

AVVISI PUBBLICI REGIONALI DI ATTUAZIONE PER L'ANNO 2017 DEL TIPO DI OPERAZIONE 16.1.01 "SOSTEGNO PER LA COSTITUZIONE E LA GESTIONE DEI GRUPPI OPERATIVI DEL PEI IN MATERIA DI PRODUTTIVITA' E SOSTENIBILITA' DELL'AGRICOLTURA "

FOCUS AREA 5C DGR N. 2376 DEL 21 DICEMBRE 2016

RELAZIONE TECNICA FINALE

DOMANDA DI SOSTEGNO: **5015530**

DOMANDA DI PAGAMENTO: **5212234**

FOCUS AREA: 5C

Titolo Piano	RBR-EAS- Riutilizzo di biomasse residuali per uso energetico, agronomico e in stalla
Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario)	Fondagri (Fondazione per i Servizi di Consulenza Aziendale in Agricoltura)
Elenco partner del Gruppo Operativo	CNR – IBE (Consiglio Nazionale delle Ricerche -Istituto per la Bioeconomia) CRPV – Centro Ricerche Produzioni Vegetali soc. coop. Martini Società Agricola S.S.

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	36
Data inizio attività	30/08/2017
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	31/12/2020

Relazione relativa al periodo di attività dal	30/08/2017	Al 31/12/2020
---	------------	---------------

Data rilascio relazione	
-------------------------	--

Autore della relazione	Claudio Selmi – CRPV		
telefono		email	cselmi@crpv.it

1 Descrizione dello stato di avanzamento del Piano

Lo sviluppo delle attività del Piano è iniziato nell'agosto 2017 ed è terminato nel dicembre 2020. In sintesi, le attività complessivamente svolte nel corso del progetto sono state le seguenti:

L'azione 1 - Cooperazione è stata realizzata come previsto seguendo i percorsi e utilizzando i diversi strumenti indicati nel piano.

Nell'Azione 3.1 (Impieghi energetici) sono state caratterizzate per quanto riguarda il loro potere calorifico, differenti biomasse disponibili nella tipologia di azienda partecipante al GOI e svolta una indagine sulla loro diffusione nella Provincia di Forlì, privilegiando, nell'Area D, oggetto preferenziale di questo bando, le zone di collina e prima montagna.

E' stata svolta la caratterizzazione chimico-fisica di biochar potenzialmente ottenibili dalle biomasse sopra indagate e si è provveduto alla fornitura del biochar necessario per lo svolgimento delle seguenti sotto-azioni.

Nell'Azione 3.2 (Impieghi agronomici) si è provveduto all'allestimento e alla conduzione della prova di distribuzione di biochar, letame e biochar+letame su un appezzamento destinato alla coltura di grano tenero a uso mangimistico. A fine prova sono stati raccolti i dati produttivi utili a una verifica dell'impiego agronomico del biochar.

Nell'Azione 3.3 (Impieghi in stalla) si è provveduto a valutare l'effetto del biochar nel contenimento delle emissioni di gas a effetto serra, distribuito su letame e altre matrici derivanti dagli allevamenti zootecnici (liquame e digestato).

L'Azione 4 (Divulgazione) ha previsto l'organizzazione di 3 incontri tecnici e tre visite guidate presso le strutture (campo e stalla) dell'Azienda Agricola Martini. Sono stati inoltre prodotti i 3 articoli divulgativi preventivati ed è stato realizzato un audiovisivo sugli obiettivi e sui risultati del progetto. Infine CRPV ha dedicato al progetto una pagina web sul proprio sito, raggiungibile anche attraverso l'app CRPV PEI, sulla quale sono disponibili i materiali prodotti.

1.1 Stato di avanzamento delle azioni previste nel Piano

Azione	Unità aziendale responsabile	Tipologia attività	Mese inizio attività previsto	Mese inizio attività reale	Mese termine attività previsto	Mese termine attività reale
1 - Cooperazione	CRPV	Esercizio della Cooperazione	1	5	33	40
3.1 – Impieghi energetici	Fondagri, CRPV, CNR-IBE	Azioni dirette alla realizzazione del piano	1	5	18	27
3.2 – Impieghi agronomici	CNR-IBE	Azioni dirette alla realizzazione del piano	5	11	33	40
3.3 – Impieghi in stalla	CNR-IBE	Azioni dirette alla realizzazione del piano	8	11	33	39
4 - Divulgazione	CRPV	Azioni dirette alla realizzazione del piano	8	11	33	40

2 Descrizione per singola azione

AZIONE 1 – ESERCIZIO DELLA COOPERAZIONE

2.1 Attività e risultati

Unità aziendale responsabile (UAR): CRPV

Descrizione attività

CRPV, in veste di leader del coordinamento del Piano di innovazione, in stretta collaborazione con il Beneficiario, ha pianificato e messo in atto tutte le iniziative necessarie a realizzare l'attività progettuale e conseguire i risultati previsti dal Piano.

All'inizio del progetto è stato costituito un Comitato di Piano (CP) per la gestione e il funzionamento dello stesso,

Il RP si è occupato di coordinare le attività complessive e le azioni di divulgazione in stretto accordo col beneficiario. Per tutta la durata del Piano, il RP e il RB hanno svolto una serie di attività funzionali a garantire la corretta applicazione di quanto contenuto nel Piano stesso e, in particolare: il monitoraggio dello stato d'avanzamento dei lavori; la valutazione dei risultati in corso d'opera; l'analisi degli scostamenti, comparando i risultati intermedi raggiunti con quelli attesi; la definizione delle azioni correttive.

In generale, il RB e il RP si sono occupati di coordinare nel complesso tutte le attività, animando il GO, seguendone il percorso e verificandone la coerenza e buon sviluppo (attraverso contatti telefonici ed e-mail, incontri e sopralluoghi in campo).

Durante il costante monitoraggio dei lavori ed i risultati via via raggiunti, si è valutata la necessità di azioni correttive e modifiche di seguito meglio specificate.

Al termine del progetto, il RP e il RB hanno completato l'analisi dei risultati ottenuti, ai fini anche della predisposizione della relazione tecnica conclusiva oltre alle altre documentazioni necessarie per la rendicontazione amministrativo-economica.

- In particolare, sono di seguito descritti i punti di monitoraggio delle diverse attività svolte dal Comitato di Piano nel periodo agosto 2017 – dicembre 2020.
- Attivazione del progetto e costituzione del Comitato di Piano: 21/12/2017
- Riunione Comitato di Piano: 21/01/2018
- Visita Azienda Martini e riunione di progetto: 18/01/2018
- Visita Azienda Martini: 12/07/2018
- Visita Azienda Martini e riunione di progetto: 09/11/2018
- Coordinamento progetto con RS presso CNR-IBE: 27/11/2019
- Coordinamento progetto con Beneficiario presso Fondagri: 29/01/2020

- Visita Azienda Martini e riunione di progetto: 11/11/2020

Infine, il 13/12/20 si sono riuniti il RP e il RB per l'esame dei risultati e per impostare la rendicontazione conclusiva.

Autocontrollo e Qualità

Il Beneficiario si è avvalso delle Procedure e delle Istruzioni operative approntate nell'ambito del proprio Sistema Gestione Qualità dal CRPV, che ha lavorato al fine di garantire efficienza ed efficacia al progetto, come segue:

- Requisiti, specificati nei protocolli tecnici, rispettati nei tempi e nelle modalità definite;
- Rispettati gli standard di riferimento individuati per il progetto;
- Rispettate modalità e tempi di verifica in corso d'opera definiti per il progetto;
- Individuati i fornitori ritenuti più consoni per il perseguimento degli obiettivi.

La definizione delle procedure, attraverso le quali il Responsabile di Progetto ha effettuato il coordinamento e applicato le politiche di controllo di qualità, sono la logica conseguenza della struttura organizzativa del CRPV. In particolare sono state espletate le attività di seguito riassunte.

Attività di coordinamento

Le procedure attraverso le quali si è concretizzato il coordinamento dell'intero progetto si sono sviluppate attraverso riunioni e colloqui periodici con il Responsabile del Beneficiario, il Responsabile Scientifico e con quelli delle Unità Operative coinvolte.

Attività di controllo

La verifica periodica dell'attuazione progettuale si è realizzata secondo cadenze temporali come erano state individuate nella scheda progetto. Più in particolare è stata esercitata sia sul funzionamento operativo che sulla qualità dei risultati raggiunti; in particolare è stata condotta nell'ambito dei momenti sotto descritti.

- Verifiche dell'applicazione dei protocolli operativi in relazione a quanto riportato nella scheda progetto;
- Visite al campo sperimentali (frumento) e alle stalle.

Riscontro di non conformità e/o gestione di modifiche e varianti

Proroga

E' stata richiesta una proroga del termine delle attività previste per il Progetto PSR 2014-2020 – Focus Area 5C “Riutilizzo di biomasse residuali per uso energetico, agronomico e in stalla” (domanda di sostegno n. 5015530) al 31 dicembre 2020. Ciò in considerazione delle restrizioni alla mobilità imposte dalle misure per il contrasto e il contenimento della diffusione del virus Covid-19 che non hanno permesso di svolgere alcune attività previste e per la necessità di svolgere ulteriori validazioni in campo e in stalla per un più completo raggiungimento degli obiettivi prefissati nel progetto.

Modifiche alle attività del Piano Operativo

E' stata comunicata ai competenti uffici regionali l'impossibilità, nell'ambito della Azione 3.3 Impieghi in stalla di valutare l'aggiunta di biochar nella razione degli animali, perché gli stessi allevati in regime biologico.

A compensazione di tale attività, previa consultazione dei referenti del Gruppo Operativo, il Responsabile Scientifico del progetto, ha ritenuto opportuno potenziare le valutazioni della capacità del biochar di limitare le emissioni di gas climalteranti dalla lettiera animale e dal letame.

Gli obiettivi prefissati nel progetto non sono stati assolutamente compromessi e per lo svolgimento delle attività non si sono verificate modifiche dell'impegno complessivo del personale né della sua assegnazione finanziarie.

Si è comunicato ai competenti uffici regionali l'elenco del personale che CNR – IBE avrebbe impegnato nel progetto ad integrazione di quello precedentemente indicato nel Piano Operativo, ferma restando l'assegnazione finanziaria concessa, allegando i curriculum vitae delle persone indicate.

Si è comunicato ai competenti uffici regionali il cambiamento di ragione sociale di TEA Società Cooperativa che ha acquisito la denominazione di PENG SRL e successivamente la rinuncia della stessa, per mutate condizioni organizzative, all'esecuzione delle previste prove di combustione sulle diverse tipologie di biomasse.

Fondagri ha in seguito predisposto, come richiesto dal bando, la richiesta di preventivo a quattro fornitori in grado di eseguire le sopra descritte prove di combustione su biomasse. Non essendo stato possibile pervenire ad almeno tre delle richieste previste, si è deciso di non svolgere le prove di combustione, non rendicontandone l'importo finanziario, e di desumere i dati analitici relativi a biomasse legnose ed erbacee, da una indagine di letteratura e di analoghe prove eseguite nel corso di attività sperimentali e dimostrative.

Tutte le attività svolte come previsto nella procedura specifica di processo sono registrate e archiviate nel fascicolo di progetto e certificate attraverso visite ispettive svolte dal Responsabile Gestione Qualità del CRPV.

Il Sistema Qualità CRPV, ovvero l'insieme di procedure, di misurazione e registrazione, di analisi e miglioramento e di gestione delle risorse, è monitorato mediante visite ispettive interne e verificato ogni 12 mesi da Ente Certificatore accreditato (DNV-GL).

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

Si ritiene che, nonostante le criticità già evidenziate, gli obiettivi del piano siano stati raggiunti.

2.2 Personale

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo (€)
AZIONE 1				
	Impiegato	Supporto all'esercizio cooperazione	6,00	125,76
	Impiegato	Tecnico di Progetto	96,00	2.794,96
	Impiegato	Coordinamento	42,00	2.299,84
	Impiegato	Segreteria	16,00	392,88
	Impiegato	Responsabile qualità	2,00	56,20
	Impiegato	Amministrazione	64,50	1.517,17
	Impiegato	Amministrazione	63,00	2.356,77
			Totale	9.543,58

2.8 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

CONSULENZE - PERSONE FISICHE

Fondagri

Nominativo del	Importo contratt	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo (€)
	40.000,00	Esercizio Cooperazione	5.000,00
Totale:			5.000,00

AZIONE 3.1 – Impieghi energetici

2.1 Attività e risultati

Unità aziendale responsabile: CNR-IBE

Partecipano alle attività: **Fondagri e CRPV**

Descrizione attività

Preliminarmente si propone una disamina, curata da CNR-IBE, sul ruolo delle biomasse provenienti dal settore primario nella costruzione di percorsi sostenibili di bioeconomia, in sintonia con la dichiaratoria della Focus area di riferimento del Piano Operativo (5C):

“Favorire l'approvvigionamento e l'utilizzo di fonti di energia rinnovabili, sottoprodotti, materiali di scarto e residui e altre materie grezze non alimentari ai fini della bioeconomia”

Il ruolo delle biomasse residuali provenienti dal settore primario nel fornire materie prime necessarie per percorsi sostenibili in bioeconomia.

Il 28 novembre 2018 la Commissione Europea si è riunita per discutere una nuova visione strategica, a lungo termine, per un'economia prospera, moderna, competitiva e climaticamente neutra. In tale occasione si ribadisce l'impegno dell'Europa a guidare l'azione internazionale per il clima tracciando una transizione verso l'azzeramento delle emissioni nette di gas a effetto serra entro il 2050. Non si evidenziano nuove strategie politiche, né vengono riveduti gli obiettivi fissati per il 2030, ma si sviluppano linee guida per indirizzare le politiche UE sul clima e l'energia. Si ricordi che l'Europa è responsabile del 10% delle emissioni mondiali di gas serra e già dal 2009 erano stati prefissati obiettivi per ridurre questa quota in un'ottica di un'economia a zero emissioni nette di gas serra. Una delle principali strategie, nonché aspetto fondamentale, punta al raggiungimento di questa economia ideale a zero emissioni attraverso l'efficientamento energetico. Il futuro energetico dell'Europa, in un mondo interdipendente, deve tenere però conto anche di altri punti fondamentali, quali: aumentare sostanzialmente la quantità di energia utilizzata da fonti rinnovabili, utilizzare sempre più idrocarburi “puliti” ed infine migliorare e rafforzare il mercato del carbonio dell'UE; In parallelo consolidare la ricerca, l'istruzione e l'innovazione. Per aumentare la sostenibilità dell'intero continente Europeo, molti studi evidenziano il ruolo della bioeconomia come strategia economica fondamentale da abbinare al modello di economia circolare. Già nel corso del 2012, la Commissione Europea pubblicò la sua "strategia per la bioeconomia", che proponeva un approccio globale per affrontare le sfide ecologiche, ambientali, energetiche, alimentari e delle risorse naturali che l'Europa e il mondo dovevano affrontare. Gli enormi volumi di sostanza organica e di flussi di scarti provenienti da agricoltura, silvicoltura, pesca, scarti organici di produzione di cibo e mangimi possono essere integrati solo nell'economia circolare attraverso processi di bioeconomia, mentre la bioeconomia trarrà enormi vantaggi da una maggiore circolarità. Molte risorse naturali sono certamente limitate e dobbiamo innovarci per utilizzarle nel modo più sostenibile possibile, sia a livello ambientale, sia a livello economico. Una bioeconomia circolare può servirsi dei principi della circolarità e, allo stesso tempo, di tecniche e processi promossi dalla bioeconomia. In questo

contesto, si prevede che le biomasse residuali provenienti dal settore primario, svolgano un ruolo importante nel fornire le materie prime necessarie per percorsi sostenibili in bioeconomia. Molti studi evidenziano che l'utilizzo delle biomasse residuali a fini energetici, causa impatti globali inferiori rispetto all'uso dei combustibili fossili per la medesima produzione di energia. Sempre l'unione Europea mette in luce come queste biomasse residue siano un potenziale non sfruttato, nonché possono essere viste come materia prima che consente di ingrandire lo stock base delle biomasse. Le nuove politiche ritengono che l'uso delle biomasse residue sia la soluzione, in parte, alla decarbonizzazione del sistema energetico come evidenziato anche nella strategia UE al 2050. L'approvvigionamento energetico dell'Italia è sempre stato pesantemente influenzato dalle importazioni di combustibili fossili da paesi esteri. Fortunatamente negli ultimi 20 anni le politiche, supportate dalle strategie europee, hanno consentito di poter sfruttare meglio le nostre risorse energetiche rinnovabili. Da tempo l'Italia ricorre a strumenti volti a migliore sicurezza energetica, tutela dell'ambiente e accessibilità dei costi dell'energia, contribuendo agli obiettivi europei in materia di energia e ambiente. Questi strumenti sono stati ribaditi anche nell'ultima proposta del 3 Piano Energia e Clima 2030. Un esempio è la nuova direttiva sull'efficienza energetica oppure la nuova direttiva sulle fonti rinnovabili. Per raggiungere gli obiettivi futuri diviene necessaria una decisa azione di coordinamento tra i vari soggetti (Amministrazioni, Regioni, istituti scientifici e gestori dell'energia) integrando le politiche energetiche con quelle di altri settori, in modo da assicurare coerenza d'approccio e cogliere le possibili sinergie, anche per offrire opportunità di sviluppare nuove filiere produttive. La biomassa residua, in particolare quella generata dal settore agricolo, forestale e agroindustriale si evidenzia come materiale diffuso e abbondante non classificato come rifiuto e potenzialmente sfruttabile come materia prima per la produzione di bioenergia sia mediante processi termochimici che biochimici. Tuttavia, data l'elevata dispersione territoriale, la raccolta difficoltosa ed i trasporti necessari alla sua concentrazione, gli aspetti logistici svolgono un ruolo chiave ed incidono sui costi e sul reale sfruttamento della biomassa stessa. La dispersione territoriale non deve essere considerata come un problema, anzi le biomasse sono largamente disponibili sul territorio italiano e possono essere considerate una risorsa locale, che potrebbe portare benefici non indifferenti all'economia italiana. Nello specifico dell'ambito agricolo, biomasse residuali come paglia di cereali, stocchi di mais, scarti di potatura di vigenti, oliveti e frutteti, ecc. e la messa in opera di filiere di recupero di queste biomasse appaiono di fondamentale importanza, per produrre bioenergie senza utilizzare terreno per culture energetiche. Per favorire queste filiere di recupero e produrre scenari di utilizzo, occorre sempre avere un quadro della tipologia di residuo e dell'effettiva disponibilità di biomassa residua all'interno di un territorio omogeneo. In funzione della tipologia di biomassa, le modalità di conversione ai fini energetici possono essere di tipo biochimico (degradazione della sostanza organica da parte di enzimi, funghi o microorganismi) o termochimico (reazioni chimiche di calore). Nell'ambito del biochimico troviamo la digestione anaerobica (secco o umida) ed aerobica, viceversa nel termochimico troviamo la combustione, la gassificazione e la pirolisi. Alcuni lavori di letteratura riportano che, ad esempio, i residui vegetali quali pomodori, patate, barbabietole ecc., possono essere utilizzati, previa autorizzazione, in digestori anaerobici allo scopo di produrre biogas ed energia; mentre residui come potature o sarmenti di vite generalmente sono destinati a processi termochimici. In altro tipo di contesto, i residui di potatura risultano valorizzati tramite processi termochimici o per

combustione diretta; questo permette la riduzione delle spese dell'azienda e riduce i rifiuti da smaltire. L'uso delle biomasse solide come fonte energetica è spesso criticato per una serie di ragioni legate alla bassa densità energetica dei prodotti e all'impatto ambientale causato da alcuni sistemi di conversione energetica (emissioni in atmosfera di sostanze inquinanti). Queste osservazioni trovano delle ragioni specie se le biomasse considerate sono soprattutto quelle di minor pregio, quali le residuali di alcune lavorazioni di intervento forestale, del verde urbano, dell'agricoltura e del settore agroalimentare. Normalmente queste biomasse contengono molta umidità e si presentano con granulometria grossolana e molto variabile, con conseguenze negative sulla densità energetica. Tale fattore migliora, solo in parte, ricorrendo alla pellettizzazione della biomassa grezza, con la quale si aumenta la massa volumica e si riduce il contenuto di umidità. In generale, le biomasse solide presentano una costituzione chimica molto variabile composta di emicellulosa, cellulosa, lignina e di sostanze organiche varie. Tali frazioni, ciascuna delle quali ulteriormente contraddistinta da un certo grado di eterogeneità, assumono comportamenti differenti in fase di combustione. Pertanto, per essere utilizzate in modo ottimale, efficiente e con ridotto impatto ambientale necessitano di condizioni molto diverse di combustione.

Nel caso specifico della regione Emilia-Romagna è stato approvato recentemente il regolamento forestale regionale 08/2018 n°3 in attuazione dell'art. 13 della L.R. n° 30/1981. Precisando, all'art. 58 le Cautele per l'accensione del fuoco e la prevenzione degli incendi, che l'abbruciamento dei residui delle lavorazioni agricole è:

- a) ovunque vietato nei periodi dichiarati di grave pericolosità ai sensi dell'art. 182 del D.Lgs. 152/2006 (c. 6bis);
- b) consentito nei periodi normali (art. 58 comma 5 e 6 regolamento forestale) nel rispetto delle seguenti modalità, sintetizzate nei seguenti punti: 1. se avviene a distanza superiore a 100 metri dai margini esterni di boschi, nei castagneti da frutto, negli impianti di arboricoltura da legno, nei terreni saldi o nei terreni saldi arbusti o cespugliati, sul luogo di produzione senza darne comunicazione all'autorità competente; 2. Se avviene a distanza inferiore a 100metri, previa comunicazione al corpo dei Vigili del Fuoco, precisando Comune e località in cui si effettuerà l'abbruciamento e tale deve terminare entro le quarantotto ore successive al momento in cui viene dato l'avviso; il terreno su cui si svolge l'operazione deve essere circoscritto, custodito ed isolato e si deve procedere all'abbruciamento in assenza di vento ed in giornate particolarmente umide. 3. L'abbruciamento di materiale deve avvenire sul luogo di produzione, raggruppando il suddetto materiale in piccoli cumuli e nei limiti di quanto previsto per le normali pratiche agricole della normativa vigente in materia di gestione dei rifiuti (3 mc. steri per ettaro al giorno) 4. Sono fatte salve le prescrizioni connesse a emergenze di carattere fitosanitario stabilite con strumenti dell'autorità competente in materia di tutela fitosanitaria 5. Sono sempre fatti alvi eventuali provvedimenti e ordinanze delle autorità di protezione civile che possono in ogni caso sospendere le deroghe ai divieti di accensione dei fuochi di cui sopra.

La Produzione di Biomasse residuali agricole può essere valorizzata, a seconda della tipologia, in percorsi dedicati allo scopo di produrre energia. All'interno di questo progetto è stato utilizzato un processo di combustione di biomasse in assenza di ossigeno, detto pirolisi. Da questo processo è possibile ottenere un gas (syngas) con un medio potere calorifico, che può essere utilizzato per la produzione di energia elettrica e calore, ed un sottoprodotto solido chiamato char o biochar e in

italiano carbone vegetale. Le caratteristiche del biochar, dipendono esclusivamente dal materiale di origine e dal processo di produzione che può essere principalmente di due tipi: pirolisi o gassificazione. Il processo è endotermico, e parte del calore di cui necessita deriva dalla combustione dei prodotti ottenuti. Il processo di pirolisi avviene in un range di calore tra i 400-700°C, l'azione di calore su di un materiale si esplica attraverso la rottura delle molecole complesse con conseguente formazione di composti più leggeri; il risultato è la formazione di: solidi (carbone/char), liquidi (catrame o bio-oil) e gas (CH₄, CO, CO₂, H₂, C₂H₄, C₂H₆) quest'ultimi rappresentano in peso il 15-30% del prodotto iniziale, con un incidenza percentuale crescente con la temperatura del processo. I prodotti ottenuti vengono utilizzati, oltre per la combustione del processo stesso, come fonti per la produzione di energia o basi per la sintesi di nuove sostanze chimiche. Solitamente questo processo viene utilizzato per la conversione termochimica di biomasse non adatte alla conversione biochimica, ad esempio materiali legnosi. Dalle condizioni operative con le quali viene condotta la pirolisi, in particolare la temperatura ed il tempo di esposizione del materiale a tale trattamento e, dal tipo di materiale trattato, dipendono le caratteristiche del prodotto finale e le sue quantità. Tempi lunghi di esposizione a temperature moderate favoriscono la produzione di char, mentre un'esposizione limitata a temperature medio alte massimizza la produzione delle frazioni liquide. La biomassa di partenza ha un ruolo importante nel determinare le proprietà finali del biochar. Sia la composizione chimica che la struttura fisica dei materiali iniziali si riflettono sul prodotto finale. Il biochar può essere ricavato dalla biomassa organica di diversa natura, al momento la materia prima utilizzata. La biomassa di partenza è normata da quando il biochar nel 2015 è entrato nella legge '75 degli ammendanti e fertilizzanti. Il processo di pirolisi influisce notevolmente sulle caratteristiche e le proprietà del biochar e, di conseguenza, sul suo valore potenziale in termini di prestazioni agronomiche o di sequestro di carbonio. Sia il processo che i suoi parametri, principalmente temperatura finale raggiunta e tempo di permanenza, sono particolarmente importanti per determinare la natura del prodotto finale.

1) PROVE DI COMBUSTIONE

Come più sopra indicato (Azione 1 – Esercizio della Cooperazione), non è stato possibile svolgere le previste prove di combustione di differenti tipologie di biomasse in disponibilità attuale o potenziale dell'azienda agricola Fratelli Martini, per verificarne il potere calorifico. In sostituzione di questa attività, si è proceduto a ricavare tale dato da una indagine di letteratura e da prove sperimentali e dimostrative precedentemente eseguite.

I dati analitici sono stati integrati da informazioni e considerazioni che meglio li descrivono e li circostanziano rispetto all'obiettivo dell'azione.

i. Biomasse residuali dal comparto agricolo

Il comparto agricolo può fornire un'ampia gamma di materiali impiegabili a fini energetici, e comprende sia prodotti residuali di coltivazioni, sia materiali derivanti da coltivazioni specialistiche dedicate alla produzione di biomassa combustibile. Per la finalità del presente progetto l'attenzione viene posta al solo riutilizzo di biomasse residuali.

Infatti, come richiamato negli obiettivi generali del Piano Operativo, le aziende agricole hanno più o meno disponibilità di biomassa di recupero derivante da attività di manutenzione di terreni, boschi e foreste o da residui della raccolta o di sfalci, quondanche da scarti della produzione.

Considerando la tipologia delle aziende agricole, situate cioè in aree rurali con problemi di sviluppo (Aree D) da sub-collinari ad aree di prima montagna, le biomasse più facilmente a disposizione possono essere:

- i residui colturali legnosi provenienti dalla gestione del bosco, di vigneti, frutteti e oliveti;
- altri residui colturali provenienti dalle coltivazioni di cereali e altri seminativi (leguminose, oleaginose, ecc.).

Per le colture annuali la preferenza viene data a quelle non irrigue per la limitata disponibilità di acqua nel territorio e con sufficienti caratteri di rusticità per minimizzare l'apporto di input esterni (lavorazioni, concimi, antiparassitari) e favorire percorsi virtuosi di bioeconomia.

I. I residui agricoli

I residui agricoli comprendono l'insieme dei sottoprodotti derivanti dalla coltivazione di colture, generalmente a scopo alimentare, altrimenti non utilizzabili o con impieghi alternativi marginali. Non tutti i residui provenienti da questo comparto sono utilmente destinabili alla produzione di energia sia a causa delle loro caratteristiche fisiche ed energetiche, sia a causa di barriere economiche (costi di raccolta, bassa densità per unità di superficie) che ne limitano le possibilità di impiego.

Sono ritenuti idonei alla trasformazione energetica i seguenti prodotti residuali:

1. paglie dei cereali autunno-vernini (frumento tenero e duro, orzo, avena, segale);
2. stocchi, tutoli e brattee di mais;
3. sarmenti di potatura della vite;
4. ramaglia di potatura dei fruttiferi;
5. frasche di olivo.

II. Le paglie dei cereali autunno-vernini (frumento tenero e duro, orzo, avena e segale)

Questa tipologia di residuo colturale è disponibile nella maggior parte delle aziende agricole, per la versatilità delle colture ai diversi ambienti pedologici, alle diverse altitudini di coltivazione (pianura, collina, prime quote di montagna) e per la facilità di introduzione dei cereali nell'ordinamento colturale (in primis essendo colture seccagne).

Le paglie che restano sul campo dopo la trebbiatura rappresentano il principale sottoprodotto dei cereali autunno-vernini, coltivati per la produzione di granella. Sebbene questo materiale frequentemente venga lasciato sul campo per essere interrato, oppure venga raccolto e utilizzato come lettiera o, più raramente, come alimento per gli animali, può trovare utilità anche a fini energetici: la paglia è infatti caratterizzata da un p.c.i. che varia tra 3.300-4.200 kcal/kg di sostanza secca (s.s.) e ha un'umidità alla raccolta del 14-20%. Tuttavia la quantità disponibile, per ettaro di superficie, è piuttosto bassa e varia tra 3 e 6 t/ha anno, in proporzione alla quantità di granella raccolta. Quando è prevista la raccolta, le paglie vengono lasciate in andane (file parallele) dalla mietitrebbiatrice e, successivamente, confezionate in balle. Il periodo utile per tale operazione è di 15-45 giorni dopo la raccolta della granella, in funzione del periodo di trebbiatura (giugno-luglio),

dell'andamento climatico e dell'ordinamento colturale (tale periodo si riduce a pochi giorni qualora il cereale preceda una coltura di secondo raccolto come nel caso, ad esempio, dell'orzo seguito dal mais).

III. Stocchi, tutoli e brattee di mais

I sottoprodotti del mais da granella sono gli stocchi, i tutoli e le brattee di mais. I tutoli e le brattee di mais hanno un p.c.i. di 4.000-4.300 kcal/kg di ss e un'umidità alla raccolta del 30-55%.

Il quantitativo complessivamente raggiungibile, raccolto direttamente dalla mietitrebbiatrice, varia tra 1,5 e 2,5 t/ha, in base alle condizioni della coltura al momento della trebbiatura e alle caratteristiche costruttive della barra di raccolta. Gli stocchi sono caratterizzati da un p.c.i. di 3.700-3.800 kcal/kg di ss e da un'umidità alla raccolta del 40-60%. La produttività è di circa 4-5 t/ha anno. Attualmente sono utilizzati per lo più come lettiera negli allevamenti, ma possono trovare impiego anche a fini energetici. Possono essere recuperati successivamente alla raccolta della granella.

Il periodo utile per la raccolta risulta essere indicativamente di 30-40 giorni, se tale operazione è effettuata prima dell'inverno, di 50-90 giorni se l'intervento è realizzato nella primavera successiva (nel caso del mais in mono successione). La raccolta tardo-autunnale generalmente comporta maggiori criticità dovute all'elevato tasso di piovosità media tipico di questo periodo che aumenta l'umidità del prodotto e quindi ne riduce la qualità (sviluppo con muffe, perdite di sostanza secca sia in pre che in post raccolta, imbrattamento con fango), oltre a generare difficoltà nella transitabilità del terreno. La raccolta meccanica degli stocchi non presenta particolari difficoltà tecnico-operative: i cantieri di lavoro attualmente adottati prevedono la trinciatura (riduzione del materiale in piccole scaglie) e l'andanatura (disposizione del materiale in campo lungo file lineari) prima del confezionamento in balle cilindriche. In taluni casi alla trinciatura segue il trasporto diretto allo stoccaggio.

Tuttavia, nelle aree di localizzazione del presente Piano Operativo, è ipotizzabile esclusivamente la coltivazione di mais precoci, che non necessitano abitualmente di soccorso idrico.

IV. Sottoprodotti delle colture arboree da frutto (vite, olivo, altri fruttiferi)

Derivano dalle operazioni di potatura dei frutteti che si eseguono in epoche e con cadenze variabili in funzione delle colture attuate, nel periodo di riposo vegetativo. Nella pratica, tale materiale viene allontanato dall'appezzamento per evitare lo sviluppo di possibili fitopatologie. La possibilità di recuperare i residui di potatura (sarmenti di vite, frasche di olivo, ramaglie di frutteti) per un loro utilizzo a fini energetici è legata alla possibilità di procedere alla raccolta del materiale e quindi in funzione della densità d'impianto, delle modalità di potatura e al conseguente accrescimento delle piante (la forma di allevamento) nonché della disposizione (grado di frammentazione e pendenza) del terreno.

Le principali caratteristiche chimico-fisiche di alcune biomasse agricole vengono sintetizzate nella tabella che segue.

Tabella 1 - Principali caratteristiche chimico-fisiche dei residui colturali

Sottoprodotto agricolo	Umidità alla raccolta (%)	Produzione media (t/ha)	Rapporto C/N	Ceneri (% in peso)	p.c.i. (kcal/kg ss)
Paglia frumento tenero	14-20	3-6	120-130	7-10	4.100-4.200
Paglia frumento duro	14-20	3-5	110-130	7-10	4.100-4.200
Paglia altri cereali a.v.	14-20	3-5,5	60-65	5-10	3.300-3.400
Stocchi mais	40-60	4.5-6	40-60	5-7	4.000-4.300
Tutoli e brattee di mais	30-55	1,5-2,5	70-80	2-3	4.000-4.300
Sarmenti vite	45-55	3-4	60-70	2-5	4.300-4.400
Frasche di olivo	50-55	1-2,5	30-40	5-7	4.000-4.500
Residui fruttiferi	35-45	2-3	47-55	10-12	4.300-4.400

Sebbene i residui colturali rappresentino una fonte energetica facilmente accessibile, vanno considerate alcune criticità legate allo sfruttamento degli stessi e in particolare gli impieghi alternativi del materiale, la bassa produttività per unità di superficie e la composizione chimica delle biomasse. Per quanto riguarda il primo aspetto, legato al ruolo agronomico dei residui colturali, c'è da rilevare che le pratiche agricole normalmente in uso trattano in maniera differente i diversi residui: se i residui di potatura vengono comunque raccolti e asportati dal campo, i residui colturali del mais, sono normalmente lasciati sul campo e interrati; questa operazione permette infatti l'apporto di sostanze organiche al terreno al fine di migliorarne la struttura e di mantenerne la fertilità. Sebbene l'interramento di tale materiale sia una pratica valida in linea generale, non lo è in senso assoluto: l'interramento della paglia, ad esempio, nonostante a volte venga comunque eseguito, può alterare l'equilibrio del terreno a causa dell'elevato rapporto tra carbonio e azoto (rapporto C/N) che rende successivamente necessario l'arricchimento del terreno con composti azotati di origine chimica. La destinazione dei residui agricoli a fini energetici deve quindi essere valutata di volta in volta, tenendo presente che essa non è consigliabile quando ciò comporti dei risvolti negativi a livello agronomico.

Un'approfondita conoscenza delle caratteristiche chimico-fisiche del terreno agricolo si rivela dunque sempre necessaria al fine di definire correttamente un equilibrato livello di asportazione.

Un secondo aspetto riguarda le quantità disponibili per unità di superficie. Queste in genere sono relativamente modeste e spesso non giustificano la raccolta, l'asportazione e il trasporto della biomassa alla centrale termica, se troppo distante, o a un centro di produzione di pellettizzato o torrefatto, di tipo aziendale o consorziale, come quello ipotizzabile per soddisfare le esigenze di un certo numero di produttori agricoli che insistono su un delimitato territorio. Il basso peso specifico

del materiale inoltre fa aumentare il costo di trasporto per unità trasportata e diventa importante, quindi, anche la distribuzione sul territorio di tali residui.

Per quanto attiene infine alla composizione chimica dei residui agricoli va evidenziato che un alto contenuto in cenere può comportare complicazioni in fase di impiego della biomassa: in linea generale la presenza di ceneri aumenta il pericolo della formazione di scorie e depositi a danno dei bruciatori ed aumenta le emissioni di particolato.

In ogni caso la produzione di biomassa combustibile a partire dai residui agricoli è un'operazione semplice e relativamente economica, sia perché le macchine impiegate in fase di raccolta e condizionamento sono già normalmente in uso nella maggior parte delle aziende agricole, sia perché non vi sono criticità particolari che possano incidere sul costo complessivo. A questa filiera non vengono infatti imputati i costi di produzione del prodotto principale il quale ha un mercato diverso e in assenza del quale non si svilupperebbe la filiera energetica dei sottoprodotti.

V. Aspetti ambientali

Le biomasse possono contribuire alla mitigazione degli effetti dell'aumento della concentrazione di anidride carbonica (CO₂) in atmosfera in due modi:

- Immobilizzando la CO₂ atmosferica nei tessuti.
- Sostituendo le fonti fossili nella produzione di energia.

Il bilancio della CO₂ nella produzione di biomasse non è nullo se si considera l'intero ciclo di vita dei combustibili da biomassa, indipendentemente da quale sia il comparto di provenienza. Va rilevato infatti che le fasi di produzione, di lavorazione e di trasporto delle biomasse sono spesso responsabili di impatti negativi sull'ambiente determinati da consumi di energia e materie necessari a sostenere i processi. Le emissioni generate nelle fasi di produzione della materia prima sono però maggiori nelle filiere delle biomasse da colture dedicate, seguite dai residui forestali e, per finire, dai residui agricoli e da quelli industriali. Nella tabella 2 è riassunto il bilancio delle emissioni di anidride carbonica dei principali residui agricoli impiegabili a uso energetico. Le emissioni evitate sono state stimate in funzione del combustibile fossile sostituito (carbone, gasolio, metano) tenendo conto dei rispettivi poteri calorifici.

Tab.2 Emissioni di anidride carbonica evitate e prodotte per alcuni residui colturali

	Emissioni evitate	Emissioni prodotte
Residui colturali	kg CO ₂ /m ³	kg CO ₂ /m ³
Paglia cereali autunno-vernini	300-1100	20-75
Stocchi, tutoli e brattee di mais	800-1600	50-110
Paglia di riso	300-850	25-65
Sottoprodotti di colture arboree da frutto	1200-6000	15-60

VI. Il bilancio energetico dei combustibili da biomassa

Ai fini di valutare la sostenibilità dal punto di vista energetico dell'impiego delle biomasse in sostituzione ai combustibili fossili, ovvero la capacità delle stesse di fornire più energia di quanta spesa per la loro produzione, trasformazione e trasporto, è importante analizzare il bilancio energetico delle diverse filiere. Un indicatore spesso utilizzato è il rapporto tra l'output energetico, ovvero l'energia resa dal combustibile da biomassa, e l'input energetico, ovvero l'energia consumata nel ciclo produttivo dello stesso. Tale rapporto pone in evidenza infatti la capacità del biocombustibile di "ripagare" l'energia spesa per ottenerlo (Tab.3)

Tab. 3 - Rapporto tra energia resa ed energia risparmiata nella filiera delle biomasse energetiche

	Energia resa/consumata
Biomassa legnosa	
Tronchetti	8-8,7
Cippato (essiccato all'aria)	7,8-8,3
Pellet e bricchetti	13-15,4
Residui agricoli	
Paglia cereali, stocchi, tutoli e brattee di mais	18
Cippato da biomasse dedicate	
Erbacee annuali	7-8
Erbacee poliennali	10-11,5
Legnose	7-9,5
Pellet da biomasse dedicate	
Erbacee annuali	3,5-6
Erbacee poliennali	4-8,5
Legnose	3-5
Biocarburanti	
Bioetanolo da amilacee	1,2-3,7
Bioetanolo da saccarifere (barbabietola)	1-1,7
ETBE da barbabietola	1,3
Biodiesel da girasole	2,3
Biodiesel da colza	2,4
Biogas	2-3

VII. Esperienze realizzate

Si riportano di seguito alcune esperienze di applicazione sul territorio di utilizzo di biomasse residuali di origine agricola e forestale.

Il progetto IP-PELLET

A integrazione di quanto sopra detto, si riportano i dati relativi alle caratteristiche chimico-fisiche di due tipologie di pellet ottenuti dagli scarti di potatura di specie frutticole largamente diffuse quali kiwi e vite (in purezza e in miscela con una specie erbacea), a confronto con una coltura arborea dedicata quale il pioppo a ciclo corto di rotazione.

Tali dati (Tab. 4-5) sono fra i risultati di un progetto coordinato da CRPV in provincia di Ravenna "IP-PELLET Studio e sperimentazione per la produzione di pellet da residui di potatura e colture dedicate" finalizzato alla trasformazione di un impianto di produzione di erba medica disidratata in un impianto multifunzionale, in grado di produrre anche pellet.

Tab. 4 Caratteristiche analitiche delle diverse tipologie di pellet

Pellet da cippato	Diametro (mm)	Lunghezza (mm)	Umidità (% t.q.)	Ceneri (% s.s)	Azoto (% s.s)	Cloro (% s.s)	Zolfo (% s.s)	Rame (% s.s)
Vite	6,50	22,4	9,50	6,10	1,49	0,07	0,04	28,67
Kiwi	6,40	23,4	10,3	5,10	1,46	0,14	0,04	19,69
Pioppo	6,50	21,4	9,00	5,60	1,08	0,50	0,02	-
Sorgo + vite 50%	6,50	22,8	6,90	6,50	1,42	0,14	0,03	-

Tab. 5 Potere calorifico delle diverse tipologie di pellet

Pellet da cippato	Durabilità meccanica	Massa volumica (kg/m ³)	Potere calorifico			
			superiore		inferiore	
			(kcal/kg)	(MJ/kg)	(kcal/kg)	(MJ/kg)
Vite	99	718	4.075	17,1	3.785	15,8
Kiwi	98	664	4.060	17,0	3.773	15,8
Pioppo	99	674	4.136	17,3	3.843	16,1
Sorgo + vite 50%	99	733	4.101	17,2	3.810	16,0

Da una disamina delle analisi dei vari pellet prodotti raffrontate con le caratteristiche individuate dal Comitato Termotecnico Italiano-CTI, si evince come, per umidità e potere calorifico, i materiali valutati siano risultati molto buoni e prossimi alla qualità dei migliori pellet che si ritrovano sul mercato ottenuti da matrici legnose dedicate.

Difatti l'umidità del pellet tal quale ha un range di oscillazione 9,00 % a 10.30 % per il pellet di kiwi, che risulta superiore agli standard richiesti (umidità = 10.00 %).

Relativamente al potere calorifico inferiore sul tal quale, il miglior risultato è stato ottenuto con il pellet da pioppo (con 3843 kcal/kg), ma vite e kiwi seguono molto da vicino. Buoni risultati sono

stati ottenuti con la miscela tra una coltura erbacea ed una arborea, nello specifico con cippato di sorgo e vite al 50% (3810 kcal/kg). Sul campione essiccato il pellet ottenuto da pioppo si segnala come il migliore (4225) ma valori assolutamente comparabili fanno registrare quelli ottenuti da cippatura di kiwi (4207) e di vite (4183).

Nei campioni di pellet analizzati il valore medio del contenuto in ceneri è risultato comunque alto rispetto alle tabelle del CTI, questo in quanto il pellet prodotto non proveniva da residui di lavorazione del legno o da legname precedentemente scortecciato, ma da legno tal quale, corteccia compresa.



*Fig. 1. Pellet di cippato di kiwi (sinistra), di vite (destra)
Sorgo + vite 50% (in basso)*

Da esperienze maturate e in accordo con la bibliografia, risulta che il maggior quantitativo di ceneri deriva dalla combustione della corteccia del legname. Il pellet prodotto in questo progetto, derivava dalla cippatura della pianta intera (pioppo) o dei residui di potatura tal quali (vite e kiwi. Fig.1) e quindi con la corteccia.

La “durabilità” del materiale è risultata generalmente ottima e compresa tra il 98 e 99 %. Quella del cippato costituito da sola coltura erbacea si è attestata sul 96%.

Il contenuto in Cloro, importante elemento, è risultato molto basso nel pellet di vite (0.07 %) che risulta il migliore anche per quanto riguarda la massa volumica.

L’esperienza ha confermato le buone caratteristiche del cippato ottenuto da colture arboree (kiwi e vite) in purezza, ma ha dimostrato una sufficiente qualità di quello costituito dalla miscela al 50% di colture erbacee e arboree, cosa che apre la prospettiva a un più efficace e conveniente utilizzo di tutte le biomasse residuali a disposizione dell’azienda.

Pellet torrefatti (l'esperienza di TEA)

Si riportano alcune considerazioni relative a un progetto prototipale sviluppato da TEA, Società fornitrice di servizi per conto del Beneficiario Mandatario del Piano Operativo (Fondagri) che prevede la produzione in impianti modulari di torrefatti per uso energetico e di biochar per uso agronomico. L'uso delle biomasse solide come fonte energetica è spesso criticato per una serie di ragioni legate alla bassa densità energetica dei prodotti e all'impatto ambientale causato da alcuni sistemi di conversione energetica (emissioni in atmosfera di sostanze inquinanti).

Come già più sopra osservato, questo può essere tanto più vero se le biomasse considerate sono soprattutto quelle di minor pregio, quali i residui di alcune lavorazioni di intervento forestale, del verde urbano, dell'agricoltura e del settore agroalimentare. Normalmente queste biomasse contengono molta umidità e si presentano con granulometria grossolana e molto variabile, con conseguenze negative sulla densità energetica. Tale fattore migliora, solo in parte, ricorrendo alla pellettizzazione della biomassa grezza, con la quale si aumenta la massa volumica e si riduce il contenuto di umidità. In generale, le biomasse solide presentano una costituzione chimica molto variabile e per essere utilizzate in modo ottimale, efficiente e con ridotto impatto ambientale necessitano di condizioni molto diverse di combustione, che gli impianti termici riescono a soddisfare solo in parte. Considerati questi aspetti, da alcuni anni sono in corso delle esperienze industriali sulle biomasse che mirano a migliorarne e standardizzarne le caratteristiche attraverso il processo di torrefazione. Sostanzialmente, si tratta di un trattamento termico, differente da quello realizzato per il caffè (tostatura), in cui la biomassa è sottoposta ad una temperatura compresa tra i 200 e 300 °C, in assenza di ossigeno e per un tempo variabile (in media tra 20 e 60 minuti). Nel corso di questo trattamento alcune componenti organiche, soprattutto le emicellulose e le lignine leggere si separano dalla parte solida per volatilizzazione, producendo un miscuglio gassoso: il gas di torrefazione. La restante parte costituisce il torrefatto, circa il 70-80% della biomassa anidra iniziale, contraddistinto da una composizione chimica molto più omogenea, più ricca in carbonio e povera in ossigeno. Queste caratteristiche, unite al basso contenuto di umidità, rendono il torrefatto un prodotto con un elevato potere calorifico ed elevata densità energetica (tabella). Inoltre, le modifiche chimiche che avvengono durante la torrefazione conferiscono alla biomassa caratteristiche di minore resistenza meccanica, rendendo il materiale più fragile e facile da macinare (minor consumo di energia), di maggiore idrofobicità e ne incrementano la stabilità nei confronti degli agenti biotici così da permetterne stoccaggi più lunghi nel tempo, impedendo il degrado biologico e la perdita di potere energetico.

Essendo il trattamento di torrefazione energivoro, si presta attenzione ai possibili recuperi energetici all'interno della stessa fase di produzione. Tra questi i gas di volatilizzazione che, contenendo anche il 10-15% dell'energia presente nella biomassa iniziale, possono essere impiegati come combustibile per la produzione di energia termica di processo. Negli impianti ben dimensionati questo contributo spesso è sufficiente per sostenere il processo, richiede solo una limitata integrazione di gas fossile ausiliario.

Densità energetica: si intende l'energia contenuta nell'unità di volume di combustibile. Questo parametro viene misurato in MJ/m³ ed assume grande rilevanza soprattutto per valutare la

convenienza nel trasporto e nello stoccaggio dei prodotti combustibili. Maggiore è la densità energetica di un combustibile, minori sono i costi economici, energetici ed ambientali del prodotto.

Tab.6 Proprietà indicative di alcuni biocombustibili

Parametri	Legno	Pellet di legno	Pellet torrefatti	Carbone di legna	Carbone fossile
Umidità (%)	30-40	7-10	1-5	1-5	10-15
Potere calorifico (Mj/kg)	9-12	15-16	20-24	30-32	23-28
Volatili (%)	70-75	70-75	55-65	10-12	15-30
Carbonio fissato	20-25	20-25	28-35	85-87	50-55
Densità apparente (kg/m ³)	200-250	550-750	750-850	200	800-850
Densità di energia volumetrica (Gj/m ³)	2.0-3.0	7.5-10.04	15.0-18.7	6.0-6.64	18.4-23.8

La torrefazione è dunque un processo utilizzato per la produzione di biocombustibili solidi di alta qualità, provenienti da varie tipologie di biomassa legnosa o residui agro industriali. Il prodotto finale è un biocarburante stabile, omogeneo, con maggiore densità di energia e potere calorifico del feedstock originale, fornendo significativi vantaggi nelle fasi di logistica, movimentazione e stoccaggio e consentendo l'apertura di una vasta gamma di usi potenziali.

TEA in collaborazione con primarie Università a livello italiano, ha sviluppato negli ultimi anni un progetto di un impianto modulare per la produzione di biomassa torrefatta a partire da biomasse di vario tipo. Tale tecnologia è attualmente in fase di sviluppo e verifica presso TEA che prevede di sviluppare un primo impianto pilota per dimostrare la convenienza economica e la sostenibilità di impianti che valorizzano la parte residuale dell'agricoltura e dell'agro industria.

Con il modulo Carbon free è prevista la produzione sia *biomasse torrefatte* sia *biochar per riutilizzi agronomici come ammendante nelle aziende agricole stesse*.

La costruzione modulare dell'impianto consentirebbe di spostarlo nella località di produzione delle biomasse in una piattaforma di trasformazione o vendita dei biocombustibili.

I. Biomasse da impianti boschivi

I boschi sfruttati dall'uomo possono essere distinti in *cedui e fustaie*. Solitamente dai cedui si ottiene soprattutto *legna da ardere* o, soprattutto nel caso del castagno, pali; le fustaie invece forniscono

legname da opera di ogni tipo. Nella forma di *governo a ceduo* la rinnovazione del bosco avviene principalmente tramite propagazione vegetativa ovvero dal ricaccio delle piante dalle singole ceppaie. Le gemme che ricacciano dalle ceppaie si chiamano polloni e la modalità di propagazione è tipica delle latifoglie.

Il principale strumento tecnico della selvicoltura naturalistica è costituito da operazioni di taglio e di eliminazione di alcune piante (alberi, ma anche arbusti) che consentano l'utilizzazione della produzione legnosa senza inficiare il processo di perpetuazione del bosco. I residui forestali, risultanti dai diversi tipi di intervento selvi-colturale, vengono comunemente indicati come biomassa forestale.

L'utilizzazione dei boschi cedui rappresenta sicuramente una fonte importante di biomassa forestale: i cedui italiani, infatti, costituiti nella quasi totalità da piante ceduate a ceppaia, sono destinati per lo più alla produzione di biomassa combustibile e di pali per uso agricolo.

Un'ulteriore fonte di approvvigionamento di biomasse legnose è rappresentata dai materiali di provenienza agroforestale, ossia dalle biomasse che derivano da attività di forestazione in ambito prettamente agricolo. Le fonti di biomassa a fini energetici, in questo caso, sono principalmente da ricondursi ai residui derivanti dalle utilizzazioni a fini commerciali di coltivazioni legnose, alle utilizzazioni delle formazioni lineari (come siepi e filari o piccoli boschetti) nonché alle utilizzazioni delle formazioni boschive dedicate realizzate su superfici agricole. Per quest'ultima si fa riferimento principalmente, alla pioppicoltura: i residui possono derivare sia dalle potature eseguite nel corso del ciclo di crescita della pianta, sia dagli scarti delle utilizzazioni a fini commerciali (comunemente viene utilizzato il tronco, mentre le ramaglie vengono lasciate in campo).

Le caratteristiche fisiche delle biomasse legnose rilevanti i fini energetici sono il tenore di umidità e la densità. La densità è la massa per unità di volume e si misura in kg/m³. Può essere calcolata considerando il legno allo stato fresco o il legno allo stato secco. *La densità rappresenta il più comune indicatore di qualità del combustibile legnoso perché il potere calorifico del legno è direttamente proporzionale ad essa.* Essa varia in funzione delle condizioni stagionali, della specie (generalmente risulta più elevata la densità delle latifoglie rispetto alle conifere), dell'età, della parte della pianta, della forma di governo del bosco. La densità del legno varia in generale tra 800 e 1.120 kg/m³, se riferita allo stato fresco, e tra 360 e 810 kg/m³, se riferita allo stato secco.

Ai fini energetici, salvo nel caso di impianti dotati di tecnologia anti-inquinamento, possono essere utilizzati solo i residui e i sottoprodotti legnosi non trattati chimicamente (ad esempio residui da scortecciatura, taglio, pressatura, ecc.)

Successivamente si riportano i dati di una esperienza di caratterizzazione energetica del materiale ritratto da diradamenti in impianti di *Pinus* spp, in Italia Centrale, condotti dall'Università della Tuscia e dal CRA-PLF danno i seguenti risultati:

Tab. 7 Valori informativi senza o con modesta presenza di corteccia, foglie e aghi¹ e con residui di potatura²

Parametro	Unità di misura	Biomassa legnosa vergine ¹	Residui di potatura ²
Potere	Mj/kg daf	20,5	21

calorifico superiore			
Ceneri	% db	0,3	2
Carbonio	% daf	51	52
Azoto	% daf	0,1	0,5

Db: rapporto percentuale di peso su base secca

Daf: rapporto percentuale di peso su base secca priva di ceneri

Le principali forme commerciali per la categorie delle biomasse solide sono: legna da ardere (in ciocchi o tronchetti), cippato, pellet e bricchetti.

Legna da ardere: la legna è generalmente venduta in ciocchi o tronchetti, con pezzature che vanno dai 50 ai 500 mm, e tenori in umidità inferiori al 50% a seconda del tempo e della tipologia di stagionatura a cui è sottoposta la biomassa. L'utilizzo di questa tipologia di biocombustibile, operata quasi esclusivamente a livello domestico in piccoli impianti alimentati manualmente, è oramai in declino a favore di forme densificate quali bricchetti e soprattutto pellet. Le caldaie a legna, infatti, oltre e non offrire possibilità di automazione nel caricamento del combustibile, hanno in genere una minore efficienza energetica (50-60% comparata con 75-90% per caldaie a chips e pellet legnosi).

Cippato: per rendere omogenea la composizione dei materiali (legnosi e non) e renderli quindi adatti anche all'alimentazione automatica degli impianti energetici, si può ricorrere alla cippatura, operazione meccanica che riduce gli assortimenti in scaglie di piccole dimensioni denominate *chips*, da cui il nome.

Pellet: con il termine pellet si intende un biocombustibile densificato, normalmente di forma cilindrica, ottenuto comprimendo della biomassa polverizzata con o senza l'ausilio di agenti leganti di pressatura. Sul mercato italiano esistono delle cippatrici di varia potenza in grado di lavorare legname di diversa qualità e dimensione. Per la trinciatura di biomasse erbacee spesso si usano falcia-trincia-caricatrici, macchine che operano direttamente in campo tagliando alla base i fusti, sminuzzandoli e spingendoli, mediante sistema a pistone, direttamente sul rimorchio.

Ad oggi, il mercato del pellet è a esclusivo appannaggio della biomassa legnosa, in particolare di quella proveniente dai comparti di prima e seconda lavorazione del legno; tuttavia, diverse sono le esperienze rivolte a sviluppare la filiera del pellet da colture erbacee o da una miscela di queste con biomasse legnose. Tuttavia la diversa qualità della biomassa di partenza, soprattutto in termini di potere calorifico e di contenuto in ceneri, può portare a una diversa qualità finale del pellet, come diversa sarà la destinazione d'uso.

Bricchetto: il bricchetto è un biocombustibile, solitamente in forma di parallelepipedo o cilindro, ottenuto comprimendo della biomassa polverizzata con o senza l'ausilio di additivi di pressatura. In seguito al processo di bricchettatura si ottiene un miglioramento delle caratteristiche fisiche della biomassa (densità, omogeneità, ecc.), una riduzione dei volumi, una riduzione dei costi di stoccaggio e trasporto e un miglioramento del comportamento durante la combustione.

2) INDAGINE SULLA DISPONIBILITA' DELLE BIOMASSE RESIDUALI: ESPERIENZE, STRUMENTI E DATI DISPONIBILI

1. Residui di colture erbacee e legnose da frutto

Come precedentemente ricordato, dal settore agricolo possono derivare grandi quantitativi di biomasse destinabili ad uso energetico, valorizzando determinati residui colturali che altrimenti costituirebbero solamente un onere per il loro trattamento e gestione.

I fattori di forza di tale risorsa risiedono principalmente nelle caratteristiche chimico-fisiche, nella consistenza in termini quantitativi, nella distribuzione, pressoché ubiquitaria e infine nel fatto che la loro produzione non va ad intaccare minimamente le superfici destinate ad uso alimentare da cui deriva.

I residui colturali sono lo più trinciati ed interrati in loco o in alcuni casi allontanati dalla coltivazione e bruciati al fine di prevenire fonti di inoculo di patogeni. Per questa tipologia di biomasse l'utilizzo energetico rappresenta quindi un beneficio sia agronomico, sia come risorsa rinnovabile di qualità. I residui delle colture erbacee costituiscono in certi casi un importante apporto di sostanza organica al suolo e la loro asportazione può quindi risultare un elemento di criticità agronomica e forse anche climatica per il mancato effetto carbon sink che si ha stoccando carbonio organico nel suolo. Il loro corretto impiego per il maggior beneficio ambientale va quindi, ben valutato di volta in volta.

Questi residui sono costituiti prevalentemente da paglie di cereali come i frumenti, l'avena, l'orzo, la segale, il riso, oltre agli stocchi e i tutoli del mais e gli stocchi del girasole, di colza, ecc.

I residui di colture arboree sono costituiti dai risultati delle potature eseguite di solito annualmente e dall'abbattimento o eradicazione di impianti giudicati non più produttivi. Nella provincia di Forlì-Cesena, a seconda della quota di coltivazione: pesco, kiwi, ciliegio, albicocco, vite, olivo.

Ai quantitativi potenzialmente disponibili occorre però portare delle correzioni riduttive per definire i quantitativi che effettivamente potrebbero essere raccolti ed utilizzati. Questi valori tengono conto di elementi di tipo logistico ed economico come il frazionamento delle aziende o la loro concentrazione in determinate aree. Per esempio, sulla base di analisi condotte sul territorio italiano e regionale dell'Emilia-Romagna risulta ragionevole considerare che la disponibilità effettiva di paglia di frumento, destinabile all'utilizzo energetico, sia del 40%, mentre per le potature di fruttiferi questa varia tra il 45-50%.

Nelle figure sottostanti (Fig.2-4) sono riportati alcuni dati di carattere generale (fonte: Censimento generale dell'agricoltura – Regione Emilia Romagna anno 2010) che riportano, divise per provincia:

- La Superficie Agricola Utilizzabile (SAU) media per azienda
- La quota di colture legnose agrarie
- La quota di seminativi

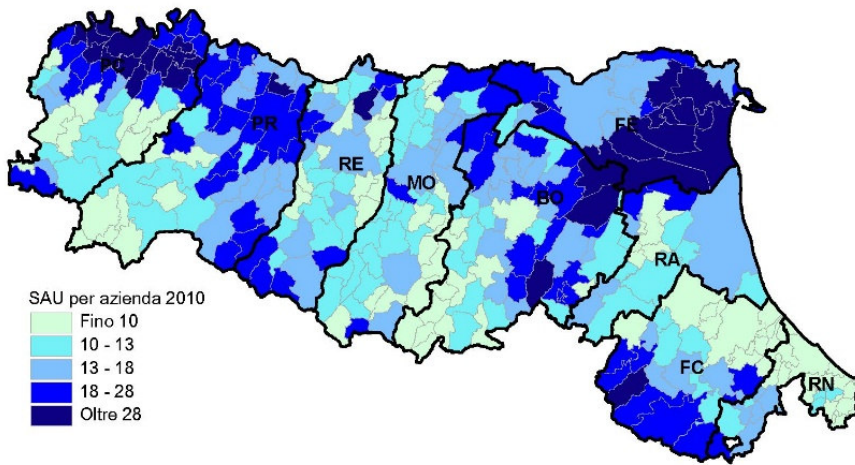


Fig. 2 Regione Emilia-Romagna: SAU media per azienda

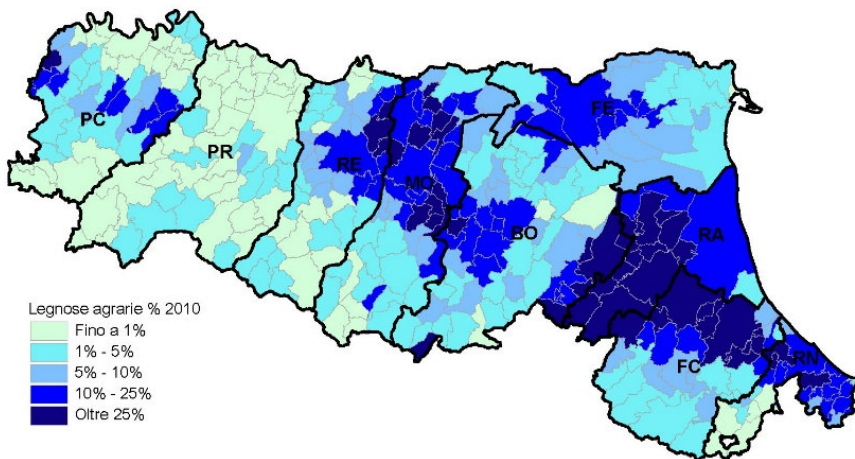


Fig. 3 Regione Emilia-Romagna: Quota colture legnose agrarie

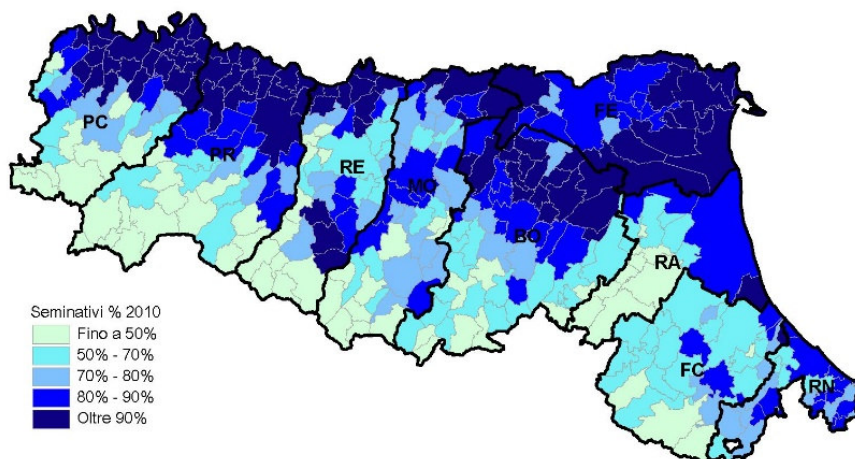


Fig. 4 Regione Emilia-Romagna: Quota seminativi

Nella Tabella 7 sono riportate per la Provincia di Forlì-Cesena (2018-2020) le superfici e produzioni delle principali specie erbacee ed arboree coltivate anche in area altimetrica collinare cui fa riferimento la tipologia di azienda agricola inserita nel GOI. (Fonte ISTAT)

Tab. 7 Provincia di Forlì-Cesena – Colture erbacee ed arboree: superfici e produzioni

COLTURA	2018		2019		2020	
	superficie	produzione	superficie	produzione	superficie	produzione
	(ha)	(q)	(ha)	(q)	(ha)	(q)
frumento tenero	9 700	441 130	10 050	483 700	9 500	547 250
segale	28	784	34	1279	29	1 160
orzo	3 200	135 000	3 400	168040	3200	144 000
avena	90	2 610	100	2310	80	1920
mais	380	28 500	300	24000	340	23 800
sorgo	1100	71500	1400	81500	1400	84000
altri cereali	260	6 500	125	3696	105	2 940
pisello proteico	290	10 150	170	4080	140	2 800
favino	510	14 300	700	16530	530	12 700
girasole	680	20 400	940	24320	1040	28 110
colza	110	3 850	65	1590	100	2 500
erba medica	16 000	5 976	19 000	7 252	20 500	6 355
prati avvicendati	800	256	800	256	240	240
prati permanenti	7 000	1050	7 000	1050	7000	910
pascoli poveri	8 000	520	8500	468	8500	425
vite	6 210	817 000	6 145	641 360	6 131	720 721

olivo	1 384	23 871	1390	9 542	1400	24 530
pesco	1 561	253 980	1511	284 449	1 435	131 100
nettarine	1 566	268 345	1526	288 025	1451	79 800
kiwi	704	95 906	780	99 600	800	77 050

Dalle tabelle 9-10 si può avere una stima a livello regionale della percentuale di sottoprodotti utilizzabili per alcune importanti colture erbacee e arboree.

Tab. 9 Regione Emilia-Romagna: stima sottoprodotti colture erbacee

Prodotto principale/ caratteristiche	Frumento tenero	Frumento duro	Orzo	Avena	Riso	Mais granella	TOTALE REGIONAL E
Sottoprodotto principale	Paglia	Paglia	Paglia	Paglia	Paglia	Stocchi	
Produzione raccolta (t/anno)	1.194.169	125.902	166.32 5	2.177	45.062	1.023.429	2.557.063
Indice sottoprod. (%)	0,61	0,70	0,80	0,70	0,67	1,30	
Umidità sottoprod. (%)	15	15	15	15	25	55	
Coefficiente di reimpiego (%)	90	90	90	80	15	50	

Tab. 10 Regione Emilia-Romagna: stima sottoprodotti colture arboree

STIMA SOTTOPRODOTTI DELLE COLTURE ERBACEE E ARBOREE DA FRUTTO											
Anno: 2002		Fonte: ISTAT									
Prodotto principale/ caratteristiche		Vite (vino)	Olivo	Pesce	Albicocco	Susino	Melo	Pero	Ciliegio	Kiwi	TOTALE REGIONALE
Prodotto		Bacche	Drupe	Drupe	Drupe	Drupe	Falsi frutti	Falsi frutti	Drupe	Frutti	
Sottoprodotto principale (S1)		Sarmenti	Frasca	Rami pot.	Rami pot.	Rami pot.	Rami pot.	Rami pot.	Rami pot.	Rami pot.	
Sottoprodotto secondario (S2)		Legna	Legna	Legna	Legna	Legna	Legna	Legna	Legna	Legna	
Superficie in produzione	ha	55.330	1.934	27.705	4.407	4.333	6.446	24.849	2.301	3.036	130.341
Produzione raccolta	t/anno	775.506	3.407	491.776	64.519	66.425	155.236	623.395	19.117	63.763	2.263.143
Indice sottoprodotto 1	%	(+)	0,183	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	
Umidità S1	%	50	50	40	40	40	40	40	40	40	
Coefficiente di reimpiego 1	%	5	10	5	5	5	5	5	5	5	
Produzione S2	t/ha	20	(*)	75	50	50	85	100	50	20	
Frequenza S2	anni	25	(*)	15	15	15	20	20	15	25	
Umidità S2	%	40	40	40	40	40	40	40	40	50	
Frazione riciclata	%	90	90	90	90	90	90	90	90	90	
Disponibilità Netta 1	kt/anno ss	94,189	1,156	56,062	3,678	3,786	8,848	35,533	1,090	7,269	211,612
Disponibilità Lorda 1	kt/anno ss	99,146	1,284	59,013	3,871	3,985	9,314	37,404	1,147	7,652	222,817
Disponibilità Netta 2	kt/anno ss	2,656	0,032	8,312	0,881	0,867	1,644	7,455	0,460	0,121	22,428
Disponibilità Lorda 2	kt/anno ss	26,558	0,321	83,115	8,814	8,666	16,437	74,547	4,602	1,214	224,275

Nelle tabelle 11-12 vi è una stima della potenzialità totale di residui colturali nella provincia di Forlì-Cesena. (fonte: Progetto Biomasse ENAMA)

Tab. 11. Disponibilità potenziale di residui da colture erbacee

PROVINCIA	TOTALE Produzione residuo t/anno s.s.
-----------	---------------------------------------

Forli-Cesena	48.007
Emilia-Romagna	1.138.035

Tab. 12. Disponibilità potenziale di residui da colture arboree

PROVINCIA	TOTALE Produzione residuo t/anno s.s.
Forli-Cesena	14.602
Emilia-Romagna	94.745

Sistemi informativi territoriali per la valutazione del potenziale energetico di origine agricola sul territorio.

Tra i Sistemi Informativi Territoriali messi a punto, se ne segnala uno sviluppato in ambiente GIS (Geographical Information System) dal DeIagra dell'Università di Bologna, che permette di collegare dati alfanumerici a informazioni territoriali rappresentate come oggetti grafici, permettendo di sviluppare algoritmi di elaborazione.

Nell'ambito delle bioenergie, l'utilizzo dei GIS consente la:

- Valutazione del potenziale energetico di origine agricola sul territorio.
- Valutazione degli effetti dell'introduzione di:
 - colture tradizionali dedicate
 - colture non tradizionali per la produzione di biomassa
 - utilizzo a fini energetici di residui colturali e agroindustriali (Fig 5-8 con esempio dimostrativo).

Fig. 5 Calcolo della massa dei residui colturali (t)

$$M_{Residuo} = M_P \cdot A_P \cdot R_{RP} \cdot \left(1 - \frac{U_{Residuo}}{100}\right)$$

M_P Resa colturale (t/ha)

A_P Area della coltura (ha)

R_{RP} Rapporto fra massa residuo e massa coltura

$U_{Residuo}$ Umidità residuo colturale

Fig. 6 Calcolo dell'energia disponibile del residuo (GJ)

$$E_{Out} = P_{ci} \cdot M_{Residuo} \cdot A_P \cdot 10^3 - E_{Inp}$$

E_{Out} - Energia disponibile (GJ)

P_{ci} - Potere calorifico inf. del residuo (MJ/kg)

$M_{Residuo}$ - Produzione residuo colturale (t/ha)

A_P - Area della coltura (ha)

E_{Inp} = $E_{raccolta\ e\ condizionamento\ residuo} + E_{trasporto\ residuo}$ (GJ)

Fig. 7 Provincia di Bologna: distribuzione territoriale residui colturali di frumento

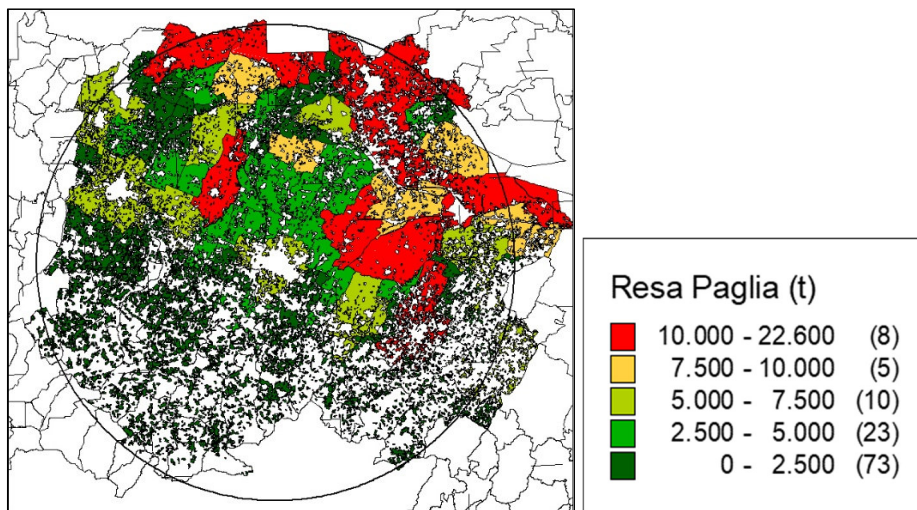
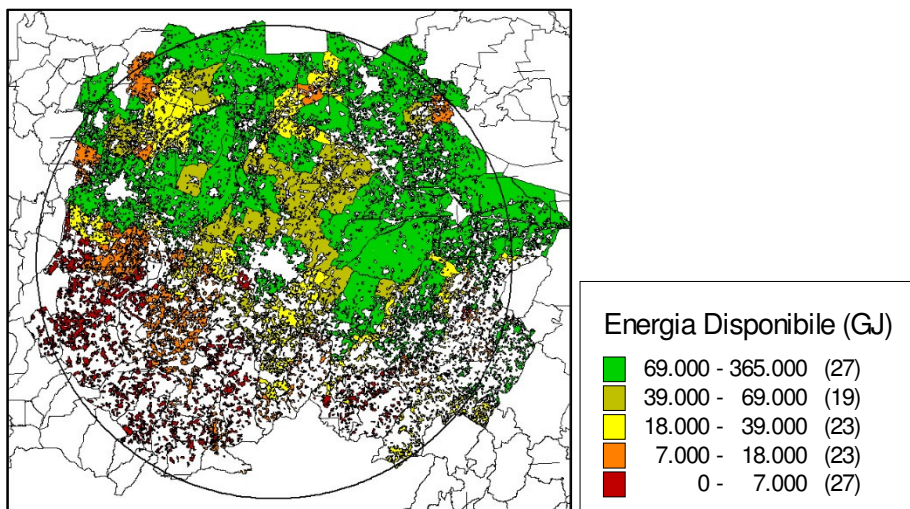


Fig. 8 Provincia di Bologna: distribuzione territoriale energia disponibile collegabile



II. Biomasse da colture legnose boschive

In Emilia-Romagna (fonte: Il Divulgatore 2007) la maggior parte delle produzioni legnose destinate ad usi manifatturieri deriva da impianti pioppicoli in coltura specializzata; significativo invece è il comparto della produzione di biomasse legnose ad uso energetico che, riferite al contesto forestale propriamente definito, assumono una rilevanza pressoché totalizzante (legna da ardere). Si rileva infatti che il mercato del legname da industria proveniente non da piantagioni, ma da formazioni

semi-naturali, nonostante le potenzialità produttive siano molto aumentate negli ultimi 30-40 anni, ha un peso assoluto e relativo del tutto trascurabile. Tale situazione non è legata solo a condizioni congiunturali della domanda industriale. Non bisogna infatti dimenticare che gran parte dei boschi regionali oggi classificati come “fustaie” derivano da interventi selvi-colturali di avviamento-conversione all'alto fusto realizzati nel corso degli ultimi 50 anni, a partire da boschi cedui (in prevalenza di faggio) di età in genere non superiore a 40-50 anni; essi pertanto non sono ancora giunti a maturità colturale. Lo stesso vale per i rimboschimenti di conifere realizzati nella seconda metà del secolo scorso.

Il livello delle produzioni di legname da opera dell'Emilia-Romagna risulta particolarmente arretrato rispetto a quello di regioni in condizioni ambientali e socio-economiche non molto dissimili, come Toscana e Umbria. Si potrebbe quindi affermare che la regione è caratterizzata da una forma di “specializzazione” nella produzione di biomasse legnose di minor valore, che possono essere ricavate attraverso una manodopera di ridotta capacità professionale e a basso livello di valore aggiunto potenziale: la legna per la produzione di energia termica. Peraltro, tale specializzazione presenta alcuni connotati positivi connessi alla natura di risorsa energetica rinnovabile, presente diffusamente nel territorio montano-collinare e potenzialmente valorizzabile a livello locale.

Dai dati a disposizione si evince come in Emilia-Romagna l'utilizzazione dei boschi per ottenere legna combustibile sia più che doppia rispetto a quella complessiva di legname da lavoro. I prelievi di legname ad uso energetico, che si collegano soprattutto alle utenze domestiche (locali o per altre regioni cui viene venduto il legno), interessano quasi esclusivamente i boschi governati a ceduo, presenti in modo assolutamente prevalente nelle aree montane e collinari (Tab.13) Nella tabella 14 sono ipotizzati i quantitativi di biomassa di scarto ottenibili dal legname da lavoro e potenzialmente utilizzabili per scopi energetici.

Tab. 13 Utilizzazione a scopo energetico per forma di governo (m3)

Regione	Fustaie	Cedui semplici	Cedui composti	Totale	Fuori foresta*	TOTALE
Emilia-Romagna	1.713	256.506	5.090	263.309	14.514	277.823

*Piante sparse, filari e boschetti presenti prevalentemente in ambito agricolo

Tab. 14 Biomassa di scarto ritraibile dal legname da lavoro (m3)

Origine	Massa utilizzata	Rami e cimali	
		min	max
Fustaia di resinose	966.954	145.043	193-390
Fustaia di latifoglie	1.651.751	495.525	578.113
Ceduo di latifoglie	494.476	148.343	173.066
Fuori foresta	606.183	181.855	212.164
TOTALE	3.719.364	970.766	1.156.733

Circa l'80% dei boschi presenti sul territorio emiliano-romagnolo sono di proprietà privata e la metà di essi sono collocati all'interno di aziende agricole forestali. In particolare il 31,8% delle aziende censite possiede dei boschi la cui superficie è mediamente pari a 6,2 ha. Inoltre ben il 55% della superficie a ceduo è presente in terreni che concorrono a costituire il capitale fondiario di aziende agricole-forestali; tale realtà è maggiormente presente nelle aree di collina e bassa montagna dove il 72,6% della superficie a bosco ceduo si trova all'interno di aziende. Questi dati indicano che esiste un ambito privilegiato e un potenziale target per le politiche di valorizzazione delle risorse forestali regionali nell'ambito delle produzioni di energia termica su scala e potenza piccole e più raramente medie. In ampie zone dell'Appennino l'impiego di biomasse forestali per il riscaldamento domestico è già ampiamente diffuso e l'obiettivo è quello di promuovere impianti tecnologicamente aggiornati (stufe, termo-camini, caldaie ecc.), capaci di assicurare un'efficienza energetica migliore, minor tasso di emissioni e più bassi costi di esercizio). Essendo possibile affermare che in regione da alcuni decenni i prelievi sono nettamente inferiori all'incremento annuo di massa legnosa e assumendo come obiettivo generale a cui tendere quello di una selvicoltura "prossima alla natura", gli scarti delle produzioni legnose di pregio e le biomasse derivate da una quota parte di soprassuoli forestali governati a ceduo possono essere sostenibilmente impiegati per ottenere energia termica. Successivamente (Tabella 15) sono riportate le specie più indicate nella nostra Regione per l'arboricoltura da legno, tenendo conto per delle diverse zone altimetriche. La specie principale, indicata per gli impianti monospecifici e in quelli poli-specifici in consociazione con la specie secondaria è l'essenza arborea che a fine del turno fornisce la maggior parte del reddito derivante dall'investimento. La specie secondaria è quella che durante il ciclo produttivo o a fine turno, è in grado di fornire redditi complementari derivanti da utilizzazioni secondarie (oggettistica, legno da ardere, da botte, ecc.).

Tab. 15 Specie principali e secondarie per l'Emilia-Romagna

Zona altimetrica	Specie principale	Specie secondaria
Alta pianura	Frassino maggiore e meridionale, farnia, ciliegio e noce	Pioppo bianco e nero, olmo, ontano nero, acero campestre, gelso, ecc.
Collina	Noce, ciliegio, frassino maggiore	Pioppo bianco e nero, olmo, acero campestre e montano, ontano napoletano, ecc.

Anche dallo studio "**Potenzialità di sfruttamento forestale in Emilia Romagna**" di Luca Vignoli (1-2), Marco Pattuelli (3), Paolo Cagnoli (1-2), Alessandra Bonoli (1) 1. Università di Bologna, Dipartimento di ingegneria civile, chimica, ambientale e dei materiali (Dicam) 2. Arpa Emilia-Romagna 3. Servizio Parchi e risorse forestali, Regione Emilia-Romagna, pubblicato su *Ecoscienza* n.6/2018, si possono ricavare analoghe considerazioni.

I boschi e le foreste dell'Emilia-Romagna sono poco adatti alla fornitura di legna per mobilifici, assi, ecc. Solo il 7% delle aree forestali sono fustaie. Circa il 70% della legna forestale raccolta viene utilizzata come legna da ardere in caminetti e stufe domestiche e commerciali (es. pizzerie), mentre solo il 30% è potenzialmente disponibile alla vendita a impianti a combustione di biomassa. La legna da ardere (es. faggio, castagno, quercia ecc.) è considerata di alta qualità (Hq), mentre la legna

adatta agli impianti energetici (es. conifere) è considerata di bassa qualità (Lq) in quanto molto ricca di resina, che incrosta le stufe e influisce sui sapori. Il mercato della legna da ardere per caminetti, stufe domestiche, esercizi commerciali permette la vendita del prodotto, in ciocchi, a prezzi dai 10 ai 17 euro/quintale (media = 13,5 euro/q); il mercato della legna per impianti energetici a combustione di biomassa, invece, permette la vendita della legna raccolta a prezzi intorno ai 2-3 euro/quintale (media = 2,5 euro/q, mentre il cippato legnoso viene pagato tra i 60 e gli 85 euro/ton (media = 7,25 euro/q). Il riscaldamento domestico attuato tramite caminetti/stufe domestiche, se da una parte è caratterizzato da una bassa efficienza energetica e da una considerevole emissione di particolato e inquinanti, dall'altra parte permette la gestione personalizzata della combustione per periodi di tempo segmentati.

La legna da ardere in ciocchi richiede molta meno lavorazione rispetto al cippato e/o ai pellet, e quindi implica molto minor consumo di carburanti fossili per la cippatura e/o la pellettizzazione da cui minori emissioni di CO₂ fossile per unità di prodotto

Il prelievo di legna forestale, praticato in maniera sostenibile, non solo deve considerare i tassi di accrescimento forestale (valore medio in Emilia-Romagna = 4,4 mc/ha/anno), ma deve anche tener conto del fatto che tali prelievi possono essere effettuati solo nell'intorno di 75-150 metri dalle strade forestali, in quanto oltre queste distanze il conferimento al camion di trasporto sarebbe troppo complesso in termini logistici. Bisogna inoltre tenere presente le pendenze del terreno boschivo per cui in linea generale si può stimare che la pendenza massima accettabile per l'attività di esbosco e raccolta di legna sia pari al 30%.

Nell'ambito dei calcoli energetici è importante tenere presente che a parità di contenuto di acqua, il potere calorifico della legna è praticamente lo stesso per tutti i tipi di legna (cedui o fustaie, querce o abeti ecc.).

Grazie al supporto della Regione Emilia-Romagna - servizio Aree protette, foreste e sviluppo della montagna (Rer-Spf, 2016) è stata realizzata la **“Mappa regionale della potenzialità energetica legnosa forestale utile”**, che rappresenta tutte le aree forestali comprese nel raggio di 150 metri dalle strade forestali e non e/o dai terreni agricoli, ovvero tutte quelle aree raggiungibili dai silvicoltori/boscaioli.

Da questa mappa sono stati poi ricavati i valori numerici di potenzialità energetica forestale per le biomasse legnose utilizzabili nel mercato della legna da ardere di alta qualità (Hq), oppure per l'approvvigionamento degli impianti energetici a combustione di biomasse solide legnose con legna di bassa qualità (Lq). Con tale strumento è possibile definire geograficamente con un buon grado di affidabilità la localizzazione e l'estensione delle aree forestali realmente disponibili per l'approvvigionamento di biomassa legnosa.

A fronte di un'area forestale complessiva di 612.600 ettari (Aiel-Enea e Francescato, 2009; Aiel et al. 2008), e della successiva eliminazione delle aree classificate ad arbusteti e a pinete litorali secondo la cartografia aggiornata al 2014, la Regione Emilia-Romagna risulta possedere **546.928 ettari di soprassuolo a bosco alto** disponibile a fornire biomassa legnosa. Secondo Istat-Infc 2005 tale estensione forestale è costituita da **72.338.122 mc di legna**, caratterizzata da un incremento legnoso medio pari a 2.379.879 mc/anno. Tale disponibilità però, per effetto dell'impossibilità di raccogliere la legna oltre il limite dei 150 metri dalle strade, si riduce in definitiva a un valore massimo di legna stagionata raccogliibile pari a 1.136.490 t/anno a scala regionale.

Nella Tabella 16 è riportata per la Provincia di Forlì-Cesena la disponibilità energetica biomasse forestali suddivisa per tipologia di uso (legna da ardere di migliore qualità per piccoli impianti e legna per grandi impianti energetici di più scarsa qualità) e il numero di impianti potenzialmente alimentabili in modalità elettrico+termico e solamente termico

Tab. 16 Disponibilità energetica biomasse forestali Provincia di Forlì-Cesena

Provincia	Legna da ardere		Legna per impianti energetici		N. di impianti energetici equivalenti (elettrico+termico)	N. di impianti energetici equivalenti (elettrico+termico)	N. di impianti energetici equivalenti (termico)
	Tonnellate prelievo disponibile	MWh disponibili da potere calorifico medio = 3,1 kWh/kg (MWh)	Tonnellate prelievo disponibile	MWh disponibili da potere calorifico medio = 3,1 kWh/kg (MWh)	da 1 MW elettrico approvvig. (11.000 t./anno) per 8.000 ore/anno	da 1 MW elettrico approvvig. (13.000 t./anno) per 8.000 ore/anno	da 2,4 MW elettrico approvvig. (4.500 t./anno) per 8.000 ore/anno
Forlì-Cesena	108.942	337.721	42.808	132.705	3,9	3,3	12,2
Emilia-Romagna	874.690	2.711.539	261.800	811.580	23,8	20,1	74,8

Nella Tabella 17 è indicato per zone altimetriche il patrimonio boschivo dei comuni in area svantaggiata (oggetto preferenziale del bando cui ha risposto questo Piano Operativo) del territorio di Forlì. Nella zona di collina si ritrova il dato del comune di Galeata, sede dell'Azienda agricola F.lli Martini, partner del GOI. (fonte: Quaderni di statistica 2018 – Le statistiche dell'agricoltura in provincia di Forlì-Cesena).

Tab. 17 Patrimonio boschivo distinto per altimetria e per tipo di bosco

Zone altimetriche	Superficie totale comunale (ha)	Superficie boscata (ha)			Indice di boscosità
		Fustaie	Ceduo	Totale	
MONTAGNA	65.900	14.625,5	23.999,0	38.624,5	58,6
Bagno di Romagna	23.344	5.270,0	8.086,0	13.356,0	57,2
Portico S.Benedetto	6.057	1.355,0	1.740,0	3.095	51,1
Premilcuore	9.875	3.360,0	3.690,0	7.050,0	71,4
Santa Sofia	14.856	3.518,5	5.640,0	9.158,5	61,6

Verghereto	11.768	1.122,0	4.843,0	5.965,0	50,7
COLLINA	102.781	8.663,0	15.660,0	24.323,0	23,7
Civitella di Romagna	11.780	726,0	2.155,0	2.881,0	24,5
Dovadola	3.877	529,0	411,0	940,0	24,2
Galeata	6.300	1.174,0	1.802,0	2.976,0	47,2
Meldola	7.884	80,0	191,0	271,0	3,4
Modigliana	10.125	820,0	1.322,0	2.142,0	21,2
Predappio	9.164	741,0	1.120,0	1.861,0	20,3
Rocca S.Casciano	5.019	560,0	1.337,0	1.897,0	0 37,8
Roncofreddo	5.172	110,0	51,0	161,0	0 3,1
Tredozio	6.231	1.066,0	1.589,0	2.655,0	42,6
TOTALE PROVINCIA	237.680	23.626,5	40.138,0	63.764,5	26,8

Nelle tabelle 18 e 19 si riportano le superfici boscate suddivise per tipologia di governo, essenza e categoria di proprietario. Si può notare che nel complesso la percentuale gestita dallo Stato è del 37,5%, quella gestita da privati del 53%. Inoltre, mentre per quanto riguarda la forma di governo a fustaie le percentuali delle due categorie sono pressoché equivalenti, per la forma a ceduo la percentuale della categoria privati è doppia di quella Stato. Per le fustaie dell'area montana le specie resinose più rappresentate sono l'abete bianco, il pino laricio e l'abete rosso. Per quanto riguarda le fustaie a latifoglie e i cedui, la specie in assoluto più rappresentata è il faggio. Nell'area collinare diminuisce fortemente la quota delle resinose, prevalendo in assoluto la quercia, seguita da castagno, pioppo e altre latifoglie.

Tab. 18 Superficie boscata a fustaie per tipologia e proprietari (ha)

TIPO DI BOSCO	Stato	Comune	Altri enti	Privati	TOTALE
TOTALE BOSCHI	23.966,5	228,0	3.203,0	36.391,0	63.788,5
FUSTAIE	11.304,5	215,0	953,0	11.178,0	23.650,5
Fustaie di resinose	2.423,0	27,0	232,0	4.298,5	6.980,5
<u>Fustaie pure di resinose</u>	1.571,0	20,0	42,0	2.089,5	3.722,5
Abete bianco	606,0	16,0	3,0	199,0	824,0
Abete rosso	105,0	-	-	21,0	126,0
Larice	4,0	-	-	-	4,0
Pino silvestre	147,0	-	147,0	648,0	819,0
Pino laricio	374,0	-	4,0	497,0	875,0
Pino marittimo	-	-	-	2,0	2,0
Altri pini	195,0	4,0	9,0	581,5	789,5

Altre resinose					
<u>Fustaie miste di resinose</u>	852,0	07,0	190,0	2.209,0	3.258,0
Fustaie di latifoglie	2.423,0	27,0	232,0	4.298,5	6.980,5
<u>Fustaie pure di latifoglie</u>	1.571,0	20,0	42,0	2.089,5	3.722,5
Rovere	-	-	4,0	5,0	89,0
Cerro	45,0	-	-	27,0	126,0
Altre querce	34,0	1,0	7,0	201,0	243,0
Castagno da frutto	28,0	-	41,0	672,0	741,0
Faggio	1.659,5	187,0	94,0	152,0	2.092,5
Pioppi	3,0	-	-	180,0	183,0
Altre latifoglie	3,0	-	1,0	385,0	389,0
<u>Fustaie miste di latifoglie</u>	1.731,0	-	13,0	1.335,0	3.079,0
Fustaie miste di resinose e latifoglie	5.298,0	-	520,0	3.250,5	9.068,5

Tab. 19 Superficie boscata cedui per tipologia e proprietari (ha)

TIPO DI BOSCO	Stato	Comune	Altri enti	Privati	TOTALE
TOTALE BOSCHI	23.966,5	228,0	3.203,0	36.391,0	63.788,5
CEDUI	12.662,0	13,0	2.250,0	25.213,0	40.138,0
Cedui semplici	12.371,0	13,0	1.997,0	22.013,0	36.394,0
<u>Cedui semplici puri</u>	1.571,0	20,0	81,0	4.218,0	5.608,0
Quercia	9,0	-	80,0	2.983,0	3.072,0
Castagno	5,0	-	-	258,0	263,0
Faggio	1.138,0	-	-	876,0	2.014,0
Altre latifoglie	157,0	-	1,0	101,0	259,0
<u>Cedui semplici misti</u>	11.062,0	13,0	1.916,0	17.795,0	30.786,0
Cedui composti	291,0	-	126,0	2.365,0	2.782,0
<u>Cedui composti puri</u>	291,0	-	45,0	1.990,0	2.326,0
Quercia	-	-	20	426,0	446,0
Castagno	-	-	-	86,0	86,0
Faggio	291,0	-	-	1.353,0	1.644,0
Altre latifoglie	-	-	25,0	125,0	150,0

<u>Cedui composti misti</u>	-	-	81,0	375,0	456,0
Cedui composti	2.423,0	27,0	232,0	4.298,5	6.980,5

3) CARATTERIZZAZIONE DEI BIOCHAR

III. Premessa

La biomassa di partenza ha un ruolo importante nel determinare le proprietà finali del biochar. Sia la composizione chimica che la struttura fisica dei materiali iniziali si riflettono sul prodotto finale (Zhao et al., 2013). Il biochar può essere ricavato dalla biomassa organica di diversa natura, al momento la materia prima utilizzata, su scala commerciale o in strutture di ricerca, include cippato e pellet (de Jong et al., 2003), residui di colture quali paglia, gusci di noce e lolla di riso (Shinogi e Kanri, 2003). Rifiuti organici come: scarti della lavorazione dell'oliva (Yaman, 2004). In letteratura si è riscontrato che la composizione chimica del biochar è significativamente differente a causa del materiale di partenza (Krull et al., 2009). Materiali di natura diversa hanno una composizione diversa in termini di cellulosa, emicellulosa, lignina e minerali. Queste differenze si riflettono in un comportamento diverso durante la pirolisi (Basu, 2010). Durante il trattamento termico, i componenti organici sono gradualmente degradati; il primo che subisce una degradazione è l'emicellulosa, ad una temperatura di 200-260°C, seguita dalla cellulosa ad una temperatura di 240-350°C e per ultima la lignina a 280-500°C. La percentuale di questi componenti nella biomassa di partenza ed il loro differente comportamento termico influenza il grado di reattività e determina i rapporti di carbonio volatile (bio-petrolio e gas) e carbonio stabile (char) nei prodotti della pirolisi (Basu, 2010). Di fatti per ottenere una maggiore resa in termini di prodotto solido si utilizza come materia prima quella con un alto contenuto di lignina come i residui forestali ed i gusci di noce (Demirbas, 2004). Dopo la pirolisi, nel biochar viene mantenuta la struttura originaria della materia prima di partenza come il suo scheletro carbonioso, la sua porosità e i minerali (Zhao et al., 2013). Sempre secondo Zhao et al. (2013), i biochar derivati da materiali legnosi hanno la caratteristica di avere un basso contenuto di ceneri (spesso meno del 3 %) ed un alto contenuto di C. Al contrario, biochar originati da biomasse erbacee, come gusci di arachidi, lolla di riso, paglie, hanno un minor contenuto di carbonio, ma maggior contenuto di elementi come N, P, K e S (Novak et al., 2009). Nel prodotto solido della pirolisi viene mantenuta anche la struttura vascolare originale della pianta. Ad esempio il legno è un materiale costituito da fibre, con pareti che hanno canali di trasporto di gas ed acqua (Keech et al., 2005), la dimensione di questi canali determina la dimensione dei pori nel biochar. Per questo motivo, biochar derivati da biomasse legnose hanno spesso superficie superiore a quelli originati da biomasse erbacee (Kloss et al., 2012). Inoltre specie di piante aventi molte celle di grande diametro nei loro tessuti staminali possono portare a biochar che contengono grandi quantità di macropori (Lehmann e Joseph, 2009). La struttura fisica del biochar, l'area superficie e la distribuzione della dimensione dei pori, è tipicamente legata alla sua capacità di trattenere l'acqua, nutrienti ed inquinanti dall'ambiente circostante, questa proprietà, a sua volta, influenza l'effetto quando applicato al terreno. Per massimizzare i benefici del biochar, è fondamentale conoscerne le variazioni chimico/fisiche originate dal materiale di base.

Il processo di pirolisi influisce notevolmente sulle caratteristiche e le proprietà del biochar e, di conseguenza, sul suo valore potenziale in termini di prestazioni agronomiche o di sequestro di carbonio. Sia il processo che i suoi parametri, principalmente temperatura finale raggiunta e tempo di permanenza, sono particolarmente importanti per determinare la natura del prodotto finale. Due importanti parametri influenzati dalla temperatura sono appunto la resa ed il contenuto di elementi nel biochar. Con l'aumentare della durata della pirolisi, si ha una diminuzione della resa di prodotto (Zhao et al, 2013) ed il materiale di partenza perde materia organica in forma di idrogeno, ossigeno e azoto, ma un aumento percentuale di sostanze inorganiche minerali in esso contenute (Al-Wabel et al., 2013). Di fatti il contenuto di ceneri ed il pH aumentano con l'aumentare della temperatura nel processo (Zhao et al., 2013). Diversi studi (Lehmann e Joseph, 2009) hanno rivelato che si ha un consistente aumento di carbonio nel biochar con il crescere della temperatura, questo è valido soprattutto per biochar derivanti dal legno. Infatti, biochar prodotti da feedstock di origine animale come il letame, hanno mostrato la tendenza opposta (Gaskin et al., 2008), probabilmente a causa del loro elevato contenuto di ceneri. Secondo Gaskin et al. (2008), la concentrazione di carbonio nel biochar diminuisce con l'aumentare del contenuto di minerali nelle materie prime di origine. Inoltre, come riportato in letteratura (De Pasquale et al., 2012), all'aumentare della temperatura nel processo diminuisce il quantitativo di gruppi alchilici contenuti nel biochar mentre la frazione aromatica aumenta. Sopra i 500°C il biochar è composto principalmente da forme altamente recalcitranti di materia organica, cioè carboni poli-aromatici condensati che risultano più stabili e resistenti alla degradazione microbica molto più a lungo di quelli prodotti alla bassa temperatura di 300°C (Uchimiya et al., 2011). Molti ricercatori sottolineano inoltre la forte influenza che la temperatura del processo ha sulla struttura fisica del biochar come: la superficie totale e la distribuzione della dimensione dei pori (Lehmann e Joseph, 2009). La temperatura del processo influenza la quantità di composti organici volatili rilasciati dalla materia prima di partenza (Daud et al., 2001) con conseguente sviluppo di porosità; all'aumentare della temperatura più composti organici volatili sono rilasciati più pori si andranno a formare. Si può quindi affermare che oltre alla temperatura del processo, l'area superficiale del biochar dipende da altri fattori come, la materia prima di partenza ed il suo contenuto di ceneri. Riassumendo, le proprietà fisico-chimiche del biochar sono principalmente influenzate dalle caratteristiche delle materie prime e dalla temperatura del processo di produzione. In particolare, alcune proprietà come la resa di produzione del biochar ed il pH sono prevalentemente controllate dalla temperatura di produzione, mentre il contenuto di carbonio, la conducibilità elettrica, le concentrazioni di minerali e il contenuto in ceneri sono principalmente influenzate dal materiale di partenza. Con una giusta combinazione di feedstock e di temperatura del processo si è in grado di produrre biochar con caratteristiche ideali per le diverse applicazioni agronomiche e ambientali. Ad esempio, un biochar ad elevata porosità può essere utilizzato come assorbente, quello con alta recalcitranza può essere applicato per la fissazione del carbonio, quello ricco di sostanze nutritive e minerali o con alta capacità di trattenimento dell'acqua potrebbe essere utilizzato come ammendante per migliorare la qualità del suolo.

Con l'aggiornamento del 22 giugno dell'allegato 2, il biochar è rientrato nella classificazione degli ammendanti riconosciuti in Italia dal Decreto Legislativo n.75 (29 April 2010) "Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti" (Gazzetta Ufficiale n. 121 del 26 maggio 2010 -

Supplemento ordinario) che definisce le caratteristiche per la classificazione e commercializzazione degli ammendanti e dei fertilizzanti.

Per essere utilizzati o commercializzati i concimi devono soddisfare gli obblighi derivanti dalle direttive della legge italiana e devono essere inclusi in un registro nazionale. Per l'inserimento di nuovi prodotti nelle liste di permesso fertilizzanti, essi devono soddisfare alcuni requisiti. Per esempio, le proprietà devono essere accuratamente caratterizzate dal punto di vista chimico, fisico e tossicologico utilizzando metodi ufficiali standard. Il loro processo di produzione ed il loro utilizzo devono essere tracciabili e standardizzati, e la società produttiva deve essere registrata nei registri dei produttori di fertilizzanti. Dal momento che ogni biochar prodotto ha caratteristiche uniche, dovute alla diversa biomassa di partenza ed ai diversi processi produttivi, non è possibile includere genericamente tutti i biochar nell'elenco degli ammendanti. Infatti, secondo la legge italiana, ogni singolo tipo di biochar deve essere caratterizzato, descritto, ed approvato per l'uso.

All'interno del Progetto PSR sono state eseguite prove di caratterizzazione partendo da biomasse locali e sottoprodotti agricoli reperibili presso l'Az. Martini.

I materiali di partenza (*feedstock*) utilizzati per le prove di caratterizzazione sono stati:

- residui della lavorazione del grano
- pioppo pellettato a due temperature di pirolisi
- scarti delle potature di fruttiferi
- lolla di riso (anche se non presente nell'azienda Martini, ma importante come scarto della lavorazione agricola nelle zone dedite alla coltivazione del riso)
- residui della lavorazione del mais

IV. Parametri analizzati

I materiali sopra elencati, trasformati in biochar sono stati analizzati attraverso Fei Quanta 200 Environmental Scanning Electron Microscopy (ESEM, Fei Corporation, Eindhoven, The Netherlands), la caratterizzazione chimica X-ray (EDAX). Il pH è stato analizzato in soluzione acquosa in rapporto 1:4 (biochar e acqua), la densità apparente e il massimo assorbimento di acqua sono stati, inoltre, determinati per ogni campione in maniera gravimetrica. Il massimo contenuto di acqua di ciascun biochar analizzato è stato determinato usando una pompa a vuota, dove 5 grammi di campioni, essiccato precedentemente, in stufa a 105°C per 48 ore è stato soggetto a diversi cicli di pompaggio di acqua ad una pressione negativa di -900mbar e successivamente pesato ad ogni ciclo. Ogni misura è stata replicata per 3 volte.

V. Risultati

Nella tabella sottostante (Tabella 20) i risultati dei parametri relativi al Massimo assorbimento di acqua, pH, e densità apparente. Dai risultati si evince che i valori di pH sono tendenti alla basicità con pH superiori a 7. I migliori risultati in termini di assorbimento di acqua si hanno con i biochar prodotti da materiali legnosi (potature fruttiferi) ad eccezione della lolla di riso.

Tab. 20 – Caratterizzazione fisica del biochar

Tipo di Biochar	Densità apparente kg/cm³	pH	Massimo assorbimento acqua (g di acqua/g di materiale secco)
Scarti lavorazione grano	0.51	9.8	2.91
Pioppo bassa temperatura	0.65	7.05	2.594
Pioppo alta temperatura	0.63	7.76	3.222
Potature fruttiferi	0.17	8.34	4.74
Lolla riso	0.21	7.8	5.058
Scarti lavorazione mais	0.28	9.87	4.734

I risultati ottenuti dal microscopio a scansione elettronica ci fanno capire la struttura interna del biochar e la sua porosità. Si evince quindi, che tutti i biochar prodotti sono diversi sia dal punto di vista fisico, relativo alla porosità (Figure 9-14), sia per quanto riguarda la caratterizzazione chimica, tabella sottostante (Tabella 21).

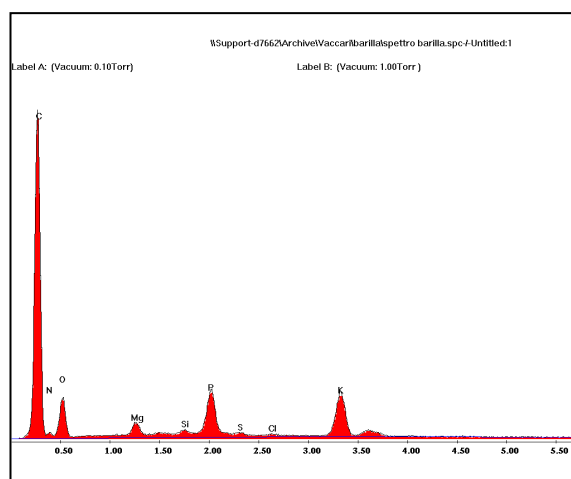
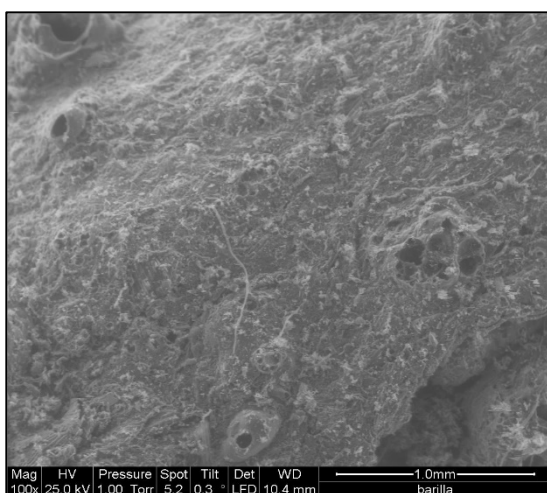


Fig. 9: Scarti della lavorazione del grano: SEM-Images by Electron Microscopy Scanning (ESEM, Fei Corporation, Eindhoven)

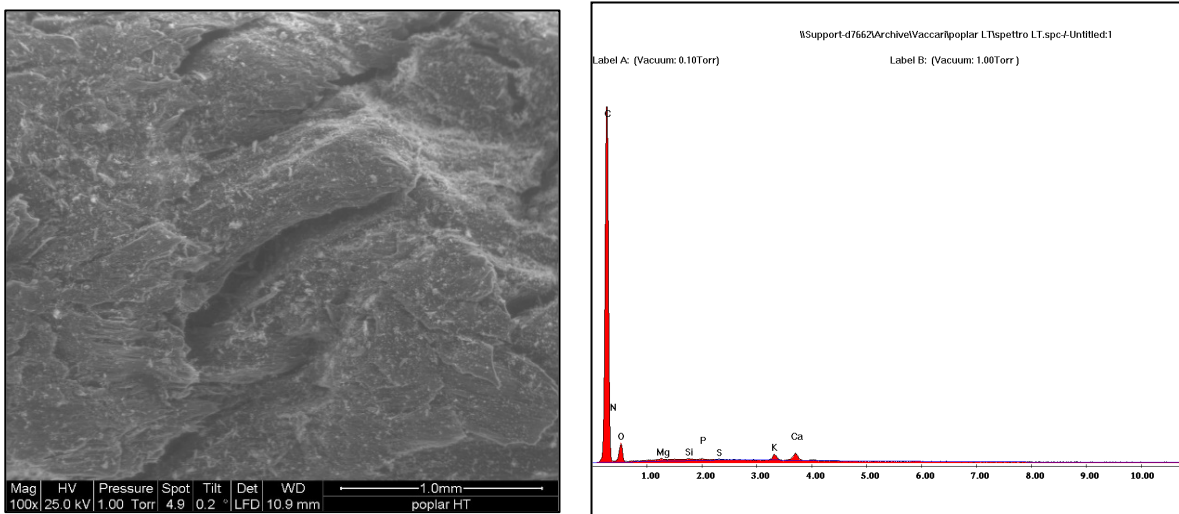


Fig. 10: Pioppo bassa temperatura: SEM-Images by Electron Microscopy Scanning (ESEM, Fei Corporation, Eindhoven)

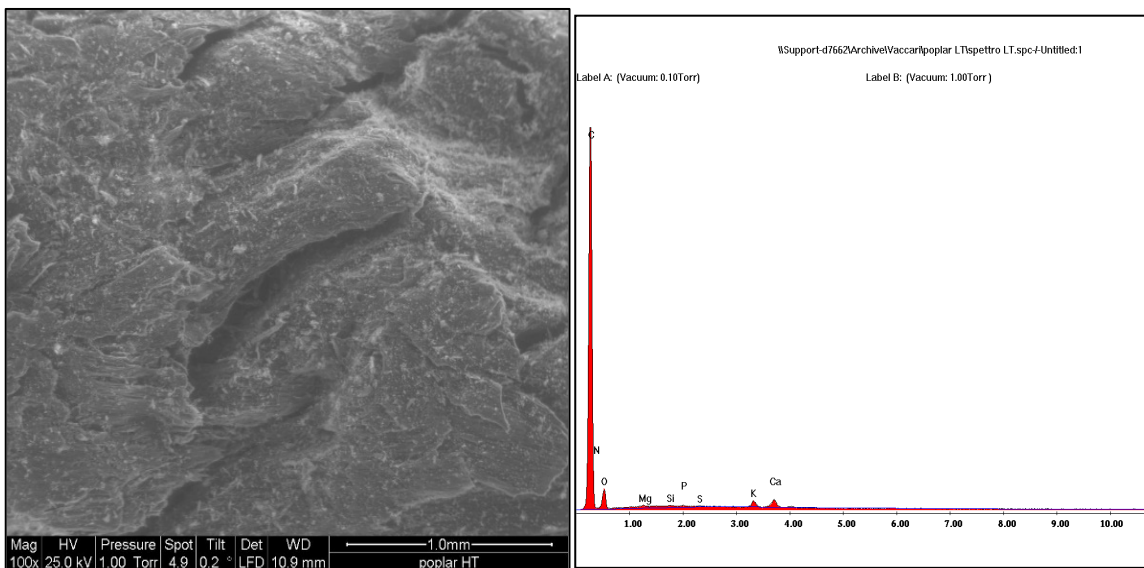


Fig. 11: Pioppo alta temperatura: SEM-Images by Electron Microscopy Scanning (ESEM, Fei Corporation, Eindhoven)

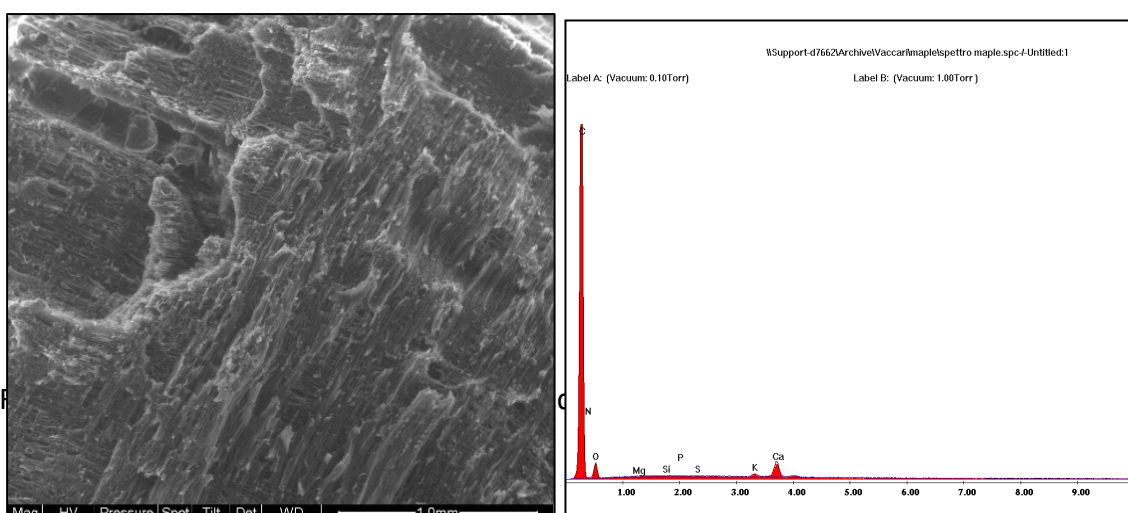


Fig. 12: Potatura fruttiferi: SEM-Images by Electron Microscopy Scanning (ESEM, Fei Corporation, Eindoven)

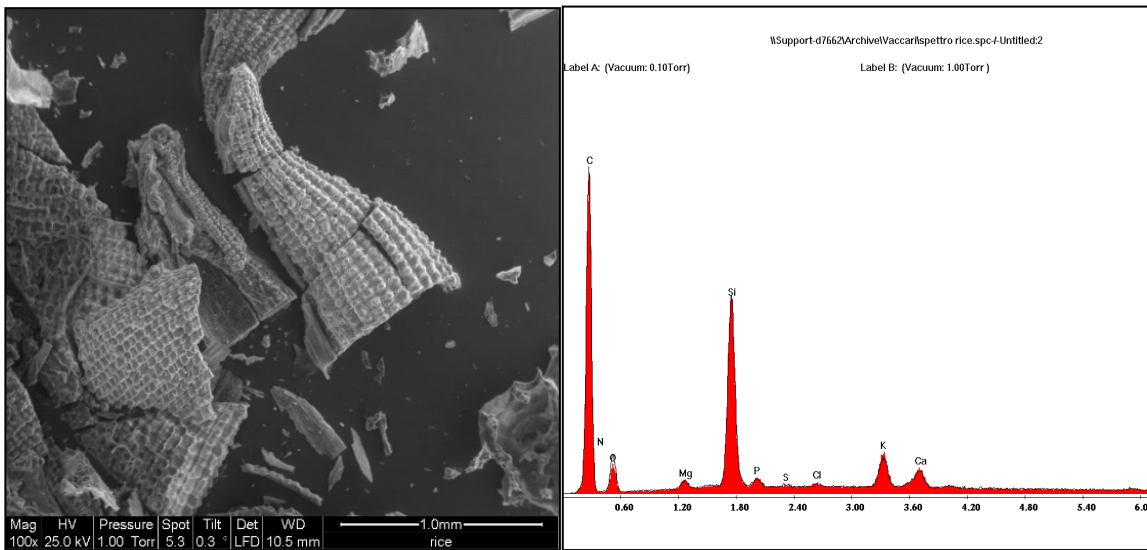


Fig. 13: Lolla di riso: SEM-Images by Electron Microscopy Scanning (ESEM, Fei Corporation, Eindoven)

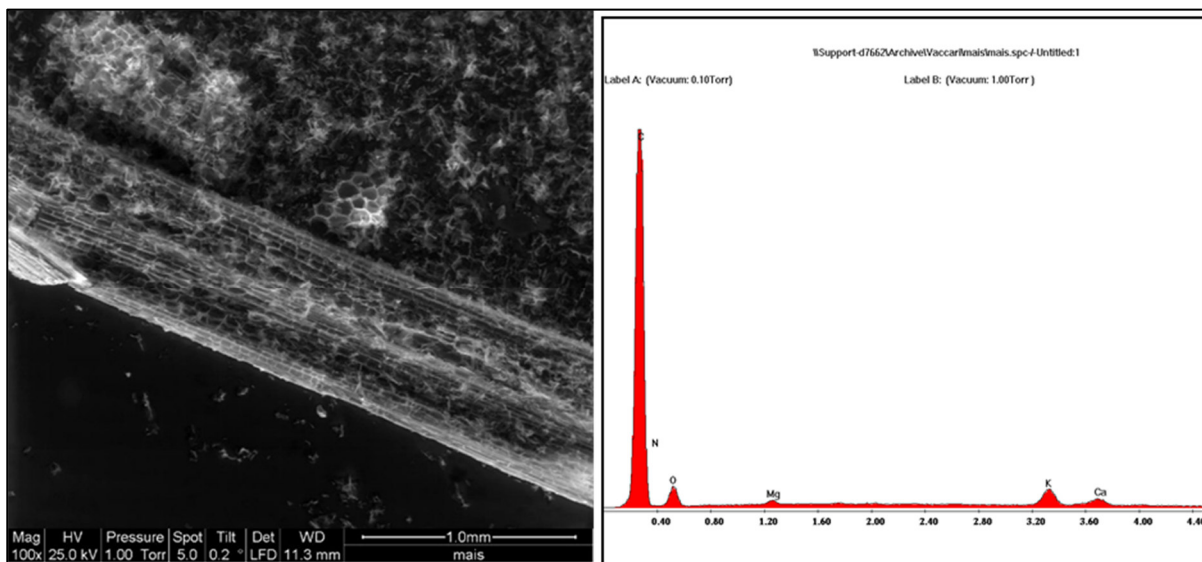


Fig. 14: Scarti della lavorazione del mais: SEM-Images by Electron Microscopy Scanning (ESEM, Fei Corporation, Eindoven)

Tab. 21 – Caratterizzazione chimica del biochar

Tipi di biochar	C	N	O	Mg	Si	P	K	Ca
Scarti lavorazione del grano	75.08	5.64	12.9			2.08	2.64	
Pioppo bassa temperatura	86.86	1.73	9.53					
Pioppo alta temperatura	90.83	1.53	7.12					
Scarti delle potature fruttiferi	90.29	0.91	6.94					1.21
Scarti lavorazione riso	80.91	0.29	7.5		7.04		1.91	1.16
Scarti lavorazione mais	87.91	1.43	8.52				1.26	

Dai risultati ottenuti si osserva che la composizione fisico/chimica del biochar rispecchia la natura della biomassa di partenza. Dall'analisi chimica si vede che tutti i biochar analizzati hanno un contenuto in Carbonio superiore al 80%, ad eccezione degli scarti della lavorazione del grano.

Per quanto riguarda i parametri analizzati si può affermare che tutti i biochar possono rientrare nella normativa italiana.

Bibliografia di riferimento

Al-Wabel MI, Al-Omran A, El-Naggar AH, Nadeem M, Usman ARA (2013) Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes. Bioresource Technology 131:374–379. DOI:10.1016/j.biortech.2012.12.165
 Basu P (2010) Biomass gasification and pyrolysis : practical design and theory. Elsevier. 365 pp
 Daud WMAW, Ali WSW, Sulaiman MZ (2001) Effect of carbonization temperature on the yield and porosity of char produced from palm shell. J Chem Technol Biotechnol 76: 1281-1285

De Pasquale C, Marsala V, Berns AE, Valagussa M, Pozzi A, Alonzo G, Conte P (2012) Fast field cycling NMR relaxometry characterization of biochars obtained from an industrial thermochemical process. *J Soil Sediment* 12(8): 1211-1221

Demirbas A (2004) Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. *J Anal Appl Pyrol* 72(2): 243-248

Gaskin JW, Steiner C, Harris K, Das KC, Bibens B (2008) Effect of low temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *T Asabe* 51: 2061–2069

Keech O, Carcaillet C, Nilsson MC (2005) Adsorption of allelopathic compounds by wood-derived charcoal: the role of wood porosity. *Plant and Soil* 272:291–300

Kloss S, Zehetner F, Dellantonio A, Hamid R, Ottner F, Liedtke V, Schwanninger M, Gerzabek MH, Soja G (2012) Characterization of slow pyrolysis biochars: effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biochar properties. *J Environ Qual* 41: 990–1000

Krull ES, Baldock JA, Skjemstad JO, Smernik RJ (2009) Characteristics of biochar: Organo-chemical properties. In: Lehmann J, Joseph S (Eds) *Biochar for Environmental Management, Science and Technology*. Earthscan, London

Lehmann J, Joseph S (Eds) (2009) *Biochar for environmental management: an introduction*. In: Lehmann J and Joseph S (Eds) *Biochar for environmental management - science and technology*. Edited Earthscan, London, pp 1-12

Novak JM, Busscher WJ, Laird DL, Ahmedna M, Watts DW, Niandou MAS (2009) Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil. *Soil Science* 174(2): 105-112

Shinogi Y, Kanri Y (2003) Pyrolysis of plant, animal and human waste: physical and chemical characterization of the pyrolytic products. *Bioresource Technol* 90(3): 241-247

Uchimiya M, Wartelle LH, Klasson KT, Fortier CA, Lima IM (2011) Influence of pyrolysis temperature on biochar property and function as a heavy metal sorbent in soil, *J Agr Food Chem* 59: 2501–2510

Yaman S (2004) Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks. *Energy Convers Manage* 45:651-671

Zhao I, Cao X, Masek O, Zimmerman A (2013) Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock source and production temperatures. *J Hazard Mater* 256-257: 1-9. DOI:10.1016/j.jhazmat.2013.04.015

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

L'obiettivo di acquisire dati relativi alla combustione delle biomasse è stato ottenuto con le modalità sopra indicate. Per le altre attività dell'Azione non si segnalano scostamenti o criticità rispetto all'esecuzione, con sostanziale raggiungimento degli obiettivi prefissati.

AZIONE 3.2 – Impieghi agronomici

2.1 Attività e risultati

Unità aziendale responsabile: CNR-IBE

Partecipano alle attività: **Fondagri, CRPV, Azienda Agricola F.Ili Martini**

Descrizione attività

I. Premessa

Come per la precedente azione, si propone, a cura di CNR-IBE, una disamina sul biochar, le sue caratteristiche chimico-fisiche, le potenzialità agronomiche e il suo ruolo nella mitigazione degli effetti del cambiamento climatico

Il riscaldamento climatico è inequivocabile, come è ormai evidente dalle osservazioni dell'aumento delle temperature medie globali dell'atmosfera e degli oceani, dallo scioglimento di neve e ghiaccio e dall'innalzamento del livello del mare. Le concentrazioni in atmosfera di anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄) e protossido di azoto (N₂O) sono notevolmente aumentate come risultato dell'attività umana dai valori pre-industriali: per esempio, la concentrazione di CO₂ è cresciuta da un valore pre-industriale di circa 280 ppm ad un valore di 402 ppm nel 2019. L'aumento della CO₂ in atmosfera è dovuto principalmente all'utilizzo di combustibili fossili; nonostante ciò, anche alcune pratiche forestali ed agricole hanno un ruolo, nell'aumento della CO₂ come la deforestazione, l'agricoltura "taglia e brucia", praticate nelle zone tropicali, il prosciugamento di zone umide, che accelera la decomposizione della sostanza organica, e l'utilizzo di torba per scopi agricoli. Inoltre gli incrementi di CH₄ ed N₂O sono dovuti principalmente all'agricoltura. Continuare ad emettere gas serra ad un tasso uguale o superiore a quello attuale, causerebbe un ulteriore riscaldamento e provocherebbe molti cambiamenti nel sistema climatico globale durante il XXI secolo; questi cambiamenti molto probabilmente potrebbero essere maggiori di quelli osservati durante il XX secolo. Le simulazioni con i modelli matematici mostrano, infatti, che se anche tutte le cause delle forzanti radiative fossero mantenute costanti ai livelli dell'anno 2000, nei prossimi due decenni si verificherebbe un ulteriore aumento riscaldamento di circa 0.1° C per decennio, causato principalmente dalla lenta risposta degli oceani. La miglior stima delle proiezioni proveniente dai modelli indica che il riscaldamento medio decennale sopra ogni continente abitato nel 2030 è insensibile alla scelta degli diversi scenari ed è molto probabile che tale riscaldamento sia almeno due volte maggiore del suo corrispondente stimato tramite modelli per la variabilità naturale durante il XX secolo. Con il Protocollo di Kyoto del 1997, uno dei più importanti accordi raggiunti dall'UNFCCC, i Paesi industrializzati aderenti si sono impegnati a ridurre le emissioni di gas clima-alteranti ad un livello inferiore del 5% rispetto al livello del 1990 entro il 2012.

Il settore agricolo gioca un ruolo fondamentale nel processo dei cambiamenti climatici. Rispetto ad altre attività antropiche, l'agricoltura rappresenta allo stesso tempo una fonte diretta di emissione di gas serra (10-12% delle emissioni annuali globali di natura antropica), ma anche un potenziale strumento di mitigazione dei cambiamenti climatici se praticata in modo sostenibile. Il gruppo di esperti intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC) è l'organismo internazionale che guida la valutazione dei cambiamenti climatici. E' stato istituito dal Programma delle Nazioni Unite per

l'ambiente (UNEP) e l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO) nel 1988 per fornire al mondo con una visione chiara e scientifica sullo stato attuale del cambiamento climatico e i potenziali impatti ambientali e socio-economici. Nel 2003, con il rapporto Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF) redatto dall'IPCC, per la prima volta, si guarda all'agricoltura come mezzo per una potenziale azione di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici, e in particolare, vengono messe in evidenza le pratiche di fissazione di carbonio (C) nel suolo. La lavorazione minima e la non lavorazione, la rotazione e l'avvicendamento colturale, l'uso di ammendanti, il sovescio, l'inerbimento, il miglioramento della gestione dei pascoli, la gestione integrata degli elementi nutritivi, il set-aside, sono tutte pratiche agricole capaci di aumentare il carbonio contenuto nel suolo. Nel Rapporto IPCC (AR4 -2007) si stima che la mitigazione potenziale del sequestro di carbonio nei suoli agricoli rappresentano l'11- 17% del potenziale di mitigazione totale. Il suolo è una riserva dinamica di carbonio (carbon sink) capace di trattenere in forma organica notevoli quantità di questo elemento; il C contenuto nel suolo è superiore a 1500 Gt, quasi tre volte superiore a quello contenuto nell'atmosfera (600 Gt di C). Tuttavia, nei suoli agricoli l'attuale stock di carbonio organico è, in generale, molto al di sotto della capacità potenziale della maggior parte dei terreni agricoli dei paesi industrializzati, infatti, i suoli hanno perso da 30 a 40 tonnellate di carbonio per ettaro. Da questi dati emerge chiaramente il potenziale ruolo dell'agricoltura nella gestione dei suoli, e, quindi, quale potenziale strumento per la mitigazione dei cambiamenti climatici.

Il ciclo globale del carbonio è rappresentato dall'insieme degli scambi di anidride carbonica e altri composti del carbonio tra i vari sink. La CO₂ presente nell'aria viene assimilata dalle piante tramite il processo fotosintetico: parte della CO₂ assorbita dalla pianta viene processata nella respirazione cellulare per la produzione dell'energia cellulare e alla morte della pianta l'accumulo il carbonio della pianta viene utilizzato nelle catene alimentari degli animali e degradata dai microrganismi del terreno. In seguito ai processi respirativi della pianta, si ha un rilascio di CO₂ in atmosfera. Da qui l'anidride carbonica può essere assorbita nelle acque degli oceani sotto forma di bicarbonato ed essere stoccata anche in profondità. Sul fondo degli oceani si accumulano inoltre sedimenti derivati dalla decomposizione di organismi marini, gusci di calcite e aragonite, il cui ricircolo avviene in tempi lunghissimi. Alcuni di questi sedimenti, in determinate condizioni e in milioni di anni, possono originare giacimenti di petrolio, di carbone e di gas naturale, i quali, una volta estratti e utilizzati come combustibili per le attività umane, si trasformano nuovamente in CO₂ che ritorna in atmosfera chiudendo anche questo circolo.

L'International Biochar Initiative (IBI) definisce il biochar come "un materiale solido ottenuto dalla carbonizzazione della biomassa che può essere aggiunto al suolo con l'intenzione di migliorare le funzioni del suolo e per ridurre le emissioni dei gas serra. Il Biochar rappresenta un metodo per aumentare il sequestro del carbonio nel suolo". Il biochar o carbone vegetale, si ottiene dalla pirolisi di diversi tipi di biomassa. La pirolisi permette di ottenere: un gas (syngas) con un potere calorifico pari al GPL che può essere utilizzato in processi produttivi che necessitano di calore (es: essiccazione o per la produzione di energia elettrica) e biochar o carbone vegetale. Il sottoprodotto della pirolisi è il biochar (90% di contenuto di carbonio) che, se applicato al terreno, è un ottimo ammendante. Diversamente dagli altri ammendanti a base di sostanza organica, la struttura carboniosa del biochar (ricca in anelli aromatici che formano una struttura cristallina) gli permette di essere molto più

stabile nel terreno e dunque di essere degradato con tempi più lenti dai microrganismi. Questa caratteristica viene detta “recalcitranza” ed è la caratteristica principale che rende il ottimo alleato nella lotta ai cambiamenti climatici. Infatti utilizzare il biochar come ammendante ci permette di “sequestrare” carbonio in esso contenuto invece che farlo tornare all’atmosfera sotto forma di CO₂ come nel caso del compost o della combustione dei residui di potatura (pratica effettuata normalmente). Per biomassa da cui ottenere biochar si intendono i prodotti e residui di origine vegetale provenienti dall’agricoltura e dalla selvicoltura e i residui agro-industriali (come sanse di oliva, vinacce, crusche, noccioli e gusci di frutta). Il tipo di biomassa utilizzata per la produzione di Biochar è importante, perché da esse dipendono le caratteristiche chimiche e fisiche del biochar. I rapporti elementari tra carbonio, ossigeno e idrogeno della biomassa sono parametri chiave per la qualità dei prodotti commerciali del processo produttivo. Si definisce ammendante una sostanza naturale o prodotta chimicamente usata per modificare o migliorare le caratteristiche di un terreno. Le piante sottraggono carbonio dall’atmosfera attraverso il processo fotosintetico. Com’è noto, infatti, esse utilizzano acqua, luce e CO₂ per sintetizzare i composti organici necessari alla loro sopravvivenza. Una volta che la pianta muore, parte dell’anidride carbonica che questa ha organizzato con il processo fotosintetico torna in atmosfera. Se i residui vegetali della pianta, anziché essere bruciati (con conseguente rilascio di CO₂), vengono indirizzati al processo della pirolisi (combustione in assenza di ossigeno), il carbonio organizzato dalla pianta viene convertito in biochar. Dal momento che il biochar rimuove il carbonio organico dal ciclo della decomposizione della pianta, esso sottrae CO₂ dall’atmosfera. Il biochar sequestra circa il 50% del carbonio contenuto inizialmente nei residui vegetali pirolizzati mentre il restante 50% lo si ritrova nel syngas, il gas che si produce durante la pirolisi e che può essere utilizzato come fonte energetica. Se le fonti energetiche rinnovabili come il solare o l’eolico sono processi carbon neutral, ovvero non comportano emissione di nuova CO₂ in atmosfera e non alterano il bilancio del carbonio, il biochar determina invece un bilancio carbon negative in quanto l’anidride carbonica “sottratta” dall’atmosfera con la fotosintesi viene immobilizzata nel terreno attraverso l’interramento del biochar. Si stima che una fattoria di 250 ha che utilizzi biochar addizionato d’azoto sia in grado di sequestrare 1900 tonnellate di carbonio all’anno (<http://www.biorenew.iastate.edu>). Ulteriori ricerche sono necessarie ma i risultati fino ad ora ottenuti sono positivi tant’è che il biochar è stato inserito nell’agenda dei prossimi negoziati internazionali sui cambiamenti climatici come la più promettente strategia di mitigazione del cambiamento climatico.

L’uso di materiale carbonioso come ammendante del terreno non è una scoperta recente. Infatti i materiali carbonizzati sono stati utilizzati per molti secoli dalle antiche civiltà come strumenti per migliorare le caratteristiche del terreno (in Giappone, in singole aree dell’Asia orientale e dell’America del Sud e Mediterraneo). Nel 1966 il pedologo Sombroek rilevò per primo, nel bacino della Foresta Amazzonica, dei siti dove il suolo presentava caratteristiche assolutamente diverse dai terreni adiacenti, nonostante la mineralogia e la tessitura fossero le stesse. In questi siti (, denominati ‘Terra Preta’ (dal portoghese terra nera), il suolo presentava un contenuto di sostanza organica molto elevata, mediamente del 14 %, fino ad una profondità di 40-80 cm, un pH alcalino, attività biologica elevata ed erano particolarmente fertili. Queste caratteristiche erano del tutto contrarie a quelle dei suoli adiacenti fortemente alterati e poco fertili tipici degli ambienti tropicali come quelli amazzonici di colore rosso, ricchi in caolinite e con una s.o. che varia dal 0,2 al 2 %, pH

acido e ricchi in alluminio. Gli studi dimostrarono che questa particolare fertilità del terreno derivava dall'interramento, di materiali carboniosi (residui di fuochi da cucina) da parte delle popolazioni indigene per migliaia di anni. Ad oggi esempi di suoli come Terra Preta sono utilizzati per studiare gli effetti del biochar sul lungo termine e il tempo effettivo di degradazione di questa materiale.

La pirolisi è un processo energetico che porta alla degradazione termochimica della biomassa in condizioni di carenza o assenza dell'agente ossidante (es. O_2). Il materiale carbonioso non è l'unico prodotto di questa reazione, infatti, si ottengono due coprodotti: un residuo liquido nero viscoso (tar o bio-olio) e una miscela di gas (syngas). Il bilancio quantitativo e qualitativo dei tre prodotti è influenzato dalla biomassa (e.g. dimensioni particelle, caratteristiche chimiche) di partenza e dal processo produttivo (e.g. tecnologia utilizzata, condizioni di processo e.g. temperatura e tempo di residenza). Agli antichi metodi delle "carbonaie" ad oggi si aggiungono i moderni processi industriali:

- Pirolisi lenta:

- temperature del reattore relativamente basse ($< 400\text{ }^\circ\text{C}$)
- velocità di riscaldamento molto bassa (da 0.01 a $2\text{ }^\circ\text{C/s}$)
- tempi di permanenza della biomassa: minuti, ore o giorni
- reattore operante a pressione atmosferica
- tempra termica dei prodotti: da minuti a ore

Biochar, tar e syngas si formano in proporzioni approssimativamente uguali.

- Pirolisi veloce:

- temperature del reattore superiori a $450\text{ }^\circ\text{C}$
- elevati tassi di riscaldamento ($> 1000\text{ }^\circ\text{C/s}$)
- tempi di permanenza del prodotto gassoso inferiori a 2 s
- tempra termica dei prodotti: $<40\text{ ms}$.

La pirolisi veloce è stata sviluppata con l'obiettivo di raggiungere un alto rendimento del combustibile liquido (tar), può essere azionato da $\sim 425\text{-}550\text{ }^\circ\text{C}$ per ottimizzare le rese di tar e sopra $600\text{ }^\circ\text{C}$ (pirolisi ad alta temperatura) per aumentare o ottimizzare la resa del syngas (fine ultimo produzione di energia).

- Gassificazione: è il processo mediante il quale qualsiasi materiale carbonioso è convertito sostanzialmente in un flusso di monossido di carbonio e idrogeno. Condizioni di processo sono: alte temperature di reazione ($> 800\text{ }^\circ\text{C}$) e concentrazione di ossigeno controllata, a volte alte pressioni ($15\text{-}50\text{ bar}$). Il processo è massimizzato per la produzione di syngas e quindi la resa di biochar tende ad essere molto bassa.

Le caratteristiche chimiche e fisiche del biochar sono fortemente dipendenti dal processo di pirolisi con conseguenza sul suo valore in termini di prestazioni agronomiche o di sequestro del carbonio. Sia il processo (pirolisi o gassificazione) che i parametri di processo (temperatura) sono importanti nel determinare le proprietà del prodotto. In genere all'aumentare della temperatura di pirolisi, diminuisce la resa in termini di prodotto solido (biochar) ed aumenta la produzione di syngas per energia. Inoltre, a temperature elevate il biochar uscente sarà costituito da una maggiore proporzione di sostanza inorganica minerale rispetto a quella organica. Durante la pirolisi, infatti, la

materia organica perde idrogeno, ossigeno e azoto risultando più ricca in minerali. Solitamente, all'aumentare della temperatura di pirolisi, segue anche un aumento del pH ed aumento dell'area superficiale del biochar. Oltre pirolisi alla tipologia di processo, anche la biomassa di partenza ha un ruolo chiave per le caratteristiche fisico-chimiche del prodotto finale. Il biochar, infatti, come già accennato, può essere ottenuto da diverse biomasse (cippato, pellet di legno, corteccia, residui di colture, gusci di noci, mali di noce, residui dell'industria di lavorazione della canna da zucchero, della lavorazione dell'olio, etc) ognuna con una struttura fisica di partenza completamente diversa dalle altre. Infatti con la pirolisi, la struttura fisica del materiale, il suo scheletro carbonioso, la sua porosità ed i minerali contenuti vengono mantenuti. Come già accennato, il biochar è un materiale altamente poroso. Il grado di porosità è determinato dalla biomassa di partenza e dalla temperatura di pirolisi (basse temperature conservano la struttura originale della biomassa). Il biochar ha una struttura amorfa all'interno della quale sono presenti strutture cristalline (dette cristalliti) disposte casualmente e costituite da pile di fogli formati da composti aromatici coniugati tra loro. Utilizzato nel terreno, aumenta la ritenzione idrica e quella degli elementi nutritivi che rimangono più a lungo disponibili per le piante. Molti studi hanno già dimostrato l'impatto positivo dell'applicazione del biochar sulle produzioni agricole diminuendo il fabbisogno di acqua, inoltre, i pori permettono anche la creazione di "nicchie ecologiche" da parte dei microorganismi aumentandone la quantità e a volte la qualità. Un'altra caratteristica, correlata alla porosità (relazione diretta con il numero di micropori), è l'elevata area superficiale – il biochar possiede un'elevata area superficiale specifica paragonabile a quella di una argilla (compresa tra i 5 e i 750 m²/g). Questa caratteristica è tipica dei materiali assorbenti e per i biochar aumenta quando la biomassa appartiene a residui legnosi. Questa caratteristica conferisce al biochar anche proprietà adsorbenti che potrebbero permettere la sua applicazione nella fito e bio depurazione dei terreni altamente inquinati tramite la capacità di assorbire molecole organiche e inorganiche. Questo aspetto potrebbe aprire interessanti prospettive per l'utilizzo del biochar anche negli interventi di ripristino ambientale. Nei terreni ammendati con biochar la capacità di scambio cationico (CSC) del suolo aumenta. Ciò è dovuto alle caratteristiche colloidali e all'abbondanza di gruppi funzionali – soprattutto fenolici e carbossilici – che si formano sulla superficie del materiale carbonioso in seguito all'ossidazione con l'ossigeno. Quasi tutti i biochar hanno un pH fortemente alcalino (generalmente compreso tra 8-12) dovuto all'abbondanza di carbonati e anioni organici oltre alla perdita di gruppi funzionali acidi (ad esempio i gruppi carbossilici) del processo di pirolisi. Questo aspetto è importante poiché (nei terreni acidi come quello tropicali) lo rende idoneo a migliorare il pH e favorire il liming effect. Lo scambio ionico rappresenta uno dei principali meccanismi con cui il terreno trattiene e mette a disposizione delle piante e dei microrganismi elementi quali il calcio, il magnesio, il potassio, l'azoto ammoniacale, perciò la CSC è un indice della potenziale fertilità chimica del terreno. Liming è l'applicazione di materiali nel suolo per neutralizzarne l'acidità ed aumentare l'attività di batteri del suolo. Inoltre, alcuni degli stessi cationi che conferiscono alcalinità al terreno, come calcio e potassio, sono anche dei nutrienti importanti, e si trovano in forma facilmente scambiabile. L'elevata porosità e superficie specifica del biochar modificano le dinamiche di ritenzione dei gas e dei fluidi nel suolo. Macropori e micropori sono in grado di equilibrare efficacemente il contenuto di aria e acqua nel terreno, mitigando i problemi di bassa ritenzione idrica nei terreni sabbiosi e di alta ritenzione idrica nei terreni argillosi. In generale, nei terreni ammendati, è stato dimostrato che il contenuto totale di

acqua del suolo e la capacità di ritenzione idrica aumentano. Attualmente, non è ancora possibile ricavare una relazione quantitativa tra tasso di applicazione al terreno del biochar e resa produttiva delle colture e soprattutto, non è ancora possibile fare delle previsioni sui raccolti a lungo termine. Tuttavia, l'evidenza suggerisce che grazie ai miglioramenti delle caratteristiche agronomiche del terreno, per alcune combinazioni colture-suolo, l'aggiunta di biochar è generalmente vantaggiosa per le piante e che in pochissimi casi è negativa. In un lavoro pubblicato nel 2011 è stata presentata una meta-analisi statistica di tutti i dati scientifici disponibili con l'obiettivo di valutare l'effetto dell'applicazione del biochar al suolo sulla produttività delle colture. I risultati hanno mostrato un incremento delle rese in media del 10%. Tuttavia, i dati che sono stati utilizzati per la meta-analisi coprivano una vasta gamma di valori (da -28% a +39%).

Nel 2009 in Italia nasce l'Associazione Italiana Biochar (ICHAR). ICHAR è un'Associazione no-profit, ed ha lo scopo di promuovere soluzioni, tecnologie, studi avanzati, attività dimostrative e progetti educativi legati alla produzione ed all'uso del biochar per il sequestro di CO₂ atmosferica nel suolo e per il miglioramento della fertilità dei terreni agricoli. L'Associazione è stata fondata da rappresentanti del Consiglio Nazionale delle Ricerche, da rappresentanti di varie Università italiane, da imprese commerciali con il fine principale di promuovere la ricerca, lo sviluppo, la dimostrazione, l'uso ed infine la commercializzazione del biochar. A questo proposito nel 2012 ICHAR è stata promotrice di un'istanza per chiedere l'inclusione del Biochar nel registro degli ammendanti alla Commissione Italiana Ammendanti e Fertilizzanti. L'obiettivo è stato raggiunto con successo con la pubblicazione della normativa- Biochar sulla Gazzetta Ufficiale, Serie Generale n° 186 del 12-8-2015. Ichar, attualmente, è il riferimento italiano dell'International Biochar Initiative (IBI), associazione a livello internazionale, e conta oggi molti iscritti appartenenti a varie categorie: ricercatori, aziende, amministratori pubblici, studenti, e agricoltori.

Per svolgere al meglio la sua funzione ammendante, il biochar dovrebbe essere distribuito negli strati più superficiali del terreno, dove avviene la maggior parte del ciclo dei nutrienti e dove sono concentrate la maggior parte delle radici delle piante. Le modalità con cui distribuire il materiale carbonioso nel suolo dipendono dal sistema di coltivazione. In generale, il biochar dovrebbe essere gestito tramite le tradizionali macchine agricole ed essere incorporato nel suolo durante le lavorazioni di routine. Il materiale può essere prima distribuito sulla superficie del terreno e successivamente essere interrato (o rimanere sulla superficie, e.g. sistemi colturali no-tillage, pascoli, frutteti inerbiti, etc.) o può essere direttamente incorporato nel suolo. La distribuzione del biochar può essere estesa a tutta la superficie lavorabile oppure può essere localizzata, intorno alle piante (e.g. trincee, buche). Il biochar può essere distribuito nel suolo da solo oppure mescolato con altri materiali solidi (e.g. concimi, compost), in questo ultimo caso può migliorare l'efficienza fertilizzante. Può anche essere miscelato con concimi liquidi e applicato come una sospensione, riducendo gli odori sgradevoli e le emissioni di ammoniaca dei liquami. La principale problematica relativa alla distribuzione del biochar è legata alla sua frantumazione in particelle polverulente (dimensioni < 2 mm). Questo problema varia ampiamente a seconda della biomassa di origine e della tecnica produttiva con la quale il materiale carbonioso è stato ottenuto. In generale, quando il biochar viene manipolato (gestito), data la sua relativa fragilità macro- strutturale, si frantuma in particelle di piccole dimensioni (polveri), le quali sono suscettibili all'azione erosiva del vento e dell'acqua. Varie forme (e.g. pellet) sono in fase di studio per sopperire a questa fragilità. Per

definire le dosi da applicare nel suolo di ogni ammendante deve essere disponibile una vasta gamma di prove sperimentali in pieno campo. In questo momento, non sono disponibili dati sufficienti per dettare delle linee guida circa la quantità di biochar da aggiungere nel terreno in funzione del tipo di suolo e di colture. Inoltre, esistono vari tipi di materiale carbonioso che, come già detto, differiscono ampiamente nelle loro caratteristiche, quindi anche la natura del biochar (e.g. pH, contenuto di ceneri) influenza la quantità da applicare. Nella letteratura scientifica, diversi studi hanno riportato effetti positivi dell'applicazione del biochar sulle rese delle colture con una gamma molto vasta di dosi, che varia da 0.5 a 100 t/ha. È una forbice molto ampia, ma proseguendo con la ricerca scientifica si sapranno dare indicazioni più precise relativamente a questo aspetto agronomico. Poiché il C contenuto nel materiale carbonioso varia, può essere opportuno indicare le quantità da applicare in tonnellate di biochar-C per ettaro, piuttosto che in tonnellate di materiale per ettaro (questa esigenza si ravvede soprattutto per il conteggio del carbonio fissato nel suolo). Grazie alla sua recalcitranza alla decomposizione nel suolo, singole applicazioni di biochar possono fornire effetti benefici per più stagioni colturali. Pertanto, non è necessario applicarlo a ciascuna coltura. Tuttavia, la frequenza di applicazione può aumentare poiché essa dipende dal sistema di gestione agronomica e dalla disponibilità della fornitura del materiale carbonioso.

II. Attività di progetto

Nel gennaio 2018 è stato effettuato un primo sopralluogo per concordare la localizzazione delle parcelle destinate alla prova. Nel settembre 2018 ed in accordo con l'Azienda Martini è stato deciso di eseguire la sperimentazione su un campo diverso rispetto a quello previsto inizialmente, in quanto, non essendo localizzato in prossimità della strada, assicurava condizioni migliori di gestione, soprattutto in riferimento all'effetto bordo (Figure 15-16)



Fig.15. Localizzazione campo prova e dell'Azienda Martini



Figura 16. Gestione delle parcelle di prova dell'Azienda Martini

L'appezzamento scelto era stato coltivato negli ultimi anni dall'Azienda Martini con grano tecnico, destinato alla mangimistica animale. La prova di distribuzione del biochar in campo è iniziata l'08/11/2018, con ritardo rispetto a quanto preventivato sia per motivi inerenti la consegna del biochar (Allegato 3.2.1 e Allegato 3.2.2) presso l'Azienda, sia perché è stato deciso di valutare l'effetto del biochar su una coltura autunno-vernina e non sul mais (primaverile-estivo) come preventivato inizialmente. Il disegno di prova è rimasto invariato rispetto a quello di Gennaio 2018 e nel campo sono state delimitate 4 parcelle di 20 m per 20 m, pari a 400 m² dove sono stati applicati i seguenti trattamenti: controllo, dove non è stato effettuato nessun trattamento; solo biochar,

dove è stato aggiunto biochar pari a 25 t/ha; solo letame, letame compostato, con oltre 12 mesi di maturazione, 25 t/ha; biochar e letame pari a 25 t/ha.

Il letame è stato distribuito con uno spandiletame a fine Ottobre 2018 soltanto su metà del campo sperimentale scelto e interrato con un'epicatura fino a 10-15 cm di profondità.

Il biochar è stato consegnato all'Azienda nell'ottobre 2018 in 4 big bags (Figure 17-18) e a causa delle avverse condizioni meteorologiche la distribuzione è avvenuta soltanto l'8/11/2018 con uno spandiletame ed una successiva epicatura per interrare il biochar (Figure 19-23).



Fig. 17. Consegna del biochar in big bags all'Azienda Martini e stoccaggio coperto prima della distribuzione in campo



Fig. 18. Poster di progetto su big bag di biochar





Fig. 19-23. Distribuzione in campo del biochar



Una settimana dopo la distribuzione del biochar l'azienda ha seminato Frumento tenero varietà Marco Polo da destinare all'alimentazione dell'allevamento interno all'azienda. Durante il ciclo vegetativo del grano sono stati eseguiti i campionamenti per monitorare lo stato di crescita del frumento e a Luglio 2019 (04 Luglio) è stata eseguita la raccolta del frumento (Figura 24.)

Fig.24. Campionamento e analisi di crescita del grano tecnico

All'interno delle parcelle sono state ricavate 4 aree di saggio per trattamento ed è stato effettuato il campionamento distruttivo. I campioni di frumento sono stati portati nei laboratori di Firenze di CNR-IBE, dove per ogni campione sono stati determinati i seguenti parametri: altezza media delle spighe; numero di spighe a m², peso secco delle spighe, peso secco dei fusti e Harvest Index (calcolato sui precedenti parametri) (Figure 25-29)

In linea generale l'effetto biochar è molto evidente sia sulla morfologia che sulla resa per metro quadro, rispetto al controllo. Ovviamente l'effetto biochar è inferiore all'effetto del letame, ma quando viene paragonato con il trattamento letame e biochar qui l'effetto sinergico è molto marcato. Da notare che indipendentemente dall'effetto in termini assoluti, il valore di Harvest Index (rapporto tra la parte riproduttiva e parte vegetativa) è marcatamente maggiore nel trattamento biochar rispetto agli altri trattamenti. Gli obiettivi dell'azione 3.2 sono perfettamente raggiunti e anche se per cause indipendenti dalla nostra volontà, ritardata consegna del biochar, rispetto alla proposta dove era stato indicato che avremmo anche valutato l'effetto singola dose e dose ripetuta dell'applicazione del biochar.

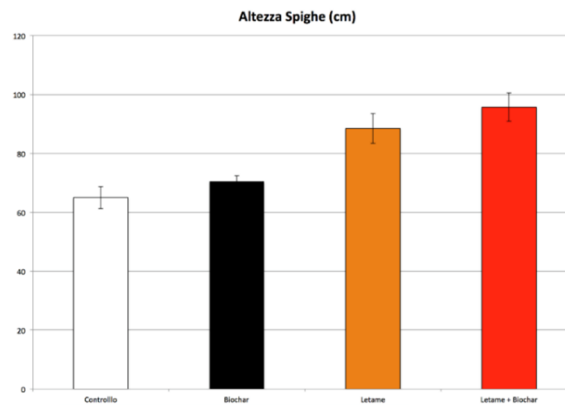


Fig. 25. Altezza delle spighe

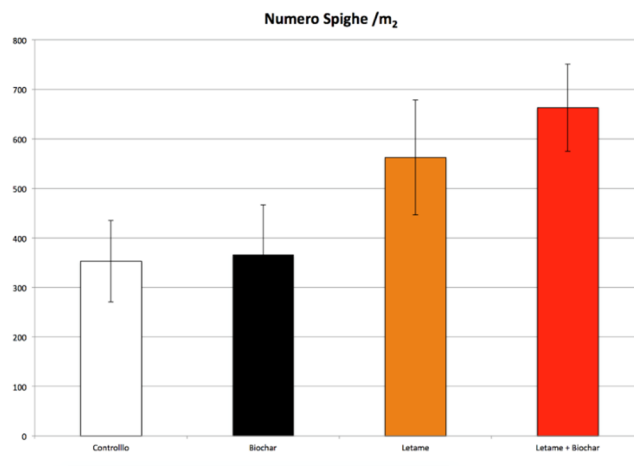


Fig. 26. Spighe a m²

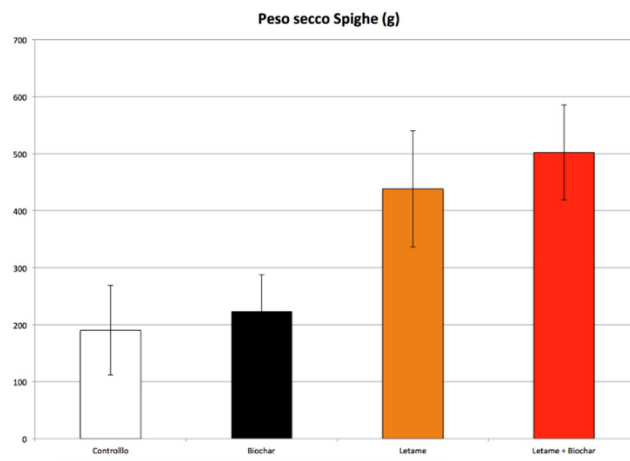


Fig. 27. Peso secco spighe

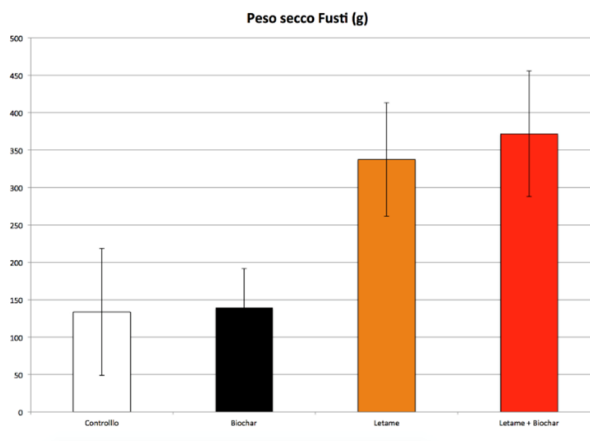
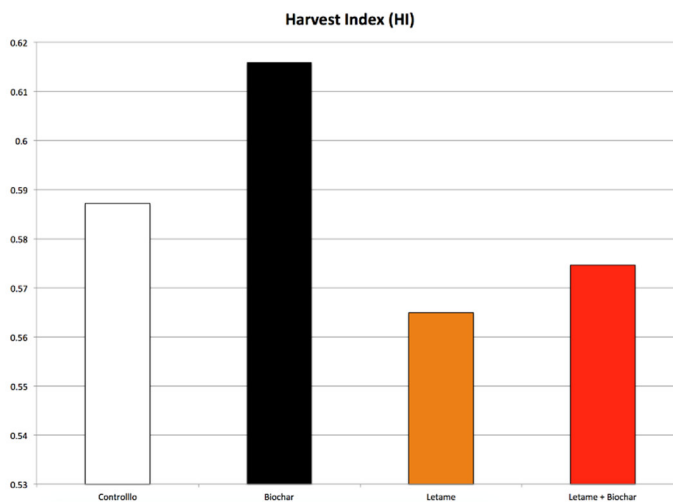


Fig. 28. Peso secco fusti



III. **Analisi di scenario e ricadute operative**

L'incremento della produzione di grano da destinare all'alimentazione animale, osservato in questa prova dimostrativa, utilizzando come ammendante il biochar e pari a un incremento medio di produzione di granella del 15% ad ettaro, rappresenta sicuramente un vantaggio produttivo ed economico diretto e indiretto. Il vantaggio diretto potrebbe essere quantificato in circa 150€/ha usando una produzione media per ettaro di 6 t di granella e una quotazione media del frumento tenero di 170€/t; indiretto in quanto per ottenere un 15% di produzione per ettaro, si sarebbero dovuti impiegare circa 60 kg/ha in più di concimi azotati (Meriggi e Ruggeri, 2015).

Accanto a questi dati tangibili e misurabili, non vanno sottovalutati i benefici ambientali dell'uso del biochar tal quale e/o in miscela con il letame maturo, che vanno sicuramente ad aumentare la sostenibilità di un settore produttivo importante come quello zootecnico. Infatti l'ammendamento con 25 t/ha di biochar ha generato un sequestro netto di anidride carbonica pari a 60 t/ha. In questo computo è stato considerato il quantitativo di carbonio medio del biochar (pari al 70%) e una perdita fisiologica di carbonio nell'ammendamento pari al 5%. Queste tonnellate di anidride carbonica valgono sul mercato delle emissioni circa 1400 €/ha, usando la quotazione di dicembre 2019 della tonnellata di CO₂ sequestrata pari a 24€.

Il caso dimostrativo dell'Azienda F.lli Martini di Galeata (FC), rappresenta un caso virtuoso di produzione zootecnica altamente sostenibile. Infatti i bovini sono allevati all'aria aperta, sfruttando la produttività dei pascoli e incrementando il benessere animale; l'acquisto e l'uso di cereali dal mercato per l'alimentazione degli animali è ridotto al minimo e altresì l'impiego di biochar come ammendante ha dimostrato come si possa produrre ottenendo dei vantaggi ambientali non trascurabili.

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

Le attività previste nella sotto-azione sono state regolarmente svolte con risultati in linea con gli obiettivi prefissati. Non si segnalano scostamenti o criticità rispetto al piano di lavoro.

AZIONE 3.3 – Impieghi in stalla

2.1 Attività e risultati

Unità aziendale responsabile: CNR-IBE

Partecipano alle attività: **Fondagri, CRPV, Azienda Agricola F.Ili Martini**

Descrizione attività

I. Premessa

La zootecnia è un settore importante e contribuisce notevolmente alla produzione di gas ad effetto serra (14% dei gas ad effetto serra di natura antropogenica), sia direttamente con la fermentazione enterica, sia indirettamente con le emissioni derivanti dall'uso e dalla gestione del letame e anche per la coltivazione degli alimenti destinati agli allevamenti. Infatti circa il 60% della biomassa vegetale coltivata nel mondo entra nel settore zootecnico sia come alimento che come lettiera per gli animali e circa il 45% di tutto il settore zootecnico sono dovute alla produzione di alimenti da destinare agli animali. Da questi numeri emerge chiaramente che qualsiasi azione che limiti le emissioni in aria di gas ad effetto serra in questo settore contribuisce in modo sostanziale ad aumentare la sostenibilità del settore zootecnico.

II. Attività di progetto

Nella pianificazione di questa sotto-azione, non è stato possibile mettere a punto l'attività di aggiunta di biochar nell'alimentazione dei bovini e di conseguenza nel valutare la sua efficacia nella riduzione dei batteri metanogeni del microbioma intestinale dei bovini. Le difficoltà sono principalmente dovute alle difficoltà della gestione da parte dell'Azienda di isolare un gruppo di animali in produzione da destinare alla prova (recinzione separata dagli altri, alimentazione diversa etc.) e anche dal fatto che la produzione di carne dell'Azienda Martini è di tipo biologico e attualmente il biochar non è consentito nell'alimentazione del bestiame biologico. In sostituzione di questa attività, sulla scorta degli importanti risultati ottenuti dalle prove preliminari di misura delle emissioni di gas ad effetto serra (Metano CH₄; Protossido di Azoto N₂O; Anidride Carbonica CO₂) e Ammoniaca NH₃ (precursore del Protossido di azoto) a seguito della miscelazione di letame con biochar, si è deciso di privilegiare questa attività rispetto alla prima. In particolare, durante i periodi estivi 2018 e 2019, si sono allestite *ad hoc* tre prove distinte, unendo biochar con letame e altre matrici derivanti dagli allevamenti zootecnici (liquame e digestato). La prova è stata effettuata in contenitore, chiusi ad intervalli regolari e, usando due approcci sperimentali di misura, sono stati quantificati i flussi delle emissioni di gas ad effetto serra (CO₂, CH₄, NH₃ e N₂O) e quindi valutato l'effetto del biochar nel contenimento delle emissioni.

Gli approcci di misura impiegati sono stati l'uso di uno strumento per la misurazione in continuo direttamente dai contenitori utilizzati per le miscele di biochar e letame e un approccio discontinuo, utilizzando delle vials (boccette di vetro) dove veniva iniettato il gas prelevato dallo spazio di testa del contenitore e successivamente analizzato per gascromatografia e spettrometria di massa. Per semplicità di lettura li definiremo in continuo (Figure 30-32) e discontinuo (Figure 35-36).

In aggiunta a quanto previsto in questa azione è introdotta la specie gassosa NH_3 e sono state analizzate diverse tipologie di matrici derivanti da deiezioni animali.

Esperimento discontinuo

Si è allestita una prova di 3 campioni di letame bovino fresco (massimo 3 giorni di maturazione) da allevamento biologico (Trattamento CONTROLLO) e 3 campioni di letame con aggiunta di biochar (Trattamento BIOCHAR) (Figure 24 e 25). Il Biochar aveva un contenuto di carbonio totale del 68% in sostanza secca, un rapporto molare H:C pari a 0.66, un pH uguale a 8.7 e una conducibilità elettrica pari a 445 micro-siemens per cm. L'analisi granulometrica del biochar è risultata: > 5 mm = 8%; < 5 mm = 32%; < 2 mm = 17%; < 0.5 mm = 28%; < 0.4 mm = 15%.

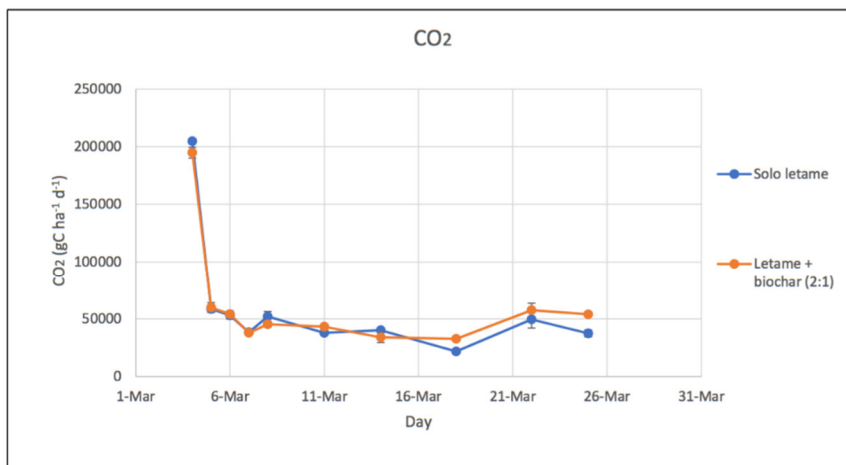
Sono stati preparati 3 contenitori cilindrici con letame fresco da 2 kg ciascuno e 3 contenitori sempre con 2 kg di letame fresco con l'aggiunta di un 1 kg di biochar precedentemente essiccato in stufa. I contenitori prima di ogni misura sono stati tappati con coperchio attrezzato allo scopo dotato di sensori di temperatura (termocoppia di tipo K) e ventola per il rimescolamento dell'aria nello spazio di testa del contenitore. Ad ogni misura tramite una siringa da 20 ml è stata campionata l'aria nello spazio di testa del contenitore e iniettata in una vials (10 ml di aria e gas). Per ogni misurazione i campioni di aria dello spazio di testa sono stati eseguiti rispettivamente dopo 15 minuti, 30 minuti e 45 minuti dopo la chiusura dei contenitori. Le misurazioni sono state fatte nell'arco di 21 giorni di esperimento. Le vials raccolte sono state analizzate tramite GC-MS (gascromatografia-spettrometria di massa) e misurato i flussi di CO_2 , CH_4 e N_2O per unità di superficie di ogni contenitore. I risultati di questa prova hanno dimostrato che il biochar ha poco effetto sulle emissioni di anidride carbonica e metano da letame, ma ha un consistente effetto sulla riduzione delle emissioni da protossido di azoto che ha un GWP (Global Warming Potential) quasi 300 volte maggiore rispetto alla CO_2 (Figure 32-34)



Fig. 30 Esperimento discontinuo

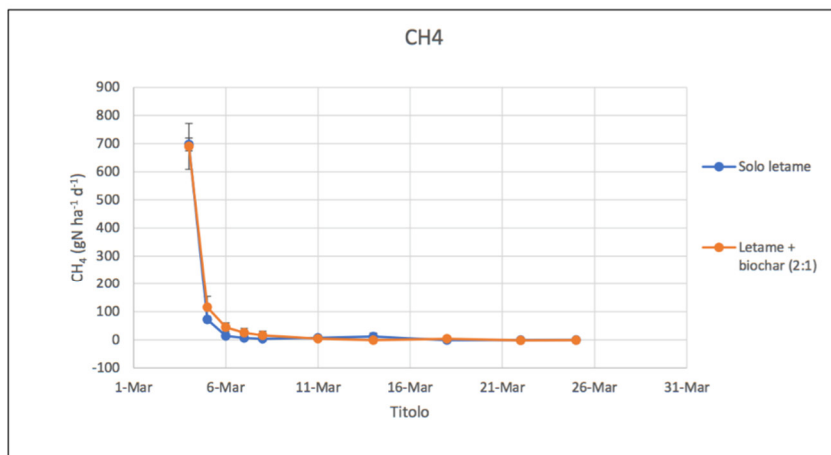


Fig. 31. Esperimento discontinuo



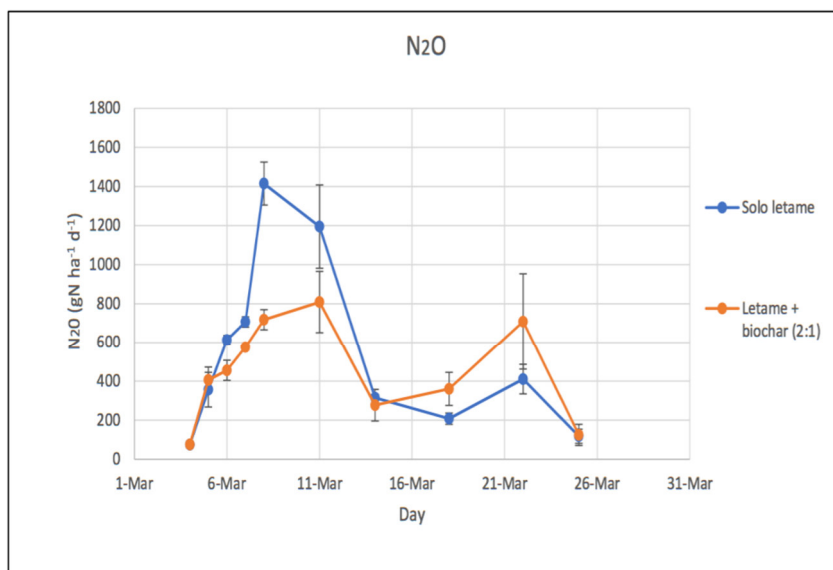
Andamento nel tempo dell'emissione di CO₂ in campioni di letame tal-quale e mescolato con biochar (n=3 ± SD).

Fig.32. Esperimento discontinuo: flusso di CO₂



Andamento nel tempo dell'emissione di CH₄ in campioni di letame tal-quale e mescolato con biochar (n=3 ± SD).

Fig. 33. Esperimento discontinuo: flusso di CH₄



Andamento nel tempo dell'emissione di CH₄ in campioni di letame tal-quale e mescolato con biochar (n=3 ± SD).

Fig.34. Esperimento discontinuo: flusso di N₂O

Esperimenti in continuo

Esperimento 1

Sono stati preparati 9 mesocosmi: 3 con letame, 3 con letame + biochar e 3 con digestato + biochar, questi ultimi due in rapporto 2:1. Il letame è di bovino adulto originario dell'azienda Martini (Figura 29). I mesocosmi sperimentali sono stati chiusi ermeticamente all'inizio della prova per effettuare misure in continuo attraverso un gas analyzer portatile (Madur, XCGM 400). L'Analizzatore utilizzato XCGM 400di Madur è uno strumento di dimensioni ridotte e massima funzionalità che utilizza la tecnologia a infrarossi non dispersivi (NDIR) per il monitoraggio di CO₂ (± 10 ppm). Il campionamento del gas è stato effettuato inserendo un ago, collegato all'analizzatore di gas da un tubo di politetrafluoroetilene, per un minuto. I campionamenti di gas sono stati effettuati immediatamente dopo la chiusura della camera (T₀) e dopo un'ora di accumulo di gas (T₁) con la camera chiusa. La differenza tra T₁ e T₀ rappresenta la concentrazione di gas all'interno delle camere. Concentrazioni di gas (ppm), dimensioni della camera (area e volume), tempo di chiusura e peso molare del gas sono stati utilizzati per il calcolo dei flussi di gas (kg-C ha⁻¹). Le misure si sono protratte per 3 giorni.

Esperimento2

Nel secondo esperimento è stata utilizzata la stessa strumentazione utilizzata per il primo esperimento ma aumentando le matrici da analizzare con e senza biochar.

Le matrici analizzate sono state:

- Letame di bovino adulto prelevato dall'azienda Martini
- Liquame di suino prelevato dall'azienda Martini
- Digestato derivante dalla fermentazione di effluenti zootecnici.

Ogni matrice è stata analizzata tal quale attraverso un'analisi elementare per capire il contenuto in Carbonio e Azoto. Ogni matrice è stata messa all'interno dei contenitori per l'analisi dei gas sia tal quale sia con l'aggiunta di Biochar. Il rapporto tra le varie matrici e il biochar è stato come precedentemente descritto 2:1.

Le tesi analizzate sono state:

- Letame vaccino - 3 kg letame
- Letame vaccino e biochar – 3 kg letame e 1.5 kg di biochar
- Liquame suino - 2 kg liquame
- Liquame suino e biochar - 2 kg liquame e 1 kg di biochar
- Digestato liquido suino – 3 kg digestato
- Digestato liquido suino e biochar – 3 kg digestato e 1.5 biochar

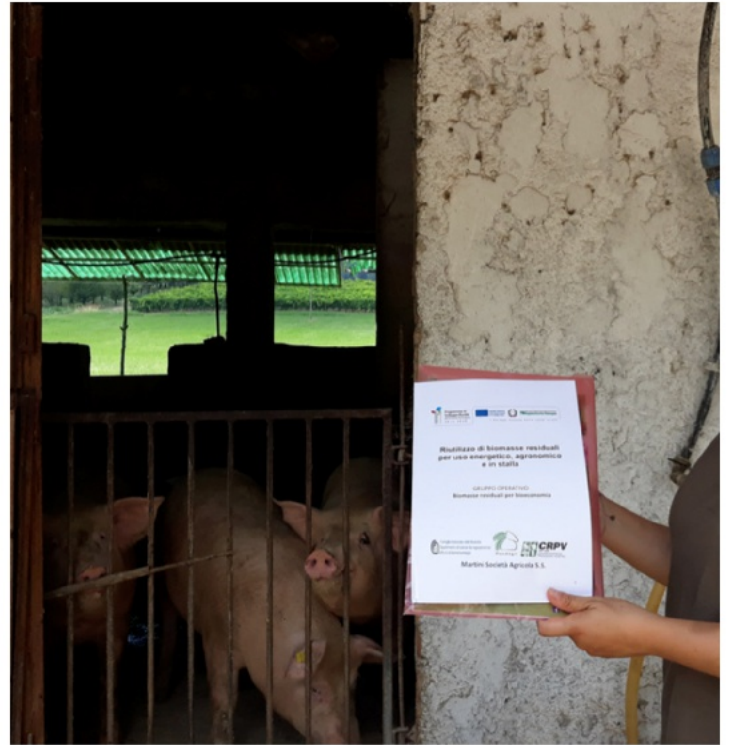


Fig.35. Esperimenti continui: prelievo delle matrici



Fig. 36. Esperimenti continui: preparazione dei microcosmi

Carbon dioxide (kg C/m³/21 days)

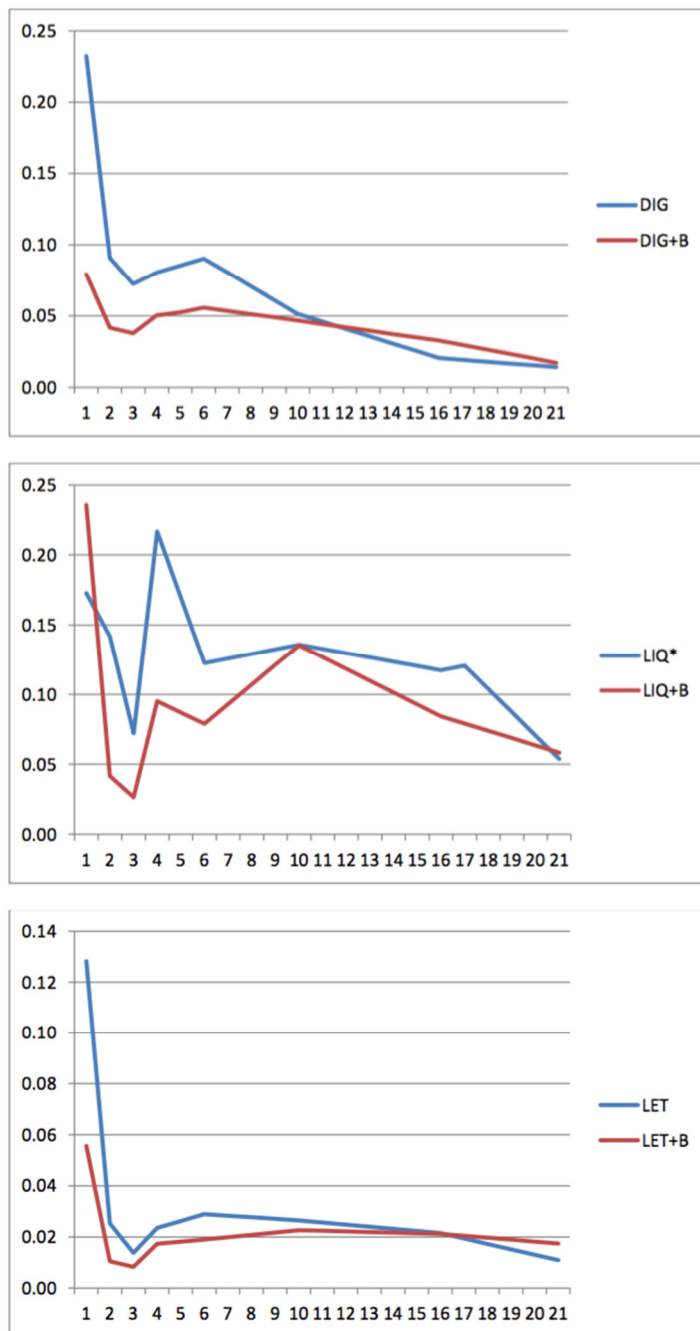


Fig. 37. Esperimenti continui: flusso di CO₂

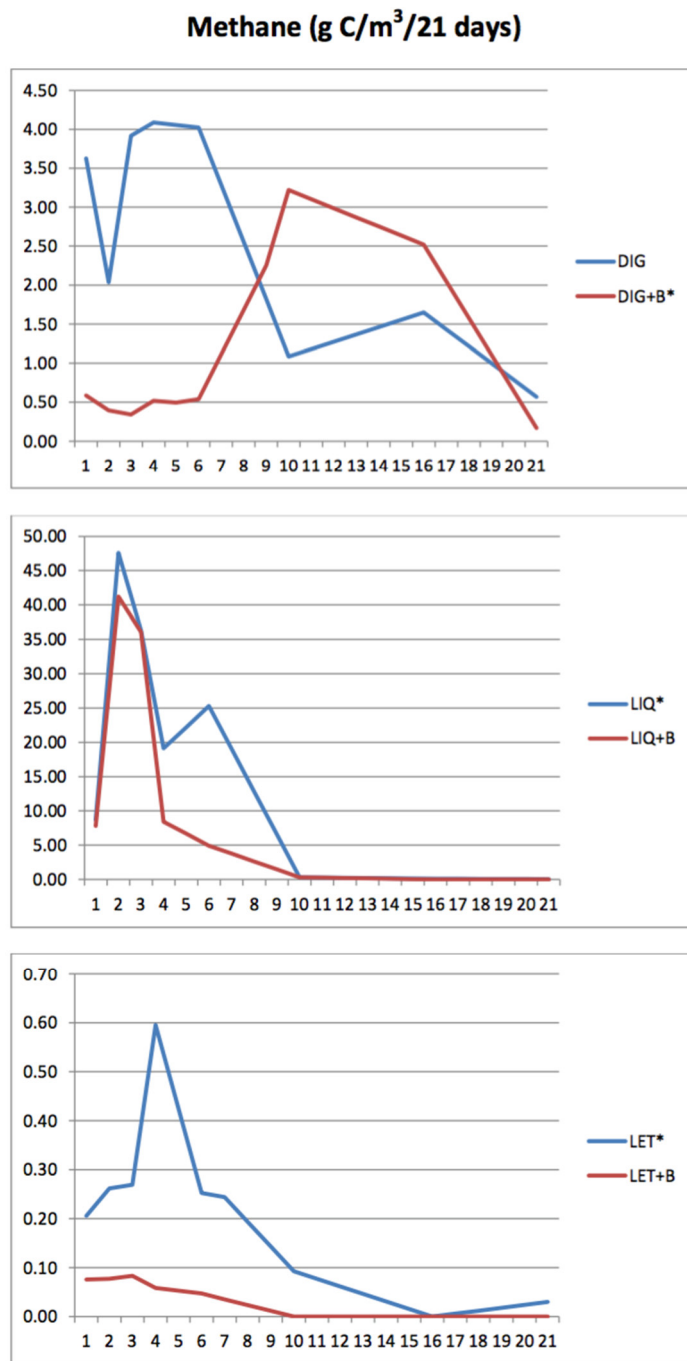


Fig.38. Esperimenti continui: flusso di CH₄

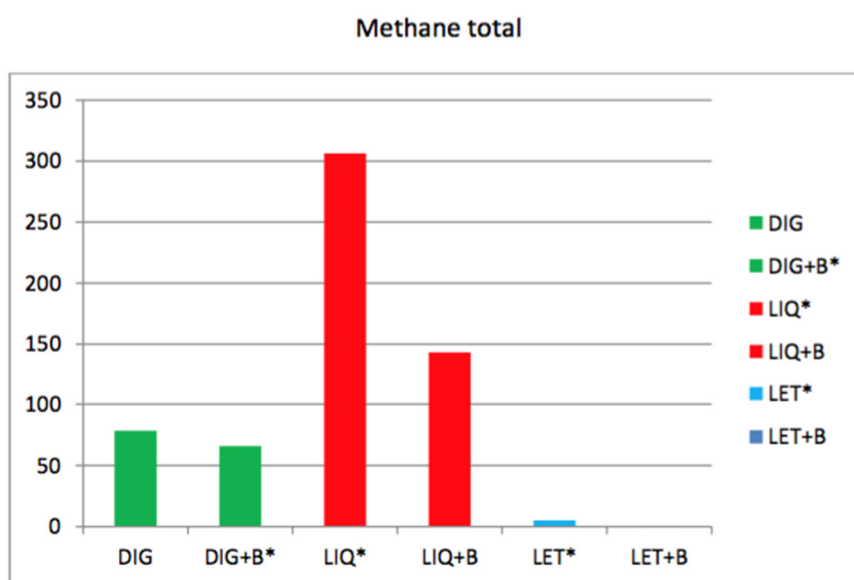
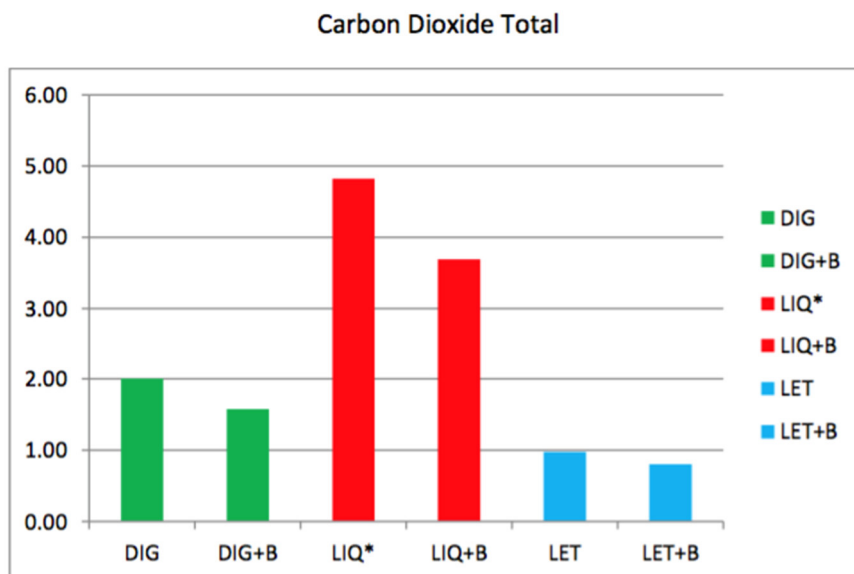


Fig.39 . Esperimenti continui: flussi totali di CO₂ e di CH₄

I risultati dell'azione 3.3 dimostrano chiaramente (figure 37-39) come l'aggiunta di biochar alla lettiera o ad altre matrici derivanti dalle deiezioni animali diminuisca le emissioni dei gas climalteranti. Rispetto a quanto indicato nello schema del progetto ed in considerazione delle misure messe in campo riteniamo che questa azione abbia raggiunto pienamente gli obiettivi previsti. Infatti se da una parte non è stato possibile eseguire le analisi dei gruppi metanigeni nelle deiezioni animali, per i motivi sopradescritti, la misurazione delle emissioni dei GHG rispetto a

quanto previsto ha visto l'aggiunta della specie gassosa dell' NH_3 e la valutazione delle emissioni con due approcci scientifici diversi e su matrici che non erano soltanto la lettiera bovina, ma anche il digestato e il liquame suino.

4) ANALISI DI SCENARIO E RICADUTE OPERATIVE

Le osservazioni sperimentali/divulgative del Piano operativo "Riutilizzo di biomasse residuali per uso Energetico, agronomico e in stalla" sono molto importanti nel panorama tecnico/scientifico/operativo sull'uso del biochar sia a carattere nazionale che internazionale. Anche se i dati raccolti fanno riferimento ad una realtà specifica della Provincia di Forlì-Cesena, l'Azienda Martini, trovano tuttavia riscontro in analoghe osservazioni sperimentali sia in Italia che in altre realtà situate alle medie latitudini. Infatti la stimolazione alla produzione del frumento tecnico dell'Azienda Martini, dovuta all'applicazione del biochar, è perfettamente in linea con quanto precedentemente osservato anche a carattere internazionale e quindi rappresentativa non solo della Provincia di Forlì e Cesena ma dell'Emilia Romagna e in più in generale dell'Italia. Le osservazioni invece sull'efficacia dell'uso del biochar come matrice per evitare le emissioni in aria di gas ad effetto serra derivanti dall'uso del letame e di altre matrici ammendanti, costituiscono un data-set pionieristico in questo settore. Da queste osservazioni preliminari possiamo ragionevolmente presentare una analisi di scenario che per quanto possa essere considerata "speculativa", può comunque fornire un quadro ragionato sull'importanza dell'uso del biochar come ammendante in agricoltura. Da qui si possono innestare valutazioni di tipo tecnico-economico sull'opportunità dell'introduzione in agricoltura del biochar, alle quali il Piano operativo ha dato un contributo con dati e osservazioni raccolte in un contesto operativo e reale e non in prove di laboratorio o di altro ambiente confinato di incerta trasposizione applicativa in campo.

La prova sul grano tecnico dell'Azienda Martini ci dimostra come l'effetto del biochar dato al suolo si possa riassumere in un:

- incremento medio di produzione di granella di frumento tenero del 15% ad ettaro;
- vantaggio diretto per l'agricoltore potrebbe essere quantificato in circa 150€/ha usando una produzione media per ettaro di 6 t di granella e una quotazione media del frumento tenero di 170€/t;
- vantaggio indiretto per l'agricoltore in quanto per ottenere un 15% di produzione per ettaro, avrei dovuto impiegare circa 60 kg/ha in più di concimi azotati;
- ammendare con 25 t/ha di biochar ha generato un sequestro netto di anidride carbonica pari a 60 t/ha. Queste tonnellate di anidride carbonica valgono sul mercato delle emissioni circa 1400 €/ha.

Queste osservazioni ci consentono una valutazione su scala Provinciale e Regionale che per quanto necessariamente semplificativa, può fornire interessanti indicazioni operative. Usando i dati dell'Istat del Censimento dell'Agricoltura emerge che la superficie in ettari coltivata a frumento tenero dell'Emilia Romagna è pari a quasi 142.000 ettari con una produzione di poco più di 9.000.000 di quintali di granella. La Provincia di Forlì-Cesena ha una superficie investita a frumento di 9.000 ettari con una produzione totale di poco meno di 500.000 quintali, mediamente pari a 55 quintali per ettaro. Nello scenario più ottimistico, che prevederebbe che tutti gli ettari investiti a frumento

tenero fossero ammendati con 25 t/ha di biochar come nell'Azienda di Martini di Galeata potremmo ottenere i seguenti vantaggi nella Provincia di Forlì-Cesena:

- aumento della produzione del frumento tenero ad ettaro pari a 63 quintali contro gli attuali 55, con un vantaggio diretto per l'agricoltore di circa 140 € per ettaro;
- una riduzione dei concimi azotati per ettaro valutabili in 540 tonnellate di concimi azotati che non verrebbero né acquistati, né distribuiti nell'ambiente;
- un sequestro di 540.000 tonnellate di CO₂ atmosferica.

Le prove sperimentali dimostrano chiaramente l'efficacia del biochar nel contenere le emissioni in aria derivanti dalla fermentazione del letame, in particolare si osserva una riduzione del 20% delle emissioni di CO₂ e del 40% di CH₄. Queste percentuali di riduzione sono molto importanti in quanto recentemente l'Università di Siena insieme ad una équipe di studiosi della Stanford University e dell'Università della California, hanno determinato che i gas ad effetto serra emessi dal bestiame sono responsabili di circa il 10% delle emissioni ad effetto serra globali. Il bestiame rilascia gas ad effetto serra attraverso i microorganismi che sono coinvolti nel processo di digestione animale, e attraverso la decomposizione del letame. Il 74% delle emissioni mondiali è causato dai bovini e ci si aspetta che la crescita aumenti ulteriormente visto che, per il 2050, è previsto il raddoppio della richiesta di prodotti derivanti

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

Come sopra ricordato non è stato possibile svolgere l'attività di valutazione dell'aggiunta di biochar nella razione degli animali, perché gli stessi allevati in regime biologico. In sostituzione di questa attività sono state potenziate le prove di valutazione dell'effetto del biochar nel contenimento delle emissioni di gas a effetto serra. I risultati ottenuti, di particolare rilevanza nel contesto della sperimentazione sul tema, portano a considerare pienamente raggiunto l'obiettivo prefissato.

COSTI AZIONE 3

2.2.2 Personale

Cognome e nome	Unità operativa	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	CRPV	Responsabile di settore	responsabile operativo e pianificazione attività	108	3.060,72
	CRPV	tecnico	Supporto alle attività sperimentali	158	4.688,86
Totale CRPV					7.749,58

	CNR-IBE	Ricercatore /Responsabile Scientifico Progetto	Analisi sul ruolo delle biomasse provenienti dal settore primario nella costruzione di percorsi sostenibili di bioeconomia	150	5.512,80
	CNR-IBE	Ricercatore	Analisi dei tipi diversi di biochar e partecipazione alla redazione dell'analisi sul ruolo delle biomasse.	80	2.130,40
	CNR-IBE	Ricercatore /Responsabile Scientifico Progetto	Disamina sul biochar, le sue caratteristiche chimico-fisiche, le potenzialità agronomiche e il suo ruolo nella mitigazione degli effetti del cambiamento	405	15.267,45
	CNR-IBE	Ricercatore	Responsabile delle prove agronomiche presso l'Az. Martini e raccolta dei dati oltre che all'interpretazione dei	350	9.331,00
	CNR-IBE	Ricercatore /Responsabile	Organizzazione delle prove sperimentali e	50	1.856,50
	CNR-IBE	Ricercatore	Raccolta dei dati	20	532,60
Totale CNR-IBE					34.630,75
Totale:					42.380,33

2.8 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

CONSULENZE - PERSONE FISICHE

Nominativo del	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo (€)
	40.000,00	Collaborazione alla realizzazione attività Impieghi energetici	7.500,00
	40.000,00	Collaborazione alla realizzazione attività Impieghi agronomici	12.500,00
	40.000,00	Collaborazione alla realizzazione attività Impieghi in stalla	10.000,00
Totale:			30.000,00

CONSULENZE – SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo (€)
PENG s.r.l		5.800,00	Fornitura Biochar	3.000,00
Totale:				3.000,00

AZIONE 4 – Divulgazione

2.1 Attività e risultati

Unità aziendali responsabili (Uar): CRPV

Partecipano alle attività: **Fondagri, CNR-IBE, Azienda F.Ili Martini**

Descrizione attività

Il personale CRPV, in collaborazione con il beneficiario e le altre unità operative, ha organizzato e gestito le iniziative e azioni di diffusione che sono descritte di seguito.

Pubblicazioni

Sono stati prodotti 3 articoli tecnici visibili sul sito di progetto curato da CRPV:

1. **Biochar: soluzione sostenibile** di Anita Maienza, Silvia Baronti, Giuseppe Mario Lanini, Francesco Primo Vaccari Istituto per la BioEconomia – Consiglio Nazionale delle Ricerche (IBE -CNR) Sesto Fiorentino (Firenze) **Fertilizzanti 2/2020**
2. **BIOCHAR: una soluzione sostenibile per il futuro della zootecnia** – **Newsletter Fondazione Minoprio** febbraio 2020
3. **Un alleato per combattere il cambiamento del clima** di Anita Maienza, Silvia Baronti, Giuseppe Mario Lanini, Francesco Primo Vaccari Istituto per la BioEconomia – Consiglio Nazionale delle Ricerche (IBE -CNR) Sesto Fiorentino (Firenze) **Ecoscienza n. 2/2020**

Visite guidate

1. 18/1/2018 – Visita guidata presso l'azienda agricola F.Ili Martini di Galeata (FC), partner di progetto: Impiego di biochar in un'azienda a conduzione biologica: applicazioni in campo e in stalla per bovini da carne
2. 9/11/2018 – Visita guidata presso l'azienda agricola F.Ili Martini di Galeata (FC): Distribuzione in campo di biochar su terreno destinato alla semina di frumento ad uso mangimistico.
3. 17/11/2020 – Visita guidata alle attività di campo e di stalla realizzate nell'ambito del progetto presso l'azienda agricola F.Ili Martini di Galeata (FC). Realizzata in modalità online per le restrizioni imposte dall'emergenza sanitaria dovuta al corona-virus 19 e successivamente posta su canale You Tube (<https://www.youtube.com/watch?v=eZlY8mIpa8w%29>)

Incontri tecnici

1. 18/1/2018 – Incontro tecnico, combinato alla visita guidata: Il progetto Riutilizzo di biomasse residuali per uso energetico, agronomico e in stalla: finalità e azioni
2. 9/11/2018- Incontro tecnico, combinato alla visita guidata: Il biochar per il miglioramento delle proprietà chimiche e fisiche del terreno.
3. 11/12/2020 Convegno: Presentazione dei risultati del progetto: "Riutilizzo di biomasse residuali per uso energetico, agronomico e in stalla" svolto, per le restrizioni imposte dall'emergenza sanitaria dovuta al corona-virus 19, in modalità webinar e successivamente posto su canale YouTube. (<https://www.youtube.com/watch?v=DEgDqZZWJ-4%29>)

Audiovisivi

E' stato prodotto, con la collaborazione dell'emittente televisiva Teleromagna, un audiovisivo realizzato presso l'azienda agricola F.lli Martini di Galeata (FC) con interviste a R. Orlandi (Fondagri), R. Canestrone (CRPV) e Silvia Baronti (CNR-IBE), illustrante le finalità del progetto, le azioni realizzate e i risultati conseguiti (<https://www.youtube.com/watch?v=UU7E0sRXrfc%29>)

Tutta la documentazione relativa alle locandine prodotte e diffuse ed i fogli firma registrati in occasione delle diverse iniziative sopra riportate, nonché copia degli articoli sono disponibili presso il CRPV.

Il CRPV ha messo a disposizione del Gruppo Operativo il proprio Portale Internet, affinché le attività ed i risultati conseguiti nel presente Piano siano facilmente identificabili e fruibili dall'utenza. All'interno del portale CRPV è stata individuata una pagina dedicata al Piano (<https://progetti.crpv.it/Home/ProjectDetail/34>), composta da una testata e da un dettaglio dove sono stati caricati tutti i dati essenziali del progetto. Inoltre attraverso un contatto continuo con il Responsabile di Progetto, un referente CRPV ha proceduto all'aggiornamento della pagina con il materiale divulgativo ottenuto nell'ambito del Piano. Tale materiale divulgativo è visionabile anche attraverso l'app android CRPV PEI regolarmente scaricabile dal Play Store.

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

Gli obiettivi del piano sono stati raggiunti durante questo periodo di rendicontazione. Le criticità rilevate nella fase di divulgazione delle attività del GO sono derivate dall'emergenza sanitaria che ha impedito lo svolgimento in presenza della terza visita guidata e dell'incontro tecnico conclusivo già programmato, entrambi realizzati in modalità online e caricati sul canale YouTube di CRPV. La visita e l'incontro sono stati realizzati con altra modalità di pari o superiore efficacia divulgativa.

2.2 Personale

Cognome e nome	Mansione/qualific	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo (€)
	Impiegato	Tecnico di progetto	30	850,20
	Dirigente	Coordinamento divulgazione	34	1.860,48
	Impiegato	Divulgazione	98	2.521,76
	Impiegato	Segreteria	54	1.432,32
	Impiegato	Divulgazione	24	1.052,16
	Impiegato	Divulgazione	48	775,20
		Totale CRPV:		8.492,12
	Ricercatore /Responsabile Scientifico Progetto	Redazione degli articoli, partecipazione agli incontri e alle attività di divulgazione	70	2.658,30

	Ricercatore	Redazione degli articoli, partecipazione agli incontri e alle attività di divulgazione	100	2.666,50
			Totale CNR-IBE	5.324,80
			Totale	13.816,92

CONSULENZE - PERSONE FISICHE

Nominativo del	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo (€)	
	2.500,00	Realizzazione sito web e app	2.500,00	
	500,00	Realizzazione video	500,00	
			Totale CRPV	3.000,00
	40.000,00	Collaborazione alla realizzazione attività di Divulgazione	5.000,00	
			Totale Fondagri:	5.000,00

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

L'attività è stata svolta secondo le modalità previste. Non si segnalano scostamenti o criticità.

AZIONE 5 - Formazione

Nell'ambito della formazione, è stata realizzata un'attività di coaching (ID 5205511) rivolta all'azienda agricola partner Martini Cesare (totale di 24 ore), per una spesa complessiva di 1.488,00 euro.

L'attività di coaching, dal titolo "RBR-EAS = Riutilizzo di Biomasse Residuali per uso Energetico, Agronomico e in Stalla", ha avuto come finalità il trasferimento agricoltori del concetto di riutilizzo delle biomasse residuali (potature, residui colturali, mantenimento dei boschi, sfalci, ecc.) in funzioni delle diverse opzioni offerte dalla focus area (5C) in cui è inserito il progetto: agronomico, energetico, feed/food. In particolar modo si è trasferito il concetto di aumento della sostenibilità delle produzioni agricole attraverso il loro impiego in sostituzione parziale o totale di altri input esterni.

L'azione di coaching è stata svolta sia con lezioni teoriche, sia illustrando i concetti proposti "in vivo" durante la messa a punto e la dimostrazione degli impieghi agronomici, energetici e in stalla delle biomasse residuali.

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate.

Il grado di raggiungimento degli obiettivi è completo. Non si segnalano scostamenti o particolari criticità.

3 Criticità incontrate durante la realizzazione dell'attività

Criticità tecnico-scientifiche	Per quanto riguarda l'Azione 3.1 Impieghi energetici non è stato possibile, per la mancanza di tre preventivi confrontabili, svolgere le prove di combustione e i dati analitici relativi a biomasse legnose ed erbacee, sono stati desunti da una indagine di letteratura e di analoghe prove eseguite nel corso di attività sperimentali e dimostrative. Per quanto riguarda l'Azione 3.3 Impieghi in stalla non è stato possibile di valutare l'aggiunta di biochar nella razione degli animali, perché gli stessi allevati in regime biologico. A compensazione di tale attività, previa consultazione dei referenti del Gruppo Operativo, il Responsabile Scientifico del progetto, dott. Francesco Vaccari, ha ritenuto opportuno potenziare le valutazioni della capacità del biochar di limitare le emissioni di gas climalteranti dalla lettiera animale e dal letame. Gli obiettivi prefissati nel progetto non sono stati compromessi e per lo svolgimento delle attività non si sono verificate modifiche dell'impegno
Criticità gestionali (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.)	Si segnala la criticità riferita al fornitore di Fondagri TEA successivamente PENG che per ragioni organizzative interne non è stato in grado di svolgere le previste prove di combustione. Si segnala inoltre, per servizi specialistici (vedi prove di combustione) la difficoltà nel prevenire a tre offerte differenziate
Criticità finanziarie	Non si segnalano criticità finanziarie. Si segnala che a seguito di quanto dichiarato nel precedente paragrafo, la quota relativa alle prove di combustione non è stata rendicontata

4 Altre informazioni

Nessuna altra informazione viene integrata.

5 Considerazioni finali

Si ritiene che le azioni del Piano siano state correttamente svolte e che a seguito delle criticità sopra evidenziate siano state intraprese adeguate azioni correttive o sostitutive che hanno permesso di raggiungere gli obiettivi fondamentali del Piano stesso con importanti e innovativi risultati.

6 - Relazione tecnica (riassunto)

Nell'**Azione 3.1** sono stati acquisiti i dati relativi a prove di combustione di differenti tipologie di biomasse residuali potenzialmente disponibili in un'azienda agricola di collina e bassa montagna.

Fra i residui agricoli sono stati presi in considerazione i seguenti prodotti residuali:

1. paglie dei cereali autunno-vernini (frumento tenero e duro, orzo, avena, segale);
2. stocchi, tutoli e brattee di mais;
3. sarmenti di potatura della vite;
4. ramaglia di potatura dei fruttiferi;
5. frasche di olivo.

Sono state fatte valutazioni circa la convenienza economica ed agronomica alla raccolta delle biomasse residuali per un loro uso energetico e valutazioni ambientali (emissioni evitate e prodotte) ed energetiche (energia resa e consumata).

Per quanto riguarda le biomasse da impianti boschivi sono stati presi in considerazione i boschi distinti in cedui e fustaie e le tipologie di prodotto: legna da ardere o legname da opera di ogni tipo. E' stata poi svolta un'indagine sulla disponibilità di biomasse residuali nell'area di collina del territorio di Forlì, distinguendo anche in questo caso le biomasse agricole da colture erbacee o legnose da frutto e da impianti boschivi e proposti esempi di Sistemi informativi territoriali per la valutazione del potenziale energetico di origine agricola sul territorio.

Infine è stata svolta una caratterizzazione chimico-fisica di biochar ottenibili da differenti tipologie di biomasse anch'esse reperibili nel territorio di attività del progetto e la loro idoneità a rientrare nella normativa italiana.

Nell'**Azione 3.2** è stata fatta una prova di distribuzione di biochar, letame e biochar + letame su un terreno che sarebbe stato coltivato a grano destinato alla mangimistica animale.

In linea generale l'effetto biochar è molto evidente sia sulla morfologia che sulla resa per metro quadro, rispetto al controllo. Ovviamente l'effetto biochar è inferiore all'effetto del letame, ma quando viene paragonato con il trattamento letame e biochar qui l'effetto sinergico è molto marcato. Da notare che indipendentemente dall'effetto in termini assoluti, il valore di Harvest Index (rapporto tra la parte riproduttiva e parte vegetativa) è marcatamente maggiore nel trattamento biochar rispetto agli altri trattamenti. L'incremento della produzione di grano da destinare all'alimentazione animale, osservato in questa prova dimostrativa, utilizzando come ammendante il biochar e pari a un incremento medio di produzione di granella del 15% ad ettaro, rappresenta sicuramente un vantaggio produttivo ed economico diretto e indiretto. Il vantaggio diretto potrebbe essere quantificato in circa 150€/ha usando una produzione media per ettaro di 6 t di granella e una quotazione media del frumento tenero di 170€/t; indiretto in quanto per ottenere un 15% di produzione per ettaro, si sarebbero dovuti impiegare circa 60 kg/ha in più di concimi azotati.

Nell'**Azione 3.3**, sulla scorta degli importanti risultati ottenuti dalle prove preliminari di misura delle emissioni di gas ad effetto serra (Metano CH₄; Protossido di Azoto N₂O; Anidride Carbonica CO₂) e Ammoniaca NH₃ (precursore del Protossido di azoto) a seguito della miscelazione di letame con biochar, durante i periodi estivi 2018 e 2019, si sono allestite *ad hoc* tre prove distinte, unendo biochar con letame e altre matrici derivanti dagli allevamenti zootecnici (liquame e digestato). La

prova è stata effettuata in contenitore, chiusi ad intervalli regolari e, usando due approcci sperimentali di misura, sono stati quantificati i flussi delle emissioni di gas ad effetto serra (CO₂, CH₄, N₂O) e NH₃ e quindi valutato l'effetto del biochar nel contenimento delle emissioni.

I risultati dell'azione 3.3 dimostrano chiaramente come l'aggiunta di biochar alla lettiera o ad altre matrici derivanti dalle deiezioni animali diminuisca le emissioni dei gas climalteranti. Le prove sperimentali dimostrano chiaramente l'efficacia del biochar nel contenere le emissioni in aria derivanti dalla fermentazione del letame, in particolare si osserva una riduzione del 20% delle emissioni di CO₂ e del 40% di CH₄.

Data IL LEGALE RAPPRESENTANTE (firmato digitalmente)