

COMUNE DI CINIGIANO
PROVINCIA DI GROSSETO

Reg. CE 1305/13

Partenariato Europeo per l'innovazione in materia di produttività e
sostenibilità dell'agricoltura

PROGETTO BIOACTAM

**Biochar: Innovazioni Ottenute Attraverso Carbonizzazioni
Testate in Amiata e Maremma**

Sottomisura 16.2

RELAZIONE FINALE

Partner: B&C TECHNOSYSTEMS S.R.L.

LEGALE
RAPPRESENTANTE:

B&C TECHNOSYSTEMS srl
S.P. Cipressino km. 10.800
58043 CINIGIANO (GR)
P. Rossi
M. 01427790538

1. Scheda informativa dell'azienda	5
1.1. <i>Caratteristiche e tipologia del soggetto beneficiario</i>	5
2. Sintesi della proposta progettuale	6
3. Attività	8
3.1. <i>Work Package 3: Progettazione e realizzazione della parte meccanica del prototipo di forno per Biochar</i>	8
3.1.1. <i>Introduzione</i>	8
3.1.2. <i>Progettazione preliminare</i>	9
3.1.2.1. <i>Corpo principale</i>	10
3.1.2.2. <i>Collettore aria da combustione</i>	12
3.1.2.3. <i>Bruciatore a biomassa</i>	14
3.2. <i>Work package 6: Progettazione e realizzazione della parte elettrica e di controllo del prototipo di forno per Biochar</i>	15
3.2.1. <i>Introduzione</i>	15
3.2.2. <i>Centralina di comando per bruciatore a biomassa</i>	15
3.3. <i>Work package 15: Valutazione delle performance del prototipo di forno per Biochar</i>	18
3.3.1. <i>Introduzione</i>	18
3.3.2. <i>Validazione e collaudo</i>	20
3.3.2.1. <i>Risultati oggettivi dei test preliminari</i>	20
3.3.2.2. <i>Revisioni progettuali necessarie</i>	29
3.3.2.3. <i>Test conclusivi</i>	34

Figura 1 - Vista complessiva del progetto.....	9
Figura 2 - Particolare corpo principale.....	11
Figura 3 - Particolare canna fumaria primaria.....	11
Figura 4 - Collettore aria da combustione.....	13
Figura 5 - Particolare vista interna collettore.....	13
Figura 6 - Bruciatore a biomassa.....	14
Figura 7 - Quadro comandi.....	16
Figura 8 - Particolare LCD per il setting della temperatura di spegnimento/accensione automatica e lettura temperatura sonda termica.....	16
Figura 9 - Particolare LCD per il setting del tempo di lavoro della coclea di alimentazione.....	17
Figura 10 - Particolare LCD per il setting del tempo di stop coclea di alimentazione.....	17
Figura 11 - Particolare LCD per il setting della velocità della ventola.....	17
Figura 12 a e 12 b - Struttura principale in costruzione.....	18
Figura 13 a e 13 b- Particolare del coperchio e della valvola a farfalla uscita fumi.....	19
Figura 14 - Primo assemblaggio completo.....	19
Figura 15 a e 15 b - Immagini del primo test sul bruciatore per la valutazione della resa e comportamento del combustibile.....	20
Figura 16 - Campione del cippato scelto per il processo.....	21
Figura 17 - Fascine di potature di ulivo pronte per essere inserite nel forno.....	21
Figura 18 - Fase di pesatura del materiale.....	22
Figura 19 a e 19 b - Riempimento del forno e compattazione delle fascine.....	22
Figura 20 - Vista generale prima dell'accensione.....	23

Figura 21 - Prime fasi di lavoro effettivo.....	24
Figura 22 - Fase di lavoro a pieno regime.....	25
Figura 23 - Particolare del termometro analogico e della sonda termica elettronica.....	25
Figura 24 a e 24 b - Esempi di modulazione di uscita vapore/fumi.....	26
Figura 25 a e 25 b - Particolare del percolato raccolto (svariati litri).....	27
Figura 26 a e 26 b - Fase di scarico del biochar.....	28
Figura 27 - Particolare del prodotto finito.....	28
Figura 28a e 28b Posizionamento del cassone per lo scarico del carbone.....	29
Figura 29 - Particolare sfiato aggiuntivo.....	30
Figura 30 - Vista complessiva.....	31
Figura 31 - Progetto 3D del box di essiccazione cippato.....	32
Figura 32 - Vista complessiva di progetto dopo le modifiche.....	32
Figura 33 - Box installati.....	33
Figura 34 - Trasporto dell'impianto in situ.....	34
Figura 35 - Caricamento del forno con scarti di segheria.....	34
Figura 36 - Processo di carbonizzazione presso la segheria Vinciarelli.....	35
Figura 37 - Posizione definitiva del quadro comandi.....	36
Figura 38 - Carbone ottenuto da scarti di segheria.....	36

1. SCHEDA INFORMATIVA DELL'AZIENDA

1.1. Caratteristiche e tipologia del soggetto beneficiario

Società nata nel 2008, per la realizzazione e costruzione di prototipi di macchine ad uso generale su disegno. Si presenta sul mercato come partner importante per la fornitura di elementi e componenti di macchinari da impiegare nel settore dell'edilizia, agricoltura e frutticoltura con progetti sviluppati sia in Italia che nei paesi tropicali. La B&C Technosystems S.r.l. è specializzata nella produzione di semilavorati, ottenuti mediante lavorazione e saldatura di lamiera, acciai al carbonio, inox e leghe. E' partner commerciale di aziende leader sia italiane che multinazionali nel campo macchine movimento terra, macchine edili, agricole e strutture prefabbricate. Per la fornitura di lamiera a taglio laser e piega a controllo numerico si giova della collaborazione di aziende esterne tra cui CERTEMA S.c.a.r.l. A seguito di un puntuale controllo qualità della materia prima in ingresso, iniziano le fasi di lavorazione e assemblaggio dei componenti prodotti (prepuntatura, saldatura manuale, saldatura robotizzata, rifinitura e, ove necessario, lavorazioni con macchine utensili a controllo numerico di tornitura e fresatura). Al termine del ciclo di lavorazione, ogni particolare è attentamente verificato prima della sua spedizione. L'azienda si impegna costantemente a garantire un servizio completo ai propri clienti, confrontandosi con essi anche nella prima fase di progettazione dei particolari a disegno per ottimizzare il prodotto finito. Punto di forza dell'azienda sono le innovazioni introdotte e le attività di ricerca e sviluppo su cui la B&C Technosystems costantemente investe. Di seguito un elenco dei macchinari ed attrezzature presenti negli stabilimenti di sua proprietà:

- N.2 Stazioni di saldatura MIG robotizzata;
- N.1 Linea di taglio, foratura e piegatura di profilati piatti o tubolari;
- N.6 Saldatrici MIG Castolin Total arc con raffreddamento a liquido per saldatura manuale;
- N. 1 Centro di lavoro a controllo numerico 3 assi per lavorazioni meccaniche di precisione;
- N. 1 Tornio a controllo numerico con trascinatore automatico;

L'azienda si avvale inoltre, in modo stabile e continuativo, dell'attività di consulenza di società di ricerca privata e di collaborazione con varie università italiane. I recenti progetti di ricerca e sperimentazione meccanica e di automazione, svolti o in corso di svolgimento, di B&C Technosystems sono tutti in ambito agricolo e agroforestale:

- RAFFICA, la società ha partecipato alla misura 124 del GAL Appennino Aretino, PSR della regione Toscana per la prototipazione di un trattorino polifunzionale legato al settore castanicolo.

- ROYAL JELLY HOOVER, "Sviluppo di un innovativo sistema di prelievo della pappa reale a due batterie parallele di ugelli aspiranti", a valere sul Bando R.T. Servizi qualificati 2013. Servizi B1.3 e B1.4. Il progetto interessa lo sviluppo di un nuovo sistema semi automatico per la raccolta della pappa reale.

- TRASLAP, "Progettazione di un sistema innovativo automatico per la traslazione delle larve di ape per la produzione di pappa reale e regine", a valere sul Bando R.T. Servizi Innovativi 2015. Servizio B1.3. Il progetto interessa lo sviluppo di un sistema automatico integrato per il traslarvo, ossia il trasferimento delle larve di ape dalle celle del favo ai cupolini sintetici per la produzione di pappa reale.

- RICACCI, "Recupero Innovativo Carbonizzazione e Attivazione di Certificazione energetico-forestale Coordinata e Inclusiva", finanziato dalla regione Toscana (bando PSR 2014-2020 – PIF 2015 "FOGLIE – Filiera Organizzata del Gruppo Legname Innovativo ed Energia", sottomisura 16.2), conclusione prevista nella seconda metà del 2018. Capofila è la Società Cooperativa Agricola ECO-ENERGIE. B&C Technosystems S.r.l. è partner con altre otto entità tra aziende e partner scientifici che comprendono Università della Tuscia (Viterbo) e la NTT. Uno degli obiettivi del progetto è lo studio e lo sviluppo di un prototipo innovativo di forno per la carbonizzazione di scarti agricoli legnosi.

2. SINTESI DELLA PROPOSTA PROGETTUALE

L'obiettivo generale del progetto è sviluppare e validare una nuova generazione di prodotti, basati sulla pirolisi parziale di biomasse ligno-cellulosiche derivanti da attività forestali, agro-forestali e agronomiche. Il materiale proveniente da gestioni sostenibili sarà impiegato nei settori vivaistico agricolo e cosmetico, mirando ad aumentare la fertilità dei suoli, a una mitigazione dei cambiamenti climatici e un concreto sviluppo delle green technologies. La sperimentazione sarà condotta su biochar ottenuti dal connubio tra settori forestale, agro-forestale, olivicolo, agricolo e vivaistico, in forma innovativa per il territorio. La condivisione delle esperienze di tutti i partner sarà l'elemento caratterizzante del progetto, attraverso fasi specifiche così riassunte:

- Ottimizzazione e standardizzazione di una tecnologia innovativa per produzione di biochar in discontinuo;
- Utilizzo del biochar come ammendante nel settore vivaistico e/o agrario e monitoraggio della fertilità del "sistema suolo" mediante indicatori microbiologici e come base per cosmetici;
- Divulgazione dei risultati del progetto sul territorio.

L'innovazione che si intende attivare con il presente progetto è testare e mettere a punto, in sistemi prossimi alla scala di utilizzo, una nuova generazione di biochar, specificatamente progettati per l'impiego in settori ampiamente rappresentati nel tessuto produttivo regionale. In dettaglio tale innovazione si tradurrà in:

- 1) Aumento dell'efficienza di produzione del biochar con processi non continui e contestuale creazione di una filiera nuova sul territorio con possibilità di coinvolgimento di nuove aziende ed interrelazione con altri progetti d'innovazione e PIF in corso (es. progetto RICACCI e PIF FOGLIE);
- 2) Diminuzione delle esternalità negative della carbonizzazione attraverso: raccolta dei percolati e attivazione di possibili filiere di impiego; diminuzione dei fumi grazie alla maggiore efficienza di combustione; riduzione dello spostamento dai luoghi di produzione primaria di materiale di alta qualità con riferimento all'unità di massa, con relativa concreta diminuzione delle emissioni a carico dei trasporti stimabile in un 15-20%;
- 3) Grazie all'utilizzo del biochar come ammendante nel settore vivaistico e agrario si contribuirà all'aumento della fertilità del "sistema suolo" e in modo diretto alla mitigazione dei cambiamenti climatici, ciò sarà possibile grazie al suo contenuto di carbonio organico in forma stabile e a basso grado di mineralizzazione. In particolare: riducendo l'uso di fertilizzanti chimici, grazie alla sua capacità adsorbente garantirà un lento rilascio dei

nutrienti vegetali, limitando i fenomeni di lisciviazione; migliorando la capacità di ritenzione idrica e la porosità, grazie all'elevata superficie specifica del biochar; stimolando i microrganismi del suolo grazie ad una maggiore disponibilità di nutrienti organici e minerali con conseguente incremento del riciclo dei nutrienti stessi; aumentando la biodiversità microbica;

- 4) Diversificazione delle filiere forestale ed agro-forestale, con produzione di un nuovo prodotto che ne permette la corretta gestione, grazie anche alla possibilità di avvalersi di schemi di gestione certificata (es. PEFC);
- 5) Valorizzazione economica di residui legnosi, trasformando biomasse legnose residuali da elemento critico a livello gestionale, economico ed ambientale per le aziende, a possibili risorse per la produzione di biochar;
- 6) Attivazione di un'economia circolare e immagazzinamento di carbonio: la valorizzazione di biomasse legnose di scarso valore attiva una nuova filiera di utilizzazione che contribuisce all'immagazzinamento di carbonio organico e alla riduzione delle emissioni derivanti da un eventuale smaltimento come rifiuti.

3. ATTIVITA'

Nell'ambito del progetto, in quanto partner, la B&C Technosystems si è fatta carico dello svolgimento di tre distinti compiti definiti nei Work Package 3, 6 e 15.

- *Work Package n.3: Progettazione e realizzazione della parte meccanica del prototipo di forno per biochar.*
- *Work Package n.6: Progettazione e realizzazione della parte elettrica e di controllo del prototipo di forno per biochar.*
- *Work package n.15: Valutazione delle performance del prototipo di forno per biochar.*

Completati i due work package precedenti la B&C ha svolto i test sul forno, seguendo le indicazioni di UNITUS e Capofila, per riscontrare l'ottenimento dei parametri di performance individuati in fase di definizione delle specifiche operative del prototipo, sia mediante prove effettuate in sede che attraverso le sperimentazioni condotte dai singoli partner per le loro differenti finalità e applicazioni.

3.1. Work Package 3

3.1.1. Introduzione

Seguendo le indicazioni di UNITUS, del Capofila e dei partner utilizzatori, B&C ha svolto la progettazione di dettaglio, la realizzazione, la verifica delle funzionalità ed il collaudo del prototipo di forno mobile verticale a funzionamento discontinuo in grado di carbonizzare materiale ligno-cellulosico di pezzature medio piccole variabili (frantumato, cippato, pellet) e ricavarne biochar. Forno caratterizzato da riempimento e scarico meccanico, recupero percolati, parziale recupero dell'energia termica, controllo in continuo di temperatura, flussi di aria in entrata e gas in uscita, pre-essiccazione della biomassa di carico.

3.1.2. Progettazione preliminare

Utilizzando le indicazioni di forma, dimensioni e soluzioni funzionali fornite dal Partner scientifico UNITUS e, basando le restanti scelte progettuali sulle esperienze pregresse acquisite nella realizzazione di altri forni per la carbonizzazione, è stato sviluppato un progetto preliminare costituito da 3 parti distinte:

- il corpo principale all'interno del quale viene immesso il materiale destinato alla carbonizzazione;
- il collettore aria da combustione che collega il bruciatore al corpo principale convogliando il calore ed eliminando scintille o parti volanti con fiamma libera;
- il bruciatore a biomassa che, alimentato con diverse tipologie di scarti della lavorazione del legname, fornisce l'energia termica necessaria al processo.

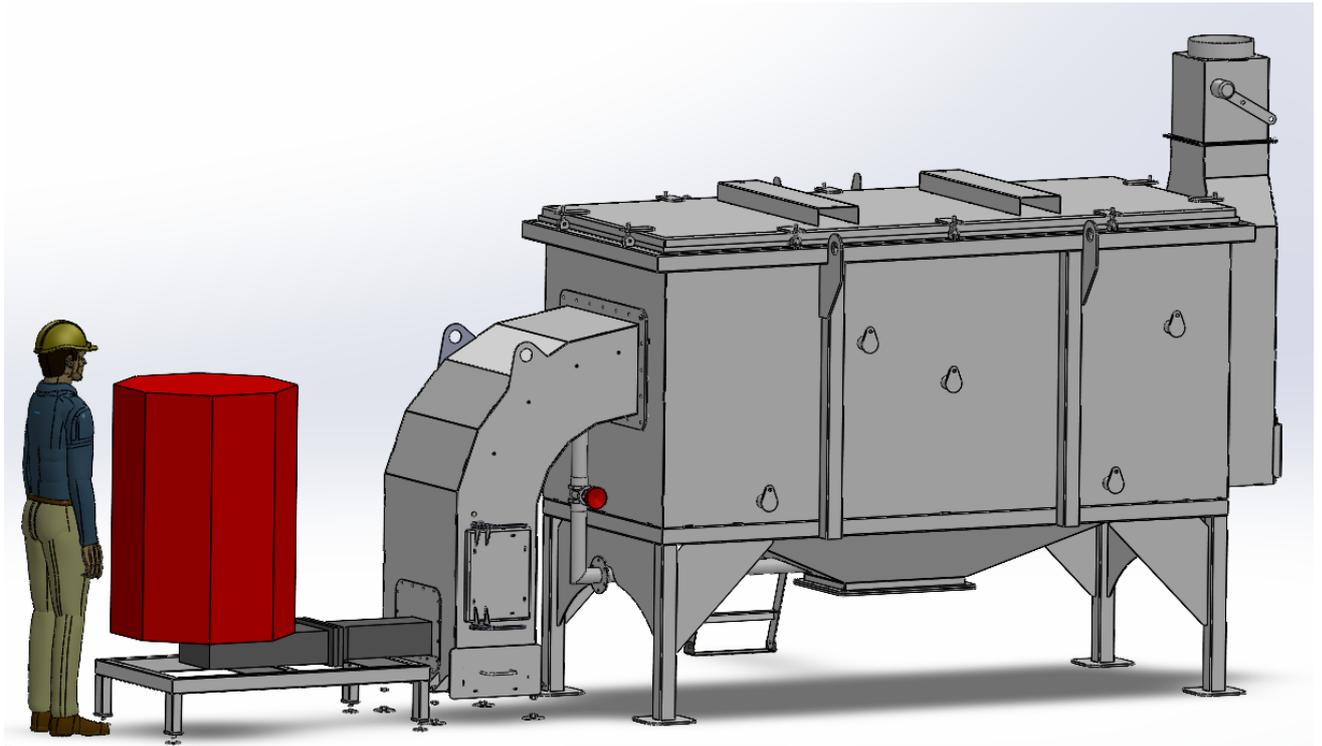


Figura 1 - Vista complessiva del progetto

3.1.2.1. Corpo principale

Per garantire una quantità di materiale processato sufficiente alle esigenze del partner P6 Vinciarelli, si è progettata una struttura di 2860x1190x1130mm con un volume di carico di circa 4m³. Si è optato per una lamiera in acciaio Corten da 5mm di spessore per garantire una ottima resistenza alla corrosione dato che l'impianto dovrà essere posizionato all'esterno, mentre la stabilità e rigidità della struttura sono garantite da una intelaiatura in tubolare 80x80x3mm.

Il caricamento del prodotto è stato pensato per essere eseguito dall'alto con l'utilizzo di un carrello elevatore, così come anche la rimozione del coperchio a tenuta stagna. Questa è garantita da una guarnizione per alte temperature in fibra di vetro a sezione quadrata 25x25mm e 10 tiranti ad occhiello M16 distribuiti lungo tutto il perimetro.

Il fondo ha una forma angolata a tramoggia per favorire lo scarico del biochar a fine lavorazione. Sulla piastra di chiusura del fondo, che deve essere rimossa per operare, è installata una valvola a sfera per il drenaggio del percolato che si forma durante la carbonizzazione. Sempre dal fondo un tubo dal diametro di 70mm permette il ricircolo dei gas/fumi e calore riportandoli dal basso fino al collettore aria da combustione.

Dieci fori di ispezione da 50mm di diametro ed apertura regolabile sui fianchi della struttura permettono di osservare ed eventualmente controllare la carbonizzazione (chiusi non permettono all'ossigeno di entrare, aperti consentono una parziale combustione nel caso si ritenga necessario). La grande apertura di testa per il collegamento al collettore è dotata di una griglia asportabile che blocca l'eventuale ingresso di scintille o particolato incendiato nella camera.

Dal lato opposto, l'uscita dei gas e fumi, è posizionata nella parte più bassa della vasca (con sportello di ispezione e valvola a sfera per scarico percolato e condensa) da dove parte una canna fumaria primaria fissa. Su questa è presente una valvola di regolazione a farfalla comandata da un bilanciere a condizione normalmente chiusa. Al di sopra della valvola viene ad inserirsi la canna fumaria secondaria da 300mm di diametro in acciaio inox che consente un'altezza di aspirazione totale di circa 5 metri. Una scaletta di servizio per controllo e manutenzione completa la dotazione di questo primo blocco.

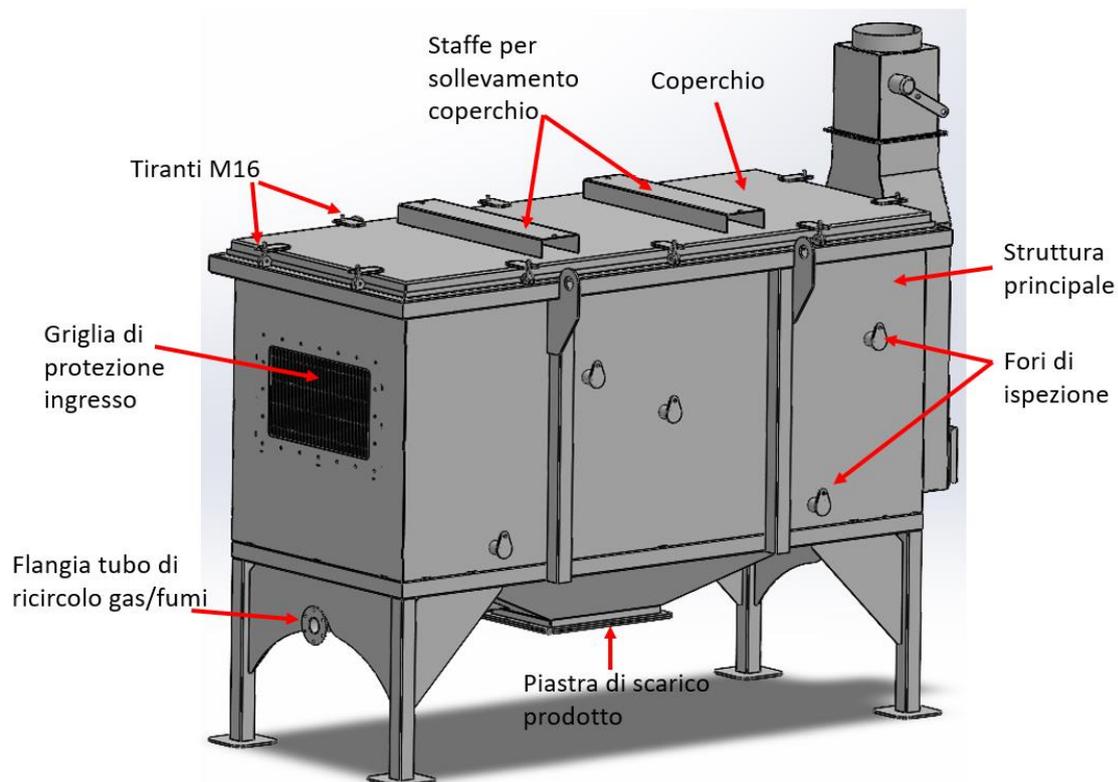


Figura 2 - Particolare corpo principale

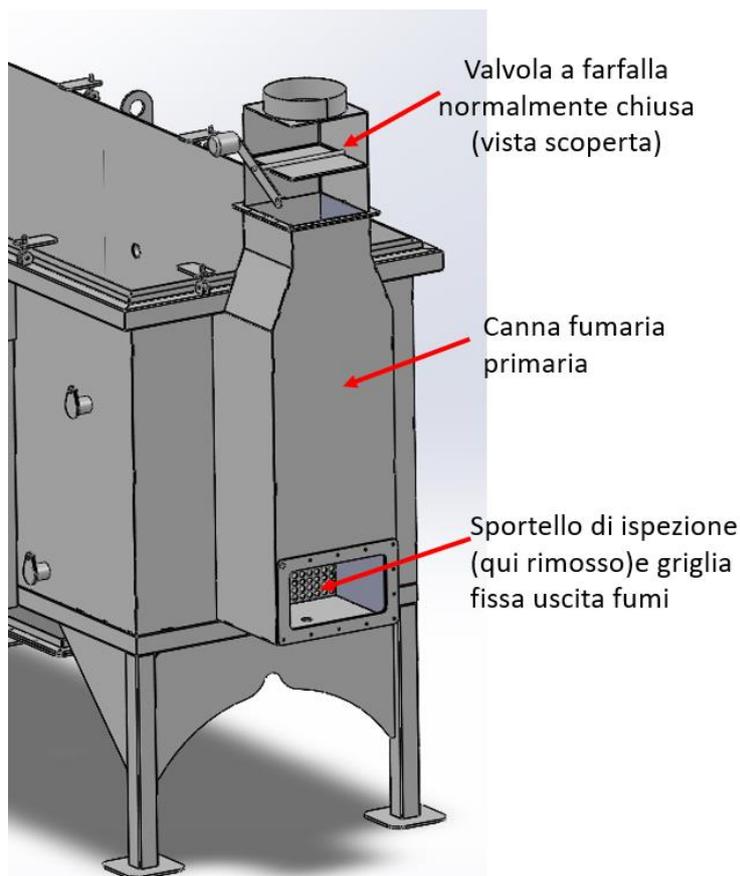


Figura 3 - Particolare canna fumaria primaria

3.1.2.2. Collettore aria da combustione

Per convogliare il calore generato dal bruciatore all'interno del corpo principale del forno ed al contempo permettere la gestione della fiamma e della cenere prodotta, si è reso necessario lo sviluppo di un collettore coibentato con sportello di ispezione.

Anche per questo componente è stato scelto di utilizzare una lamiera di acciaio Corten (resistente alla corrosione) da 5mm di spessore poiché, essendo parte integrante del sistema, subirà le medesime condizioni atmosferiche del corpo principale.

Partendo da un appoggio regolabile a terra, la struttura si sviluppa in altezza arrivando con la bocca di collegamento al forno a circa 1,8 metri. Questa bocca ha una dimensione di 700x400mm ed è flangiata al corpo principale con una robusta piastra da 10mm di spessore e 20 bulloni M12.

Appena prima dell'uscita è inserito il tubo che, partendo dal fondo del corpo principale e regolato da una valvola a saracinesca, permette il ricircolo dei gas e fumi per ottenere una più uniforme distribuzione del calore nella camera di carbonizzazione.

Il canale di immissione dell'aria calda è dotato di 4 blocchi in materiale refrattario 680x300x60mm per evitare la delaminazione e super-ossidazione a cui andrebbe incontro il metallo se posto in

contatto diretto della fiamma libera e delle altissime temperature conseguenti. Queste lastre sono poste su supporti mobili in modo tale da permetterne una rapida e semplice sostituzione in caso di rottura.

Scendendo lungo il canale si arriva allo spazio dedicato al braciere del bruciatore che, inserito attraverso una apertura nel fianco sinistro del condotto, occupa la parte inferiore del collettore. Qui, tramite uno sportello apribile ma a tenuta stagna quando chiuso di 250x350mm, si ha l'accesso per l'accensione ed il controllo della fiamma.

Al di sotto del braciere vi è un cassetto di grande capienza per la raccolta della cenere prodotta durante il ciclo di lavoro.

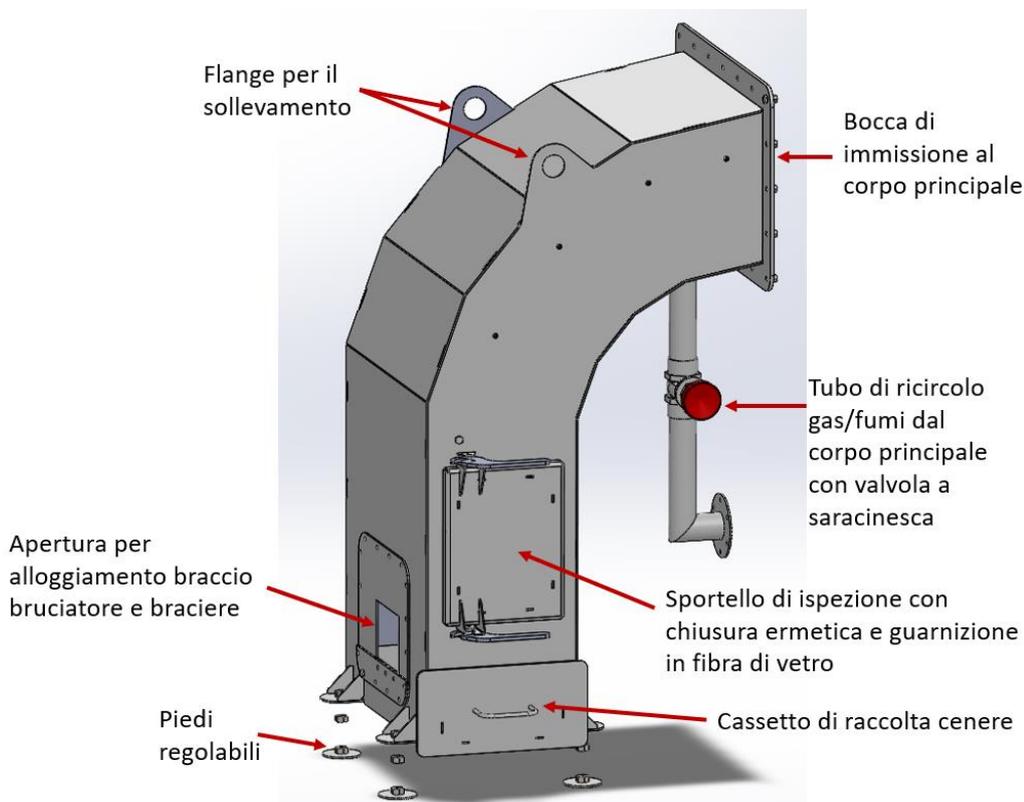


Figura 4 - Collettore aria da combustione

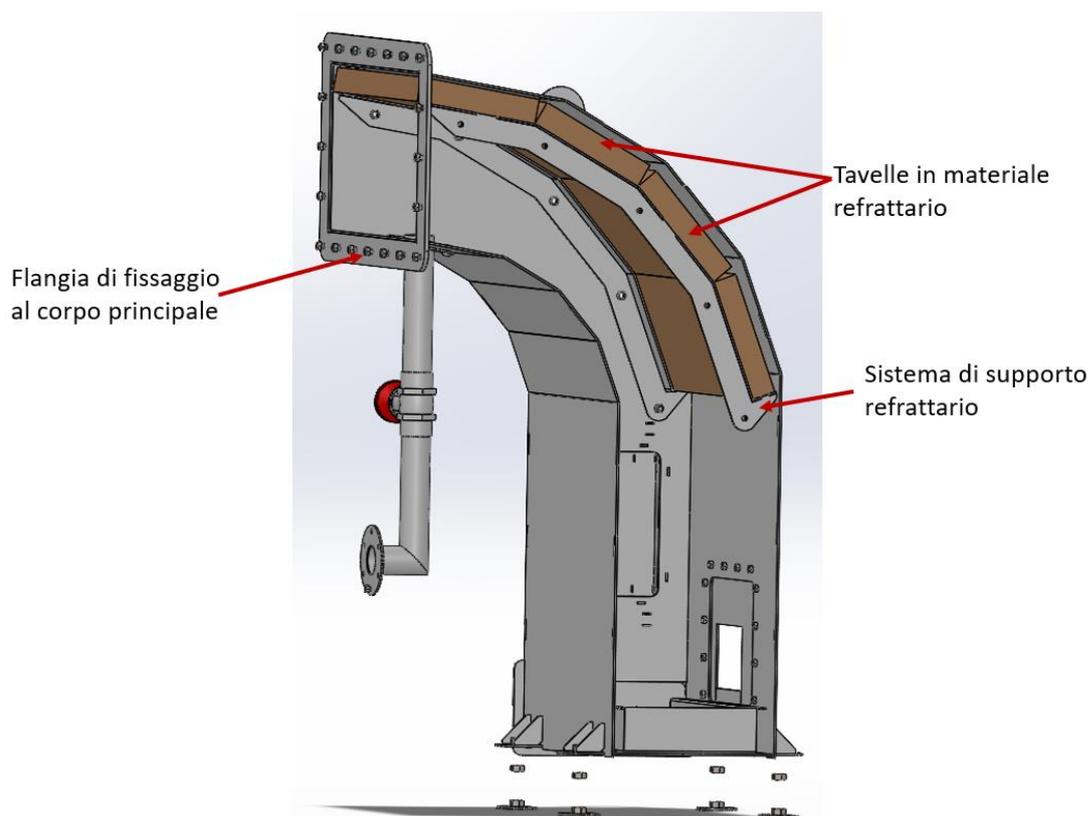


Figura 5 - Particolare vista interna collettore

3.1.2.3. Bruciatore a biomassa

Per la generazione del calore necessario alla carbonizzazione è stato scelto un bruciatore dalla capacità termica di 30 kW e con la possibilità di essere alimentato sia a pellet sia a cippato di legname di piccole dimensioni. Lo scopo del prototipo è infatti quello di recuperare scarti di lavorazione del legname (cippato) per generare energia termica da destinare alla produzione di biochar.

Il bruciatore è composto da un serbatoio da 455 litri circa al cui interno è installato un agitatore rotante a pale per consentire una alimentazione costante ed evitare che si formino agglomerati di cippato negli angoli. Da qui il combustibile scende nel canale sottostante dove, tramite una coclea mossa da un motoriduttore, viene spinto fino al braciere. Una ventola a lato del canale di alimentazione fornisce l'aria necessaria alla combustione. Tutto questo sistema è gestito da una centralina il cui funzionamento verrà descritto nel capitolo successivo di questa relazione.

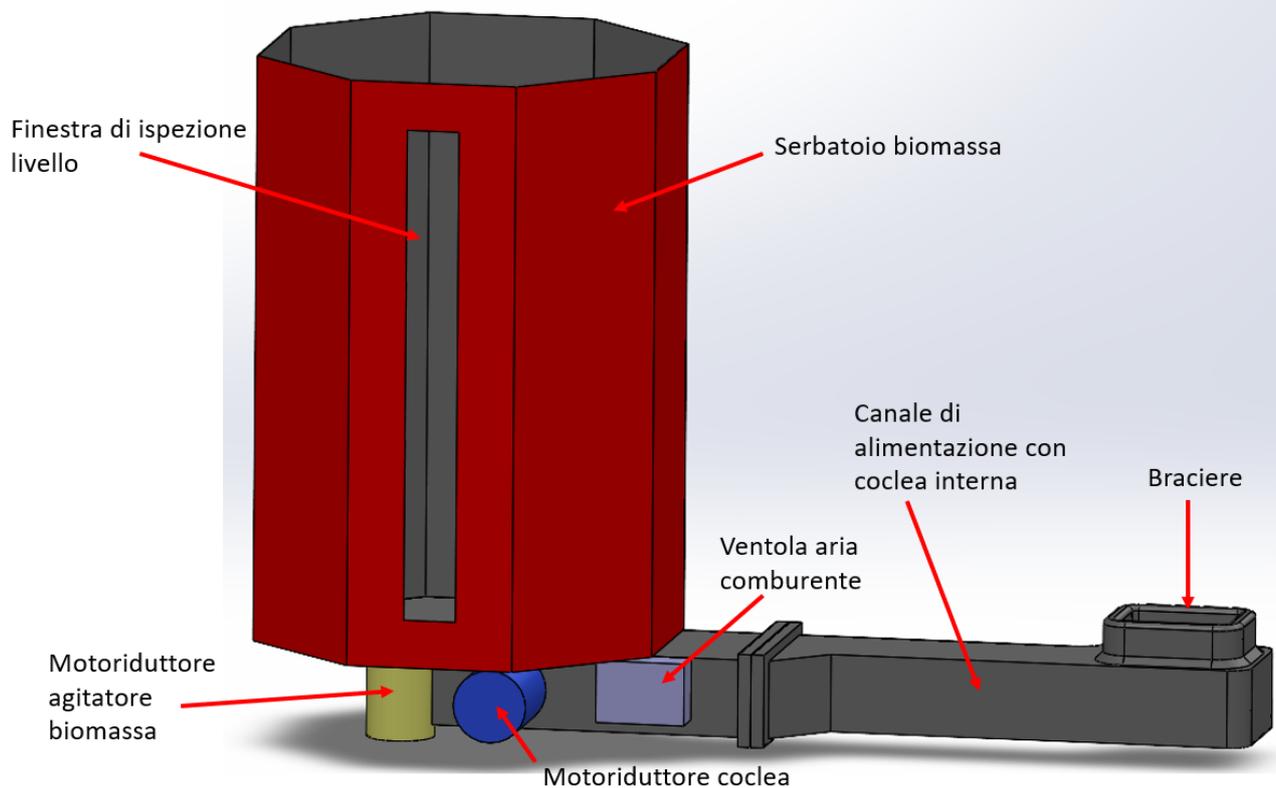


Figura 6 - Bruciatore a biomassa

3.2. Work package 6: Progettazione e realizzazione della parte elettrica e di controllo del prototipo di forno per biochar.

3.2.1. Introduzione

Come anticipato nel capitolo precedente, il bruciatore impiegato nel prototipo ha richiesto l'utilizzo di un sistema di controllo e gestione di tutte le funzionalità dello stesso, a tale scopo si è installato un quadro comandi elettronico a bordo macchina.

3.2.2. Centralina di comando per bruciatore a biomassa

Il sistema in questione consta di un box sul quale è installato uno schermo lcd per la visualizzazione di menù, funzioni e dati e dei pulsanti per la selezione dei parametri di funzionamento. Da questo escono i cavi di collegamento diretti ai motori di coclea, agitatore e ventola oltre ad una sonda

termica per la rilevazione della temperatura interna del forno.

Tramite questo sistema è possibile regolare:

- il tempo di lavoro (in secondi) della coclea e quindi della quantità di materiale conferito al braciere in un determinato intervallo;
- il tempo di interruzione (stop coclea) tra due impulsi di attivazione, per consentire al combustibile di ardere in maniera ottimale senza un continuo rimescolamento dovuto all'azione della coclea;
- la quantità di aria immessa nel canale per favorire una combustione completa del materiale immesso ed ottenere la maggior resa termica possibile;
- tramite le letture fornite dalla sonda termica, la soglia di spegnimento e riaccensione automatiche per mantenere costante la temperatura ottimale per la carbonizzazione;
- il funzionamento (on – off) dell'agitatore nel serbatoio del combustibile.



Figura 7 - Quadro comandi



Figura 8 - Particolare LCD per il setting della temperatura di spegnimento/accensione automatica e lettura temperatura sonda termica



Figura 9 - Particolare LCD per il setting del tempo di lavoro della coclea di alimentazione



Figura 10 - Particolare LCD per il setting del tempo di stop coclea di alimentazione



Figura 11 - Particolare LCD per il setting della velocità della ventola

3.3. Work package 15: Valutazione delle performance del prototipo di forno per biochar.

3.3.1. Introduzione

Una volta conclusa la parte realizzativa della struttura e di tutti i componenti accessori, si è passati alla fase di test per verificare il corretto funzionamento ed il rispetto di tutti i parametri ed obiettivi stabiliti in fase di progettazione.



Figura 12 a e 12 b - Struttura principale in costruzione





Figura 13 a e 13 b- Particolare del coperchio e della valvola a farfalla uscita fumi



Figura 14 - Primo assemblaggio completo

3.3.2. Validazione e collaudo

3.3.2.1. Risultati oggettivi dei test preliminari

I primi test di funzionamento si sono svolti sul bruciatore per valutare, oltre al funzionamento completo del macchinario, anche la capacità di alimentazione della fiamma utilizzando varie tipologie di combustibile. Da qui si è stabilito che il materiale con un compromesso ottimale tra l'ottenimento delle performance termiche necessarie al processo di carbonizzazione e la possibilità di impiego di scarti di lavorazione del legname, è il cippato con dimensione compresa tra i 3 e i 20mm di lunghezza. Altre prove eseguite con segatura, trucioli di legno o cippato con dimensioni superiori hanno portato a problematiche di alimentazione ed incoerenza nella produzione termica, quindi scartate come soluzioni applicabili al nostro progetto.



Figura 15 a e 15 b - Immagini del primo test sul bruciatore per la valutazione della resa e comportamento del combustibile



Figura 16 - Campione del cippato scelto per il

processo

I test generali sull'intero sistema, invece, si sono svolti in due sessioni distinte.

Per la prima prova sono state utilizzate fascine di potature di ulivo composte da rami di piccolo diametro (da 1-2mm ad un massimo di 10-20mm) e foglie per un totale di circa 300kg, queste sono state compattate il più possibile e disposte uniformemente all'interno del corpo principale del forno.



Figura 17 - Fascine di potature di ulivo pronte per essere inserite nel forno



Figura 18 - Fase di pesatura del materiale



Figura 19 a e 19 b - Riempimento del forno e compattazione delle fascine



Figura 20 - Vista generale prima dell'accensione

Una volta riempito il corpo principale con il materiale, si è proceduto con il posizionamento e la chiusura del coperchio a tenuta stagna andando ad agire sui tiranti saldati lungo il perimetro superiore. A questo punto sono stati collegati i cavi della centralina di controllo del bruciatore, montato il sensore di temperatura elettronico sul fianco del forno e posizionato un termometro analogico in uno sfiato centrale. Infine si è proceduto all'accensione del bruciatore. Durante la prima ora di lavoro non si sono apprezzate grandi variazioni di temperatura all'interno del corpo,

solo in seguito è cominciato a fuoriuscire vapore acqueo e fumo dagli sfiati inferiori e dagli oblò laterali che è perdurato per circa 6 ore. Modulando e gestendo l'ingresso di aria dagli oblò laterali e dalla ventola del bruciatore, in modo da ottenere una distribuzione il più uniforme possibile del calore, si controlla il processo di carbonizzazione all'interno del forno raggiungendo una temperatura compresa tra i 300 e i 400°C. Queste operazioni vengono dettate in base alle temperature rilevate grazie alla sonda termica elettronica, al termometro analogico, ad un termometro portatile laser ed al colore e quantità del vapore acqueo / fumo in uscita dagli sfiati, oblò e canna fumaria.



Figura 21 - Prime fasi di lavoro effettivo



Figura 22 - Fase di lavoro a pieno regime



Figura 23 - Particolare del termometro analogico e della sonda termica elettronica



Figura 24 a e 24 b - Esempi di modulazione di uscita vapore/fumi

Al di sotto della piastra centrale di scarico carbone e della canna fumaria sono stati posizionati dei contenitori per la raccolta del percolato, questo sarà analizzato in seguito dai partner scientifici del progetto per caratterizzare i composti presenti al suo interno ed eventualmente individuare soluzioni per il suo utilizzo in un'ottica di economia circolare volta al recupero degli scarti di produzione.



Figura 25 a e 25 b - Particolare del percolato raccolto (svariati litri)

Una volta che dalla canna fumaria e dagli sfiati il fumo cambia colore passando dal bianco latte all'azzurro si procede allo spegnimento del bruciatore, alla chiusura di tutte le bocche ed alla sigillatura di ogni possibile ingresso di ossigeno per consentire una completa carbonizzazione del residuo vegetale all'interno del forno. Da questo momento è possibile lasciare incustodito l'impianto in attesa dell'apertura che avverrà non prima di un paio di giorni (per questa quantità) in modo tale da permettere il raffreddamento della massa interna limitando così il rischio di combustione e incendio del materiale.

Passato questo periodo si può procedere alla rimozione del coperchio del forno tramite carrello elevatore, è inoltre consigliato irrorare con acqua il materiale carbonizzato per inibire la formazione di polvere di carbone e eliminare il rischio di generare fiamme nel caso fossero presenti residue braci nella parte bassa del forno. Fatto questo si può procedere all'estrazione del biochar tramite l'apertura di scarico sul fondo e, aiutandosi con una pala o altro strumento per rompere la massa formatasi riempire il contenitore sottostante.



Figura 26 a e 26 b - Fase di scarico del biochar



Figura 27 - Particolare del prodotto finito

Al termine di questo primo test, partendo come si è detto da una massa secca totale di 300kg, si sono ottenuti 57 kg di biochar con un rendimento di circa il 19%. Il dato ricavato è riferito al peso del prodotto che però è stato bagnato durante lo scarico, quindi la presentazione dei dati effettivi è rimandata ai partner scientifici dopo l'essiccazione e la nuova pesatura del biochar ottenuto.

Il secondo test svolto ha visto un carico di materiale differente rispetto al precedente, le fascine di ulivo utilizzate erano alcune secche mentre altre verdi con un peso totale di 330kg. Oltre a queste sono stati aggiunti 245kg di travetti di abete con una dimensione di 70x70x1500mm ciascuno. Si è ottenuto un misto di carbone a dimensione grossolana dovuto ai travetti e di biochar più fino dovuto alle potature per un totale di 94kg di prodotto.

Per agevolare le operazioni di evacuazione del prodotto finito, si è utilizzato un cassone ribaltabile da posizionare sotto l'apertura di scarico tramite carrello elevatore, in modo tale da evitare lo spostamento del carbone usando attrezzi manuali quali badili o pale. Questa soluzione consente una maggior velocità di svuotamento del forno ed una maggior sicurezza di lavoro per gli operatori, in quanto, durante l'operazione, si genera nelle vicinanze una nuvola di polvere finissima di carbone che non dovrebbe essere inalata.



Figura 28a e 28b - Posizionamento del cassone per lo scarico del carbone

3.3.2.2. Revisioni progettuali necessarie

Al termine delle due sessioni di test sul forno, analizzando i vari step di lavoro ed i risultati finali con il partner scientifico Unitus che ha partecipato attivamente ad entrambe le prove, sono state evidenziate alcune migliorie necessarie per ottimizzare la produzione di biochar e semplificare il lavoro.

- Durante il ciclo di carbonizzazione si è notato che la temperatura nella parte bassa del forno, in corrispondenza del fondo inclinato di scarico, non era possibile raggiungere una temperatura uniforme e simile a quella degli altri punti di controllo posti più in alto. Questa situazione può essere ignorata nel caso in cui vengano inseriti per la carbonizzazione pali o rami che appoggiano sul perimetro rettangolare basso della struttura senza entrare nella parte inclinata. Diverso è invece, come nel nostro test, quando la totalità del forno è occupata da potature fini, in questo caso risulta molto difficoltoso riuscire ad ottenere una perfetta ed uniforme carbonizzazione del materiale vegetale. Per ovviare a questo inconveniente si è optato per aggiungere due oblò supplementari sulla parte inclinata destra e sinistra del fondo. Mantenendo tutti gli sfiati chiusi sul resto del forno ed aperti solo questi due, si obbliga il vapore ed il fumo ad uscire dal basso convogliando così la maggior parte del calore nel fondo aumentandone la temperatura fino ad eguagliare quella della parte superiore.



Figura 29 - Particolare sfiato aggiuntivo



Figura 30 - Vista complessiva

- Il materiale legnoso con cui si alimenta il bruciatore, in questo caso cippato di piccole dimensioni, è risultato essere sempre troppo umido rendendo difficoltosa sia l'accensione che la gestione della fiamma durante tutto il tempo di lavoro. Si è deciso quindi di realizzare 4 contenitori mobili da agganciare ai fianchi del forno e, sfruttandone il calore emesso, essiccare il cippato prima di essere utilizzato come combustibile. Una forma rettangolare più o meno larga a seconda del punto di aggancio al forno e con il lato esterno traforato per disperdere il vapore acqueo è risultata la conformazione più semplice ed efficace. Per semplificare ulteriormente il carico e scarico del materiale si è lasciata libera la parte superiore e realizzata una chiusura a saracinesca per il fondo.

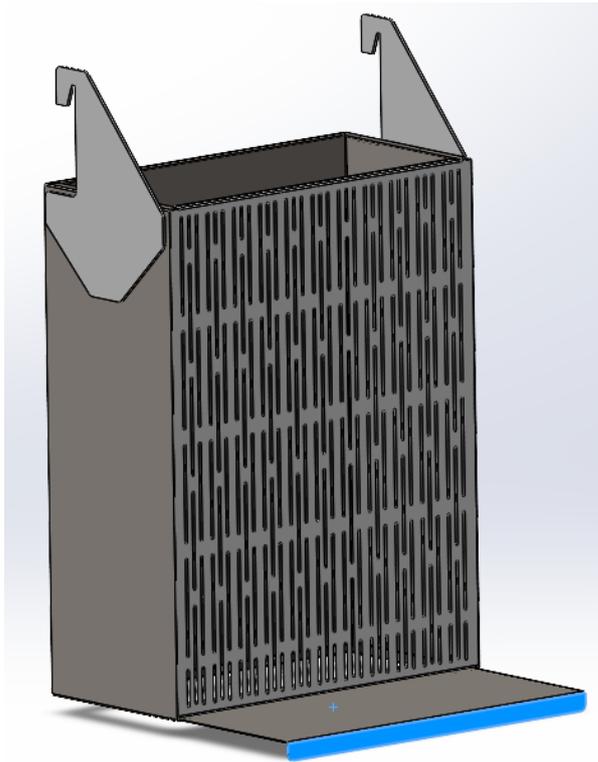


Figura 31 - Progetto 3D del box di essiccazione cippato

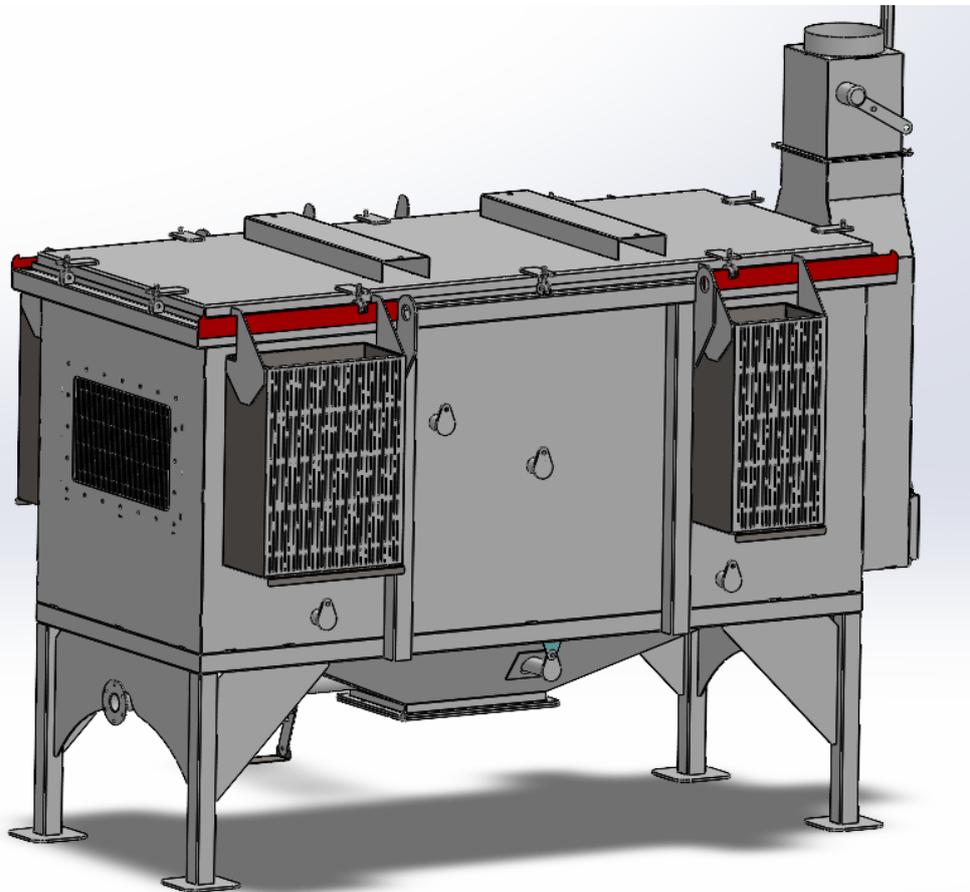


Figura 32 - Vista complessiva di progetto dopo le modifiche



Figura 33 - Box installati

- Ultima modifica apportata è quella della sostituzione della sonda termica digitale, questo perché ci siamo accorti che il cavo della stessa risultava essere troppo corto obbligando la centralina a restare troppo vicino al forno con il rischio di surriscaldamento delle componenti elettroniche ed elettriche. Si è così provveduto a sostituire la sonda con il cavo da 2.8m con una da 5m di lunghezza e pari caratteristiche funzionali.

3.3.2.3 Test conclusivi

Una volta terminate le modifiche concordate con il partner scientifico Unitus, si è provveduto al trasporto ed installazione dell'impianto pilota presso la segheria Vinciarelli. Qui sono stati eseguiti i test finali per determinare l'effettivo miglioramento determinato dalle migliorie e la capacità di produzione di carbone con scarti di legname a pezzatura maggiore rispetto alle potature di ulivo.



Figura 34 - Trasporto dell'impianto in sito



Figura 35 - Caricamento del forno con scarti di segheria



Figura 36 - Processo di carbonizzazione presso la segheria Vinciarelli

Con una carica a volume completo di scarti di legname di castagno ed abete si è ottenuta una produzione di carbone di dimensioni medio grandi di circa 250 kg. Le modifiche apportate agli sfiati nella parte bassa del forno hanno migliorato sensibilmente l'uniforme distribuzione del calore all'interno della camera, consentendo così una più omogenea carbonizzazione del legno, i box aggiuntivi mobili ai fianchi del forno, hanno svolto egregiamente la loro funzione di essiccazione preventiva del cippato destinato alla combustione nel bruciatore ed il cavo della sonda termica più lungo ha consentito l'installazione del quadro comandi lontano dalle fonti di calore su di un lato della tramoggia di carico dello stesso.



Figura 37 - posizione definitiva del quadro comandi



Figura 38 - Carbone ottenuto da scarti di segheria

In conclusione, alla luce dei test eseguiti sul prototipo, si può concludere che il bruciatore con il relativo quadro comandi opera in maniera puntuale e precisa fermando e riattivando la produzione di calore quando richiesto, il collettore assolve la funzione specifica senza subire deformazioni apprezzabili o surriscaldamenti eccessivi nei punti critici, il corpo principale garantisce stabilità e ripetibilità del processo fino all'ottenimento di un ottimo prodotto finale. Tutte queste considerazioni sono il risultato delle revisioni progettuali applicate e dell'esperienza acquisita nella gestione complessiva del processo di carbonizzazione utilizzando questa nuova tecnologia di produzione.