

**AVVISI PUBBLICI REGIONALI DI ATTUAZIONE PER L'ANNO 2015 DEL TIPO DI  
OPERAZIONE 16.1.01 "GRUPPI OPERATIVI DEL PEI PER LA PRODUTTIVITÀ E LA  
SOSTENIBILITÀ DELL'AGRICOLTURA" FOCUS  
AREA 2A, 4B, 4C, 5A E 5E  
DGR N. 2268 DEL 28 DICEMBRE 2015**

**RELAZIONE TECNICA FINALE**

**DOMANDA DI SOSTEGNO: 5111631**  
**DOMANDA DI PAGAMENTO: 5706528**  
**FOCUS AREA: 5E**

Titolo Piano	<b>Forest Assessment: Biomass as Energy Resource - FABER</b>		
Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario)	AZIENDA AGRARIA SPERIMENTALE STUARD S.C.R.L.		
Elenco partner del Gruppo Operativo	CINSA – Consorzio Interuniversitario Nazionale per le Scienze Ambientali Consorzio Comunalie Parmensi FIREWOOD FIREPACK Centro di Formazione Sperimentazione e Innovazione Vittorio Tadini (CFSIVT) Comunalia Di San Vincenzo-Rovinaglia Comunalia Di Pontolo Comunalia Di Santa Maria Valdena Comunalia Di Baselica Consorzio Della Bonifica Parmense		
Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)			27
Data inizio attività			25/06/2020
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)			25/12/2023
Relazione relativa al periodo di attività dal	01/04/2022	al	25/12/2023
Data rilascio relazione	22-02-24		
Autore della relazione	Sandro Cornali		
telefono		email	s.cornali@stuard.it

## Sommario

- 1 - DESCRIZIONE DELLO STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO**
- 1.1 STATO DI AVANZAMENTO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PIANO**
- 2 - DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE**
- 2.1 ATTIVITÀ E RISULTATI**
- 2.2 PERSONALE**
- 2.3 TRASFERTE**
- 2.4 MATERIALE CONSUMABILE**
- 2.5 SPESE PER MATERIALE DUREVOLE E ATTREZZATURE**
- 2.6 MATERIALI E LAVORAZIONI DIRETTAMENTE IMPUTABILI ALLA REALIZZAZIONE DEI PROTOTIPI**
- 2.7 ATTIVITÀ DI FORMAZIONE**
- 2.8 COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI**
- 3 - CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ**
- 4 - ALTRE INFORMAZIONI**
- 5 - CONSIDERAZIONI FINALI**
- 6 - RELAZIONE TECNICA**

## 1 - Descrizione dello stato di avanzamento del Piano

*Descrivere brevemente il quadro di insieme relativo alla realizzazione del piano. Richiamare eventuali richieste di modifiche inviate agli organi Regionali ed apportate al progetto.*

Le attività condotte durante lo svolgimento del progetto sono in linea con il piano FABER approvato.

Si segnala la richiesta di variante protocollata in data 18 Maggio 2021 riguardante principalmente il partner , che ha richiesto il trasferimento del budget dei dipendenti a un fornitore di servizi specializzato. L'obiettivo di tale variante era garantire la migliore conclusione del progetto. La variante prevedeva anche l'integrazione di nominativi di aziende che svolgeranno l'attività formativa e di consulenza, variazione del costo standard orario dell'agronomo sperimentatore (Azienda Agraria Sperimentale Stuard), e altri piccoli spostamenti del budget.

Si segnala inoltre che, in relazione alla emergenza sanitaria ed ai conseguenti lockdown che si sono succeduti nel corso del periodo progettuale oggetto di questa rendicontazione intermedia alcune attività sperimentali hanno subito ritardi e slittamenti. Per questo abbiamo ritenuto necessario richiedere una proroga (concessa con Atto Num. 8450 del 05/05/2022) fino al 25/12/2023. Le attività di divulgazione in presenza e open day dedicate al progetto, rimandate in fase preliminare a causa dell'emergenza sanitaria causata da Covid-19 sono state svolte e/o sostituite con attività di divulgazione di massa complementari a quelle in presenza, ad esempio mediante la realizzazione di un video trailer diffuso mediante tutti i canali media possibili.

Il piano, sin dalla sua progettazione, è risultato coerente rispetto alle priorità tematiche specifiche della focus area della operazione 16.1.1.

Si ritiene che i risultati del piano operativo, nonostante le difficoltà operative riscontrate a causa dell'emergenza sanitaria legata a Covid-19 che hanno limitato fortemente gli spostamenti e le interazioni tra i partner, abbiano permesso di ottenere la realizzazione di un processo che basandosi su moderni sistemi di rilievo ed inventariazione delle risorse forestali favorisce da un lato una corretta pianificazione e gestione efficiente e sostenibile della biomassa forestale e consente di intervenire attivamente sul ciclo del carbonio arrestando la fase di degradazione dei residui legnosi, attraverso la loro carbonizzazione, convertendoli in biochar ed energia.

## 1.1 Stato di avanzamento delle azioni previste nel Piano

Indicare per ciascuna azione il mese di inizio dell'attività originariamente previsto nella proposta ed il mese effettivo di inizio, indicare analogamente il mese previsto ed effettivo di termine delle attività.

Indicare il numero del mese, ad es.: 1, 2, ... considerando che il mese di inizio delle attività è il mese 1. Non indicare il mese di calendario.

Azione	Unità aziendale responsabile	Tipologia attività	Mese inizio attività previsto	Mese inizio attività effettivo	Mese termine attività previsto	Mese termine attività effettivo
Cooperazione (Azione 1 del PO)	Stuard	Esercizio della cooperazione	1	1	42	41
Studi necessari alla realizzazione	CINSA	Studi	10	15	39	42
Azione 1 (Azione 3.1 del PO)	Stuard (collaborano: CCP, Firepack, Firewood)	Telerilevamento (LIDAR), elaborazione dati, monitoraggio a terra e cippatura biomassa legnosa	1	1	39	24
Azione 2 (Azione 3.2 del PO)	CINSA; CCP	Gassificazione (Impianto Spanner + micro-carbonizzatore)	4	1	15	15
Azione 3 (Azione 3.3 del PO)	Stuard	Prove in bosco	1	6	39	41
Azione 4	CINSA	Analisi sul biochar	4	15	39	42
Azione 5	Stuard (CINSA e CCP)	Redazione dei report annuali e delle Linee Guida	1	6	41	41
Azione 6	Stuard (CINSA e CCP)	Raccolta dati	4	12	39	41
Divulgazione	STUARD (CINSA e CCPP)	Divulgazione	1	1	42	41
Formazione / Consulenza	CENTRO FORMAZIONE TADINI e CCP	Formazione	4	4	10	10

## 2 - Descrizione per singola azione

Compilare una scheda per ciascuna azione

### 2.1 Esercizio della cooperazione

#### 2.1.1 Attività e risultati

Azione	Esercizio della cooperazione
Unità aziendale responsabile	STUARD
Descrizione delle attività	<p>Il personale di STUARD ha organizzato e gestito le attività inerenti all'esercizio della cooperazione. Il personale afferente a CINSA, CFSIVT, CONS.COM. PARMENSI ha partecipato alle attività coordinate da STUARD.</p> <p>Almeno un rappresentante per ciascuno degli enti coinvolti ha partecipato ai diversi incontri, sia di natura tecnica che di natura organizzativa, presieduti dai responsabili del progetto di STUARD.</p> <p>Tutti i tecnici, coordinati da STUARD, hanno partecipato ai kick off meeting iniziale organizzato tramite piattaforma Google Meet (04/02/2021), utile ad organizzare e pianificare le attività sperimentali e un secondo incontro il 25/03/2021 specificatamente dedicato alla discussione della apertura della variante di progetto.</p> <p>I partner hanno inoltre partecipato alle riunioni di progetto successive, per definire le azioni da svolgere. I responsabili amministrativi si sono occupati dell'attività di preparazione dei documenti per inizio attività e della documentazione relativa alle spese e alla predisposizione dei documenti per la rendicontazione intermedia del progetto. Con il coordinamento di STUARD tutti i partner hanno collaborato, con continuità, alla pianificazione delle attività da svolgere e alla redazione della variante di progetto e alla richiesta di proroga, collaborando per il raggiungimento degli obiettivi.</p> <p>Il monitoraggio dell'avanzamento ha previsto contatti frequenti con i partner per verificare i risultati intermedi, il rispetto dei tempi delle diverse fasi progettuali, i costi, i rischi ed il budget previsto.</p> <p>I contatti tra i partner, in seguito ai vincoli dettati all'emergenza sanitaria dovuta a Covid-19, sono stati per lo più virtuali.</p> <p>Un incontro in data 09/12/2021 è stato organizzato online tramite piattaforma Google Meet per discutere delle attività condotte durante l'anno 2021, le attività sperimentali nel protrarsi dell'emergenza COVID, così come della richiesta di proroga per effettuare le attività sperimentali previste.</p> <p>Un ulteriore incontro virtuale su Microsoft Teams per il coordinamento delle attività di analisi di laboratorio si è svolto in data 20 gennaio 2022 per discutere unicamente dell'attività necessaria per presentare la rendicontazione intermedia entro breve e per questa ragione è stato necessario insieme rivedere l'attività svolta.</p> <p>I partner si sono coordinati nel corso del 2022 per il proseguo delle attività sperimentali in bosco e dei debiti rilievi e sopralluoghi previsti dal piano. Nel mese di novembre 2022 (24 e 25) i partner si sono incontrati per l'organizzazione dell'Open day in bosco avvenuto il 7 dicembre 2022 (vedasi azione divulgazione). Le attività sperimentali sono proseguite regolarmente anche nel 2023. Tra ottobre e novembre 2023 infine gli ultimi meeting hanno permesso l'organizzazione del convegno finale (28 novembre 2023) con illustrazione degli obiettivi, attività e risultati delle attività progettuali.</p>

<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Gli obiettivi dell'azione di coordinamento sono stati raggiunti.          La criticità maggiore è venuta dalla difficoltà nel corso della prima parte della sperimentazione di incontrarsi solo virtualmente per poter discutere delle attività di progetto, dovuto al perdurare dell'emergenza sanitaria causa Covid-19. Tuttavia, l'attività di coordinamento è proseguita grazie a sistemi di incontro on-line (Google Meet e Microsoft Teams), per tornare a effettuarsi in presenza durante la seconda e ultima fase delle attività progettuali.</p>
<p>Attività ancora da realizzare</p>	<p>Tutte le attività sono concluse.</p>

## 2.1.2 Personale

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
<b>AZ. STUARD</b>	imp. Agrario 1° livello - Quadro part time 70,521%	Attività di coordinamento	€ 43,00	8,00	€ 344,00
<b>- CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO NAZIONALE PER LE SCIENZE AMBIENTALI</b>	Professore fascia alta	Attività di coordinamento	€ 73,00	2,40	€ 175,20
<b>AZ. STUARD</b>	impiegato TI part time 50%	Attività di coordinamento	€ 27,00	4,00	€ 108,00
<b>AZ. STUARD</b>	imp. Agrario 3° categoria - tempo indeterminato	Attività di coordinamento	€ 27,00	37,00	€ 999,00
<b>AZ. STUARD</b>	imp. Agrario 1° categoria - Quadro	Attività di coordinamento	€ 43,00	40,00	€ 1.720,00
<b>AZ. STUARD</b>	imp. Agrario 3° categoria - tempo indeterminato	Attività di coordinamento	€ 27,00	10,00	€ 270,00
<b>Totale:</b>					<b>€ 3.616,20</b>

## 2.1.3 Trasferte

Cognome e nome	descrizione	costo
<b>AZ. STUARD</b>	Convegno finale	€ 52,39
<b>totale:</b>		<b>€ 52,39</b>

## 2.1.8 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

Partner	Data fattura	n. fattura	Data pagamento	Fornitore	Descrizione attività	Importo netto
<b>CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO NAZIONALE PER LE SCIENZE AMBIENTALI</b>	29/06/2022	n. 5	12 e 19 dicembre 2023	PhD Agronomo	Attività di consulenza relative al progetto FABER 1. COOPERAZIONE: Esercizio della collaborazione	€ 2.000,00
<b>totale:</b>						<b>€ 2.000,00</b>

## 2.2 Studi necessari alla realizzazione del piano

### 2.2.1 Attività e risultati

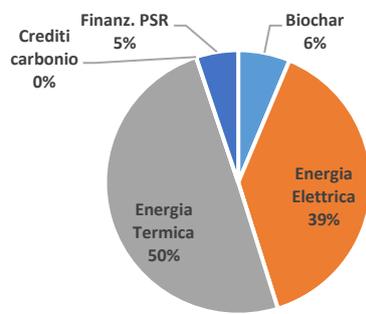
Azione	STUDI NECESSARI ALLA REALIZZAZIONE DEL PIANO (DI MERCATO, DI FATTIBILITÀ, PIANI AZIENDALI, ECC.):
Unità aziendale responsabile	CINSA
Descrizione delle attività	<p>Nel corso del periodo, CINSA ha completato lo sviluppo del modello di valutazione economica basato sulla tecnica dell'Analisi Costi-Benefici (ACB). Come mostra la Fig. 1, il modello ACB è stato costruito impiegando le informazioni tecniche ed economiche relative alla gestione della manutenzione forestale e quelle ottenute dal processo di pirogassificazione gestito dal Consorzio delle Comunalie e dall'Azienda Agricola Sperimentale "Stuard". La maggior parte delle informazioni sono state ottenute dai partner di progetto (fonte primaria), mentre alcune informazioni di carattere economico (costo del carburante, costo dell'energia e prezzo dei crediti di carbonio) sono state desunte dal mercato dei carburanti e dell'energia e dalla letteratura (fonte secondaria).</p> <p>I principali output del sistema di trattamento termico della biomassa ottenuta dalla manutenzione forestale sono: i) il biochar proveniente dal processo di pirogassificazione e impiegabile come ammendante dei terreni agricoli e come fonte di sequestro di lungo periodo dell'anidride carbonica; ii) l'energia ottenuta durante il processo di pirogassificazione, sia termica che elettrica; iii) i crediti di carbonio riconosciuti a fronte di una gestione forestale finalizzata all'incremento dello stock di carbonio. L'analisi economica ha messo a confronto il sistema di pirogassificazione da tempo impiegato dal Consorzio delle Comunalie di Borgotaro, il pirogassificatore Spanner, con l'impianto prototipale Iridenergy installato presso il Campus di Scienze e Tecnologie dell'Università di Parma. L'impianto Spanner ha la finalità prevalente di produrre energia, mentre il sistema Iridenergy massimizza la produzione di biochar. In entrambi i casi si ipotizza l'impiego di biomassa locale e la valorizzazione dell'energia termica prodotta.</p> <p><b>Figura 1. Sistema analizzato</b></p> <p>Per quanto riguarda il biochar, sono stati valutati due scenari alternativi di impiego: 1) la destinazione del biochar al mercato degli ammendanti agricoli e 2) l'applicazione del biochar prodotto sulla stessa superficie forestale da cui è stata prelevata la biomassa, al fine di incrementare lo stock di carbonio forestale ed ottenere i benefici dei crediti di carbonio collocabili sui mercati volontari dei servi ecosistemici. I mercati volontari dei crediti di carbonio rappresentano una forma di pagamento per servizi ecosistemici (PES). Per accedere a tali mercati, è necessario che i crediti soddisfino i criteri di addizionalità, assenza di leakage e permanenza. Recentemente, la norma UNI/PdR 99 (Crediti da Biochar) ha definito le procedure e i metodi di quantificazione per l'attribuzione di crediti provenienti dalla gestione del biochar ai fini del sequestro di CO<sub>2</sub>.</p>

I costi e i benefici economici sono stati distribuiti su un orizzonte temporale di 20 anni applicando un adeguato fattore di attualizzazione (3,65% = IRS20 + 1% spread). Gli indicatori di risultato ottenuti sono: il Valore Attuale Netto (VAN), il Tasso Interno di Rendimento (TIR) e il tempo di ritorno dell'investimento (PBT- Payback time). Per il prezzo di vendita del biochar sul mercato degli ammendanti è stato adottato un prezzo di 1.000 €/t, desunto da un'indagine condotta su un campione di 40 aziende operanti in diversi paesi; mentre il prezzo dei crediti di carbonio assunto nell'analisi, pari a 30 €/t, è basato su un'indagine CREA del 2019 che fornisce una forbice di prezzo da 2,5 a 35 €/t. Sul fronte benefici, l'analisi ipotizza la possibilità di sfruttare i finanziamenti regionali PSR sui nuovi investimenti in azienda, pari al 40% del costo di investimento.

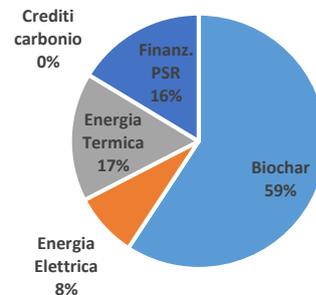
Il costo della cippatura è stato stimato considerando la produttività del cippatore (200 q.li/h) e dei costi per servizio prestato da contoterzista (90 €/h).

Le figure 2a e 2b presentano la ripartizione dei benefici, nel caso della vendita del biochar sul mercato degli ammendanti agricoli. Nel caso del sistema Spanner, i benefici sono concentrati nella produzione energetica, mentre nel caso del sistema Iridenergy la maggior quota di beneficio è rappresentata dalla vendita di biochar.

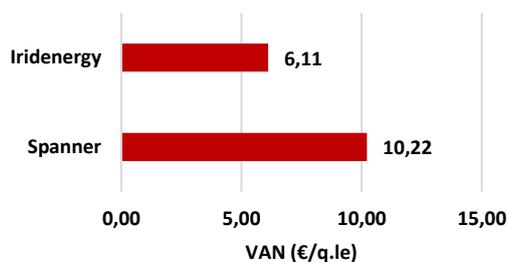
**Figura 2a.** Ripartizione benefici sistema Spanner (mercato ammendanti)



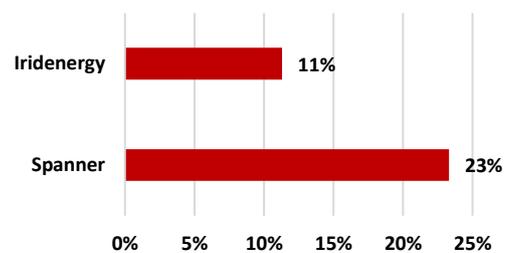
**Figura 2b.** Ripartizione benefici sistema Iridenergy (mercato ammendanti)



**Figura 3.** VAN (mercato ammendanti)



**Figura 4.** TIR (mercato ammendanti)

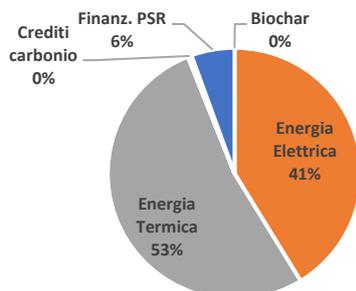


La Fig. 3 mostra il VAN calcolato per quintale di cippato impiegato nei processi di pirogassificazione. Nel caso di sistema Iridenergy, ogni quintale di cippato impiegato genera un VAN di circa 6,11 €, mentre il sistema Spanner restituisce un VAN pari a poco meno di 10,22 €/q.le. Il sistema Spanner beneficia di un più elevato sfruttamento della componente energetica che si traduce in un TIR del 23% e un tempo di ritorno dell'investimento di 4 anni, contro i 9 anni del sistema Iridenergy.

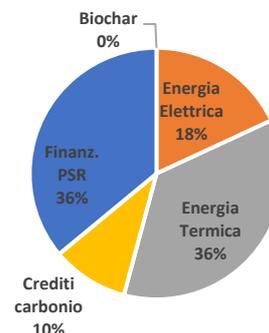
La ripartizione dei benefici nel caso di attribuzione dei crediti di carbonio scambiabili sul mercato volontario dei servizi ecosistemici è mostrata dalle Fig. 5a e 5b. Il contributo della vendita dei crediti di carbonio è modesto in ragione del basso prezzo di vendita considerato nell'analisi (30 €/t).

La soluzione dei crediti di carbonio non è vantaggiosa per il sistema Iridenergy, in quanto il VAN negativo segnala l'impossibilità di poter compensare i costi di realizzazione e gestione del progetto lungo l'orizzonte temporale di 20 anni, mentre il sistema Spanner mantiene una buona redditività (Fig. 6 e 7).

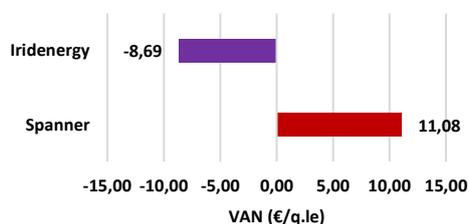
**Figura 5a.** Ripartizione benefici sistema Spanner (mercato volontario dei crediti di carbonio)



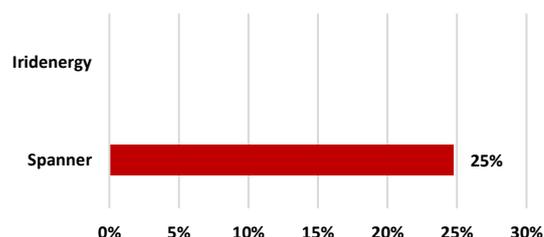
**Figura 5b.** Ripartizione benefici sistema Iridenergy (mercato volontario dei crediti di carbonio)



**Figura 6.** VAN (mercato volontario dei crediti di carbonio)



**Figura 7.** TIR (mercato volontario dei crediti di carbonio)



Nell'ipotesi di impiego combinato dei due sistemi di pirogassificazione, con destinazione del biochar ottenuto dal sistema Iridenergy al mercato degli ammendanti e di quello ottenuto dall'impianto Spanner alla superficie forestale al fine di ottenere crediti scambiabili sul mercato, il VAN di progetto sarebbe pari a 9,80 €/q.le di cippato, il TIR al 20% e sarebbero necessari 5 anni per il recupero dei costi iniziali di progetto.

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Gli obiettivi dell'azione possono ritenersi raggiunti.
Attività ancora da realizzare	Tutte le attività sono concluse.

## 2.2.2 Personale

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
<b>CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO NAZIONALE PER LE SCIENZE AMBIENTALI</b>	Ricercatore fascia bassa	Raccolta dati e analisi economiche	€ 31,00	97,00	€ 3.007,00
<b>Totale:</b>					<b>€ 3.007,00</b>

## 2.3 Azione 1 Telerilevamento (LIDAR), elaborazione dati, monitoraggio a terra, cippatura biomassa legnosa

### 2.3.1 Attività e risultati

Azione	Telerilevamento (LIDAR), elaborazione dati, monitoraggio a terra e cippatura biomassa legnosa						
Unità aziendale responsabile	STUARD, collaborano: Consorzio Comunalie Parmensi (CCPP) in collaborazione con FIREWOOD e FIREPACK						
Descrizione delle attività	<p>Nella rendiconto intermedio si è allegato la prima parte della relazione tecnica del telerilevamento LIDAR effettuato dalla ditta SINOPTIC.</p> <p>In questa relazione finale si allega la seconda parte del lavoro svolto, ovvero quello delle modalità di stima della biomassa forestale</p> <p><b>CALCOLO DELLA BIOMASSA ARBOREA</b></p> <p>La geometria della piante considerate è molto complessa perché il tronco tende ad aprirsi ad ombrello con i rami ma nel seguente studio si assume come un cilindro di base pari ad un cerchio, cioè il diametro della pianta, e di altezza pari all'altezza dell'albero. Si tratta della cosiddetta legge di Da Vinci e successivamente dimostrata da Eloy nel 2011, risalente al XV secolo, e secondo la quale, appunto, la somma delle sezioni dei rami coincide con la sezione stessa del tronco. Tale assunzione è necessaria per il calcolo della densità di biomassa.</p> <p><b>Descrizione delle curve allometriche</b></p> <p>Ricavata l'altezza delle piante dall'analisi dei dati LIDAR (ultimo ritorno meno il primo ritorno), si possono utilizzare le curve allometriche. Le curve allometriche sono delle relazioni descritte da leggi di potenza che permettono di descrivere le caratteristiche di una pianta. Sulla base dei punti misurati in campo, viene realizzato un polinomio di regressione, ovvero un polinomio interpolante che non passerà esattamente per punti ma ne effettuerà una approssimazione, solitamente nella forma:</p> <p>Dove A e B sono due costanti caratteristiche: A è un parametro che varia in base alla tipologia di organismi considerati mentre B è l'esponente che modifica le dimensioni delle grandezze coinvolte (West et al. 1997). Le curve allometriche che si utilizzeranno saranno quelle diametro-altezza, cioè quelle che legano l'altezza della pianta al diametro che mediamente presenta una pianta di quella altezza.</p> <p>In tabella 13.1 vengono riportati, per le diverse specie arboree, i valori dei parametri A, B e gwd, green wood density (Miles and Smith, 2009), che indica la densità di legno fresco necessari per calcolare la biomassa.</p> <table border="1" data-bbox="700 1532 1394 1659"><thead><tr><th>SPECIE</th><th>gwd [Mg/m<sup>3</sup>]</th></tr></thead><tbody><tr><td>Castagno</td><td>1,230</td></tr><tr><td>Faggio</td><td>0,941</td></tr></tbody></table> <p>Tabella 11.1: Parametri allometrici suddivisi per tipologia di specie arborea e gwa (Miles and Smith, 2009).</p> <p>Nella figura 11.1 e 11.2 vengono mostrate le curve allometriche delle due specie arboree target, definite tramite polinomio di regressione dai dati di campo e linea di tendenza polinomiale.</p>	SPECIE	gwd [Mg/m <sup>3</sup> ]	Castagno	1,230	Faggio	0,941
SPECIE	gwd [Mg/m <sup>3</sup> ]						
Castagno	1,230						
Faggio	0,941						

Figura 11.1: Curva allometrica del castagno

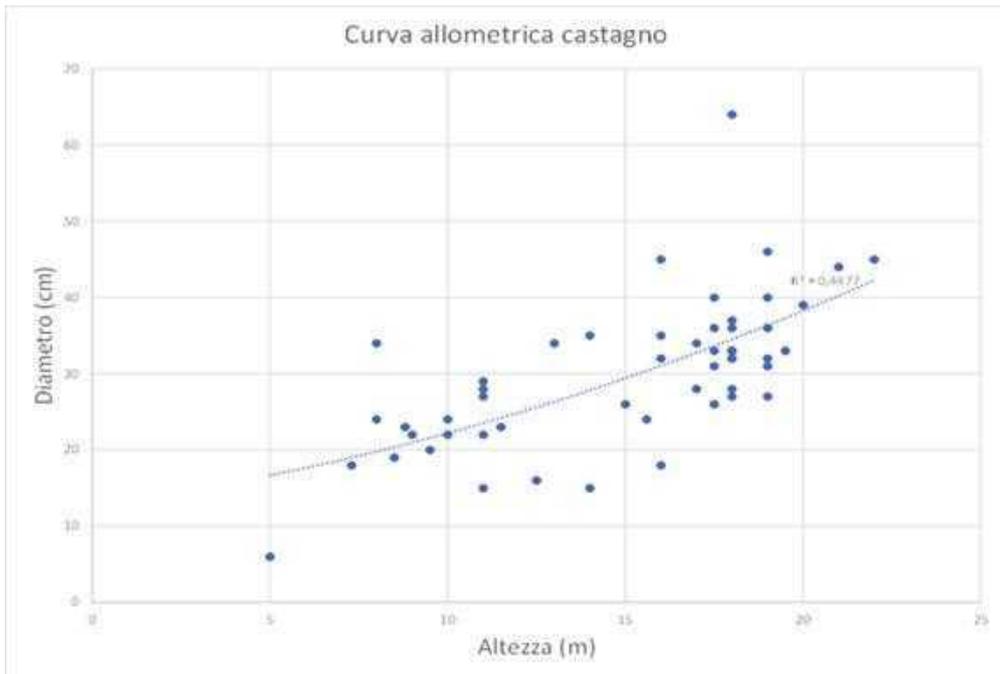
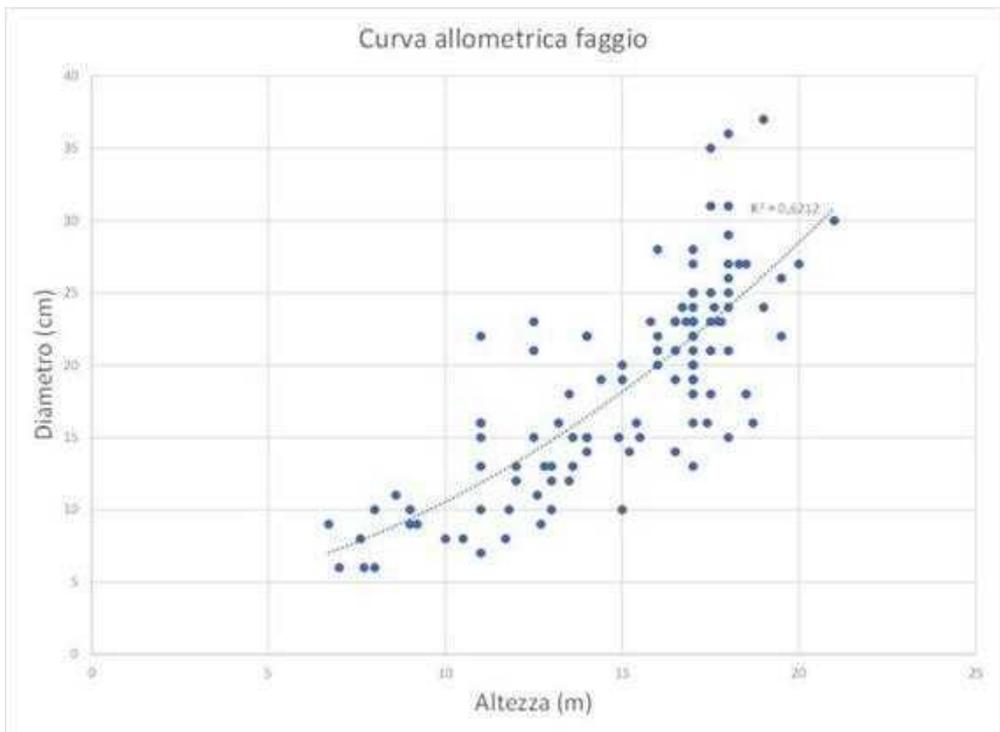
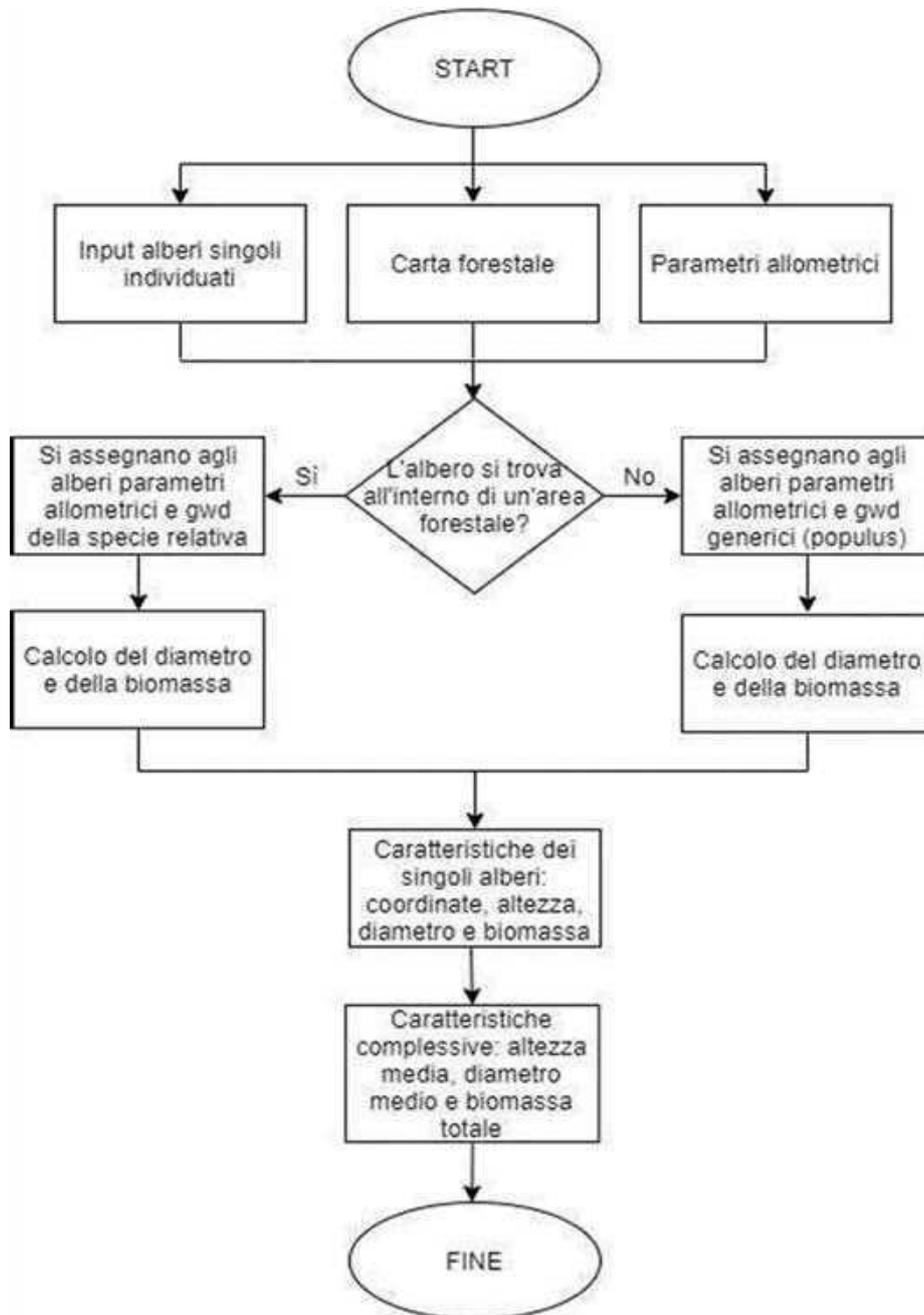


Figura 11.2: Curva allometrica del faggio



A partire dall'output generato dal precedente algoritmo riguardante l'individuazione di singoli alberi e dalla carta forestale che individua le aree con le diverse specie arboree, si può procedere con il calcolo della biomassa complessiva che tiene conto di tutti gli alberi e della specie a cui appartengono in una determinata area.

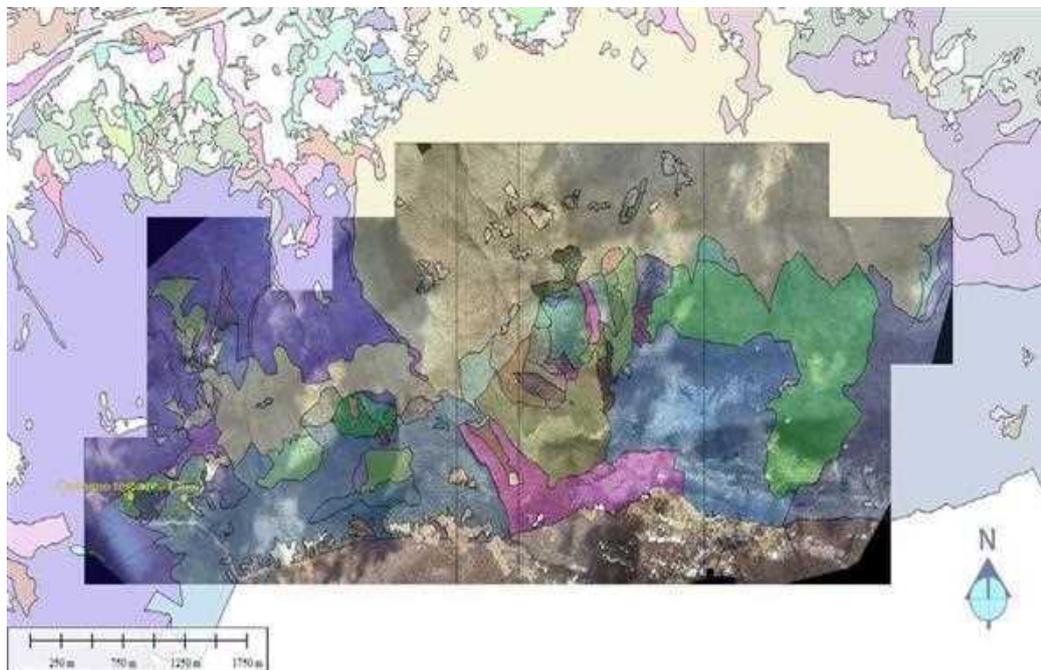
Figura 11.3: Flow chart calcolo della densità di biomassa



Come si evince dal flow chart in figura 11.3, all'algoritmo vengono forniti in ingresso:

- il file contenente la posizione degli alberi ricavati dall'algoritmo precedente, riguardante appunto l'individuazione dei singoli alberi a partire dalla nuvola di punti LiDAR,
- i parametri allometrici,
- le aree reperate dalla carta forestale suddivise per le specie.

Figura 11.4: Carta Forestale dell'intera area di studio con visualizzazione dei macro-raggruppamenti sovrapposta in trasparenza all'ortofoto generata.



Grazie all'inventario forestale si hanno a disposizione informazioni precise sulla disposizione spaziale delle specie arboree. Combinando la carta forestale all' algoritmo si riesce a caratterizzare ogni albero in termini di coordinate spaziali, altezza e specie.

In ingresso, l'algoritmo assegna loro i parametri allometrici e la densità di legno verde (*gwd*) relativi alla specie appartenente. Successivamente si calcolano il diametro, *D*, in metri, e la densità di biomassa, *V*, in tonnellate.

L'espressione per il calcolo del diametro, si ricava dall'inverso della relazione allometrica:

$$H = A \cdot D^B$$

Si esplicita quindi il diametro:

$$D = \left( \frac{H}{A} \right)^{\frac{1}{B}}$$

Dove l'altezza *H* è espressa in metri.

Si prosegue con il calcolo della densità di biomassa, sia dei singoli alberi conoscendo l'altezza attraverso la relazione sottostante, sia la biomassa complessiva procedendo con la somma delle singole biomasse appartenenti alla stessa specie.

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H \cdot \lambda \cdot \rho}{4}$$

Dove: - *D* è il diametro misurato all'altezza del petto ovvero quel diametro calcolato ad una altezza dal suolo pari a 1,4m; . *H* è l'altezza dell'albero; 1 è il numero di tronchi al metro quadro; *p* è la densità di legno fresco, cioè il parametro *gwa*, green wood density.

Nella formula sopra riportata, il calcolo della densità di biomassa non comprende la biomassa fogliare perché, come si evince dalla tabella riepilogativa sottostante, si tratta di una piccola percentuale che può essere trascurata. La tabella 11.2 riassume gli autori e le relative percentuali di fogliame trovate da studi in letteratura.

ARTICOLI IN LETTERATURA	LEGNI DURI (querce, abeti, fassini, etc.)	LEGNI DOLCI (betulle, castagni, pioppi, etc.)
Ker (1980)	2%	8%
Freedman et al. (1982)	dal 2% al 6%	dal 7% al 19%

Tabella 11.2 - Studi reperiti in letteratura sulle percentuali di fogliame in base al tipo di legno.

Per il calcolo della biomassa vi è quindi bisogno delle grandezze sopra riportate e in particolare della relazione che sussiste tra il diametro,  $D$ , e l'altezza,  $H$ , delle specie arboree. I files di output generati sono due: uno fornisce le caratteristiche dei singoli alberi attraverso relazioni allometriche specie-dipendenti quali coordinate ed altezza di ogni albero (forniti dall'output dell' algoritmo precedente), il diametro (calcolato con la curva allometrica) e la biomassa (calcolata a partire da diametro e altezza); l'altro fornisce le caratteristiche generali e complessive dell'area in esame contenente i punti che ricadono all'interno delle aree, l'altezza media degli alberi, il diametro medio, la densità e la biomassa totale espressa in tonnellate.

### Calcolo della biomassa applicato alle 2 aree campione

In tabella 11.3 si riportano i risultati della biomassa calcolata sulle 2 aree campione:

NOME AREE	BIOMASSA misurata [Quintali]	BIOMASSA calcolata [Quintali]
Castagno	267	235
Faggio	174	153

Tabella 11.3: Densità di biomassa calcolata per ogni area campione.

### Calcolo della biomassa applicato all'intera area

In tabella 11.4 si riportano i risultati della biomassa calcolata sull'intera area di studio, suddivisi per le due specie d'interesse.

SPECIE	BIOMASSA [Tonnellate]
Castagno	109.574
Faggio	113.174

Tabella 11.4: Densità di biomassa totale calcolata sull'intera area

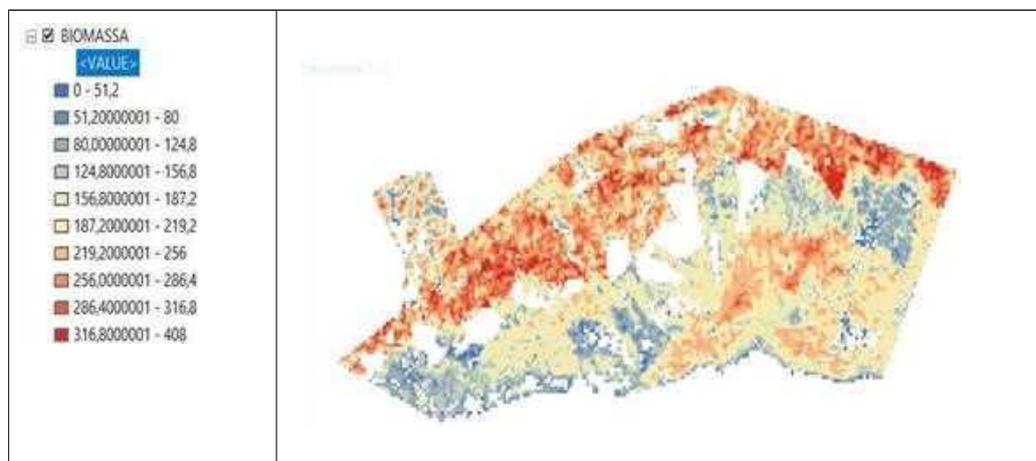


Figura 11.5: Raffigurazione spaziale delle celle di calcolo della biomassa, valori in legenda in quintali.

	<p><b>Conclusioni</b></p> <p>In conclusione, notiamo (Tabella 11.3) che in entrambe le aree campione, con la metodologia proposta, si ottiene una stima della biomassa sottostimata di circa il 13%, sicuramente un risultato soddisfacente in termini statistici ed assoluti, ma che porta con sé alcune criticità riscontrate che possono essere, almeno in parte, corrette o comunque attenuate in future applicazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>numero di aree campione</u>: una sola area campione per specie non è significativa sotto il profilo statistico per definire con sufficiente confidenza la curva allometrica caratteristica e sitospecifica della specie indagata. In letteratura si utilizzano almeno 10 aree campione, opportunamente distribuite sull'area di studio;</li> <li>• <u>forma delle aree campione</u>: essendo che tutti calcoli di elaborazione GIS sui database raster sono effettuati a livello di pixel, qualunque sia la risoluzione spaziale associata, e che per definizione esso è quadrato, le aree test dovrebbero essere di fatto quadrate, per una reale comparazione 1:1;</li> <li>• <u>valore GWD (green wood density)</u>: il valore di densità e massa del legno verde utilizzato qui è stato desunto dalla letteratura, in particolare da uno studio effettuato in Nord America, è palese che questo valore dovrebbe essere opportunamente parametrizzato in accordo alle condizioni locali.</li> </ul>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Tutti gli obiettivi sono stati raggiunti e le attività concluse nei modi e tempi previsti dal piano.
Attività ancora da realizzare	Tutte le attività sono concluse. La relazione tecnica completa dell'attività svolta da Sinoptic è stata allegata nel sistema SIAG

## 2.3.2 Personale

### PERSONALE CCP

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
CONSORZIO COMUNALIE PARMENSI	Tecnico	Rilievi e loro elaborazioni	€ 0,00	38,00	€ -
CONSORZIO COMUNALIE PARMENSI	Responsabile	Rilievi e loro elaborazioni	€ 0,00	24,00	€ -
CONSORZIO COMUNALIE PARMENSI	Tecnico	Rilievi e loro elaborazioni	€ 0,00	24,00	€ -
				Totale:	€ -

## 2.4 Azione 2 Gassificazione (in montagna e presso CINSA-Università di Parma)

### 2.4.1 Attività e risultati

Azione	<b>Gassificazione (in montagna e presso CINSA-Università di Parma)</b>
Unità aziendale responsabile	<b>CINSA, collaborano CONSORZIO COMUNALIE PARMENSI</b>
Descrizione delle attività	L'attività è stata interamente rendicontata nella relazione intermedia.
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Tutte le attività previste nell'azione 2 sono state realizzate
Attività ancora da realizzare	Tutte le attività sono concluse.

### 2.4.8 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

Partner	Data fattura	n. fattura	Data pagamento	Fornitore	Descrizione attività	Importo netto
<b>CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO NAZIONALE PER LE SCIENZE AMBIENTALI</b>	29/06/2022	n. 5	12 e 19 dicembre 2023	PhD Agronomo	Attività di consulenza relative al progetto FABER Azione 2: controllo e messa a punto e funzionamento attività di carbonizzazione	€ 13.000,00
totale:						<b>€ 13.000,00</b>

## 2.5 Azione 3 Prove in bosco

### 2.5.1 Attività e risultati

Azione	<b>Prove in bosco</b>
Unità aziendale responsabile	<b>STUARD</b>
Descrizione delle attività	<p>I siti sperimentali in bosco sono stati realizzati nella prima parte del progetto e dettagliatamente descritti nella rendicontazione intermedia. Si ricorda in questa sede il disegno sperimentale con specifica dei trattamenti effettuati nei siti di faggio e castagno.</p> <p><b>Prova in Bosco di Castagno:</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1- con biochar da CARBONIZZATORE COMUNALIE originato da cippato di castagno di "buona qualità"</li><li>2- con biochar da CARBONIZZATORE PROTOTIPALE originato da cippato di castagno di "peggiore qualità"</li><li>3- Testimone (terreno boschivo tal quale)</li></ol> <p><b>Prova in Bosco di Faggio:</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1- con biochar da CARBONIZZATORE COMUNALIE originato da cippato di faggio di "buona qualità",</li><li>2- con biochar da CARBONIZZATORE PROTOTIPALE originato da cippato di faggio di "peggiore qualità",</li><li>3- Testimone (terreno boschivo tal quale)</li></ol> <p>Tali matrici sono state replicate 3 volte per un totale di 9 parcelloni, in entrambi i siti.</p> <p>Nella foto sottostante vi è un blocco/replica del sito del castagno, dove in alto c'è la parcella del biochar comunale, in mezzo il biochar del carbonizzatore prototipale e in basso il testimone boschivo non trattato.</p>



Nella seconda foto sotto vi è un blocco/replica del sito del faggio, dove in alto c'è la parcella del biochar comunale, in mezzo il biochar del carbonizzatore prototipale e in basso il testimone boschivo non trattato. In questa foto si vedono chiaramente le 2 parcelle trattate con il biochar, in quanto il rimescolamento tra lo stesso biochar con il terreno boschivo è stato quasi nullo (in questo sito forestale il terreno era molto superficiale con la presenza di sassi, ceppaie e radici).



Nella seconda parte del progetti i tecnici di Stuard, supportati dai forestali del Consorzio Comunale hanno effettuato il 3° rilievo (4 ottobre 2022) e 4° rilievo (13 novembre 2023) nei siti sperimentali, secondo il protocollo previsto dal piano del GO. Si ricorda che i primi 2 rilievi sono stati effettuati nella prima parte del progetto.

In particolare sono state effettuate le seguenti attività

- **Prelievi di terreno:** in ogni parcella sperimentale di castagno e faggio è stato prelevato un campione di terreno per un totale di 18 campioni, portati poi nel laboratorio di Cinsa per le analisi chimico-fisiche (pH, CE, metalli pesanti, sostanza secca e sostanza organica, ecc) e microbiologiche (miceli fungini). Si veda nel dettaglio la tabella delle analisi riportata nella descrizione di azione 5
- **Rilievo dei funghi visibili/macroscopici:** sono stati rilevati solo nel sito sperimentale di faggio, tutti appartenenti al genere *Panaeolus*, funghi saprofiti che vivono su materia organica e di scarso interesse merceologico (se commestibili). Complessivamente i funghi presenti erano pochi e dislocati in moda casuale nelle diverse parcelle sperimentali. Il dettaglio dei rilievi effettuati è riportato in azione 5

<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Tutti gli obiettivi sono stati raggiunti.</p>
<p>Attività ancora da realizzare</p>	<p>Tutta l'attività prevista è stata realizzata</p>

## 2.5.2 Personale

### PERSONALE AZIENDA AGRARIA SPERIMENTALE STUARD

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
<b>STUARD</b> AZ.	o.t.d. comune - tempo indeterminato	rilevi in campo	€ 19,50	29,00	€ 565,50
<b>STUARD</b> AZ.	imp. Agrario 4° categoria - tempo indeterminato	supporto organizzazione rilievi	€ 27,00	41,00	€ 1.107,00
<b>STUARD</b> AZ.	imp. Agrario 3° categoria - tempo indeterminato	Organizzazione rilievi e rilievi	€ 27,00	38,00	€ 1.026,00
<b>STUARD</b> AZ.	imp. Agrario 1° categoria - Quadro	Organizzazione rilievi	€ 43,00	6,00	€ 258,00
<b>AZ. STUARD</b>	imp. Agraria 6° categoria 40 ore settimanali	supporto organizzazione rilievi	€ 27,00	4,00	€ 108,00
Totale:					<b>€ 3.064,50</b>

## 2.6 Azione 4: analisi sul biochar per il suo utilizzo come ammendante

### 2.6.1 Attività e risultati

Azione	<b>Analisi del biochar</b>
Unità aziendale responsabile	<b>CINSA</b>
Descrizione delle attività	<p>La caratterizzazione dei 4 tipi di biochar utilizzati in questo progetto è stata riportata nel rendiconto intermedio.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• B1-biochar prodotto dall'impianto Iridenergy (Campus, Parma) a partire da cippato di ramaglie di castagno;</li><li>• PFB2-biochar prodotto dall'impianto Iridenergy (Campus, Parma) a partire da cippato di faggio;</li><li>• PFB3-biochar prodotto dall'impianto Spanner (Fornovo) a partire da cippato di tronchi di castagno;</li><li>• PFB4-biochar prodotto dall'impianto Spanner (Fornovo) a partire da cippato di tronchi di faggio.</li></ul> <p>Tutte le analisi sono state effettuate presso il Laboratorio di Biotecnologie Agro-ambientali dell'Università di Parma seguendo i protocolli indicati nelle norme UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione), EN (elaborate dal CEN, Comité Européen de Normalisation) e/o ISO (Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione).</p> <p>Nel periodo finale del progetto sono state condotte a termine le analisi dei suoli prelevati nelle parcelle sperimentali</p> <p><b>Analisi dei suoli</b></p> <p>I campioni di suolo sono stati prelevati da tutte le parcelle, eseguendo prelievi in triplicato, nei periodi di agosto 2021, ottobre 2021, ottobre 2022 e novembre 2023. Il prelievo di agosto 2021 vale come controllo della situazione iniziale dei suoli.</p> <p>Il suolo è stato sottoposto ad analisi di pH, conducibilità elettrica, sostanza organica, ceneri secondo metodi standardizzati UNI/ISO.</p> <p>La digestione dei suoli per le determinazioni del contenuto di metalli ed elementi traccia è stata eseguita secondo Sastre et al. (2002, <i>Analytica Chimica Acta</i> 462:59-72) su campioni asciugati all'aria e ridotti in polvere in mortaio. Aliquote da 1 g circa sono state pesate in crogiuoli, essiccate completamente a 70°C, incenerite in muffola a 450°C per 24 ore. La polvere trasferita nei tubi del digestore è stata addizionata di HNO<sub>3</sub> 65% e dopo ulteriori 24 ore, dopo aggiunta di H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, sottoposta a digestione per 2,5 ore a 140°C. Dopo raffreddamento e filtrazione gli estratti sono stati analizzati con assorbimento atomico in appropriate diluizioni per i seguenti elementi: rame, piombo, nichel, cadmio, cromo, zinco, ferro. I risultati sono riportati nella azione 5.</p> <p>Sui campioni di suolo è stata eseguita anche una analisi di biodiversità fungina. A tale scopo, i campioni prelevati sono stati setacciati con setaccio da 0.5 cm e conservati a 4 gradi prima di essere utilizzati.</p> <p>Per l'analisi della biodiversità fungina 1 g di ogni campione è stato incubato con 100 mL di acqua e posto in agitazione per 1 ora (Parkinson and Williams, 1960, <i>Plant and Soil</i> 13:347-355). È stato prelevato il surnatante e 50 µL sono stati piastrati su terreno Glucose Peptone salts agar, supplementato con tetraciclina per inibire la crescita batterica; il mezzo di crescita contiene destrosio, peptone, estratto di lievito, potassio fosfato, magnesio solfato ed è addizionato di agar 1,5% (w/v). Le piastre sono state poste per 7 giorni a 28°C e quindi osservate con l'ausilio di uno stereomicroscopio per la conta delle colonie e l'analisi della biodiversità morfologica, con l'aiuto di letteratura specifica (Thom and Raper 1945; Watanabe, 2002, CRC Press).</p> <p>Per l'analisi della biodiversità funzionale (impronta metabolica) mediante il sistema BIOLOG EcoPlates, 10g di suolo sono stati addizionati a 100 mL di soluzione di NaCl 0,85% (p/v) e messi su agitatore per 30 minuti. Dopo filtrazione, 120 µL della soluzione sono stati distribuiti nei 32 pozzetti della piastra</p>

contenenti diverse fonti di carbonio. Le piastre, ognuna corrispondente a tre campioni di suolo, sono state incubate a 28°C al buio per 3 giorni. Al termine l'assorbanza nei diversi pozzetti è stata letta alla lunghezza d'onda di 590 nm per rilevare il colorante tetrazolio.

La caratteristica delle EcoPlates è di rilevare il metabolismo di 31 diverse fonti di carbonio suddivise in 5 gruppi: polimeri, carboidrati, acidi carbossilici, amminoacidi e ammine.



Figura 1. Lista delle fonti di carbonio presenti nei pozzetti della EcoPlate

Il metabolismo delle comunità microbiche in ogni pozzetto porta allo sviluppo del colorante tetrazolio, con intensità proporzionale alla intensità del metabolismo. Nel pozzetto di controllo non si aggiungono fonti di carbonio.

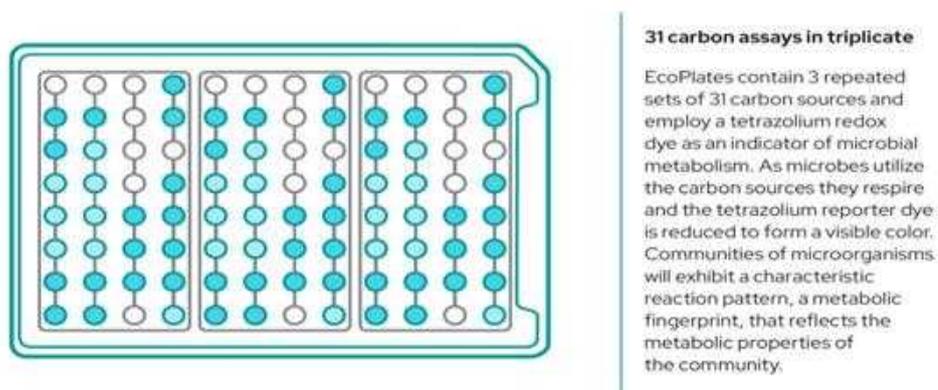


Figura 2. Funzionamento del test con EcoPlates (fonte biolog.com)

I risultati sono riportati nella descrizione dell'Azione 5.

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Attività completata
Attività ancora da realizzare	Tutta l'attività prevista è stata realizzata

## 2.6.2 Personale

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO NAZIONALE PER LE SCIENZE AMBIENTALI	Professore fascia alta	Coordinamento delle attività analitiche	€ 73,00	11,97	€ 873,81
Totale:					<b>€ 3.938,31</b>

## 2.7 Azione 5: redazione dei report annuali e delle Linee Guida per l'applicazione e la diffusione delle pratiche e/o combinazione di pratiche testate.

### 2.7.1 Attività e risultati

Azione	Redazione dei report annuali e delle Linee Guida per l'applicazione e la diffusione delle pratiche e/o combinazione di pratiche testate							
Unità aziendale responsabile	STUARD, collaborano CINSA, CONS. COMUNALIE PARMENSI							
Descrizione delle attività	<p><b>Attività di Stuard</b></p> <p>Si riportano i prospetti dei rilievi dei funghi visibili effettuati dal personale Stuard in data 4 ottobre 2022 e 13 novembre 2023, nei siti sperimentali del Castagno e Faggio.</p> <p>In particolare i funghi sono stati rilevati nel solo sito di faggio, mentre nel sito del castagno, a causa di probabili e continui passaggi di ungulati, non è mai stato rilevato nessun tipo di fungo. In ogni caso la presenza di funghi nel sito del faggio è casuale e indipendente dai trattamenti effettuati.</p>							
Scheda rilievo funghi visibili			Sito: ceduo faggio			Data rilievo:		04/10/22
Blocco	Tesi	Descrizione	Tipo 1			Tipo 2		
			Specie	Numero	Dimensioni	Specie	Numero	Dimensioni
1	1	Biochar CCP	Panaeolus sp (saprofita)	2	altezza = 3 cm diametro = 1-2 cm			
1	2	Biochar PROTOTIPO	Panaeolus sp (saprofita)	1	altezza = 3 cm diametro = 2 cm			
1	3	Test non trattato	Panaeolus sp (saprofita)	1	altezza = 2 cm diametro = 1 cm			
2	1	Biochar CCP	Panaeolus sp (saprofita)	1	altezza = 3 cm diametro = 2 cm			
2	2	Biochar PROTOTIPO	Panaeolus sp (saprofita)	2	altezza = 3 cm diametro = 2 cm	Mycena rosea	1	altezza = 3 cm diametro = 3 cm
2	3	Test non trattato	Panaeolus sp (saprofita)	3	altezza = 6 cm diametro = 2 cm			
3	1	Biochar CCP	Panaeolus sp (saprofita)	2	altezza = 6 cm diametro = 2 cm	Mycena rosea	1	altezza = 3 cm diametro = 3 cm
3	2	Biochar PROTOTIPO	Panaeolus sp (saprofita)	1	altezza = 1 cm diametro = 0,5 cm			
3	3	Test non trattato	Panaeolus sp (saprofita)	2	altezza = 3 cm diametro = 1 cm			
Scheda rilievo funghi visibili			Sito: ceduo faggio			Data rilievo: 13-11-23		
Blocco	Tesi	Descrizione	Tipo 1					
			Specie	N.	Dimensioni			
1	1	Char CCP						
1	2	Char prototipo	Panaeolus sp (saprofita)	3	altezza = 3 cm diametro = 2 cm			
1	3	Test non trattato						
2	1	Char CCP	Panaeolus sp (saprofita)	2	altezza = 3 cm diametro = 2 cm			
2	2	Char prototipo	Panaeolus sp (saprofita)	1	altezza = 4 cm diametro = 2 cm			
2	3	Test non trattato	Panaeolus sp (saprofita)	3	altezza = 5 cm diametro = 2 cm			
3	1	Char CCP	Panaeolus sp (saprofita)	2	altezza = 6 cm diametro = 2 cm			
3	2	Char prototipo	Panaeolus sp (saprofita)	1	altezza = 4 cm diametro = 2 cm			
3	3	Test non trattato						

### Attività di CINSA

Il personale CINSA ha raccolto e analizzato i dati delle analisi sui campioni di suolo (descritti in Azione 4). L'analisi dei suoli è stata eseguita su campioni raccolti in diversi momenti come descritto in Azione 4: agosto 2021, ottobre 2021, ottobre 2022 e novembre 2023

#### FAGGIO

Parametro	Trattamento	Agosto 2021	Ottobre 2021	Ottobre 2022	Novembre 2023
pH	Controllo	4,31±0,16	4,52±0,22	4,77±0,46	5,27±0,19
	Char prototipo	4,32±0,17	6,20±0,56	6,09±0,55	6,03±0,37
	Char Spanner	4,26±0,17	6,07±0,98	5,02±0,43	5,78±0,59
Conducibilità elettrica	Controllo	821±91	1116± 5	515±58	365±13
	Char prototipo	946±220	604±80	572±29	244±40
	Char Spanner	1296±115	1522± 29	565±132	268±63
Sostanza secca (%)	Controllo	96,8±0,5	95,9±0,8	97,0±0,1	97,0±0,5
	Char prototipo	96,8±0,6	95,6±1,4	96,1±0,6	96,7±0,4
	Char Spanner	96,6±0,2	95,1±1,2	97,2±0,6	97,6±0,0
Sostanza organica (%)	Controllo	16,72±2,96		23,73±6,95	17,34±1,81
	Char prototipo			22,32±7,32	22,38±0,62
	Char Spanner			26,86±17,29	16,32±1,39
Cadmio (mg/kg)	Controllo	Non rilevabile		0,95±0,17	8,42±1,79
	Char prototipo			0,67±1,91	13,91±3,70
	Char Spanner			1,28±0,55	12,97±0,54
Nichel (mg/kg)	Controllo	6,83±0,64		Non rilevabile	17,19±2,00
	Char prototipo			4,49±0,31	18,64±5,70
	Char Spanner			Non rilevabile	28,65±2,76
Rame (mg/kg)	Controllo	5,06±0,37		6,91±1,62	13,19±1,73
	Char prototipo			7,58±1,12	19,88±3,68
	Char Spanner			6,75±2,44	16,22±3,88
Piombo (mg/kg)	Controllo	66,04±1,58		77,91±3,67	Non rilevabile
	Char prototipo			62,63±2,27	Non rilevabile
	Char Spanner			74,66±2,42	Non rilevabile
Zinco (mg/kg)	Controllo	50,82±7,74		64,46±4,85	71,17±7,06
	Char prototipo			51,05±0,61	87,12±12,36
	Char Spanner			88,45±0,72	95,37±4,51
Cromo (mg/kg)	Controllo	Non rilevabile		20,88±1,53	14,96±9,11
	Char prototipo			20,41±2,20	13,54±3,78
	Char Spanner			22,69±1,44	19,75±3,31

Le analisi evidenziano un aumento di pH nelle parcelle delle faggete trattate con biochar, rispetto al controllo. Il suolo rimane acido, ma l'aggiunta di biochar basico porta a un aumento anche di 1,5 unità.

La conducibilità elettrica non mostra un chiaro andamento nelle parcelle trattate con char.

La quantità di sostanza organica non aumenta in modo significativo, indipendentemente dal tipo di biochar.

Per quanto riguarda la presenza di metalli pesanti, si notano nel tempo oscillazioni dei valori che sembrano indipendenti dal tipo di trattamento. Il contenuto di cadmio, nichel e rame mostra una netta tendenza all'aumento dal 2021 al 2023.

**CASTAGNO**

Parametro	Trattamento	Agosto 2021	Ottobre 2021	Ottobre 2022	Novembre 2023
pH	Controllo	5,41±0,10	5,09±0,11	5,30±0,05	5,74±0,13
	Char prototipo	5,29±0,29	5,43±0,30	5,48±0,07	5,70±0,17
	Char Spanner	5,29±0,12	5,24±0,10	5,36±0,02	5,73±0,21
Conducibilità elettrica	Controllo	328± 6	524± 94	319±49	199±40
	Char prototipo	232± 40	426± 40	224±24	150±28
	Char Spanner	210±36	589± 45	313±8	170±16
Sostanza secca (%)	Controllo	97,7±0,1	96,9±0,0	98,8±0,5	97,0±0,3
	Char prototipo	97,7±0,1	96,8±0,2	98,9±0,7	97,2±0,0
	Char Spanner	97,7±0,2	96,9±0,2	98,8±0,4	97,0±0,3
Sostanza organica (%)	Controllo	10,86±0,16		14,83±0,88	18,40±0,20
	Char prototipo			14,58±1,31	17,47±1,29
	Char Spanner			15,75±0,81	17,26±0,99
Cadmio (mg/kg)	Controllo	0,21±0,05		0,25±1,35	18,52±1,41
	Char prototipo			1,06±0,41	9,98±1,91
	Char Spanner			Non rilevabile	13,13±0,36
Nichel (mg/kg)	Controllo	6,60±0,38		5,25±3,09	17,93±7,06
	Char prototipo			5,79±0,75	19,87±1,65
	Char Spanner			3,19±0,13	19,76±1,02
Rame (mg/kg)	Controllo	9,12±0,40		8,55±0,95	16,03±1,79
	Char prototipo			7,09±0,77	24,16±1,03
	Char Spanner			7,87±0,19	18,08±1,98
Piombo (mg/kg)	Controllo	21,56±4,28		37,46±0,15	48,21±20,09
	Char prototipo			51,73±3,88	39,87±7,17
	Char Spanner			43,95±0,38	73,19±4,10
Zinco (mg/kg)	Controllo	60,50±1,45		88,82±1,78	103,62±18,96
	Char prototipo			89,14±1,95	109,92±8,39
	Char Spanner			82,01±7,54	107,03±5,55
Cromo (mg/kg)	Controllo	Non rilevabile		6,92±0,84	12,67±0,61
	Char prototipo			23,07±1,08	10,67±3,76
	Char Spanner			23,41±1,38	22,47±0,03

Le analisi non evidenziano aumento di pH nelle parcelle dei castagneti trattate con biochar, rispetto al controllo.

La conducibilità elettrica non mostra un chiaro andamento nelle parcelle trattate con char.

La quantità di sostanza organica non aumenta in modo significativo, indipendentemente dal tipo di biochar.

Per quanto riguarda la presenza di metalli pesanti, si notano nel tempo oscillazioni dei valori che sembrano indipendenti dal tipo di trattamento. Il contenuto di quasi tutti i metalli mostra una netta tendenza all'aumento dal 2021 al 2023.

Il personale CINSA ha inoltre raccolto dati sulla presenza di funghi negli stessi campioni mediante osservazioni allo stereomicroscopio e su colonie in piastra.

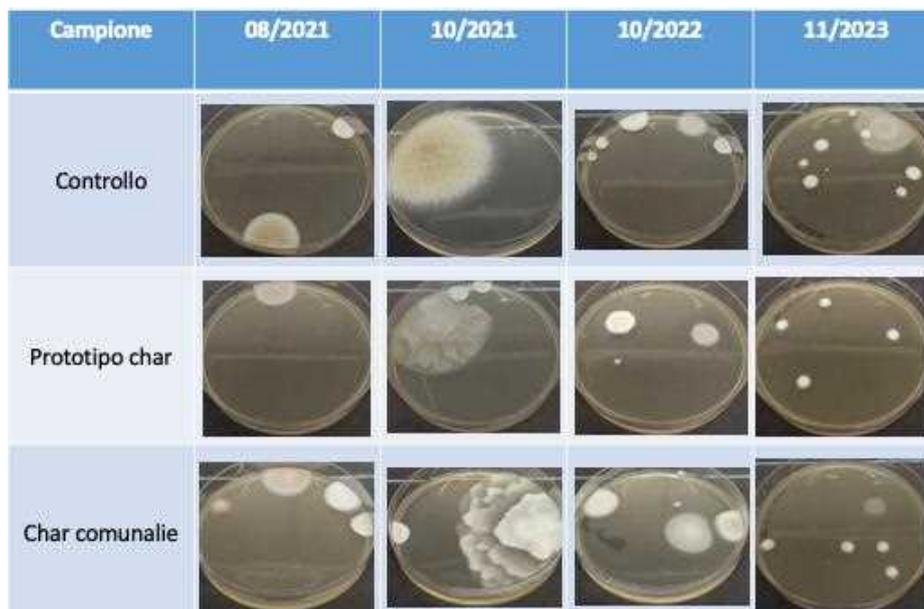


Figura 1A. Piastre rappresentanti la diversità fungina nei campioni di suolo dalle parcelle sperimentali nei castagneti.

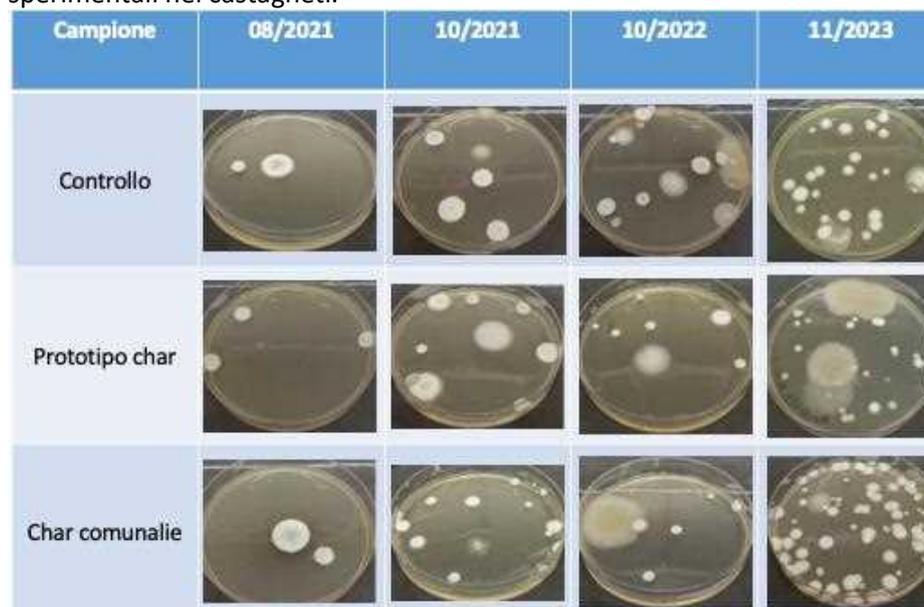


Figura 1B. Piastre rappresentanti la diversità fungina nei campioni di suolo dalle parcelle sperimentali nelle faggete.

L'osservazione delle colonie fungine dopo crescita in piastra a partire da estratti di campioni di suolo (da agosto 2021 a novembre 2023) mostra una diversificazione di colonie nei suoli dalle parcelle trattate con biochar, e in generale un aumento nel numero di colonie nel tempo.

La diversificazione nel tipo di funghi presenti è stata determinata contando le colonie con diversa morfologia secondo la classificazione riportata in letteratura (Thom and Raper 1945, Watanabe 2002).

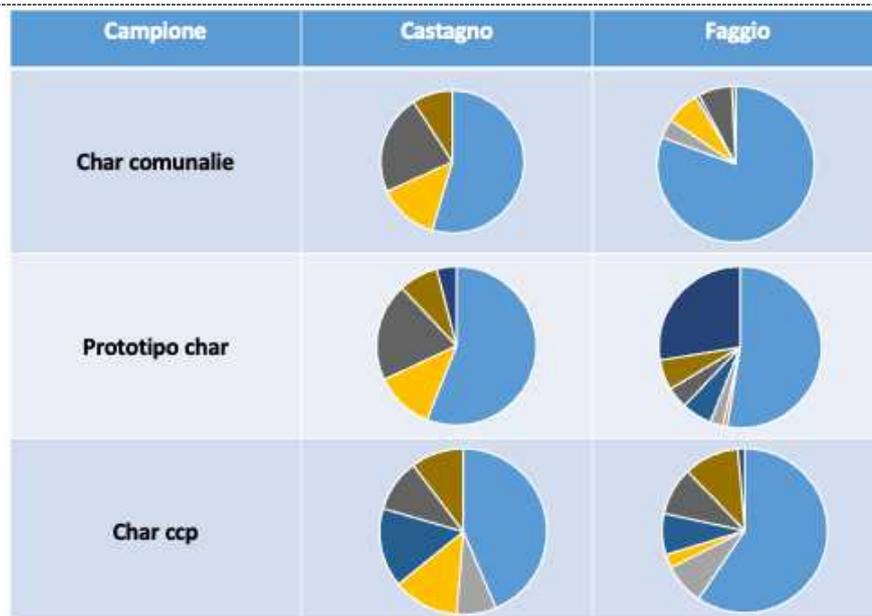
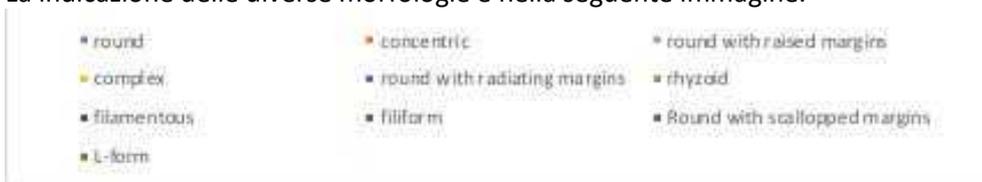


Figura 2. Diversificazione delle colonie fungine in base alla morfologia  
La indicazione delle diverse morfologie è nella seguente immagine.



E' evidente un aumento nella diversità delle morfologie, e quindi della diversità tassonomica, nel tempo rispetto al momento di aggiunta del biochar.

I numeri di funghi stimati negli stessi campioni indicano la tendenza ad un aumento significativo nel numero di funghi nei suoli trattati con biochar, soprattutto nelle faggete.

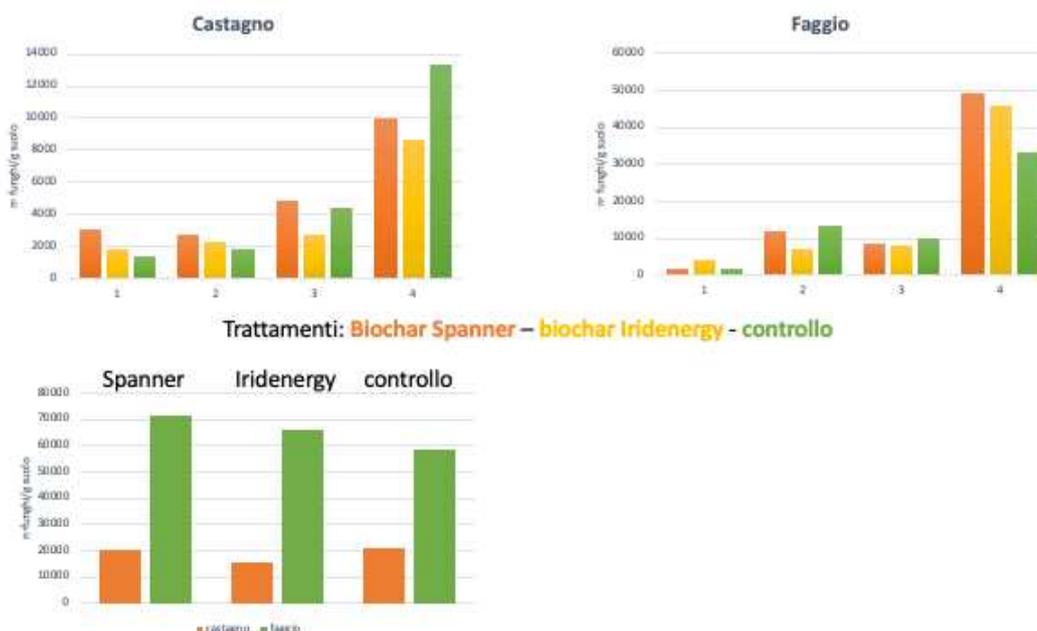


Figura 3. Stime del numero di funghi nei diversi campioni, per castagneti e faggete (pannelli superiori) e comparazione del numero di funghi reperiti nelle diverse località (pannello inferiore).

L'analisi con Biolog EcoPlates sui campioni dell'ultimo periodo ha portato al calcolo della Average Metabolic Response (AMR), che descrive l'entità media della respirazione o metabolismo delle fonti di carbonio da parte della comunità microbica, fornendo un unico indice con cui confrontare le comunità tra di loro. Si calcola dalle differenze medie tra le letture nei pozzetti contenenti fonti di carbonio e la lettura del pozzetto di controllo, facendo poi la media sulle 31 condizioni. In Figura 4 sono mostrati i risultati.

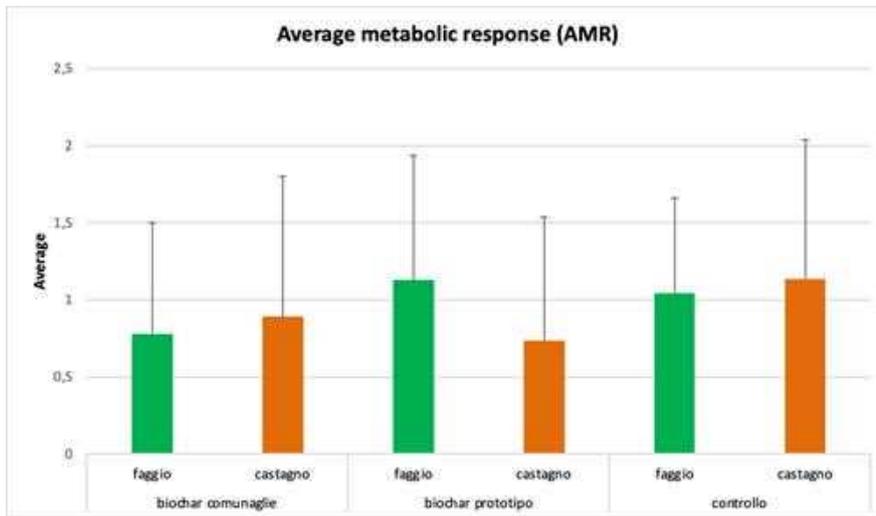


Figura 4. Average Metabolic Response (AMR) dei campioni di suolo prelevati a novembre 2023 nelle parcelle sperimentali in faggete e castagneti. E' mostrata la deviazione standard delle misure riferite a 31 diverse fonti di carbonio valutate con Biolog EcoPlates.

I risultati mostrano una maggiore diversità metabolica nelle faggete, e un effetto dell'apporto di biochar che non distingue in modo significativo tra i due biochar oggetto dello studio. Ulteriori analisi relative ai 5 gruppi di fonti di carbonio mostrano una AMR maggiore per il gruppo dei carboidrati rispetto alle altre categorie, e andamenti simili in faggete e castagneti. L'apporto di biochar non modifica sostanzialmente la risposta. Occorre sottolineare che il prelievo di novembre 2023 è stato effettuato oltre 2 anni dopo la somministrazione del biochar e che eventuali effetti potrebbero essere stati annullati nel tempo.

<p>Grado di raggiungimento o degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Obiettivo raggiunto e non si segnalano criticità.</p>
<p>Attività ancora da realizzare</p>	<p>Tutta l'attività prevista è stata realizzata</p>

## 2.7.2 Personale

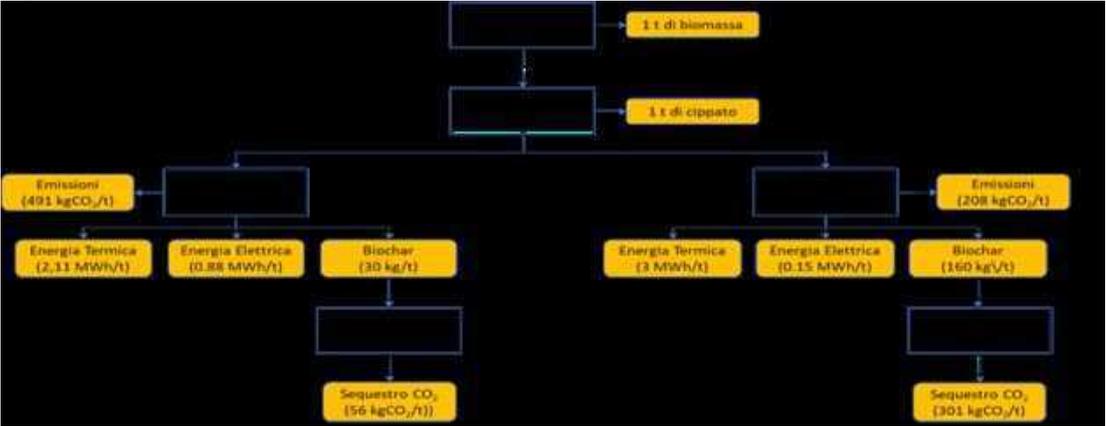
Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
STUARD AZ.	imp. Agrario 1° categoria - Quadro	Redazione linee guida	€ 43,00	11,00	€ 473,00
AZ. STUARD	impiegato TI part time 50%	supporto redazione linee guida	€ 27,00	4,00	€ 108,00
				Totale	€ <b>581,00</b>

## 2.7.8 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

Partner	Data fattura	n. fattura	Data pagamento	Fornitore	Descrizione attività	Importo netto
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO NAZIONALE PER LE SCIENZE AMBIENTALI	29/06/2022	n. 5	12 e 19 dicembre 2023	PhD Agronomo	Attività di consulenza relative al progetto FABER Azione 5: redazione report e linee guida attività pirogassificatore prototipale	€ 3.000,00
					totale:	€ <b>3.000,00</b>

## 2. 8 Azione 6: raccolta dati.

### 2.8.1 Attività e risultati

Azione	Raccolta dati
Unità aziendale responsabile	<b>STUARD, collaborano CCP, CINS A</b>
Descrizione delle attività	<p>Nel corso del periodo è stato completato lo sviluppo del modello di analisi del ciclo di vita o di life cycle assessment (LCA), in base alle norme ISO 14040 e 14044.</p> <p>L'analisi LCA permette di quantificare i potenziali impatti sull'ambiente della produzione, consumo e gestione del fine vita di un prodotto o di un servizio. Le applicazioni possono essere diverse, tra cui l'etichettatura ecologica, la progettazione sostenibile o "ecodesign", lo sviluppo e il miglioramento del prodotto, la pianificazione strategica, l'elaborazione delle politiche pubbliche e il marketing. In ambito produttivo, lo sviluppo di un'analisi LCA consente di conoscere con precisione l'entità dell'impatto ambientale di un prodotto e la sua evoluzione nel tempo, in modo da definire in modo completo le procedure operative dell'azienda e una serie di parametri utili ad una migliore gestione interna delle performance ambientali. L'ISO 14040 suddivide l'analisi LCA in 4 fasi principali: definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione, analisi dell'inventario, valutazione degli impatti e interpretazione dei risultati.</p> <p><b>1. Obiettivo e campo di applicazione</b></p> <p>Il presente studio ha l'obiettivo di misurare l'impronta carbonica di due sistemi alternativi di pirogassificazione del cippato ottenuto da manutenzione delle superfici forestali e dell'impiego dell'output di processo come mezzo di sequestro di lungo periodo del carbonio. L'analisi si è concentrata sulla trasformazione della biomassa ottenuta dalle operazioni di manutenzione forestale in biochar ed energia. Il biochar restituito alla superficie forestale permette il sequestrare carbonio, mentre la produzione energetica consente una possibile sostituzione dell'energia prodotta da fonti fossili.</p> <p>L'unità funzionale, ovvero il riferimento rispetto al quale tutti i flussi di energia e materiali e i relativi impatti ambientali sono ricondotti, è la tonnellata di biomassa prelevata dal bosco. I confini del sistema oggetto dell'analisi comprendono le operazioni di estrazione della biomassa dalla superficie forestale, la fase di cippatura, la pirogassificazione del cippato con produzione di syngas e biochar, l'applicazione in suolo forestale del biochar e i relativi trasporti (Figura 1). Sono esclusi dall'analisi: la realizzazione degli impianti, delle attrezzature e dei mezzi di trasporto, la fase di stoccaggio del cippato, poiché avviene all'aperto nei pressi dell'impianto, e lo smaltimento delle ceneri prodotte dall'impianto di pirogassificazione.</p> <p><b>Figura1: Confini del Sistema</b></p>  <pre> graph TD     A[1 t di biomassa] --&gt; B[1 t di cippato]     B --&gt; C[Emissioni 491 kgCO2/t]     B --&gt; D[Emissioni 208 kgCO2/t]     C --&gt; E[Energia Termica 2,11 MWh/t]     C --&gt; F[Energia Elettrica 0,88 MWh/t]     C --&gt; G[Biochar 30 kg/t]     D --&gt; H[Energia Termica 3 MWh/t]     D --&gt; I[Energia Elettrica 0,15 MWh/t]     D --&gt; J[Biochar 160 kg/t]     G --&gt; K[Sequestro CO2 56 kgCO2/t]     J --&gt; L[Sequestro CO2 301 kgCO2/t]     </pre>

Il periodo di riferimento è il 2020-2022. I dati raccolti sono sia dati primari dati primari, provenienti da rilevamenti diretti effettuati dai partner di progetto, che dati secondari, ricavati dalla letteratura, database ambientali (Ecoinvent 3.8) e manuali tecnici. Le informazioni sulla manutenzione forestale sono state ottenute dal Consorzio delle Comunalie Parmensi, mentre quelle relative ai processi di pirogassificazione degli impianti SPANNER e IRIDENERGY sono state ottenute rispettivamente dal Consorzio delle Comunalie Parmensi e dall'Azienda Agraria Sperimentale STUARD.

La metodologia applicata per la caratterizzazione degli impatti è Recipe Midpoint (H), attraverso l'impiego del software OpenLCA 2.4.

## 2. Inventario

- **Prelievo biomassa e trasporto.** La raccolta della biomassa forestale prevede l'impiego di attrezzature che consumano carburante, come motoseghe e trattori. In base alle informazioni fornite dall'Allegato A del D.M. 30 dicembre 2015, Art. 1 e 2 "Modifiche, integrazioni e maggiorazioni alle tabelle dei consumi medi di gasolio e benzina per l'impiego agevolato in agricoltura", è stato possibile calcolare il consumo delle attrezzature e dei mezzi impiegati nelle operazioni forestali. Per il taglio e la sramatura, è stato stimato un consumo di benzina pari a 12,80 MJ/t di biomassa (100 litri/ha), mentre per il trasporto (comprese le operazioni di carico/scarico) della biomassa forestale, il consumo stimato di gasolio è di 5,76 MJ/t (40 litri/ha).
- **Cippatura e trasporto.** Per il processo di cippatura è stato preso a riferimento un'attrezzatura con una produttività netta 20 t/h (esclusi tempi morti) (Spinelli, 2013). Il consumo di gasolio del cippatore è di 84,96 MJ/t (2,36 litri/t). La distanza di trasporto del cippato è stata valutata solo per il pirogassificatore IRIDENERGY, assumendo che il processo di cippatura avvenga nel sito dove è ubicato l'impianto SPANNER. La distanza tra il sito di cippatura e di pirogassificazione IRIDIENERGY è di 65 km (ipotesi one-way).
- **Pirogassificazione.** Il cippato viene indirizzato alternativamente ai due impianti di pirogassificazione. Il calore, l'energia elettrica e le quantità di biochar prodotti sono stati desunti dai dati forniti dai partner di progetto. Il rendimento in termini di biochar dell'impianto SPANNER e IRIDENERGY è pari rispettivamente al 3% e 16% della biomassa in ingresso. Il trattamento termico del cippato permette di evitare il calore prodotto dalla combustione di gas naturale e la produzione di energia elettrica. Il processo di pirogassificazione produce emissioni climalteranti, valutate impiegando le stime di Conesa et al. (2020) e le schede tecniche e le misurazioni fornite dai partner di progetto. I gas climalteranti presenti nei fumi sono CO, CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O.
- **Trasporto, distribuzione del biochar e sequestro di CO<sub>2</sub>.** Si è ipotizzato di riportare il biochar nelle aree forestali di prelievo della biomassa per il sequestro stabile di CO<sub>2</sub>. La CO<sub>2</sub> stoccata è stata calcolata assumendo che il carbonio residuo nel suolo dopo 100 anni fosse l'80% del carbonio applicato, mentre il contenuto di C nel biochar è stato ricavato dai dati forniti dai partner di progetto (64,1% sulla sostanza secca per il biochar prodotto dal pirogassificatore prototipale Iridenergy, 63,9% sulla sostanza secca per il biochar prodotto da pirogassificatore SPANNER). Il fattore di conversione da C a CO<sub>2</sub> è stato ricavato dal rapporto tra le loro masse molari:  $44/12 = 3,67$ . Per il trasporto del biochar si è ipotizzata una distanza di 10 km dal sito di SPANNER e una distanza di 75 km da sito di IRIDENERGY. Per le operazioni di spandimento, si è ipotizzato l'impiego di un trattore con un consumo stimato di gasolio pari a 5,76 MJ/t (40 litri/ha).

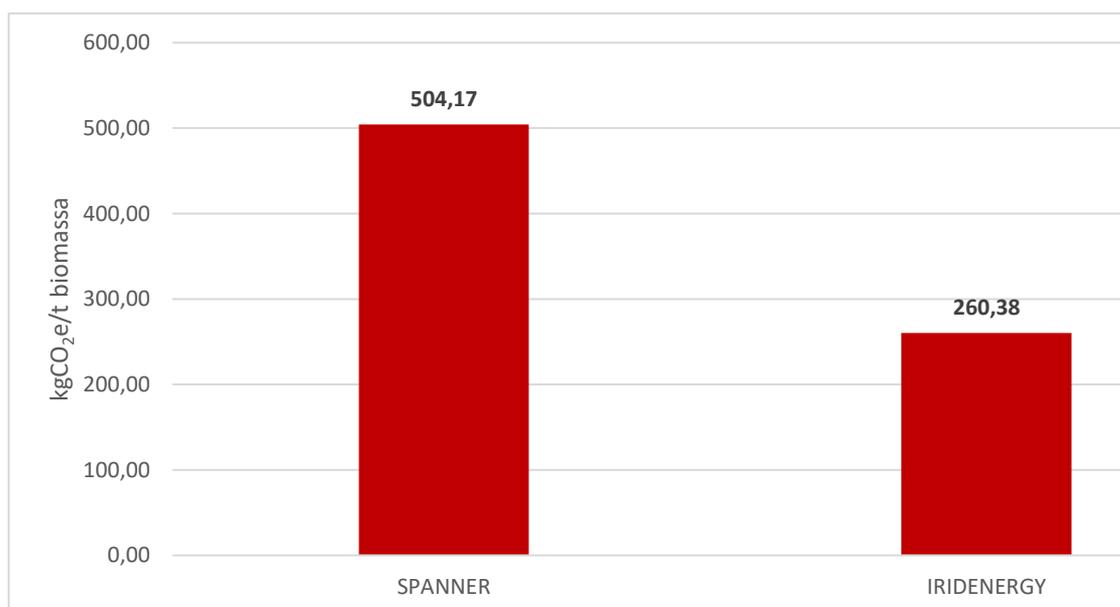
**Tabella 1: Inventario LCA**

Descrizione	Tipo	UM	SPANNE	IRIDENER	Flussi di ECOINVENT 3.8
			R	GY	
Biomassa in ingresso	Cippato	t	1	1	
Operazioni in bosco					
- Taglio e sramatura	Benzina	MJ/t	12.80	12.80	petrol, unleaded, burned in machinery
- Trasporto biomassa	Gasolio	MJ/t	5.76	5.76	diesel, burned in agricultural machinery
Cippatura	Gasolio	MJ/t	84.96	84.96	diesel, burned in agricultural machinery
Trasporto cippato	Distanza	tkm	0.00	65.00	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6
Produzione Biochar	Resa	t/t	0.03	0.16	
Energia Termica	Evitata	t	2.11	3.00	heat, district or industrial, natural gas
Energia Elettrica	Evitata	t	0.88	0.15	electricity, medium voltage
Trasporto biochar	Distanza	tkm	0.30	12.00	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6
Distribuzione biochar	Gasolio	MJ/t	5.76	5.76	diesel, burned in agricultural machinery
Emissioni					
pirogassificazione	CO <sub>2</sub>	tCO <sub>2</sub> /t	0.49	0.21	carbon dioxide
Sequestro CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	tCO <sub>2</sub> /t	0.06	0.30	carbon dioxide - biogenic

### 3. Risultati

La Figura 2 mostra le emissioni lorde prodotte dai due sistemi. Le emissioni lorde considerano le emissioni prodotte dalle operazioni in bosco, dalla cippatura della biomassa, dal processo di pirogassificazione, dalla distribuzione del biochar su area forestale e dai trasporti di materiale. Sono quindi escluse le emissioni evitate della produzione di energia da fonte rinnovabile e gli assorbimenti da sequestro di CO<sub>2</sub> tramite applicazione del biochar sulla superficie forestale. La Figura 2 mostra come l'impiego del pirogassificatore SPANNER produca emissioni lorde maggiori del sistema IRIDENERGY.

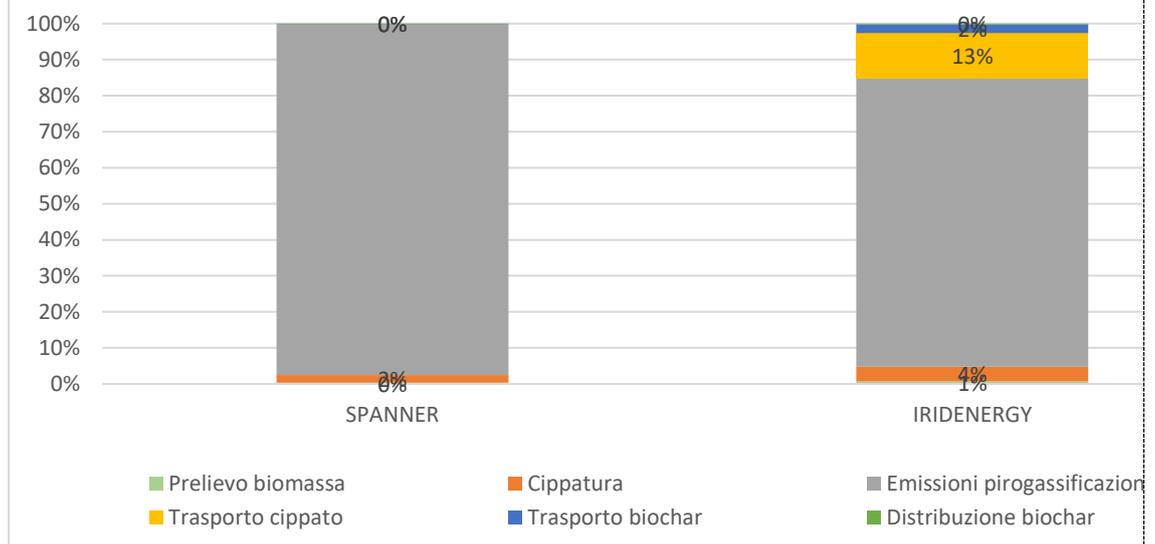
**Figura2: Emissioni CO<sub>2</sub>e lorde (sequestro ed emissioni evitate escluse)**



Come mostrato dalla Figura 3, le emissioni maggiori del sistema SPANNER sono dovute ai fumi prodotti dal processo di gassificazione della biomassa. In base ai dati sulla composizione dei

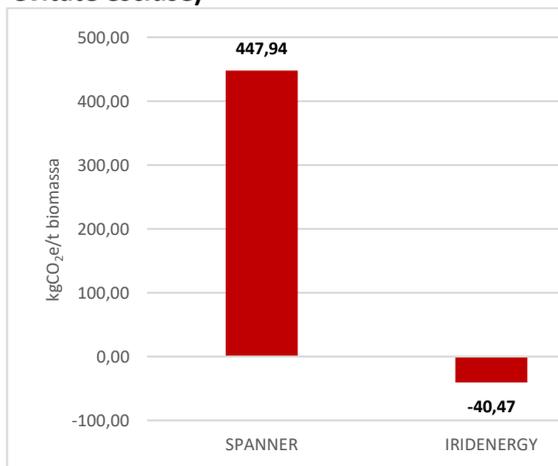
fumi dei due impianti, l'impianto SPANNER presenta un contenuto di gas climalteranti pari a più del doppio di quelli misurati nel sistema IRIDENERGY. Questo dato può essere messo in correlazione con la differente tecnologia di pirogassificazione e al rendimento in termini di produzione di biochar, molto più elevato nel sistema IRIDENERGY.

**Figura 3: Ripartizione delle emissioni CO<sub>2</sub>e lorde (sequestro ed emissioni evitate escluse)**

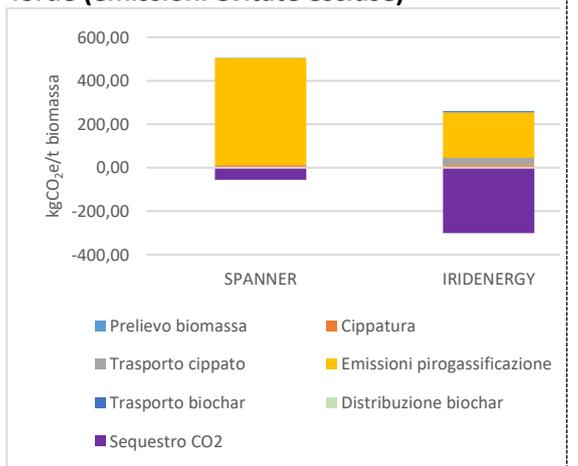


Le Figure 4 e 5 mostrano l'effetto compensativo del sequestro di CO<sub>2</sub>, a seguito di distribuzione del biochar sulla superficie forestale. Grazie alla maggiore produzione di biochar per unità di biomassa impiegata dal sistema IRIDENERGY, il potenziale di sequestro di CO<sub>2</sub> è sufficiente per compensare le emissioni prodotte lungo la filiera, con il risultato di una carbon footprint negativa di circa 40 kgCO<sub>2</sub>e/t biomassa. Le elevate emissioni del processo di pirogassificazione combinate ad una bassa quota di biochar ottenuto, lasciano il sistema SPANNER con una carbon footprint positiva pari a 448 kgCO<sub>2</sub>e/t biomassa.

**Figura 4: Emissioni di CO<sub>2</sub>e lorde (emissioni evitate escluse)**

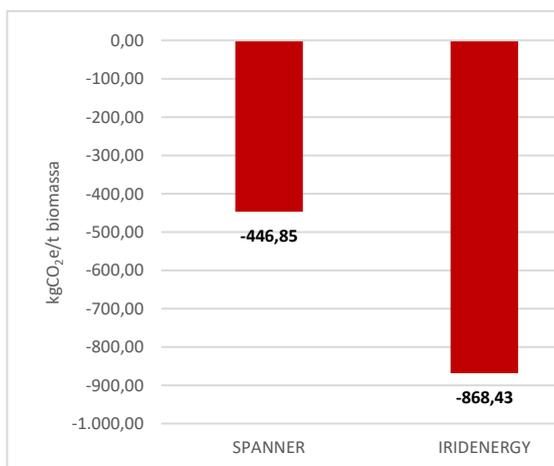


**Figura 5: Ripartizione delle emissioni CO<sub>2</sub>e lorde (emissioni evitate escluse)**

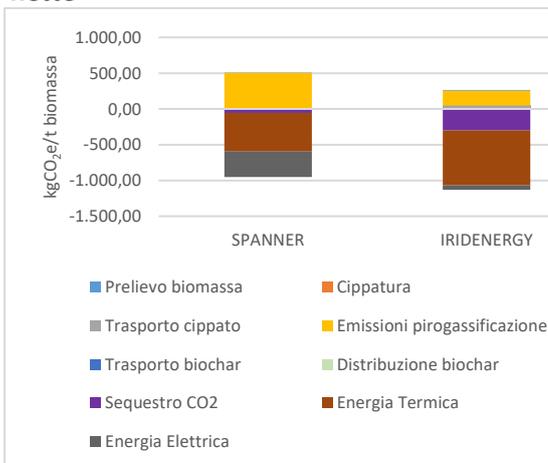


Le Figure 6 e 7 illustrano l'effetto del sequestro di CO<sub>2</sub>, a cui sono aggiunte le emissioni evitate nell'ipotesi di piena sostituzione tra l'energia, termica ed elettrica, rinnovabile ottenuta dai due impianti e quella ottenuta da fonte fossile. La contabilizzazione delle emissioni evitate contribuisce a migliorare ulteriormente l'impatto dei due sistemi, con il risultato di una carbon footprint negativa per entrambi i sistemi: -447 kgCO<sub>2</sub>e/t per SPANNER e -868 kgCO<sub>2</sub>e/t per IRIDENERGY.

**Figura 6: Emissioni CO<sub>2</sub>e nette**



**Figura 7: Ripartizione delle emissioni CO<sub>2</sub>e nette**



#### 4. Riferimenti bibliografici

- Baraldi N. (2019). Il pirogassificatore innovativo, [www.innovaturale.it/it/file-download/download/public/3385](http://www.innovaturale.it/it/file-download/download/public/3385)
- Conesa, J. A., Ortuño, N., Palmer, D. (2020). Estimation of industrial emissions during pyrolysis and combustion of different wastes using laboratory data. Scientific Reports, 10(1), 6750.
- MIPAAF (2015). D.M. 30 dicembre 2015, Determinazione dei consumi medi dei prodotti petroliferi impiegati in lavori agricoli, orticoli, in allevamento, nella silvicoltura e piscicoltura e nelle coltivazioni sotto serra ai fini dell'applicazione delle aliquote ridotte o dell'esenzione dell'accisa. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2016/03/01/16A01523/sg>
- Spanner Re<sup>2</sup> GmbH (2013). Scheda Tecnica Gassificatore Spanner.
- Spinelli R. (2013). Hackertruck PTH 1200/820, Informatore Agrario - Macchine Agricole Domani, 11.

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

Tutti gli obiettivi sono stati raggiunti nei tempi e modalità previste dal piano.

Attività ancora da realizzare

Tutta l'attività prevista è stata realizzata

## 2.8.2 Personale

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
<b>AZ. STUARD</b>	imp. Agrario 1° categoria - Quadro	elaborazione dati	€ 43,00	6,00	€ 258,00
<b>AZ. STUARD</b>	imp. Agrario 1° livello - Quadro part time 70,521%	elaborazione dati	€ 43,00	44,00	€ 1.892,00
<b>AZ. STUARD</b>	impiegato TI part time 50%	supporto elaborazione dati	€ 27,00	4,00	€ 108,00
<b>AZ. STUARD</b>	imp. Agrario 3° categoria - tempo indeterminato	raccolta ed elaborazione dati	€ 27,00	8,00	€ 216,00
<b>CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO NAZIONALE PER LE SCIENZE AMBIENTALI</b>	Professore fascia media	elaborazione e interpretazione dati	€ 48,00	11,40	€ 547,20
<b>CONSORZIO COMUNALIE PARMENSÌ</b>	Tecnico	raccolta ed elaborazione dati	€ 0,00	24,00	€ -
<b>CONSORZIO COMUNALIE PARMENSÌ</b>	Responsabile	raccolta ed elaborazione dati	€ 0,00	12,00	€ -
<b>CONSORZIO COMUNALIE PARMENSÌ</b>	Tecnico	raccolta ed elaborazione dati	€ 0,00	4,00	€ -
				Totale:	<b>€ 3.021,20</b>

## 2.8.3 Trasferte

Cognome e nome	descrizione	costo
<b>AZ. STUARD</b>	missione in bosco: rilievi e prelievi	€ 60,11
	<b>totale:</b>	<b>€ 60,11</b>

## 2.8.8 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

Partner	Data fattura	n. fattura	Data pagamento	Fornitore	Descrizione attività	Importo netto
<b>CONSORZIO INTERUNIVERSITA RIO NAZIONALE PER LE SCIENZE AMBIENTALI</b>	29/06/2022	n. 5	12 e 19 dicembre 2023	Agronomo	Attività di consulenza relative al progetto FABER Azione 6: raccolta e elaborazione dati processo pirogassificazione	€ 3.500,00
totale:						<b>€ 3.500,00</b>

## 2.9 Divulgazione.

### 2.9.1 Attività e risultati

Azione	<b>DIVULGAZIONE</b>
Unità aziendale responsabile	<b>STUARD, collaborano CCP, CINSA</b>
Descrizione delle attività	<p>Nel corso del piano Faber sono state programmate e realizzate attività di divulgazione e di comunicazione al fine di informare i soggetti interessati sugli obiettivi del progetto ed i risultati raggiunti, permettendone il loro trasferimento.</p> <p>Le attività di divulgazione si sono avviate insieme al progetto e ne seguiranno tutte le fasi della realizzazione, diffondendo i risultati sia ai gruppi di riferimento che ad un'ampia e vasta gamma di portatori di interesse.</p> <p>Di seguito si elencano le attività divulgative complessivamente messe in atto:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Sito internet dedicato al progetto: <a href="https://www.faberpsr.it/">https://www.faberpsr.it/</a></li><li>• Pagina web STUARD dedicata al progetto: <a href="http://www.stuard.it/faber/">http://www.stuard.it/faber/</a></li><li>• Pagina web CCP dedicata al progetto: <a href="https://www.comunalie.com/prog/6/faber-forest-assessment-biomass-as-energy-resource/">https://www.comunalie.com/prog/6/faber-forest-assessment-biomass-as-energy-resource/</a></li><li>• Pagina web CINSA dedicata al progetto: <a href="http://www.cinsa.unipr.it/index.php/it/progetti-ongoing">http://www.cinsa.unipr.it/index.php/it/progetti-ongoing</a></li><li>• Realizzazione del logo del progetto:</li></ul> 

- Realizzazione di volantino cartaceo informativo del progetto, in versione italiana e inglese:



### L'obiettivo

L'obiettivo generale del progetto è rivolto alla realizzazione di un processo che basandosi su moderni sistemi di rilievo ed inventariazione delle risorse forestali favorisca da un lato una corretta pianificazione e gestione efficiente e sostenibile della biomassa forestale (residuale e non); dall'altro consenta di intervenire attivamente sul ciclo del carbonio arrestando la fase di degradazione dei residui legnosi, attraverso la loro carbonizzazione, convertendoli in biochar ed energia.

### L'area interessata



Per saperne di più...

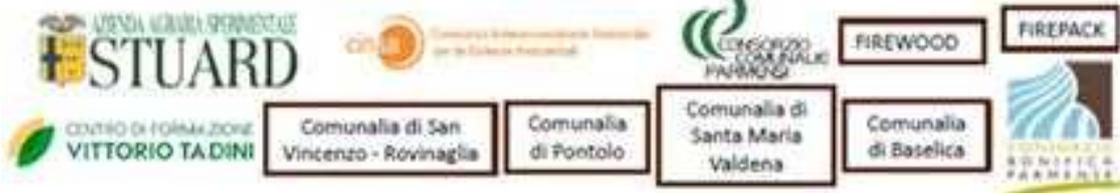


<https://www.faberpor.it/>

### Il programma



### I partners





# Forest Assessment: Biomass as Energy Resource

## The objective

The general aim of the project is addressed to the development of a process which being based on the modern detection systems and forest resources inventory would promote on one hand a correct pianification and efficient and sustainable management of the forest biomass (residual and not); on the other hand would allow to actively intervene on the carbon cycle stopping the woody residues degradation phase, thanks to their carbonization, converting them in biochar and energy.

## The experimentation area



For more info...



<https://www.fabercor.it/>

## The program



## Partners



Initiative funded within the framework of the Rural Development Programme 2014-2020 of the Emilia Romagna Region - Operation Type 16.1.01 - Focus Area SE. Project n. 5111631.



- Realizzazione di pannello informativo del progetto, in versione italiana e inglese:



## Forest Assessment: Biomass as Energy Resource

### Obiettivo

L'obiettivo generale del progetto è rivolto alla realizzazione di un processo che, basandosi su moderni sistemi di rilievo ed inventariazione delle risorse forestali, favorisca da un lato una corretta pianificazione e gestione efficiente e sostenibile della biomassa forestale (residuale e non), e dall'altro consenta di intervenire attivamente sul ciclo del carbonio arrestando la fase di degradazione dei residui legnosi, attraverso la loro carbonizzazione, convertendoli in biochar ed energia.

### Aim of the Project

*The general aim of the project is addressed to the development of a process which, being based on the modern detection systems and forest resources inventory, would promote a correct pianification and efficient and sustainable management of the forest biomass (residual and not), and would allow to actively intervene on the carbon cycle stopping the woody residues degradation phase, thanks to their carbonization, converting them in biochar and energy.*

### L'area interessata

*The experimentation area*






### Il programma

*The program*



### I partners



**STUARD**  
AZIENDA AGRARIA SPERIMENTALE



**cinsa**  
Cattedra Interuniversitaria Nazionale per le Scienze Ambientali



**CONSORZIO REGIONALE PARMESE**



**FIREWOOD**



**FIREPACK**



**CENTRO DI FORMAZIONE VITTORIO TADINI**

Comunale di San Vincenzo - Rovinaglia

Comunale di Pontola

Comunale di Santa Maria Valderna

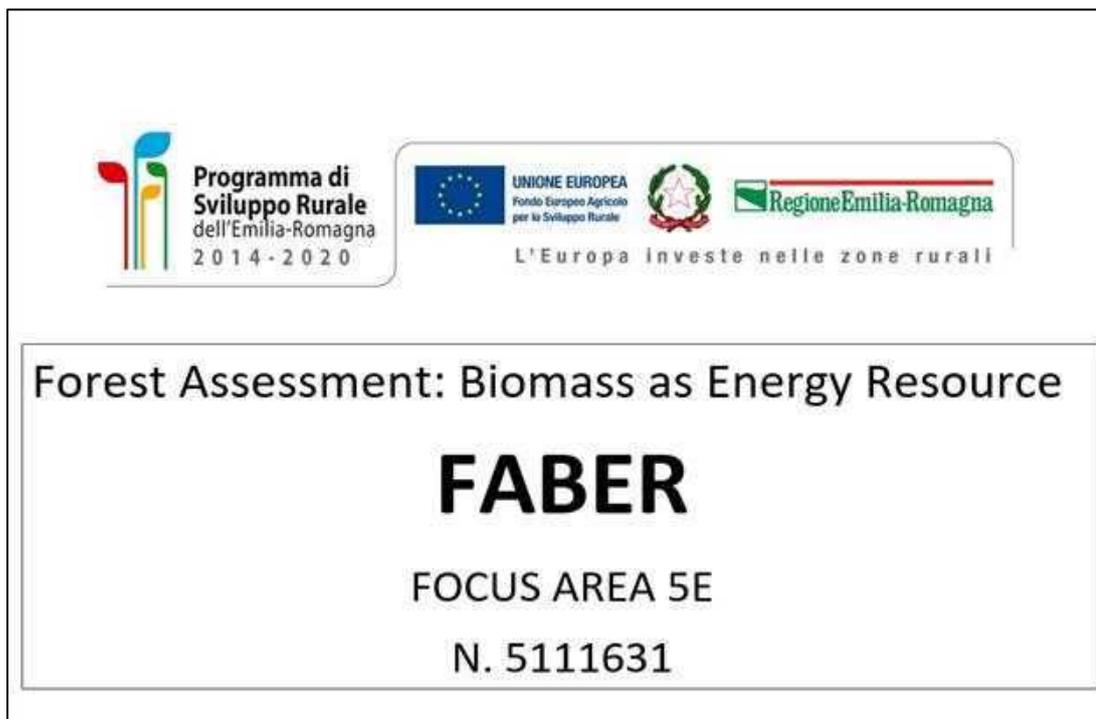
Comunale di Basilica



**CONSORZIO REGIONALE PARMESE**

Iniziativa realizzata nell'ambito del Programma regionale di Sviluppo Rurale 2014-2020. Tipo di operazione: 16.1.01 - Focus Area 5E - Progetto n. 5111691.  
 Initiative funded within the framework of the Rural Development Programme 2014-2020 of the Emilia Romagna Region - Operation Type 16.1.01 - Focus Area 5E - Project n. 5111691.

- Realizzazione di un pannello informativo sintetico, contenenti una sintesi del progetto collocato nei luoghi della sperimentazione:



- Realizzazione del template per le presentazioni:





## Forest Assessment: Biomass as Energy Resource



## Forest Assessment: Biomass as Energy Resource

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

*Iniziativa realizzata nell'ambito del Programma regionale di Sviluppo Rurale 2014-2020. Tipo di operazione 16.1.01  
– Focus Area 5E - Progetto n. 5111631*



- Presentazione del progetto presso la fiera Ecomondo 2022, svoltasi l'11 novembre 2022 alle fiere di Rimini. Nell'ambito del convegno dal titolo "Nuove frontiere per le filiere forestali: policy e governance per dare valore ad una risorsa strategica per il nostro Paese" è stato presentato il POSTER virtuale del progetto Faber che illustra le attività ed i primi risultati del progetto in corso. La news è stata diffusa tramite sito internet del progetto.



**NUOVE FRONTIERE PER LE FILIERE FORESTALI**  
Policy e governance per dare valore a una risorsa strategica per il Paese

Venerdì 11 novembre 2022, ore 10  
Sala Biobased Industry Pad. D1 - Ecomondo - Rimini Fiera

**10.00 INTRODUZIONE**  
*Marco Marchetti, Professore ordinario Università degli Studi del Molise*

**10.20 INTERVENTI**

*Alessandra Stefani, Direttore Generale Foreste MipAAF  
La strategia forestale nazionale e il supporto economico al settore*

*Davide Pettenella, Professore ordinario Università di Padova Tesaf  
Un quadro che sta cambiando*

*Inazio Martínez de Arano, Coordinator of the EFI Bioregions facility\*  
Bioeconomy frontiers: from European policies to regional realities*

*Sabrina Diamanti, Presidente CONAF  
Il ruolo degli agronomi e forestali*

**11.20 LA PAROLA AGLI IMPRENDITORI FORESTALI**

*Tim Hartl, Confederazione Europea dei proprietari forestali (CEPF)\*  
Enrico Aliasla, Presidente FNP Risorse boschive e coltivazioni legnose Confagricoltura  
Livio Bozzolo, Presidente CONAIBO*

**11.40 CASI STUDIO**  
*Lamel legno  
Consorzio Legno Veneto*

**12.40 CALL FOR PAPER**  
*Governare la transizione ecologica e proteggere i servizi ecosistemici che rendono i sistemi di produzione resilienti  
Barbara Cavalletti, UniGe Regione Liguria*

*Promuovere la ricerca e soluzioni ecologiche per la transizione (verde) - the FOREST Project  
Pasqualina Sacco, Unibz, Fraunhofer Italia Research  
Cippatore Leggero per tErrori montANI in Emilia Romagna (progetto CLEAN-ER)  
Mia Marchini, CINSA  
Biomateriali da nanotecnologie per il recupero di scarti della filiera agroforestale  
Daniele Bianconi, CNR, Unitus*

**13.00 CONCLUSIONI**

A cura di: Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo e Confagricoltura, UNITUS UNIMOL

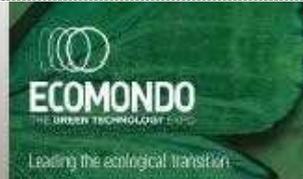
\* Interventi in inglese con traduzione simultanea

Info: [areambiente@confagricoltura.it](mailto:areambiente@confagricoltura.it) 06.6852393

Stand Confagricoltura Pad D1, area 075, Ingresso EST



# Forest Assessment: Biomass as Energy Resource



L'obiettivo del progetto è rivolto alla realizzazione di un processo che, basandosi su moderni sistemi di rilievo ed inventariazione delle risorse forestali, favorisca da un lato una corretta pianificazione e gestione efficiente e sostenibile della biomassa forestale (residuale e non); dall'altro consenta di intervenire attivamente sul ciclo del carbonio arrestando la fase di degradazione dei residui legnosi, attraverso la loro carbonizzazione, convertendoli in biochar ed energia.



### I partners



FIREWOOD FIREPACK



Comunalia di San Vincenzo – Rovinaglia, Comunalia di Pontolo  
Comunalia di Santa Maria Valdena, Comunalia di Baselica

Iniziativa realizzata nell'ambito del Programma regionale di Sviluppo Rurale 2014-2020. Tipo di operazione 16.1.01 – Focus Area 5E - Progetto n. 5111631



- 1 Open Day in bosco alla scoperta della gestione forestale sostenibile. Di seguito il volantino divulgativo dell'evento, che è stato promosso attraverso i canali media di Azienda Stuard e dei partner del progetto, attraverso i canali media della Regione Emilia-Romagna e attraverso la mailing list dell'Ordine degli Agronomi Forestali di Parma, con riconoscimento crediti formativi ai Dottori Agronomi che avessero partecipato alla giornata formativa. Il personale di Azienda Stuard si è occupato, insieme ai partner del progetto, dell'ideazione, progettazione e organizzazione dell'evento, nonché dell'organizzazione del sito sperimentale in bosco ripristinando la cartellonistica delle diverse parcelle sperimentali. Stuard si è inoltre occupato dell'ideazione, realizzazione, stampa e diffusione della locandina dell'evento per promuovere la giornata dimostrativa. L'evento è stato divulgato tramite i social e sito aziendali: <https://www.stuard.it/open-day-in-bosco-progetti-smacs-clean-er-faber/>, i canali di divulgazione della Regione Emilia Romagna: <https://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/appuntamenti/2022/dicembre/open-day-in-bosco-alla-scoperta-della-gestione-forestale-sostenibile>, la mailing list aziendale e la mailing list dell'Ordine degli agronomi forestali della provincia di Parma. Durante la mattina di mercoledì 7 dicembre 2022 i partner hanno accompagnato gli interessati presso i siti sperimentali e presso l'impianto di pirogassificazione Spanner. La news relativa alla giornata open day è presente anche sul sito del progetto: <https://www.faberpsr.it/news-e-documenti/>



- Realizzazione di un video trailer di progetto, diffuso tramite i media di Azienda Stuard, il sito internet del progetto e i media della Regione Emilia-Romagna: <https://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/progetti-innovazione/video/con-il-progetto-faber-una-gestione-efficiente-e-sostenibile-della-biomassa-forestale>; <https://www.faberpsr.it/news-e-documenti/>
- Partecipazione all'evento "Innovazione e sostenibilità ambientale: obiettivi e strumenti della PAC 2023-27" – convegno per i Gruppi Operativi del PEI AGRICOLI e i policy makers, tenutosi a Roma nei giorni 1-2 marzo 2023 (<http://www.reterurale.it>). Con il video trailer, FABER ha partecipato al Concorso per Gruppi Operativi, nella sezione "Agricoltura e impatto ambientale" ottenendo 44 voti. (<https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/24343>) Il video di FABER è stato mostrato durante i due giorni di convegno.

<https://www.innovarurale.it/it/innovainazione/notizie-ed-eventi/convegno-innovazione-e-sostenibilita-ambientale-obiettivi-e>

Nel corso dell'evento il personale ha partecipato a lavori di gruppo sulle attività nei GOI discutendo dei punti di forza e delle criticità dei progetti PSR.

Partecipazione della Prof.ssa Elena Maestri di CINSA alla conferenza internazionale "31st European Biomass Conference & Exhibition" – EUBCE 2023, tenutasi a Bologna nei giorni 5-8 giugno 2023. Il progetto è stato presentato con un poster e una videopresentazione disponibile ai partecipanti. Il poster è stato discusso nella relativa sessione poster, nella sezione "Fundamental Pyrolysis and Laboratory Investigation".

- Realizzazione di un articolo tecnico sulla rivista "L'Orsaro" del Club Albino Italiano (CAI) di Parma. L'articolo è stato pubblicato sul n.32 di dicembre 2023.

<https://www.caiparma.it/la-sezione/rivista-l-orsaro>. L'articolo è consultabile sul sito internet del progetto: <https://www.faberpsr.it/news-e-documenti/>

## SOMMARIO

## L'ORSARO n. 32 DICEMBRE 2023

### 6 RIFUGIO MARIOTTI

A cura di Roberto Zanzucchi

### 8 PROGETTO FABER

A cura di Mia Marchini e Roberto Reggiani

### 10 CAMPI DI VOLONTARIATO

A cura di Gianfranco Bertè

### 14 LE CENTRALI IDROELETTRICHE IN ALTA VAL PARMA

A cura di Roberto Montali

### 16 UN PO' DI STORIA: NUOVE RICERCHE

A cura di Pierfrancesco Tovoli

### 18 COMMISSIONE SENTIERI E CARTOGRAFIA

A cura di Carlo Prosperi

### 22 FITZCARRALDO E LA DIS-MISURA DEL LIMITE

A cura di Franco Giubilini

### 26 STORIE DI INCONTRI AL RIFUGIO MARIOTTI

A cura di Martina Bruschi

### 27 LIBRI DI MONTAGNA

A cura di Federico Rossetti

- Evento di divulgazione (convegno finale) nella fase finale del progetto per raccontare ad esperti, tecnici ed interessati le attività condotte e i risultati ottenuti in fase progettuale. Anche in questa fase di è data massima visibilità all'evento, tramite pubblicità nelle settimane antecedenti l'evento mediante canali social e media aziendali del capofila, dei partner e della Regione Emilia-Romagna. È stata promossa la partecipazione dei Dottori Agronomi Forestali Dell'Ordine di Piacenza mediante attribuzione crediti formativi ai partecipanti e tramite possibilità di frequenza del convegno finale anche online tramite collegamento Teams. Sotto volantino divulgativo e foto

# CONVEGNO FINALE PROGETTI FABER E 2FATE

Martedì 28 novembre 2023 ore 14.30

Sala Piana, Università Cattolica del Sacro Cuore  
Via Emilia Parmense 84, 29122 Piacenza

## Programma

Moderatrice: Prof.ssa Lucrezia Lamastra (UCSC)

- Ore 14.30 - Indirizzi di saluto – Prof. Marco Trevisan, UCSC
- Ore 14.45 - La gestione forestale sostenibile - Dott. For. Antonio Mortali
- Ore 15.05 - Le prove in bosco condotte nell'ambito del progetto Faber – Dott. Sandro Cornali, Azienda Agraria Sperimentale Stuard
- Ore 15.25 - Telerilevamento LIDAR – Dott. Luca Dal Bello, Sinoptic
- Ore 15.45 - I risultati delle analisi condotte nell'ambito del progetto Faber, Prof.ssa Elena Maestri, CINSA
- Ore 16.05 - Introduzione al progetto 2FATE – Prof.ssa Lucrezia Lamastra, UCSC
- Ore 16.25 - Le prove in bosco e al pascolo di 2FATE – Prof. Marco Trevisan (UCSC), Dott. Sandro Cornali (Az. Stuard), Prof. Fiorenzo Piccioli-Cappelli (UCSC)
- Ore 16.45 - Conclusioni – Prof. Nelson Marmioli, CINSA

[Clicca qui per registrarti all'evento](#)



Iniziativa realizzata nell'ambito del Programma regionale di Sviluppo Rurale 2014-2020. Tipo di operazione 16.1.01 - Gruppi operativi del partenariato europeo per l'innovazione: "produttività e sostenibilità dell'agricoltura" - Focus Area 5E.

Per info: [m.marchini@stuard.it](mailto:m.marchini@stuard.it)



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

Le attività di divulgazione in presenza e open day dedicate al progetto primariamente rimandate a causa della pandemia Covid-19 che ha interessato il periodo progettuale oggetto di rendicontazione intermedia sono state realizzate nel periodo oggetto della presente rendicontazione a saldo. Si è cercato di promuovere una diffusione del progetto quanto più ampia possibile eventualmente ovviando all'impossibilità di organizzare eventi in presenza mediante forme di comunicazione alternative ma comunque efficaci e di massa (realizzazione video trailer del progetto e sua diffusione, partecipazione a convegni e fiere anche di carattere nazionale e internazionale, convegni per i Gruppi Operativi del PEI AGRI e i policy makers, articoli su riviste tecniche di settore, coinvolgimento dell'Ordine degli Agronomi Forestali del comprensorio per favorire la partecipazione di esperti agli eventi). Complessivamente gli obiettivi di divulgazione sono stati raggiunti.

Attività ancora da realizzare

Tutta l'attività prevista è stata realizzata

## 2.9.2 Personale

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
<b>L. STUARD</b>	imp. Agrario 1° livello - Quadro part time 70,521%	attività divulgativa	€ 43,00	20,00	€ 860,00
<b>UARD</b>	impiegato TI part time 50%	attività divulgativa	€ 27,00	18,00	€ 486,00
<b>AZ. STUARD</b>	imp. Agrario 1° categoria - Quadro	attività divulgativa	€ 43,00	19,00	€ 817,00
<b>AZ. STUARD</b>	imp. Agrario 3° categoria - tempo indeterminato	attività divulgativa	€ 27,00	16,00	€ 432,00
<b>CONSORZIO COMUNALIE PARMENSI</b>	Amministrativo	attività divulgativa	€ 0,00	41,00	€ -
<b>CONSORZIO COMUNALIE PARMENSI</b>	Responsabile	attività divulgativa	€ 0,00	40,00	€ -
<b>CONSORZIO COMUNALIE PARMENSI</b>	Tecnico	attività divulgativa	€ 0,00	44,00	€ -
<b>CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO NAZIONALE PER LE SCIENZE AMBIENTALI</b>	Professore fascia media	attività divulgativa	€ 48,00	4,90	€ 235,20
				Totale:	<b>€ 2.830,20</b>

## 2.10 Attività di formazione

L'attività di formazione è stata svolta e completata entro il 31 marzo 2022 ed è stata oggetto di rendiconto intermedio. CCP ha svolto due ulteriori attività di consulenza come di seguito descritte:

- Consulenza svolta il 6 e 8 aprile 2022, rendicontata il 30 settembre 2022 e domanda a SIAG il 3 novembre 2022
- Consulenza svolta il 14 e 15 aprile 2022, rendicontata il 29 settembre 2022 e domanda a SIAG il 3 novembre 2022.

## 2.11 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

Si riporta la tabella riepilogativa della consulenza svolta dal dott. Marco Errani per conto di CINSA, il cui dettaglio è stato riportato anche nelle singole azioni.

## 3 - Criticità incontrate durante la realizzazione dell'attività

<b>Criticità tecnico-scientifiche</b>	Nessuna particolare criticità tecnico-scientifica
<b>Criticità gestionali</b> (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.)	
<b>Criticità finanziarie</b>	Nessuna particolare criticità finanziaria

## 4 - Altre informazioni

**FIREPACK e FIREWOOD** hanno terminato l'attività di competenza nella prima parte del progetto.

## 5 - Considerazioni finali

### Gestione e stima del patrimonio forestale

Le linee guida nazionali per la riduzione delle emissioni dei gas serra prevedono l'uso di moderni sistemi di monitoraggio ed inventariazione; ad esempio il sistema di rilievo LIDAR (Light Detection and Ranging) della biomassa forestale consente la corretta pianificazione e gestione efficiente e sostenibile della biomassa forestale.

Il LIDAR sperimentato nei boschi cedui del Consorzio delle Comunalie ha consentito di stimare la biomassa forestale con un margine di errore pari a circa il 13% (sottostimato), margine potenzialmente diminuibile con l'adozione e lo sviluppo di specifiche metodologie migliorative.

Inoltre la stima quantitativa di volumi e biomasse arboree e la caratterizzazione morfologico-strutturale dei soprassuoli forestali, unita all'utilizzo di sistemi GIS (Geographic Information System), consente di ridurre i costi di inventario e contemporaneamente migliorare le stime relative alla biomassa e alle informazioni legate alla struttura della foresta. In aggiunta, è dimostrato che i dati LIDAR come il Digital Canopy Model (DCM) forniscono una corretta informazione relativa all'altezza della vegetazione, utile per stimare il carbonio forestale.

### Biochar

Il biochar, ovvero il residuo solido derivato dai processi di pirolisi o di gassificazione di biomasse di origine vegetale, consente il sequestro di carbonio, ovvero l'aumento della stabilità del carbonio stoccato nel suolo.

Il progetto ha dimostrato che:

- Si può ottenere biochar di qualità accettabile o buona anche da biomasse di scarto normalmente non utilizzate. Un prodotto finale buono dipende molto dal processo, più che dalla materia prima di partenza.
- Il trattamento dei suoli forestali con biochar stimola lo sviluppo delle comunità microbiche fungine ma non modifica sostanzialmente le caratteristiche chimiche (esempio aumenta il pH, ma solo nella faggeta).

### Impianti di piro-gassificazione

Sono stati analizzate le prestazioni economiche (Analisi Costi Benefici) ed ambientali (Analisi LCA) degli impianti utilizzati nel seguente progetto. In sintesi:

- **Impianto Spanner:** concepito per produrre essenzialmente energia è risultato migliore in termini di VAN, TIR e PBT. In sostanza risulta economicamente più conveniente e redditizio.
- **Impianto prototipale IRIDENERGY:** concepito per produrre biochar di qualità, produce meno emissioni lorde, contiene meno gas climalteranti, ha un effetto compensativo del sequestro di CO<sub>2</sub> negativo (ovvero la CO<sub>2</sub> che sequestra con il biochar prodotto è maggiore delle emissioni generate in tutte le diverse fasi della sua produzione), basse emissioni di CO<sub>2</sub> nette.

## 6 - Relazione tecnica

Il progetto FABER è iniziato IL 25 giugno 2020 in piena pandemia da SARS-Cov2, ragion per cui i partner che hanno effettuato le prime attività hanno dovuto affrontare le restrizioni ai movimenti e le precauzioni imposte, condizionando fortemente l'avvio delle prime attività previste.

### Cooperazione

Stuard ha coordinato la cooperazione in particolare, si segnalano alcune criticità e variazioni:

- richiesta di variante protocollata in data 18 Maggio 2021 riguardante principalmente il partner , che ha richiesto il trasferimento del budget dei dipendenti a un fornitore di servizi specializzato; inoltre si è richiesto l'integrazione di nominativi di aziende che svolgeranno l'attività formativa e di consulenza, variazione del costo standard orario dell'agronomo sperimentatore (Azienda Agraria Sperimentale Stuard), e altri piccoli spostamenti del budget.
- Richiesta di proroga (concessa con Atto Num. 8450 del 05/05/2022) fino al 25/12/2023 dettata da ritardi di alcune attività dovuti alla pandemia di SARS-Cov2.

### Studi necessari alla realizzazione del piano

CINSA ha effettuato una Analisi Costi benefici (ACB) su 2 impianti di trattamento termico (piro-gassificazione) della biomassa forestale, ovvero l'impianto Spanner di Borgo Val di Taro (gestito dal Consorzio Comunalie) e l'impianto prototipale di Iridenergy.

Si ricorda che tali sistemi producono essenzialmente 3 output, ovvero biochar, energia termica e elettrica e crediti di carbonio (L'impianto Spanner è stato concepito per produrre energia, mentre l'impianto prototipale massimizza la produzione di biochar).

I costi e i benefici economici sono stati distribuiti su un orizzonte temporale di 20 anni applicando un adeguato fattore di attualizzazione ( $3,65\% = IRS20 + 1\%$  spread). Gli indicatori di risultato ottenuti sono: il Valore Attuale Netto (VAN), il Tasso Interno di Rendimento (TIR) e il tempo di ritorno dell'investimento (PBT- Payback time). I risultati in sintesi sono:

Nel sistema Spanner:

- benefici sono concentrati nella produzione energetica.
- VAN pari a poco meno di 10,22 €/q.le (prodotto da 1 q.le di cippato).
- TIR del 23% e un tempo di ritorno dell'investimento di 4 anni, in quanto beneficia di un più elevato sfruttamento della componente energetica.

Sistema prototipale IRIDENERGY:

- Benefici sono rappresentati essenzialmente dalla vendita di biochar.
- VAN di circa 6,11 €;
- TIR dell'11% e un tempo di ritorno dell'investimento di 9 anni.

### Azione 1: Telerilevamento (LIDAR), elaborazione dati, monitoraggio a terra e cippatura biomassa legnosa

Il telerilevamento LIDAR e la metodologia proposta consentono di stimare la biomassa forestale con un errore pari a circa il 13% (sottostimato). E certamente possibile migliorare tale margine di errore in 3 modi:

- Aumentando il numero di aree campione: una sola area campione per specie non è significativa sotto il profilo statistico per definire con sufficiente confidenza la curva allometrica caratteristica e sitospecifica della specie indagata. In letteratura si utilizzano almeno 10 aree campione, opportunamente distribuite sull'area di studio;
- forma delle aree campione: essendo che tutti calcoli di elaborazione GIS sui database raster sono effettuati a livello di pixel, qualunque sia la risoluzione spaziale associata, e che per definizione esso è quadrato, le aree test dovrebbero essere di fatto quadrate, per una reale comparazione 1:1;
- valore GWD (green wood density): il valore di densità e massa del legno verde utilizzato qui è stato desunto dalla letteratura, in particolare da uno studio effettuato in Nord America, è palese che questo valore dovrebbe essere opportunamente parametrizzato in accordo alle condizioni locali.

### Azione 2 Gassificazione

L'attività ha previsto la piro-gassificazione della biomassa forestale, distinta in 2 tipologie sottoposte a trattamenti diversificati:

- cippato di migliore qualità derivato dai tronchi dall'area di faggio e dell'area di castagno, impiegato per la produzione del biochar nella centrale Spanner di Borgo Val di Taro.
- materiale qualitativamente meno pregiato (ramaglia), anch'essa derivata dal ceduo di castagno e faggio, impiegato per la produzione del biochar nella centrale IridEnergy c/o Università di

Parma.

Il biochar ottenuto dai 2 processi differenziati è stato distribuito nelle parcelle sperimentali in bosco, oltre ad essere stato sottoposto ad opportune analisi (si veda azione 4).

### **Azione 3 Prove in bosco**

All'interno delle aree campione individuate nei cedui di castagno e faggio, oggetto dei rilevamenti LIDAR, sono state allestite delle parcelle sperimentali con trattamenti basati sui 2 tipi di biochar, menzionati nell'azione 2.

Il personale di Stuard ha effettuato sopralluoghi periodici con rilievi sulla presenza di funghi macroscopici/visibili (senza riscontrare influenze significative dei trattamenti effettuati) e campionamenti di terreno, sottoposti ad analisi (si veda le analisi di CINSIA in azione 5).

### **Azione 4: analisi sul biochar per il suo utilizzo come ammendante**

Determinazioni analitiche:

- pH: basico in tutte le tipologie, adeguati quindi all'uso in terreni eccessivamente acidi.
- Conducibilità elettrica: bassa nei char prodotti dall'impianto Iridenergy, mentre mostra valori più alti per i char prodotti dall'impianto Spanner.
- Sostanza organica, ceneri e sostanza secca sono in linea con valori di altri char ottenuti da biomasse lignocellulosiche. In particolare, i char prodotti nell'impianto Iridenergy presentano un ridotto contenuto di ceneri e minore umidità.
- Granulometria: per la maggior parte è risultata inferiore a 2 mm e, in particolare, inferiore a 1 mm per più del 60% per i char prodotti nell'impianto Iridenergy, e più dell'80% per i char prodotti nell'impianto Spanner. Questo è un dato molto importante da considerare per la distribuzione in campo; essendo infatti un materiale fino la sua distribuzione potrebbe risultare difficile da effettuare.
- Contenuto metalli pesanti: quali Ni, Cu, Cr e Fe è al di sotto dei valori limite di riferimento raccomandati dal Consorzio REFERTIL come standard di qualità al fine di poter definire un biochar come possibile soil improver o organic fertiliser.
- Contenuto di Cd: risultato superiore rispetto a tali limiti per tutti i campioni di char analizzati.
- Contenuto di Pb: superiore ai limiti nel char prodotto da cippato di faggio nell'impianto Iridenergy.
- Contenuto di Zn: superiore ai limiti nel char prodotto da cippato di faggio nell'impianto Spanner.

Test di germinazione:

- Effetti stimolante la germinazione: nessuno dei char analizzati.
- Effetti inibenti la germinazione: si a partire da 0,5 g/piastra per tutte e 4 le tipologie di char, con una inibizione maggiore da parte dei char prodotti nell'impianto Iridenergy.

Test di fitotossicità e di accrescimento *in vivo*: non hanno evidenziato effetti fitotossici sugli organismi vegetali testati (*Lactuca sativa* e *Hordeum vulgare*).

In particolare il test di fitotossicità su *Lactuca sativa* non ha mostrato variazioni significative dell'indice di crescita relativa, evidenziando quindi l'idoneità dei 4 char analizzati all'utilizzo agricolo.

Il test di fitotossicità su *Hordeum vulgare* ha mostrato un effetto stimolante, caratterizzato da un aumento della biomassa vegetativa rispetto agli organismi di controllo, a partire dalla dose di char pari a 0.5%, per i char di castagno e di faggio prodotti nell'impianto Spanner; nel caso dei char prodotti nell'impianto Iridenergy, invece, si è osservato un lieve aumento della biomassa solo per il char ottenuto da faggio, a partire dalla dose di char pari a 1%.

### **Azione 5: redazione dei report annuali**

Rilievi funghi visibili in bosco: nessuna variazione influenzata dai trattamenti con i vari tipi di biochar.

Analisi del suolo:

- pH: è aumentato nelle parcelle trattate con biochar, ma solo nella faggeta, da 4,5 a 6 (non nel castagneto che è rimasto a 5,2).
- Conducibilità elettrica: non è variata in seguito ai trattamenti con biochar. La conducibilità, più alta nella faggeta, aumenta in alcuni casi con il char Spanner – ma non in modo costante
- Sostanza organica: non aumenta in modo significativo, indipendentemente dal tipo di biochar (è comunque più alto nella faggeta).
- Metalli pesanti: si notano nel tempo oscillazioni dei valori che sembrano indipendenti dal tipo di trattamento (in particolare sono stati riscontrati degli aumenti nel corso del tempo per la maggior parte dei metalli, in entrambi i siti sperimentali. Si nota una maggiore presenza di cromo e piombo nel terreno della faggeta. Nei castagneti piombo e cromo aumentano in concentrazione dopo aggiunta di char.

Analisi delle colonie fungine

- Numero colonie fungine (dopo crescita in piastra a partire da estratti di campioni di suolo): aumentate nelle parcelle trattate con biochar.
- Diversità tassonomica/morfologica: aumentata nelle parcelle con biochar.
- Numeri di funghi stimati: aumento significativo nei suoli trattati con biochar, soprattutto nelle fagete.

#### **Azione 6: raccolta dati (analisi LCA)**

L'analisi LCA ha evidenziato i seguenti risultati:

- Emissioni lorde prodotte (considerano le emissioni prodotte dalle operazioni in bosco, dalla cippatura della biomassa, dal processo di piro-gassificazione, dalla distribuzione del biochar su area forestale e dai trasporti di materiale): il pirogassificatore SPANNER produce emissioni lorde maggiori del sistema prototipale IRIDENERGY.
- Composizione fumi: l'impianto SPANNER presenta un contenuto di gas climalteranti pari a più del doppio di quelli misurati nel sistema IRIDENERGY. Questo dato può essere messo in correlazione con la differente tecnologia di pirogassificazione e al rendimento in termini di produzione di biochar, molto più elevato nel sistema IRIDENERGY.
- Effetto compensativo del sequestro di CO<sub>2</sub> (a seguito di distribuzione del biochar sulla superficie forestale): il sistema IRIDENERGY (grazie alla maggiore produzione di biochar per unità di biomassa) rileva una carbon footprint negativa di circa 40 kgCO<sub>2</sub>e/t biomassa (ovvero il potenziale di sequestro di CO<sub>2</sub> è sufficiente per compensare le emissioni prodotte lungo la filiera). Al contrario, le elevate emissioni del processo di pirogassificazione combinate ad una bassa quota di biochar ottenuto, lasciano il sistema SPANNER con una carbon footprint positiva pari a 448 kgCO<sub>2</sub>e/t biomassa.
- Emissioni di CO<sub>2</sub> nette: carbon footprint negativa per entrambi i sistemi: -447 kgCO<sub>2</sub>e/t per SPANNER e -868 kgCO<sub>2</sub>e/t per IRIDENERGY.

#### **Divulgazione**

Le attività divulgative del progetto Faber sono state tante e diversificate e hanno riguardato:

- Sito web specifico dedicato al progetto: <https://www.faberpsr.it/>
- Apposite pagine nei siti di Stuard, Cinsa e CCP.
- Realizzazione del logo del progetto.
- Realizzazione di materiale cartaceo (volantini, pannello/poster, template, cartello per i siti sperimentali) informativo, in italiano e inglese.
- Presentazione del progetto ad eventi specifici: esempio fiera Ecomondo a Rimini 11 novembre 2022.
- Open Day in bosco e c/o l'impianto Spanner a Borgo Val di Taro, in data 7 dicembre 2022
- Realizzazione di un video trailer di progetto, visibile su <https://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/progetti-innovazione/video/con-il-progetto-faber-una-gestione-efficiente-e-sostenibile-della-biomassa-forestale>; <https://www.faberpsr.it/news-e-documenti/>
- Partecipazione all'evento "Innovazione e sostenibilità ambientale: obiettivi e strumenti della PAC 2023-27" – convegno per i Gruppi Operativi del PEI AGRI e i policy makers, tenutosi a Roma nei giorni 1-2 marzo 2023 (<http://www.reterurale.it>).
- Partecipazione della Prof.ssa Elena Maestri di CINSA alla conferenza internazionale "31st European Biomass Conference & Exhibition" – EUBCE 2023, tenutasi a Bologna nei giorni 5-8 giugno 2023
- Realizzazione di un articolo tecnico sulla rivista "L'Orsaro" del Club Albino Italiano (CAI) di Parma. L'articolo è stato pubblicato sul n.32 di dicembre 2023. <https://www.caiparma.it/la-sezione/rivista-l-orsaro>. L'articolo è consultabile sul sito internet del progetto: <https://www.faberpsr.it/news-e-documenti/>
- Convegno finale tenuto c/o Università Cattolica di Piacenza, il 28 novembre 2023.

Data 22-02-24

IL LEGALE RAPPRESENTANTE (Roberto Ranieri)



UNIONE EUROPEA  
Fondo Europeo Agricolo  
per lo Sviluppo Rurale



Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

**AVVISI PUBBLICI REGIONALI DI ATTUAZIONE PER L'ANNO 2015 DEL TIPO DI OPERAZIONE 16.1.01 "GRUPPI OPERATIVI DEL PEI PER LA PRODUTTIVITÀ E LA SOSTENIBILITÀ DELL'AGRICOLTURA" FOCUS AREA 2A, 4B, 4C, 5A E 5E  
DGR N. 2268 DEL 28 DICEMBRE 2015**

**RELAZIONE TECNICA X INTERMEDIA  FINALE**

**DOMANDA DI SOSTEGNO: 5111631**

**DOMANDA DI PAGAMENTO:**

**FOCUS AREA: 5E**

Titolo Piano	<b>Forest Assessment: Biomass as Energy Resource - FABER</b>		
Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario)	AZIENDA AGRARIA SPERIMENTALE STUARD S.C.R.L.		
Elenco partner del Gruppo Operativo	CINSA – Consorzio Interuniversitario Nazionale per le Scienze Ambientali Consorzio Comunalie Parmensi FIREWOOD FIREPACK Centro di Formazione Sperimentazione e Innovazione Vittorio Tadini (CFSIVT) Comunalia Di San Vincenzo-Rovinaglia Comunalia Di Pontolo Comunalia Di Santa Maria Valdena Comunalia Di Baselica Consorzio Della Bonifica Parmense		
Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)			27
Data inizio attività			25/06/2020
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)			25/12/2023
Relazione relativa al periodo di attività dal	25/06/2020	al	31/03/2022
Data rilascio relazione			
Autore della relazione	Roberto Reggiani		
telefono		email	

## Sommario

- 1 - DESCRIZIONE DELLO STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO**
- 1.1 STATO DI AVANZAMENTO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PIANO**
- 2 - DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE**
- 2.1 ATTIVITÀ E RISULTATI**
- 2.2 PERSONALE**
- 2.3 TRASFERTE**
- 2.4 MATERIALE CONSUMABILE**
- 2.5 SPESE PER MATERIALE DUREVOLE E ATTREZZATURE**
- 2.6 MATERIALI E LAVORAZIONI DIRETTAMENTE IMPUTABILI ALLA  
REALIZZAZIONE DEI PROTOTIPI**
- 2.7 COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI**
- 3 ATTIVITÀ DI FORMAZIONE**
- 4 COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI**
- 5 CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ**
- 6 ALTRE INFORMAZIONI**
- 7 CONSIDERAZIONI FINALI**
- 8 RELAZIONE TECNICA**

**2.2.4 Materiale consumabile** *Il piano non prevedeva l'acquisto di materiale consumabile*

**2.2.5 Spese per materiale durevole e attrezzature** *Il piano non prevedeva l'acquisto di materiale durevole e attrezzature*

**2.2.6 Materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione dei prototipi**

*Il piano non prevedeva spese per materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione di prototipi*

**2.2.7 Collaborazioni, consulenze, altri servizi**

## 2.3 Azione 1 Telerilevamento (LIDAR), elaborazione dati, monitoraggio a terra e cippatura biomassa legnosa

### 2.3.1 Attività e risultati

Azione	Telerilevamento (LIDAR), elaborazione dati, monitoraggio a terra e cippatura biomassa legnosa
Unità aziendale responsabile	STUARD, collaborano: Consorzio Comunalie Parmensi (CCPP) in collaborazione con FIREWOOD e FIREPACK
Descrizione delle attività	<p>L'attività svolta è stata suddivisa in due fasi. La prima fase ha interessato lo studio della proprietà forestale del partner associato del progetto, ossia la Comunalità di Pontolo. Si è innanzitutto esaminato attentamente il Piano di Gestione della proprietà, con validità 2010-2019 (prorogato al 2023), consultando in particolare la cartografia CTR (Carta Tecnica regionale), la pianificazione prevista e facendo sopralluoghi in bosco per individuare le aree più opportune per effettuare la sperimentazione. Le due aree sono state individuate in due tipologie di bosco, il ceduo di castagno e il ceduo di faggio, in località Pontolese, scelte considerando la vicinanza alle strade e a confini fisiografici ben individuabili per geolocalizzare con precisione i luoghi d'intervento.</p> <p>Entrambe le aree sono state oggetto di rilievi dendrometrici. Per ognuna delle due situazioni, una a ceduo di castagno e l'altra a ceduo di faggio, è stata delimitata un'area di saggio circolare con raggio 15 metri (quindi circa 700 mq).</p>



**Fig. 1 – Area di saggio in ceduo di castagno**



**Fig. 2 – Area di saggio in ceduo di faggio**

All'interno di tali aree sono state numerate tutte le piante presenti segnandole con vernice spray.



**Fig. 3 – Segnatura piante in area di saggio in ceduo di castagno**



**Fig. 4 – Segnatura piante in area di saggio in ceduo di faggio**

In seguito sono stati rilevati i diametri tramite cavalletto forestale e le altezze tramite relascopio di ogni pianta presente ed è stata calcolata la massa legnosa servendosi delle tradizionali tavole di cubatura a doppia entrata della Regione Emilia-Romagna.



**Fig. 5 – Rilievi in area di saggio in ceduo di castagno**



**Fig. 6 – Rilievi in area di saggio in ceduo di faggio**

Successivamente le due aree sono state tagliate a raso dai due partner del progetto, ovvero Firepack per quanto riguarda il ceduo di faggio e Firewood per il ceduo di castagno.



**Fig. 7 – Taglio piante in area di saggio in ceduo di castagno**



**Fig. 8 – Taglio piante in area di saggio in ceduo di faggio**

Durante il taglio i tecnici del CCPP hanno provveduto a prendere le altezze effettive delle singole piante abbattute, suddividendole in topi di 4 metri nei quali sono stati misurati i diametri al fine di fornire un dato maggiormente preciso per i rilievi LIDAR. Il calcolo dei volumi è stato pertanto effettuato sia con le altezze ricavate dal relascopio che con quelle effettivamente misurate a terra, confrontandone i risultati.

Gli alberi abbattuti sono quindi stati esboscati dalle due imprese forestali e pesati accuratamente, considerando anche la ramaglia di dimensioni maggiori. Il confronto tra i diversi metodi di rilevamento ha portato ai seguenti risultati:

Faggio - rilievo relascopico 2.824 q.li/ha - rilievo a terra 2.742 q.li/ha - pesata 2.462 q.li/ha.

Castagno - rilievo relascopico 3.970 q.li/ha - rilievo a terra 3.945 q.li/ha - pesata 3.778 q.li/ha.

Il materiale è stato pesato direttamente nella piattaforma logistica di Jera Campana, dove successivamente è stato ridotto in cippato tenendo separate le quattro tipologie previste dal progetto, ovvero ramaglia e tronchi di faggio, ramaglia e tronchi di castagno; rispettivamente il cippato prodotto è stato pari a circa 250 quintali di castagno, suddiviso in 200 derivati dai tronchi e 50 dalla ramaglia, e 150 quintali di faggio, suddiviso in 120 da tronchi e 30 da ramaglie.

Le due aree sono state infine geolocalizzate in modo puntuale attraverso un volo con drone, al fine di fornire ai tecnici del volo LIDAR la loro esatta posizione.



**Fig. 9 – Rilievo area di saggio in ceduo di castagno con drone**



**Fig. 10 – Rilievo area di saggio in ceduo di faggio con drone**

L'obiettivo dell'azione dei rilievi mediante laser scanner è quello di fornire strumenti più performanti per il miglioramento della pianificazione e gestione integrata della filiera foresta-legno-energia finalizzata all'aumento della sostenibilità delle risorse mediante applicazione di tecnologie geomatiche e modellistiche. La scansione laser aerea rappresenta infatti una delle più promettenti tecnologie di telerilevamento utilizzabili per fornire informazioni per una vasta gamma di discipline legate alla gestione degli ecosistemi forestali.

Un particolare punto di forza dell'utilizzo del Laser Scanner per le applicazioni forestali è la sua capacità di caratterizzare con precisione la struttura tridimensionale della chioma forestale. Ne deriva che tali informazioni sono potenzialmente più utili per gli inventari forestali rispetto a quelle di altre tecniche di telerilevamento. Le metriche riferite all'altezza e alla densità derivate dai dati della scansione laser possono essere utilizzate per stimare sia la distribuzione orizzontale e verticale del materiale biologico sia per indagini commerciali sul legname, nonché per indagini ecologiche.

L'elaborazione dei dati telerilevati consentirà infatti di ottenere per l'area interessata il modello digitale del terreno (DTM), il modello digitale della copertura arborea (CHM, Canopy Height Model), e la stima, attraverso tecniche di modellizzazione avanzata proprietaria, della biomassa arborea.

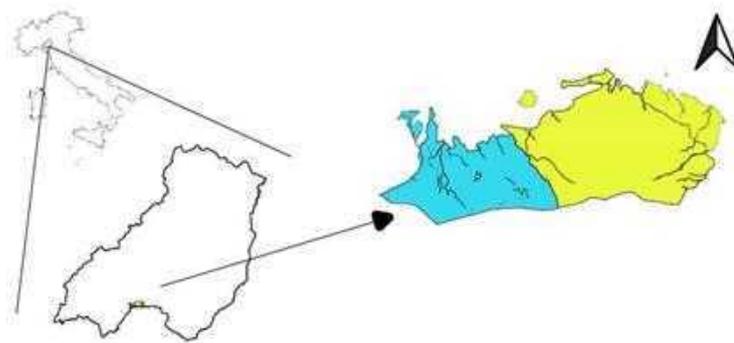
Al rilievo aereo e alle relative analisi si sono integrati anche monitoraggi a terra. Nello specifico sono state analizzate delle aree di saggio al fine di verificare e parametrizzare gli indici di biomassa ottenuti per telerilevamento.

#### TELERILEVAMENTO LIDAR

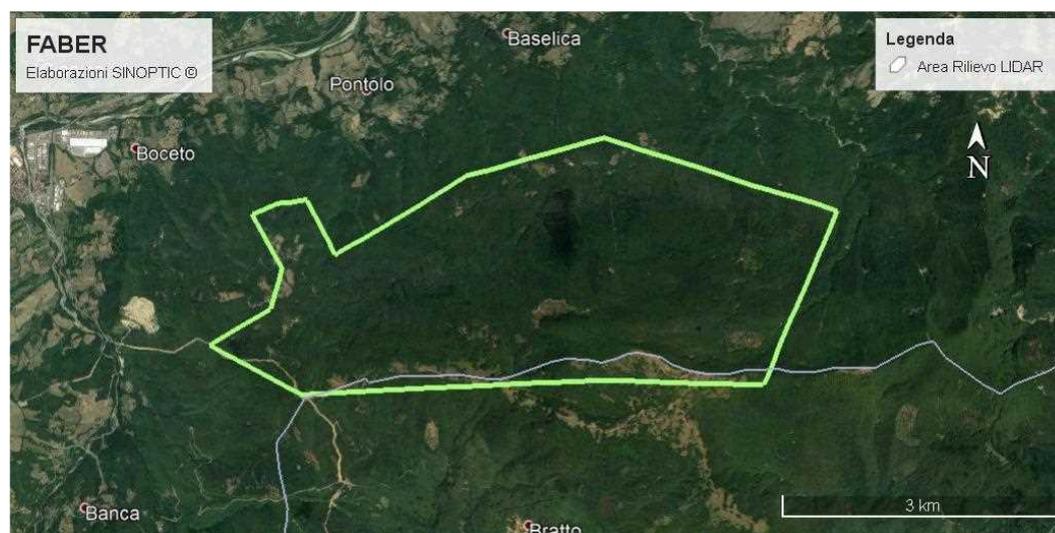
##### AREA DI STUDIO

L'area boschiva oggetto di rilievo è sita in Val di Taro, in provincia di Parma e corrisponde al territorio delle Comunalie di Baselica e Pontolo, nel Comune di Borgo Val Di Taro (Figura 11.1). Le aree sono entrambe gestite dal Consorzio Comunalie Parmensi, ente che coordina dal punto di vista tecnico le proprietà collettive di uso civico della provincia di Parma.

Nel complesso l'area rilevata mediante laser scanner aereo ha un'estensione di 12 km<sup>2</sup> (Figura 11.2).



**Figura 11.1. Localizzazione delle Aree sottoposte a rilievo laser aereo. Comunalità di Baselica (in giallo) e Comunalità di Pontolo (in azzurro).**



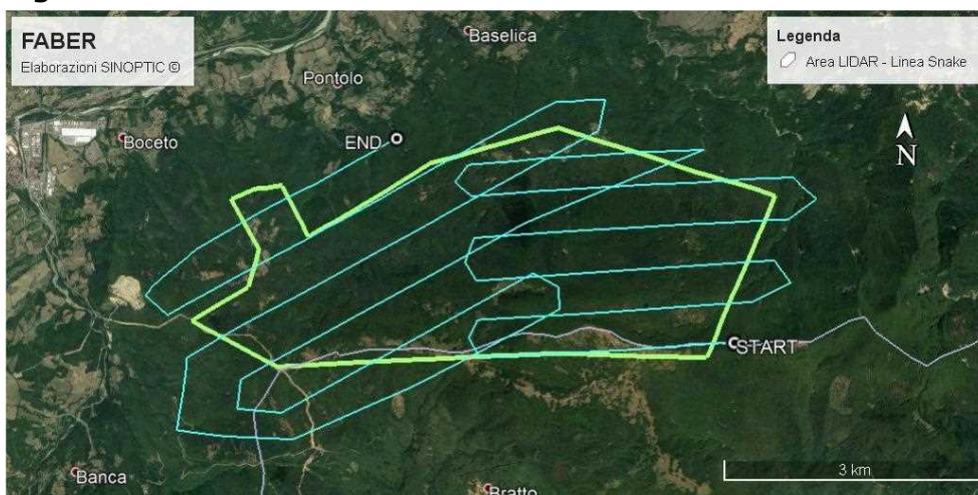
**Figura 11.2: Estensione dell'area oggetto di rilievo (12 km<sup>2</sup> pari a 1.200 ha).**

#### ESECUZIONE DEL RILIEVO AEREO

In data 31/03/2021 è stato eseguito il rilievo aereo mediante velivolo Vulcanair P68 Observer2, il quale ha eseguito n°12 strisciate lineari secondo lo schema di volo riportato nelle figure 12.1 e 12.2 (in cui viene riportato lo "snake" di ripresa), per garantire sia il ricoprimento laser con sovrapposizioni ridondanti che le sovrapposizioni fotogrammetriche con ricoprimento laterale del fotogramma (Overlap) ed il ricoprimento trasversale del fotogramma (Sidelap) adeguate alla realizzazione del modello tridimensionale necessario alla generazione dell'ortofoto.



**Figura 12.1: "Strisciate" del volo di rilievo.**



**Figura 12.2: Linee di volo (Snake - Flight lines) del piano di volo eseguito, con punti d'inizio e fine.**

La strumentazione utilizzata, descritta nei paragrafi seguenti, si compone di un apparato LiDAR e di una camera aerofotogrammetrica digitale medio formato, entrambi integrati da un sistema inerziale.

#### LiDAR RIEGL VQ780 II

Lo scanner laser aereo a processamento delle forme d'onda RIEGL VQ-780 II (Tabella 2) è stato scelto in quanto consente prestazioni con la massima produttività sulla base di una frequenza di ripetizione dell'impulso laser fino a 2 MHz, che si traduce in oltre 1,33 milioni di misurazioni al secondo a terra. Il meccanismo di scansione RIEGL VQ-780 II si basa su una ruota a specchio poligonale a rotazione continua che garantisce affidabilità e distribuzione uniforme dei punti su tutto il suo ampio campo visivo e a tutte le altitudini di volo. Riegl VQ-780 II si basa sulla tecnologia Waveform - LiDAR di RIEGL, in grado di fornire nuvole di punti con la massima precisione, un'eccellente risoluzione verticale del bersaglio, letture di riflettanza calibrate e deviazione della forma dell'impulso. RIEGL VQ-780 II è progettato per funzionare con i più recenti sistemi di navigazione inerziale (IMU), sistemi di gestione del volo e opzioni di telecamere.

#### SISTEMA INERZIALE

Il sistema inerziale associato al LiDAR è un Applanix nell'ultima versione sia hardware che software (Tabella 1). Il sistema GPS della piattaforma è a 16 canali L1/L2/L2CGLONASS L1/L2 con frequenza di ricezione 5 Hz.

**Tabella 1: Accuratezza assoluta e relativa del sistema inerziale**

Tabella 3.1: Accuratezza assoluta e relativa del sistema inerziale	Accuratezza assoluta					Accuratezza relativa	
	POS AV V5 (510)	C/A GPS	DGPS	RTK	PP	POS AV V5 (510)	
Position (m)	4.0 - 6.0	0.5 - 2	0.1 - 0.3	0.05 - 0.3	Noise (deg/sqrt (hr))	< 0.01	
Velocity (m/s)	0.050	0.050	0.010	0.005	Drift (deg/hr)	0.10	
Roll& Pitch (deg)	0.008		0.008	0.008	0.005		
True Heading (deg)	0.070		0.050	0.040	0.008		

**Tabella 2: Dati Tecnici RIEGL VQ-780 II Technical Data RIEGL VQ®-780 II**

Laser Power Level				100%		
Laser Pulse Repetition Rate (PRR)	150 kHz	250 kHz		500 kHz	1000 kHz	2000 kHz
Max. Measuring Range natural targets $\square \geq 20\%$	4500 m	3700 m		2800 m	2050 m	1500 m
Max. Measuring Range natural targets $\square \geq 60 \%$	6800 m	5600 m		4300 m	3300 m	2450 m
Max. Operating Flight Altitude (AGL) natural targets $\square \geq 20 \%$	3700 m	3000 m		2300 m	1700 m	1200 m
12100 ft	9900 ft		7500 ft		5500 ft	4000 ft
Max. Operating Flight Altitude (AGL) natural targets $\square \geq 60 \%$	5600 m	4600 m		3500 m	2700 m	2000 m
18300 ft	15000 ft		11500 ft		8800 ft	6500 ft
NOHD	370 m	290 m		200 m	140 m	95 m
ENOHD	2450 m	1900 m		1340 m	940 m	650 m
Number of Targets per Laser Pulse up to	14	14		14	9	4

**CAMERA FOTOGRAMMETRICA**

La camera digitale utilizzata è una PhaseOne iXM100 a 100 Megapixel (Tabella 3) di medio formato, associata al LiDAR e progettata proprio per l'utilizzo con sistemi LiDAR aviotrasportati.

**Tabella 3: Principali caratteristiche tecniche della camera fotogrammetrica utilizzata.**

**SPECIFICHE TECNICHE**

Alimentazione **24V DC**  
 Massimo assorbimento **10 A**  
 Temperature operative **0°C - 50°C**  
 Massima quota operativa verificata **18.000 ft ~5.500m**

**SPECIFICHE DELLA CAMERA**

Risoluzione **11608 x 8708 pixels (100MP)**  
 Dimensioni Sensore CCD **53,4mm x 40mm**  
 Dimensione del pixel **4,6 µm**  
 FOV (focale 40mm) **53,2° along track -67,4° across track**  
 Velocità otturatore (configurabile in volo fino a) **1/2500 s**  
 Formato di memorizzazione **COMPRESSED RAW**  
 Intervallo minimo tra scatti consecutivi **0.8 s**  
 Continuità operativa della memoria SSD **5 Ore**

**SPECIFICHE DI PERFORMANCE** (alla quota di 700ft ~210m da terra)

GSD (cm) **2,4cm**  
 Scala nominale percepita in restituzione **~1:100**  
 Abbracciamento del fotogramma (across track) **271,7 m**

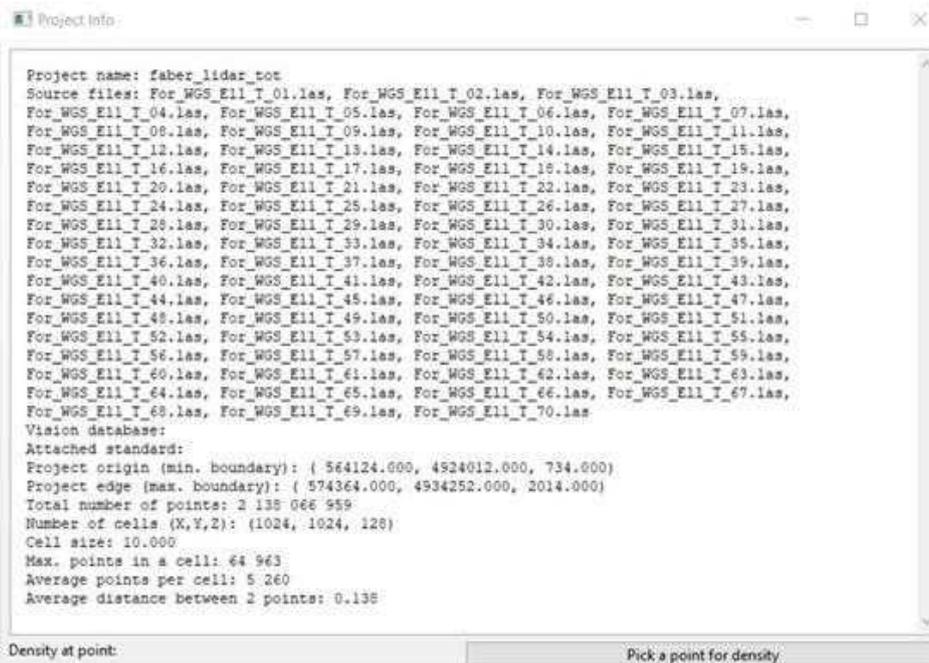
Abbracciamento del fotogramma (along track) 203,5 m  
Superficie coperta per fotogramma 5,5 ha

### DATI OTTENUTI

La **nuvola di punti RAW (grezza)**, dopo correzione geometrica e analisi degli echi e delle forme d'onda è stata esportata in formato LAS. Il dataset complessivo consiste di oltre 2 miliardi di punti XYZ che per motivi di processazione sono stati suddivisi in 70 parcelle (tiles) quadrate dal lato di 500 m ciascuna.



**Figura 13: Suddivisione e spazializzazione del dataset in 70 tiles.**

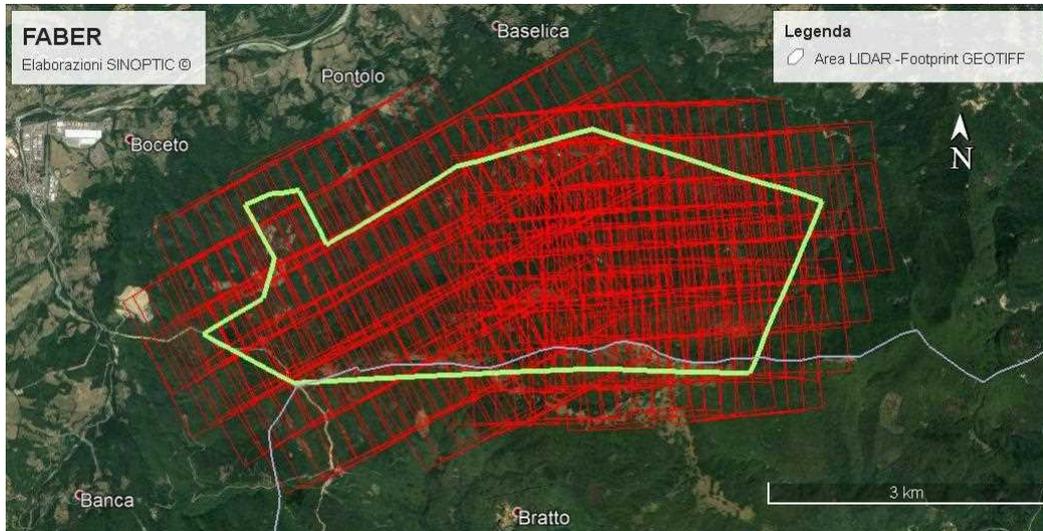


**Figura 14: Informazioni di progetto del dataset LiDAR**

Le immagini fotogrammetriche georeferenziate ottenute (Figura 15) sono in totale 256 GeoTIFF con risoluzione di 11.664 x 8.750 pixels e dimensione su disco di 300 Mb, di seguito viene riportato il footprint a terra delle stesse (Figura 16). A seguire in figura 17 viene riportato una tile di esempio e un suo ingrandimento per mostrare la qualità dell'immagine.

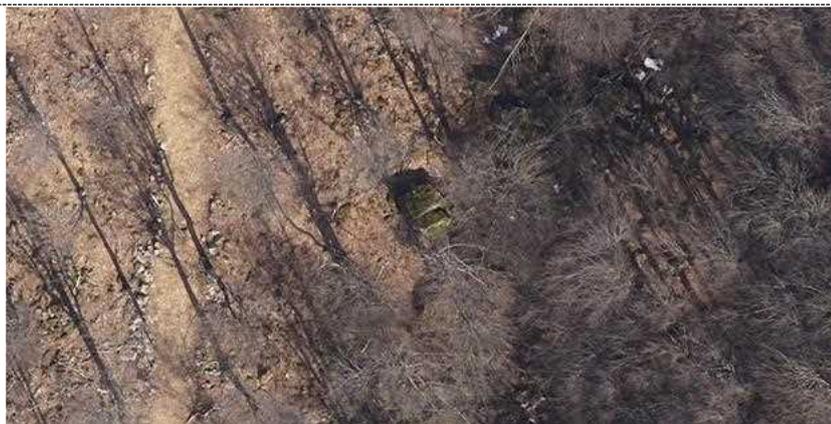


**Figura 15: Localizzazione dei centri di presa delle 256 immagini metriche.**



**Figura 16: Visualizzazione in rosso degli abbracciamenti a terra (footprint) delle immagini.**





**Figura 17: Immagini di esempio (0165), in rosso nella prima immagine l'area riportata nella seconda immagine.**

#### ELABORAZIONE FOTOGRAMMETRICA

L'elaborazione fotogrammetrica delle immagini, per ottenere l'ortofoto è stata eseguita con il software PIX4D su Workstation DELL con le seguenti caratteristiche:

CPU: Intel Xeon CPU E5-1650 v3 @ 3.50GHz

RAM: 32GB

GPU: 2 X NVIDIA Quadro K2200 (Driver: 23.21.13.9133)

Tempi di elaborazione:

Processamento iniziale, generazione nuvola sparsa e matching points 04h:27m:53s

Generazione nuvola densa 9d:10h:17m:03s

Generazione ortomosaico 01h:42m:13s

#### **TOTALE TEMPO ELABORAZIONE**

**10gg**

A seguire si riporta il rapporto di qualità generato e al termine del paragrafo un'immagine dell'ortofoto dell'area rilevata con sistema LiDAR e due esempi per mostrarne il dettaglio. Si sottolinea come tutte le immagini del dataset risultano calibrate e georeferenziate.

Report Generated with Pix4D - enterprise version 4.2.26

Summary	
Project	Forestate
Processed	2021-05-10 16:22:41
Camera Model Name(s)	IXM-100_PhaseOneRSM35mm/5.6_35.0_11664x8750 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	7.79 cm / 3.07 in
Time for Initial Processing (without report)	04h:27m:53s

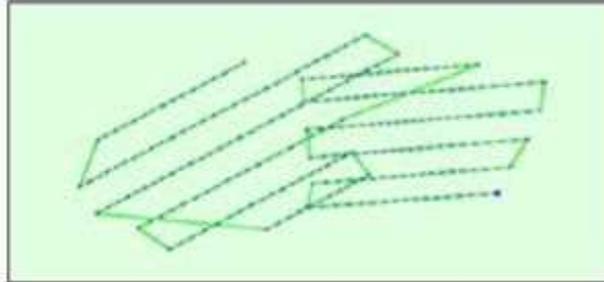
  

Quality Check		
Images	median of 64210 keypoints per image	✓
Dataset	253 out of 253 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	2.41% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 4592.08 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, no 3D GCP	

#### Calibration Details

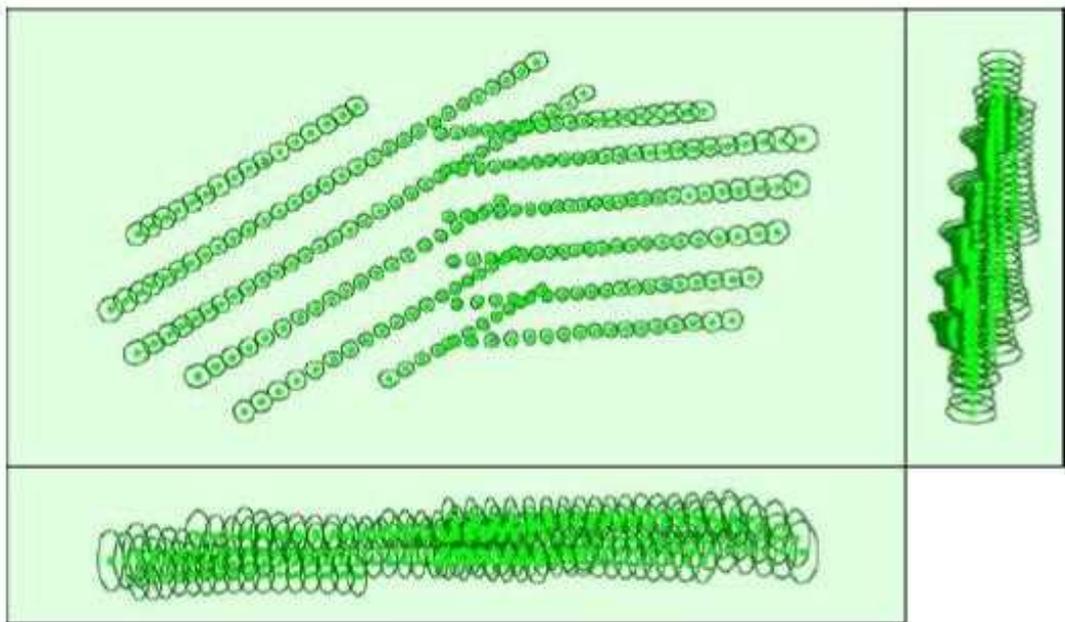
Number of Calibrated Images	253 out of 253
Number of Geolocated Images	253 out of 253

#### Initial Image Positions



**Figura 18. Vista dall'alto della posizione iniziale delle immagini. La linea verde segue la posizione delle immagini nel tempo a partire dal punto blu che rappresenta l'inizio delle riprese.**

#### Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



**Figura 19. Bilanciamenti tra le posizioni iniziali del GCP e le loro posizioni calcolate nella vista dall'alto (piano XY, in alto), vista frontale (piano XZ, in basso) e vista laterale (piano YZ, a lato). Le ellissi verde scuro indicano l'incertezza di posizione assoluta**

**Posizione assoluta della fotocamera e incertezze sull'orientamento**

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.169	0.163	0.339	0.014	0.014	0.005
Sigma	0.039	0.034	0.083	0.002	0.003	0.001

**Bundle Block Adjustment Details**

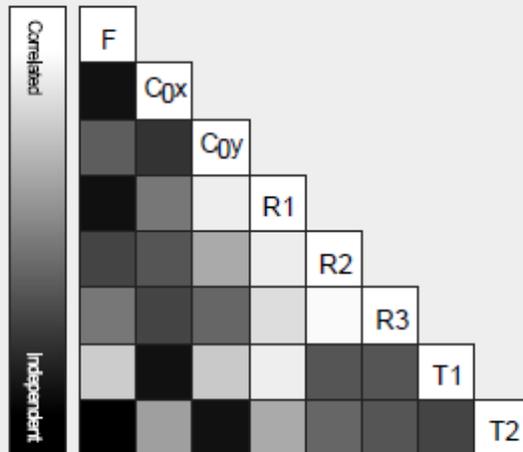
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	1222305
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	514947
Mean Reprojection Error [pixels]	0.092

**Internal Camera Parameters**

Camera	iXM-100_PhaseOneRSM35mmf/5.6_35.0_11664x8750 (RGB)
Sensor Dimensions	43.857 [mm] x 32.900 [mm]

EXIF ID: iXM-100\_PhaseOneRSM35mmf/5.6\_35.0\_11664x8750

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	9308.511 [pixel] 35.000 [mm]	5832.000 [pixel] 21.928 [mm]	4375.000 [pixel] 16.450 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Optimized Values	9533.501 [pixel] 35.846 [mm]	5836.925 [pixel] 21.947 [mm]	4337.259 [pixel] 16.308 [mm]	0.014	0.070	0.020	0.000	0.000
Uncertainties (Sigma)	1.250 [pixel] 0.005 [mm]	0.223 [pixel] 0.001 [mm]	0.244 [pixel] 0.001 [mm]	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000



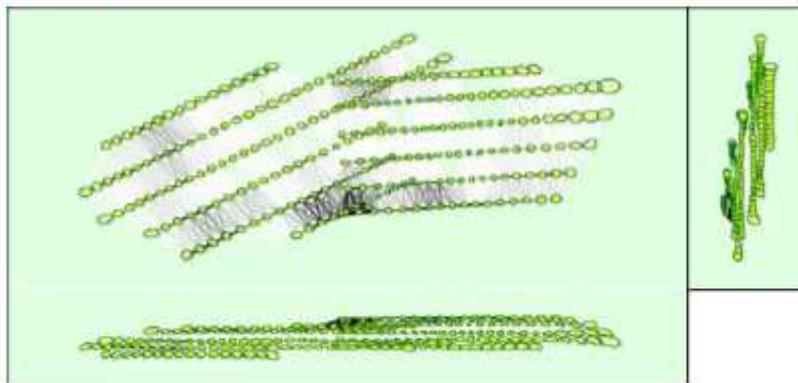
La correlazione tra i parametri interni della telecamera determinata dalla regolazione del bundle.  
 Il bianco indica una correlazione completa tra i parametri, ad es. qualsiasi cambiamento in uno può essere completamente compensato dall'altro. Il nero indica che il parametro è completamente indipendente e non è influenzato da altri parametri.

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	64210	4592
Min	24073	250
Max	83183	18437
Mean	63375	4831

### 3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	398751
In 3 Images	75636
In 4 Images	23881
In 5 Images	7858
In 6 Images	4420
In 7 Images	2241
In 8 Images	1098
In 9 Images	534
In 10 Images	323
In 11 Images	156
In 12 Images	84
In 13 Images	73
In 14 Images	41
In 15 Images	23
In 16 Images	18
In 17 Images	6
In 18 Images	4

### 2D Keypoint Matches



**Figura 20. Posizioni delle immagini calcolate con collegamenti tra immagini abbinate. L'oscurità dei collegamenti indica il numero di punti chiave 2D corrispondenti tra le immagini. I collegamenti luminosi indicano collegamenti deboli e richiedono punti di collegamento manuali o più immagini.**

#### Relative camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.114	0.104	0.074	0.008	0.008	0.004
Sigma	0.035	0.025	0.028	0.002	0.002	0.001

#### Geolocation Details

##### Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	52.57	49.01	47.83
0.00	3.00	47.43	50.99	52.17
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.003132	-0.004167	0.008943
Sigma [m]		0.530904	0.485613	0.645527

\* Min Error e Max Error rappresentano Intervalli di errore di geolocalizzazione compresi tra -1,5 e 1,5 volte la precisione massima di tutte le immagini. Le colonne X, Y, Z mostrano la percentuale di immagini con errori di geolocalizzazione all'interno degli intervalli di errore predefiniti. L'errore di geolocalizzazione è la differenza tra la posizione dell'immagine iniziale e quella calcolata. Si noti che gli errori di geolocalizzazione dell'immagine non corrispondono alla precisione dei punti 3D osservati.

##### Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error*	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

\* Le immagini X, Y, Z rappresentano la percentuale di immagini con un relativo errore di geolocalizzazione in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance*	RMS [degree]
Omega	0.077
Phi	0.089
Kappa	0.110

\* Errore RMS di geolocalizzazione degli angoli di orientamento dato dalla differenza tra l'angolo di orientamento dell'immagine iniziale e quello calcolato.

## Initial Processing Details

### System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-1660 v3 @ 3.50GHz RAM: 32GB GPU: NVIDIA Quadro K2200 (Driver: 23.21.13.9133), NVIDIA Quadro K2200 (Driver: 23.21.13.9133), Mirage Driver (Driver: unknown)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

### Coordinate Systems

Image Coordinate System	ETRS89 / UTM zone 32N (egm2008)
Output Coordinate System	ETRS89 / UTM zone 32N (2D)

### Processing Options

Detected Template	 Forestale_REV00*
Keypoints Image Scale	Custom, Image Scale: 0.5
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Geolocation Based Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

### Point Cloud Densification details

#### Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	9d:10h:17m:03s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

### Results

Number of Processed Clusters	4
Number of Generated Tiles	10
Number of 3D Densified Points	222472817
Average Density (per m <sup>3</sup> )	3.43

## DSM, Orthomosaic and Index Details

### Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	3 x GSD (7.79 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Medium
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: no
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: no GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 50
Time for DSM Generation	10m:55s
Time for Orthomosaic Generation	01h:42m:13s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

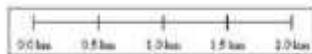


Figura 5.4: Ortofoto dell'area rilevata.



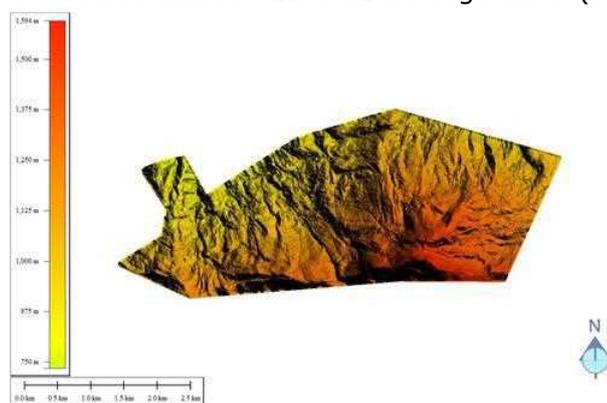
**Figura 21: Esempio di porzione di ortofoto.**



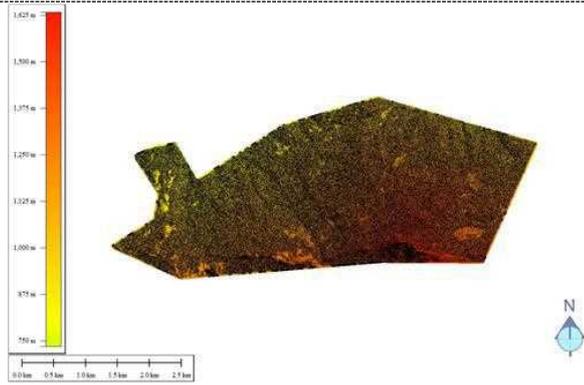
**Figura 22: Esempio di porzione di ortofoto.**

#### GENERAZIONE DTM E DSM

Mediante il software Terrasolid - Terrascan sono stati generati, attraverso tecniche di classificazione, il Modello Digitale del Terreno DTM (Figura 23) con Classe Ground (Last return) ed il Modello Digitale della Superficie Vegetata DSM (Figura 24) attraverso Classe MID e HIGH Vegetation (First return).

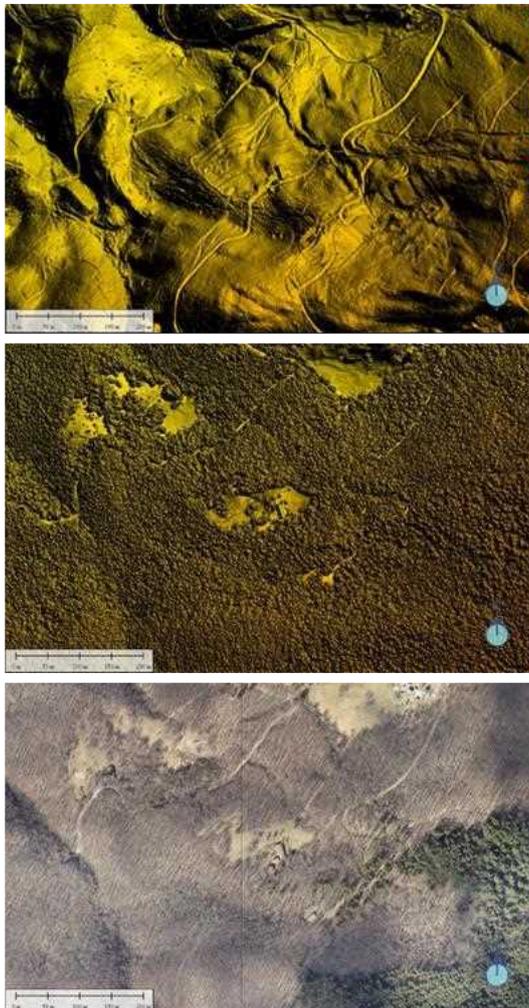


**Figura 23: DTM dell'area rilevata.**



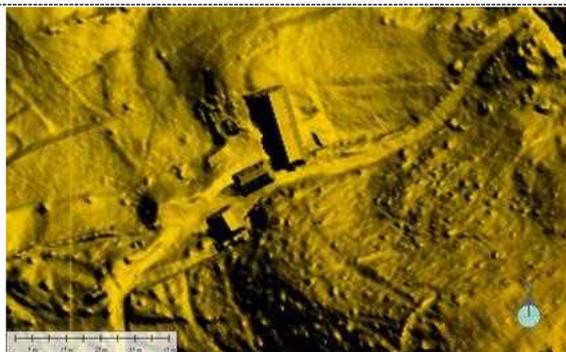
**Figura 24: DSM dell'area rilevata.**

ESEMPIO DTM, DSM e ORTOFOTO  
 di seguito viene mostrata, a titolo esemplificativo, la medesima porzione di area nei tre layer differenti: "DTM", "DSM Vegetato" e "Ortofoto".



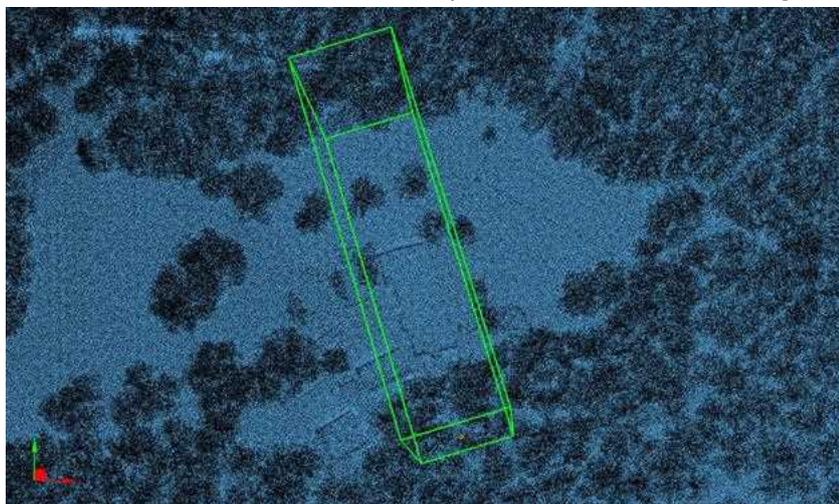
**Figura 25: DTM in alto, DSM al centro e Ortofoto in basso.**

Gli stessi 3 layer della stessa zona vengono di seguito mostrati ad una risoluzione più elevata per mostrarne il grado di dettaglio.



**Figura 26: DTM in alto, DSM al centro e Ortofoto in basso.**

Della stessa zona si riporta a titolo d'esempio una sezione, della larghezza di 20 m, ottenuta dalla nuvola di punti LIDAR in cui si possono apprezzare i dettagli del costruito e i rilievi del terreno e quello tridimensionale degli alberi.

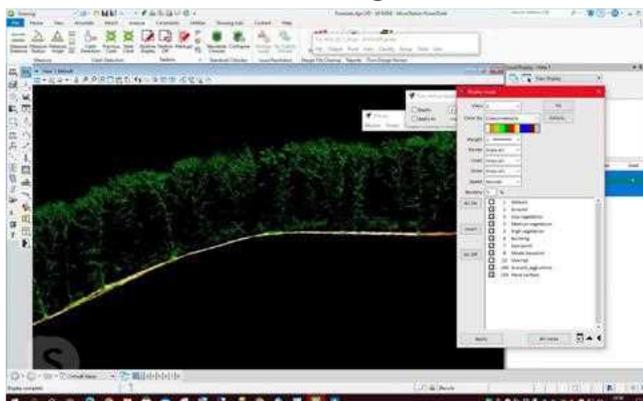


**Figura 27: Bounding box della sezione profilo d'esempio.**

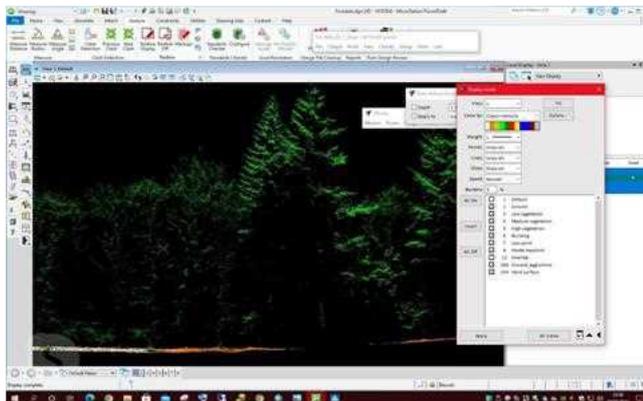


**Figura 28: Sezione.**

Nelle immagini seguenti che rappresentano due screenshot estratti da Terrasolid si può apprezzare l'accuratezza e la precisione nella modellazione degli alberi. La notevole densità dei punti (fino a 300 pti/mq) ricostruisce le forme vegetali permettendo non solo di misurare le principali grandezze dendrometriche ma ne consente anche una loro classificazione. Ad esempio nella figura 30 risulta evidente la discriminazione tra latifoglie e conifere.



**Figura 29: Profilo di sezione in Terrasolid.**



**Figura 30: Profilo di sezione, differenza tra latifoglie a sinistra e conifere a destra.**

Grado di raggiungimento o degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	I dati e le informazioni sono stati raccolti come da progetto, con una tipologia di elaborazione della massa in più. Non è stata incontrata alcuna criticità.
Attività ancora da realizzare	Le attività sono state completate per la maggior parte delle fasi, ad esclusione della comparazione finale dei dati elaborati dai tecnici del CCP e dal volo LIDAR.

## 2.3.2 Personale

### PERSONALE CCP

Cognome e nome	Mansione / qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Responsabile	Rilievi e loro elaborazioni	104	€ 2.808,00
	Tecnico	Rilievi e loro elaborazioni	171	€ 4.617,00
	Tecnico		61	€ 1.647,00
	Operaio forestale	Rilievi	16	€ 312,00
			<b>Totale:</b>	<b>€ 9.384,00</b>

### PERSONALE FIREWOOD

Cognome e nome	Mansione / qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Operaio forestale	Taglio ed esbosco	128	€ 3.456,00
			<b>Totale:</b>	<b>€ 3.456,00</b>

## 2.3.3 Trasferte

### CONSORZIO COMUNALIE PARMENSI

Cognome e	Descrizione	Costo
-----------	-------------	-------

	Rilievi in campo in data 04/8/20 – 05/10/2020 – 16/10/2020 – 28/10/2020 per un totale di 92 km (92 km x 0,23 €/km calcolato al costo di un quinto della benzina, allora pari ad € 1,14 IVA esclusa); in data 25/03/2021 e 19/04/2021 per un totale di 44 km (44 km x 0,26 €/km calcolato al costo di un quinto della benzina, allora pari ad € 1,29 IVA esclusa);	€ 32,60
	Rilievi in campo in data 26/4/2021 – 30/4/2021 – 6/5/2021 – 14/5/2021 – 23/6/2021 per un totale di 132 km (132 km x 0,26 €/km calcolato al costo di un quinto della benzina, allora pari ad € 1,29 IVA esclusa); in data 19/8/2021 per un totale di 24 km (24 km x 0,27 €/km calcolato al costo di un quinto della benzina, allora pari ad € 1,36 IVA esclusa);	€ 34,56
	Rilievi in campo in data 30/8/2021 per un totale di 24 km (24 km x 0,27 €/km calcolato al costo di un quinto della benzina, allora pari ad € 1,36 IVA esclusa);	€ 6,48
Totale:		€ 73,64

### 2.3.4 Materiale consumabile

*Il piano non prevedeva l'acquisto di materiale consumabile*

### 2.3.5 Spese per materiale durevole e attrezzature

*Il piano non prevedeva l'acquisto di materiale durevole e attrezzature*

### 2.3.6 Materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione dei prototipi

*Il piano non prevedeva spese per materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione di prototipi*

### 2.3.7 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

#### AZIENDA AGRARIA SPERIMENTALE STUARD

Partner	Data fattura	n. fattura	Data pagamento	Fornitore	Descrizione attività	Importo netto	Importo lordo
Azienda Stuard	30/03/2021	1/2021	30/03/2021		FATTURA ACCONTO RILIEVI LIDAR	€8.000,00	€8.322,00

Azienda Stuard	07/06/2021	3/2021	05/07/2021		FATTURA ACCONTO RILIEVI LIDAR	€8.000,00	€8.322,00
<b>TOTALE</b>						€16.000,00	

## FIREPACK

Partner	Data fattura	n. fattura	Data pagamento	Fornitore	Descrizione attività	Importo netto	Importo lordo
Firepack di Rossi Fabio	17/03/22	8/2022	24/03/22		Taglio area sperimentale ceduo di faggio in loc. Pontolo compreso esbosco e trasporto a Jera campana	€3.400,00	€4.148,00
<b>TOTALE</b>						€3.400,00	

## 2.4 Azione 2 Gassificazione (in montagna e presso Cinsa-Università di Parma)

### 2.4.1 Attività e risultati

Azione	<b>Gassificazione (in montagna e presso Cinsa-Università di Parma)</b>
Unità aziendale responsabile	<b>CINSA, collaborano CONS. COMUN. PARMENSI</b>
Descrizione delle attività	<p>L'attività ha previsto la gassificazione del cippato di migliore qualità derivato dai tronchi dall'area di faggio e dell'area di castagno e la gassificazione del materiale qualitativamente meno pregiato, ossia la ramaglia, anch'essa derivata dal ceduo di castagno e dal ceduo di faggio. Il cippato qualitativamente migliore è stato impiegato per la produzione del biochar nella centrale Spanner di Jera Campana, mentre quello derivato da ramaglie è stato utilizzato nella centrale IridEnergy di Parma, presso Università di Parma.</p> <p>Nella centrale Spanner il cippato utilizzato per la creazione del biochar è stato pari a circa 130 quintali di faggio e 200 di castagno, ma l'operazione di gassificazione è stata preceduta da diverse prove per tarare il funzionamento dell'impianto senza post-combustore.</p>



**Fig. 1 - Gassificatore**

L'impianto funziona infatti normalmente con il post-combustore attivato, in modo da produrre maggiore energia ma anche biochar ottenuto con scarsa consistenza in carbonio, non adatto come ammendante. Inoltre, per ottenere prodotto in purezza, la gassificazione è stata preceduta anche da un periodo di lavoro con solo cippato di faggio o di castagno proveniente da altre utilizzazioni, in quanto normalmente l'impianto utilizza cippato di diverse specie anche mescolate tra loro. La gassificazione è stata quindi realizzata dapprima tramite essiccazione del cippato attraverso l'impianto di essiccazione a corredo dell'impianto Spanner; quindi, si è passati alla produzione vera e propria del biochar.



**Fig. 2 - Essiccatore**



**Fig. 3 – Essiccatore e cippatrice**

Complessivamente è stato ottenuto un quantitativo di biochar pari a 100 kg di faggio e 100 kg di castagno.

Il periodo interessato alla gassificazione va da maggio a luglio 2021. Inoltre sono stati prodotti circa 20 q.li di cippato di faggio e altrettanti di castagno utilizzando le ramaglie provenienti dalle due aree oggetto di taglio, utilizzati successivamente per la produzione di biochar nella centrale IridEnergy di Parma.

CINSA in collaborazione con Iridenergy srl affiancato dal consulente hanno

testato e messo a punto il sistema di alimentazione del carbonizzatore prototipale sito presso il Polo tecnologico nel Campus dell'Università di Parma per la carbonizzazione del cippato derivato da materiale legnoso di faggio e castagno qualitativamente peggiore, oggi considerato uno scarto non valorizzabile.



**Fig.4: cippato di partenza e successivamente triturato,**

Il cippato derivato da materiale legnoso qualitativamente peggiore consegnato da CCPP (Fig.4), presentava dei pezzi troppo lunghi, che pur essendo trasportati dalla coclea di carico esterna, si posizionavano trasversalmente nelle valvole a membrana creando un tappo (intasamento Fig.5).

Per questa ragione tutta la ramaglia è stata ripassata 1 volta con un cippatore con un vaglio in uscita, per garantire piccole dimensioni della ramaglia, necessarie per il passaggio nelle valvole di carico (Fig.5).



**Fig.5: Cippatore con vaglio**

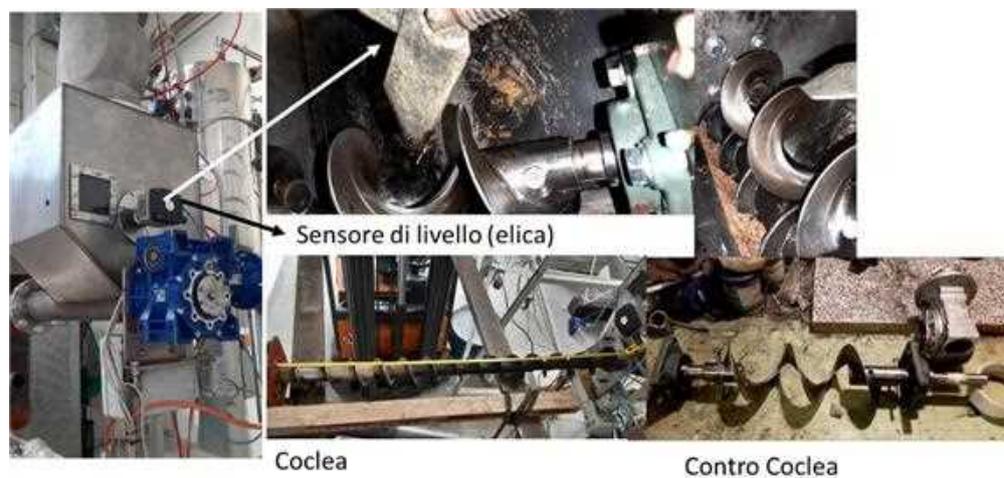
Purtroppo il cippato macinato essendo molto fine ha mostrato problemi di cavitazione (Fig. 6), rendendo disomogenea l'alimentazione all'impianto; è stato quindi necessario trovare un rimedio.



**Fig.6: Problemi di cavitazione nella**

Per rimediare al problema di cavitazione è stato necessario aggiungere una contro coclea (Fig. 7).

Per garantire la stessa velocità di rotazione delle contro coclea con la coclea di alimentazione è stato necessario collegare il motore della contro coclea ad un inverter (Fig.8).



**Fig.7: Contro coclea.**

Questo intervento ha migliorato l'uniformità del carico. Ma per garantire una maggiore uniformità ed eliminare completamente problemi di cavitazione è stato necessario applicare un martellatore pneumatico (Fig. 9), posizionato nella parete laterale della tramoggia.

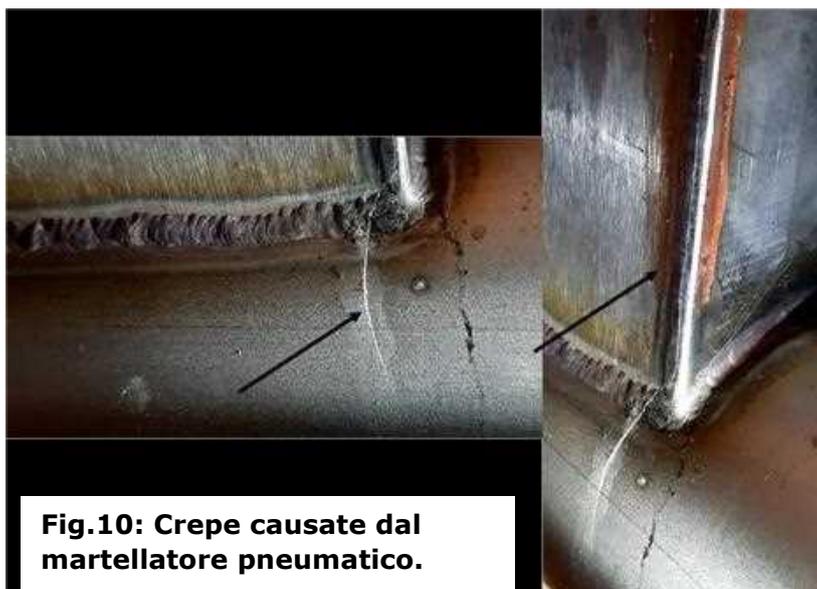


**Fig.8: Inverter collegato alla Contro coclea.**



**Fig. 9: Martellatore pneumatico**

Purtroppo il martellatore ha causato delle lesioni sul telaio della tramoggia e nelle saldature (Fig. 10).



**Fig.10: Crepe causate dal martellatore pneumatico.**



**Fig.11: Rinforzi applicati al telaio della tramoggia.**

È stato quindi necessario eseguire interventi di riparazione ma soprattutto rinforzare il telaio nelle parti saldate (Fig. 11).

A questo punto testato l'impianto di gassificazione e la capacità di alimentazione uniforme ed omogenea è stato possibile eseguire la carbonizzazione di tutti i campioni di cippato di faggio e castagno qualitativamente peggiore, consegnati da CCPP.

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di

Sono stati raggiunti gli obiettivi previsti senza alcun scostamento rispetto al progetto, tranne per la distribuzione oraria tra i dipendenti

lavoro, criticità evidenziate	<p>Sono state completate tutte le modifiche al sistema di carico che hanno permesso una corretta alimentazione della tramoggia con la biomassa legnosa di cippato di faggio e castagno qualitativamente peggiore, consegnati da CCPP.</p> <p>Il cippato di faggio e castagno qualitativamente peggiore, consegnati da CCPP è stato interamente carbonizzato per produrre biochar, consegnato a Stuard per distribuirlo nei campi sperimentali.</p> <p>Il biochar per analisi è stato consegnato al CINSA per le analisi.</p> <p>Sono stati raggiunti gli obiettivi previsti senza alcun scostamento rispetto al progetto:</p>
Attività ancora da realizzare	Tutte le attività previste nell'azione 3.2 sono state realizzate

## 2.4.2 Personale

CINSA

Cognome e nome	Mansione / qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Professore fascia alta	Coordinamento esperienze di carbonizzazione	15,8	€ 1.153,40
				0
			Totale:	€ 1.153,40

*Nota: la consulenza del Dott. Marco Errani non viene rendicontata nel presente rendiconto*

CONSORZIO COMUNALIE PARMENSI

Cognome e nome	Mansione / qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Responsabile	Gassificazione	96	€ 2.592,00
	Tecnico	Gassificazione	16	€ 432,00
	Tecnico	Gassificazione	196	€ 5.292,00
				0
			Totale:	€ 8.316,00

## 2.4.3 Trasferte

Cognome e nome	Descrizione	Costo
		Totale:



blocchi) con 3 differenti tesi/trattamenti:

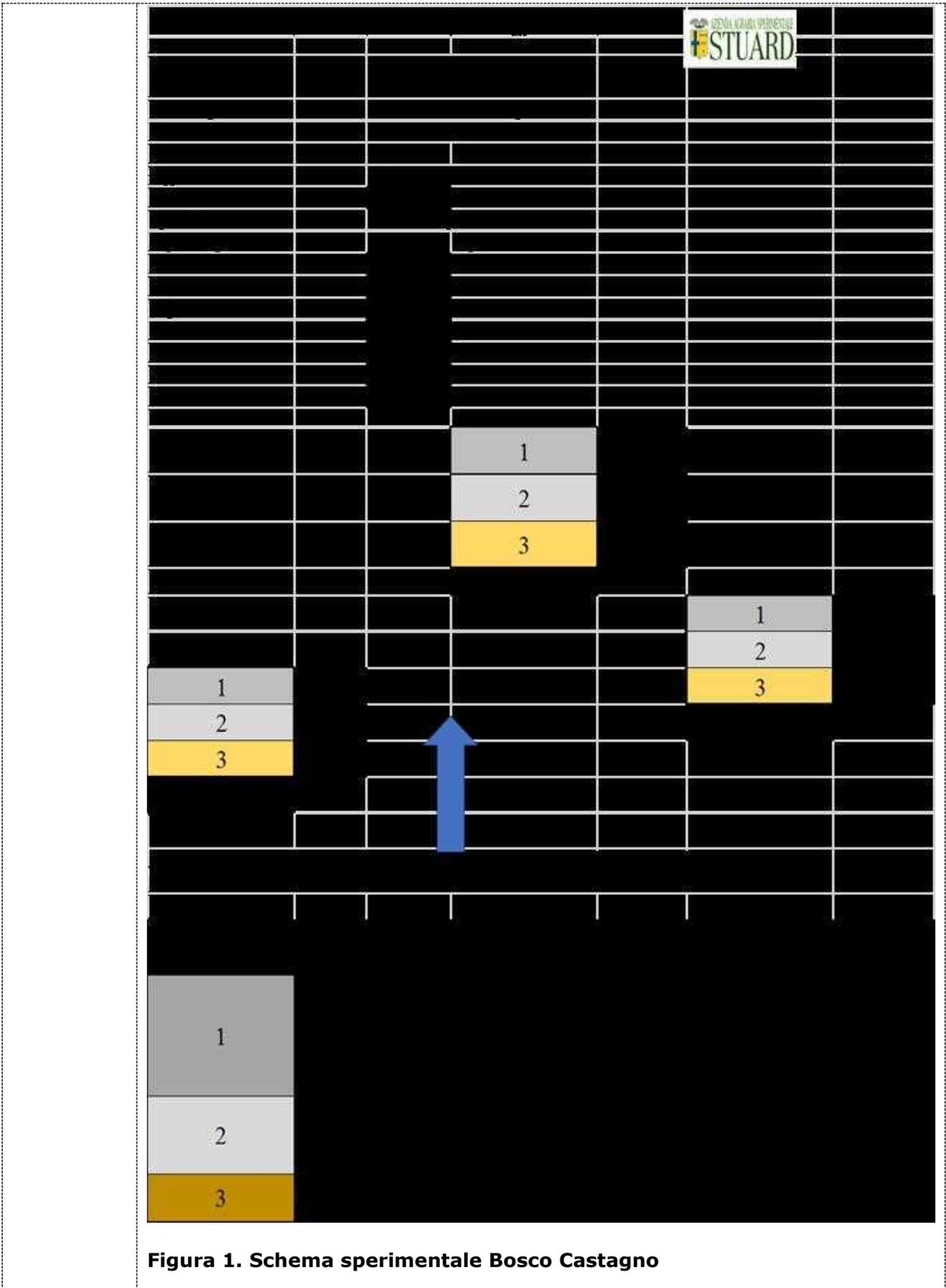
Prova in Bosco Castagno:

- 1- con biochar da CARBONIZZATORE COMUNALIE originato da cippato di castagno di "buona qualità"
- 2- con biochar da CARBONIZZATORE PROTOTIPALE originato da cippato di castagno di "peggiore qualità"
- 3- Testimone (terreno boschivo tal quale)

Prova in Bosco Faggio:

- 1- con biochar da CARBONIZZATORE COMUNALIE originato da cippato di faggio di "buona qualità",
- 2- con biochar da CARBONIZZATORE PROTOTIPALE originato da cippato di faggio di "peggiore qualità",
- 3- Testimone (terreno boschivo tal quale)

Tali matrici sono state replicate 3 volte per un totale di 9 parcelloni sia in Bosco Castagno (Figura 1), sia in Bosco Faggio (Figura 2) come da schemi sperimentali sottostanti.

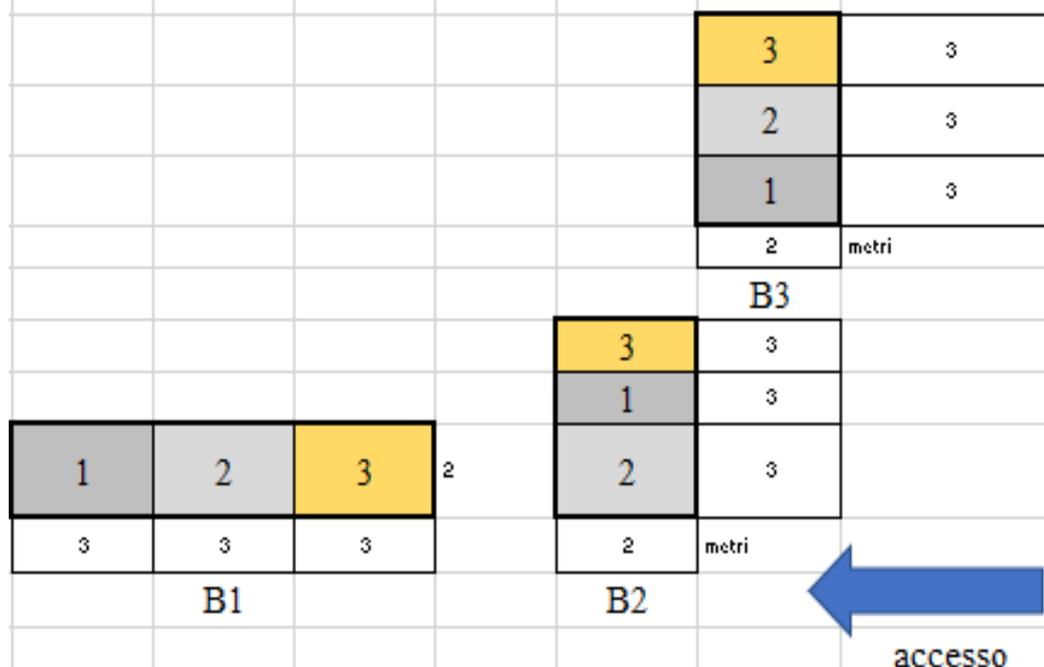


**Figura 1. Schema sperimentale Bosco Castagno**

## Forest Assessment: Biomass as Energy Resource



Prova:	<b>Faber - Fa Faggio</b>
Schema sperimentale:	Parcelle randomizzate replicate
Ente:	
Località:	
Oggetto:	<b>Schema sperimentale</b>
Data taglio fustaia:	
Specie:	Ceduo castagno
Superficie parcellone:	6,0 mq
Distribuzione materiali:	<b>13/08/21</b>
1° prelievo terreno:	<b>13/08/21</b>
2° prelievo terreno:	<b>29/10/21</b>



Note: area di superficie molto ridotta, sassosa, con radici, ceppaie, foglie, terreno molto superficiale

Codice tesi	Trattamenti	Note	Origine
1	Biochar Comunaglie	polverulento, più compatto, più umido, più difficile da distribuire	da cippato di buona qualità; molto bagnato, per cui di difficile spandimento, per cui data dose doppia
2	Biochar CARBONIZZATORE	pellettato e più facile da distribuire; molto polverulento	da cippato di scarsa qualità
3	Test non trattato		

Figura 2. Schema sperimentale Bosco Faggio.

Nel mese di Agosto 2021 (12 – 13/08/2021), i tecnici dell’Azienda Stuard si sono occupati del trasporto del biochar presso il campo sperimentale e della sua distribuzione. Il lavoro in bosco si è caratterizzato con le seguenti operazioni:

**Allestimento del campo sperimentale:** misura, squadro, pulizia (rimozione di pietre e rami), picchettatura e cartellinatura delle parcelle sperimentali.

**Prelievo dei campioni di terreno (1° prelievo)** in tutte le parcelle individuate, prima della distribuzione delle 2 tipologie di char.

**Rilievo e identificazione delle piante colonizzatrici del terreno**, definito il loro sviluppo vegetativo (a punteggio) e misurata la dimensione della superficie colonizzata.

**Distribuzione delle diverse matrici di biochar sul suolo boschivo (biochar Comunale, biochar prototipo UNIPR):** attraverso spargimento manuale e omogeneizzazione sulla superficie del terreno tramite rastrellamento (Fig. 3).



**Fig. 3: Distribuzione del biochar nel sito Castagno**

Nel sito sperimentale del Castagno, il terreno al momento della distribuzione era molto compatto, superficiale, con presenza di sassi, radici, ceppaie.

Nel sito sperimentale del Faggio, invece, è stata rilevata una area di superficie molto ridotta, sassosa, con radici, ceppaie, foglie, terreno molto superficiale.

In data 29/10/2021 i tecnici di Stuard (Fig. 4) hanno effettuato il **2° prelievo di terreno e i rilievi previsti dal piano del GO.**

Nel sito sperimentale del Castagno non è stato identificato alcun fungo. Nel sito sperimentale del Faggio, invece, sono stati prelevati 3 tipi di funghi visibili sulla superficie e diversi nel colore: marroncino, beige e rosaceo.



**Fig. 4: 2° prelievo di terreno nel sito Castagno**

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

Al momento gli obiettivi previsti sono stati raggiunti, si segnala un leggero scostamento nelle attività svolte a causa della emergenza pandemica da Covid-19. Al momento non si rilevano criticità tecnico-scientifiche.

Attività ancora da realizzare

Nel proseguo della sperimentazione verranno eseguiti rilievi sulla presenza di funghi visibili sulla superficie, assegnando un punteggio da 1 (valore peggiore) a 5 (valore migliore). Sul terreno delle diverse parcelle verranno effettuati dei prelievi di suolo da sottoporre ad analisi chimica e fisica (pH, capacità di scambio cationico, tessitura, carbonio organico, azoto, microelementi, etc.) in diversi periodi dell'anno al fine di riuscire a monitorare i possibili cambiamenti dovuti alle diverse matrici sia a livello qualitativo che quantitativo. Sugli stessi campioni si valuterà la consistenza delle comunità microbiche fungine con analisi microbiologiche e limitate analisi molecolari basate su amplificazione di marcatori molecolari, allo scopo di quantificare gli effetti dei trattamenti sulle popolazioni fungine non visibili alla superficie delle parcelle.

## 2.5.2 Personale

## PERSONALE AZIENDA AGRARIA SPERIMENTALE STUARD

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	O.T.D. Comune	Allestimento prova in bosco e distribuzione biochar	31	€ 604,50
	Imp. Agr. 4°Categoria	Organizzazione, gestione cippato, Allestimento prova in bosco e distribuzione biochar	52	€ 1.404,00
	Qualif. Operaio Agricolo	Allestimento prova in bosco e distribuzione biochar	40	€ 780,00
	Imp. Agr. 4°Categoria	Organizzazione trasporto cippato, gestione cippato, impostazione delle prove, definizione del protocollo sperimentale, identificazione delle aree in bosco, progettazione degli schemi di campo, preparazione del campo e distribuzione delle diverse matrici	22	€ 594,00
	Impiegato 1° Liv. Quadro	impostazione delle prove, definizione del protocollo sperimentale, identificazione delle aree in bosco, progettazione degli schemi di campo, preparazione del campo e distribuzione delle diverse matrici	37	€ 1.591,00
	Imp. Agr. 3°Categoria	Organizzazione, trasporto e gestione cippato a Unipr per carbonizzazione con prototipo, reperimento materiali e strumenti per gestione dell'area di prova. impostazione delle prove, definizione del protocollo sperimentale, identificazione delle aree in bosco, progettazione degli schemi di campo, preparazione del campo e distribuzione delle diverse matrici	78	€ 2.106,00
			Totale	€ 7.079,50
			:	

**2.5.3 Trasferte:** *Il piano non prevedeva trasferte.*

**2.5.4 Materiale consumabile:** *Il piano non prevedeva l'acquisto di materiale consumabile*

**2.5.5 Spese per materiale durevole e attrezzature:** *Il piano non prevedeva l'acquisto di materiale durevole e attrezzature*

**2.5.6 Materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione dei prototipi** *Il piano non prevedeva spese per materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione di prototipi*

## 2.6 Azione 4: analisi sul biochar per il suo utilizzo come ammendante

### 2.6.1 Attività e risultati

Azione	<b>Analisi del biochar</b>
Unità aziendale responsabile	<b>CINSA</b>

Descrizione delle attività

I biochar utilizzati in questo progetto sono 4:

- PFB1-biochar prodotto dall'impianto Iridenergy (Campus, Parma) a partire da cippato di ramaglie di castagno;
- PFB2-biochar prodotto dall'impianto Iridenergy (Campus, Parma) a partire da cippato di faggio;
- PFB3-biochar prodotto dall'impianto Spanner (Fornovo) a partire da cippato di tronchi di castagno;
- PFB4-biochar prodotto dall'impianto Spanner (Fornovo) a partire da cippato di tronchi di faggio.

Tutte le analisi sono state effettuate presso il Laboratorio di Biotecnologie Agro-ambientali dell'Università di Parma seguendo i protocolli indicati nelle norme UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione), EN (elaborate dal CEN, Comité Européen de Normalisation) e/o ISO (Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione).

**RISULTATI: Tabella 1:** risultati ottenuti dalle analisi dei char in esame, con indicazione dei protocolli di riferimento utilizzati.

Analisi	Riferimento	Risultato Char PFB1	Risultato Char PFB2	Risultato Char PFB3	Risultato Char PFB4	Unità di misura
pH	UNI EN 13037	9,29 ± 0,11	9,23 ± 0,20	9,12 ± 0,015	9,37 ± 0,05	
CE	UNI EN 13038	32,54 ± 2,03	53,73 ± 3,48	142,53 ± 7,82	227,17 ± 13,27	mS/m
Densità apparente	UNI EN 13038	0,29 ± 0,001	0,32 ± 0,004	0,32 ± 0,008	0,32 ± 0,012	g/cm <sup>3</sup>
Classi granulometriche	UNI EN 15428	> 20mm: 0% 20mm>>10mm: 0% 10mm>>5mm: 2,27% 5mm>>2mm: 15,74% 2mm>>1mm: 14,88% <1mm: 67,11%	> 20mm: 0% 20mm>>10mm: 0,69% 10mm>>5mm: 1,30% 5mm>>2mm: 17,44% 2mm>>1mm: 18,61% <1mm: 61,96%	> 20mm: 0% 20mm>>10mm: 0% 10mm>>5mm: 0% 5mm>>2mm: 6,97% 2mm>>1mm: 9,79% <1mm: 83,24%	> 20mm: 0% 20mm>>10mm: 0% 10mm>>5mm: 0% 5mm>>2mm: 6,31% 2mm>>1mm: 8,35% <1mm: 85,34%	%
Sostanza organica	UNI EN 13039	95,24 ± 0,38	87,20 ± 0,30	85,32 ± 1,03	67,05 ± 0,54	%
Ceneri	UNI EN 13039	4,76 ± 0,38	12,80 ± 0,30	34,68 ± 1,03	32,95 ± 0,54	%
Umidità residua	UNI EN 13040	6,89 ± 0,10	2,39 ± 2,12	17,92 ± 0,21	17,92 ± 0,04	%
Sostanza secca	UNI EN 13040	93,11 ± 0,10	97,61 ± 2,12	82,08 ± 0,21	82,08 ± 0,04	%
Contenuto metalli	/	Cd: 1,93 ± 0,48 Ni: 4,66 ± 2,99 Cu: 123,69 ± 9,46 Pb: 1,75 ± 3,02 Zn: 47,18 ± 12,68 Cr: 17,50 ± 11,76 Fe: 825,67 ± 202,60	Cd: 2,244 ± 0,11 Ni: under detection limit Cu: 3,81 ± 1,26 Pb: 121,23 ± 20,81 Zn: 49,28 ± 15,21 Cr: under detection limit Fe: 1565,17 ± 207,21	Cd: 6,204 ± 2,28 Ni: 16,31 ± 0,09 Cu: 34,64 ± 2,70 Pb: 39,42 ± 0,36 Zn: 664,25 ± 116,86 Cr: 4,15 ± 1,23 Fe: 3176,15 ± 876,81	Cd: 6,454 ± 0,99 Ni: 21,20 ± 1,18 Cu: 31,82 ± 1,76 Pb: 41,35 ± 1,37 Zn: 520,27 ± 45,71 Cr: 2,02 ± 0,49 Fe: 1775,52 ± 191,15	mg/kg
Test germinazione	UNI/CHIM Met. 1651-2003	Effetto fitostimolante germinazione: NO Fitotossicità (EC50): 8 Inibizione totale germinazione: >10	Effetto fitostimolante germinazione: NO Fitotossicità (EC50): 2,5 Inibizione totale germinazione: >10	Effetto fitostimolante germinazione: NO Fitotossicità (EC50): 0,3 Inibizione totale germinazione: >10	Effetto fitostimolante germinazione: NO Fitotossicità (EC50): 0,2 Inibizione totale germinazione: >5 g	g/piastrella
Test di fitotossicità su <i>Hordeum vulgare</i> L.	UNI EN 16086-1:2012	NON fitotossico Fitostimolante: 0,5%	NON fitotossico Fitostimolante: 1%	NON fitotossico Fitostimolante: 0,5%	NON fitotossico Fitostimolante: 0,5%	g/l
Test di fitotossicità su <i>Lactuca sativa</i> L.	BSR/11/05/03	Giudizio del test: P2. Il prodotto non induce effetti avversi sulla crescita delle piante. Il prodotto si ritiene idoneo all'utilizzo agricolo.	Giudizio del test: P2. Il prodotto non induce effetti avversi sulla crescita delle piante. Il prodotto si ritiene idoneo all'utilizzo agricolo.	Giudizio del test: P2. Il prodotto non induce effetti avversi sulla crescita delle piante. Il prodotto si ritiene idoneo all'utilizzo agricolo.	Giudizio del test: P2. Il prodotto non induce effetti avversi sulla crescita delle piante. Il prodotto si ritiene idoneo all'utilizzo agricolo.	g/ke

I biochar in oggetto sono tutti caratterizzati da un pH basico, che li rende adeguati all'utilizzo in terreni eccessivamente acidi. La conducibilità elettrica mostra un ridotto contenuto salino nei char prodotti dall'impianto Iridenergy, mentre mostra valori più alti per i char prodotti dall'impianto Spanner.

In generale, i valori di pH, CE, sostanza organica, ceneri e sostanza secca sono in linea con valori di altri char ottenuti da biomasse lignocellulosiche.

In particolare, i char prodotti nell'impianto Iridenergy presentano un ridotto contenuto di ceneri e minore umidità.

La granulometria dei biochar analizzati è per la maggior parte inferiore a 2 mm e, in particolare, inferiore a 1 mm per più del 60% per i char prodotti nell'impianto Iridenergy, e più dell'80% per i char prodotti nell'impianto Spanner. Questo è un dato molto importante da considerare per la distribuzione in campo; essendo infatti un materiale fino la sua distribuzione potrebbe risultare difficile da effettuare.

Il contenuto dei metalli quali Ni, Cu, Cr e Fe è al di sotto dei valori limite di riferimento raccomandati dal Consorzio REFERTIL come standard di qualità al fine di poter definire un biochar come possibile soil improver o organic fertiliser. Al contrario, il contenuto di Cd è risultato superiore rispetto a tali limiti per tutti i campioni di char analizzati; il char prodotto da cippato di faggio nell'impianto Iridenergy ha mostrato un contenuto di Pb superiore a tali limiti, mentre nel char prodotto da cippato di faggio nell'impianto Spanner si è riscontrato un elevato contenuto di Zn, superiore ai limiti fissati.

I test di germinazione non hanno evidenziato alcun effetto stimolante la germinazione; hanno evidenziato, invece, un effetto inibente la germinazione a partire da 0,5 g/piastra per tutte e 4 le tipologie di char, con una inibizione maggiore da parte dei char prodotti nell'impianto Iridenergy (Figura 1).

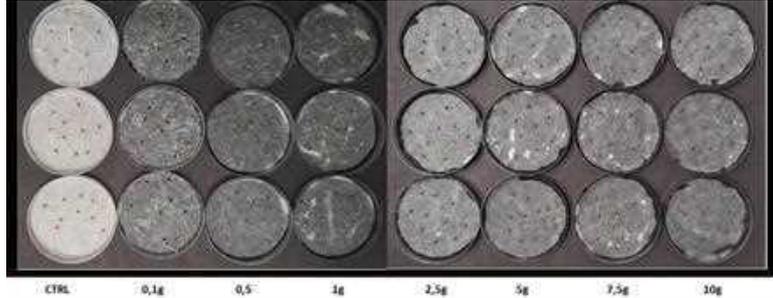
A) CASTAGNO Iridenergy



B) FAGGIO Iridenergy



C) CASTAGNO Spanner

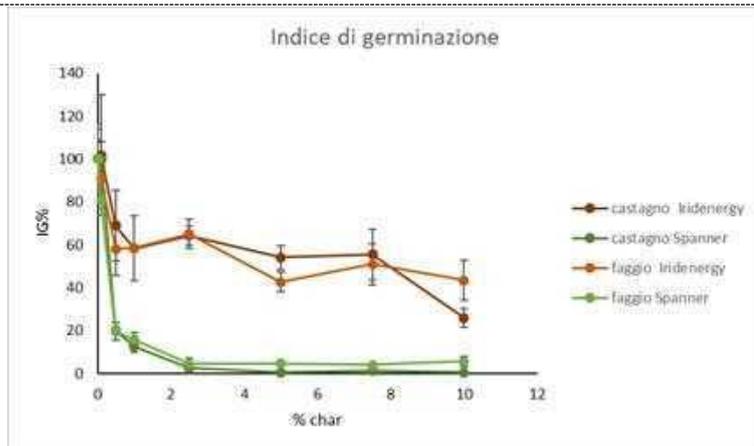


D) FAGGIO Spanner



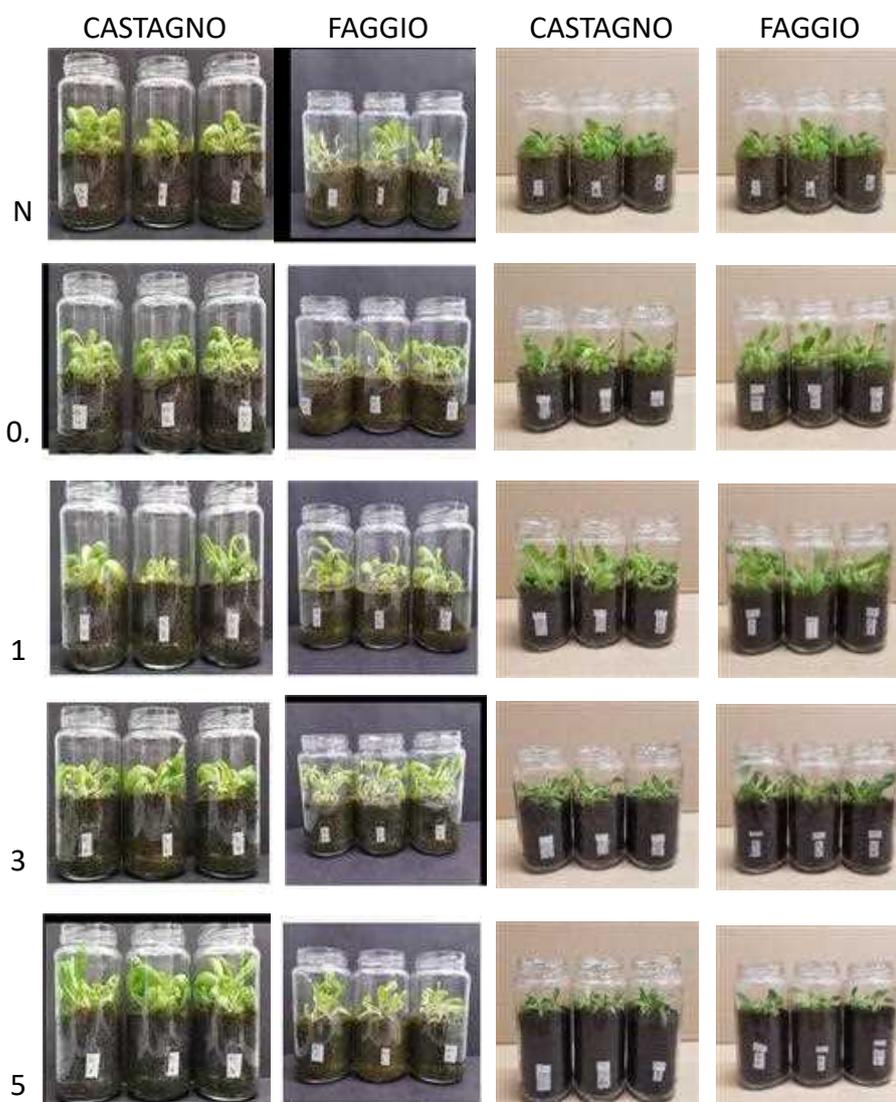
**Figura 2: Test di germinazione *in vitro* come da protocollo UNICHIM Met 1651-2003. Immagini delle piastre contenenti quantità crescenti (0 g; 0,1 g; 0,5 g; 1 g; 2,5g; 5g; 7,5g; 10 g) di char, su cui sono stati fatti germinare semi di *Lepidum sativum* per 72 h.**

Essi infatti presentano una EC50 pari a 8 g/piastra per il char prodotto da castagno e 2,5 g/piastra per quello prodotto da faggio (Figura 2). I char prodotti nell'impianto Spanner presentano invece una EC50 pari a 0,2 g/piastra per il char prodotto da castagno e 0,3 g/piastra per quello prodotto da faggio.



**Figura 3:** andamento dell'indice di germinazione percentuale (IG%) al crescere della quantità di biochar somministrato, sulla base del test di germinazione effettuato.

Tuttavia, è noto che la somministrazione di char ottenuti con questo tipo di tecnologie di produzione, provoca una inibizione della germinazione anche a basse concentrazioni, nonostante le matrici di partenza siano biomasse lignocellulosiche.

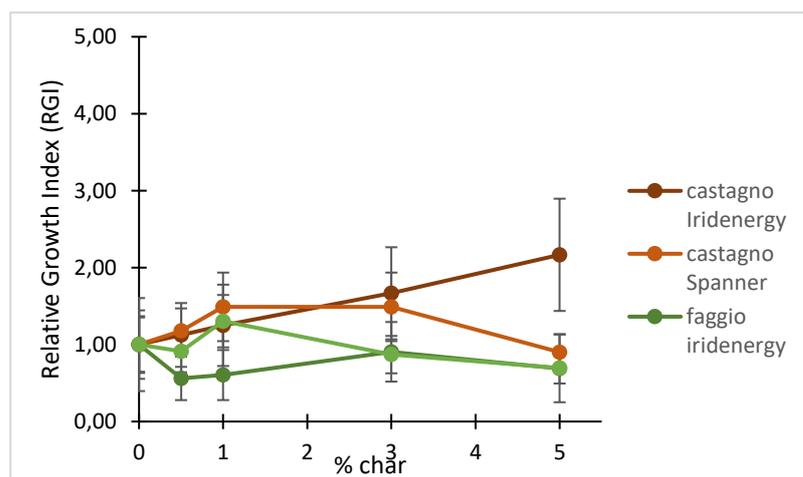


**Figura 3:** Test di fitotossicità *in vivo* su *Lactuca sativa* L. come da protocollo BURL13/05/03. Immagini dei dispositivi contenenti suolo come da protocollo ammendato con dosi crescenti (0,5%,

**1%, 3%, 5%) di char oggetto dell'analisi, su cui sono state fatte crescere plantule di su *Lactuca sativa*.**

Al contrario, i test di fitotossicità e di accrescimento *in vivo* non hanno evidenziato effetti fitotossici sugli organismi vegetali testati (*Lactuca sativa* L. Fig. 3 e *Hordeum vulgare* L. Fig. 5).

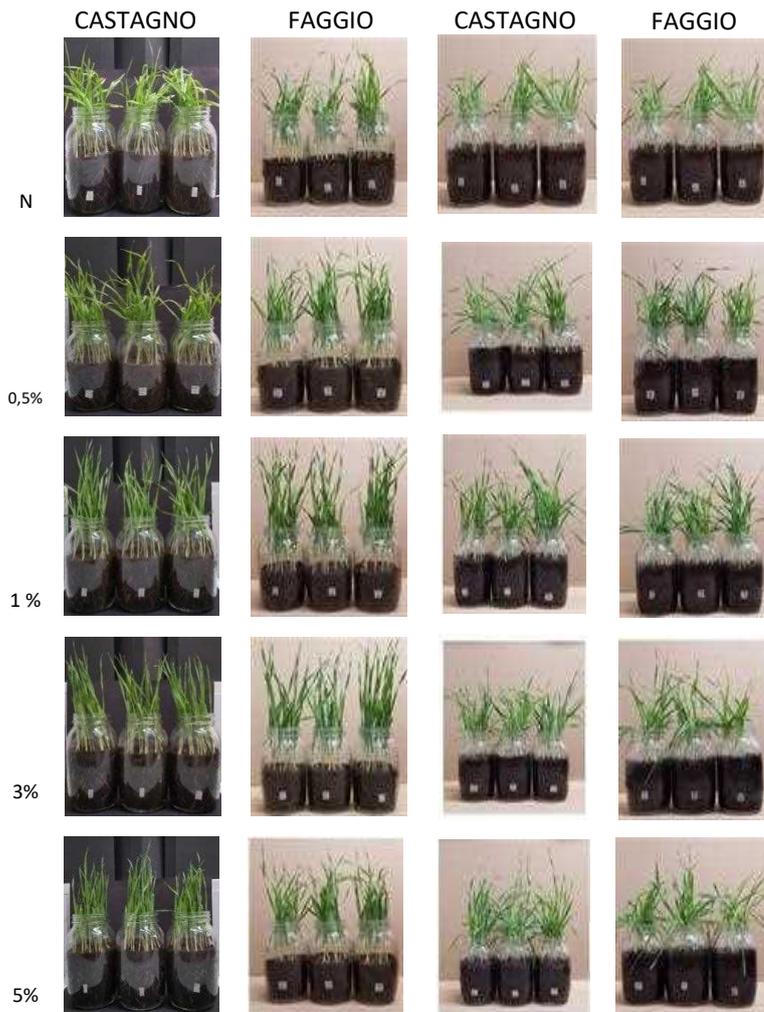
Il test di fitotossicità su *Lactuca sativa* L. non ha mostrato variazioni significative dell'indice di crescita relativa (RGI%), evidenziando quindi l'idoneità dei 4 char analizzati all'utilizzo agricolo (Figure 3-4).



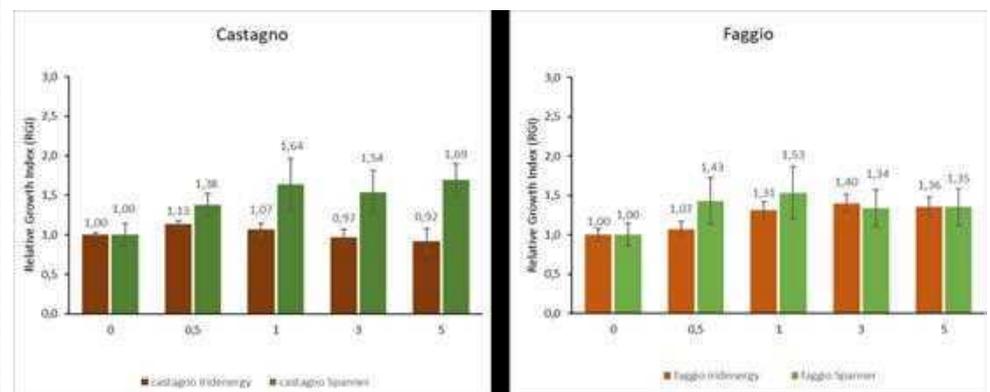
**Figura 4:**  
**Relative growth index (RGI) relativi al test di fitotossicità *in vivo* su *Lactuca sativa* L. a dosi crescenti (0,5%, 1%, 3%, 5%) di biochar**

**somministrato come ammendante.**

Il test di fitotossicità su *Hordeum vulgare* L. (Figure 5-6) ha mostrato un effetto stimolante, caratterizzato da un aumento della biomassa vegetativa rispetto agli organismi di controllo, a partire dalla dose di char pari a 0.5%, per i char di castagno (Figura 6A) e di faggio (Figura 6B) prodotti nell'impianto Spanner; nel caso dei char prodotti nell'impianto Iridenergy, invece, si è osservato un lieve aumento della biomassa solo per il char ottenuto da faggio, a partire dalla dose di char pari a 1%.



**Figura 5: Test di fitotossicità *in vivo* su *Hordeum vulgare* L. come da protocollo UNI EN 16086-1:2012. Immagini dei dispositivi contenenti suolo come da protocollo ammendato con dosi crescenti (0,5%, 1%, 3%, 5%) di char oggetto dell'analisi, su cui sono state fatte crescere plantule di *Hordeum vulgare*.**



**Figura 6: Relative growth index (RGI) relativi al test di fitotossicità *in vivo* su *Hordeum vulgare* L. a dosi crescenti (0,5%, 1%, 3%, 5%) di biochar prodotto da castagno (A) e da faggio (B), somministrato come ammendante.**

Le analisi sui suoli prelevati dalle parcelle sono in corso.

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Le analisi sui biochar sono da ritenersi completate.
Attività ancora da realizzare	Sono da eseguire in modo completo le analisi sui suoli per le proprietà chimico-fisiche e per le comunità fungine.

## 2.6.2 Personale

*Elencare il personale impegnato, il cui costo è portato a rendiconto, descrivendo sinteticamente l'attività svolta. Non includere le consulenze specialistiche, che devono essere descritte a parte.*

CINSA

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Professore fascia media	Coordinamento delle attività analitiche	36	1.728,00 €
			Totale:	1.728,00 €

## 2.6.3 Trasferte

Cognome e nome	Descrizione	Costo
		Totale:

## 2.6.4 Materiale consumabile

*Il piano non prevedeva l'acquisto di materiale consumabile*

## 2.6.5 Spese per materiale durevole e attrezzature

*Il piano non prevedeva l'acquisto di materiale durevole e attrezzature*

## 2.6.6 Materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione dei prototipi

*Il piano non prevedeva spese per materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione di prototipi*

## 2.7 Azione 5: redazione dei report annuali e delle Linee Guida per l'applicazione e la diffusione delle pratiche e/o combinazione di pratiche testate.

### 2.7.1 Attività e risultati

Azione	Redazione dei report annuali e delle Linee Guida per l'applicazione e la diffusione delle pratiche e/o combinazione di pratiche testate
Unità aziendale responsabile	<b>STUARD, collaborano</b> CINSA, CONS. COMUNALIE PARMENSI
Descrizione delle attività	<p>STUARD e i partner del progetto hanno monitorato e discusso la sperimentazione nel corso delle riunioni effettuate online e durante i sopralluoghi nei siti sperimentali. La documentazione tecnico-scientifica ed i risultati della sperimentazione sono conservati da STUARD. I report delle riunioni e degli incontri, così come i risultati sperimentali confluiscono nelle relazioni che vengono utilizzate per la stesura della relazione tecnica intermedia. Durante il periodo progettuale viene stilato un resoconto tecnico-agronomico dell'attività svolta da parte di STUARD, riportante le attività svolte, i successi e gli eventuali fallimenti delle tecniche testate. Il report è stato iniziato e proseguirà per tutta la fase di sperimentazione. All'inizio della sperimentazione i tecnici di STUARD hanno definito lo schema di campo per castagno e faggio e stabilito il protocollo sperimentale per la prova di campo, redatto le matrici e tabelle per la raccolta dei dati e stilato le prime linee guida ed il resoconto tecnico agronomico dell'attività svolta.</p> <p>La redazione delle linee guida sarà in funzione dei risultati ottenuti nelle diverse azioni previste nel Piano del GO. E' un'attività in corso di svolgimento.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Obiettivo raggiunto e non si segnalano criticità
Attività ancora da realizzare	Il report è stato iniziato e proseguirà per tutta la fase di sperimentazione. Le linee guida sono in corso di svolgimento e verranno presentate nella relazione finale.

## 2.7.2 Personale

AZIENDA AGRARIA SPERIMENTALE STUARD

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Impiegato 1° Livello Quadro	Redazione report e linee guida	37	1.591,00
			Totale:	€ 1.591,00

CINSA

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Professore fascia alta	Redazione report e linee guida	22	1.606,00 €
			Totale:	1.606,00 €

## 2.7.3 Trasferte

Cognome e nome	Descrizione	Costo
		Totale:

## 2.7.4 Materiale consumabile

*Il piano non prevedeva l'acquisto di materiale consumabile*

## 2.7.5 Spese per materiale durevole e attrezzature

*Il piano non prevedeva l'acquisto di materiale durevole e attrezzature*

## 2.7.6 Materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione dei prototipi

*Il piano non prevedeva spese per materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione di prototipi*

## 2.8 Azione 6: raccolta dati.

### 2.8.1 Attività e risultati

Azione	Raccolta dati
Unità aziendale responsabile	<b>STUARD, collaborano CCP, CINSA</b>

<p>Descrizione delle attività</p>	<p>Questa attività è stata realizzata solo parzialmente e ha interessato una prima raccolta dati sulle attività di taglio ed esbosco per il calcolo della LCA.</p> <p>Dalle procedure di carbonizzazione sono stati ottenuti i dati relativi alle rese in biochar ed energetiche.</p> <p>I dati delle analisi del biochar sono stati analizzati completamente e confrontati con linee guida internazionali.</p> <p>I dati sulle comunità fungine (Fig. 1) e sui suoli sono in fase di raccolta.</p>  <p><b>Figura 1 – esemplari di funghi trovati nelle diverse tesi in bosco di faggio, autunno 2021</b></p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>L'attività è in fase di attuazione e pertanto il grado di raggiungimento degli obiettivi non è ancora valutabile</p>
<p>Attività ancora da realizzare</p>	<p>Le attività previste nell'azione 6 sono state iniziate ma non concluse.</p>

## 2.8.2 Personale

### PERSONALE CCP

Cognome e nome	Mansione / qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Amministrativo	Raccolta dati	24	€ 648,00
	Tecnico	Raccolta dati	4	€ 108,00
	Responsabile	Raccolta dati	12	€ 324,00

	<b>Totale:</b>	<b>€ 1.080,00</b>
--	----------------	-------------------

## PERSONALE AZIENDA AGRARIA SPERIMENTALE STUARD

<b>Cognome e nome</b>	<b>Mansione / qualifica</b>	<b>Attività svolta nell'azione</b>	<b>Ore</b>	<b>Costo</b>
	Impiegato 1° Liv. Quadro	Raccolta dati	19	€ 516,00
	Impiegato 1° Liv. Quadro	Raccolta dati	39	€ 1.677,00
			<b>Totale:</b>	<b>€ 2.193,00</b>

### 2.8.3 Trasferte

#### AZIENDA AGRARIA SPERIMENTALE STUARD

<b>Cognome e nome</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Costo</b>
	trasporto cippato di castagno da Jera Campana a UniPr - 17/02/2021	31,21
	trasporto Biochar da UniPr a Stuard - 12/08/2021	4,97
	distribuzione biochar nei siti di castagno e faggio; prelievi di terreno - 13/08/2021	45,08
	missione in bosco: rilievi e prelievi - 29/10/21	57,69
<b>Totale:</b>		<b>138,95</b>

### 2.8.4 Materiale consumabile

*Il piano non prevedeva l'acquisto di materiale consumabile*

### 2.8.5 Spese per materiale durevole e attrezzature

*Il piano non prevedeva l'acquisto di materiale durevole e attrezzature*

### 2.8.6 Materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione dei prototipi

*Il piano non prevedeva spese per materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione di prototipi*

## 2.9 Divulgazione.

### 2.9.1 Attività e risultati

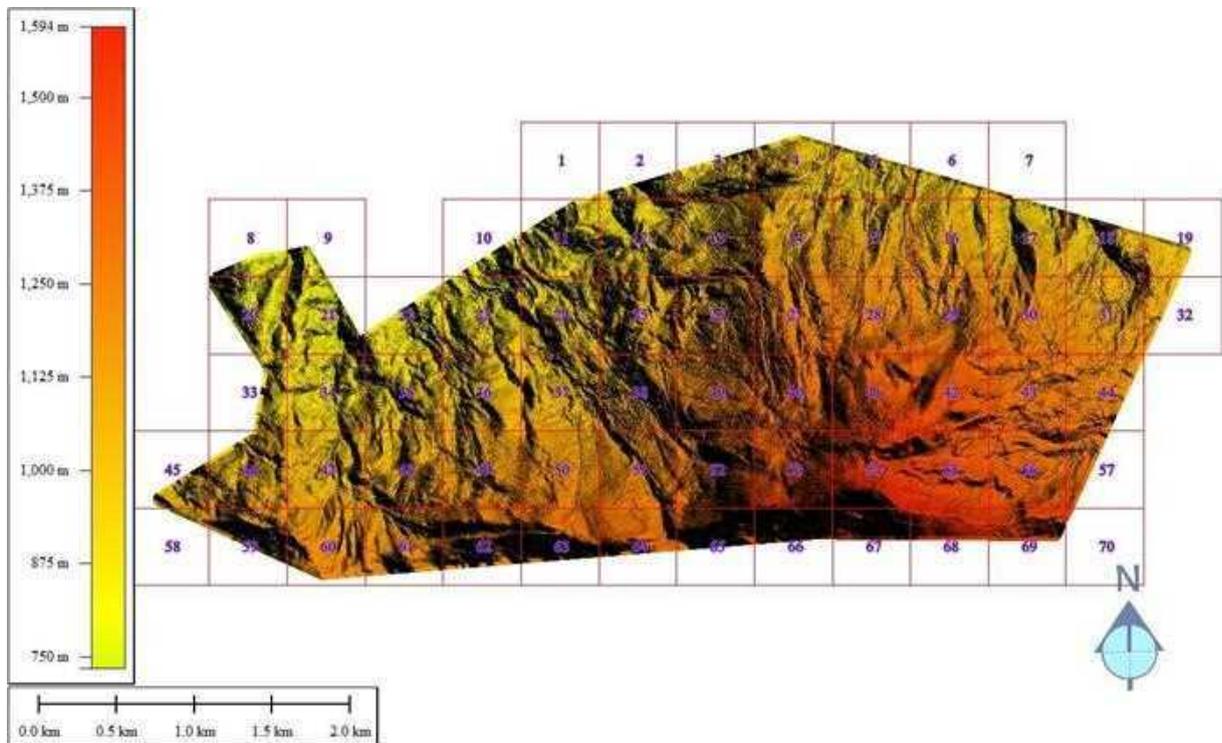
Azione	<b>DIVULGAZIONE</b>
Unità aziendale responsabile	<b>STUARD, collaborano CCP, CINSIA</b>

**Committente:**  
Azienda Agraria Sperimentale Stuard



**Oggetto:**

**Relazione finale del Progetto FABER**  
Rilievo aereo LiDAR e fotogrammetrico dell'area oggetto del Progetto FABER (PSR 2014-2020 – Misura 16.1.01 – Focus Area 5E), elaborazione dati e stima della biomassa arborea.



Forest Assessment: Biomass as Energy Resource



Commessa	Codice documento	Revisione	Motivazione	Data	Nome file
011-21	rel-005_22-rev03	03	Prima emissione	mag. '22	rel-005_22-rev03
<b>Redatto da:</b>	Dott. Martino Montagna		<b>Approvato da:</b>	Dott. Luca Dal Bello	

## SOMMARIO

1. PREMESSA.....	1
2. INTRODUZIONE ALLA TECNOLOGIA LIDAR.....	2
4. ESECUZIONE DEL RILIEVO AEREO.....	5
4.1. LIDAR RIEGL VQ780 II.....	6
4.3. CAMERA FOTOGRAMMETRICA .....	8
5. DATI TELERILEVATI.....	9
6. DATI ACCESSORI.....	12
6.1. CARTA FORESTALE.....	12
6.2. DATI AREE DI SAGGIO.....	13
7. ELABORAZIONE FOTOGRAMMETRICA.....	15
8. GENERAZIONE DTM E DSM .....	23
9. ESEMPI ESTRATTI DI DTM, DSM ED ORTOFOTO .....	24
10. DENDROMETRIA DA DATI LIDAR.....	28
10.1. METODO DI MODELLAZIONE .....	29
10.2. Identificazione dei singoli alberi .....	32
10.3. Risultati della metodologia applicata alle due aree test.....	33
11. CALCOLO DELLA BIOMASSA ARBOREA.....	38
11.1. Descrizione delle curve allometriche.....	38
11.2. Calcolo della biomassa applicato alle 2 aree campione .....	43
11.3. Calcolo della biomassa applicato all'intera area.....	43
11.4. Conclusioni.....	44



## 1. PREMESSA

L'obiettivo di effettuare rilievi forestali mediante laser scanner aereo (ALS) è quello di fornire strumenti più performanti per la pianificazione e la gestione integrata della filiera foresta-legno-energia, finalizzati all'aumento della sostenibilità delle risorse attraverso l'applicazione di tecnologie geomatiche e modellistiche.

La scansione laser aerea rappresenta ormai una delle più consolidate e promettenti tecnologie di telerilevamento utilizzabili per fornire informazioni per una vasta gamma di discipline legate alla gestione degli ecosistemi forestali.

Un particolare punto di forza dell'utilizzo del laser scanner aereo per le applicazioni forestali è la sua capacità di penetrare con i fasci la vegetazione fino al livello del suolo e caratterizzare con precisione la struttura tridimensionale delle piante. Ne deriva che tali informazioni sono potenzialmente più utili per gli inventari forestali rispetto a quelle di altre tecniche di telerilevamento, come ad esempio le immagini satellitari nello spettro del visibile. Le metriche riferite all'altezza e alla densità derivate dai dati della scansione laser possono essere utilizzate per stimare la distribuzione orizzontale e verticale del materiale vegetale, per indagini commerciali sul legname e per studi di tipo ecologico.

La caratterizzazione della vegetazione forestale con tecniche di telerilevamento passa per una serie di obiettivi progressivi, il primo è quello di individuare i singoli alberi attraverso classificazione e segmentazione della nuvola di punti, permettendo di ricostruire, in tre dimensioni, le aree vegetate. Tale attività richiede in ingresso il supporto di campagne di misura, dati forestali diretti, rilievi topografici e geomorfologici. Dall'unione di tutte queste informazioni, si ricava la posizione spaziale, l'altezza e infine la relativa biomassa di ciascun elemento arboreo.

Nel seguente studio si è cercato di superare i limiti noti di questa metodica nell'individuare e descrivere quegli alberi che presentano chiome globose e tondeggianti, spesso le une fuse nelle altre, e pertanto poco distinguibili con i tradizionali metodi utilizzati per le conifere.

L'attività di elaborazione ha riguardato l'analisi di dati LIDAR e di campo, utilizzando vari software per la gestione del dato laser aereo (Terrascan e Lidar360 principalmente), PIX4D Mapper per la generazione dell'ortofoto, ed infine applicazioni GIS per la successiva elaborazione e rappresentazione in formati interoperabili.



Per l'individuazione dei singoli alberi si è utilizzato un approccio innovativo basato sulla classificazione e segmentazione della nuvola di punti, attraverso lo studio della densità spaziale dei punti LiDAR acquisiti e la loro distribuzione morfologica nello spazio 3D, le chiome degli alberi di latifoglie infatti risultano più dense in corrispondenza del tronco mentre allontanandosi verso le estremità delle fronde, la densità diminuisce.

L'elaborazione dei dati laser ha consentito di ottenere per l'area interessata il modello digitale del terreno (DTM), il modello digitale della copertura arborea (CHM, Canopy Height Model), e la stima, attraverso tecniche di modellizzazione avanzata proprietaria, della biomassa arborea.

Al rilievo aereo e alle relative analisi si è affiancata una campagna di misure a terra a cura del Dott. Antonio Mortali in due aree campione. Nello specifico sono state analizzate delle aree di saggio, afferenti a due specie particolarmente presenti all'interno delle proprietà forestali, ossia faggio (*Fagus sylvatica*) e castagno (*Castanea sativa*), al fine di verificare e parametrizzare gli indici di biomassa ottenuti per telerilevamento.

## **2. INTRODUZIONE ALLA TECNOLOGIA LIDAR**

La tecnologia LiDAR, acronimo di Light Detection and Ranging, è una tecnica di telerilevamento "attivo" di scansione laser che permette di eseguire rilievi topografici ad alta risoluzione su un'area, ottenendo una nuvola di punti (a ciascun punto vengono associate coordinate ed altezza). Il sistema di acquisizione dei dati LiDAR è composto da sensori attivi costituiti da: 1) un emettitore (laser scanner) che, posizionato a bordo di un aereo un elicottero o un drone, emette una serie di impulsi luminosi ad alta frequenza, 2) un ricevitore che misura gli echi laser di ritorno, 3) un GPS/IMU per il posizionamento dei punti di emissione e ricezione, e 4) da un sistema di acquisizione dati costituito dalle stazioni GPS che si trovano a terra (figura 2.1).

Il laser emette fasci di luce coerente dei quali si misura l'intervallo di tempo tra l'emissione del segnale e la ricezione dell'impulso di ritorno. Noto l'intervallo di tempo, lo si converte tramite la velocità di propagazione del segnale, nota, in distanza percorsa. Il prodotto generato dal volo LiDAR sarà un profilo in tre dimensioni delle superfici colpite dal laser. Questa tecnologia permette di riprodurre l'area interessata in maniera dettagliata, soprattutto se la densità di punti è elevata, ed è possibile dividere ("classificare") la vegetazione dagli edifici, la vegetazione ed edifici dalla superficie terrestre, ecc. Ogni

impulso restituisce dalla superficie un solo ritorno se incontra, per esempio, terreno ed edifici, mentre restituisce ritorni multipli del segnale in presenza di vegetazione in quanto il segnale, in questo caso, viene in parte trasmesso e in parte riflesso.

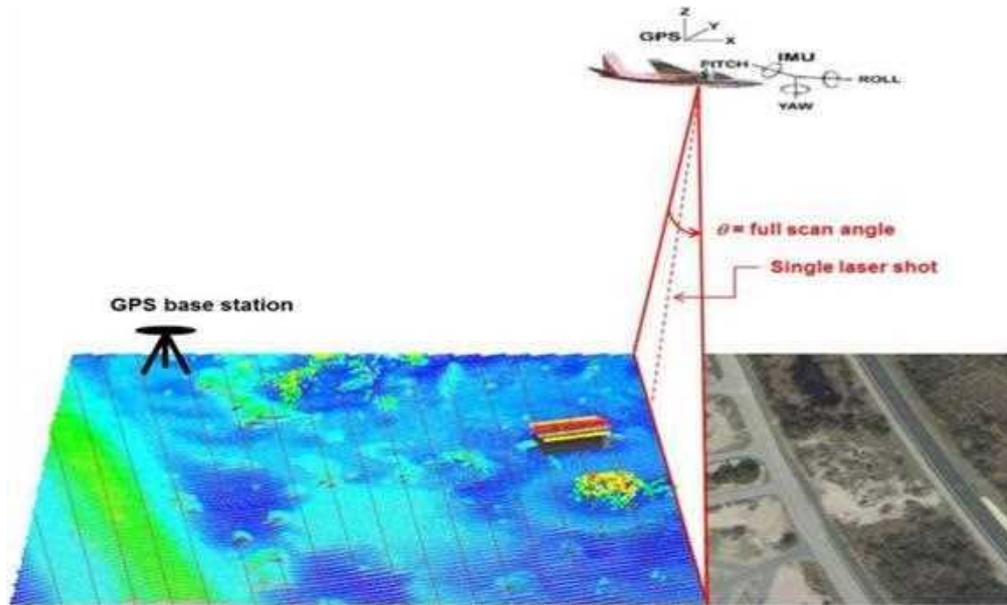


Figura 2.1 - Schema della tecnologia LiDAR

Quando il raggio laser incontra, per esempio, la chioma di un albero, parte del segnale viene riflessa dalla chioma stessa e parte prosegue fino all'ostacolo successivo o al suolo: se la vegetazione non è eccessivamente densa, il LiDAR penetra riflettendo punti a diversi livelli della fronda e al suolo ed è possibile acquisire dati riguardanti rami e foglie di ciascun albero. Per poter generare il modello digitale è necessario che vengano registrati dal sensore almeno il primo e l'ultimo ritorno: i punti possono essere filtrati in base agli impulsi appartenenti al suolo piuttosto che a superfici vegetate o edificate, e quindi grazie alla classificazione si possono estrarre le quote del terreno ottenendo la descrizione della forma del territorio rimuovendo la vegetazione dalla nuvola di punti rilevata.

Dal rilievo si ottiene, con l'uso dei primi impulsi, un Modello Digitale della Superficie, DSM (Digital Surface Model), che comprende qualsiasi elemento/oggetto intercettato dal laser come edifici, pali, chiome di alberi, terreno, infrastrutture ecc. Tramite una successiva elaborazione dei dati è possibile filtrare il DSM e, utilizzando gli ultimi ritorni dell'impulso laser, si ottiene il Modello Digitale del Terreno, DTM (Digital Terrain Model), che comprende i soli dati dei punti relativi alla superficie del terreno. Dalla differenza algebrica locale tra DSM e DTM si ottiene il DCM (Digital Canopy Model) che comprende solo ed esclusivamente i punti appartenenti alla vegetazione. I vantaggi dell'utilizzo del LiDAR sono

principalmente l'elevata precisione, l'elevata velocità di acquisizione dei dati, combinati con una maggior superficie di territorio che è possibile indagare, e una miglior analisi topografica di dettaglio della superficie terrestre rispetto ad altri metodi di raccolta dati come la fotogrammetria o la raccolta dati tramite rilievi classici terrestri. Il rilievo sul campo classico consente di effettuare campagne di censimento molto dettagliate a livello del singolo albero ma che risultano essere molto dispendiose in termini di tempistiche e costi su zone estese, e con l'impossibilità di perlustrare in dettaglio sia siti poco agevoli da accedere che aree ad alta densità di bassa vegetazione (rovi, erba alta, ecc.).

### 3. AREA DI STUDIO

L'area boschiva oggetto di rilievo è sita in Val di Taro, in provincia di Parma e corrisponde al territorio delle Comunalie di Baselica e Pontolo, nel Comune di Borgo Val Di Taro (Figura 3.1). Le aree sono entrambe gestite dal Consorzio Comunalie Parmensi, ente che coordina dal punto di vista tecnico le proprietà collettive di uso civico della provincia di Parma.

Nel complesso l'area rilevata mediante laser scanner aereo ha un'estensione di 12 km<sup>2</sup> (Figura 3.2).

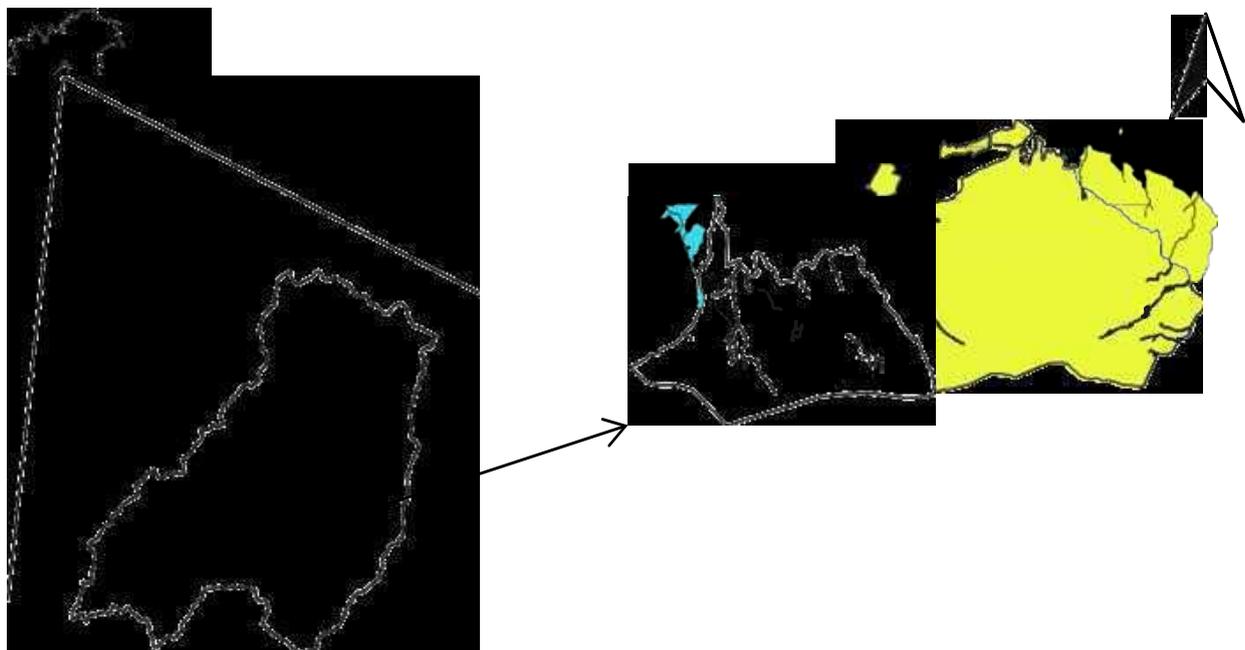


Figura 3.1: Localizzazione delle Aree sottoposte a rilievo laser aereo.  
Comunalie di Baselica a destra nell'immagine (in giallo) e Comunalie di Pontolo, a sinistra (in azzurro).

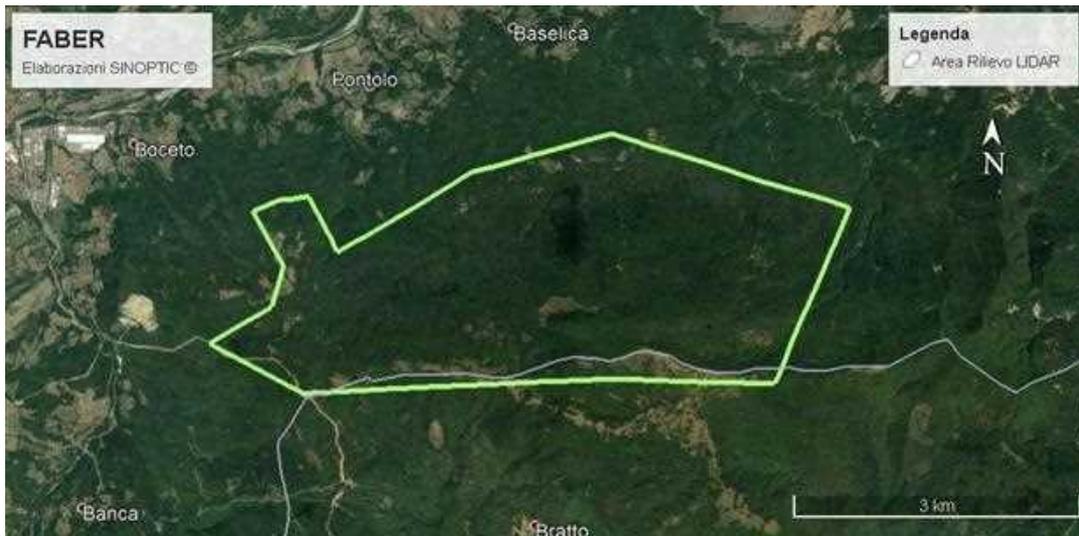


Figura 3.2: Estensione dell'area oggetto di rilievo (12 km<sup>2</sup> pari a 1.200 ha).

#### 4. ESECUZIONE DEL RILIEVO AEREO

In data 31/03/2021 è stato eseguito il rilievo aereo mediante velivolo Vulcanair P68 Observer2, il quale ha eseguito n°12 strisciate lineari secondo lo schema di volo riportato nelle figure 4.1 e 4.2 (in cui viene riportato lo “snake” di ripresa), per garantire sia il ricoprimento laser che quello fotogrammetrico con sovrapposizioni longitudinali del fotogramma (overlap) e laterali del fotogramma (sidelap) adeguate alla realizzazione del modello tridimensionale necessario alla generazione dell’ortofoto.



Figura 4.1: “Strisciate” del volo di rilievo.



Figura 4.2: Linee di volo (Snake – Flight lines) del piano di volo eseguito, con punti d'inizio e fine.

La strumentazione utilizzata, descritta nei paragrafi seguenti, si compone di un apparato LiDAR e di una camera aerofotogrammetrica digitale medio formato, entrambi integrati da un sistema GPS inerziale.

#### 4.1. LiDAR RIEGL VQ780 II

Lo scanner laser aereo a processamento delle forme d'onda RIEGL VQ-780 II (Tabella 4.2) è stato scelto in quanto consente prestazioni con la massima produttività sulla base di una frequenza di ripetizione dell'impulso laser fino a 2 MHz, che si traduce in oltre 1,33 milioni di misurazioni al secondo a terra.

Il meccanismo di scansione RIEGL VQ-780 II si basa su una ruota a specchio poligonale a rotazione continua che garantisce affidabilità e distribuzione uniforme dei punti su tutto il suo ampio campo visivo e a tutte le altitudini di volo. Riegl VQ-780 II si basa sulla tecnologia Waveform - LiDAR di RIEGL, in grado di fornire nuvole di punti con la massima precisione, un'eccellente risoluzione verticale del bersaglio, letture di riflettanza calibrate e deviazione della forma dell'impulso. RIEGL VQ-780 II è progettato per funzionare con i più recenti sistemi di navigazione inerziale (IMU), sistemi di gestione del volo e opzioni di telecamere.



## 4.2. SISTEMA GPS-INERZIALE

Il sistema inerziale associato al LiDAR è un Applanix nell'ultima versione sia hardware che software (Tabella 4.1). Il sistema GPS della piattaforma è a 16 canali L1/L2/L2CGLONASS L1/L2 con frequenza di ricezione 5 Hz.

Accuratezza assoluta					Accuratezza relativa	
POS AV V5 (510)	C/A GPS	DGPS	RTK	PP	POS AV V5 (510)	
Position (m)	4.0 - 6.0	0.5 - 2	0.1 - 0.3	0.05 - 0.3	Noise (deg/sqrt (hr))	< 0.01
Velocity (m/s)	0.050	0.050	0.010	0.005	Drift (deg/hr)	0.10
Roll & Pitch (deg)	0.008	0.008	0.008	0.005		
True Heading (deg)	0.070	0.050	0.040	0.008		

Tabella 4.1: Accuratezza assoluta e relativa del sistema GPS-inerziale.

Technical Data RIEGL VQ®-780 II						
Laser Power Level	100%					
Laser Pulse Repetition Rate (PRR)	150 kHz	250 kHz	500 kHz	1000 kHz	2000 kHz	
Max. Measuring Range natural targets $\Delta \geq 20\%$	4500 m	3700 m	2800 m	2050 m	1500 m	
Max. Measuring Range natural targets $\Delta \geq 60\%$	6800 m	5600 m	4300 m	3300 m	2450 m	
Max. Operating Flight Altitude (AGL) natural targets $\Delta \geq 20\%$	3700 m	3000 m	2300 m	1700 m	1200 m	
	12100 ft	9900 ft	7500 ft	5500 ft	4000 ft	
Max. Operating Flight Altitude (AGL) natural targets $\Delta \geq 60\%$	5600 m	4600 m	3500 m	2700 m	2000 m	
	18300 ft	15000 ft	11500 ft	8800 ft	6500 ft	
NOHD	370 m	290 m	200 m	140 m	95 m	
ENOHD	2450m	1900 m	1340 m	940 m	650 m	
Number of Targets per Laser Pulse up to	14	14	14	9	4	

Laser Power Level	50%	25%	12%	6%
Laser Pulse Repetition Rate (PRR)	2000 kHz	2000 kHz	2000 kHz	2000 kHz
Max. Measuring Range natural targets $\Delta \geq 20\%$	1100 m	780 m	560 m	400 m
Max. Measuring Range natural targets $\Delta \geq 60\%$	1800 m	1300 m	940 m	680 m
Max. Operating Flight Altitude (AGL) natural targets $\Delta \geq 20\%$	900 m	640 m	460 m	330 m
	3000 ft	2100 ft	1500 ft	1080 ft
natural targets $\Delta \geq 60\%$	1450 m	1050 m	770 m	550 m
	4800 ft	3400 ft	2500 ft	1800 ft
NOHD	61 m	37 m	21 m	12 m
ENOHD	430 m	270 m	145 m	82 m
Number of Targets per Laser Pulse up to	4	4	4	4



Minimum Range	100 m
Accuracy	20 mm
Precision	20 mm
Laser Pulse Repetition Rate	150 kHz up to 2 MHz, selectable in steps of less than 1%
Effective Measurement Rate	up to 1333 kHz @ 60° scan angle
Echo Signal Intensity	provided for each echo signal
Laser Wavelength	near infrared
Laser Beam Divergence	$\leq 0.18$ mrad @ 1/e, typ. 0.25 mrad @ 1/e <sup>2</sup>
Scanner Performance	Scanning Mechanism rotating polygon mirror
Scan Pattern	parallel scan lines
Scan Angle Range	$\pm 30^\circ = 60^\circ$
Total Scan Rate	20 - 300 lines/sec
Angular Step Width	$\eta 0.006^\circ \leq \eta \leq 0.108^\circ$
Angle Measurement Resolution	0.001°
Data Interfaces Configuration	TCP/IP Ethernet (10/100/1000 MBit/s)
Monitoring Data Output	TCP/IP Ethernet (10/100/1000 MBit/s)
Digitized Data Output	High-speed data link to RIEGL Data Recorder DR1560i
Synchronization	Serial RS-232 interface, TTL input for 1 pps synchronization pulse, accepts different data formats for GNSS-time information
Camera interface	2 x power, RS-232, 1 pps, trigger, exposure
<b>General Technical Data</b>	
Main Dimensions (length x width x height)	425 mm x 212 mm x 331 mm
Weight	approx. 20 kg
Protection Class	IP54
Max. Flight Altitude operating / not operating	18500 ft (5600 m) above MSL1) / 18500 ft (5600 m) above MSL

Tabella 4.2: Dati Tecnici RIEGL VQ-780 II

### 4.3. CAMERA FOTOGRAMMETRICA

La camera digitale utilizzata è una PhaseOne iXM100 a 100 Megapixel (Tabella 4.3) di medio formato, associata al LiDAR e progettata proprio per l'utilizzo con sistemi LiDAR aviotrasportati.

<b>SPECIFICHE TECNICHE</b>	
Alimentazione	<b>24V DC</b>
Massimo assorbimento	<b>10 A</b>
Temperature operative	<b>0°C - 50°C</b>
Massima quota operativa verificata	<b>18.000 ft ~5.500m</b>
<b>SPECIFICHE DELLA CAMERA</b>	
Risoluzione	<b>11608 x 8708 pixels (100MP)</b>
Dimensioni Sensore CCD	<b>53,4mm x 40mm</b>
FOV (focale 40mm)	<b>53,2° along track -67,4° across track</b>
Velocità otturatore (configurabile in volo fino a)	<b>1/2500 s</b>
Intervallo minimo tra scatti consecutivi	<b>0.8 s</b>
<b>SPECIFICHE DI PERFORMANCE</b> (alla quota di 700ft ~210m da terra)	
GSD (cm)	<b>2,4cm</b>
Scala nominale percepita in restituzione	<b>~1:100</b>
Abbracciamento del fotogramma ( <b>across track</b> )	<b>271,7 m</b>
Abbracciamento del fotogramma ( <b>along track</b> )	<b>203,5 m</b>
Superficie coperta per fotogramma	<b>5,5 ha</b>



Tabella 4.3: Principali caratteristiche tecniche della camera fotogrammetrica utilizzata.

## 5. DATI TELERILEVATI

La nuvola di punti RAW (grezza), dopo correzione geometrica e analisi degli echi e delle forme d'onda è stata esportata in formato LAS. Il dataset complessivo consiste di oltre 2 miliardi di punti XYZ che per motivi di processazione sono stati suddivisi in 70 parcelle (tiles) quadrate dal lato di 500 m ciascuna.



Figura 5.1: Suddivisione e spazializzazione del dataset in 70 tiles.

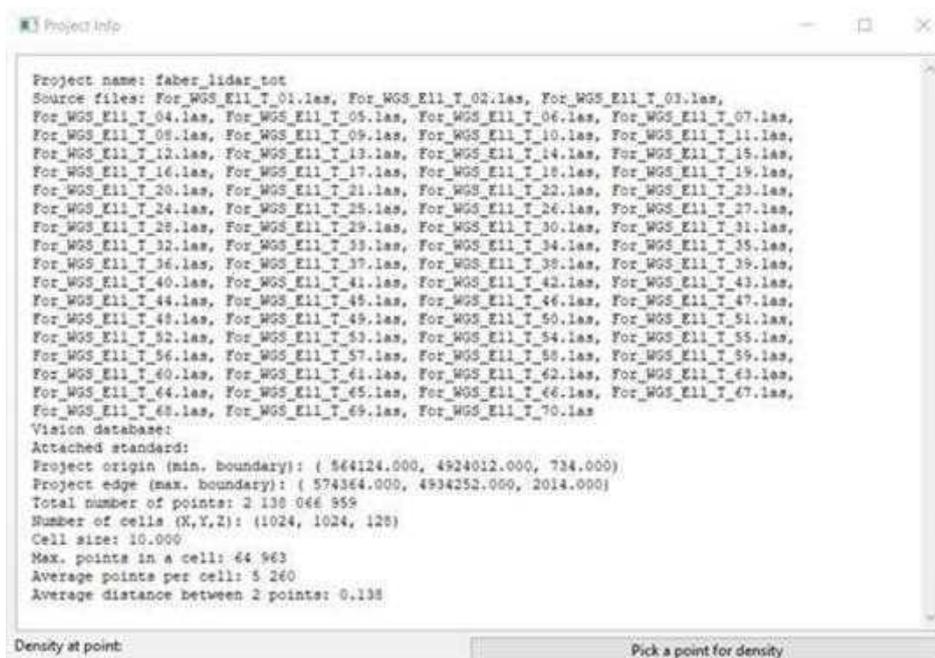


Figura 5.2: Informazioni di progetto del dataset LiDAR.

Le immagini fotogrammetriche georeferenziate ottenute (Figura 5.3) sono in totale 256 GeoTIFF con risoluzione di 11.664 x 8.750 pixels e dimensione su disco di 300 Mb ciascuna, di seguito viene riportato il footprint a terra delle stesse (Figura 5.4).

A seguire in figura 5.5 viene riportato una tile di esempio e un suo ingrandimento per mostrare l'elevata risoluzione dell'immagine.



Figura 5.3: Localizzazione dei centri di presa delle 256 immagini metriche.



Figura 5.4: Visualizzazione in rosso degli abbracciamenti a terra (footprint) delle immagini.

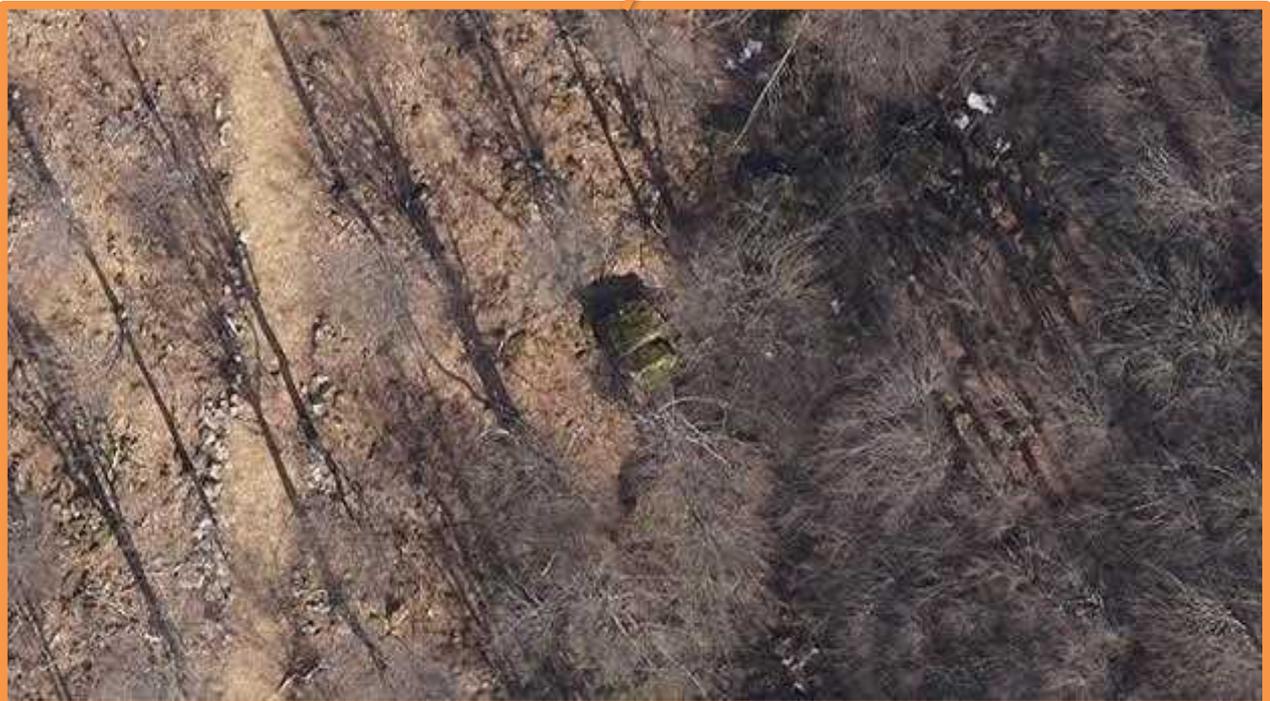


Figura 5.5: Immagini di esempio (0165), in rosso nella prima immagine l'area riportata nella seconda immagine.

## 6. DATI ACCESSORI

### 6.1. CARTA FORESTALE

La Carta Forestale utilizzata come riferimento per la delimitazione delle due specie arboree oggetto di studio (collaudata ed aggiornata durante le nostre elaborazioni con verifiche spot con tecniche di fotointerpretazione) è costituita dagli shapefile estratti dallo strato cartografico "Aree forestali aggiornamento 2014" (consultabile tramite il GIS WEB della Cartografia interattiva del Sistema Informativo Forestale regionale e distribuito anche come servizio WMS all'indirizzo [http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/aree\\_forestali](http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/aree_forestali) ).

Lo strato cartografico "Aree forestali aggiornamento 2014" è la revisione regionale delle precedenti carte forestali realizzate dalle singole Amministrazioni Provinciali; si basa sulla fotointerpretazione del volo AGEA 2011 ma recepisce, ove disponibili, anche fonti informative più recenti. L'indagine regionale rappresenta il quadro conoscitivo aggiornato, ma non sostituisce le carte provinciali qualora esse siano recepite dagli strumenti pianificatori vigenti.

Gli shapefile acquisiti derivano dal subset "Shapefile aree forestali in Provincia di Parma".

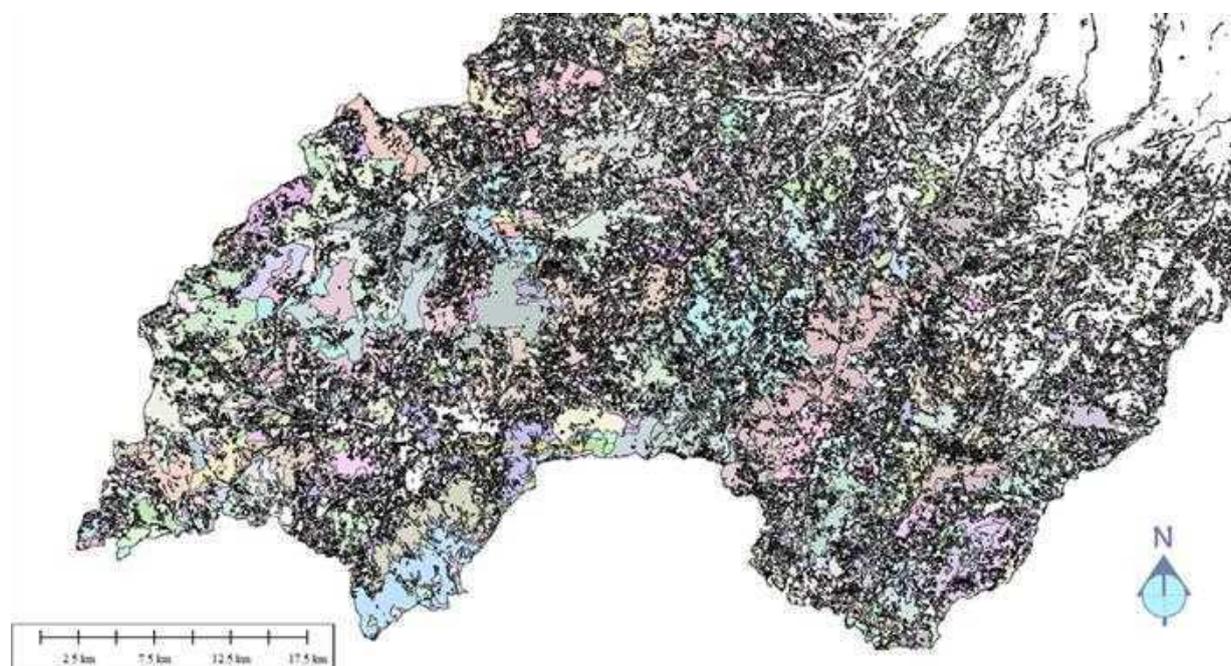


Figura 6.1: Carta Forestale della Provincia di Parma

Non si è fatta una distinzione per sottospecie ma si sono solamente considerate le categorie forestali, poiché per il calcolo della biomassa è sufficiente riconoscere la specie arborea.

## 6.2. DATI AREE DI SAGGIO

Durante l'attività di studio è stata effettuata una campagna di misure in loco su due aree test rappresentative delle due specie arboree target al fine di creare un database di controllo e taratura del modello di stima della biomassa. Il database è costituito da diametri, altezze e peso degli alberi circoscritti nelle aree di saggio con diametro di 30m.

Parametri dendrometrici misurati:

- altezza degli alberi
- diametri a diverse altezze (1,40m - 4m - 8m - 12m - 16m)
- peso complessivo degli alberi nell'area di saggio

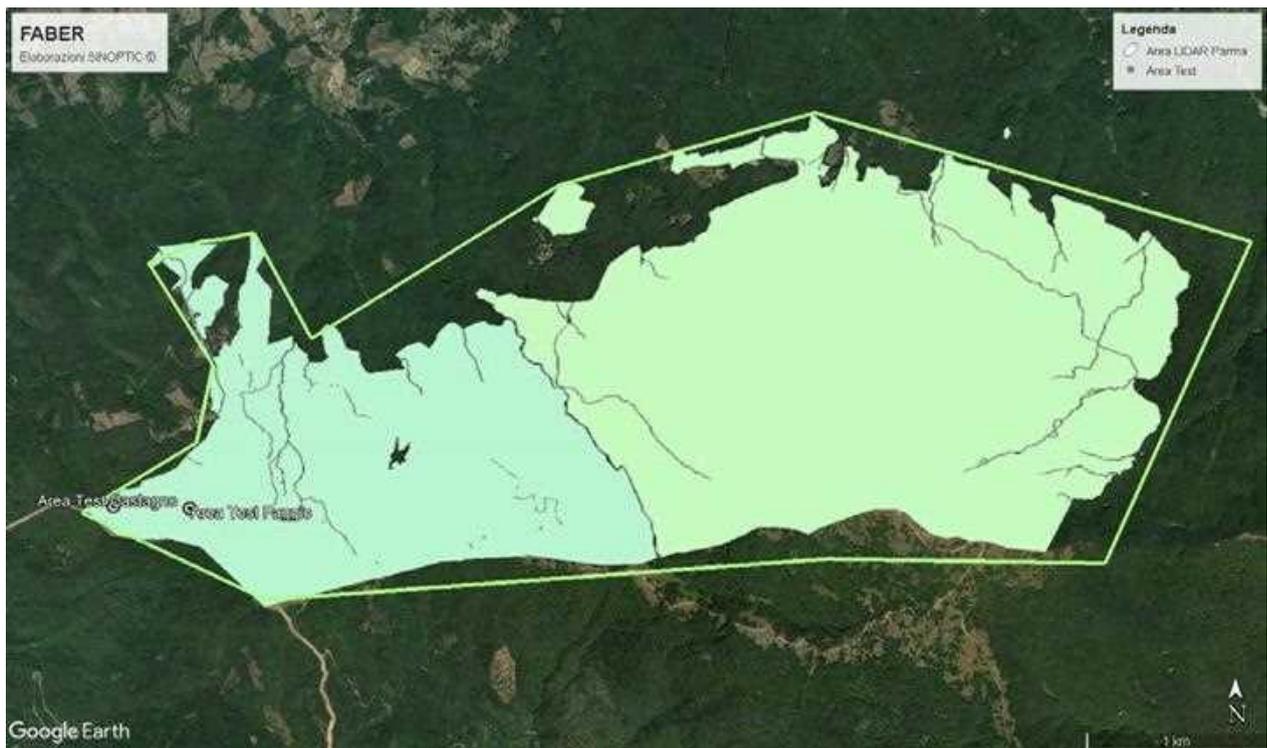


Figura 6.2: Localizzazione delle 2 aree di saggio rispetto l'area di studio



Figura 6.3: Particolare ingrandito dell'inquadratura precedente con sovrapposizione dell'ortofoto generata.

Nella figura 6.4 osserviamo il confronto dello stato delle 2 aree di saggio, in alto l'area a castagno e in basso l'area a faggio, a sx le aree individuate sull'ortofoto del 31/03/2021 (in condizione leaf-off), a dx le stesse aree il 19/08/2021 dopo le attività di taglio.



Figura 6.4: Visualizzazione e confronto dello stato delle 2 aree di saggio,



## 7. ELABORAZIONE FOTOGRAMMETRICA

L'elaborazione fotogrammetrica delle immagini, per ottenere l'ortofoto è stata eseguita con il software PIX4D su Workstation DELL con le seguenti caratteristiche:

CPU: Intel Xeon CPU E5-1650 v3 @ 3.50GHz
RAM: 32GB
GPU: 2 X NVIDIA Quadro K2200 (Driver: 23.21.13.9133)

Tempi di elaborazione:

Processamento iniziale, generazione nuvola sparsa e matching points	04h:27m:53s
Generazione nuvola densa	9d:10h:17m:03s
Generazione ortomosaico	01h:42m:13s
<b>TOTALE TEMPO ELABORAZIONE</b>	<b>10gg</b>

A seguire si riporta il rapporto di qualità generato e al termine del paragrafo un'immagine dell'ortofoto dell'area rilevata con sistema LiDAR e due esempi per mostrarne il dettaglio. Si sottolinea come tutte le immagini del dataset risultano calibrate e georeferenziate.

Report Generated with Pix4D - enterprise version 4.2.26

### Summary

Project	Forestale
Processed	2021-05-10 16:22:41
Camera Model Name(s)	iXM-100_PhaseOneRSM35mmf/5.6_35.0_11664x8750 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	7.79 cm / 3.07 in
Time for Initial Processing (without report)	04h:27m:53s

### Quality Check

Images	median of 64210 keypoints per image	✓
Dataset	253 out of 253 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	2.41% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 4592.08 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, no 3D GCP	

### Calibration Details

Number of Calibrated Images	253 out of 253
Number of Geolocated Images	253 out of 253

### Initial Image Positions

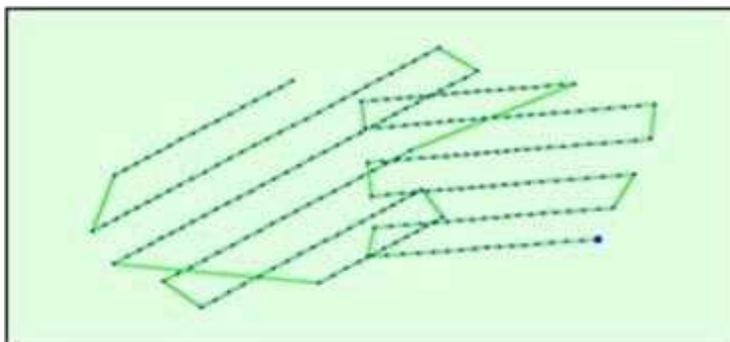


Figura 7.1: Vista dall'alto della posizione iniziale delle immagini. La linea verde segue la posizione delle immagini nel tempo a partire dal punto blu che rappresenta l'inizio delle riprese.

### Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

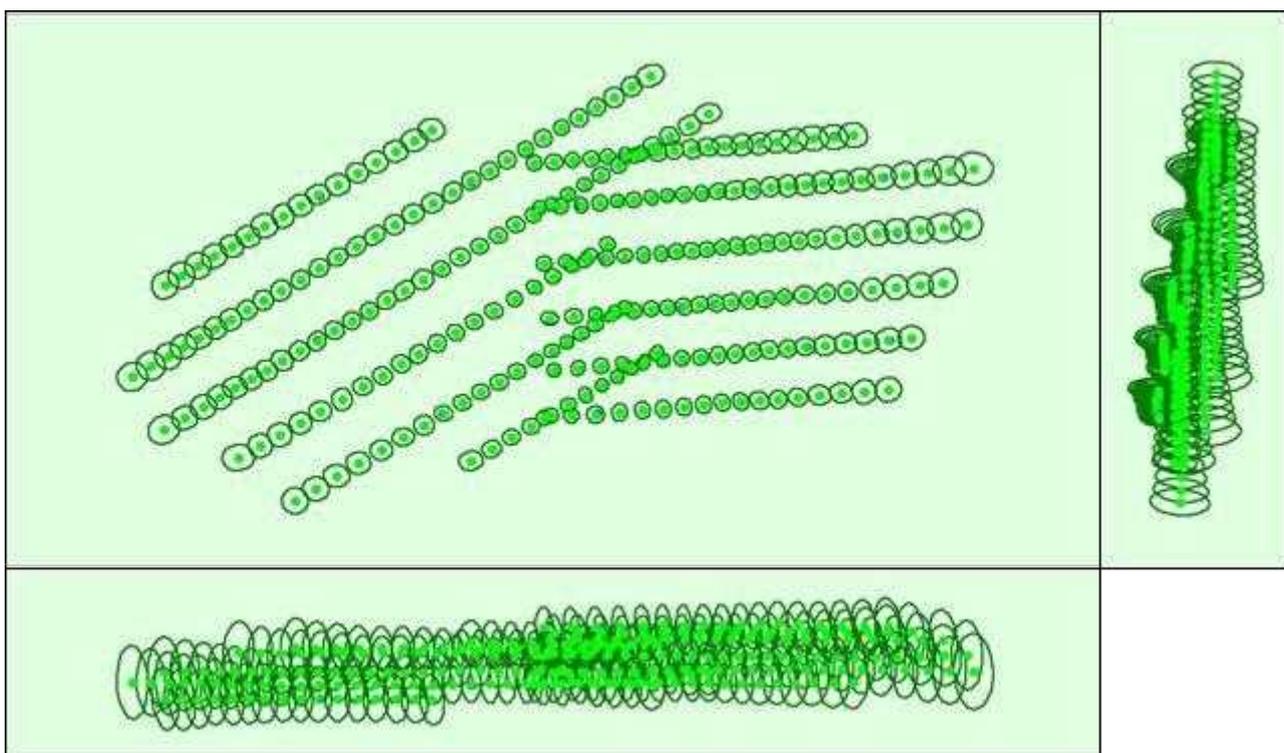


Figura 7.2: Bilanciamenti tra le posizioni iniziali dei GCP e le loro posizioni calcolate nella vista dall'alto (piano XY, in alto), vista frontale (piano XZ, in basso) e vista laterale (piano YZ, a lato). Le ellissi verde scuro indicano l'incertezza di posizione assoluta.



Posizione assoluta della fotocamera e incertezze sull'orientamento

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.169	0.163	0.339	0.014	0.014	0.005
Sigma	0.039	0.034	0.083	0.002	0.003	0.001

Bundle Block Adjustment Details

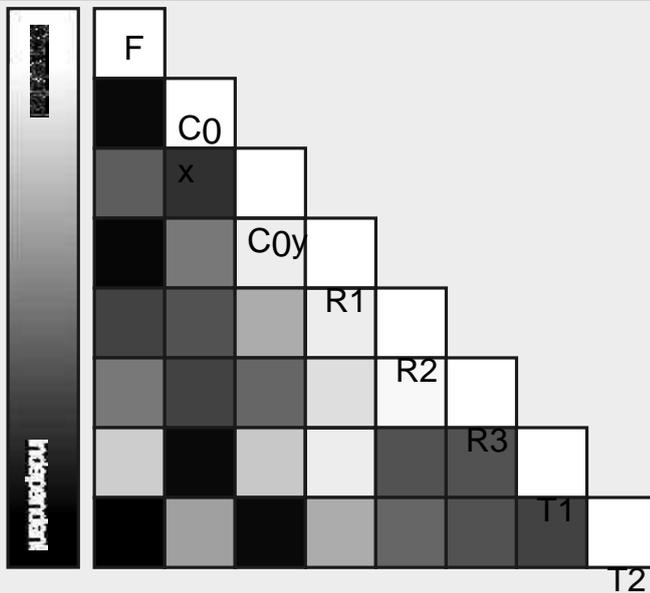
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	1222305
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	514947
Mean Reprojection Error [pixels]	0.092

Internal Camera Parameters

Camera	iXM-100_PhaseOneRSM35mmf/5.6_35.0_11664x8750 (RGB)
Sensor Dimensions	43.857 [mm] x 32.900 [mm]

EXIF ID: iXM-100\_PhaseOneRSM35mmf/5.6\_35.0\_11664x8750

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	9308.511 [pixel] 35.000 [mm]	5832.000 [pixel] 21.928 [mm]	4375.000 [pixel] 16.450 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Optimized Values	9533.501 [pixel] 35.846 [mm]	5836.925 [pixel] 21.947 [mm]	4337.259 [pixel] 16.308 [mm]	0.014	0.070	0.020	0.000	0.000
Uncertainties (Sigma)	1.250 [pixel] 0.005 [mm]	0.223 [pixel] 0.001 [mm]	0.244 [pixel] 0.001 [mm]	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000



La correlazione tra i parametri interni della telecamera determinata dalla regolazione del bundle.  
 Il bianco indica una correlazione completa tra i parametri, ad es. qualsiasi cambiamento in uno può essere completamente compensato dall'altro. Il nero indica che il parametro è completamente indipendente e non è influenzato da altri parametri.

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	64210	4592
Min	24073	250
Max	83183	16437
Mean	63375	4831

### 3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	398751
In 3 Images	75636
In 4 Images	23881
In 5 Images	7658
In 6 Images	4420
In 7 Images	2241
In 8 Images	1098
In 9 Images	534
In 10 Images	323
In 11 Images	156
In 12 Images	84
In 13 Images	73
In 14 Images	41
In 15 Images	23
In 16 Images	18
In 17 Images	6
In 18 Images	4

### 2D Keypoint Matches

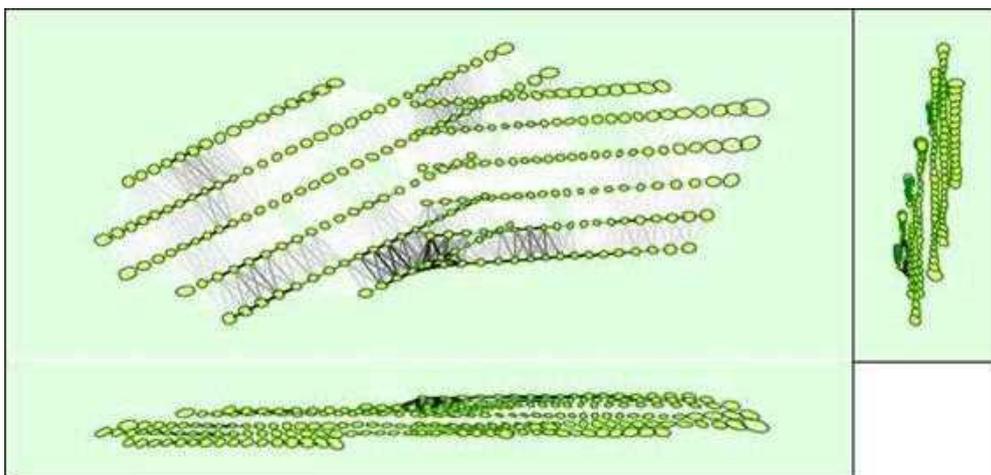


Figura 7.3: Posizioni delle immagini calcolate con collegamenti tra immagini abbinare. L'oscurità dei collegamenti indica il numero di punti chiave 2D corrispondenti tra le immagini. I collegamenti luminosi indicano collegamenti deboli e richiedono punti di collegamento manuali o più immagini.



## Relative camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.114	0.104	0.074	0.008	0.008	0.004
Sigma	0.035	0.025	0.026	0.002	0.002	0.001

## Geolocation Details

### Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	52.57	49.01	47.83
0.00	3.00	47.43	50.99	52.17
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.003132	-0.004167	0.006943
Sigma [m]		0.530904	0.485613	0.645527

\* Min Error e Max Error rappresentano intervalli di errore di geolocalizzazione compresi tra -1,5 e 1,5 volte la precisione massima di tutte le immagini. Le colonne X, Y, Z mostrano la percentuale di immagini con errori di geolocalizzazione all'interno degli intervalli di errore predefiniti. L'errore di geolocalizzazione è la differenza tra la posizione dell'immagine iniziale e quella calcolata. Si noti che gli errori di geolocalizzazione dell'immagine non corrispondono alla precisione dei punti 3D osservati.

### Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error*	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

\* Le immagini X, Y, Z rappresentano la percentuale di immagini con un relativo errore di geolocalizzazione in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance*	RMS [degree]
Omega	0.077
Phi	0.089
Kappa	0.110

\* Errore RMS di geolocalizzazione degli angoli di orientamento dato dalla differenza tra l'angolo di orientamento dell'immagine iniziale e quello calcolato.



## Initial Processing Details

### System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-1650 v3 @ 3.50GHz RAM: 32GB GPU: NVIDIA Quadro K2200 (Driver: 23.21.13.9133), NVIDIA Quadro K2200 (Driver: 23.21.13.9133), Mirage Driver (Driver: unknown)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

### Coordinate Systems

Image Coordinate System	ETRS89 / UTM zone 32N (egm2008)
Output Coordinate System	ETRS89 / UTM zone 32N (2D)

### Processing Options

Detected Template	Forestale_REV00*
Keypoints Image Scale	Custom, Image Scale: 0.5
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Geolocation Based Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

### Point Cloud Densification details

#### Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	9d:10h:17m:03s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

### Results

Number of Processed Clusters	4
Number of Generated Tiles	10
Number of 3D Densified Points	222472817
Average Density (per m <sup>3</sup> )	3.43

## DSM, Orthomosaic and Index Details

### Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	3 x GSD (7.79 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Medium
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: no
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: no GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 50
Time for DSM Generation	10m:55s
Time for Orthomosaic Generation	01h:42m:13s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

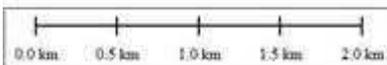
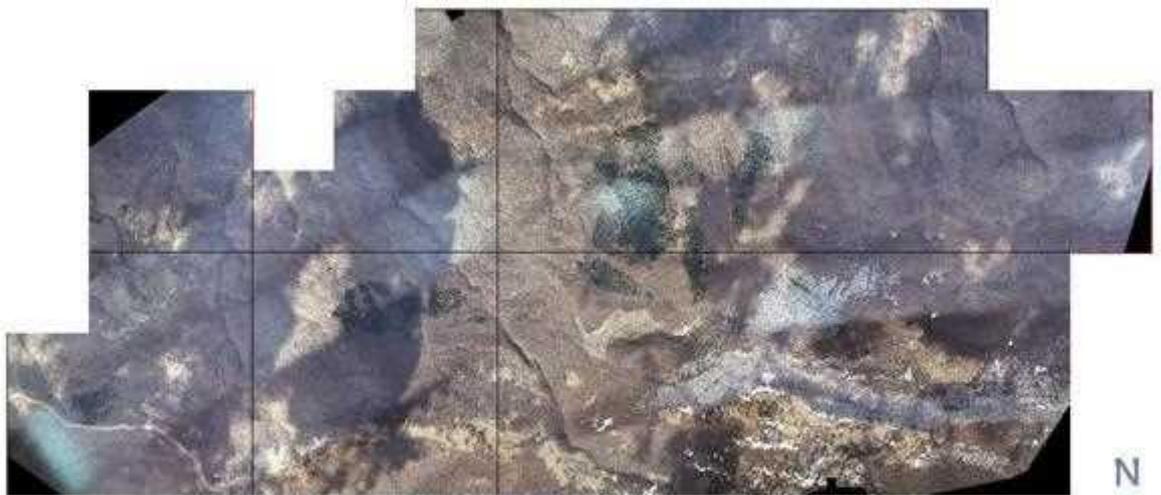


Figura 7.4: Ortofoto dell'area rilevata.



Figura 7.5: Esempio di porzione di ortofoto.



Figura 7.6: Esempio di porzione di ortofoto.

## 8. GENERAZIONE DTM E DSM

Mediante il software Terrasolid - Terrascan sono stati generati, attraverso tecniche di classificazione, il Modello Digitale del Terreno DTM (Figura 8.1) con Classe Ground (Last return) ed il Modello Digitale della Superficie Vegetata DSM (Figura 8.2) attraverso Classe MID e HIGH Vegetation (First return).

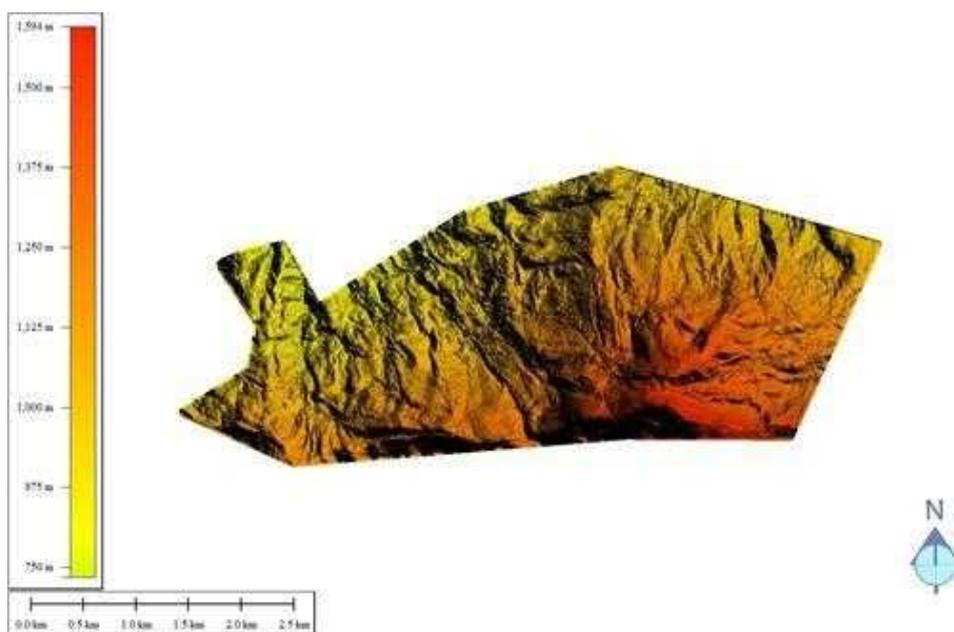


Figura 8.1: DTM dell'area rilevata.



Figura 8.2: DSM dell'area rilevata.

## 9. ESEMPI ESTRATTI DI DTM, DSM ED ORTOFOTO

Di seguito viene mostrata, a titolo esemplificativo, la medesima porzione di area nei tre layer differenti: “DTM”, “DSM Vegetato” ed “Ortofoto”.

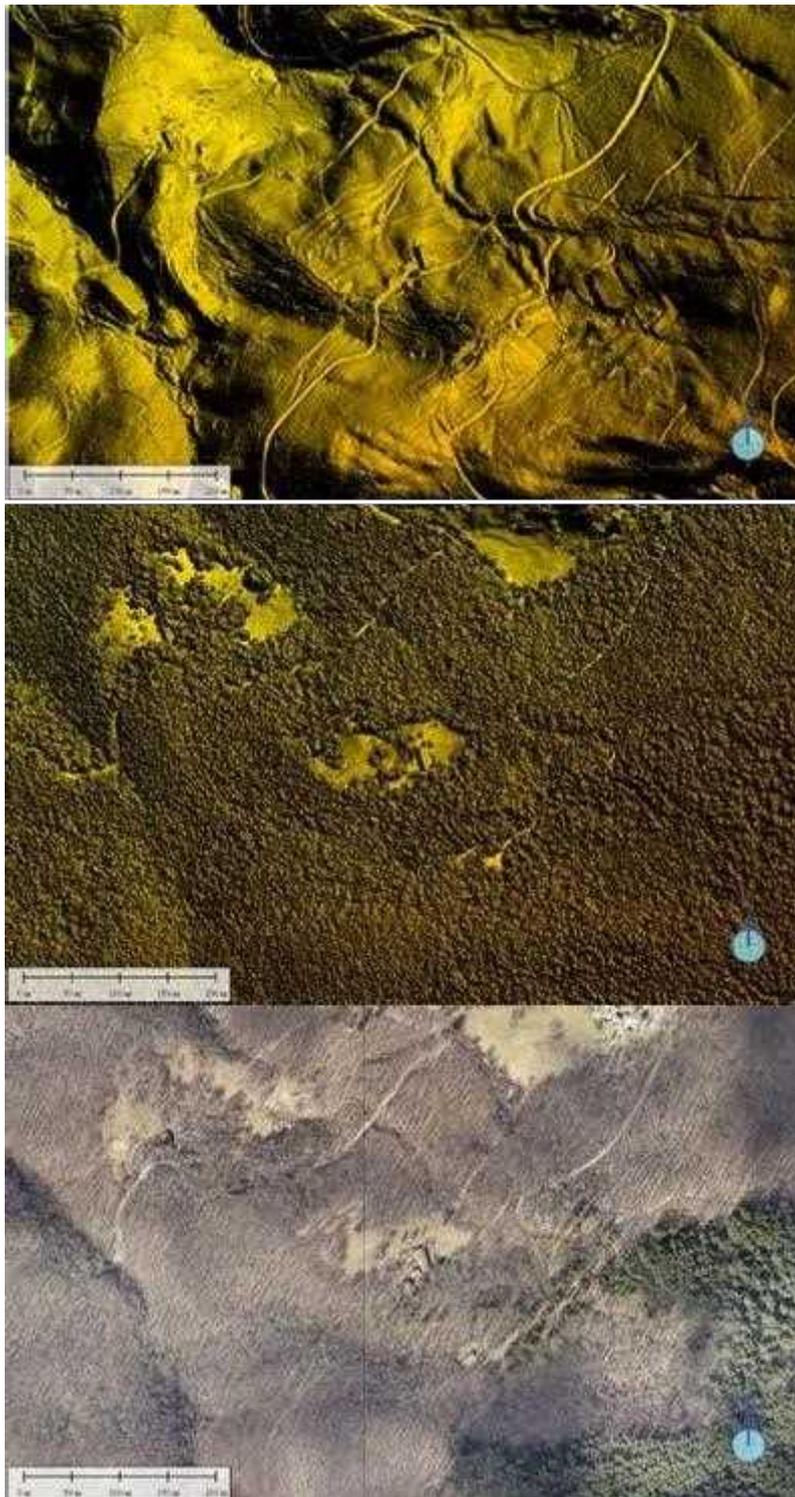


Figura 9.1: DTM in alto, DSM al centro e Ortofoto in basso.

Gli stessi 3 layer della stessa zona vengono di seguito mostrati ad una risoluzione più elevata per mostrarne il grado di dettaglio.



Figura 9.2: DTM in alto, DSM al centro e Ortofoto in basso.

Della stessa zona si riporta a titolo d'esempio una sezione, della larghezza di 20 m, ottenuta dalla nuvola di punti LIDAR in cui si possono apprezzare i dettagli del costruito, l'andamento del terreno e la ricostruzione tridimensionale degli alberi.

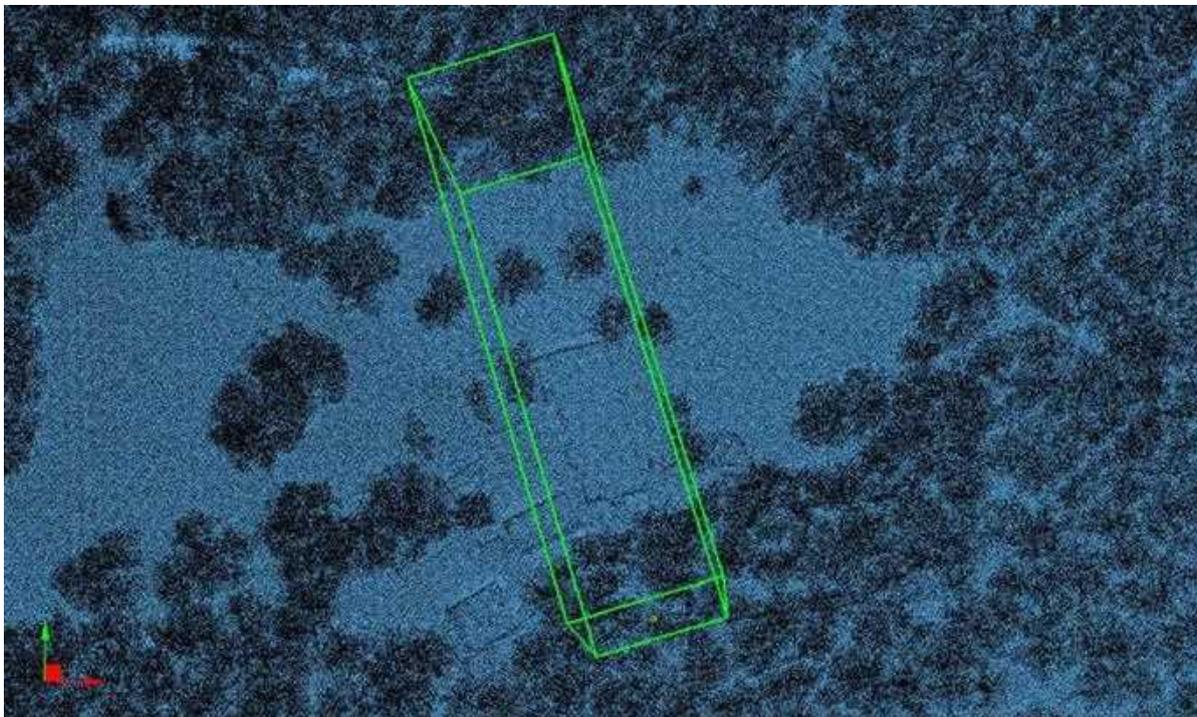


Figura 9.3: Bounding box della sezione profilo d'esempio.

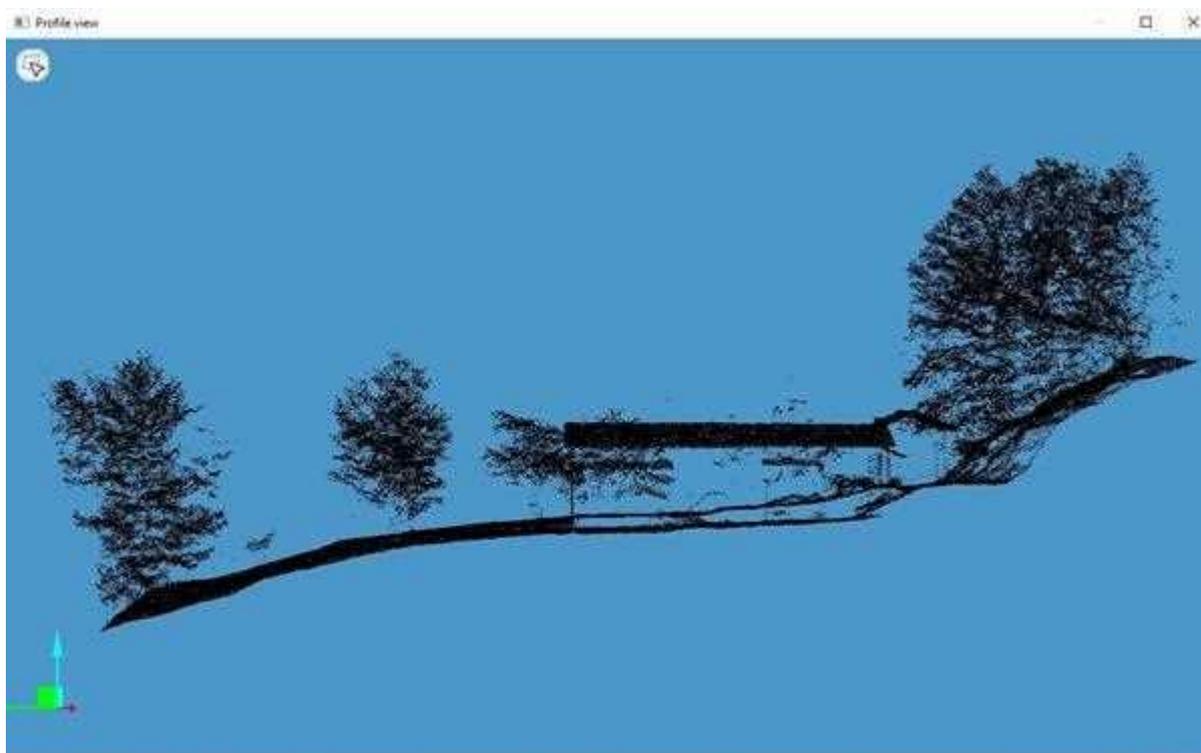


Figura 9.4: Sezione.

Nelle immagini seguenti che rappresentano due screenshot estratti da Terrasolid si può apprezzare l'accuratezza e la precisione nella modellazione degli alberi.

La notevole densità dei punti (fino a 300 pti/mq) ricostruisce le forme vegetali permettendo non solo di misurare le principali grandezze dendrometriche ma ne consente anche una loro classificazione. Ad esempio nella figura 9.6 risulta evidente la discriminazione tra latifoglie e conifere.

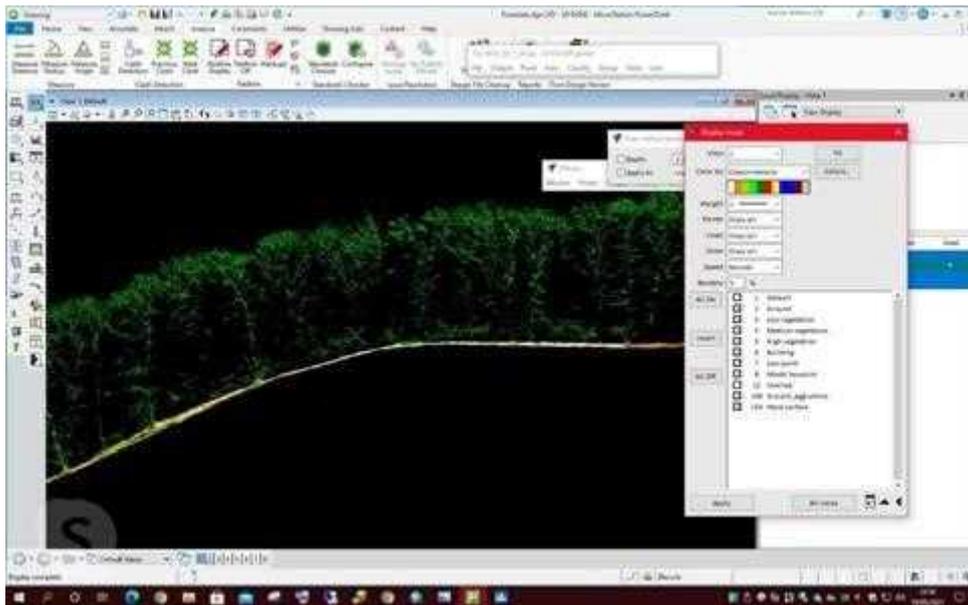


Figura 9.5: Profilo di sezione in Terrasolid.

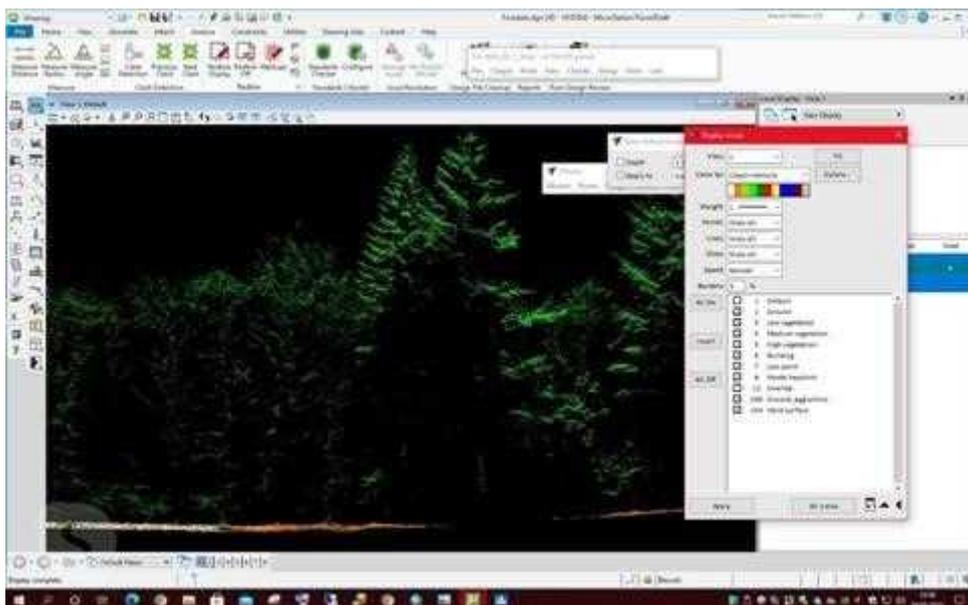


Figura 9.6: Profilo di sezione, differenza tra latifoglie a sinistra e conifere a destra.



## 10. DENDROMETRIA DA DATI LIDAR

Dalla ricerca bibliografica su precedenti studi in letteratura si comprende come la nuvola di punti restituita da un rilievo LiDAR sia un punto di partenza privilegiato da cui iniziare lo studio e come, nonostante la specificità dell'argomento, l'individuazione dei principali parametri dendrometrici sia ampiamente trattata. La maggioranza degli studi, però, riguarda le conifere perché grazie alla loro tipica forma conica e la loro disposizione regolare, l'individuazione del singolo albero è facilitata rispetto a popolamenti di latifoglie.

I metodi proposti prevedono o un approccio CHM-based, cioè modelli basati sull'altezza della chioma, o cloud-based, modelli che lavorano sull'intera nuvola di punti tridimensionale. Per questo lavoro si è scelto di adottare l'approccio CHM-based ideando un algoritmo density-based, cioè che si basa sulla densità spaziale dei punti avendo osservato come le chiome degli alberi di latifoglie risultano essere più dense in corrispondenza del tronco e man mano che ci si allontana da esso, si riduce. Più avanti vengono descritti i meccanismi di funzionamento degli algoritmi sull'individuazione dei singoli alberi e sul calcolo della biomassa. Gli algoritmi sono stati testati sulle aree campione in diverse condizioni per poter rappresentare al meglio la realtà vegetale. Il livello di successo del metodo density-based sull'individuazione dei singoli alberi, oltre al funzionamento dell'algoritmo in sé, dipende dalla risoluzione dei dati LiDAR e richiede almeno 25 punti al metro quadro per ottenere risultati precisi.

Abbiamo appurato inoltre che è importante effettuare i voli LiDAR nei mesi autunnali/invernali in condizione di leaf-off perché un'elevata densità di vegetazione con foglie comporta maggiori difficoltà nel distinguere le singole piante portando ad una fusione delle chiome e impedendo la rilevazione delle piante giovani presenti nel sottobosco.

Il secondo algoritmo, a partire dai singoli alberi individuati precedentemente, ha lo scopo di associare ad ogni albero di note coordinate e altezze, la densità di biomassa corrispondente utilizzando le curve allometriche che rappresentano il legame tra l'altezza di una pianta e il suo diametro suddivise per specie.

L'inventario forestale utilizzato ha fornito informazioni sulle specie arboree presenti sul territorio e la loro disposizione spaziale. Combinando la carta forestale all'algoritmo si riesce a caratterizzare ogni albero in termini di coordinate spaziali, altezza, biomassa e specie.



## 10.1. METODO DI MODELLAZIONE

Dagli studi in letteratura si comprende come l'analisi dei dati LiDAR per la definizione della spazialità degli alberi singoli o di foreste sia ampiamente trattato ed argomentato. In particolare, si sono osservati due tipi principali di approcci: single tree-based e area-based. Il primo metodo prevede di raccogliere informazioni dettagliate sui singoli alberi per poi estendere, successivamente, i dati riferiti al singolo, all'intera popolazione limitrofa tramite regressioni o metodi statistici. Il secondo, invece, consiste nell'individuare aree con popolamenti di arbusti ad altezza simile al quale associare caratteristiche medie quali diametro, volume, biomassa (Yu et al., 2010).

CHM è l'acronimo di Canopy Height Model, anche chiamato DCM (Digital Canopy Model), ed è un elaborato ottenibile sottraendo localmente dal modello digitale di superficie (DSM) il modello digitale del terreno (DTM). Il Modello Digitale delle Chiome conterrà, quindi, valori di altezza dei punti appartenenti alle chiome rispetto al terreno. Per l'individuazione dei singoli alberi, a partire da dati CHM-based, sono possibili due metodologie: la prima, "treetop detection prior to crown segmentation", esegue l'identificazione della cima dell'albero e successivamente individua i relativi confini della chioma; la seconda, "crown segmentation prior to treetop detection", effettua il procedimento inverso, ovvero, individua prima la chioma e solo successivamente, entro i confini della chioma stessa, identifica la cima.

Le chiome sono state individuate tramite un algoritmo che combina le due metodologie, basandosi sia sulla forma delle chiome che sulla rilevazione degli alberi con dei vettori a partire dalle cime. Tali risultati sono stati confrontati con le proiezioni delle chiome e con alberi fotogrammetricamente delineati.

Per fare un esempio concreto sul nostro dataset, nell'area di saggio a castagno su 55 alberi misurati in campo, l'algoritmo ne individua 46, siamo quindi al 83% di successo nell'individuazione delle singole piante. Pertanto il metodo implementato funziona bene ma tende ad omettere alberi piccoli e a fondere chiome interconnesse di alberi caducifogli, portando ad una sottostima del numero di alberi.

CHM fornisce le stime delle altezze degli alberi ad intervalli discreti mentre i massimi locali vengono utilizzati invece per definire le posizioni delle cime degli alberi: questa integrazione conduce ad una buona efficienza anche quando si è in presenza di una bassa densità di nuvole di punti.

L'approccio CHM-based è efficace per aree a vegetazione regolare soprattutto nei popolamenti di conifere ma può essere meno efficace laddove la densità di punti LiDAR sia bassa oppure dove le chiome abbiano forme geometriche complesse o ancora in presenza di foreste miste o sottobosco, tipico dei popolamenti di latifoglie.

Si nota come in letteratura gli studi esistenti si concentrino soprattutto sull'individuazione di piante appartenenti alla specie delle conifere, le cui caratteristiche peculiari sono, oltre a mantenere la chioma durante il periodo invernale, il tipo di foglia ed in particolare la sua forma ad ago ed il fatto che il tronco cresce molto in altezza rispetto alle ramificazioni laterali portando ad una forma piramidale dell'albero, tipica di abeti, larici e alcune specie di pini e cipressi. Per tale motivo nel caso delle conifere si hanno dei picchi ben visibili in corrispondenza della cima degli alberi stessi (Koch, Heyder and Weinacker, 2006) e questa caratteristica, insieme alla geometria aghiforme della foglia, facilita la loro singola individuazione.

Nel caso delle latifoglie, le loro caratteristiche peculiari sono il fatto che la maggior parte di esse sono decidue, ovvero perdono le foglie nelle stagioni autunno/inverno, le foglie hanno una forma larga e hanno un tronco che tende ad aprirsi ad ombrello con una chioma a forma di globo o ovoidale rigogliosa e frondosa. In figura 10.1 si mostra il confronto tra conifere e latifoglie (Jean-Romain Roussel et al., 2017).

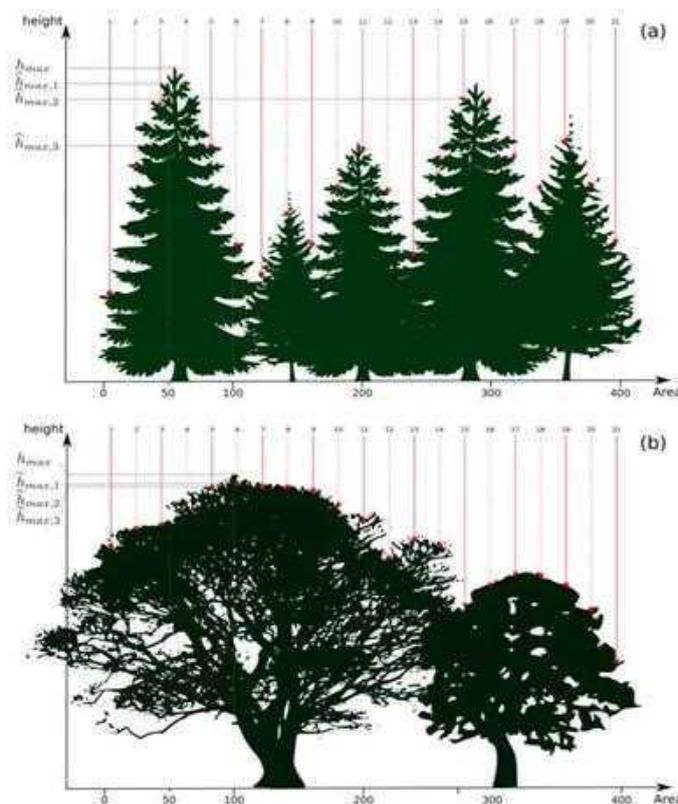


Figura 10.1: Vista laterale di conifere (in alto) e alberi decidui (in basso).

La sovrapposizione delle chiome rende difficile la penetrazione dei raggi laser del LiDAR, portando a commettere imprecisioni legate alla presenza del sottobosco. Dalle precedenti considerazioni sulla vegetazione e tenendo conto degli studi pregressi dalla letteratura, si è scelto di utilizzare l'approccio basato su un algoritmo density-based che si basa sui punti a densità massima.

Da un'analisi si è osservato che, ragionando in termini di densità di punti, questa è massima nell'intorno del centro dell'albero e man mano diminuisce allontanandosi da esso, figura 10.2, (Latella et al., 2021).

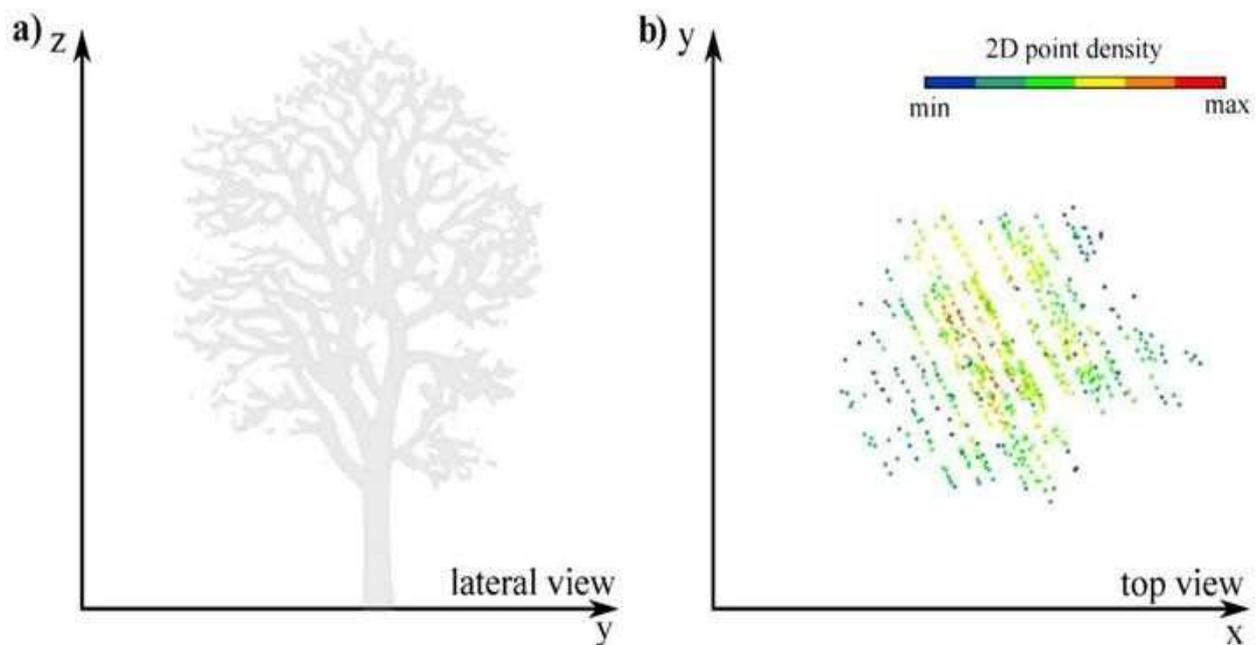


Figura 10.2: a) vista laterale della nuvola di punti che costituisce un singolo albero; b) rappresentazione densità di punti: vista dall'alto (nel piano  $z=0$ ) della nuvola di punti dell'albero in figura a). (Latella et al., 2021).

Confrontando le caratteristiche tra gli approcci che si basano sui massimi locali (figura 10.3 parte superiore del grafico, (Latella et al., 2021) e quello proposto sulla densità dei punti (figura 10.3 parte inferiore del grafico,) per diverse specie di vegetazione, graficamente si può osservare come la condizione di leaf-off(c) tipica delle latifoglie nei mesi autunnali/invernali in termini di densità, permette la rilevazione anche di alberi di altezza minore che caratterizzano il sottobosco. La presenza delle foglie (b) confonde l'identificazione delle specie mentre per il popolamento di aghifoglie (a) si evince come il rilevamento degli stessi avviene in maniera efficace per entrambi gli approcci.

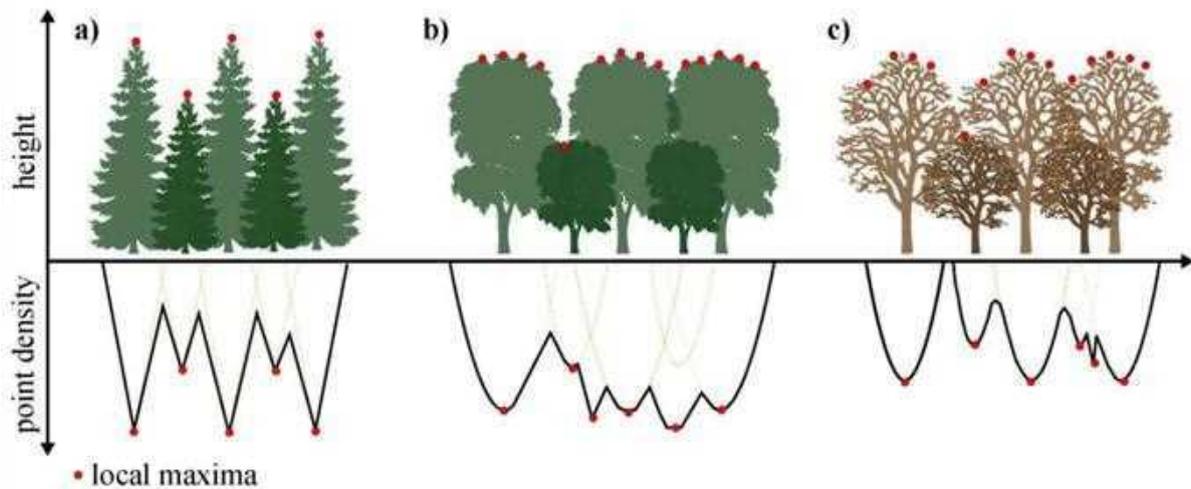


Figura 10.3: Confronto tra approccio massimi locali (in alto) e approccio density-based (in basso) per a) popolazione di aghifoglie, b) bosco di latifoglie nei mesi primaverili/estivi (con foglie), c) bosco di latifoglie nei mesi autunnali/invernali (senza foglie), condizione leaf-off. (Latella et al., 2021).

## 10.2. Identificazione dei singoli alberi

Il file in input necessario al funzionamento dell'algoritmo è una nuvola di punti LiDAR in formato LAS, contenente per ogni punto le coordinate x e y, che indicano la posizione, e il valore z, relativo alla quota, espressa come altezza relativa. L'altezza relativa si ricava sottraendo dall'altezza assoluta la quota del suolo. Con la nostra metodica possiamo scegliere, grazie ad un settaggio iniziale, se identificare solo la posizione dei tronchi o se calcolare anche l'altezza delle relative punte (quindi le cime degli alberi). Per quanto riguarda la sola individuazione della posizione dei tronchi, l'algoritmo procede nel seguente modo: per ridurre i tempi di computazione, la nuvola di punti in input originale è stata sfoltita da tutti quei punti al di sopra di una quota di soglia impostata dall'utente (oltre il quale il punto è impostato di default come un outlier) e al di sotto di una soglia inferiore per rimuovere la bassa vegetazione (arbusti, cespugli, rovi, ecc.). Si considera come soglia inferiore, un'altezza caratteristica utilizzata nelle scienze forestali, in particolar modo nella dendrometria, per convenzione pari a 1.40m dal suolo che coincide anche con quel valore a cui si misurano i diametri delle piante. Si procede con il calcolo del raggio più frequente e della densità dei punti attorno ad ogni punto nell'area del raggio più frequente.

Si identifica la posizione del tronco come il punto a massima densità all'interno dell'area definita dal raggio più frequente. Infine, si individuano gli eventuali punti vicini che conteggiano più piante ma che, in realtà, appartengono alla stessa, con l'apposito filtro di rimozione dei tronchi a doppio conteggio.

Scegliendo di calcolare anche le cime degli alberi, il procedimento è analogo a quello precedentemente descritto ma con l'accortezza di spostare le coordinate al di sotto del punto di massima altezza per individuare proprio la punta dell'albero.

### 10.3. Risultati della metodologia applicata alle due aree test

In figura 10.4 si mostra la posizione spaziale delle 2 aree circolari campionate, entrambe con diametro di 30m, mentre in tabella 10.1 si riportano le loro caratteristiche principali.



Figura 10.4: Posizione relativa delle due aree test, a sx castagno, a dx faggio.

NOME AREE	COORDINATE	DISPOSIZIONE ALBERI	PERIMETRO [m]	SUPERFICIE [m <sup>2</sup> ]
Castagno	44° 28' 17.0369"N, 9° 48' 31.6111"E	Non regolare	94	706
Faggio	44° 28' 16.5940"N, 9° 48' 50.9827"E	Non regolare	94	706

Tabella 10.1: caratteristiche delle aree test.

Le coordinate, latitudine e longitudine, indicano la posizione del centro dell'area. L'algoritmo precedentemente descritto è stato applicato alle due zone oggetto di studio e il risultato da esso fornito è stato confrontato con il numero reale di alberi. Quest'ultimo è stato ricavato dal conteggio manuale degli alberi stessi durante le attività in campo.



NOME AREE	DISPOSIZIONE ALBERI	NUMERO REALE DI ALBERI	NUMERO REALE DI ALBERI SOPRA SOGLIA DI VISIBILITA'	NUMERO ALBERI INDIVIDUATI CON ELABORAZIONE LIDAR
Castagno	Non regolare	55	46*	46
Faggio	Non regolare	124	73**	69

Tabella 10.2: Confronto numero effettivo alberi con quello fornito dall' algoritmo.

Dai risultati ottenuti si evince come l' algoritmo individui correttamente in automatico la posizione e il numero degli alberi soprattutto se questi hanno un' altezza minima tale che la globosità della chioma, indipendentemente dalle dimensioni, sia visibile dall' alto. Non verranno conteggiati o rilevati alberi la cui chioma si fonda con le adiacenti o che, sotto un' altezza soglia, sia coperta dalle chiome degli alberi più alti.

Filtrando i dati di campo con una soglia desunta dalle metriche di segmentazione:

\* alberi superiori a 11 metri per il castagno;

\*\* alberi superiori a 14 metri per il faggio;

notiamo che il conteggio automatico delle piante è estremamente preciso.

Anche in letteratura infatti si è visto come uno dei limiti per l' individuazione dei singoli alberi sia il fatto che, laddove le chiome si fondono le une con le altre, la corretta determinazione del singolo tronco è molto complicata.

L' algoritmo, in presenza di chiome intrecciate e di punti a circa la stessa quota, non è in grado di identificare correttamente i valori massimi di ciascuna pianta, portando così ad una sottostima degli alberi effettivi.

Avendo testato l' algoritmo per ogni tipologia possibile di disposizione spaziale della vegetazione esistente, per densità di punti inferiore o superiore, e siccome l' algoritmo non richiede l' inserimento di alcun parametro sito specifico, esso si può utilizzare anche se non si è completamente a conoscenza delle caratteristiche ambientali del sito.

È bene ricordare, però, che le missioni in campo sono sempre utili sia per comprendere la bontà dei dati LiDAR, sia per confrontare i siti rilevati dal LiDAR durante il volo con la conformazione attuale delle aree di interesse, sia per paragonare dati LiDAR con la disposizione spaziale della vegetazione e verificare la presenza o meno di isole/barre laterali generate da più recenti fenomeni alluvionali. Per estendere l' algoritmo riguardante l' identificazione dei singoli alberi a tutta l' area, è stato necessario normalizzare le altezze.

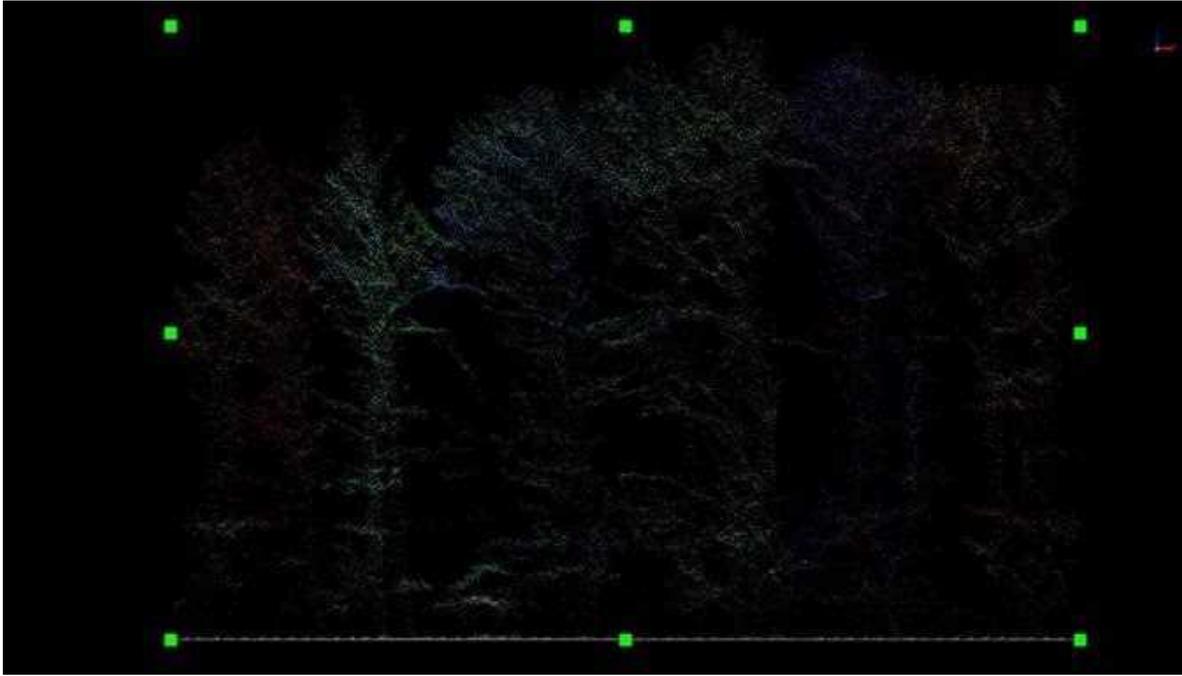


Figura 10.5: Sezione dell'area test del castagno, con colori differenti si distinguono gli alberi individuati

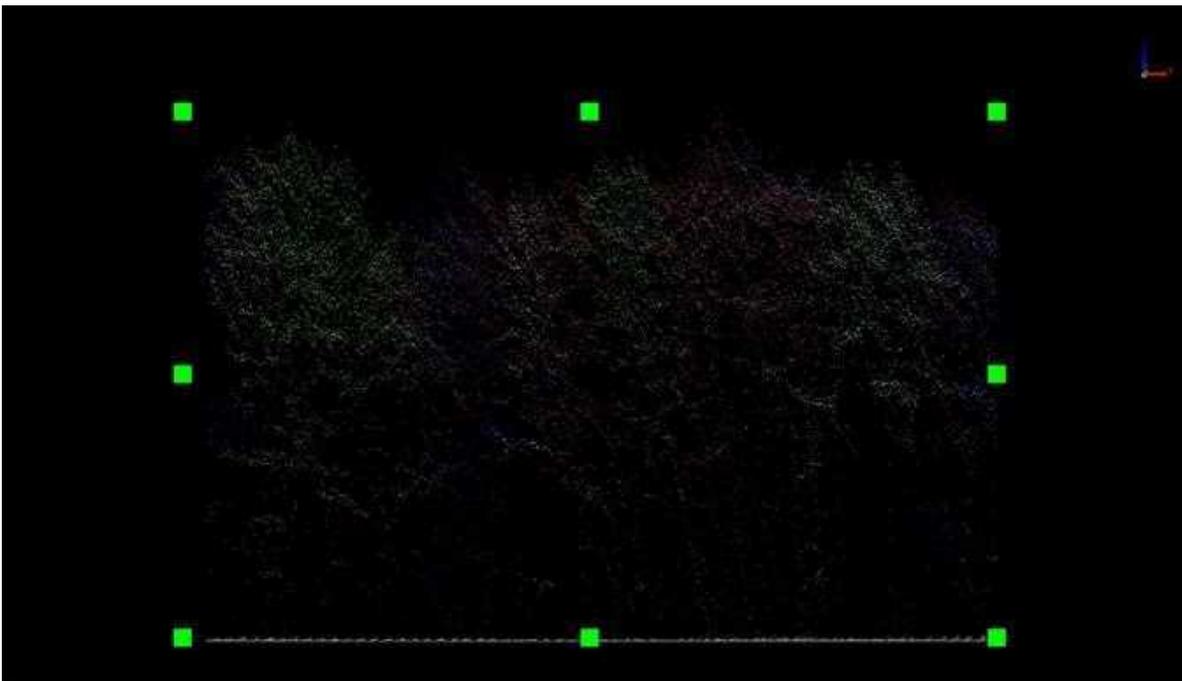


Figura 10.6: Sezione dell'area test del faggio, con colori differenti si distinguono gli alberi individuati

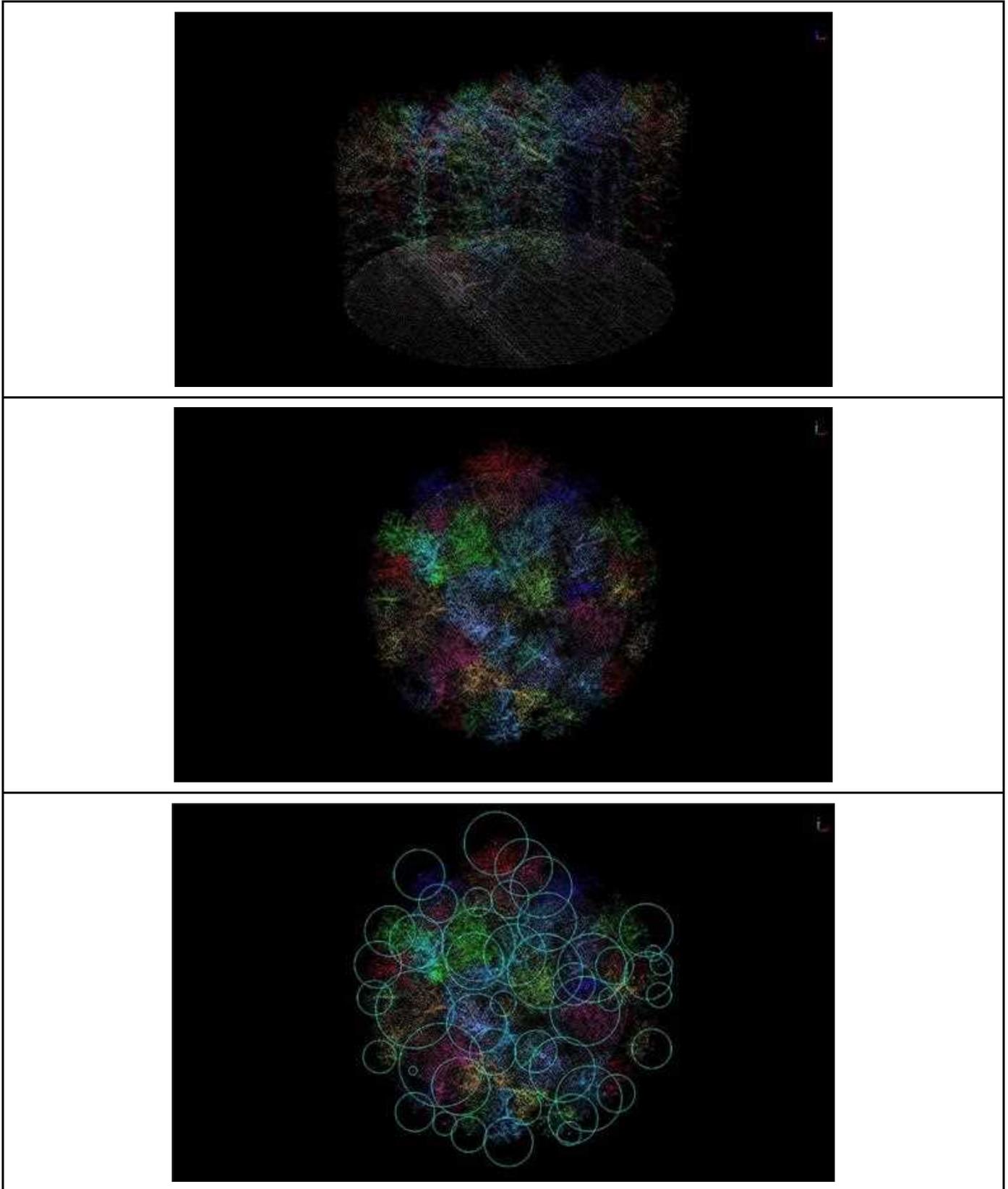


Figura 10.7: Viste oblique e dall'alto della segmentazione e riconoscimento delle singole piante nell'area a castagno.

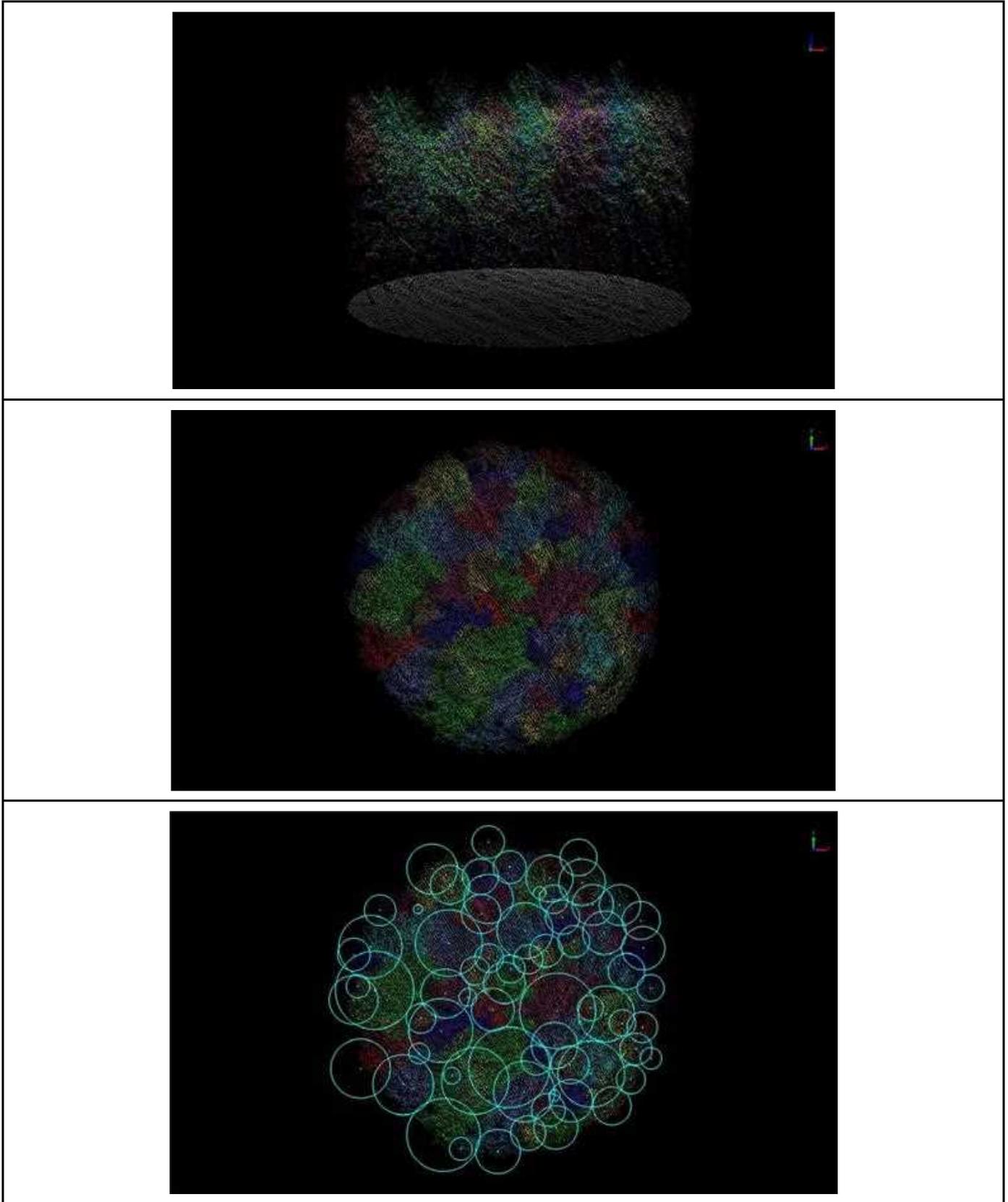


Figura 10.8: Viste oblique e dall'alto della segmentazione e riconoscimento delle singole piante nell'area a faggio.

## 11. CALCOLO DELLA BIOMASSA ARBOREA

La geometria della piante considerate è molto complessa perché il tronco tende ad aprirsi ad ombrello con i rami ma nel seguente studio si assume come un cilindro di base pari ad un cerchio, cioè il diametro della pianta, e di altezza pari all'altezza dell'albero. Si tratta della cosiddetta legge di Da Vinci e successivamente dimostrata da Eloy nel 2011, risalente al XV secolo, e secondo la quale, appunto, la somma delle sezioni dei rami coincide con la sezione stessa del tronco. Tale assunzione è necessaria per il calcolo della densità di biomassa.

### 11.1. Descrizione delle curve allometriche

Ricavata l'altezza delle piante dall'analisi dei dati LIDAR (ultimo ritorno meno il primo ritorno), si possono utilizzare le curve allometriche. Le curve allometriche sono delle relazioni descritte da leggi di potenza che permettono di descrivere le caratteristiche di una pianta. Sulla base dei punti misurati in campo, viene realizzato un polinomio di regressione, ovvero un polinomio interpolante che non passerà esattamente per punti ma ne effettuerà una approssimazione, solitamente nella forma:

$$y = A * y^B$$

Dove A e B sono due costanti caratteristiche: A è un parametro che varia in base alla tipologia di organismi considerati mentre B è l'esponente che modifica le dimensioni delle grandezze coinvolte (West et al. 1997). Le curve allometriche che si utilizzeranno saranno quelle diametro-altezza, cioè quelle che legano l'altezza della pianta al diametro che mediamente presenta una pianta di quella altezza.

In tabella 11.1 vengono riportati, per le diverse specie arboree, i valori dei parametri A, B e gwd, green wood density (Miles and Smith, 2009), che indica la densità di legno fresco necessari per calcolare la biomassa.

SPECIE	gwd [Mg/m <sup>3</sup> ]
Castagno	1,230
Faggio	0,941

Tabella 11.1: Parametri allometrici suddivisi per tipologia di specie arborea e gwa (Miles and Smith, 2009).

Nella figura 11.1 e 11.2 vengono mostrate le curve allometriche delle due specie arboree target, definite tramite polinomio di regressione dai dati di campo e linea di tendenza polinomiale.

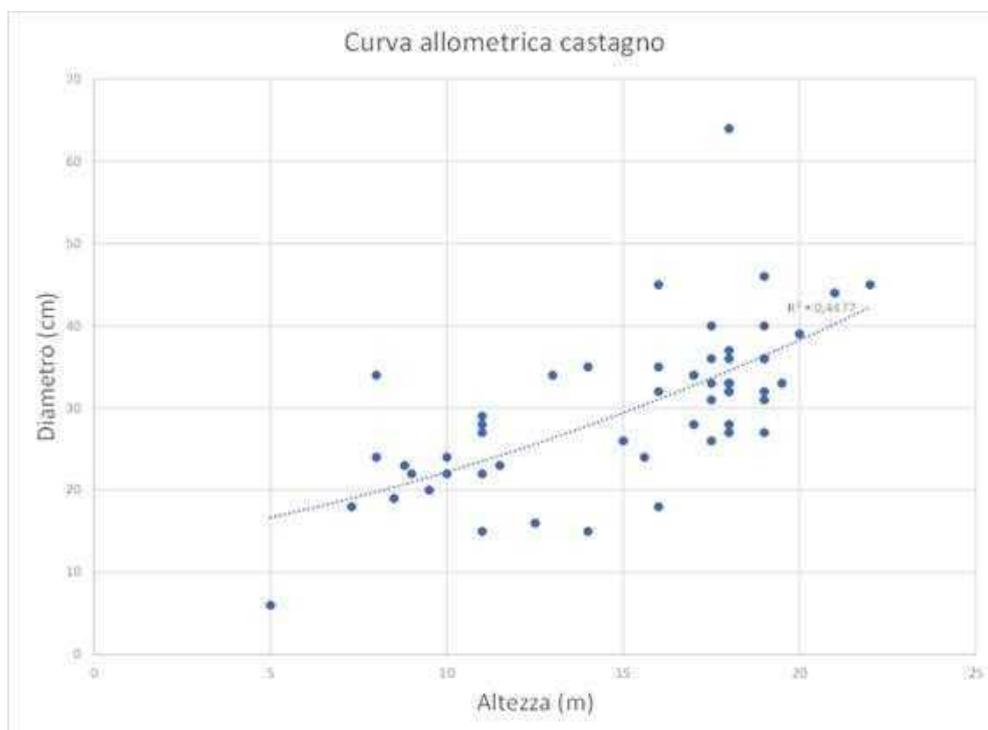


Figura 11.1: Curva allometrica del castagno

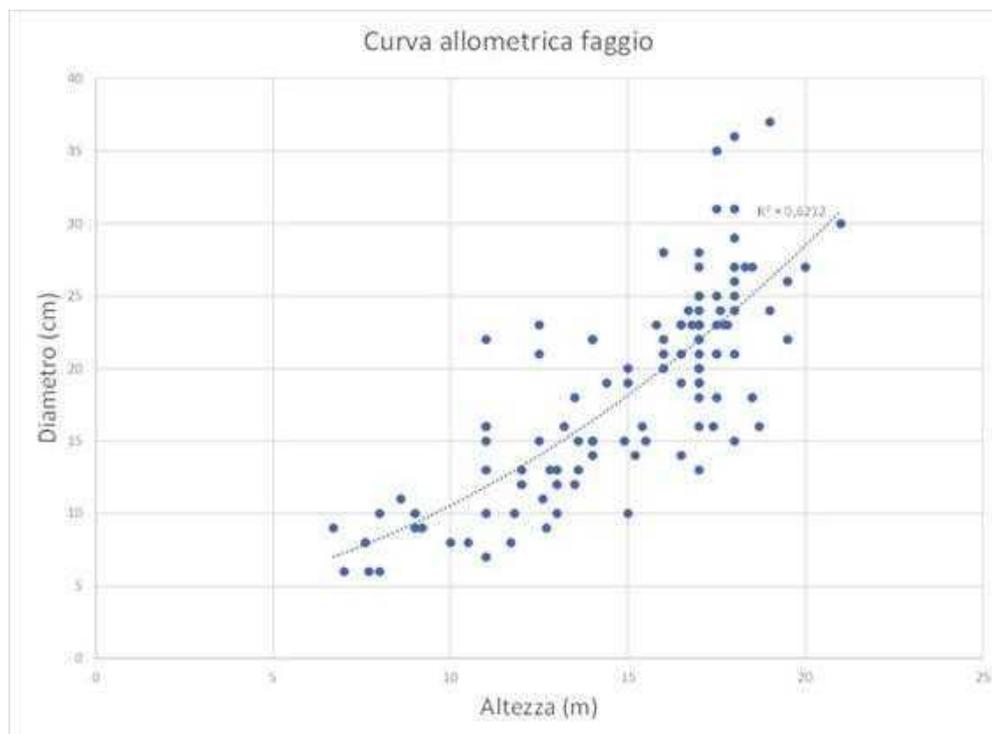


Figura 11.2: Curva allometrica del faggio

A partire dall'output generato dal precedente algoritmo riguardante l'individuazione di singoli alberi e dalla carta forestale che individua le aree con le diverse specie arboree, si può procedere con il calcolo della biomassa complessiva che tiene conto di tutti gli alberi e della specie a cui appartengono in una determinata area.

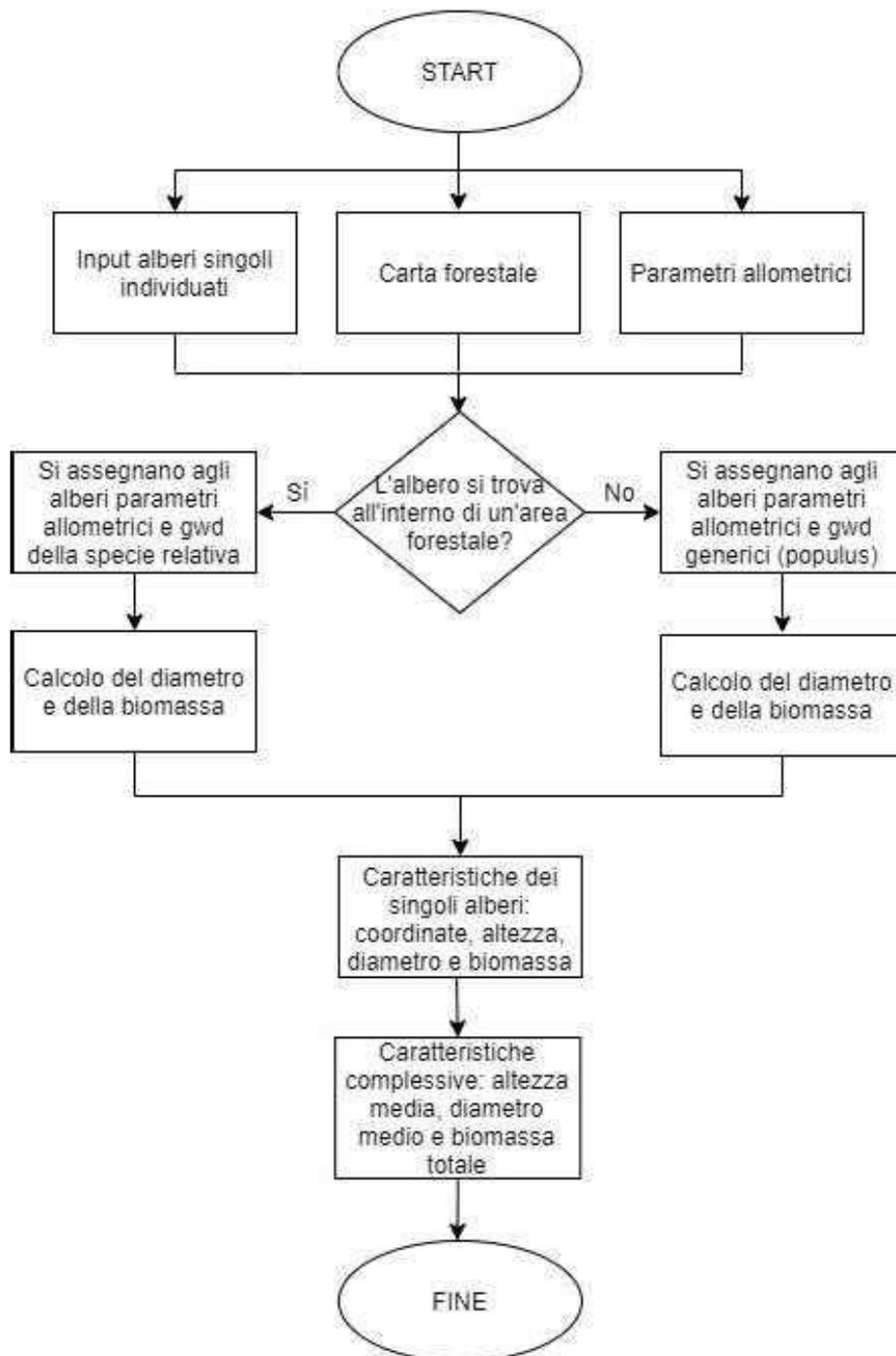


Figura 11.3: Flow chart calcolo della densità di biomassa.

Come si evince dal flow chart in figura 11.3, all'algorithmo vengono forniti in ingresso:

- 1) il file contenente la posizione degli alberi ricavati dall'algorithmo precedente, riguardante appunto l'individuazione dei singoli alberi a partire dalla nuvola di punti LiDAR,
- 2) i parametri allometrici,
- 3) le aree reperite dalla carta forestale suddivise per le specie.

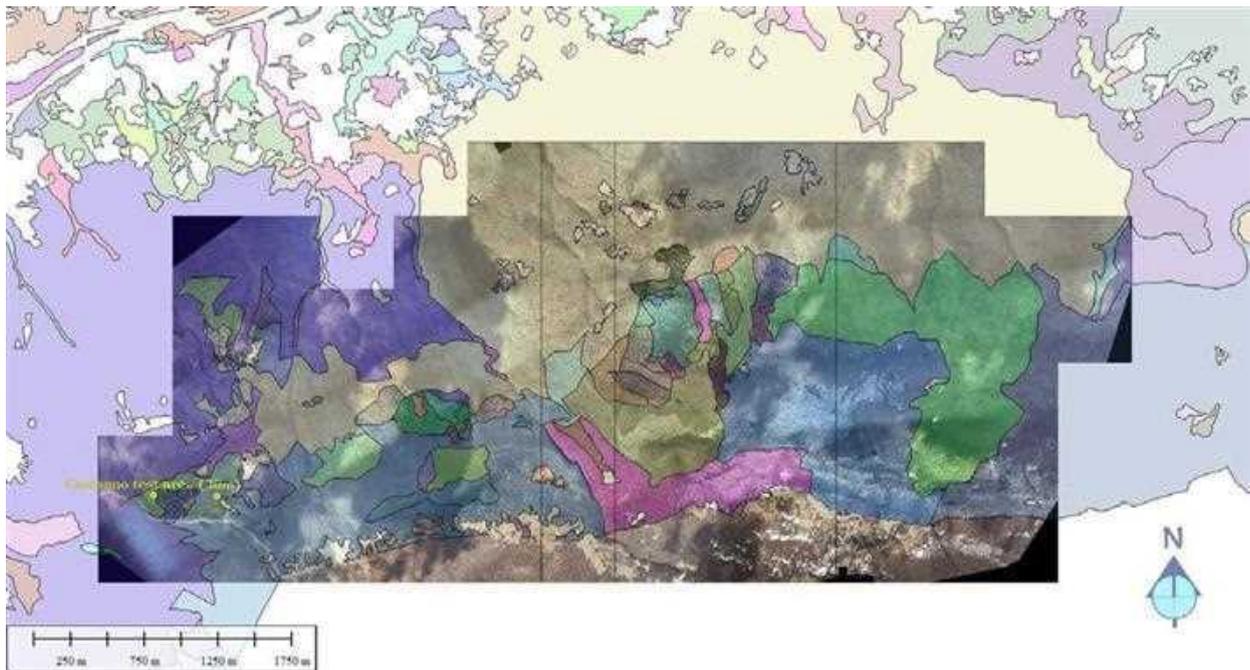


Figura 11.4: Carta Forestale dell'intera area di studio con visualizzazione dei macro-raggruppamenti sovrapposta in trasparenza all'ortofoto generata.

Grazie all'inventario forestale si hanno a disposizione informazioni precise sulla disposizione spaziale delle specie arboree. Combinando la carta forestale all'algorithmo si riesce a caratterizzare ogni albero in termini di coordinate spaziali, altezza e specie.

In ingresso, l'algorithmo assegna loro i parametri allometrici e la densità di legno verde (gwd) relativi alla specie appartenente. Successivamente si calcolano il diametro,  $D$ , in metri, e la densità di biomassa,  $V$ , in tonnellate.

L'espressione per il calcolo del diametro, si ricava dall'inverso della relazione allometrica:

$$H = A \cdot D^B$$

Si esplicita quindi il diametro:

$$D = \left(\frac{H}{A}\right)^{\frac{1}{B}}$$

Dove l'altezza H è espressa in metri.

Si prosegue con il calcolo della densità di biomassa, sia dei singoli alberi conoscendo l'altezza attraverso la relazione sottostante, sia la biomassa complessiva procedendo con la somma delle singole biomasse appartenenti alla stessa specie.

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H \cdot \lambda \cdot \rho}{4}$$

Dove: - D è il diametro misurato all'altezza del petto ovvero quel diametro calcolato ad una altezza dal suolo pari a 1,4m; . H è l'altezza dell'albero; 1 è il numero di tronchi al metro quadro; p è la densità di legno fresco, cioè il parametro gwa, green wood density.

Nella formula sopra riportata, il calcolo della densità di biomassa non comprende la biomassa fogliare perché, come si evince dalla tabella riepilogativa sottostante, si tratta di una piccola percentuale che può essere trascurata. La tabella 11.2 riassume gli autori e le relative percentuali di fogliame trovate da studi in letteratura.

ARTICOLI IN LETTERATURA	LEGNI DURI (querce, abeti, fassini, etc.)	LEGNI DOLCI (betulle, castagni, pioppi, etc.)
Ker (1980)	2%	8%
Freedman et al. (1982)	dal 2% al 6%	dal 7% al 19%

Tabella 11.2 - Studi reperiti in letteratura sulle percentuali di fogliame in base al tipo di legno.

Per il calcolo della biomassa vi è quindi bisogno delle grandezze sopra riportate e in particolare della relazione che sussiste tra il diametro,  $D$ , e l'altezza,  $H$ , delle specie arboree. I files di output generati sono due: uno fornisce le caratteristiche dei singoli alberi attraverso relazioni allometriche specie-dipendenti quali coordinate ed altezza di ogni albero (forniti dall'output dell' algoritmo precedente), il diametro (calcolato con la curva allometrica) e la biomassa (calcolata a partire da diametro e altezza); l'altro fornisce le caratteristiche generali e complessive dell'area in esame contenente i punti che ricadono all'interno delle aree, l'altezza media degli alberi, il diametro medio, la densità e la biomassa totale espressa in tonnellate.

### 11.2. Calcolo della biomassa applicato alle 2 aree campione

In tabella 11.3 si riportano i risultati della biomassa calcolata sulle 2 aree campione.

NOME AREE	BIOMASSA misurata [Quintali]	BIOMASSA calcolata [Quintali]
Castagno	267	235
Faggio	174	153

Tabella 11.3: Densità di biomassa calcolata per ogni area campione.

### 11.3. Calcolo della biomassa applicato all'intera area

In tabella 11.4 si riportano i risultati della biomassa calcolata sull'intera area di studio, suddivisi per le due specie d'interesse.

SPECIE	BIOMASSA [Tonnelate]
Castagno	109.574
Faggio	113.174

Tabella 11.4: Densità di biomassa totale calcolata sull'intera area

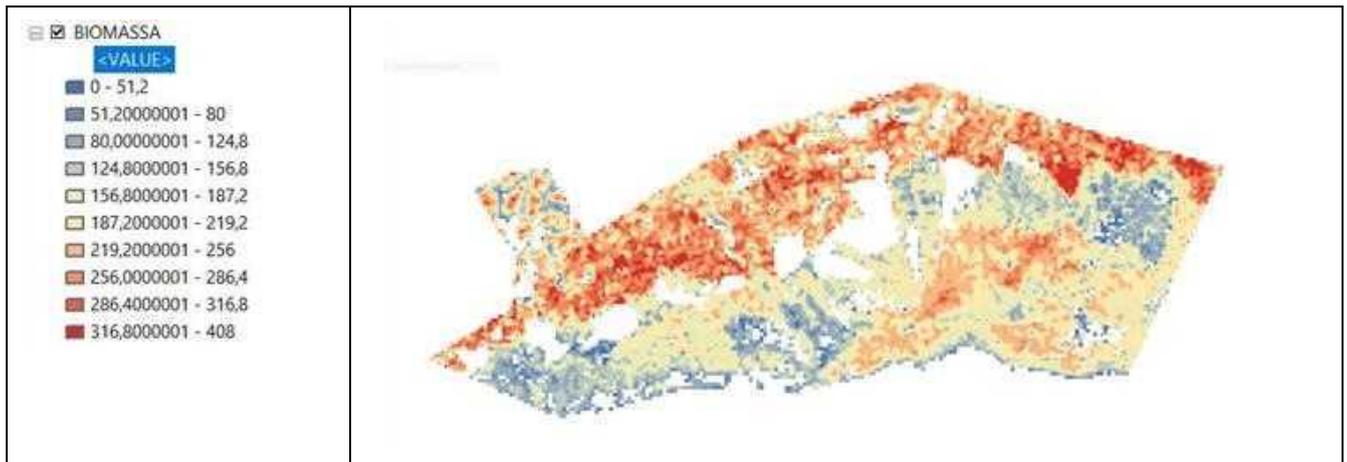


Figura 11.5: Raffigurazione spaziale delle celle di calcolo della biomassa, valori in legenda in quintali.

#### 11.4. Conclusioni

In conclusione, notiamo (Tabella 11.3) che in entrambe le aree campione, con la metodologia proposta, si ottiene una stima della biomassa sottostimata di circa il 13%, sicuramente un risultato soddisfacente in termini statistici ed assoluti, ma che porta con sé alcune criticità riscontrate che possono essere, almeno in parte, corrette o comunque attenuate in future applicazioni:

- numero di aree campione: una sola area campione per specie non è significativa sotto il profilo statistico per definire con sufficiente confidenza la curva allometrica caratteristica e sitospecifica della specie indagata. In letteratura si utilizzano almeno 10 aree campione, opportunamente distribuite sull'area di studio;
- forma delle aree campione: essendo che tutti calcoli di elaborazione GIS sui database raster sono effettuati a livello di pixel, qualunque sia la risoluzione spaziale associata, e che per definizione esso è quadrato, le aree test dovrebbero essere di fatto quadrate, per una reale comparazione 1:1;
- valore GWD (green wood density): il valore di densità e massa del legno verde utilizzato qui è stato desunto dalla letteratura, in particolare da uno studio effettuato in Nord America, è palese che questo valore dovrebbe essere opportunamente parametrizzato in accordo alle condizioni locali.