazioni di colori. Sono presenti tutte le sfumature del rosso e del rosa al crema e giallo, spesso con miscele di diversi colori. Le sottili tinte pastello di alcune cultivar ricordano alcune rose "old fashioned", mentre più ciatofilli raggruppati possono somigliare alle bellissime inflorescenze delle ortensie. Il colore delle fioriture di alcune cultivar può cambiare durante lo sviluppo anche in rapporto alle condizioni ambientali quali la temperatura e la luminosità. Utilizzati principalmente per la produzione di vasi fioriti ma anche come siepi e/o bordure in ambiente mediterraneo, sono ampiamente diffusi e valorizzati per le notevoli dimensioni delle brattee fiorali e delle foglie, oltre che per l'ampia gamma di colori attualmente disponibile. Di recente, sono stati introdotti in Sicilia alcuni ibridi thailandesi che si sono ben adattati alle condizioni climatiche locali, esprimendo buona parte delle loro potenzialità ornamentali. In poco tempo, le piante hanno ottenuto il consenso dei consumatori, sia per la loro rusticità che per l'elevato effetto estetico. Allo scopo di incrementare le specie più adatte agli ambienti siciliani e per ampliare le offerte di piante fiorite in vaso, è stata avviata presso l'Unità di ricerca del C.R.A. di Bagheria (PA) una serie di studi su E. x lomi che hanno riguardato i principali aspetti quali la biologia, l'ecofisiologia, i protocolli di propagazione, le tecniche di coltivazione, la difesa fitosanitaria. I risultati ottenuti hanno confermato le ipotesi della notevole potenzialità di diffusione di questa interessante

euforbiacea nel comparto florovivaisitico siciliano( Fascella et a. 2009, 2011). Negli ultimi 20 anni coltivatori in Thailandia hanno sviluppato una serie di ibridi con fiori molto grandi e una notevole varietà di combinazioni di colori. Si va da tutte le sfumature del rosso e del rosa al crema e giallo, spesso con miscele di diversi colori. le sottili tinte pastello di alcune cultivar ricordano alcune rose "old fashioned " , mentre le piante con più ciatofilli raggruppati le bellissime inflorescenze delle ortensie. Il colore delle fioriture di alcune cultivar può cambiare durante lo sviluppo anche in rapporto alle condizioni ambientali quali la temperatura e la luminosità. Oltre ad avere steli robusti e una forma più attraente, molti dei Ibridi thailandesi hanno foglie molto più belle, più grandi e di un verde brillante.



Figura 10: bag del biochar utilizzato nelle prove sperimentali

Il biochar utilizzato è stato messo gratuitamente a disposizione, dalla Agrindustria di Giuseppe Tecco. L'azienda, con sede a Cuneo, produce farine alimentari precotte, abrasivi vegetali soffici, basi per cosmesi, supporti per l'industria farmaceutica e mangimistica, materiali e cariche vegetali per



molteplici utilizzi. A questi prodotti si aggiungono servizi quali macinazione, micronizzazione, tostatura, precottura, essiccazione e criomacinazione su commissione. E' molto attiva nella ricerca e nello studio di nuove applicazioni nell'alimentazione, nella cosmesi, nel benessere delle persone, nella cura degli animali, nella meccanica, nella produzione di energie alternative e in tutti i campi in cui le materie prime vegetali possono essere utilizzate. Applica nuove tecnologie per la macinazione, la separazione a vento, la cottura a vapore, la sanificazione con termotrattamento, l'essiccazione, la criomacinazione. In tale contesto produttivo, si inserisce la recente costruzione ( aprile 2010 ) dell'impianto di pirogassificazione da cui proviene il biochar che abbiamo utilizzato per le prove sperimentali. La biomassa, costituita essenzialmente da cippato vergine di conifere proveniente da attività forestali, viene gassificata alla temperatura di circa 1000° C per la produzione di syngas e biochar come sottoprodotto (circa il 3-5 %). L'impianto è stato realizzato in data 4 luglio 2011 utilizzando piantine micro propagate di euphorbia x lomi della cultivar "Chiara".



**Figura 11: impianto sperimentale all' inizio della prova**

I contenitori sono stati collocati su vasi capovolti per sollevare le piante da terra e facilitare il drenaggio della soluzione in eccesso. I dati della la

temperatura dell'aria e umidità relativa all'interno della serra sono stati rilevati durante il periodo l'esperimento mediante appositi sensori. Le irrigazioni, con sola acqua, di 2-3 minuti ad intervento, sono variate in funzione dell'età delle piante e dell'andamento climatico stagionale con periodicità giornaliera (estate) o a giorni alterni (autunno).

Con la realizzazione della prova sperimentale ci si è proposti di verificare:

- ✓ il dosaggio ottimale, inteso come quantità di biochar da utilizzare in miscelazione al substrato torboso;
- ✓ l'assenza di effetti indesiderati tali da compromettere l'esito della coltura in prova;
- ✓ le problematiche operative eventuali nella preparazione della miscela e gestione del ciclo colturale;
- ✓ le differenze di sviluppo della parte epigea ed ipogea delle piante, nonché il loro aspetto globale nella comparazione a fine ciclo delle varie tesi;
- ✓ il risultato finale del prodotto ottenuto dal punto di vista commerciale.

Ad inizio ciclo, a 30 giorni circa dal trapianto, sono stati rilevati i seguenti parametri biometrici: altezza della pianta, diametro del fusto, numero delle foglie e indice SPAD (Soil Plant Analyzer Development). Il valore SPAD è stato determinato, direttamente in campo, su campioni di foglie rappresentative per ogni singola tesi con il misuratore di clorofilla Konica Minolta. Il misuratore di clorofilla SPAD è uno strumento sviluppato dalla società Konica Minolta in collaborazione con specialisti della ricerca e tecnici di laboratorio del Ministero Giapponese dell'Agricoltura, Foreste e Pesca, e di altri dipartimenti di ricerca. Questo strumento è in grado di misurare la quantità di clorofilla totale (a+b) presente nelle singole foglie, permettendo di monitorare indirettamente il grado di efficienza fotosintetica: il risultato viene visualizzato come indice SPAD. Le misure possono essere prese istantaneamente, senza tagliare o rovinare le piante, semplicemente facendo passare la luce attraverso le foglie. Il valore SPAD ha una diretta correlazione con la densità di clorofilla presente nelle foglie. A fine ciclo sono

stati considerati i parametri indicatori della crescita della pianta, del suo sviluppo, della sua efficienza fotosintetica e del suo valore ornamentale.



Figura 12: attività di determinazione del peso della biomassa

I rilievi sperimentali hanno interessato i seguenti parametri:

- ✓ Altezza e diametro del fusto (cm)
- ✓ Numero di foglie, di germogli e di infiorescenze/pianta
- ✓ Indice SPAD
- ✓ Area fogliare (cm<sup>2</sup>)
- ✓ Lunghezza delle radici (cm)
- ✓ Peso fresco (g) del fusto, dei germogli, delle foglie, dei fiori e delle radici

✓ Peso secco (g) del fusto, dei germogli, delle foglie, dei fiori e delle radici

Lo sviluppo ipogeo è stato valutato sia per via ponderale che mediante l'analisi fotografica. Particolare attenzione è stata posta nella valutazione bio-morfologica delle piante con riferimento ai parametri che caratterizzano la "qualità" commerciale della pianta in vaso e che pertanto influenzano la validità economica del ciclo. In ciascuno dei rilievi per determinare l'accrescimento in termini di sostanza secca e la distribuzione della biomassa dei campioni, sono state eseguite le seguenti operazioni:

- le piante sono state delicatamente svasate e tagliate al colletto per separare la parte aerea dalle radici;
- le radici sono state accuratamente pulite dal substrato previa immersione in acqua e successivo lavaggio;
- dopo il lavaggio le radici sono state asciugate, per riportarle alla loro umidità naturale e pesate (peso fresco radici);
- la parte epigea è stata suddivisa nelle singole parti componenti che sono state pesate separatamente (peso fresco fusto, germogli, foglie e fiori);
  - i campioni delle radici e delle parti aeree sono stati raccolti in buste separate e messi in stufa ad 80°C per circa tre giorni, fino al raggiungimento di un peso costante (peso secco);
- per ogni rilievo, inoltre, si è proceduto alla determinazione del rapporto chioma/radici e peso secco/peso fresco, per una valutazione della distribuzione della sostanza secca accumulata e del livello di idratazione dei tessuti. I campioni di foglie, prelevati durante i rilievi distruttivi sono stati utilizzati per la misurazione dell'area fogliare.



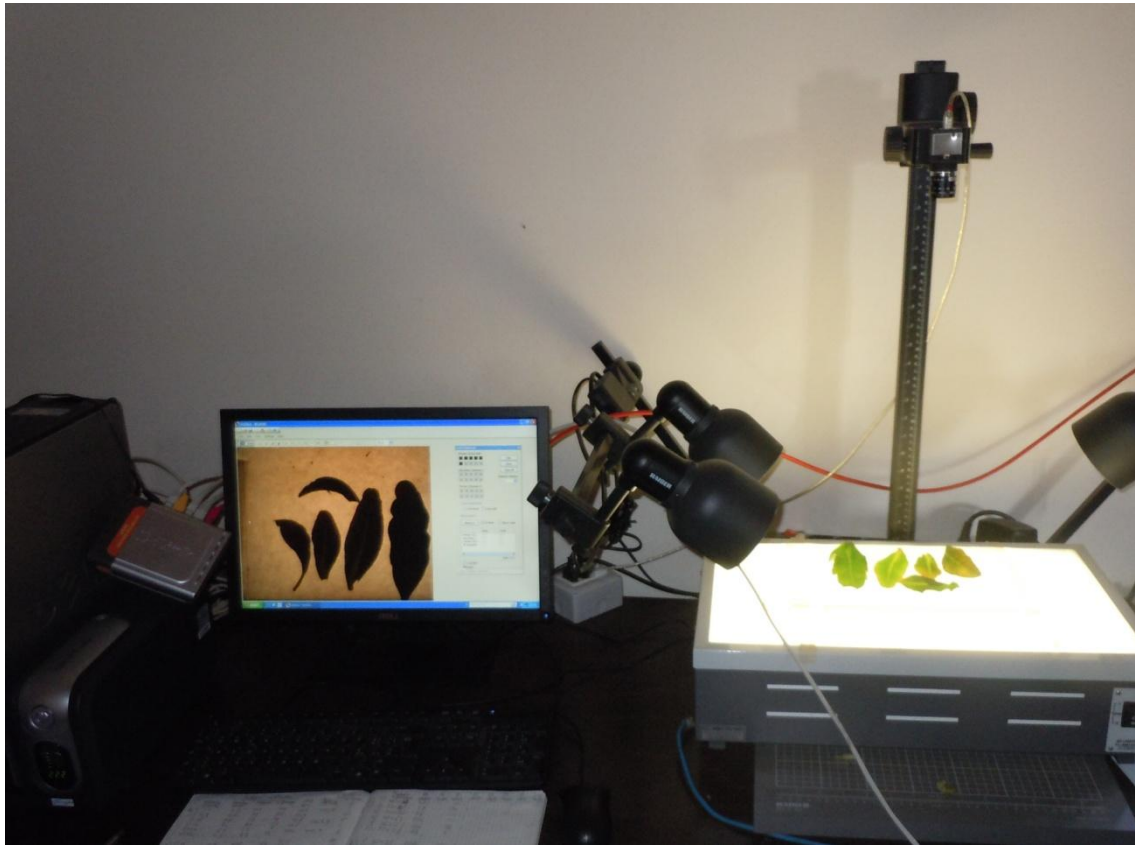


Figura 13: strumentazione per il calcolo dell' area fogliare

A questo scopo è stato utilizzato il programma WinDIAS 2 per Windows prodotto da DELTA-T DEVICES Ltd, Cambridge, U.K. che, attraverso l'acquisizione delle immagini delle foglie prese come campione, permette la determinazione dell' A questo scopo è stato utilizzato il programma WinDIAS 2 per Windows prodotto da DELTA-T DEVICES Ltd, Cambridge, U.K. che, attraverso l'acquisizione delle immagini delle foglie prese come campione, permette la determinazione dell'area fogliare.

## 2.3 RISULTATI

La fioritura ha avuto inizio circa 90 giorni dopo l'impianto, la varietà di *Euphorbia x lomi* si è ben adattata alla coltivazione in serra in un ambiente della Sicilia nord-occidentale, evidenziando buoni ritmi di crescita e di sviluppo. Le condizioni climatiche registrate all'interno della serra (14-39°C, 39-63 % U.R.) hanno fatto sì che le piante, in tutti i substrati delle cinque tesi, emettessero germogli basali e laterali già 55 giorni dopo l'impianto ed infiorescenze 20 gg. più tardi; la cultivar ha evidenziato fioriture continue per tutta la durata della prova.

Le temperature medie che si sono registrate in serra variano da un minimo di 14,3° C ad un massimo di 39,8° C, nello stesso periodo, i valori di umidità relativa variano dal 39,7 al 63%. Queste condizioni ambientali hanno permesso un rapido sviluppo delle piante e una differenziazione continua di germogli e boccioli di fiori. Rilievi sull'accrescimento con la registrazione dei principali parametri biometrici (altezza e diametro del fusto delle piante) e produttivi (numero di germogli, foglie e fiori /pianta) sono stati effettuati nel periodo della sperimentazione nelle seguenti date: 3 agosto 2011 (30 gg. dal trapianto) e il 28 settembre 2011 (85 gg. dal trapianto).

I rilievi sulla crescita e sulla distribuzione della biomassa sono stati eseguiti utilizzando 6 piante per tesi. Nella fase finale del ciclo vegetativo (28/9/2011) è stato effettuato un rilievo distruttivo con l'utilizzo di cinque piante per tesi, che ha permesso di ottenere i valori dei pesi freschi e secchi, parziali e totali, ed informazioni sull'area fogliare delle piante della sperimentazione.

## **Analisi di crescita**

I rilievi di crescita sono stati condotti su un congruo numero di piante per ogni tesi, rappresentative delle condizioni vegeto-produttive medie dell'impianto. Per ogni pianta analizzata sono stati rilevati i principali parametri biometrici, l'area fogliare e il valore dello spad (contenuto di clorofilla nelle foglie). Nella fase terminale del ciclo vegetativo è stato eseguito un rilievo distruttivo che ha permesso di ottenere i valori dei pesi freschi e secchi dei diversi organi della pianta (fusto, germogli, fiori e radici). Inoltre, per ogni pianta testata è stata misurata l'area fogliare.

## **Rilievo iniziale del 3 agosto 2011**



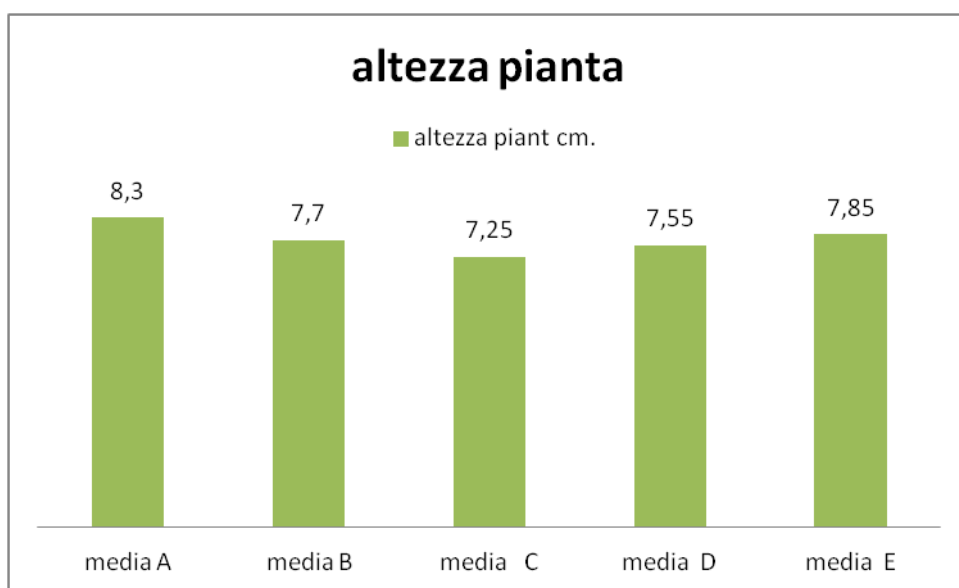
**Figura 14: impianto sperimentale all' inizio del ciclo vegetativo**

<b>Tesi</b>	<b>Altezza pianta cm.</b>	<b>Diametro Fusto cm.</b>	<b>Numero foglie</b>	<b>Valore Spad</b>
<b>A</b>	8,3	0,82	18,1	52,16
<b>B</b>	7,7	0,87	17,0	52,79
<b>C</b>	7,2	0,96	15,7	49,03
<b>D</b>	7,5	0,89	16,8	45,51
<b>E</b>	7,8	0,88	14,7	40,37

Tabella 1 – valori medi dei parametri biometrici e produttivi delle piante di *Euphorbia x lomi* nel rilievo iniziale

### **Altezza della pianta:**

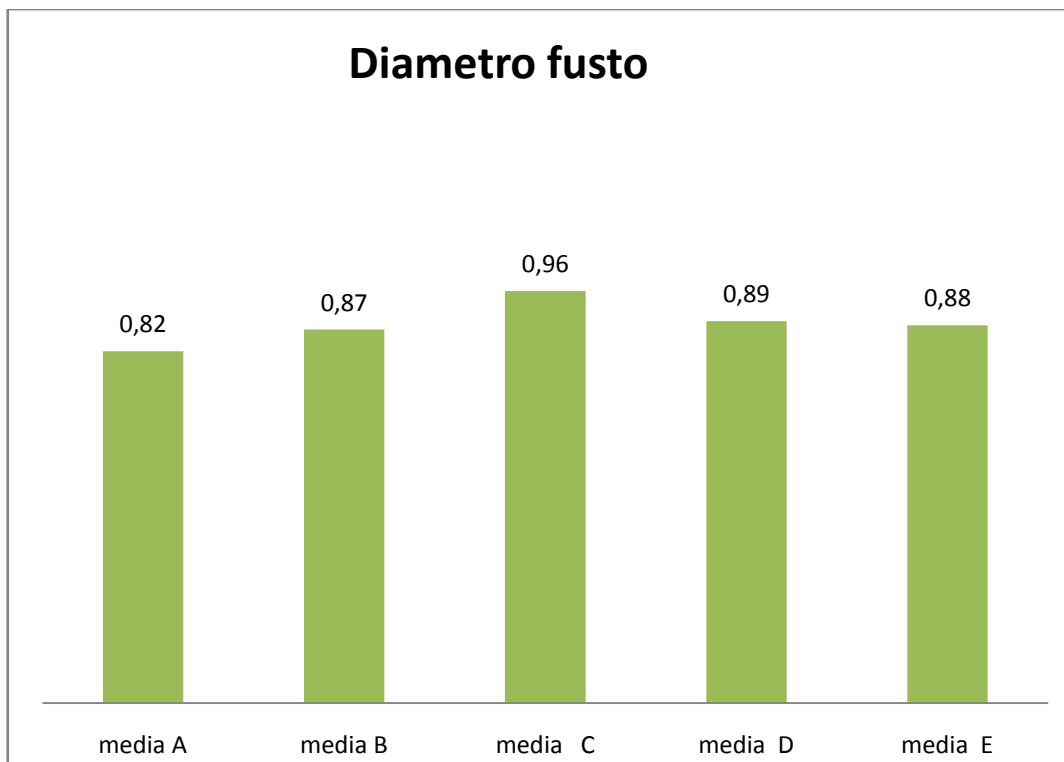
l'analisi dei valori medi dell'altezza delle piante, nelle diverse tesi, non ha rilevato differenze significative. Soltanto le piante della tesi A, coltivate con il substrato di torba, hanno mostrato una crescita iniziale più attiva, rispetto alle altre tesi con substrati a cui è stato aggiunto biochar con una altezza media di 8,3 cm.



**Grafico 1.** Dati biometrici relativi al rilievo iniziale della prova condotta su *Euphorbia x lomi* *Rauh*: valori medi dell'altezza della piante.

### **Diametro del fusto:**

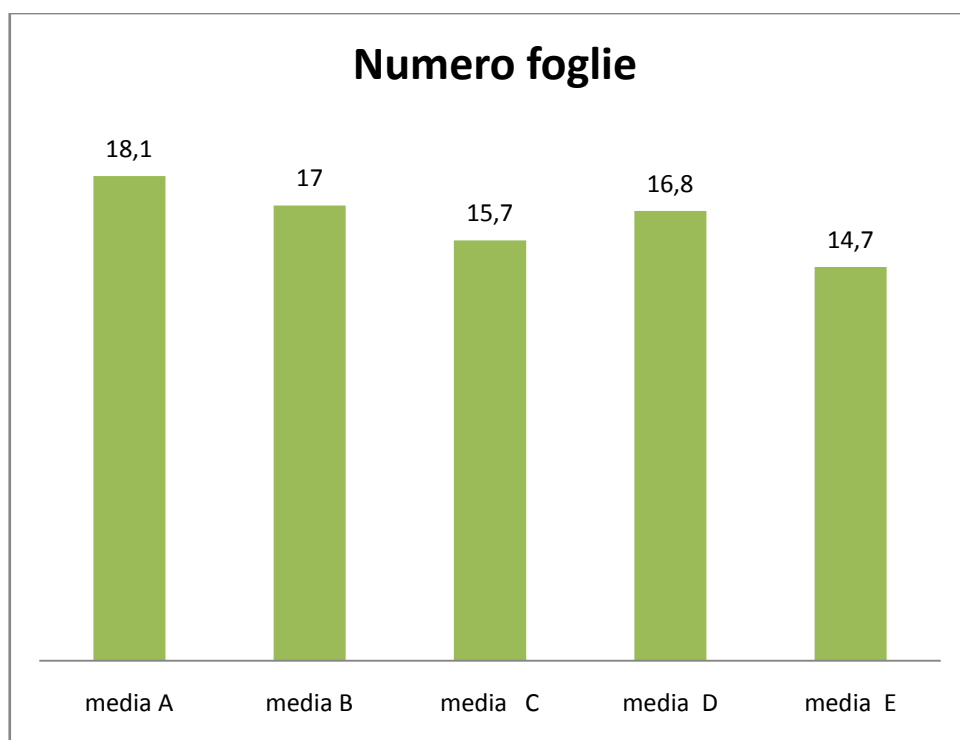
le piante coltivate nel substrato di sola torba hanno mostrato nella fase iniziale uno sviluppo caratterizzato da un fusto più esile, rispetto a quello delle piante cresciute in substrati con biochar. L' altezza maggiore delle piante della tesi A è correlata ad un minore diametro del fusto. In particolare il valore medio maggiore del diametro del fusto è stato rilevato nelle piante della tesi C.



**Grafico 2.** Dati biometrici relativi al rilievo iniziale della prova condotta su *Euphorbia x lomi Rauh*: diametro del fusto in cm..

### Numero di foglie :

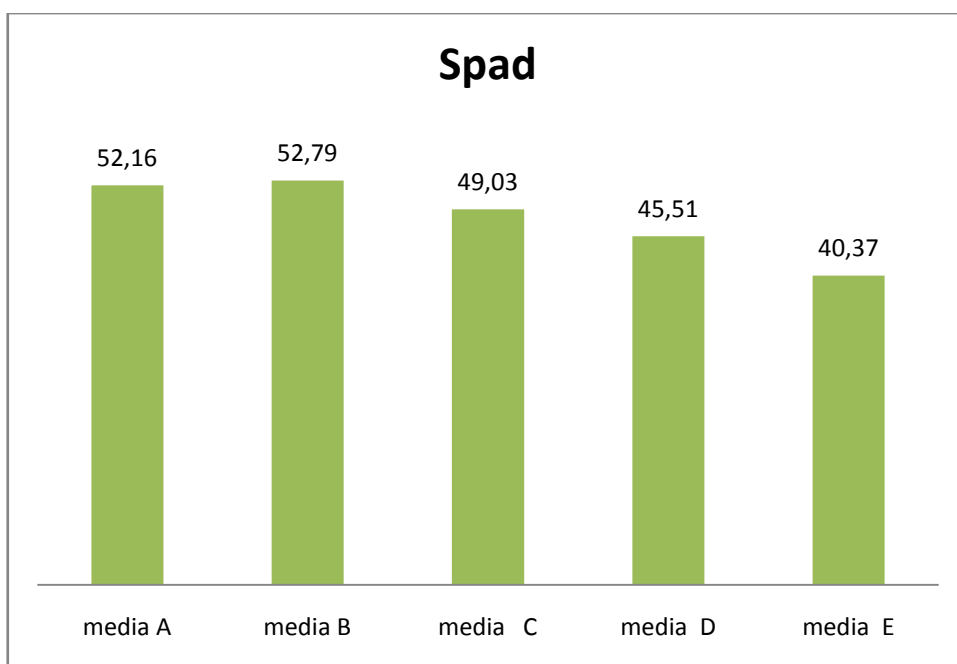
le piante della tesi A, con una altezza maggiore, presentano in media un maggior numero di foglie rispetto a quelle delle altre tesi, anche se le differenze non sono molto significative in particolare per le medie delle tesi B e D.



**Grafico 3.** Dati biometrici relativi al rilievo iniziale della prova condotta su *Euphorbia x lomi Rauh*: valori medi del numero delle foglie per pianta.

## SPAD :

le differenze tra i valori medi degli indici SPAD delle piante delle cinque tesi non sono molto significative. Si evidenzia, comunque una diminuzione dei valori medi dello SPAD in correlazione al progressivo aumento della percentuale di biochar nei substrati.



**Grafico 4.** Dati biometrici relativi al rilievo iniziale della prova condotta su *Euphorbia x lomi Rauh*: valori medi dello SPAD.



## Rilievo a fine ciclo vegetativo del 28 settembre 2011



Figura 15: impianto sperimentale a fine ciclo vegetativo

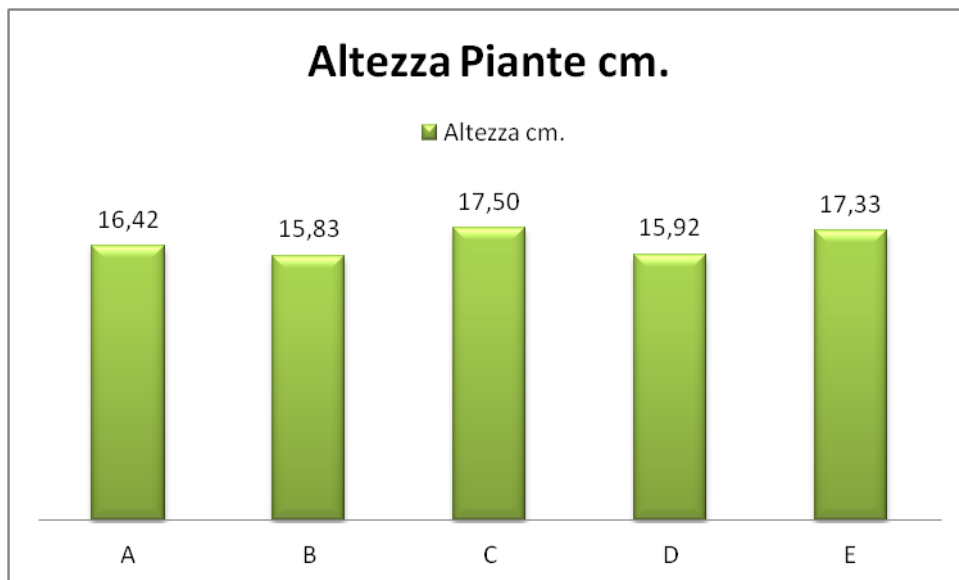
Tesi	Altezza pianta cm.	Diametro fusto cm.	Numero germogli	Numero foglie	Area fogliare cm <sup>2</sup>	Valore SPAD	Numer o fiori	Lunghezza radici cm.
A	16,42	1,23	13,83	92,33	1114,00	49,52	1,17	13,83
B	15,83	1,35	14,67	97,83	1035,30	42,58	1,17	12,67
C	17,50	1,38	12,17	93,00	1376,97	45,27	2,67	17,50
D	15,92	1,38	11,67	85,50	1245,20	44,13	1,83	18,33
E	17,33	1,85	13,17	86,00	1504,97	46,83	2,50	18,00

Tabella 2 – valori medi dei parametri biometrici e produttivi delle piante di *Euphorbia x lomi* nel rilievo di fine ciclo vegetativo.



### Altezza della pianta:

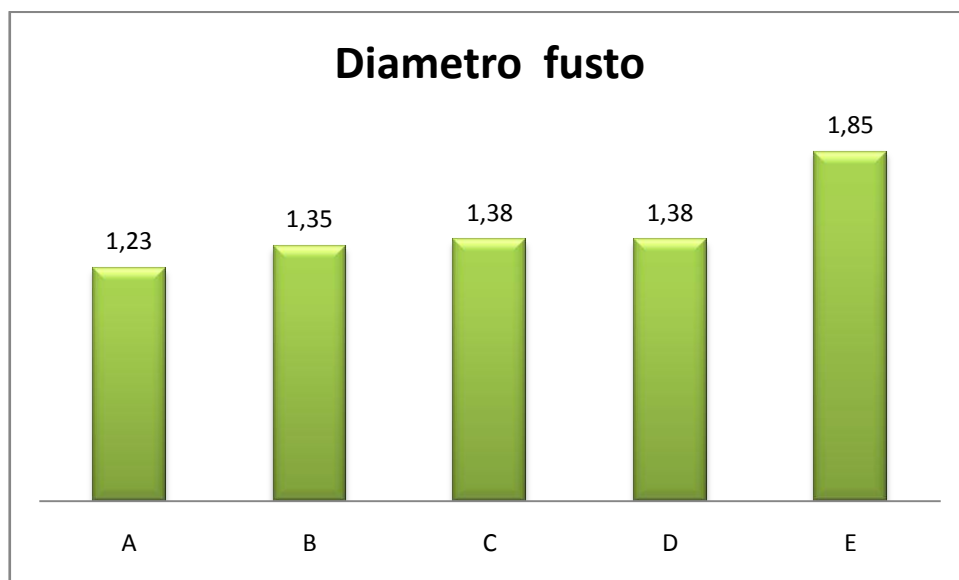
L'analisi dell'altezza delle piante a fine ciclo non ha fatto registrare, nelle diverse tesi di studio, differenze significative, con un valore medio di 16.6 cm rilevato dopo 85 giorni indipendentemente dal substrato di coltivazione utilizzato, con o senza aggiunta di biochar.



**Grafico 5.** Dati biometrici relativi al rilievo di fine ciclo della prova condotta su *Euphorbia x lomi Rauh*: valori medi dell'altezza delle piante.

### Diametro del fusto:

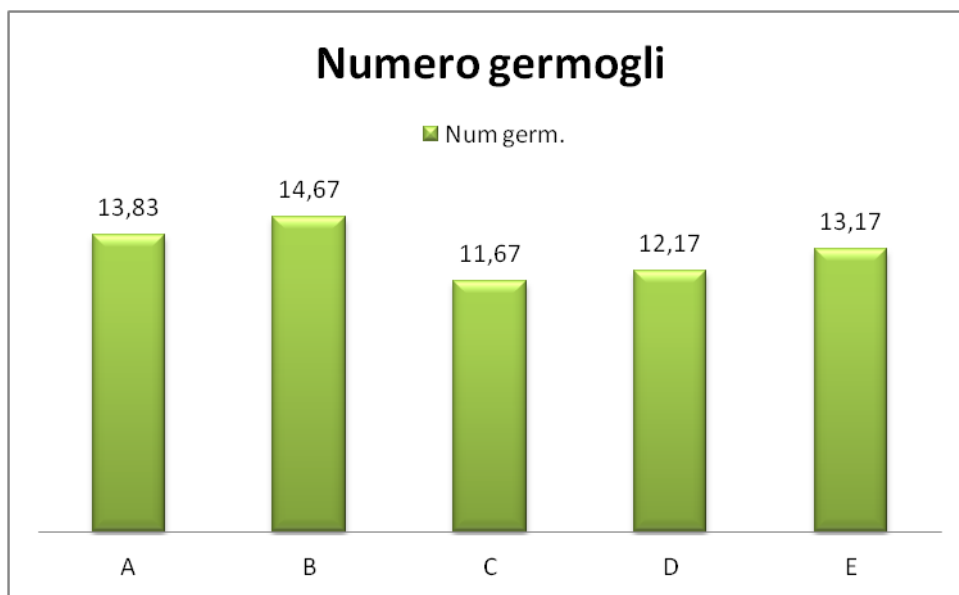
L'analisi dei valori medi, rilevati a fine prova, del diametro dei fusti delle piante coltivate nel substrato di sola torba sembra indicare come le piante sviluppino un fusto più esile, rispetto a quello delle piante cresciute in substrati con biochar. In particolare, le piante allevate su substrato con il più elevato contenuto in biochar (E) hanno fatto rilevare i massimi diametri del fusto (18.5 mm).



**Grafico 6.** Dati biometrici relativi al rilievo di fine ciclo della prova condotta su *Euphorbia x lomi Rauh*: valori medi del diametro del fusto delle piante in cm..

### Numero dei germogli :

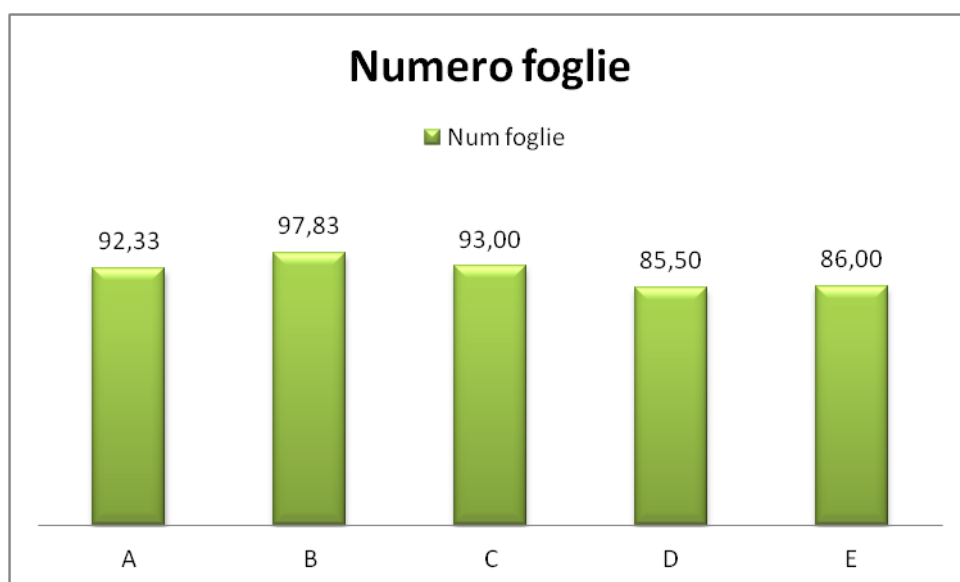
nel rilievo a fine ciclo, l'analisi dei valori medi del numero di germogli delle piante, non ha rilevato differenze, che possono essere considerate significative tra le tesi con diverse percentuali di biochar . Le piante della tesi B presentano valori medi leggermente più elevati, per uno o massimo tre germogli in più rispetto alle altre tesi.



**Grafico 7.** Dati biometrici relativi al rilievo di fine ciclo della prova condotta su *Euphorbia x lomi* Rauh: valori medi del numero di germogli delle piante.

### Numero di foglie :

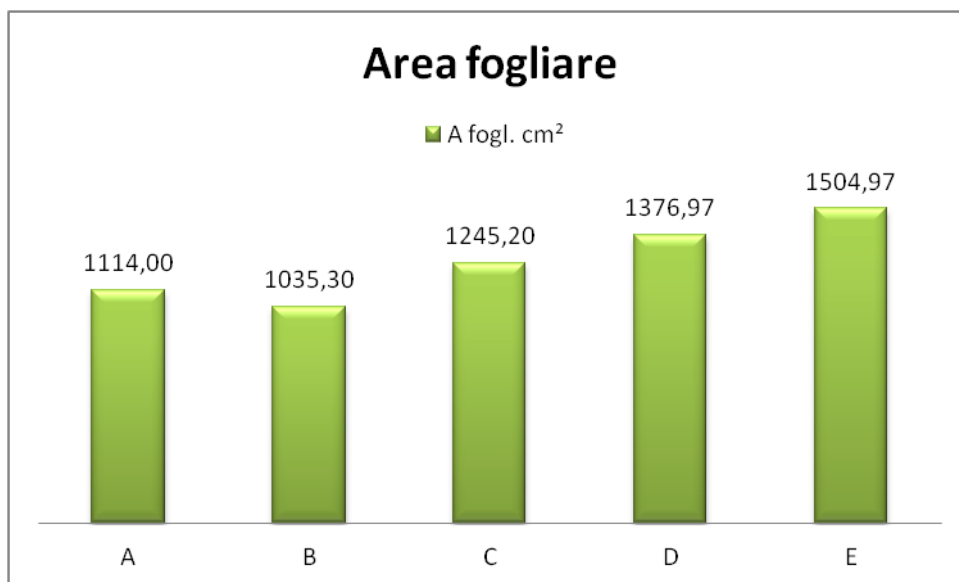
Le piante della tesi con il 15% di biochar (B) hanno fatto registrare a fine prova, in valore assoluto, il maggior numero di foglie rispetto a quello rilevato nelle altre tesi. La differenza è risultata più accentuata rispetto alle piante delle tesi D e E, ossia quelle coltivate in substrati con maggiore percentuale di biochar .



**Grafico 8.** Dati biometrici relativi al rilievo di fine ciclo della prova condotta su *Euphorbia x lomi Rauh*: valori medi del numero delle foglie delle piante.

### Area fogliare :

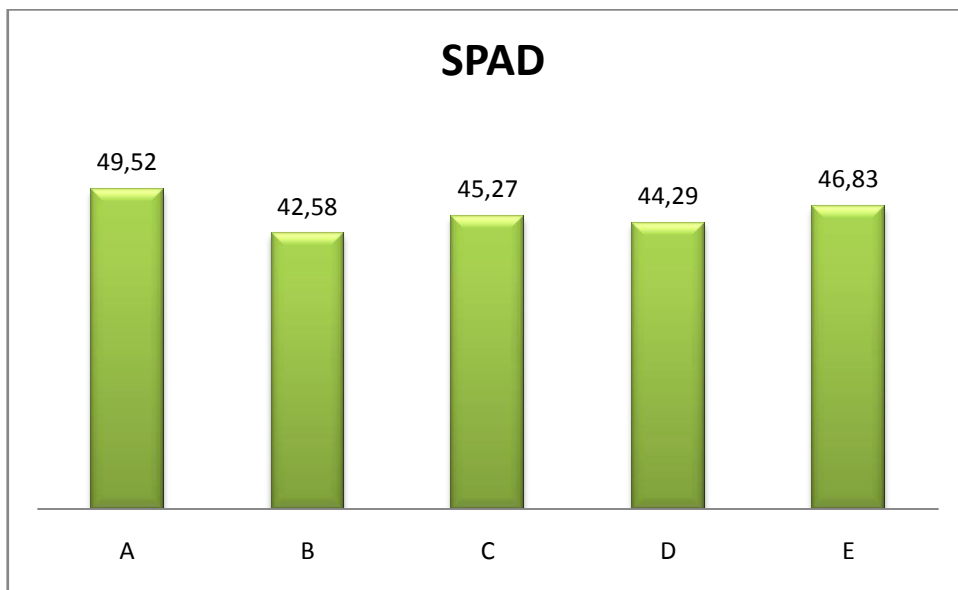
le piante della tesi E sono caratterizzate da valori medi, relativi all' area fogliare significativamente maggiori rispetto alle piante delle altre tesi coltivati in substrati con minore percentuale di biochar.



**Grafico 9.** Dati biometrici relativi al rilievo di fine ciclo della prova condotta su *Euphorbia x lomi Rauh*: valori medi dell' area fogliare delle piante.

## SPAD :

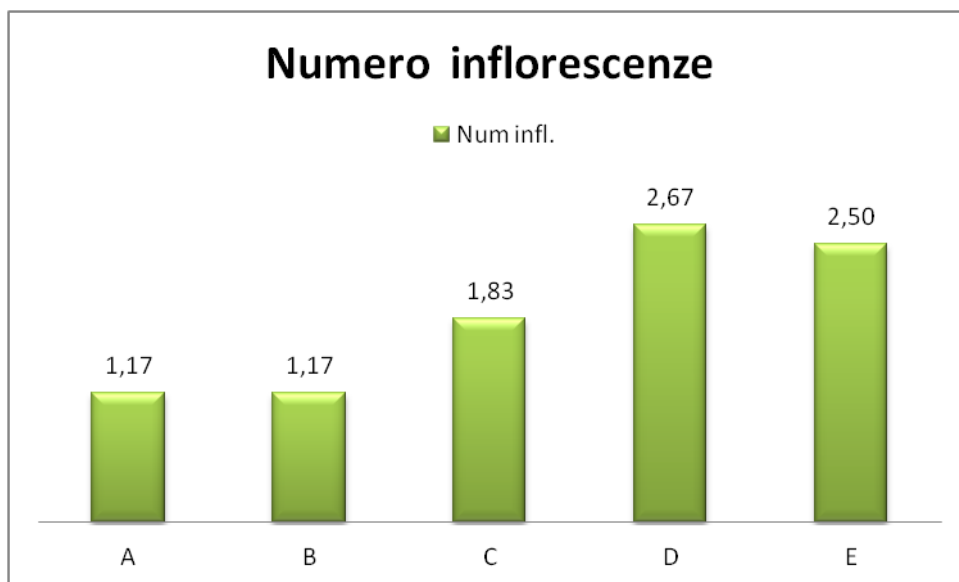
Le piante della tesi con il 15% di biochar (B) hanno fatto registrare a fine prova, in valore assoluto, il maggior numero di foglie rispetto a quello rilevato nelle altre tesi. La differenza è risultata più accentuata rispetto alle piante delle tesi D e E, ossia quelle coltivate in substrati con maggiore percentuale di biochar.



**Grafico 10.** Dati biometrici relativi al rilievo di fine ciclo della prova condotta su *Euphorbia x lomi Rauh*: valori medi delle unità SPAD delle piante.

### Numero delle inflorescenze :

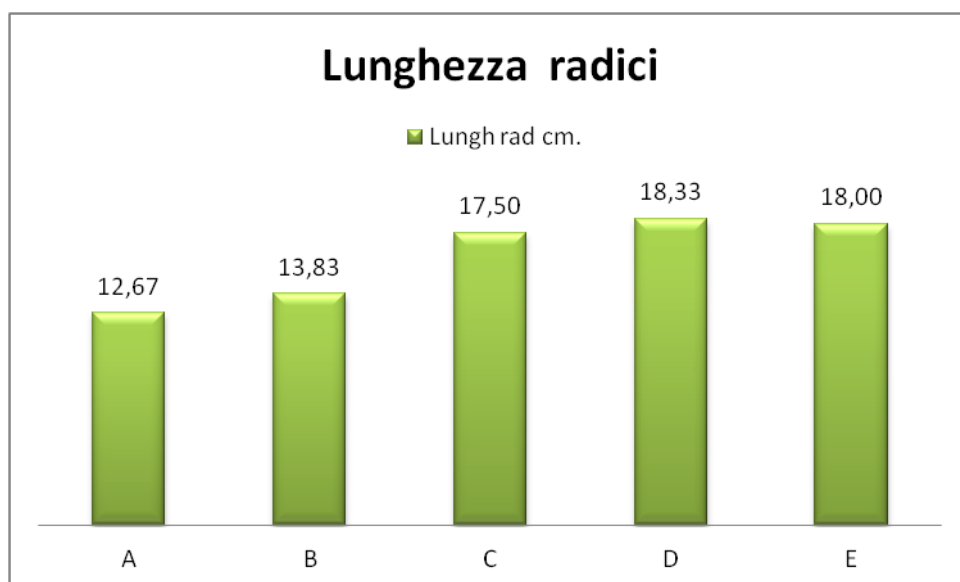
nel rilievo a fine ciclo, l'analisi dei valori medi del numero delle inflorescenze delle piante, ha rilevato differenze, che possono essere considerate significative tra le tesi con diverse percentuali di biochar. Le piante delle tesi D ed E presentano valori medi più elevati, con un numero di inflorescenze doppio rispetto alle tesi A e B.



**Grafico 11.** Dati biometrici relativi al rilievo di fine ciclo della prova condotta su *Euphorbia x lomi Rauh*: valori medi del numero delle inflorescenze delle piante.

### Lunghezza delle radici:

L'analisi dei valori medi, rilevati a fine ciclo, della lunghezza delle radici delle piante coltivate nel substrato di sola torba evidenzia un minore sviluppo in lunghezza, rispetto a quello delle piante cresciute in substrati con biochar. Le piante delle tesi D ed E sono caratterizzate da valori medi dello sviluppo dell'apparato radicale che presentano un incremento di circa il 30% rispetto alle piante della tesi A.



**Grafico 12.** Dati biometrici relativi al rilievo di fine ciclo della prova condotta su *Euphorbia x lomi Rauh*: valori medi della lunghezza delle radici delle piante.



**Analisi del peso secco e del peso fresco della biomassa:**

<b>tesi</b>	<b>Peso Fresco fusto</b>	<b>Peso fresco germogli</b>	<b>Peso fresco foglie</b>	<b>Peso fresco radici</b>	<b>Peso fresco fiori</b>	<b>Peso fresco Totale</b>
<b>A</b>	36,5	59,3	87,3	46,8	12,7	242,6
<b>B</b>	36,7	61,0	98,8	32,5	22,0	251,0
<b>C</b>	40,3	62,8	114,7	32,4	34,7	284,9
<b>D</b>	43,8	76,8	101,2	33,2	11,8	266,9
<b>E</b>	38,0	62,3	99,3	20,9	11,5	232,0

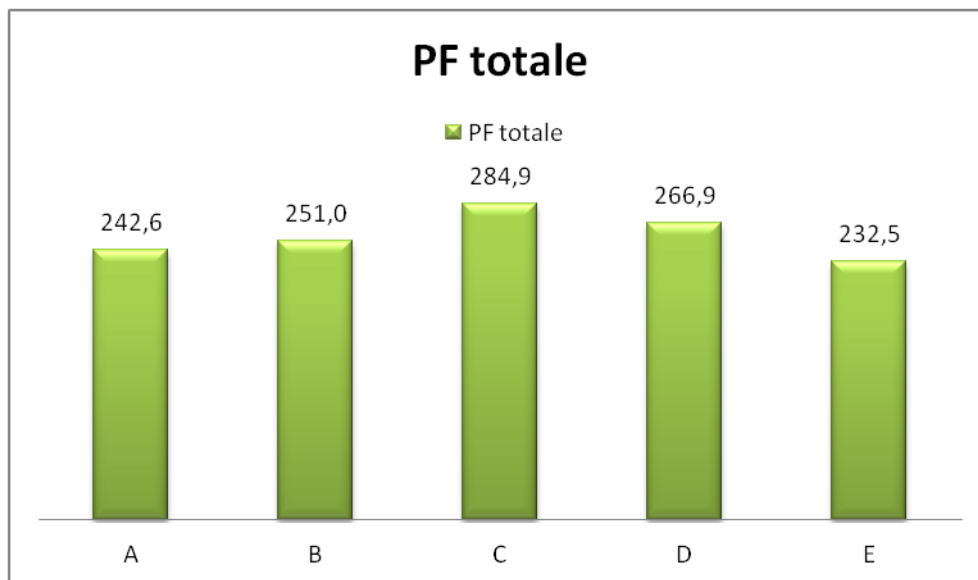
Tabella 3 – valori medi del peso fresco (g.) delle piante di *Euphorbia x lomi* nel rilievo di fine ciclo vegetativo.

<b>Tesi</b>	<b>PS fusto + germ.</b>	<b>PS foglie</b>	<b>PS radici</b>	<b>PS fiori</b>	<b>PS Totale</b>
<b>A</b>	6,7	7,6	8,8	0,8	23,9
<b>B</b>	7,3	8,8	6,3	1,0	23,4
<b>C</b>	7,8	10,8	6,7	2,6	27,9
<b>D</b>	9,4	9,5	7,1	1,0	27,0
<b>E</b>	7,1	9,6	4,1	0,9	21,7

Tabella 4 – valori medi del peso secco (g.) delle piante di *Euphorbia x lomi* nel rilievo di fine ciclo vegetativo.

### **Peso fresco totale :**

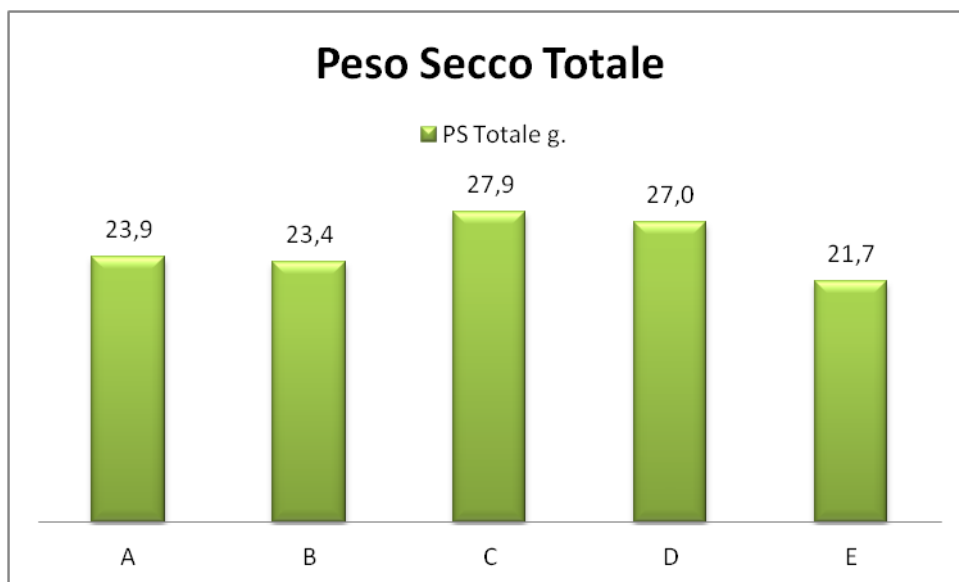
l'analisi dei valori medi, rilevati a fine ciclo, del peso fresco totale delle piante della tesi E, coltivate nel substrato con la maggiore percentuale di biochar, evidenzia un minore peso fresco, rispetto a quello delle piante cresciute in substrati con minore percentuale. In particolare le piante delle tesi D sono caratterizzati da valori medi di peso fresco più elevati.



**Grafico 12.** Dati biometrici relativi al rilievo di fine ciclo della prova condotta su *Euphorbia x lomi Rauh*: valori medi del peso fresco totale delle piante.

### **Peso secco totale :**

anche per il peso secco totale l'analisi dei valori medi delle piante della tesi E, evidenzia un minore peso secco, rispetto a quello delle piante cresciute in substrati con minore percentuale di biochar. In particolare le piante delle tesi D sono caratterizzati da valori medi di peso secco più elevati.



**Grafico 13.** Dati biometrici relativi al rilievo di fine ciclo della prova condotta su *Euphorbia x lomi Rauh*: valori medi del peso secco totale delle piante.

## **Analisi dello sviluppo radicale**

Alla fine del ciclo vegetativo (28 settembre 2011) è stato valutato l'apparato radicale delle piante delle cinque tesi con l'osservazione visiva diretta e microscopica della morfologia e distribuzione dell'architettura radicale. Lo sviluppo adeguato delle radici delle piante è fondamentale per le attività di assorbimento di acqua e nutrienti e per le interazioni con il complesso vaso-substrato. La capacità di una specie vegetale di reperire le risorse di nutrienti nel suolo dipende dalla potenzialità di espandere le radici nel mezzo di crescita (Lynch, 1995); di conseguenza, una elevata densità radicale, unita ad un tessuto xilematico di trasporto ben sviluppato ed efficiente, consentono un adeguato approvvigionamento idrico e nutrizionale alla chioma, garantendo alla pianta condizioni ottimali di crescita (Marangoni e Toselli, 2000). Un apparato radicale debole, scarsamente sviluppato e poco ramificato, che occupa solo la parte più esterna della zolla, influenza negativamente sia la crescita che la qualità dell'intera pianta.

Uno sviluppo non adeguato accresce la vulnerabilità delle radici agli attacchi patogeni, compromette la stabilità meccanica della pianta e ne aumenta la sensibilità agli stress idrici, causando ritardi nella ripresa vegetativa post-trapianto e accrescimento stentato. Dalle osservazioni degli apparati radicali delle piante della tesi con percentuali più alte di biochar sono state rilevate una distribuzione molto più omogenea delle radici fini che interessano l'intero volume della zolla. In particolare nelle piante delle tesi D (45% di biochar) ed E (60% di biochar) si è potuto riscontrare un apparato radicale con adeguata struttura radiale, ben sviluppato e vigoroso e con un'elevata stabilità meccanica. Nelle piante della tesi A con substrato di sola torba è stato possibile evidenziare la presenza di problemi di disomogeneità di esplorazione della zolla da parte delle radici con minore sviluppo e ramificazione. Una caratteristica dei substrati con biochar che potrebbe

avere influenzato lo sviluppo radicale è la maggiore porosità, che rappresenta un fattore determinante per il successo della coltivazione fuori suolo in contenitore. Un' importante proprietà fisica dei substrati artificiali è la macroporosità in quanto permette il drenaggio e lo scambio gassoso tra ambiente radicale e l'atmosfera esterna (Bunt A.C., 1988). L'aggiunta di biochar alla torba ha positivamente influenzato i rapporti pianta-substrato dimostrando di potere contribuire a determinare:

- ✓ un' adeguata porosità totale ripartita in modo equilibrato tra macroporosità e micro-porosità;
- ✓ una soddisfacente capacità di ritenzione idrica;
- ✓ una sufficiente areazione e un rapido drenaggio dell'acqua in eccesso;
- ✓ una buona resistenza al compattamento e alla riduzione del volume durante la disidratazione;
- ✓ una scarsa presenza di patogeni e parassiti ;
- ✓ una buona omogeneità e stabilità con il mantenimento nel tempo delle proprie caratteristiche fisiche.



Figura 16 foto della zolla con l' apparato radicale di una pianta della tesi A



Figura 17 foto della zolla con l' apparato radicale di una pianta della tesi A



Figura 18 foto della zolla con l'apparato radicale di una pianta della tesi B



Figura 19 foto della zolla con l'apparato radicale di una pianta della tesi C





Figura 20 foto della zolla con l' apparato radicale di una pianta della tesi D



Figura 21 foto della zolla con l' apparato radicale di una pianta della tesi E





Figura 22 foto della zolla co apparato radicale di una pianta della tesi B



Figura 23 foto della zolla con l' apparato radicale di una pianta della tesi D



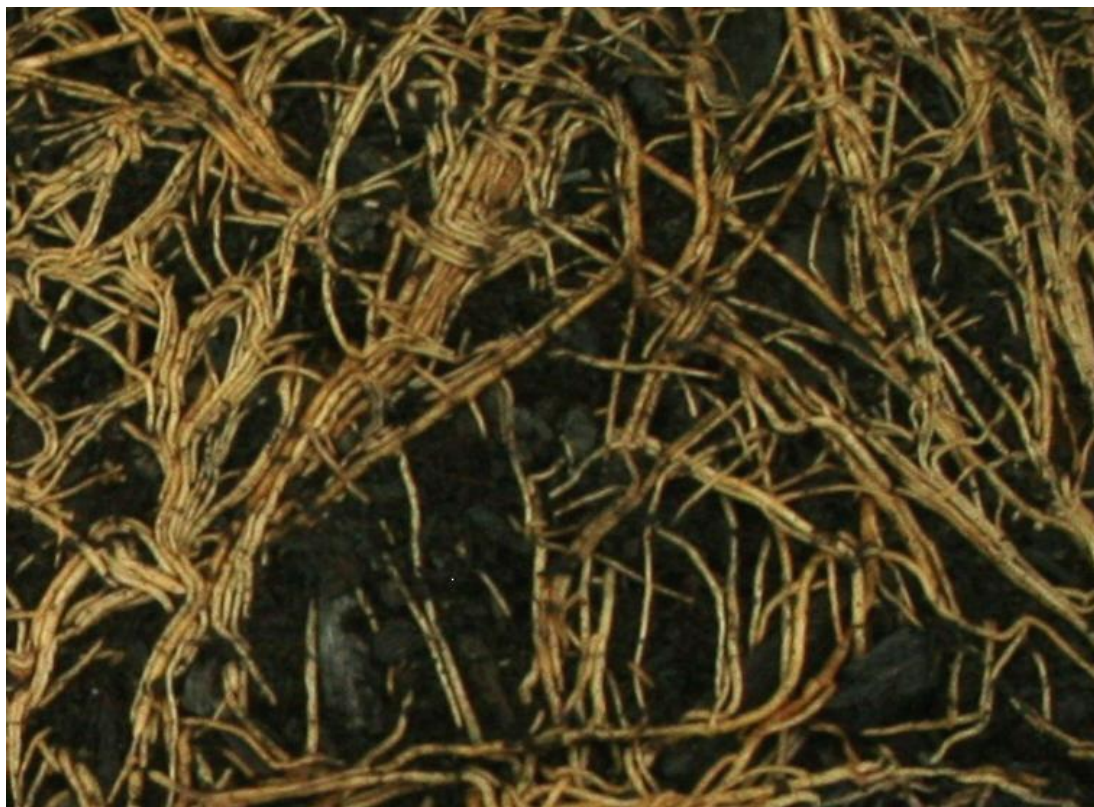


Figura 23 foto di un particolare dell' architettura radicale di una pianta della tesi D

**Analisi microscopica dell' apparato radicale**



Figura 24 biochar attraversato da radici



Figura 25 radici che pervadono una particella di biochar



Figura 26 radichetta che attraversa una particella di biochar





Figura 27 radici che si sviluppano su una particella di biochar



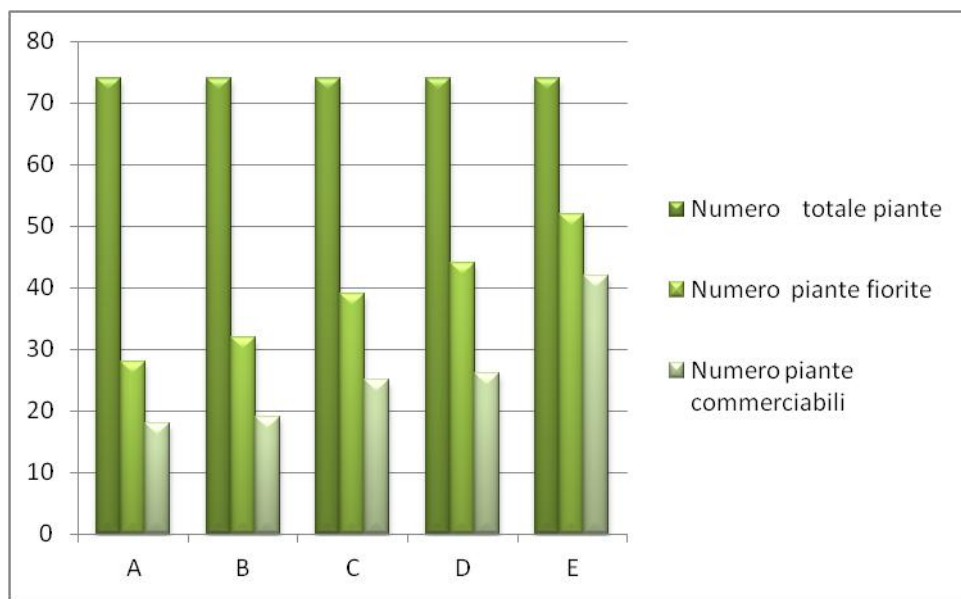
Figura 28 radici che attraversano un frammento di biochar

### **valutazione commerciale :**

<b>TESI</b>	<b>Numero totale piante</b>	<b>Numero piante fiorite</b>	<b>Numero piante Commerciali</b>
<b>A</b>	74	28	18
<b>B</b>	74	32	19
<b>C</b>	74	39	25
<b>D</b>	74	44	26
<b>E</b>	74	52	42

Tabella 6 – riepilogo dei dati della valutazione commerciale delle piante di *Euphorbia x lomi*: rilievo di fine ciclo vegetativo.

Nella fase finale del ciclo vegetativo (9 ottobre 2011) è stato eseguito un rilievo che ha permesso di ottenere i valori relativi al numero di piante fiorite e al numero di piante che presentavano caratteristiche qualitative idonee alla commercializzazione. L'analisi dei dati dimostra che il maggior numero di piante fiorite è stato rilevato nella tesi E (70% di biochar) con 52 piante fiorite su 72 totali, valore che è quasi il doppio rispetto al numero di piante (28) coltivate con un substrato di sola torba (A) (Fig. 13). Anche nella tesi E è maggiore il numero di piante commerciabili con 42 piante, che rappresenta un quantitativo più che doppio delle piante con analoghe caratteristiche riscontrabili nella tesi A.



**Grafico 13.** Dati relativi alla valutazione commerciale nel rilievo di fine ciclo della prova condotta su *Euphorbia x lomi* Rauh: numero piante totali, piante fiorite e piante commerciabili.

## 2.4 DISCUSSIONE

La tecnica colturale che prevedeva, l'allevamento di piante in vaso di *Euphorbia x lomi* con substrati caratterizzati da un progressivo aumento percentuale di biochar in sostituzione della torba, ha influenzato in maniera differenziata i parametri presi in considerazione in questa prova. Sono stati, in particolare, considerati i parametri biometrici che caratterizzando il ciclo di crescita, sono determinanti per la definizione degli aspetti commerciali della coltivazione. L'altezza delle piante è stata influenzata dai substrati con diverso contenuto di biochar in maniera limitata e poco significativa. Le piante delle diverse tesi non hanno mostrato differenze significative nei valori medi dell'altezza raggiunta nella fase finale del ciclo. L'analisi dei dati relativi al diametro del fusto, dimostra che le piante coltivate in substrati con maggiore contenuto di biochar hanno avuto un incremento maggiore, anche a parità di altezza raggiunta. In particolare, a fine ciclo, le piante della tesi con più alto contenuto in biochar hanno raggiunto dimensioni del diametro del fusto del 30% maggiori di quelle delle piante del controllo con sola torba. Il numero di inflorescenze per pianta è significativamente maggiore nelle tesi più ricche in biochar con valori medi doppi rispetto agli altri trattamenti. Anche lo sviluppo radicale è stato significativamente influenzato dalla presenza di biochar nel substrato, nelle piante della tesi D con il 45% di biochar la lunghezza delle radici presenta un'incremento del 30% rispetto ai valori delle piante allevate con sola torba. Il numero delle foglie per pianta è maggiore nelle piante del controllo; le piante delle tesi coltivate in substrati con aggiunta di biochar presentano, invece valori medi minori durante tutte le fasi del ciclo vegetativo. Al contrario, i valori medi relativi all'area fogliare sono minori nelle piante del controllo e maggiori per le piante della tesi E con il 60% di biochar con un incremento di circa il 25%. I valori dello SPAD anche se non mostrano differenze significative, sono meno elevati nelle piante della tesi più ricca in biochar e più elevati per la tesi con solo torba per tutto il ciclo vegetativo. Il peso della biomassa prodotta a fine ciclo vegetativo presenta valori significativi evidenziando il massimo valore incrementale nelle piante

coltivate con un substrato con il 30% di biochar. I valori medi del peso fresco e del peso secco sono maggiori per le piante delle tesi C e D, minori per la tesi A ed E. Il valore minimo della tesi E è stato determinato dal minore contributo al totale del peso, sia fresco che secco, delle radici con un apporto che è meno della metà rispetto a quello della tesi A. Questi dati relativi alle radici sono in evidente contrasto con gli altri dati biometrici ed in particolare con quelli della lunghezza delle radici e con l'analisi visiva diretta e fotografica. Riteniamo, per questo, necessaria una verifica puntuale della loro attendibilità, con la eventuale ricerca di una specifica motivazione.



**Figura 29** pianta della tesi E in piena fioritura, pronta per la commercializzazione

Il numero più elevato di piante fiorite e di piante che presentano caratteristiche qualitative idonee alla commercializzazione è stata rilevata nella tesi con il substrato caratterizzato da un alto contenuto di biochar (60%). La differenza rispetto alla tesi con piante coltivate in un substrato di



sola torba è da ritenersi molto significativa: l'incremento relativo alle piante selezionate per gli aspetti qualitativi, pronte per alla commercializzazione, rappresenta un valore che è più del doppio.

## 2.5 CONCLUSIONI

Questa ricerca ha dimostrato che è possibile utilizzare il biochar, sottoprodotto di processi di trasformazione energetica delle biomasse, come sostituto parziale della torba in un substrato per la coltivazione in contenitore di specie floricole. Dai dati , raccolti durante la prova sperimentale, è emerso che i migliori risultati produttivi, sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo, sono stati ottenuti con le piante coltivate con un substrato costituito da torba con aggiunta di biochar, rispetto a quelle che sono cresciute con sola torba. Le piante delle tesi con il 45% di biochar nel substrato hanno evidenziato un migliore sviluppo del fusto, delle radici e dell' area fogliare con una numerosa e più precoce fioritura. Un substrato, con aggiunta di percentuali di biochar fino al 60%, può opportunamente essere utilizzato in sostituzione dei substrati torbosi costituiti da sola torba bionda e bruna, comunemente utilizzati nelle attività florovivaistiche. La sperimentazione ha, inoltre, evidenziato che l' uso di substrati con biochar, non implica cambiamenti di gestione o modifiche del sistema produttivo ordinario e che pertanto, può essere facilmente adottato dalle aziende florovivaistiche. E' possibile affermare, quindi, che la sostituzione di parte della torba con biochar sia un'operazione possibile, che non pregiudica il corretto sviluppo della pianta, ma anzi permette di avere vantaggi significativi con il miglioramento di alcuni parametri biometrici e della qualità del prodotto. I risultati raggiunti sono da ritenersi meritevoli di ulteriori approfondimenti, anche in ragione del fatto che le sperimentazioni sull' utilizzo del biochar come sostituto della torba nel settore florovivaistico, come è rilevabile dalla letteratura scientifica, sono limitate. In particolare, sono molto poche le sperimentazioni fatte con substrati contenenti biochar su coltivazioni florovivaistiche in ambiente

mediterraneo. Biomasse residuali, scarti e rifiuti vegetali , dopo aver prodotto energia con processi sostenibili e poco inquinanti, possono essere impiegati validamente come componenti di substrati e ammendanti compostati. E' possibile, quindi la valorizzazione di un sottoprodotto del processo di produzione di bioenergie, utilizzandolo per la formazione di substrati, in sostituzione della torba, risorsa non rinnovabile e poco disponibile. L' uso del biochar, sottoprodotto del processo di pirolisi, può essere, infatti inserito in un contesto di promozione dello sviluppo di nuove tecnologie per l'aumento della sostenibilità ambientale ed energetica della filiera florovivaistica.

## BIBLIOGRAFIA

- Alonzo G. , Aiello P. 2006 L' uso di energia da fonti rinnovabili per la promozione dello sviluppo della Regione Siciliana. Regione Sicilia Palermo
- Alonzo G., Campiotti C. a. 2011 Le filiere del sistema agricolo per l' energia e l' efficienza energetica . ENEA Roma
- Baronti S., Alberti G., Delle Vedove G., Di Gennaro F., Genesio L., Miglietta F., Peressotti A., Vaccari F.P. 2009. The biochar option to improve plant yields: first results from some field experiments in Italy. Submitted to Italian Journal of Agronomy.
- Baronti S., Alberti G., Genesio L., Di Gennaro F., Liu J., Miglietta F., Peressotti A., Vaccari F.P. 2008. The Italian Biochar Initiative (ITABI): Effects on soil fertility and on crops production. In 2nd International Biochar Conference-IBI September 8 -10 Newcastle-Gateshead, UK 2008.
- Biotechnology for Biofuels 2009, 2:3doi:10.1186/1754-6834-2-3
- Blackwell, P., G. Riethmuller, and M. Collins. 2009. Biochar application in soils. Biochar for environmental management, ed. J. Lehmann and S. Joseph, 207-226. London: Earthscan Publications Ltd.
- Brown, R. 2009. Biochar production technology. In Biochar for environmental management, ed. J. Lehmann and S. Joseph, 127-146. London: Earthscan Publications Ltd.
- Byrne, C. E., and D. C. Nagle. 1997. Carbonized wood monoliths – characterization. Carbon 35:267-273.
- Chan, K. Y., and Z. Xu. 2009. Biochar: Nutrient properties and their enhancement. In Biochar for environmental management, ed. J. Lehmann and S. Joseph, 67-84. London: Earthscan Publications Ltd.
- Cheng, C. H., Lehmann, J., Engelhard, M., 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climosequence. Geochimica et Cosmochimica Acta 72: 1598-1610.
- Cheng, C-H, Lehmann, J., Thies, J., Burton, S. D., Engelhard, M. H., 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. Organic Geochemistry 37: 1477-1488.
- Conte P., Berns A.E., Pohlmeier A., Alonzo, G.

Applications and New Developments of Magnetic Resonance Techniques in Soil Science.

The Open Magnetic Resonance Journal, 2010(3), 14-14. Editorial

Downie, A., A. Crosky, and P. Munroe. 2009. Physical properties of biochar. In *Biochar for environmental management*, ed. J. Lehmann and S. Joseph, 12-32. London: Earthscan Publications Ltd.

Fascella, G.; Maggiore, P.; Demma Carrà, M.; Zizzo, G.V., 2011 Growth and flowering response of Euphorbia x Lomi poysean cultivars under two irrigation regimes. *Acta Horticulturae* 893 939-943

Fascella, G.; Agnello, S.; Maggiore, P.; Zizzo, G.V. 2009 Growth and flowering response of Euphorbia x lomi Poysean cultivars under different irrigation regimes. *International Symposium on High Technology for Greenhouse Systems - GreenSys 2009, Quebec City (Canada)*, 14-19 giugno. *Book of abstracts* 147-148

Fascella, G.; Maggiore, P.; Zizzo, G.V.; Colla, G.; Roupheal, Y. 2009 A simple and low-cost method for leaf area measurement in Euphorbia x lomi Thai hybrids. *Advances in Horticultural Science* 23: 1 57-60

Fascella, G.; Zizzo, G.V. 2009 Efficient propagation technique of Euphorbia x lomi Thai hybrids. *HortScience* 44: 2 495-498

Feltz, Matt. 2010. Effects of pyrolysis temperature and time on micropore formation in pine derived biochars. Senior Thesis, James Madison University.

Glaser, B. 2007. Prehistorically modified soils of central Amazonia: A model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Philosophic Transactions of the Royal Society* 362 (1478): 187-196.

International Biochar Initiative. 2008. Biochar: A soil amendment that combats global warming and improves agricultural sustainability and environmental impacts. <http://www.biochar-international.org/publications/IBI>.

Laine, J., S. Simoni, and R. Calles. 1991. Preparation of activated carbon in coconut shell in a small scale concurrent flow rotary kiln. *Chemical Engineering Communications* 99:15-23.

Lehmann J., J. P. da Silva, Jr., M. Rondon, C. M. da Silva, J. Greenwood, T. Nehls, C. Steiner, and B. Glaser. 2002. Slash and char: A feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon? Presented

at the 17th World Congress of Soil Science, Bangkok, Thai-land, August 14-21.

Lehmann, J., D. C. Kern, B. Glaser, and W. I. Woods, eds. 2003. Amazonian dark earths: Origin, properties, management. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Lehmann, J., J. Gaunt, and M. Rondon. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems--A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11:403-427.

Lehmann, J. 2007. *Frontier Ecology and Environment* 5:381-387.

Lehmann, J., C. Czimczik, D. Laird, and S. Sohi. 2009. Stability of biochar in the soil. In *Biochar for environmental management*, ed. J. Lehmann and S. Joseph, 183-205. London: Earthscan Publications Ltd.

Lehmann, J., and S. Joseph, eds. 2009. *Biochar for environmental management*. London: Earthscan Publications Ltd.

Liang, B., J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyangi, J. Grossman, B. O'Neill, J. O. Skyemstad, J. Theis, F. J. Luizao, J. Peterson, and E. G. Neves. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal* 70:1719-1730.

Miglietta F., Baronti S., Montanari C., Moreno D., Genesio L., Vaccari F.P., Zonza E. 2008. The charcoal-burning site of Val Vobbia (1630-1950): A resource for examining biochar oxidation and long-term interactions with living soil organisms. In *2nd International Biochar Conference-IBI* September 8 -10 Newcastle-Gateshead, UK 2008.

Montanari C., Prono P., Scipioni S. 2000. The study of charcoal-burning sites in the Apennine Mountains of Liguria (NW Italy) as a tool for forest history. In *Agnoletti and Anderson (Eds) Methods and approaches in forest history*. Cambridge, CABI Publishing, 281p

Mulcahy N., Baronti S., Vaccari F.P., Genesio L. 2009. The Start of a Char Classification and Database. Poster presentation at North American Biochar Conference 2009. University of Colorado at Boulder. Hosted by the Center for Energy & Environmental Security

Miles, Tom. 2008. Robert Flanagan's Biochar Stove: Carbon negative cooking. <http://www.bioenergylists.org/flanaganbiocharstove>

NASA, 2008. Carbon Cycle. [http://www.nasa.gov/centers/langley/images/content/174212main\\_rn\\_berrien2.jpg](http://www.nasa.gov/centers/langley/images/content/174212main_rn_berrien2.jpg) Accessed June 2009

Pennise, D. M., K. R. Smith, J. P. Kithinji, M. E. Rezende, T. J. Raad, J. Zhang, and C. Fan. 2001. Emissions of greenhouse gases and other green-house gases and other airborne pollutants from charcoal making in Kenya and Brazil. *Journal of Geophysical Research* 106:24,143- 24,155.

Sombroek, W. G. 1966. Amazon soils: A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Wageningen: Agricultural Publications and Documentation 672:283.

Yarrow, D. 2010. Using biochar in soil: Preparation and application. <http://terrapreta.bioenergylists.org/content/using-biochar-soil>

Yarrow, D. 2010. Using biochar in soil: Preparation and application. <http://terrapreta.bioenergylists.org/content/using-biochar-soil>

Wardle, D.A., Nilsson, M.C. and Zackrisson, O., 2008. Response to comment on "fire-derived charcoal causes loss of forest humus". *Science* 321(5894): 1295d.

Warnock, D.D., Lehmann, J., Kuyper, T.W. and Rillig, M.C., 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil - Concepts and mechanisms. *Plant and Soil* 300(1-2): 9-20.

AEBIOM – European Biomass Association":<http://www.ecop.ucl.ac.be/aebiom/>

AIEL – Associazione Italiana Energia dal Legno":<http://www.aiel.cia.it/aiel/>

BIOHEAT":<http://www.bioheat.info/>

Biopower – Renewable Electricity from Plant Material (USA)":<http://www.eere.energy.gov/redirects/eren.html>

EUBIA – European Biomass Industry Association":<http://www.eubia.org/>

FIPER – Federazione Italiana dei Produttori di Energia da fonti Rinnovabili (ITA)":<http://www.fiper.it/>

ITABIA – Italian Biomass Association (ITA)":<http://www.itabia.it/web/index.htm>

ICHAR – Associazione Italiana Biochar : <http://www.ichar.org>

Biochar Farms. 2010. Production. [http://biocharfarms.org/biochar\\_production\\_energy/](http://biocharfarms.org/biochar_production_energy/).