



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI SCIENZE AGRARIE E ALIMENTARI

**Corso di laurea triennale in valorizzazione e tutela dell'ambiente e
del territorio montano**

**Sostituzione dei vettori energetici fossili attraverso l'impiego di biomasse
forestali**

Relatore:

Prof. Giorgio Vacchiano

Laureando:

Pietro Raineri

Matricola 890327

Anno Accademico 2018/2019

Indice

1. Introduzione	4
1.1 Cambiamento climatico e energie rinnovabili	5
1.2 Produrre energia da boschi gestiti	6
1.3 Criticità del settore forestale in Italia	7
1.4 Il cippato di legno	8
1.5 Tipologie di caldaie a cippato	11
1.6 Emissioni derivanti dalla combustione del cippato	12
1.7 Obiettivo della tesi	16
2. Materiali e metodi	17
2.1 L'azienda	17
2.2 Area di studio	18
2.3 Fasi del lavoro	23
2.3.1 Operazioni selvicolturali	23
2.3.2 Operazioni di esbosco	25
2.3.3 Stagionatura	29
2.3.4 Trasporto in azienda	31
2.3.5 Cippatura	33
2.3.6 Stoccaggio	36
2.3.7 Combustione in caldaia	37
2.4 Elaborazioni	42
2.5 Stime economiche	43

3. Risultati	46
3.1 Operazioni selvicolturali	46
3.2 Trasporto del legname tagliato alla superficie di stagionatura	47
3.3 Trasporto del legname stagionato in azienda	49
3.4 Cippatura	50
3.5 Stime economiche	51
3.6 Bilancio di emissioni di CO ₂	53
4. Discussione	54
5. Conclusioni	58
6. Bibliografia	59
7. Sitografia	61

1. INTRODUZIONE

L'elaborato pone l'importanza che possono avere le biomasse legnose, in particolar modo in questa tesi si andrà a descrivere le caratteristiche del cippato, sottoprodotto legnoso usato dalla ditta Stella Alpina. Durante lo svolgimento dell'elaborato, nel primo capitolo si andrà dapprima ad effettuare una panoramica sui consumi da fonti energetiche rinnovabili in Italia, successivamente ci si addenterà nel descrivere in modo dettagliato tutte le caratteristiche del biocombustibile impiegato dalla ditta. Nel secondo capitolo sarà descritta l'azienda agricola e tutte le tecnologie messe a disposizione necessarie all'ottenimento del cippato. Si descriveranno tutti i processi, dalle operazioni di esbosco fino alla completa combustione del materiale. Nel terzo capitolo si terrà un riassunto di tutti i calcoli effettuati in precedenza in modo da riassumere l'importanza e il peso in termini economici ed ambientali dei dati ottenuti.

Nel capitolo 4 è presente una discussione in cui si riassume e si analizzano tutti i risultati ottenuti in precedenza con i punti salienti che tale elaborato intende raggiungere.

Il capitolo 5 rappresenta le conclusioni di tutto l'elaborato e quindi le riflessioni finali di questo lavoro.

Ho intrapreso questa tipologia di elaborato, perché ho sempre avuto il desiderio di lavorare per una ditta che facesse operazioni selvicolturali. L'interesse è stato maggiore per il fatto che attraverso il tirocinio svolto ho contribuito in prima persona allo studio e alla comprensione del generatore a biomasse aziendale. Tale risultato mi ha fatto comprendere l'importanza di questa energia rinnovabile.

1.1 Cambiamento climatico e energie rinnovabili

Negli ultimi decenni le politiche ambientali europee hanno rivolto con interesse sempre crescente l'adozione di energie sempre più sostenibili e più efficienti dal punto di vista ambientale. L'incentivazione di differenti energie rinnovabili hanno in comune lo scopo di soppiantare le tradizionali fonti energetiche ancora largamente utilizzate da tutti gli stati del mondo. Soppiantarle per via dell'impatto ambientale che causano a tutti gli ecosistemi. "La situazione italiana riguardante in particolare il settore termico, è caratterizzata da una quota di poco meno del 20% di energia proveniente da fonti rinnovabili (FER). Nel nostro paese, nel 2017 sono stati consumati circa 11,2 Mtep di energia da FER, di cui 10,3 Mtep in modo diretto (attraverso caldaie individuali, stufe, camini, pompe di calore, impianti di sfruttamento del calore geotermico) e circa 0,9 Mtep sotto forma di consumi di calore derivato soprattutto da sistemi di teleriscaldamento alimentati da biomasse" (Ministero dello Sviluppo Economico, 2017).

Attualmente nel 2019 è in programma il completamento e l'emanazione della seconda parte di incentivi contenuti nel decreto ministeriale sulle energie rinnovabili (DM Fer2). Tali incentivi avranno lo scopo supportare gli imprenditori che per la prima volta vorranno effettuare un investimento relativo al mondo delle energie a biomassa.

Tabella 1: Settori di produzione di energia elettrica rinnovabile.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ENERGIA DA FER	10.226	10.603	9.934	10.687	10.539	11.211
PRODUZIONE LORDA DI CALORE DERIVATO DA FER	592	838	966	950	928	957
CONSUMI FINALI FER	9.635	9.765	8.968	9.783	9.611	10.255
DI CUI BIOENERGIE	6.946	6.959	6.097	6.894	6.677	7.265
DI CUI SOLARE	155	168	180	190	200	209
DI CUI GEOTERMICO	118	119	111	114	125	131
DI CUI ENERGIA DA PDC	2.415	2.519	2.580	2.584	2.609	2.650

*PDC (pompe di calore) *FER (energia proveniente da fonti rinnovabili)

FONTE: (Ministero dello Sviluppo Economico, 2017).

1.2 Produrre energia da boschi gestiti

“A livello globale, le foreste occupano circa il 30,6% della superficie delle terre emerse, contengono circa l’80% del carbonio epigeo e circa il 40% di quello globalmente presente nei suoli. Le foreste, assorbendo biossido di carbonio e inquinanti gassosi e rilasciando ossigeno e particolari gas in traccia, agiscono come importanti regolatori nell’accumulo di gas serra, e scambiano annualmente con l’atmosfera oltre il 60% di tutto il carbonio assorbito dalla biosfera. Inoltre, la capacità delle coperture forestali di ridurre l’albedo, di modificare la temperatura dell’aria e di interagire con i venti, con le precipitazioni e con la chimica della bassa atmosfera determina un’azione diretta delle foreste sul sistema climatico” (www.fao.org).

L’assorbimento di gas serra e la loro riduzione nell’atmosfera può essere incentivato attraverso la valorizzazione di boschi gestiti che secondo criteri di sostenibilità contribuiscono molto di più alla protezione del clima rispetto a quelli abbandonati, poiché la valorizzazione dei prodotti legnosi nei settori industriali ed energetici consente di sostituire le materie prime fossili e minerali: quali acciaio, cemento, gas, petrolio e carbone. Perciò, rinunciare a gestire in modo sostenibile un bosco corrisponde a una fonte energetica rinnovabile che non viene valorizzata dall’uomo. In linea generale, la gestione forestale sostenibile genera un risparmio di CO₂ 10 volte maggiore dell’abbandono dei boschi.

Tabella 2: Confronto tra la riduzione di anidride carbonica di una bosco abbandonato rispetto ad un bosco gestito.

	EMISSIONE t CO ₂	SEQUESTRO t CO ₂	SOSTITUZIONE t CO ₂	t CO ₂ RIDUZIONE TOT.
BOSCO ABBANDONATO 1 ha	889	-1.035	0	-146
BOSCO GESTITO 1 ha	2.653	-2.650	-1.607	-1.603

FONTE: (Baù et al, 2014).

La tabella soprastante effettua un confronto tra una bosco abbandonato, cioè una superficie boscata che per diversi anni non è stato controllato attraverso operazioni selvicolturali e un bosco gestito, ossia una superficie che regolarmente presenta operazioni selvicolturali (dalle vare tipologie di taglio, alle più semplici potature), tutto in un arco temporale di 300 anni. Entrambe le superfici boscate determinano delle emissioni, prevalentemente per via delle reazioni che avvengono all’interno del ciclo del carbonio in particolar modo, il bosco gestito determina un’emissione maggiore per via della biomassa usata per scopi energetici e per tutte le operazioni necessarie ad ottenere tale biocombustibile.

Così, grazie agli studi effettuati: “un ettaro di bosco gestito è in grado mediamente di generare un risparmio di 1.603 t CO₂ ovvero 10 volte maggiore al risparmio conseguibile con una foresta vergine (146 t CO₂), questo poiché il legname prelevato attraverso la sua valorizzazione energetica sostituisce vettori energetici fossili” (Schwarzbauer, 2012).

1.3 Criticità del settore forestale in Italia

Uno dei problemi che affligge il settore energetico delle biomasse forestali è l'abbandono sempre più progressivo dei boschi e quindi un abbandono di materiale potenzialmente sfruttabile per la produzione di energia. La società occidentale, oggi preleva molto meno legname rispetto al secolo scorso e questo ha portato a notevoli mutamenti della filiera di valorizzazione a cascata del legno. Un settore che oltre a garantire benefici per il clima porta innumerevoli effetti positivi anche per gli indicatori socio-economici. “Non gestire il 10% della superficie boscata dell'Austria fino al 2025 si perderebbero di conseguenza circa 19.000 posti di lavoro nella filiera di valorizzazione industriale ed energetica del legno ed estendendo tale visione ai paesi confinanti, in particolar modo all'Italia che è una notevole importatrice di legname, si verificherebbe una riduzione dell'import di legname dall'Austria addirittura del 50% causando una perdita di 100.000 posti di lavoro” (Schwarzbauer, 2012).

Attraverso questo studio si evidenzia maggiormente il problema sociale che si sta verificando nella filiera del legno austriaca ma anche italiana. Un ulteriore problema che affligge il nostro paese è l'importazione illegale di biomassa e pellet dall'est europeo. Questo determina in primis, un aumento della deforestazione dei boschi dell'est e in contemporanea una minore utilizzazione delle risorse forestali locali creando di fatto un grande squilibrio sociale ed ambientale.

“Per regolamentare e prevenire il commercio illegale di legname in Europa, dal 3 marzo 2013 è ufficialmente entrato in vigore il Regolamento (EU) 995/2010, meglio noto come EUTR” (EUTR, 2013).

Tale regolamento vieta l'immissione e il commercio di tutti i prodotti legnosi e i suoi derivati presenti nell'Unione europea. Questa normativa ha il compito di regolamentare che tutte le imprese europee del legno devono impegnarsi a valorizzare la rintracciabilità dell'origine legale della materia prima in modo da permettere una gestione forestale più sostenibile.

1.4 Il cippato di legno

Uno dei sottoprodotti forestali utili per il settore energetico italiano è il cippato di legno. Esso è un prodotto ottenuto dalla cippatura di interi fusti e di residui delle utilizzazioni boschive ma anche agronomiche, esso rappresenta un efficiente metodo per l'utilizzo energetico alternativo ai combustibili fossili.

Le caratteristiche qualitative del cippato di legno a uso energetico sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 3: Le classi qualitative del cippato.

CLASSE QUALITATIVA	A1plus	A1	A2	B1
CONTENUTO IDRICO	$M_{10} \leq 10$	$M_{25} \leq 25$	$M_{35} \leq 35$	DEVE ESSERE SPECIFICATO
CONTENUTO IN CENERI	$A \leq 1,0$	$A_{1,0} \leq 1,0$	$A_{1,5} \leq 1,5$	$A_{3,0} \leq 3$
POTERE CALORIFICO	$Q \geq 4,5$	$Q_{3,6} \geq 3,6$	$Q_{3,1} \geq 3,1$	DEVE ESSERE SPECIFICATO

*M (% sul tal quale) *A (% sul peso secco) *Q (kWh/kg)

FONTE: (NORMA ISO 17225-4, 2014).

La qualità del cippato e il suo costo sono influenzati da tre fattori predominanti:

- Le caratteristiche del materiale di partenza ovvero: la tipologia di legname, lo stato sanitario della pianta e il contenuto idrico
- La tipologia con cui si effettua la cippatura: caratteristiche della cippatrice impiegata e n° di operatori coinvolti nell'attività
- La tipologia di mercato del biocombustibile

Tabella 4: Caratteristiche economiche del cippato di legno.

	MATERIA PRIMA	PREZZO €/t	PREZZO €/MWh
CIPPATO A1plus	TRONCO	130-135	40
CIPPATO A1	TRONCO	115-125	31-34
CIPPATO A2	TRONCO	90-95	29-31
CIPPATO B1	TRONCO E RAMAGLIE	55-60	25-27

FONTE: (Baù et al, 2014).

Come abbiamo precedentemente accennato il cippato è ottenuto dalla triturazione del legno e di conseguenza avrà le stesse caratteristiche chimiche-fisiche del legno di partenza, ma con una versatilità molto differente.

Figura 1: Equivalenze volumetriche del legno.



1 m³ tondo 1,4 msa*spacconi 2 msr**legna 2,5 msr cippato 0,7 msr pellet

*msa=metro stero accatastato **msr=metro stero riversato (1 metro*1 metro*1 metro)

FONTE: (Berno, 2014).

Il metro stero accatastato è un'unità di misura che comprende oltre che il volume del legname, anche il volume degli spazi occupati dall'aria. Mentre il metro stero riversato è della stessa natura dell'msa ma applicato su legna non accatastata.

A parità di contenuto idrico e di peso, biocombustibili di diverso tipo e specie legnosa hanno potere calorifico quasi identico. Il potere calorifico non è altro che la quantità massima di energia prodotta nella combustione, nell'unità di peso-volume. Esso si misura in KJ/Kg.

Esempi di poteri calorifici di vari combustibili sono elencati nella tabella sottostante, questi dati sono importanti per permettere l'effettuazione di conversioni energetiche.

Tabella 5: I poteri calorifici dei principali combustibili.

COMBUSTIBILE	POTERE CALORIFICO MJ/Kg
GASOLIO	35,58
METANO	34,53
GPL	46,05
LEGNO (M25)	15,49

* Legno avente il 25% di contenuto idrico

FONTE: (Baù et al, 2014).

1.5 Tipologie di caldaie a cippato

Le caldaie, a biocombustibili legnosi sono macchine impiegate per la produzione di calore, ma attraverso sistemi di cogenerazione sono utilizzate anche per la produzione di energia elettrica. “Tali caldaie, possono essere distinte in due categorie: caldaie a griglia fissa e caldaie a griglia mobile. Il generatore a griglia fissa, è munito di un focolare fisso adatto all’impiego di biomasse solide aventi un basso contenuto idrico ($M < 35\%$) e con un basso contenuto di cenere ($A < 3\%$) mentre, per quanto riguarda le caldaie a griglia mobile sono caratterizzate da potenze medio grandi da circa 100 KW fino ad alcuni MW, impiegati sia nel settore residenziale sia in quello industriale. La caratteristica principale di questa tipologia di caldaia è quella di avere una griglia composta da elementi mobili che favoriscono l’avanzamento della biomassa” (Berno, 2014).

Secondo i dati delle maggiori ditte costruttive di generatori a biomasse, la scelta del focolare mobile permette un utilizzo di biomasse con un contenuto idrico più elevato rispetto alla media e con una produzione di cenere potenzialmente più elevato (Berno, 2014).

Entrambe le tipologie di caldaie sono munite di sistemi di raffreddamento utili per ridurre al minimo la fusione delle ceneri che possono compromettere la vita utile dei materiali costruttivi incidendo inoltre sui costi di manutenzione.

1.6 Emissioni derivanti dalla combustione del cippato

In una moderna caldaia a biomasse si raggiunge un'elevata qualità della combustione determinando di conseguenza la riduzione della produzione di incombusti carboniosi e di fuliggine. Nel caso della tossicità della fuliggine, risulta 5-10 volte inferiore alla fuliggine di un'auto diesel. In una stufa a legna di ultima generazione, le emissioni si mantengono molto basse e ad elevate temperature nella camera di combustione, la composizione chimica del particolato risulta molto simile a quella di una normale caldaia a cippato automatica. Nel caso di una stufa a legna tradizionale la tossicità del particolato invece risulta molto simile a quella di una normale vettura diesel, mentre se si è in condizioni di funzionamento non regolare (legna umida), la stufa può produrre un particolato inorganico avente una tossicità anche 100 volte superiore rispetto a quella di un'auto diesel.

Negli ultimi anni si è assistito ad una costante riduzione di PM. Mentre le vecchie stufe e caldaie emettono ancora 100 mg/MJ di PM, i più recenti studi rilevano per i moderni apparecchi domestici valori nel range 47-28 mg/MJ e per le moderne caldaie (come una qualsiasi caldaia aziendale), valori compresi tra 18 e 6 mg/MJ.

La combustione delle biomasse genera differenti tipi di particolato con proprietà e impatti sulla salute umana significativamente diversi. Questi composti, devono essere necessariamente distinti per una corretta valutazione attraverso l'impatto che generano sulla qualità dell'aria.

Si distinguono in due macro categorie:

- Prodotti della combustione incompleta
- Particolato derivato dalla componente non carboniosa del biocombustibile

Nel primo punto, tali prodotti della combustione incompleta (PIC) comprendono:

- il particolato solido primario che si presenta in forma di fuliggine ed è composto essenzialmente da carbonio elementare.
- i composti condensabili organici primari in forma di gocce liquide o condensati in particelle solide.
- i composti organici volatili (VOC).

Nel secondo punto, il particolato comprende i costituenti delle ceneri del combustibile (K, Na, Ca, Zn, Cl, S, Mn, Mg, P e altri) che portano alla formazione di particolato inorganico (come sali di KCl e ossidi CaO).

“La pericolosità dei PM non è associata tanto alla quantità emessa da un determinato generatore ma è la composizione chimica delle stesse a determinare il grado di tossicità. Nei vecchi apparecchi sono prevalenti le cattive condizioni di combustione, che conducono alla produzione di PM composto per oltre il 90% da particolato organico e fuliggine. Tali incombusti carboniosi organici scompaiono quasi completamente nel caso delle moderne caldaie a legna, cippato e pellet il cui PM è composto quasi solo da sali inorganici (soprattutto KCl). Riassumendo, i moderni generatori a biomasse producono una quantità di PM inferiore del 70-90% rispetto ai vecchi apparecchi ed una tossicità notevolmente inferiore” (Angelino et al, 2014).

Tabella 6: Confronto tra valori medi del fattore di emissione di vecchi e moderni apparecchi.

IMPIANTI A BIOMASSA DI PICCOLA SCALA	CO (mg/MJ)	PM (mg/MJ)
MODERNA CALDAIA A CIPPATO	168,1	15,3
MODERNA CALDAIA A LEGNA	700,4	14,2
MODERNA STUFA A LEGNA	1048,2	47,2
VECCHIA STUFA A LEGNA	2355,4	74,2
VECCHIA CALDAIA A LEGNA	12632,3	106,1

FONTE: (Angelino et al, 2014).

Grazie alla possibilità di una gestione sostenibile del bosco e alla convenienza economica di un generatore a biomasse agroforestali rispetto a una caldaia a combustibili fossili, varie aziende floricole hanno intrapreso la strada di un combustibile alternativo. Strada che ha permesso un risparmio notevole in termini economici e di emissione dei gas serra.

Tabella 7: Rappresentazione del consumo di CO₂ equivalente per ciascuna tipologia di combustibile.

SISTEMA DI RISCALDAMENTO	CO ₂ eq. Kg/MWh
LEGNA DA ARDERE	19,27
CIPPATO FORESTALE	26,04
PELLET	29,38
GASOLIO	318,91
GPL	276,49
METANO	251,15

FONTE: (Angelino et al, 2014).

Secondo la tabella 7, si considerano i risparmi di CO₂ effettuati per produrre energia termica. Nel livello di emissioni di CO₂ equivalenti vengono considerati tutti i gas serra emessi nell'atmosfera (compresi gli NOX) da ciascuna fonte combustibile. Nel calcolo che segue si tiene conto dell'energia primaria espressa in MWh come energia totale del combustibile precedente alla sua combustione e quindi all'ingresso del generatore.

In questa tabella però, non sono considerati i costi ambientali per la produzione e il trasporto del cippato, costi che si andranno ad affrontare nei capitoli successivi.

Da una ricerca e sempre relativo alle emissioni di gas serra, si è riscontrato che "l'uso di energia dai residui di legno non ha aumentato la pressione ambientale (l'impatto dei cambiamenti climatici variava da 4 a 30 gCO₂ MJ⁻¹ per i trucioli di legno). Al contrario, considerando gli impatti dei combustibili fossili sui cambiamenti climatici, hanno riscontrato valori medi rispettivamente di 70 e 85 gCO₂eq MJ⁻¹ e 90 e 120 gCO₂eq MJ⁻¹, quindi l'uso della biomassa legnosa come fonte energetica piuttosto che i combustibili fossili (gas naturale o petrolio) possono ridurre gli impatti dei cambiamenti climatici dal 50% al 95%" (Cherubini et al, 2009).

EMISSIONI SOLIDE

Le ceneri ottenute dalla combustione del cippato aziendale possono contenere in minima parte composti alcalini e metalli pesanti, quest'ultimi fortemente impattanti dal punto di vista ambientale. Un altro problema delle ceneri deriva dalla loro fusibilità, causata dalle elevate temperature che si raggiungono in camera di combustione. Una volta raggiunta la temperatura di fusione delle ceneri si determina la loro deformazione e in seguito al raffreddamento del dispositivo si solidificano dando origine ad agglomerati che possono occludere la griglia fissa, ostruire gli ingressi dell'aria all'interno della camera di combustione e provocare malfunzionamenti nei dispositivi adibiti all'evacuazione delle ceneri. La formazione di tale agglomerato, può

essere più ricorrente quando la biomassa presenta elevate concentrazioni di potassio, unito a basse percentuali di calcio e magnesio.

Per ridurre l'incidenza di questa problematica è necessario l'impiego di cippato di buona qualità, soprattutto con una bassa o nulla quota di ramaglie, in modo da permettere sempre una combustione ottimale nel generatore e per evitare eccessivi costi di manutenzione.

EMISSIONI GASSOSE

In qualsiasi tipologia di generatore a biomasse possono avvenire combustioni incomplete, e tali combustioni possono portare:

- Alla riduzione del rendimento di trasformazione e quindi, una perdita di energia potenzialmente utilizzabile
- Alla produzione di composti impattanti dal punto di vista ambientale

Le principali sostanze nocive emesse da apparecchi a biomasse legnose sono raggruppate in quattro categorie:

1 Ossidi di azoto

La formazione degli ossidi di azoto (NOx), avviene durante la combustione ed è principalmente riconducibile all'ossidazione dell'azoto contenuto nel combustibile quando, la temperatura di combustione raggiunge gli 800-1200 °C. Tali composti hanno un effetto serra 300 volte superiore a quello dell'anidride carbonica.

2 Ossidi di zolfo

La quantità di SOx prodotti dalla combustione dipendono anch'essi come per gli NOx dalle caratteristiche chimiche del combustibile. I materiali responsabili di una ingente quantità di zolfo sono soprattutto biomasse con un elevato contenuto di corteccia. L'azione principale operata ai danni dell'ambiente consiste nell'acidificazione delle precipitazioni meteorologiche con la conseguente compromissione dell'equilibrio degli ecosistemi interessati. Gli effetti corrosivi dell'acido solforico, si riscontrano per lunghi periodi anche sulle componenti interne del generatore a cippato.

3 Monossido di carbonio

Il monossido di carbonio è un gas inodore che appena emesso in atmosfera viene facilmente ossidato a CO₂. La quantità di CO è usata come parametro per rilevare l'efficienza della combustione, tale parametro è misurato a livello della sonda lambda posta nel generatore a cippato. Gli effetti sull'ambiente sono da considerarsi trascurabili mentre, sulla salute umana è particolarmente pericoloso perché, reagisce molto velocemente con l'emoglobina del sangue generando un composto inattivo, la carbossiemoglobina che impedisce l'ossigenazione dei tessuti (Angelino et al, 2014).

1.7 Obbiettivi della tesi

L'obiettivo dell'elaborato di tesi ha lo scopo di valutare la convenienza economica ed ambientale di un generatore a cippato rispetto ad una classica caldaia alimentata a gasolio. Il calcolo dell'impatto ambientale verrà eseguito partendo dalle operazioni forestali intraprese dalla ditta Stella Alpina ed i consumi di gasolio che ne deriveranno. Si descriveranno tutti i passaggi che sono stati intrapresi per la produzione del biocombustibile, ovvero: le operazioni selvicolturali sulla particella boschiva, le operazioni di trasporto del legname, la superficie di stoccaggio ed infine la cippatura aziendale e del generatore. Verrà intrapresa la parte economica della filiera aziendale, poiché verranno eseguiti calcoli per definire l'economicità dell'investimento attraverso confronti tra i prezzi del gasolio e del cippato, si descriverà l'investimento dell'azienda e i tempi di ammortamento che l'azienda ha effettuato per estinguere le rate dell'operazione, infine si eseguiranno calcoli che avranno lo scopo di determinare il valore attuale netto dell'azienda.

Infine l'elaborato descriverà le tecnologie impiegate dall'azienda per la riduzione delle emissioni sia solide che gassose in modo da verificare se l'utilizzazione delle biomasse agroforestali nella filiera energetica sono una realtà sostenibile dal punto di vista ambientale.

2. MATERIALI E METODI

2.1 L'azienda

L'azienda agricola Stella Alpina situata a Spinone al Lago in provincia di Bergamo produce e commercializza ogni anno piante orticole e floricole. Il generatore a cippato ha una potenza nominale di 150 KW ed è stato installato nel 2011. Si tratta di una caldaia a griglia fissa che attraverso un sistema di distribuzione del calore consente di riscaldare la serra avente una superficie di 1.000 m². L'impianto e il sistema a regolazione consentono di creare le condizioni ottimali per la crescita delle piante con il minimo fabbisogno energetico. Il magazzino di stoccaggio del cippato ha un volume massimo di 70 m³ ed è munito di un'ampia apertura che permette di effettuare la cippatura, anche adiacente al magazzino. Il cippato aziendale è ottenuto per quasi il 90% dalla cippatura di fusti di abete rosso e pino strobo e per il rimanente 10% è ottenuto da ramaglie di entrambe le specie botaniche. Il legno utilizzato viene prelevato dai boschi limitrofi al comune di residenza e prima di essere cippati sono stoccati su una superficie non troppo distante dalla ditta, in modo che il suo stoccaggio ne migliori le qualità del legno soprattutto con lo scopo di eliminare una quota importante di acqua residua nel legno abbattuto. L'azienda ha un raggio di stoccaggio della biomassa non più di 50 km.

2.2 Area di studio

L'azienda agricola svolge lavori di esbosco che le permettono di produrre biocombustibile utile per il proprio fabbisogno energetico. Il luogo deputato alle operazioni selvicolturali effettuate nel corso del tirocinio, appartiene a privati ed è situata nel comune di Endine Gaiano. Tale particella boschiva si colloca intorno ai 350 m s.l.m. e dista solo 2 km dalle rive del lago d'Endine.

Tale particella boschiva ha le seguenti caratteristiche:

- **REGIME PLUVIOMETRICO:** grazie ai dati della stazione pluviometrica di Endine Gaiano viene registrato un regime pluviometrico alpino con una piovosità media annuale di 944 mm all'anno. (Clima sub-continentale)
- **REGIME TERMOMETRICO:** le temperature annue sono influenzate parzialmente dalla presenza del lago dove in estate si raggiungono temperature medie di 20.2 gradi Celsius a Luglio mentre in inverno la temperatura media è di -0.2 gradi Celsius.
- **GEO-PEDOLOGIA:** sul versante dove è situata la particella c'è una prevalenza di boschi di conifere. Tale prevalenza fa sì che l'orizzonte B della porzione di suolo studiata sia povera di minerali. Questa carenza è causata soprattutto dalla lisciviazione delle sostanze minerali per via delle costanti piogge sul territorio e per via della mancanza di una vera e propria lettiera che ricopre l'orizzonte sovrastante. Grazie a queste caratteristiche pedologiche si è risaliti al podzol come principale tipologia pedologica dell'area.
- **INQUADRAMENTO MORFOLOGICO:** la particella è posta ai piedi di un versante e quindi caratterizzata da una bassa acclività. Più ci si sposta verso sud e più l'acclività del versante aumenta con regolarità. La presenza di corpi rocciosi (con diametro sopra 1 cm) sia sulla superficie che nei primi orizzonti pedologici è molto bassa.
- **INQUADRAMENTO LOGISTICO:** l'accesso al bosco è semplificato grazie alla ridotta distanza col centro abitato e grazie alla strada secondaria parzialmente asfaltata che facilita l'accesso alle macchine forestali. La strada secondaria è esente da acclività mentre i sentieri principali sono poco segnati ma facilmente percorribili.
- **INQUADRAMENTO FORESTALE:** la classificazione fitoclimatica della particella, è caratteristica del Fagetum, con prevalenza soprattutto di pino strobo e in secondo piano di abete rosso. La vegetazione potenziale è composta da faggio, frassino, rovere, salice, pioppo, tiglio e carpino (Manella, 2003).

Inoltre attraverso i sopralluoghi effettuati durante il tirocinio, si sono potute riscontrare:

- **PROBLEMATICHE FITOSANITARIE:** in particolar modo, la popolazione di abete rosso nella particella è stata compromessa da un consistente attacco di Bostrico causando, in molteplici casi la caduta del fusto. Molte specie forestali per via della mancata attività selvicolturale e per via della quota altimetrica e del clima sfavorevole hanno causato alterazioni nello sviluppo del fusto e della chioma.
- **PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE:** per via dell'umidità presente nella particella si sono riscontrate in alcune aree della superficie forestale zone con ristagni idrici.

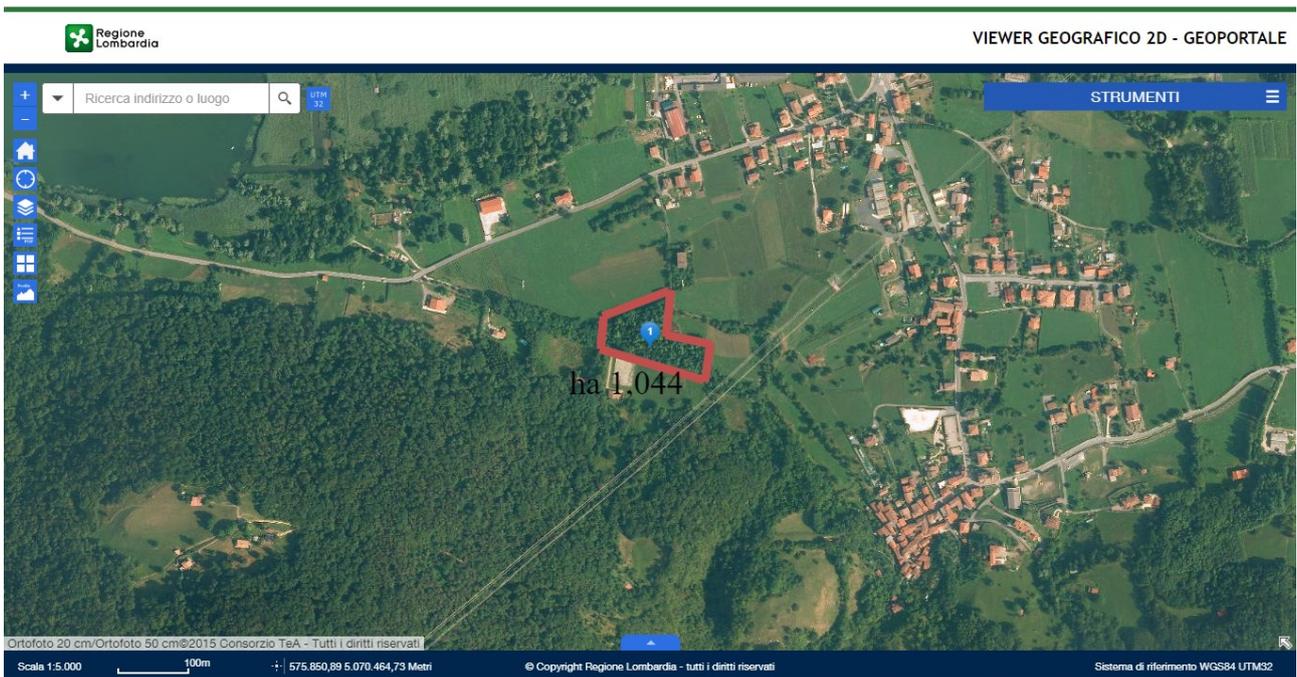
L'Area interessata alle operazioni selvicolturali è un'area che nel corso degli anni 70 è stata utilizzata per rimboschimenti di specie forestali alpine, in particolar modo di abete rosso e pino strobo. Precedentemente al rimboschimento, la particella si presentava come un pascolo utilizzato principalmente per la produzione di foraggio, utilizzato da aziende agricole limitrofe.

Nel corso degli anni 90 tale area ha subito una forte riduzione delle attività selvicolturali in particolar modo, non si sono effettuati tagli successivi, ossia tagli che venivano effettuati a più riprese che non hanno quindi permesso il favorire di una graduale rinnovazione causando l'avanzamento di specie locali quali, faggio e frassino e di specie alloctone come la Robinia pseudoacacia. Specie locali e alloctone che si sono diffuse dalle particelle circostanti e che hanno sfruttato le caratteristiche climatiche e pedologiche più favorevoli.

Attraverso i dati raccolti ed elaborati grazie ai sopralluoghi effettuati durante il tirocinio, la particella boschiva presenta una superficie di 1,044 ha. L'area media della sezione delle piante calcolata ad altezza uomo risulta 0,03 m² e l'altezza media delle piante prese in esame è risultata di 23m con un diametro medio di 37,84 cm. L'area basimetrica ad ettaro risultata essere di 67,42 m² mentre per quanto riguarda l'area basimetrica media delle piante misurate è di 0,112 m². Il bosco risulta essere caratterizzato da una struttura d'età coetanea, per via delle medesime altezze che la maggior parte dei fusti raggiungono.

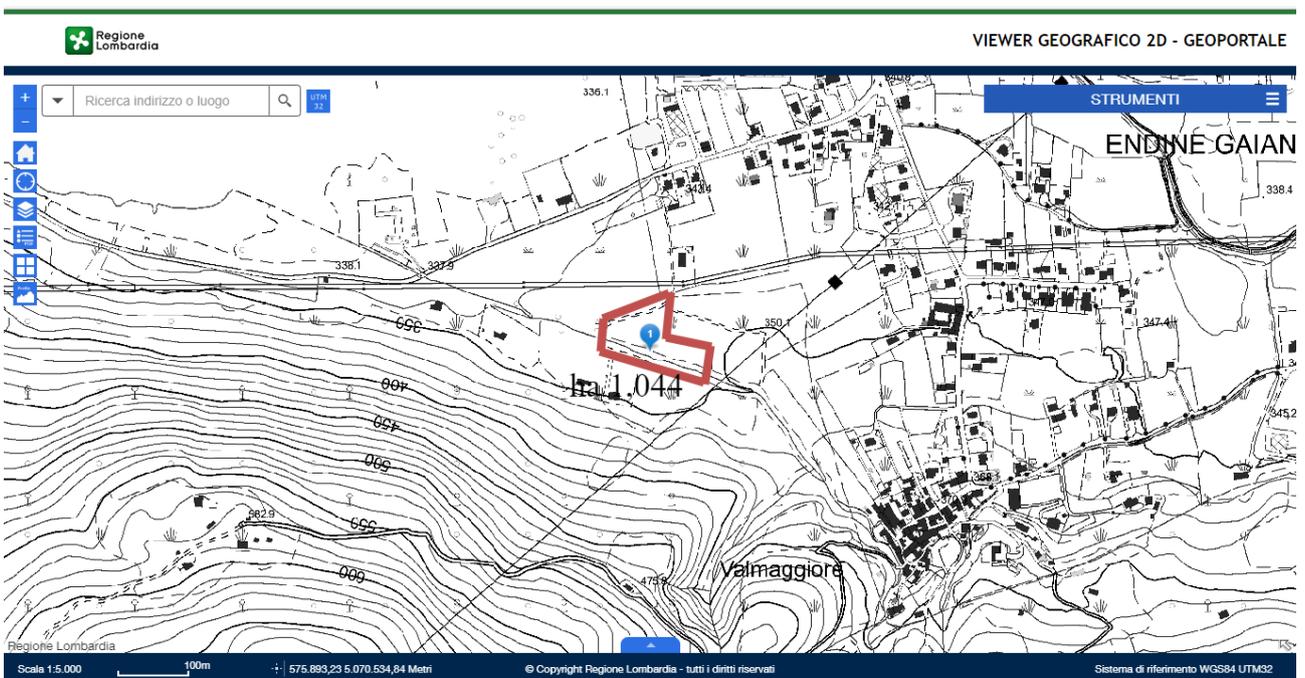
L'elevata densità dell'abete rosso e del pino strobo hanno causato un'intensa acidificazione del terreno modificando le caratteristiche della lettiera locale e alterando la micro fauna del sottobosco. Tale particolare è riscontrabile dal fatto che sul versante opposto soprattutto in vicinanza alle rive del lago la lettiera è molto più sottile rispetto a quella analizzata dalla particella in esame. Inoltre è composta da residui di latifoglie mentre quella in esame, l'orizzonte organico è costituito da residui di strobili di conifere e di aghi. Infine nel bosco preso in esame, non manca la presenza di funghi, segno distintivo di un terreno sub-acido. L'area che circoscrive il bosco è costituita da prati utilizzati come pascoli primaverili e autunno-invernali per bovini, poiché lungo il versante sud del comune di Endine Gaiano sono presenti numerosi maggenghi.

Figura 2: Ortofoto scala 1:5.000.



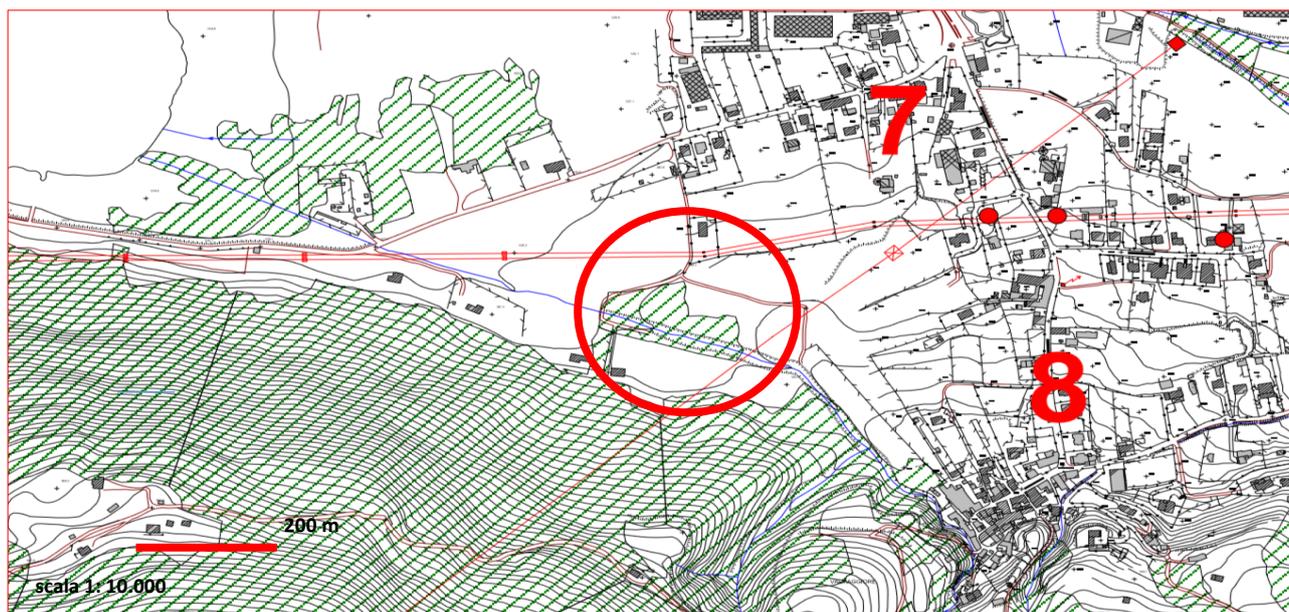
FONTE: (www.geoportale.regione.lombardia.it).

Figura 3: Carta tecnica regionale scala 1:5.000.



FONTE: (www.geoportale.regione.lombardia.it).

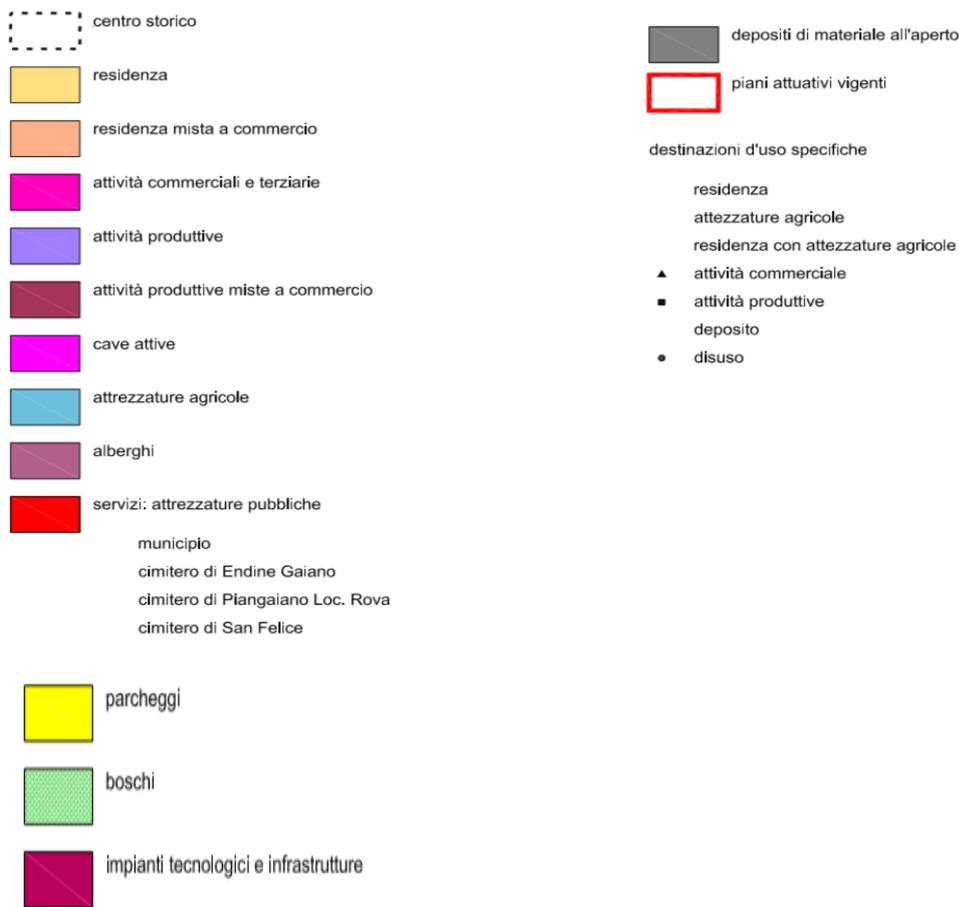
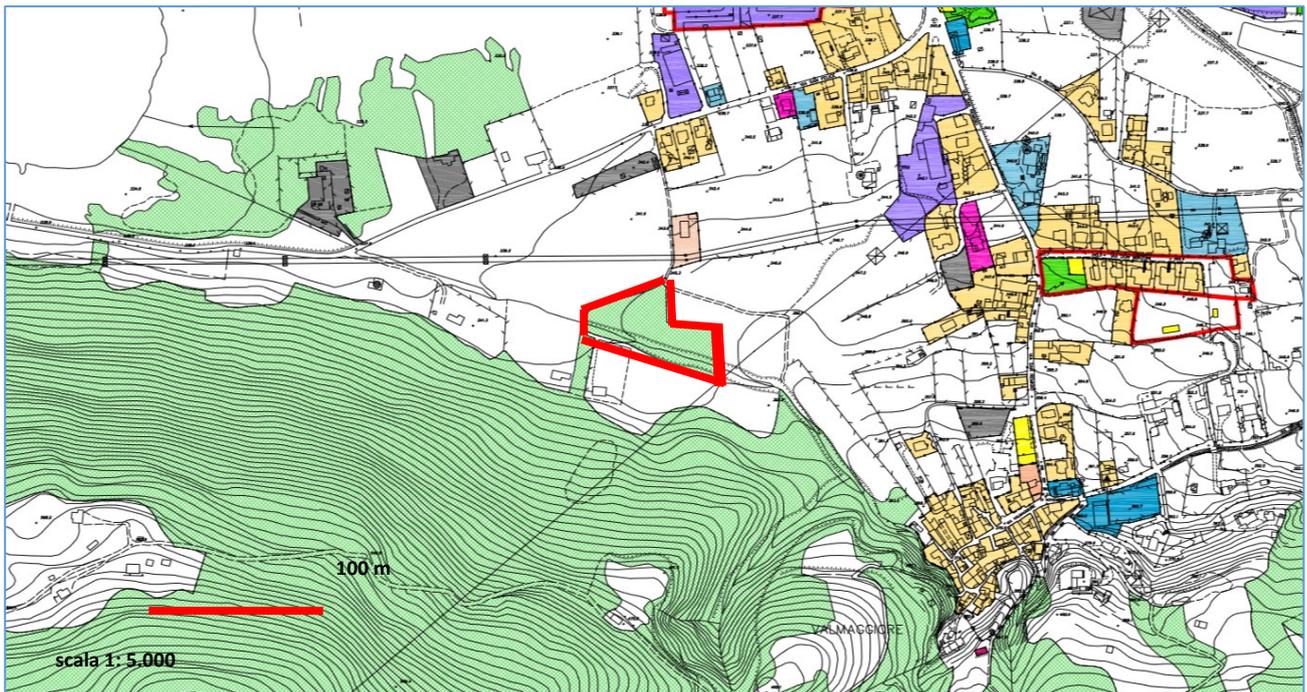
Figura 4: Tavola 3 AGRO-FORESTALE scala 1:10.000 e legenda della tavola AGRO-FORESTALE.



-  Castagneti
-  Vigneti frutteti
-  Alpeggi
-  Limite bosco ai sensi della L.R. 27/2004

FONTE: (Piano di governo del territorio, comune di Endine Gaiano, 2009).

Figura 5: Tavola A6 uso del suolo, scala 1:5.000 e legenda della tavola uso del suolo.



FONTE: (Piano di governo del territorio, comune di Endine Gaiano, 2009).

2.3 Fasi del lavoro

Nelle seguenti pagine si andranno a calcolare le emissioni di CO₂ ottenute attraverso tutte le operazioni che la ditta ha svolto per la produzione del biocombustibile aziendale, poiché "I risultati relativi agli impatti ambientali di ciascuna fase della catena di approvvigionamento del bosco forestale hanno evidenziato che le attività più impattanti sono principalmente il trasporto di legname tondo dalla foresta alla segheria e alla lavorazione del legno della segheria. In media, il valore dell'impatto del cambiamento climatico durante la fase di trasporto è stata di 18,7 gCO₂ MJ⁻¹, corrispondente al 30% del valore totale. L'impatto ambientale delle fasi di abbattimento, raccolta e cippatura ha avuto il minore impatto sul valore del cambiamento climatico totale. I valori medi di queste fasi erano rispettivamente 0,72 gCO₂ MJ⁻¹ e 0,03 gCO₂ MJ⁻¹" (Cherubini et al, 2009).

Da ciò che è stato citato precedentemente però non si andrà a considerare il trasporto di legname dalla foresta alla segheria ma verso una superficie di stoccaggio. Cambiando la destinazione del legname, non varierà comunque il peso in termini di emissione di CO₂ che tale operazione determina.

2.3.1 Operazioni selvicolturali

Sulla particella boschiva descritta in precedenza, si è effettuato un taglio a raso per via delle condizioni fitosanitarie delle specie botaniche presenti sulla particella, tutto ciò ha permesso l'utilizzo di: motosega per il taglio del fusto e per la sua sramatura e la trattrice, con il rispettivo rimorchio per il trasporto del legname.

Nel calcolo per determinare il consumo annuo di carburante effettuato dalla motosega e il costo annuo di tale operazione si è serviti dei seguenti dati e calcoli.

Il tempo medio che si è riscontrato ad ogni singolo abbattimento e alla sua successiva sramatura (pulizia del fusto dai rami) è stato di 30 minuti, inoltre è stato fondamentale l'applicazione della Formula di Huber che ha permesso il calcolo del volume medio di legname ottenibile da ciascuna pianta abbattuta.

(formula di Huber) $V = S_m * H$

$S_m = \text{Circonferenza}^2 / (4 * 3,14)$

H = altezza media delle piante interessate al taglio in metri

Successivamente, grazie all'immagine n°1 illustrata precedentemente è stato possibile convertire il volume di legname, con un volume di cippato potenzialmente ottenibile.

$$1 \text{ m}^3 \text{ di legname} = 2,5 \text{ m}^3 \text{ di cippato}$$

Attraverso la comprensione del fabbisogno annuale di cippato (300 m³), si è potuti risalire alla quantità di legname che è necessario abbattere per poter poi successivamente impiegare nella generazione di calore all'interno della caldaia.

Procedendo con il calcolo, si divide il fabbisogno annuale di cippato con il volume di cippato potenzialmente generabile da ogni singola pianta in modo da ottenere in numero complessivo di piante da poter abbattere.

fabbisogno annuale m³ / cippato ottenuto da singola piantam³ = n° complessivo di piante abbattute all'anno per mantenere il fabbisogno di biocombustibile

Ottenuto il numero di piante totali, si moltiplica per il tempo necessario all'operatore per effettuare tutte le operazioni di taglio e pulizia del fusto in modo da ottenere il tempo annuo necessario a tali operazioni.

$$\text{n° piante da abbattere} * \text{tempo medio di abbattimento} = \text{ore annue totali}$$

Su questa particella boschiva, le parti delle piante abbattute hanno contribuito quasi interamente (fusto + parti di ramaglie) alla produzione di cippato per via della scarsa qualità del fusto per altre utilizzazioni (lavori di falegnameria). Tutte queste formule sono state calcolate attraverso l'attività di un singolo operatore forestale, ma nel caso specifico della lavorazione intrapresa sulla particella boschiva precedentemente descritta, si sono svolte attività intraprese da almeno due operatori forestali che hanno determinato una riduzione della durata annua di tali operazioni.

Ottenuto il tempo annuo, si è potuti risalire alla spesa economica intrapresa dall'azienda per gli operatori forestali e per il costo del carburante per le motoseghe.

$$\text{ore annue} * \text{costo orario operatore forestale} = \text{voce salari}$$

$$\text{ore annue} * \text{consumo in litri/ora miscela motosega} = \text{litri annui di combustibile}$$

Infine, per la seconda formula, è stato necessario consultare il libro delle istruzioni, allegato ad ogni motosega. Si è potuti risalire al suo consumo medio (1 litro/ora) e quindi attraverso tale dato si è poi potuti risalire al consumo annuale di combustibile.

FONTE: Dati rilevati da libretti tecnici di macchinari aziendali.

2.3.2 Operazione di esbosco

Figura 6: Trattore con rimorchio.



FONTE: Foto effettuate sul luogo dell'esbosco, 2018.

Le operazioni di trasporto sono state avviate dal luogo della particella interessata alle operazioni selvicolturali, fino ad un appezzamento di proprietà dell'azienda deputato alla stagionatura del legname. Durante tali operazioni, si è utilizzata una trattore avente una potenza massima di 150 KW e un rimorchio forestale monoasse Bernardi (modello B60FM). Tale rimorchio è predisposto per il montaggio di una gru idraulica ed è provvisto di un telaio di protezione anteriore. Inoltre è munito di un freno idraulico in grado di garantire una notevole sicurezza durante il trasporto.

Per determinare l'impatto ambientale e i costi di tale operazione è necessario risalire al consumo di carburante. Per risalire al consumo effettivo della trattore in questa operazione, bisogna innanzitutto calcolare la forza di trazione.

$$F \text{ (forza di trazione)} = \text{kg (massa del rimorchio a pieno carico)} * 9,81 = N$$

Per il trasporto, il trattore deve sviluppare una forza di trazione superiore o al limite uguale alla resistenza all'avanzamento del rimorchio, che per quanto riguarda questo caso in cui la superficie stradale è asciutta e asfaltata, si utilizza un coefficiente dello 0,04.

$$F \text{ (forza di trazione)} = F \text{ (forza di trazione precedente)} * 0,04 = N$$

Una volta determinata la forza di trazione, bisogna determinare la potenza sviluppata dalla trattrice, moltiplicando la forza di trazione precedentemente calcolata, con la velocità massima che la trattrice ha raggiunto su strada asfaltata, ovvero 35 km/h che corrisponderebbero a 9,72 m/s.

$$P(W) = F (\text{forza di trazione}) * 9,72 \text{ m/s}$$

Successivamente si effettua il bilancio dinamico della trattrice, ossia tutti i rendimenti degli organi lavoranti che coinvolgono la trattrice:

1. **AUTODISLOCAMENTO:** il trattore effettua un trasporto su strada asfaltata e che quindi comporta una potenza dissipata nell'ordine del 7%
2. **TRASMISSIONE:** durante l'autodislocamento della trattrice, il cambio è in funzione e dissipa il 15% della potenza
3. **PDP:** la presa di potenza della trattrice è ferma
4. **SLITTAMENTO:** in questa specifica operazione lo slittamento è trascurabile
5. **CIRCUITO IDRAULICO:** il circuito determina un assorbimento dello 0,96%

Il rendimento globale quindi è pari a:

$$0,93 * 0,85 * 0,96 = 0,75$$

Quindi la potenza al gancio di traino in condizioni reali è:

$$P(W) / 0,75$$

Bisogna inoltre considerare un surplus di potenza del 20% in modo che ci siano margini operativi per permettere il trasporto a pieno carico da parte della trattrice.

$$P(W) * 1,20$$

CALCOLO DEI VIAGGI DA EFFETTUARE NEL CORSO DELL'ANNO PER IL FABBISOGNO ANNUALE DI CIPPATO

Per prima cosa, si deve determinare il volume di legname che bisogna trasportare al luogo deputato alla sua stagionatura. A tale legname nei calcoli è stata attribuita una densità di cippato pari al 50% di umidità, in modo da semplificare le operazioni di calcolo. Si effettua una moltiplicazione che pone, i kg di legname trasportato per ogni singolo viaggio (secondo la portata massima del rimorchio) e la sua densità al momento del taglio, in modo da determinare i m³ trasportati.

Successivamente si procede suddividendo il fabbisogno annuale che la ditta percepisce, ai m³ calcolati precedentemente in modo da determinare i viaggi complessivi che la trattrice deve effettuare.

Per determinare il fabbisogno annuale di cippato da stoccare bisogna eseguire una semplice formula:

$150 \text{ KW (potenza della caldaia)} * \text{fattore } 2 = 300 \text{ m}^3 \text{ di cippato/anno}$

$300 \text{ m}^3 \text{ di cippato/anno} * 192 \text{ kg/m}^3 \text{ (densità del cippato aziendale)} = 57600 \text{ kg} = 58 \text{ t/anno}$ di cippato che ha bisogno l'azienda per alimentare la propria caldaia.

Dato che il fabbisogno annuale di cippato della ditta corrisponde a 300 m^3 il numero totale di viaggi sarebbe:

$300 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{ (volume trasportato per ogni singolo viaggio)} = \text{n}^\circ \text{ di viaggi totali.}$

Grazie alle foto aeree, si è potuto risalire alla distanza di ogni viaggio e tramite tale dato, si è potuto calcolare la durata di ogni singolo spostamento.

Ogni viaggio dura:

$t = \text{km (distanza del percorso)} / 35 \text{ km/h (velocità massima raggiunta dalla trattrice)}$

Questo tempo, dev'essere moltiplicato per il numero di viaggi totale, in modo da determinare in tempo totale che la trattrice trascorre per un intero anno su quel tragitto.

$t \text{ (totale)} = t * \text{n}^\circ \text{ di viaggi totali}$

CONSUMO DI CARBURANTE A RIMORCHIO CARICO

Alla potenza al gancio di traino calcolato precedentemente, corrisponde un consumo di gasolio pari a 258 g/KWh . Tale quantità di gasolio, moltiplicata per la sua rispettiva fascia di potenza e per le ore complessive di viaggi effettuati, ci permette infine di risalire al consumo complessivo di gasolio prima in kilogrammi e infine rapportato alla sua densità, in litri.

$\text{g/KWh (consumo di gasolio)} * P(W) \text{ al gancio di trano} * \text{ore complessive di viaggio} = \text{kg di gasolio}$

$\text{kg di gasolio} / \text{(densità del gasolio)} = \text{litri di gasolio}$

CONSUMO DI CARBURANTE A RIMORCHIO VUOTO

Per tale calcolo, si deve determinare la potenza con la massa a vuoto ossia, solo con la tara del rimorchio. Successivamente si applicano le medesime formule e le stesse perdite di potenza calcolate precedentemente.

$F \text{ (forza di trazione)} = \text{kg (massa del rimorchio senza carico)} * 9,81 = N$

$F \text{ (forza di trazione)} = F \text{ (forza di trazione precedente)} * 0,04 = N$

$P (W) = F \text{ (forza di trazione)} * 9,72 \text{ m/s}$

Il rendimento globale è pari a:

$0,93 * 0,85 * 0,96 = 0,75$

La potenza al gancio di traino in condizioni reali è:

$$P \text{ kW} / 0,75 = KW$$

Inoltre bisogna considerare lo stesso surplus di potenza del 20% utilizzato precedentemente, in modo che ci siano margini operativi per permettere il trasporto a pieno carico da parte della trattrice.

$$P \text{ kW} * 1,20 = KW$$

Tali KW sono al disotto della minima potenza con cui la trattrice riesce a lavorare, per cui si opta per i 40 KW minimi necessari al suo funzionamento. Questa potenza, determina un consumo pari a: 235 g/KWh di gasolio.

$$g/KWh \text{ (consumo di gasolio)} * P(W) \text{ al gancio di trano} * \text{ore complessive di viaggio} = \text{kg di gasolio}$$

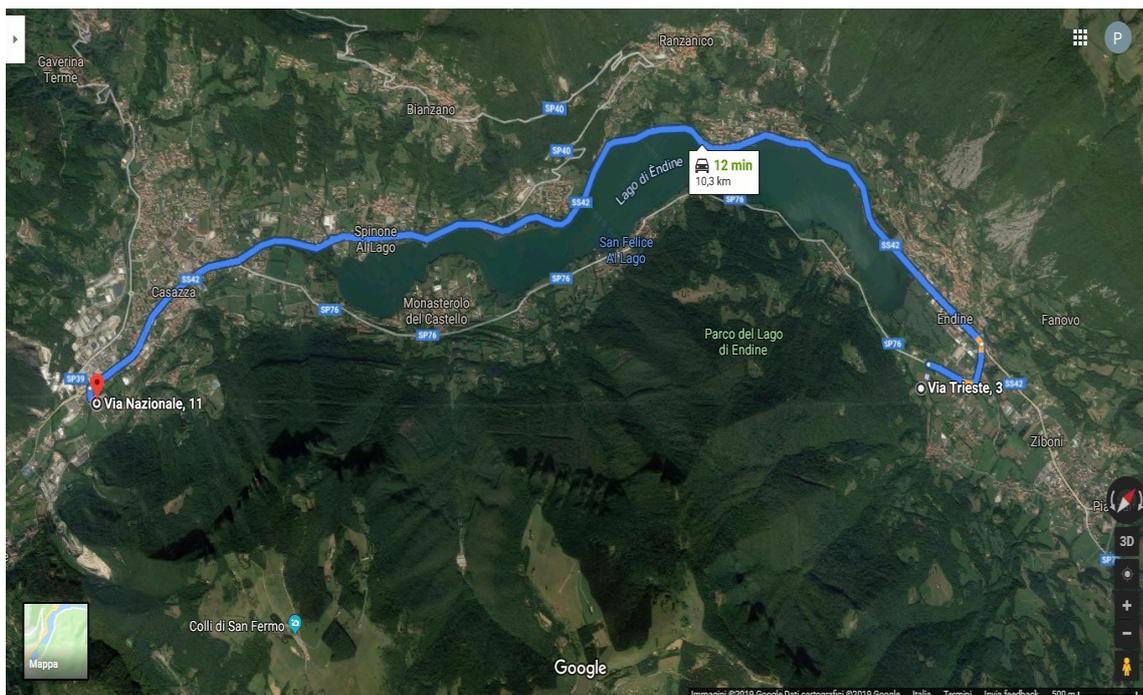
$$\text{kg di gasolio} / \text{(densità del gasolio)} = \text{litri di gasolio}$$

Per completare lo scopo di tali calcoli, si effettua semplicemente la somma dei consumi del tragitto con il rimorchio a vuoto con i consumi della trattrice avente il rimorchio a pieno carico.

I (di gasolio del viaggio di andata) + I (di gasolio del viaggio di ritorno) = litri consumati annualmente dalla trattrice

FONTE: Dati rilevati da libretti tecnici delle macchie operatrici e delle trattrici aziendali.

Figura 7: Tragitto del trasporto di legname dal punto di esbosco al luogo della stagionatura.



FONTE: (Google Maps, immagine satellitare scala 1:20.000).

2.3.3 Stagionatura del legname

Figura 8: Immagine satellitare del luogo di stagionatura del legname.



FONTE: (Geoportale della Lombardia, immagine satellitare scala 1:2.000).

Il luogo deputato alla stagionatura del legname è situato nel comune di Casazza. Su questa superficie il legname stagionato viene utilizzato per la successiva cippatura. Il legname appena tagliato in condizioni fitosanitarie normali contiene circa il 50% di contenuto idrico (M50). Questo valore è troppo elevato per permettere una combustione ottimale e quindi è necessario effettuare uno stoccaggio del legname su una superficie asciutta per permettere al legname di raggiungere un contenuto idrico al di sotto del 25% (M25). La ditta Stella Alpina favorisce al legno una stagionatura naturale impilando in cataste ordinate il legname e coprendole con teli plastificati in modo da evitare che le precipitazioni deteriorino il materiale legnoso. È fondamentale preservare il legname per una durata di almeno 12 mesi in modo da aumentare il potere calorifico del legname e quindi aumentare il rendimento del generatore riducendo pertanto anche le emissioni.

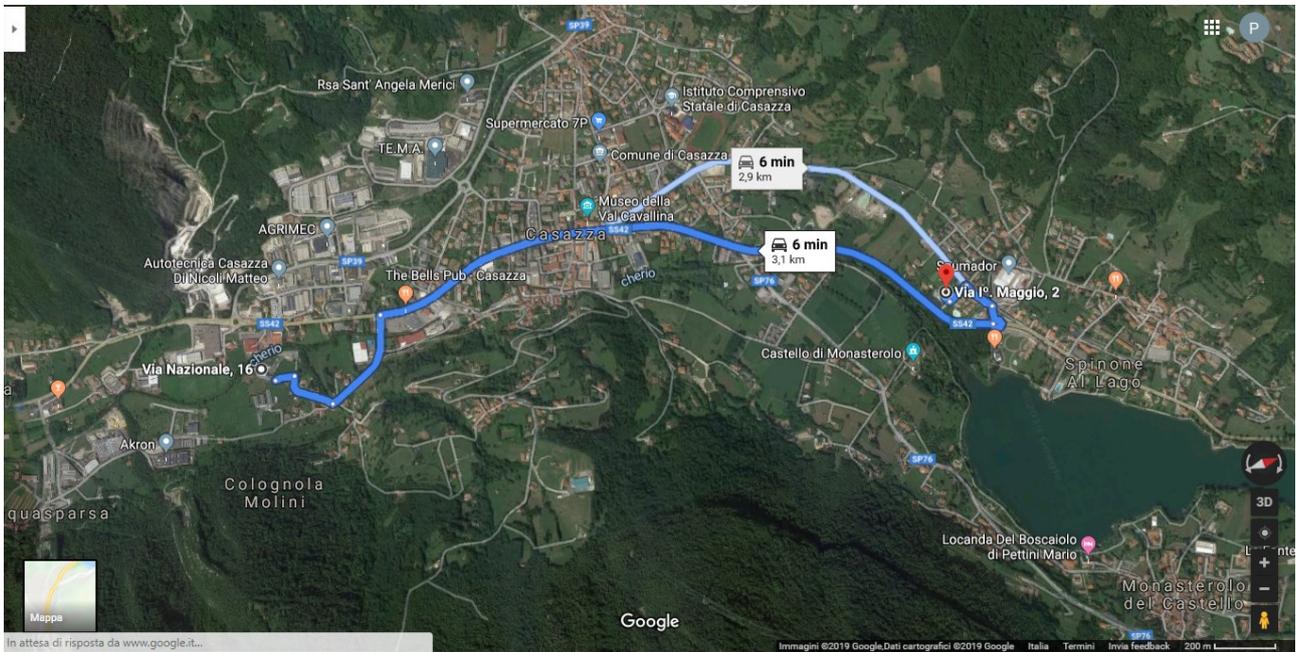
Figura 9: Allestimento della stagionatura del legname.



FONTE: Foto effettuate in azienda, 2018.

2.3.4 Trasporto in azienda

Figura 10: Tragitto del trasporto di legname essiccato al luogo della cippatura.



FONTE: (Google Maps, immagine satellitare scala 1:10.000).

Questa procedura prevede l'utilizzo della medesima trattoria e del medesimo rimorchio. I valori che variano sono sostanzialmente la densità del legname da trasportare e il tragitto da effettuare.

CALCOLO DEI VIAGGI DA EFFETTUARE NEL CORSO DELL'ANNO PER IL FABBISOGNO ANNUALE DI CIPPATO

Attraverso una corretta stagionatura, il legname stoccato avrà ottenuto una riduzione della propria densità determinando quindi una variazione del volume potenziale di cippato trasportato ad ogni viaggio. Tale volume è possibile calcolarlo attraverso la moltiplicazione della massa legnosa con la densità ottenuta da tale stoccaggio.

$\text{kg (massa legnosa)} / \text{kg/m}^3 \text{ (densità del cippato di legno M25)} = \text{m}^3 \text{ di materiale trasportato ad ogni viaggio}$

Dato che il fabbisogno annuale di cippato della ditta corrisponde a 300 m^3 il numero totale di viaggi sarebbe:

$300 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{ (ottenuti precedentemente)} = \text{viaggi complessivi effettuati dalla ditta}$

I viaggi rispetto al precedente calcolo risultano essere minori. Questo, poiché durante il trasporto del materiale legnoso stagionato si tende a trasportare meno acqua per unità di volume rispetto al legname appena abbattuto avente un contenuto idrico intorno al 50%. Inoltre, la distanza rispetto al precedente tragitto risulta essere

decisamente ridotta, poiché la superficie di stoccaggio del legname è molto più ravvicinata alla ditta rispetto alla particella interessata alle operazioni selvicolturali.

Ogni viaggio dura:

$t = \text{km (distanza del percorso)} / 35 \text{ km/h (velocità massima raggiunta dalla trattrice)}$

$t \text{ (totale)} = t * n^{\circ} \text{ di viaggi totali}$

CONSUMO DI CARBURANTE A RIMORCHIO CARICO

Alla potenza in KW determinata precedentemente corrisponde un consumo pari a: 258 g/KWh di gasolio. Applicando le formule dell'esercizio precedente si risale a:

$\text{g/KWh (consumo di gasolio)} * P(W) \text{ al gancio di trano} * \text{ore complessive di viaggio} = \text{kg di gasolio}$

$\text{kg di gasolio} / (\text{densità del gasolio}) = \text{litri di gasolio}$

CONSUMO DI CARBURANTE A RIMORCHIO VUOTO

Con il rimorchio vuoto, la trattrice applica una potenza decisamente ridotta e a tale potenza sono correlati consumi nell'ordine dei 235 g/KWh.

$\text{g/KWh (consumo di gasolio)} * P(W) \text{ al gancio di trano} * \text{ore complessive di viaggio} = \text{kg di gasolio}$

$\text{kg di gasolio} / (\text{densità del gasolio}) = \text{litri di gasolio}$

Per completare lo scopo di tali calcoli, si effettua semplicemente la somma dei consumi del tragitto con il rimorchio a vuoto con i consumi della trattrice avente il rimorchio a pieno carico.

$l \text{ (di gasolio del viaggio di andata)} + l \text{ (di gasolio del viaggio di ritorno)} = \text{litri consumati annualmente dalla trattrice}$

FONTE: Dati rilevati da libretti tecnici delle macchine operatrici e delle trattrici aziendali.

2.3.5 Cippatura

Avvenuta l'ottimale stagionatura del legname si procede alla fase più importante di tutta la filiera energetica dell'azienda, ovvero la cippatura. La cippatura è un processo fondamentale della filiera energetica del legno poiché è un'attività che permette al legname un più facile stoccaggio e trasporto. Nello specifico, la cippatura è un'attività che permette lo sminuzzamento di varie parti del legno (dal tronco fino alle ramaglie) che è effettuata dalla cippatrice. Questa tipologia di macchina può essere munita di tre tipologie di organi sminuzzatori:

1. Cippatrice munita di vite senza fine
2. Cippatrice a tamburo
3. Cippatrice a disco

L'azienda agricola da molti anni fa affidamento su una cippatrice a tamburo, tipologia di cippatrice largamente utilizzata in ambito forestale, poiché è la più adatta allo sminuzzamento del materiale legnoso anche di grosse dimensioni.

Figura 11 e 12: Illustrazione riguardante la cippatrice in attività.



FONTE: Foto effettuate in azienda, 2018.

La cippatrice aziendale è una Heizohack del modello HM 8-400. Tale cippatrice è molto versatile poiché è facilmente trasportabile grazie alle due ruote posteriori e grazie anche alle dimensioni contenute che ne permettono una manovrabilità col trattore molto elevata. Le dimensioni contenute della macchina operatrice, non limitano elevati diametri legnosi da cippare, poiché ha una larghezza d'introduzione di 670 mm e un diametro del tamburo di 495 mm. La cippatrice raffigurata nell'immagine 11 e 12 viene azionata attraverso

l'albero cardanico della trattrice e viene mossa a un regime di 540 giri/minuto per un valore di potenza di 100 KW.

La cippatura avviene a trattrice ferma e grazie a un'altezza di espulsione del cippato che può raggiungere valori massimi di 4100mm è molto versatile utilizzarla per l'immagazzinamento di cippato.

CALCOLO DEL CONSUMO DI GASOLIO AL MOMENTO DELLA CIPPATURA

Si parte dalla potenza che bisogna erogare per avviare la cippatura che sono:

100 KW

Successivamente si divide tale potenza per 0,94 che è il rendimento della trasmissione meccanica della cippatrice

$100 \text{ KW} / 0,94 = \text{KW}$

Si prosegue effettuando il bilancio dinamico della trattrice ossia tutti i rendimenti degli organi lavoranti che coinvolgono la trattrice:

1. Il punto relativo all'autodislocamento non si tiene conto dato che la cippatura avviene a trattrice ferma
2. Lo stesso discorso vale per il rendimento della trasmissione per via della condizione spiegata al punto 1
3. La presa di potenza è in funzione ed ha un rendimento dello 0,95
4. Il sistema idraulico del trattore ha un rendimento dello 0,96
5. Infine lo slittamento è nullo

Il rendimento globale quindi è pari a:

$0,95 * 0,96 = 0,912$

La potenza richiesta dall'operatrice a livello dell'albero motore sarà quindi:

$\text{KW (potenza precedentemente calcolata)} / 0,912 = \text{KW (potenza a livello dell'albero motore)}$

Occorre inoltre considerare che la cippatrice ha un'operatività caratterizzata da notevoli "picchi" di potenza assorbita, sarà quindi necessario maggiorare di circa il 20% la potenza richiesta per consentirne un funzionamento più fluido. Si otterrà quindi un richiesta totale di potenza pari a:

$\text{KW (potenza precedentemente calcolata)} * 1,2 = \text{KW (potenza con surplus)}$

Il trattore eroga una potenza massima teorica di 150 KW e 896 Nm di coppia. Questa potenza è necessaria affinché avvenga la cippatura. Al momento della cippatura la trattrice con la p.d.p a 540 eroga 1600 giri/minuto.

I giri al minuto che si registrano al momento della cippatura sono fondamentali, perché attraverso tabulati specifici ci permettono di risalire al consumo di gasolio.

$$150.000W = (896 \text{ Nm} * 2\pi * \text{giri/minuto}) / 60$$

A 1600 giri/minuto corrisponde un consumo di gasolio di circa 275 g/KWh.

Considerando che la cippatrice ha una produttività in termini di cippato di 12 m³/h e che il fabbisogno di cippato aziendale è di 300 m³ cippato/anno si determinano prima, le ore dell'intero anno occupate dalla cippatura e di conseguenza, il consumo di gasolio dell'intero anno lavorativo.

$$\text{m}^3 \text{ (fabbisogno di cippato aziendale)} / \text{m}^3/\text{h} \text{ (produttività della cippatrice)} = \text{h}$$

$$\text{g/KWh (consumo di gasolio)} * P(W) \text{ alla cippatura} * \text{ore complessive dell'operazione} = \text{kg di gasolio}$$

$$\text{kg di gasolio} / \text{(densità del gasolio)} = \text{litri di gasolio}$$

Si risale infine ai litri complessivi per soddisfare la produzione annuale di cippato aziendale

FONTE: Dati rilevati da libretti tecnici delle macchine operatrici e delle trattrici aziendali.

2.3.6 Stoccaggio

Figura 13: Foto raffigurante l'agitatore meccanico nel deposito di stoccaggio.



FONTE: Foto effettuate in azienda, 2018.

Il deposito di stoccaggio del biocombustibile deve essere il più vicino possibile alla caldaia a cippato in modo da permettere un rifornimento rapido e agevole. Il dimensionamento di tale struttura permette un rifornimento del biocombustibile per 1-3 carichi l'anno. Inoltre come nel caso di questo deposito deve essere facilmente accessibile al mezzo di trasporto grazie ad un'apertura posta in alto all'edificio.

Avendo calcolato precedentemente il fabbisogno annuale di cippato che la ditta percepisce, si può calcolare attraverso tale valore il numero totale di rifornimenti che la ditta deve eseguire nel corso dell'intero anno. Introducendo il volume di stoccaggio del magazzino è possibile calcolare:

$300 \text{ m}^3 \text{ cippato/anno} : 70 \text{ m}^3 \text{ di volume del magazzino} = 4,28 \text{ - 4 rifornimenti l'anno}$

$300 \text{ m}^3 \text{ di cippato/anno} * 192 \text{ kg/m}^3 \text{ (densità del cippato aziendale)} = 57600 \text{ kg} = 58 \text{ t/anno di cippato}$ che ha bisogno l'azienda per alimentare la propria caldaia.

Un agitatore meccanico munito di due bracci a molle, posto alla base del deposito permette una costante alimentazione della coclea di estrazione, inclinata rispetto al piano della struttura. Fondamentale è che nel sito di stoccaggio non devono verificarsi infiltrazioni d'acqua poiché intaccherebbero la qualità del cippato e la successiva combustione nella caldaia.

2.3.7 Combustione in caldaia

Figura 14: Coclea di estrazione del combustibile con annessa valvola stellare.



FONTE: Foto effettuate in azienda ,2018.

Nell'immagine n°14 è raffigurata la parte terminale della coclea di estrazione che collegata alla valvola stellare dal basso permette l'ingresso del cippato nella caldaia. Alla valvola stellare è associato un ventilatore che insuffla aria all'interno della camera di combustione con lo scopo di permettere anche alle particelle più leggere e fini di essere combuste. L'insufflazione di aria permette una concentrazione maggiore di ossigeno (comburente) e quindi permette una combustione più efficiente.

Nella camera di combustione si raggiungono temperature intorno ai 1000 C° e la griglia dove avviene la combustione del cippato è munita di un sistema raschiante che permette il distacco di cenere o materiale incombusto nella parte basale della caldaia qui, attraverso un sistema di coclee si effettua la movimentazione delle ceneri ed infine il suo accumulo in un contenitore specifico.

Figura 15: Caldaia a cippato, aziendale.



FOTE: Foto effettuate in azienda, 2018.

Nella parte superiore della griglia invece è presente uno scambiatore di calore munito di una sonda Lambda. Il sensore Lambda invia informazioni alla centralina consentendo alla caldaia di modificare automaticamente la miscela di combustibile e di raggiungere la maggior efficienza possibile della combustione. Il calore generato permette di riscaldare l'acqua a livello dello scambiatore di calore.

I fumi prodotti dal processo di combustione vengono condotti dalla camera di combustione al filtro fumi che ha lo scopo di ridurre le emissioni di polveri e gas entro i limiti legislativi.

La trattazione del sistema di abbattimento dei gas di combustione è descritto nelle pagine successive.

PUFFER

Figura 16: Puffer.



FONTE: Foto effettuate in azienda, 2018.

I puffer sono contenitori cilindrici posti verticalmente in cui al suo interno è presente una serpentina collegata allo scambiatore della caldaia a biomassa. L'acqua all'interno dei puffer tende a stratificarsi in funzione della sua temperatura e dunque della sua densità. L'acqua più calda (circa 70 °C) si troverà nella parte superiore del contenitore mentre quella più fredda (intorno ai 20 °C) si troverà nella parte inferiore. Sfruttando questa stratificazione è possibile ottenere acqua a differenti temperature e quindi, si può captare a diverse altezze in base alla necessità ricorrente. Il puffer aziendale presenta sensori di temperatura lungo tutta l'altezza del contenitore in modo che la centralina elettronica ad essa collegata regoli la potenza della caldaia in modo da mantenere costante nel tempo a parità d'altezza, la temperatura dell'acqua. Il teflon è il materiale che riveste il puffer poiché è un materiale molto efficiente per le sue proprietà isolanti.

Figura 17: Puffer con allacciamenti alla caldaia.



FONTE: Foto effettuate in azienda, 2018.

Dal puffer infine, escono i tubi di materiale plastico contenenti acqua che attraverso specifiche condutture coibentate raggiungono la serra e la riscaldano.

ELETTROFILTRO TUBULARE

Figura 18: Elettrofiltro tubolare adiacente alla camera di combustione superiore.



FONTE: Foto effettuate in azienda, 2018.

Un modo efficiente per ridurre la quota di particelle inquinanti nell'atmosfera è attraverso l'uso di particolari elettrofiltri utilizzati dalla ditta. "Tale sistema di filtraggio si compone di due tipologie di elettrodi, il primo quello di emissione dove applicate elevate differenze di potenziale determina la creazione di un forte campo elettrico. Il campo elettrico generato provoca la ionizzazione del gas di combustione attorno alla superficie dell'elettrodo di emissione. Gli ioni così generati tenderanno a passare attraverso gli elettrodi di raccolta (seconda tipologia di elettrodo) e attraverso la collisione con le particelle di contaminante in sospensione, tenderanno a cedere la propria carica elettrica. Le polveri una volta cariche tenderanno ad essere attratte verso gli elettrodi di raccolta dove verranno trattenute e successivamente rimosse. Il sistema di pulizia degli elettrodi, prevede una rimozione meccanica in modo automatico delle ceneri dove, i residui solidi sono infine accumulati in un contenitore specifico" (Schmid energy, 2011).

I punti di forza di questo sistema di filtraggio sono:

- Dimensioni compatte dell'elettrofiltro
- Ridotta manutenzione
- Un'efficienza di rimozione fino al 98% delle particelle di 1 μm di diametro

ESTRATTORE

Figura 19: Estrattore.



FONTE: Foto effettuate in azienda, 2018.

L'estrattore della caldaia a biomasse è un tubo in acciaio coibentato internamente. Tale coibentazione permette di evitare la dispersione di calore residuo della combustione nel locale evitando così possibili danni alle attrezzature e alla struttura ma in particolar modo all'operatore. Allo sbocco dal generatore è presente un piccolo motore elettrico avente la funzione di facilitare l'uscita dei gas precedentemente filtrati e di indirizzarli all'apice del locale dove saranno infine liberati in atmosfera.

2.4 Elaborazioni

Tabella 8: *Quantità di combustibile necessaria per la produzione di 10 KWh di energia primaria.*

PER PRODURRE 10 KWh di E.PRIMARIA	PESO (KG)	VOLUME (LITRI)
LEGNA DA ARDERE ACC. (M25) FAGGIO	2,7	6
CIPPATO (M30) FAGGIO	3,39	8,3
PELLET (M10)	2,2	3,5
GASOLIO	0,86	1
METANO	0,84	1.000

FONTE: (Berno, 2014).

Oltre all'abbandono dei boschi, un altro problema legato al cippato è riferito alla sua bassa densità rispetto alle altre fonti energetiche. Difatti, per la generazione di 10 KWh di energia primaria (energia totale prima della combustione e quindi senza perdite energetiche), sono necessari circa 8 dm³ di cippato contro i 6 dm³ della classica legna da ardere e addirittura basta solo un litro di gasolio per generare la medesima quantità di energia. Tale disparità nei volumi e nelle masse è da collegarsi alle caratteristiche morfologiche del cippato, poiché il cippato ha una struttura tale da immagazzinare elevate quantità d'aria e di umidità e quindi di immagazzinare volume che non partecipa direttamente alla combustione, anzi ne riduce l'efficienza. Relativo alla densità, il metano ha una densità ancora più ridotta del cippato ed ha il vantaggio che non contiene umidità ed è più facilmente trasportabile (bombole), ma dato che ha una produzione di CO₂ eq. Kg/MWh circa 9 volte superiore dal punto di vista prettamente ambientale, l'utilizzo di cippato nel settore energetico risulta la scelta più sostenibile.

2.5 Stime economiche

Affrontato precedentemente il tema più generico degli aspetti lavorativi e strutturali dell'azienda, in questo paragrafo ci si addenterà nei calcoli di natura economica per stimare la convenienza dell'investimento conseguito dall'azienda.

Tabella 9: Tabella raffigurante le varie classi di generatori a biocombustibili in base alla potenza installata, al suo valore economico e al suo consumo annuo di biocombustibile.

POTENZA KW	INVESTIMENTO €	CONSUMI (INDICATIVI) t / anno
35-70	20.000-40.000	30-60
70-140	40.000-65.000	60-120
140-300	65.000-150.000	120-250
300-500	170.000-250.000	250-400
500-1000	250.000-400.000	400-800

FONTE: (Berno, 2014).

Il generatore aziendale ha una potenza installata di 150 KW. Tale potenza è sufficiente a riscaldare una superficie di 1.000 m². L'azienda sostiene annualmente un consumo di cippato intorno alle 58 tonnellate e tale valore è leggermente ridotto rispetto ai consumi medi delle caldaie elencate nella tabella 9, poiché in particolar modo nel periodo estivo il generatore è poco operativo per via delle elevate temperature stagionali e quindi delle elevate temperature che si registrano all'interno della serra.

Tabella 10: Tabella che elenca le caratteristiche principali del generatore aziendale.

POTENZA INSTALLATA	150 KW
ENERGIA PRIMARIA	170 MWh
CONSUMO DI CIPPATO	58 t
GASOLIO SOSTITUITO	17.000 litri

FONTE: Dati aziendali.

E' dal 2011 che l'azienda agricola Stella Alpina, con l'introduzione del nuovo generatore a biomasse ha deciso di effettuare questo drastico cambiamento energetico passando da un'alimentazione energetica tradizionale a gasolio ad una più di "nicchia" e meno impattante dal punto di vista ambientale, determinando un elevato risparmio di gasolio ma anche introducendo nuovi costi come: il costo di tutte le attrezzature (dal corpo caldaia fino agli allacciamenti), il costo del biocombustibile, i costi che ne derivano dalla sua produzione, ed i costi di manutenzione di tali impianti. Precedentemente all'installazione della caldaia a cippato, l'azienda agricola era munita di una caldaia tradizionale a gasolio nella quale doveva annualmente sostenere un esborso di 17.000 €. Dall'iniziale investimento l'azienda ha potuto estinguere il costo del combustibile fossile e tramutare i costi energetici in costi del nuovo combustibile e in costi di manutenzione e manodopera per la produzione del biocombustibile. Così la ditta ha potuto beneficiare di un risparmio netto annuo. L'azienda con un investimento iniziale di 70.000 € ha percepito un tasso di interesse del mutuo bancario del 7% e un saggio di capitalizzazione del 5%. Così si è potuto determinare il valore annuo della rata per una durata totale di 10 anni. Infine si è potuto determinare il tempo di ritorno con il mutuo e il VAN (valore attuale netto) al ventesimo anno.

Attraverso l'energia primaria illustrata in tabella 10 è possibile determinare sia il consumo di cippato sostenuto dal generatore aziendale, sia il consumo di gasolio da sostenere con la medesima energia.

170 MWh di energia primaria corrispondono a = 170.000 KWh

In seguito si rapporta per 10 dato che per ciascun combustibile, l'energia primaria sprigionata corrisponde a 10 KWh come riportato in tabella 8.

170.000 KWh / 10 = energia primaria che dovrà essere poi moltiplicata per la quantità del combustibile corrispondente. Per quanto riguarda il cippato, si sceglierà un valore di 3,39 kg mentre per il gasolio il valore corrisponderà a 1 l come in tabella 8. Effettate le moltiplicazioni, si risconterà in fine il quantitativo totale di gasolio evitato con il nuovo generatore a biomasse.

17.000 KWh * 3,39 kg di cippato = kg di cippato consumati annualmente dalla ditta

17.000 KWh * 1 = litri di gasolio evitati nella combustione alla medesima energia primaria

COMPILAZIONE DEL QUADRO DI AMMORTAMENTO

Si calcola la rata annua di ammortamento applicando la formula: $a = A_0 * (r * q^n) / (q^n - 1) = Q_{AMM}$

A_0 = INVESTIMENTO INIZIALE

r = SAGGIO DI CAPITALIZZAZIONE

$q = r + 1$

n = NUMERO DI ANNI

1°anno

Si scrive la rata annua, si trascrive la quota interessi calcolata per un anno sul debito residuo dell'anno zero, cioè tutto il capitale. La quota capitale è data dalla differenza tra la rata e la quota interessi calcolata; il debito estinto è uguale alla prima quota capitale. Il debito residuo è uguale a tutto il debito meno quello estinto.

2°anno e seguenti

Si scrive la rata annua, si trascrive la quota interessi calcolata per un anno sul debito residuo del primo anno, si toglie la quota interessi dalla rata annua e si ottiene la quota capitale. Il debito estinto si otterrà aggiungendo la quota capitale al debito estinto precedente. Il debito residuo sarà uguale alla differenza tra il debito residuo precedente e la quota capitale.

TEMPO DI RITORNO= RATA ANNUALE + PREZZO DEL GAS RISPARMIATO/ MARGINE OPERATIVO ANNUO DURANTE IL MUTUO

Per il calcolo del VAN è necessario calcolare i benefici totali e i costi totali. Per quanto riguarda i benefici totali si considerano i mancati costi annui di gasolio e si moltiplica il tutto per 20 dato che il VAN è al ventesimo anno, mentre per i costi totali si effettua una somma tra i costi totali annui * 20 anni e la rata del mutuo moltiplicata per 10 anni. Infine si effettua la differenza tra i benefici totali e i costi totali precedentemente calcolati e si ottiene così il valore attuale netto al ventesimo anno.

$$\text{VAN} = \text{BENEFICI TOTALI} - \text{COSTI TOTALI}$$

3 Risultati

3.1 Operazioni selvicolturali

Volume medio di legname

Formula di Huber: $V = S_m * H$

$$V = 23 \text{ m} * 0,03 \text{ m}^2 = 0,70 \text{ m}^3$$

Conversione del volume del legname in volume di cippato

$$1 \text{ m}^3 \text{ di legname} = 2,5 \text{ m}^3 \text{ di cippato}$$

Quindi

$$0,70 \text{ m}^3 = 1,75 \text{ m}^3 \text{ potenzialmente ottenibili attraverso la cippatura}$$

Numero di piante da abbattere annualmente

$300 \text{ m}^3 =$ fabbisogno annuale di cippato per il generatore aziendale

$$300 \text{ m}^3 / 1,75 \text{ m}^3 = 170 \text{ n}^\circ \text{ di piante abbattute all'anno per soddisfare il fabbisogno di biocombustibile}$$

$$170 \text{ n}^\circ \text{ piante} * 30 \text{ minuti} = 5.100 \text{ minuti}$$

$$5.100 \text{ minuti} / 60 = 85 \text{ ore annue}$$

Costo manodopera

$85 \text{ ore annue} / 2 \text{ operatori forestali} = 43 \text{ ore annue per ciascun operatore}$

$$85 \text{ ore} (45 \text{ ore} * 2 \text{ operatori}) * 8 \text{ €/ora} = 680 \text{ €}$$

Consumo di carburante

Consumo orario di miscela della motosega impiegata = 1 l/ora

$$43 \text{ ore} * 1 \text{ litri/ora} = 43 \text{ litri annui di combustibile}$$

$$43 \text{ litri annui di combustibile} * 2 \text{ motoseghe} = 86$$

Il consumo totale per questa operazione è di: 86 litri di carburante

FONTE: Dati rilevati dai libretti tecnici dei macchinari aziendali impiegati.

3.2 Trasporto del legname tagliato alla superficie di stagionatura

$$F = (6000 \text{ kg} + 2150 \text{ kg}) * 9,81 = 79951,5 \text{ N}$$

$$\text{Coefficiente di attrito} = 0,04$$

$$F = 79951,5 \text{ N} * 0,04 = 3198,06 \text{ N}$$

$$v = 35 \text{ km/h} / 3,6 = 9,72 \text{ m/s}$$

$$P = 3198,06 \text{ N} * 9,72 \text{ m/s} = 31085,14 \text{ W} = 31,1 \text{ KW}$$

Rendimento globale

$$0,93 * 0,85 * 0,96 = 0,75$$

$$31,1 \text{ kW} / 0,75 = 41,46 \text{ KW}$$

20% = surplus potenza motore

$$41,46 \text{ kW} * 1,20 = 49,75 \text{ KW}$$

6000 kg di carico di materiale legnoso

$$6000 \text{ kg} / 269 \text{ kg/m}^3 \text{ (M50)} = 22,30 \text{ m}^3$$

Fabbisogno annuale di cippato della ditta = 300 m³

$$300 \text{ m}^3 / 22,3 \text{ m}^3 = 13,45 - 14 \text{ viaggi totali.}$$

Durata viaggio

$$t = 10,3 \text{ km} / 35 \text{ km/h} = 0,3 \text{ h}$$

$$0,3 \text{ h} * 14 \text{ viaggi} = 4,2 \text{ ore}$$

Costo manodopera

$$4 \text{ ore (ore annuali di trasporto)} * 8 = € 32$$

Consumo carburante a rimorchio carico

$$258 \text{ g/KWh} * 49,75 \text{ KW} * 4,2 \text{ h} = 53909,1 \text{ g di gasolio} = 54 \text{ kg di gasolio}$$

$$54 \text{ kg} / 0,86 \text{ kg/dm}^3 \text{ (densità del gasolio)} = 62,8 \text{ litri di gasolio per 14 viaggi.}$$

Consumo carburante a rimorchio vuoto

$$F = 2150 \text{ kg} * 9,81 = 21091,5 \text{ N}$$

$$F = 21091,5 \text{ N} * 0,04 = 843,66 \text{ N}$$

$$P = 843,66 * 9,72 \text{ m/s} = 8200,37 \text{ W} = 8,2 \text{ KW}$$

Rendimento globale

$$0,93 * 0,85 * 0,96 = 0,75$$

$$8,2 \text{ kW} / 0,75 = 11 \text{ KW}$$

20% = surplus potenza del motore

$$11 \text{ kW} * 1,20 = 13,2 \text{ KW}$$

Potenza minima consentita = 40 KW

$$235 \text{ g/KWh} * 40 \text{ KW} * 4,2 \text{ h} = 39480 \text{ g di gasolio} = 39,5 \text{ kg di gasolio}$$

$$39,5 \text{ kg} / 0,86 \text{ kg/dm}^3 \text{ (densità del gasolio)} = 46 \text{ litri di gasolio per 14 viaggi.}$$

Il consumo totale per questa operazione è di: 46 l + 62,8 l = 108,8 litri di carburante

FONTE: Dati rilevati da libretti tecnici delle macchine operatrici e delle trattrici aziendali.

3.3 Trasporto del legname stagionato in azienda

$6000 \text{ kg} / 192 \text{ kg/m}^3$ (densità del cippato di legno M25) = $31,25 \text{ m}^3$ di materiale trasportato ad ogni viaggio

Fabbisogno annuale di cippato = 300 m^3

$300 \text{ m}^3 / 31,25 \text{ m}^3 = 9,6 - 10$ viaggi totali

Ogni viaggio dura

$t = 3,1 \text{ km} / 35 \text{ km/h} = 0,088 \text{ h}$

$0,088 \text{ h} * 10 \text{ viaggi} = 0,88 \text{ ore}$

Costo manodopera

1 ore (ore annuali di trasporto) * 8 = € 8

Consumo di carburante a rimorchio carico

$258 \text{ g/KWh} * 49,75 \text{ KW} * 0,88 \text{ h} = 11295,24 \text{ g}$ di gasolio = $11,3 \text{ kg}$ di gasolio

$11,3 \text{ kg} / 0,86 \text{ kg/dm}^3$ (densità del gasolio) = 13 litri di gasolio per 14 viaggi.

Consumo di carburante a rimorchio vuoto

$235 \text{ g/KWh} * 40 \text{ KW} * 0,88 \text{ h} = 8272 \text{ g}$ di gasolio = $8,3 \text{ kg}$ di gasolio

$8,3 \text{ kg} / 0,86 \text{ kg/dm}^3$ (densità del gasolio) = $9,65$ litri di gasolio per 14 viaggi.

Il consumo totale per questa operazione è di: $13 \text{ l} + 9,65 \text{ l} = 22,65$ litri di carburante

FONTE: Dati rilevati da libretti tecnici delle macchine operatrici e delle trattrici aziendali.

3.4 Cippatura

100 KW = potenza da erogare per la cippatura

Rendimento della trasmissione meccanica = 0,94

$100 \text{ KW} / 0,94 = 106,38 \text{ KW}$

Rendimento globale

$0,95 * 0,96 = 0,912$

$106,38 \text{ KW} / 0,912 = 116,64 \text{ KW}$

20% = surplus potenza del motore

$116,64 \text{ KW} * 1,2 = 140 \text{ KW}$

Potenza teorica erogata dal trattore = 150 KW

Coppia teorica erogata dal trattore = 896

$150.000 \text{ W} = (896 \text{ Nm} * 2\pi * \text{giri/minuto}) / 60$

Giri/minuto = 1600 giri/minuto

A 1600 giri/minuto corrisponde un consumo di gasolio di circa 275 g/KWh.

Produttività cippatrice = 12 m³/h

Fabbisogno di cippato aziendale = 300 m³

$300 \text{ m}^3 : 12 \text{ m}^3/\text{h} = 25 \text{ h}$

$275 \text{ g/KWh} * 140 \text{ KW} * 25 \text{ h} = 962.500 \text{ g di gasolio} = 962,5 \text{ Kg di gasolio}$

$962,5 \text{ Kg} / 0,86 \text{ Kg/dm}^3 = 1119,19 \text{ litri di gasolio}$

Il consumo annuo di gasolio per produrre 300 m³ di cippato è di 1119,19 l

Costo manodopera

8 (costo all'ora per dipendente) * 2 = € 16

25 ore (ore annuali di cippatura) * 16 = € 400

FONTE: Dati rilevati da libretti delle macchine operatrici e delle trattrici aziendali.

3.5 Stime economiche

Calcolo del consumo annuo di biocombustibile a partire dall'energia primaria

170 MWh = 170000 KWh

170.000 KWh / 10 = 17.000 KWh

17.000 KWh * 3,39 kg di cippato = 57.600 kg di cippato = 58 t

170.00 KWh * 1 = 17.000 litri di gasolio

Tabella 10: Dati economici aziendali riguardanti l'investimento effettuato per il generatore a cippato.

COSTI ANTE

Consumo gasolio (l/anno)	17.000
Costo gasolio €/litro (iva compresa)	1
Costo gasolio (€/anno)	17.000

COSTI POST

Investimento iniziale

Corpo caldaia + sistema di estrazione+ allacciamenti+ montaggio+

Puffer +opere edili + deposito di cippato + altre spese

TOTALE SENZA CONTRIBUTO €	100.000
Contributo PSR	30%
TOTALE AL NETTO DI CONTRIBUTO €	70.000

COSTI DI GESTIONE

Consumo di cippato-M25;3,4 kWh/kg	58 t
Costo cippato (€/t)	52
Costo cippato (€/anno)	3.000
Costo manutenzione e gestione (€/anno)	1.000
Costo manodopera (€/anno)	1.120
Costo gasolio (€/anno)	1.336

TOTALE COSTI ANNUI (€/anno)	6.456
MANCATI COSTI ANNUI GASOLIO (€/anno)	10.544

DATI FINANZIARI CON MUTUTO

Rata mutuo- durata 10 anni- (€/anno)	7.119
Margine operativo annuo durante mutuo	3.425

FONTE: Dati aziendali.

Tabella 11: Calcolo della durata del debito.

ANNO	RATA	QUOTA INTERESSI	QUOTA CAPITALE	DEBITO ESTINTO	DEBITO RESIDUO
0					70.000 €
1	7.119 €	490 €	6.629 €	6.629 €	63.371 €
2	7.119 €	444 €	6.675 €	13.304 €	56.696 €
3	7.119 €	397 €	6.722 €	20.027 €	49.974 €
4	7.119 €	350 €	6.769 €	26.796 €	43.204 €
5	7.119 €	302 €	6.817 €	33.612 €	36.388 €
6	7.119 €	255 €	6.864 €	40.477 €	29.524 €
7	7.119 €	207 €	6.912 €	47.389 €	22.611 €
8	7.119 €	158 €	6.961 €	54.350 €	15.650 €
9	7.119 €	110 €	7.009 €	61.359 €	8.641 €
10	7.119 €	60 €	8.641 €	70.000 €	0 €
			70.000		

BENEFICI TOTALI = 10.544 € * 20 = 210.880 €

COSTI TOTALI = (6.456 € * 20) + (7.119 € * 10) = 200.310 €

Tabella 12: Determinazione del VALORE ATTUALE NETTO.

VAN € 20° anno	
BENEFICI TOT	210.880 €
COSTI TOT	200.310 €
VAN	10.570 €

FONTE: Dati aziendali.

3.6 Bilancio di emissioni di CO₂

Il gasolio totale, calcolato attraverso le attività aziendali avvenute nel corso di un intero anno è di:

$$108,81 + 22,651 + 1119,191 + 861 = 1336,64 \text{ litri di gasolio}$$

Tali litri di gasolio annui, incidono sui costi aziendali per 1336 € dato che il valore del gasolio agricolo è di 1 €/l (iva compresa)

A questo punto, secondo la tabella n°8, i 1336,64 litri di gasolio possono produrre un quantitativo di energia primaria pari a: 13360,64 KWh poiché, ciascun litro di gasolio contribuisce alla produzione di 10 KWh di energia primaria.

Infine si applica la formula della tabella n°7:

FORMULA= Energia primaria MWh * (CO₂ eq. Gasolio)

$$\text{CO}_2 \text{ eq.} = 13,36 \text{ MWh} * (318,91 \text{ kg/MWh di CO}_2 \text{ eq.}) = 4260,63 \text{ kg di CO}_2 \text{ equivalente}$$

Calcolati i kg di anidride carbonica equivalente per le attività di produzione del biocombustibile, si devono sommare ai kg prodotti direttamente dalla caldaia in modo da avere un quadro più completo sulle effettive emissioni in atmosfera di tale biocombustibile.

PRODUZIONE DI CO₂ DA GENERATORE A CIPPATO

$$\text{CO}_2 \text{ eq.} = 170 \text{ MWh} * (26,04 \text{ kg/MWh di CO}_2 \text{ eq.}) = 4426 \text{ kg di CO}_2 \text{ equivalente}$$

$$\text{EMISSIONI TOTALI} = 4426 \text{ kg di CO}_2 \text{ eq.} + 4260,63 \text{ kg di CO}_2 \text{ eq.} = 8686,63 \text{ kg di CO}_2 \text{ eq.}$$

Infine per determinare il risparmio avvenuto in termini ambientali bisogna calcolare l'anidride carbonica emessa da una caldaia a gasolio della medesima potenza ed effettuare una differenza.

PRODUZIONE DI CO₂ DA CALDAIA A GASOLIO

$$\text{CO}_2 \text{ eq.} = 170 \text{ MWh} * (318,91 \text{ kg/MWh di CO}_2 \text{ eq.}) = 54214,7 \text{ kg di CO}_2 \text{ equivalente}$$

$$\text{RISPARMIO} = 54214,7 \text{ kg di CO}_2 \text{ eq.} - 8686,63 \text{ kg di CO}_2 \text{ eq.} = 45528,07 \text{ kg/anno di CO}_2 \text{ eq.}$$

4.DISCUSSIONE

Attraverso questo elaborato ho avuto modo di consultare determinate riviste che trattavano i vantaggi e le peculiarità dei generatori a biomasse. Tali studi erano focalizzati nei benefici economici ed ambientali e non accennavano a nessun svantaggio. Ho voluto guardare oltre l'apparenza di questo metodo grazie soprattutto a formule di meccanica agraria e di estimo che hanno consentito lo sviluppo e la determinazione di importanti calcoli tutto ciò, per comprendere che l'utilizzo di biomasse forestali sì, sono un'alternativa più che promettente rispetto ai combustibili fossili ma determinano comunque anche dei costi sociali ed ambientali rilevanti. Costi sociali, soprattutto per quanto riguarda l'impiego di manodopera specializzata nelle operazioni boschive.

Ovviamente, oltre ai limiti intravisti dai documenti scientifici consultati, il mio elaborato ha il grosso limite di aver analizzato una piccola azienda agricola che svolge le proprie attività in una range di soli 50 km. E' priva infatti di attrezzature adeguate per l'esbosco e il trasporto di legname su lunghi percorsi inoltre, nel calcolo della produzione di anidride carbonica si ha avuto poche informazioni riguardanti i costi sociali e i costi ambientali riferiti al trasporto di gasolio per la caldaia sostituita.

Attraverso l'esperienza che ho potuto acquisire su questo argomento, posso affermare che essendoci troppe variabili ossia: n° di operatori nella ditta, tipologie e potenze delle attrezzature, potenza del generatore, n° elevato di benefici economici ecc. non esiste un unico modello che è possibile traslare su altre ditte o su altri luoghi, anche perché se le formule da applicare sono le medesime le incognite da calcolare possono essere le più svariate e differenti.

Perché una ditta, come l'azienda agricola Stella Alpina ha intrapreso questo percorso?

L'azienda ha avuto il coraggio di applicare un sistema energetico alternativo ma che al tempo stesso è risultato molto rischioso. Questo rischio è dovuto essenzialmente dal fatto che tale svolta energetica ha comportato ingenti investimenti soprattutto per via dell'attivazione di un mutuo di 70.000 € avente la durata di 10 anni. L'investimento iniziale, come descritto nelle pagine precedenti ha avuto un contributo dal PSR pari al 30%, favorendo inizialmente la ditta dal punto di vista finanziario. Senza contributo da parte del PSR, non si sarebbero sicuramente effettuati investimenti per un generatore da 150 KW, sia per il costo stesso del generatore che per il suo consumo in termini di cippato. Un ulteriore rischio che la ditta ha saputo superare col tempo è la mancanza di un vero e proprio mercato di biocombustibili e l'ancor più ridotta presenza di generatori a biomasse presenti sul suolo bergamasco rispetto al più sviluppato mercato del Trentino. Questa carenza nella richiesta di cippato ha determinato un più lento sviluppo del mercato locale ma soprattutto, l'azienda ha avuto ed ha ancora difficoltà a differenziare la sua offerta di biocombustibili per via di una clientela sul territorio molto ridotta.

I lati positivi di questa scelta invece sono molto tangibili e concreti. Come punto di partenza, la ditta era già munita precedentemente all'investimento della caldaia a cippato di attrezzature forestali, che venivano e vengono tutt'ora utilizzate per operazioni selvicolturali per enti privati e pubblici. Ovviamente, l'unico investimento significativo effettuato durante la transizione energetica è stato l'acquisto della cippatrice mentre la trattrice, i rimorchi e tutte le attrezzature di taglio ed esbosco erano già presenti. Il secondo punto fondamentale che ha favorito l'applicazione di questa scelta è stata la presenza massiccia di biomassa locale utilizzabile, dato che la Val Cavallina è circondata da ampie superfici boschive, molte delle quali a ridotta pendenza e quindi facilmente utilizzabili, come appunto la particella boschiva analizzata in questo elaborato, caratterizzata da una pendenza quasi nulla. Come terzo punto si vorrebbe evidenziare come il PSR (programma di sviluppo rurale) della regione Lombardia abbia contribuito all'investimento iniziale con una quota del 30%.

Un ulteriore motivo è prettamente economico-ambientale. Economico, perché attraverso i calcoli e le previsioni svolte nelle pagine precedenti si è potuta notare la sostenibilità dell'investimento, attraverso i litri di gasolio risparmiati che la vecchia caldaia consumava contro la quantità e il costo del nuovo biocombustibile prodotto dalla ditta. La differenza dei costi dei due combustibili ha evidenziato un'elevata fattibilità dell'investimento dando pienamente ragione alla strada intrapresa dall'azienda. Tutto questo ha generato per la ditta un cospicuo risparmio che è servito e servirà negli anni a garantire ulteriori investimenti nella filiera energetica del legno. Per quanto riguarda l'aspetto ambientale, l'utilizzazione di biomassa legnosa da boschi gestiti ha potuto garantire un risparmio annuo pari a 45528,07 kg di CO₂ equivalente, poiché con la transizione energetica si è potuto evitare l'utilizzo e la conseguente combustione di gasolio e quindi di un combustibile fossile molto più impattante dal punto di vista ambientale.

Un problema alquanto serio che in parte compromette lo sviluppo e la diffusione della filiera energetica del legno sul territorio nazionale è l'aspetto denigratorio che si applica alle biomasse agroforestali e soprattutto la loro utilizzazione nella filiera energetica, poiché questo è dovuto essenzialmente per via di due concetti: il primo è il fatto che si associa molto spesso l'utilizzo anche ridotto di una particella boschiva ad un vero e proprio disboscamento incontrollato che ha come unico scopo di distruggere interi ecosistemi. Ma come è stato descritto nelle prime pagine, un'utilizzazione sostenibile del bosco, porta solo vantaggi dal punto di vista ambientale (per via della sostituzione di vettori energetici fossili con biomasse agroforestali) ed economico-occupazionale. Questo concetto, dev'essere appreso dalla popolazione, perché è attraverso la popolazione stessa che si garantisce lo sviluppo sociale ed in questo preciso ambito, lo sviluppo dell'intera filiera italiana del legno. Si potrebbe sensibilizzare e diffondere questo delicato tema attraverso convegni effettuati sui territori locali in modo da interagire con esperti nel settore.

Nel caso della particella boschiva analizzata, si sono potuti effettuare dei lavori di esbosco su una superficie abbandonata che contribuiva solo in minima parte alla riduzione dei gas serra quindi, attraverso l'utilizzazione dei materiali legnosi ottenuti si è realizzata la completa sostituzione dei vettori energetici fossili che in questo specifico caso riguardava il gasolio realizzando un consistente risparmio di gas serra. E' da sottolineare che non in tutti i casi è necessario un taglio a raso come quello svolto dalla ditta ma sono da adottare solo operazioni selvicolturali necessarie a mantenere il fabbisogno di biomasse entro i limiti aziendali. Nei calcoli delle pagine precedenti che si soffermavano sul fabbisogno aziendale di cippato, si era calcolato un valore pari a 170 piante abbattute all'anno. La ditta non necessariamente deve abbattere un numero così elevato di fusti, poiché grazie all'elevata versatilità dei prodotti legnosi che si possono dapprima cippare e poi utilizzare nella combustione, si potrebbero facilmente impiegare: ramaglie, cimali e scarti della lavorazione del legno. Sono pochi i casi come questo in cui la ditta ha dovuto effettuare delle operazioni selvicolturali così importanti.

Il secondo concetto diffuso e in determinati aspetti condivisibile è la concezione di biocombustibile come vettore energetico inquinante. Come tutti i combustibili, anche il cippato utilizzato dalla ditta determina l'emissione di agenti inquinanti e nocivi per l'uomo e per l'ambiente, ma spesso si trascurava che i generatori di nuova generazione emettono un quantitativo di inquinanti estremamente ridotto rispetto alle tradizionali stufe domestiche. Come riportato nella tabella n°6, i moderni generatori a biomasse producono una quantità di PM inferiore del 70-90% rispetto ai vecchi apparecchi garantendo inoltre una composizione chimica degli inquinanti molto diversa ma soprattutto meno dannosa. Grazie all'adozione di tecnologie sempre più efficienti, i generatori di oggi rispetto a quelli di vent'anni fa, sono muniti di sistemi di abbattimento delle polveri e degli inquinanti sia solidi che gassosi, molto efficienti.

Si sono inoltre descritte le tecnologie e i passaggi fondamentali del generatore a biomasse, dal magazzino di stoccaggio fino ai sistemi di abbattimento degli inquinanti gassosi e solidi. Tutti questi passaggi sono stati fondamentali per analizzare le tecnologie aziendali che hanno determinato non solo un risparmio in termini economici per via di una riduzione di combustibili fossili, ma soprattutto un risparmio in termini ambientali, mettendo in evidenza, che una gestione sostenibile dei boschi italiani può essere una soluzione più che valida sia per la crisi energetica della nostra nazione sia come soluzione alla sempre più affannosa crisi in cui versa il settore italiano del legno. Un settore carente di mezzi tecnici ma soprattutto ostacolato da una burocrazia sempre più stringente.

Una proposta virtuosa atta ad aumentare lo sviluppo del mercato dei biocombustibili in Italia, oltre che informare la popolazione sulle reali caratteristiche della filiera energetica è necessario favorire lo sviluppo di cooperative che mettano in comunicazione aziende produttrici di energia da biomassa, ditte specializzate in operazioni selvicolturali, segherie e falegnamerie. Tutto questo può ridurre i tempi dovuti alla burocrazia e potrà favorire un'utilizzazione quasi del 100% dei prodotti legnosi, sia fusti interi che sottoprodotti di lavorazione. In assenza di comunicazione tra le varie imprese e ditte boschive non sarà mai possibile cooperare per rendere più efficiente e redditizio il settore del legno italiano ma con uno sviluppo che negli ultimi anni va in crescendo, la possibilità di vedere sorgere cooperative locali è sempre più concreta.

Anno dopo anno, si sta verificando uno sviluppo sempre più roseo delle fonti energetiche alternative a discapito di quelle tradizionali (combustibili fossili) e attraverso questo elaborato ho compreso che anche il settore energetico del legno dovrà avere un peso sempre più determinante nei prossimi anni in modo da favorire un utilizzo più sostenibile di aree montane sempre più abbandonate e disabitate. Oltre al solare e all'eolico anche l'energia derivata da biocombustibili forestali e agricoli deve avere una propria importanza e un proprio peso avendo lo scopo di favorire una diversificazione energetica che da beneficio al settore energetico italiano.

5. Conclusioni

Ho avuto la fortuna di lavorare in un'azienda agricola che mi ha permesso di alimentare la passione verso tutto ciò che riguarda il bosco e tutte le sue molteplici utilizzazioni. Attraverso questo elaborato ho compreso maggiormente che cosa significa l'impatto ambientale attraverso i combustibili fossili. Ho ottenuto molti risultati ma il più significativo a mio parere è il risparmio in termini di tonnellate di CO₂ che si è riscontrato nei calcoli di pagina 53. Ritengo che questo elaborato sia uno spunto per far conoscere a nuove persone, soprattutto presenti nell'areale della Valle Camonica questa fonte energetica alternativa, perché se le persone hanno a cuore il proprio territorio, l'impiego di biomasse legnose locali sono un ottimo trampolino di lancio per valorizzare il territorio nel rispetto dell'ambiente.

6. Bibliografia

E. Angelino et al. (2014), Le emissioni da piccoli apparecchi a legna in Lombardia: analisi e prospettive, Milano, AGRIFOREENERGY.

L. Baù et al. (2014), Come riscaldarsi correttamente con il legno, In sicurezza, nel rispetto dell'ambiente e della qualità dell'aria, Belluno, AIEL.

F. Berno. (2014), Risparmio energetico e biomasse agroforestali per il riscaldamento delle serre, Padova, ENAMA.

F. Cherubini et al. (2009), Energy and greenhouse gas based LCA of biofuel and bioenergy systems: key issues, ranges and recommendations.

Dott. Geol. A. Manella. (2003), Studio geologico a supporto della pianificazione comunale.

NORMA ISO 17225-4, (2014), Specifiche tecniche per il cippato.

Piano nazionale clima energia, (2017), Ministero dello Sviluppo Economico, Italia.

Regolamento Legno dell'Unione europea (EUTR), 2013.

P. Schwarzbauer. (2012), Indicatori socio-economici della filiera del legno austriaca, Università di Risorse Naturali e Scienze della Vita di Vienna.

7.Sitografia

La gestione delle foreste per il futuro, Home, <http://www.fao.org>, Visitato aprile (2019).

Home, <http://www.bernardimacchine.it>, Visitato maggio (2019).

Home, <http://www.geoportale.regione.lombardia.it>, Visitato aprile (2019).

Home, <http://www.heizomat.de>, Visitato maggio (2019).

Home, <http://www.schmid-energy.ch>, Visitato maggio (2019).

Ringraziamenti

Un ringraziamento particolare va a mia madre, mio padre e alle mie sorelle Elisabetta e Monica che mi hanno sempre sostenuto e incoraggiato in questi 3 anni di Università permettendomi di raggiungere questo importante traguardo.

Ringrazio il mio amico Stefano che ha sempre creduto in me e ringrazio tutti i miei amici e parenti inoltre volevo ringraziare tutti i colleghi della Capelli S.N.C che mi hanno supportato e sopportato in questi mesi di lavoro.

Ringrazio infine Erminio Spada che mi ha permesso di svolgere il tirocinio nella sua azienda e per avermi fornito materiale utile per la stesura dell'elaborato.