



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Ingegneria Industriale DII
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica

Analisi economica ed energetica
di una filiera corta di produzione di cippato.
Il caso della rivalutazione della risorsa boschiva
del monte Summano

Relatore prof. Arturo Lorenzoni

Studente Lisa Colmetti 1061403

Anno Accademico 2015/2016

SOMMARIO

Introduzione	5
Capitolo 1. Inquadramento.....	7
1.1 Il contesto Europeo e le scelte locali	7
1.1.1 PAES Piano d’Azione per l’Energia Sostenibile.....	7
1.1.2 L’idea di “filiera corta”	9
1.2 Energia dalle biomasse.....	9
1.2.1 Il cippato.....	11
1.3 Selvicoltura.....	13
1.3.1 La selvicoltura naturalistica.....	13
1.4 La cogenerazione.....	15
1.4.1 Le diverse possibilità cogenerative	15
1.4.2 Cogenerazione a biomassa con ciclo ORC.....	16
1.5 Caldaia a cippato	18
1.6 Aspetti economici.....	20
1.6.1 Conto Termico	20
1.6.2 Tariffa Omnicomprensiva.....	21
Capitolo 2. Analisi della Risorsa Boschiva.....	25
2.1 I boschi del comune di Santorso.....	25
2.1.1 Creazione della mappatura territoriale.....	26
2.1.2 Caratteristiche e Potenzialità	27
2.2 Accessibilità alla Risorsa.....	28
2.2.1 Analisi delle pendenze.....	28
2.2.2 Analisi delle Aste Viarie Esistenti.....	31
2.2.3 Calcolo producibilità di biomassa.....	32
Capitolo 3. Filiera di produzione del cippato.....	34
3.1 Come produrre il cippato.....	34
3.2 Quantità di cippato ottenibili.....	37
3.3 Energia primaria disponibile	39
3.4 Valutazioni economiche	41
Capitolo 4. Utilizzo del cippato nel complesso G.Bosco.....	42
4.1 Carichi termici ed elettrici.....	42
4.1.1 Carichi termici.....	42
4.1.2 Carichi elettrici	44

4.1.3	Curva di durata del carico termico	45
4.2	Soluzioni in cogenerazione	45
4.2.1	Simulazioni	46
4.3	Soluzione con Caldaia a cippato	50
4.4	Analisi economica	52
4.4.1	Cogenerazione.....	53
4.4.2	Caldaia a cippato	54
4.4.3	Risultati: Valore Attuale Netto, Pay Back, Indice di Profittabilità	55
4.5	Valorizzazione della CO ₂ risparmiata	56
4.5.1	Fattori di emissione di CO ₂	56
4.5.2	Emissioni di CO ₂ evitate	58
4.5.3	Valorizzazione economica della CO ₂ evitata	58
	Conclusioni.....	59
	Bibliografia.....	61
	Ringraziamenti	63

INTRODUZIONE

Il presente lavoro ha lo scopo di analizzare la possibilità di realizzare nel comune di Santorso (VI) una filiera corta locale di produzione di cippato a partire dalla rivalutazione del patrimonio boschivo del monte Summano per soddisfare il fabbisogno energetico dell'istituto scolastico comunale G.Bosco e della palestra annessa attraverso l'installazione di caldaie a cippato o impianti cogenerativi a cippato.

La riqualificazione energetica dell'istituto rientra tra gli obiettivi del Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile che il comune ha approvato nel gennaio 2014 dopo l'adesione al Patto dei Sindaci, nell'ambito del Pacchetto Europeo Clima-Energia 20-20-20. L'utilizzo di cippato si inserisce perciò in questo contesto in quanto fonte di energia rinnovabile.

Si è dapprima valutata la disponibilità di risorsa presente nei boschi dell'area comunale allo scopo di capire se esistevano i presupposti per proseguire nella realizzazione di una filiera di produzione. Si è quindi stimata la producibilità di biomassa che si renderebbe disponibile da operazioni selvicolturali atte alla riqualificazione e alla gestione dei boschi che, attualmente, sono in buona parte in stato di abbandono. Una volta valutata la quantità di biomassa estraibile, si è considerata la possibilità di creare una filiera di produzione di cippato.

Successivamente si è valutato il fabbisogno energetico dell'istituto e della palestra annessa e si sono analizzate diverse soluzioni per coprire il fabbisogno utilizzando il cippato prodotto. Le soluzioni prese in considerazione sono: cogenerazione con ciclo ORC per la contestuale produzione di energia elettrica e termica, caldaia a cippato per la sola produzione di energia termica.

Tale progettualità trae spunto dall'attivazione di un percorso di progettazione partecipata nella quale, in una prima fase, la cittadinanza ha espresso la preoccupazione sullo stato di abbandono dei boschi, a questo si è associata la necessità di rinnovamento dell'impiantistica dell'istituto scolastico ed è così nata l'idea del presente lavoro di tesi.

Capitolo 1. INQUADRAMENTO

1.1 IL CONTESTO EUROPEO E LE SCELTE LOCALI

L'idea che le attività umane abbiano un'incidenza su quello che è l'attuale incremento della temperatura del pianeta è ormai un pensiero che da metà secolo scorso interessa sia il mondo scientifico che quello politico. Questo tema ha fatto sì che negli ultimi decenni i governi e le istituzioni internazionali si siano trovati a ragionare su scelte di carattere ambientale. In questo contesto si inserì il protocollo di Kyoto, un trattato internazionale che riguarda il riscaldamento globale (entrato in vigore nel 2005) che pose all'Unione Europea (UE15) l'obbligo di operare una riduzione dell'8% delle emissioni di gas serra rispetto all'anno 1990. Il primo periodo d'impegno terminò il 31 dicembre 2012 e fu seguito da una verifica degli obiettivi raggiunti basandosi sulla media delle emissioni equivalenti registrate nel periodo 2008-2012. Già prima della conclusione del primo periodo, l'Europa si è posta degli obiettivi post-Kyoto, e per continuare ad impegnarsi nelle scelte di carattere ambientale si è data realizzazione al cosiddetto "pacchetto clima-energia 20-20-20" contenuto nella direttiva 2009/29/CE entrato in vigore da giugno 2009 e valido a partire da gennaio 2013 fino alla fine del 2020.

Il pacchetto, in termini quantitativi, prevede di ridurre le emissioni di gas serra del 20%, avendo come riferimento il 1990, di alzare al 20% la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili e di ridurre l'utilizzo di energia primaria del 20%, tutto entro il 2020.

Dopo l'adozione del Pacchetto europeo su clima e l'energia, la Commissione europea ha lanciato il *Patto dei Sindaci*, che rappresenta la principale iniziativa rivolta alle autorità locali e ai cittadini al fine di ridurre del 20% delle emissioni di CO₂ entro il 2020.

Il patto dei sindaci è stato creato allo scopo di sostenere gli sforzi compiuti dagli enti locali nell'attuazione delle politiche nel campo dell'energia sostenibile. I governi locali, infatti, svolgono un ruolo decisivo nella mitigazione degli effetti conseguenti al cambiamento climatico, soprattutto se si considera che l'80% dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂ è associato alle attività urbane. Moltissimi comuni dell'area dell'Unione Europea stanno dimostrando la volontà politica di aderire al patto tuttavia non sempre dispongono dei mezzi (sia economici che tecnici) necessari. Per questo motivo all'interno del Patto esistono diversi sistemi in grado di assistere i firmatari nel perseguimento dei loro ambiziosi obiettivi. I Coordinatori del Patto, le province, le regioni e le autorità nazionali, offrono ai firmatari consulenza strategica e assistenza tecnico-finanziaria. I Firmatari inoltre beneficiano del totale sostegno delle istituzioni: della Commissione Europea, del Comitato delle Regioni, del Parlamento Europeo e della Banca Europea per gli Investimenti. Quest'ultima ha la funzione di assistere gli enti locali a sbloccare il proprio potenziale di investimento.

1.1.1 PAES Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile

Il PAES - Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile - è lo strumento adottato dall'Amministrazione per fare un inventario delle emissioni di CO₂ equivalente del proprio comune e descrivere le azioni finalizzate ad aumentare l'efficienza energetica e l'utilizzo delle fonti rinnovabili al fine di tradurre l'impegno politico in misure e progetti concreti.

Le amministrazioni aderenti al Patto sono tenute pertanto a presentare l'inventario delle emissioni ed il proprio PAES entro l'anno successivo alla firma.

Oltre al risparmio energetico, i risultati delle azioni dei firmatari sono molteplici: la creazione di posti di lavoro stabili e qualificati non subordinati alla delocalizzazione; un ambiente e una qualità della vita più sani; un'accresciuta competitività economica e una maggiore indipendenza energetica. Nella volontà che le azioni dei singoli comuni siano esemplari per gli altri, esiste una banca dati di buone prassi creata dai firmatari del Patto inoltre si è creato il catalogo dei Piani d'azione per l'energia sostenibile che rappresenta un'altra fonte d'ispirazione poiché mostra gli obiettivi fissati dagli altri firmatari e le misure chiave che questi hanno identificato per il loro raggiungimento.

In questo contesto si è inserito il presente studio che sceglie di valutare la possibilità di realizzare un sistema completo di gestione boschiva annesso ad impianti funzionanti a cippato. Esso ha le seguenti esigenze di partenza e obiettivi concreti:

- Ridurre le emissioni di CO₂, in linea con gli obiettivi del P.A.E.S.
- Tagliare i costi energetici
 - Termici
 - Elettrici
- Usare energia rinnovabile possibilmente di scarto
- Dar vita a una gestione dei boschi attualmente in stato di abbandono, da cui le ricadute positive saranno:
 - In termini di rinnovamento dei boschi
 - In termini di nuova occupazione

Quando si parla di un progetto rivolto ad un'amministrazione comunale si deve tener conto che gli aspetti economici sono fortemente legati ad aspetti sociali e ad aspetti politici. Ci si deve perciò rivolgere a soluzioni innovative e sostenibili che non siano in contrapposizione con la realtà lavorativa locale ma piuttosto che creino nuove opportunità. Dal punto di vista dell'amministrazione serve poi una volontà e una capacità di eseguire azioni che guardino al lungo periodo in special modo quando si parla di aspetti che riguardano il settore ambientale e dell'energia. Inoltre in qualsiasi scelta impiantistica che riguarda il bene pubblico, come quella in esame, è necessario tenere in considerazione le diversità tra gli stakeholders (i portatori d'interesse) del territorio che possono avere tra loro interessi diversi, potenzialmente in conflitto, e gradi di sensibilità differenti. Tutte queste variabili devono pertanto essere valutate accuratamente e preventivamente all'interno del territorio coinvolto ed è quindi necessario procedere con un approccio che parta dal basso. Questo stesso lavoro parte da uno dei risultati ottenuti da quella che è stata un'azione di coinvolgimento della cittadinanza. L'idea nasce infatti dalla riunione di due esigenze: una richiesta da parte della cittadinanza di sfruttare le potenzialità dei boschi locali e dall'altra parte la necessità di rinnovamento del sistema di riscaldamento dell'istituto G.Bosco.

1.1.2 L'idea di “filiera corta”

La definizione di filiera corta è individuata nell'insieme di pratiche che permettono diretto rapporto tra produttori e consumatori, con minima o assente presenza di intermediari ed è nata e si è sviluppata molto nel settore agro-alimentare. Per quanto riguarda la filiera corta di nostro interesse, la si può definire come quella filiera di produzione e utilizzo di una fonte primaria di energia, quale il cippato, che tende ad avere il minor numero possibile di passaggi produttivi e intermediazioni commerciali.

La scelta di valutare la realizzazione di una filiera corta ha come vantaggi:

- Riduzione del combustibile usato per i trasporti e quindi dell'impatto ambientale
- Stimolo alla gestione del bosco e aumento della sicurezza dei versanti
- Miglioramento del paesaggio montano
- Valorizzazione e sfruttamento di una fonte distribuita e locale
- Incentivo all'interesse di realtà limitrofe e possibilità di realizzazione congiunta della filiera stessa
- L'autoconsumo, estraneo alle variazioni del mercato
- Stabilire una relazione diretta come garanzia di una gestione responsabile
- Valorizzazione dei residui

1.2 ENERGIA DALLE BIOMASSE

La biomassa si configura come una risorsa di estremo interesse per l'eterogeneità dei materiali di partenza e la versatilità di impiego negli usi finali, capace di coinvolgere in modo trasversale numerosi segmenti del comparto agroforestale, industriale e dei servizi. La stretta interdipendenza fra biomasse e territorio impone l'uso razionale delle rispettive potenzialità per apportare notevoli benefici a entrambi i sistemi.

Per biomassa si intende una categoria di composti di matrice organica e comprendono tutto ciò che può derivare da:

- coltivazioni agricole e forestali
- residui agricoli, zootecnici, forestali, agro-industriali
- frazione organica RSU

Se utilizzate come fonte energetica esse rappresentano energia rinnovabile in quanto rientrano nel ciclo naturale con tempi di consumo e di ripristino tra loro paragonabili e se utilizzate correttamente non sono destinate all'esaurimento. La forma di energia contenuta è di tipo chimico ed è legata alla fotosintesi clorofilliana perciò si tratta di energia che origina in ultima analisi dal sole come la maggior parte delle risorse rinnovabili. Tuttavia, rispetto ad altre fonti rinnovabili, l'utilizzo delle biomasse ha il vantaggio di non essere caratterizzato da aleatorietà e discontinuità; esse si possono considerare infatti come un “serbatoio” di energia solare.

Le biomasse sono quasi nella totalità sostanze di origine vegetale e si possono classificare in: biomasse residuali o biomasse da coltivazioni energetiche. Nel caso in cui si utilizzino biomasse residuali si hanno maggiori vantaggi in quanto oltre a ridurre l'uso di combustibili fossili, si permette un recupero energetico di ciò che altrimenti sarebbe da smaltire in altro modo. L'utilizzo dei residui presenta però lo svantaggio di non permettere di lavorare su larga scala; per aumentare la percentuale di copertura del fabbisogno energetico derivante da rinnovabili in maniera incidente a livello mondiale, bisogna infatti rivolgersi alle coltivazioni energetiche, tuttavia è necessario porre

attenzione che queste coltivazioni non vadano a sostituire terreni necessari al soddisfacimento dei bisogni alimentari.

Attualmente le biomasse come fonte energetica sono una fonte ben distribuita nel territorio che è usata spesso privatamente e quindi difficilmente quantificabile in quanto sfugge ai classici canali commerciali. A livello mondiale i maggiori utilizzi di biomassa sono per gli “usi tradizionali” che comprendono la cottura di cibi e la combustione diretta per il riscaldamento, per lo più utilizzati nei paesi più poveri.

Gli utilizzi più avanzati delle biomasse per la produzione di energia elettrica e termica in appositi impianti separati o in cogenerazione e con eventuale teleriscaldamento sono invece sviluppati nei paesi più industrializzati.

Le principali tipologie di biomasse sono: *oleaginose* usate per lo più per produrre biodiesel, *alcoligene* per produrre etanolo, *ligno-cellulosiche* usate principalmente per ottenere biomassa secca. Ciascuna tipologia prevede un'apposita e diversa filiera di conversione in relazione alle caratteristiche di ciascun materiale e all'uso finale.

Le biomasse ligno-cellulosiche, che sono quelle di interesse per il presente studio, vengono per lo più utilizzate come combustibile alternativo ai combustibili fossili in apposite caldaie. Esse vengono usate sia per la produzione diretta di calore sia per riscaldare dei fluidi termovettori con i quali è pertanto possibile trasportare il calore e utilizzarlo o per finalità termiche o per produrre energia meccanica e quindi elettrica. Le biomasse ligno-cellulosiche dopo la raccolta e il trasporto possono subire diversi trattamenti finalizzati omogenizzare le dimensioni e ridurre l'umidità.

Dal punto di vista delle emissioni di CO₂ il legno è neutro. Questo è dovuto al fatto che la sua combustione libera la stessa quantità di CO₂ che l'albero ha ricevuto dall'atmosfera durante la sua crescita, con un bilancio uguale a zero e lo stesso avverrebbe se il legno non venisse utilizzato ma lasciato nel sottobosco: la sua decomposizione libererebbe la stessa quantità di CO₂ nell'atmosfera. In questi ragionamenti bisogna tuttavia considerare due aspetti:

1. L'assorbimento della CO₂ da parte della pianta avviene in decine di anni mentre la combustione la riemette nel giro di poche ore, pertanto il bilancio è uguale a zero ma nell'arco di decenni
2. Il processo di utilizzo del legno come combustibile prevede una sua lavorazione che pertanto comporta un consumo di energia e emissioni di CO₂ per i macchinari, per il trasporto, etc.

In ogni caso, dopo queste precisazioni, si può affermare che l'utilizzo delle biomasse per fini energetici permette di svincolarsi dalle fonti fossili e di ridurre sostanzialmente le emissioni di CO₂ in atmosfera.

1.2.1 Il cippato

Il cippato è un combustibile costituito da scaglie di legno di diversa misura, è una delle forme in cui vengono trattate le biomasse ligno-cellulosiche allo scopo di renderle adatte all'utilizzo nelle apposite caldaie e cogeneratori.



Fig. 1-1 – Cippato di legno

Le caldaie delle taglie a cui ci riferiamo, per la maggioranza, richiedono una selezione qualitativa del prodotto legnoso di alimentazione. I parametri principali che determinano la qualità del cippato prodotto e quindi la sua performance nella combustione sono: la pezzatura, il contenuto idrico, il contenuto di ceneri e di conseguenza il potere calorifico. L'utilizzo di cippato di bassa qualità ha due conseguenze: una legata all'aumento dei costi di manutenzione e di smaltimento delle ceneri, l'altra riguardante la possibilità di accesso agli incentivi, per i quali è richiesta classe di qualità A1, A2.

La qualità del combustibile è definita a livello europeo dalla specifica tecnica CEN/14961. I principali parametri che distinguono i diversi tipi di cippato riguardano:

- la pezzatura P

	frazione principale (> 80%) in massa
P16	$3.15\text{mm} \leq P \leq 16\text{mm}$
P45	$3.15\text{mm} \leq P \leq 45\text{mm}$
P63	$3.15\text{mm} \leq P \leq 63\text{mm}$
P100	$3.15\text{mm} \leq P \leq 100\text{mm}$

- il contenuto idrico M

M20	$\leq 20\%$ ESICCATO
M30	$\leq 30\%$ STAGIONATO ALL'ARIA
M40	$\leq 40\%$ NON STAGIONATO
M55	$\leq 55\%$
M65	$\leq 65\%$

- il contenuto di ceneri A%ss

A0.7	$\leq 0.7\%$
A1.5	$\leq 1.5\%$
A3.0	$\leq 3.0\%$
A6.0	$\leq 6.0\%$
A10	$\leq 10\%$

Sulla base di questi parametri si definiscono le seguenti classi qualitative di cippato forestale:




Classi di qualità del cippato Norma ISO 17225-4	Contenuto idrico	Pezzatura	Ceneri sul secco	Potere calorifico	Valore economico
A1 	≤25%	P16- P31,5-P45	≤1%	da dichiarare ≥3,6 kWh/kg	100-120€/t
A2 	≤35%		≤1,5%	da dichiarare ≥3,1 kWh/kg	75-90€/t
B1 	da dichiarare	P45-P63	1,5-3%	da dichiarare	45-55€/t

Fig. 1-2 – Classi di qualità (immagine: AIEL)

Normalmente gli impianti con taglie fino ai 500kW devono essere alimentati con cippato di qualità almeno A2.

Inoltre, per un corretto funzionamento della caldaia, bisogna porre attenzione al sistema di alimentazione: nel caso di sistema di alimentazione a coclea il range di pezzatura consigliato è P16-45 per evitare blocchi della coclea mentre con alimentazione a spintore si possono utilizzare anche pezzature maggiori, nel range P16-100.

1.3 SELVICOLTURA

Il progetto oltre a dare una risposta alle esigenze di sostenibilità in termini di riduzioni delle emissioni di gas serra, grazie all'utilizzo di una fonte rinnovabile che permette di ridurre l'utilizzo di combustibili fossili, intende rispondere alla problematica esposta dalla cittadinanza in merito all'abbandono dei boschi. Anch'essa in realtà rientra in un contesto di sostenibilità in quanto gli aspetti negativi dell'abbandono dei boschi si manifestano drammaticamente in occasione di eventi quali incendi e alluvioni. Il quadro viene poi aggravato dallo stato di abbandono che caratterizza spesso sentieri e mulattiere all'interno dei comprensori boschivi, che quindi rende difficilmente accessibili le zone interessate dal fuoco.

Nei territori in questione la gran parte dei boschi risulta essere di proprietà privata e molto frazionata. Nel passato il proprietario del bosco era interessato al buon governo del suo capitale e quindi si prendeva cura oltre che della raccolta dei vari prodotti anche della sua manutenzione complessiva, tenendo sgombro il terreno forestale dai rami secchi (raccolti in fascine) e dagli arbusti ritenuti infestanti e a volte realizzando piccole opere di regimazione idrica. Oggi tali operazioni colturali sono scomparse poiché appaiono interventi dai quali non è possibile ricavare alcun reddito ed è impensabile che il proprietario di un bosco provveda a proprie spese alla gestione di un bene che considera improduttivo o comunque non idoneo a produrre reddito adeguato in tempi ragionevoli.

Per questi motivi si intende approfondire quella che è la scienza che studia i “lavori di manutenzione o di pulizia del bosco” come vengono spesso impropriamente chiamati, ovvero la selvicoltura.

La **selvicoltura** (o **silvicoltura**) è la scienza che studia l'impianto, la coltivazione e l'utilizzazione dei boschi. Selvicoltura in senso stretto significa tutto quell'insieme di interventi che vanno dai tagli di rinnovazione ai tagli intercalari i quali permettono la coltivazione del bosco garantendo la sua rinnovabilità in modo che il prelievo legnoso che se ne ricava viene valutato in termini di sostenibilità.

La selvicoltura dunque si basa sulle conoscenze scientifiche degli equilibri e delle caratteristiche degli ecosistemi forestali, naturali o creati dall'uomo. Esistono pertanto la *selvicoltura naturalistica* che si occupa della conservazione dell'ecosistema forestale, per mantenerlo il più possibile simile a quelli naturali, subordinando allo scopo principale la quantità e qualità del prelievo di legname per usi energetici o commerciali e la *selvicoltura sistemica* che punta invece maggiormente ad aumentare la biodiversità del sistema-bosco gestendolo come un sistema complesso.

1.3.1 La selvicoltura naturalistica

Per selvicoltura naturalistica si intende quella serie di interventi colturali che favoriscono le dinamiche naturali del bosco.

I punti chiave della selvicoltura naturalistica sono:

- rinnovazione naturale;
- biodiversità;
- sostenibilità;
- multifunzionalità del bosco;
- utilizzo di specie autoctone.

I boschi sono classificati secondo le specie che li compongono perciò possono essere:

Puri cioè formati da una sola specie (specie presente almeno per il 90%)

Misti cioè formati da più specie differenziate

Inoltre a seconda dell'età si distinguono in:

Coetanei formati da piante della stessa età

Disetanei formati da piante di età diversa

Esistono poi principalmente due tipologie di bosco che caratterizzano i territori nazionali: fustaia e bosco ceduo.

La **fustaia** è un bosco in cui gli alberi sono originati da rinnovazione gamica, con crescita è lenta e turni lunghi anche superiori a 100anni.

Nel caso di *fustaia coetanea* si sceglie la gestione a tagli successivi con lo scopo principale di assicurare ai semenzali un certo grado di protezione grazie alle chiome degli alberi maturi. L'intera serie di tagli per essere realizzata impiega dai 5 ai 30 anni, periodo chiamato "di rinnovazione"

Nel caso di *fustaia disetanea* si hanno piante di età diverse, perciò il bosco è stabile. Gestendola con sistema di taglio saltuario, tramite il cavallettamento si distinguono le piante da tenere e da utilizzare, si tagliano ad esempio le piante che hanno raggiunto il diametro di recidibilità, le piante con destino segnato (deperenti), le piante in sovrannumero o le piante ostacolo. I tagli si eseguono tenendo conto di un periodo di tempo detto "di curazione" allo scadere del quale si utilizza il bosco e si eseguono le operazioni complementari quali ripuliture sfolli e diradamenti. Il numero di piante nel bosco normale per ogni classe diametrica è dato dalla curva di ripartizione normale, la cui formula è:

$$Y = a * K^{-x}$$

dove

k = coefficiente di decrescenza (1.15-1.55) è il rapporto tra il numero di piante delle classi diametriche successive (n°piante classe 20/ n° piante classe 25)

a = n° piante classe di partenza (in genere si considerano a partire da 20 cm diametro)

-x = numero progressivo classe diametrica (solitamente di 5 in 5)

Con questo tipo di gestione normalmente si asporta dal 15% al 25% della massa totale.

Il **ceduo** (maggiormente sfruttato per legna da ardere ed assortimenti legnosi per pali e simili), ha rinnovazione agamica in genere per polloni, rapida crescita e turni brevi. Di solito i cedui sono di specie con elevata capacità pollonifera (escluse le conifere), la ceduzione deve avvenire nel periodo di riposo vegetativo per favorire lo sviluppo di polloni provenienti dalle gemme latenti sottocorticali. La ceduzione deve avvenire inoltre prima della perdita di capacità pollonifera per senilità, nel rispetto delle condizioni stazionali e delle prescrizioni di massima.

L'altezza di ceduzione (ovvero di taglio) varia a seconda del diverso governo del bosco in base alle essenze presenti ed al tipo di assortimenti legnosi che si desidera ottenere e possono andare da sotto il livello del terreno fino a 20 cm fuori terra (ad es. ceppaia: 10cm, fuori terra: 20cm)

1.4 LA COGENERAZIONE.

La scelta di valutare un sistema cogenerativo all'interno dello studio in questione è data da una necessità di rendere sia energeticamente che economicamente sensata la creazione di una filiera di produzione di cippato (sistema in sé abbastanza complesso ed articolato) la quale, riferendosi alla letteratura, sembra non essere remunerativa se finalizzata esclusivamente alla vendita del cippato stesso.

La cogenerazione consiste nella conversione di energia primaria disponibile in una certa forma per produrre congiuntamente energia elettrica ed energia termica considerando entrambi effetti utili con un investimento in un'ottica di sostenibilità poiché in generale si tratta di un risparmio di energia primaria rispetto a quella che si consumerebbe producendo lo stesso calore in maniera disgiunta.



Fig. 1-3 – esempio di confronto tra produzione separata di calore ed energia elettrica e cogenerazione (www.sviluppoenergia.it s.d.)

Nel caso in esame l'energia primaria è quella contenuta nel legno, utilizzato nella forma del cippato. Rappresenta perciò una fonte di energia di tipo chimico cioè che dipende dai legami chimici che costituiscono il combustibile che nella fase di combustione vengono rotti e conseguentemente viene rilasciata dell'energia sotto forma di calore. Il calore generato nella camera di combustione viene poi trasferito attraverso un termovettore che può essere vapore, acqua calda o altri fluidi termovettori come i fluidi organici.

1.4.1 Le diverse possibilità cogenerative

Tra i vari tipi di unità di cogenerazione si annoverano:

- Turbina a gas a ciclo combinato con recupero del calore
- Turbina a vapore a controcompressione
- Turbina di condensazione a estrazione di vapore
- Turbina a gas con recupero di calore
- Motore a combustione interna
- Microturbine

- Motori Stirling
- Pile a combustibile
- Motori a vapore
- Cicli Rankine a fluido organico

Questi cicli possono lavorare con diversi tipi tecnologie che utilizzano diverse fonti di energia primaria e si adattano a diverse taglie d'impianto come si vede dalla figura seguente:

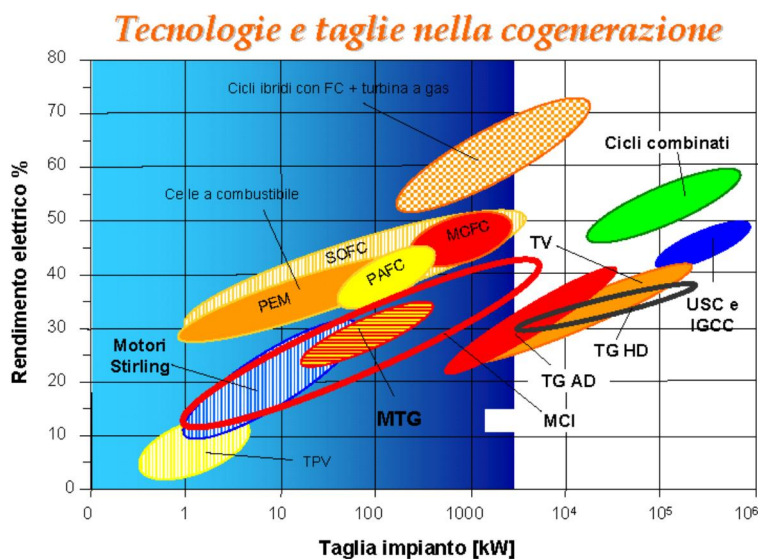


Fig. 1-4 – tecnologie e taglie nella cogenerazione (CREA 2008)

Le taglie vanno dai pochi kW a molti MW ma quelli che interessano il presente studio sono taglie dell'ordine di grandezza delle decine di kWel di potenza. Si avranno perciò rendimenti elettrici che rientrano nel range 10-25%. Le tecnologie possibili per queste taglie che si adattano all'utilizzo di cippato sono:

- Combustione diretta di cippato: motori Stirling, cicli a vapore o a fluido organico e microturbine a combustione esterna. Tutte queste tecnologie utilizzano calore che viene prodotto in un combustore (caldaia).
- Gassificazione del cippato: dalla gassificazione si produce syngas che va poi ad alimentare motori a combustione interna o turbine a gas.

Queste ultime tecnologie sono tuttavia non così mature pertanto l'utilizzo della biomassa legnosa a scopi energetici riguarda ancora principalmente la combustione diretta.

1.4.2 Cogenerazione a biomassa con ciclo ORC

Si intende ora approfondire quella che è una delle tecnologie in cogenerazione tra le più sviluppate nel campo delle biomasse.

La cogenerazione a ciclo ORC (Organic Rankine Cycle) si è sviluppata principalmente per lo sfruttamento delle biomasse, della geotermia e per il recupero del calore di scarto. Sono macchine con buone prestazioni, presentano rendimenti elettrici che arrivano al 18%-20% e termici attorno all'80%, arrivando così a rendimenti complessivi vicini al 100%. Le taglie più comuni di largo

sviluppo vanno dai 200 ai 2000kWel ma esistono sistemi che permettono di avere taglie anche minori pur mantenendo buone, anche se minori, prestazioni.

Il principio di controllo di questi sistemi normalmente prevede che la produzione elettrica segua la produzione termica in modo che la biomassa venga bruciata solo in base alla domanda di calore.

Il funzionamento consiste nel bruciare la biomassa in una caldaia nella quale è usato come fluido termovettore olio diatermico che lavora a temperature attorno ai 300°C e presenta la caratteristica di avere un'elevata inerzia termica. Si ha poi un turbogeneratore ORC che converte il calore a disposizione in elettricità.

I componenti principali e il funzionamento del sistema prevede:

- Caldaia ad alimentazione automatica composta da una camera di combustione a griglia fissa o mobile, raffreddata ad aria o ad acqua. Nel sistema caldaia si ha uno scambiatore di calore, normalmente composto da un singolo tubo a spirale, che permette di scambiare il calore tra i gas combusti e l'olio diatermico. Essendo lo scambio con l'olio a temperature elevate (250-300°C) i gas di scarico hanno ancora temperatura elevata e perciò può essere previsto un economizzatore che aumenti l'efficienza globale della caldaia.
- Sistema di circolazione dell'olio diatermico con due pompe di cui una di riserva
- Un sistema di by-pass che permetta all'olio diatermico di riscaldare direttamente il circuito acqua nel caso in cui il turbogeneratore sia fuori servizio
- Il turbogeneratore ORC, che usa l'energia termica dell'olio diatermico per vaporizzare il fluido organico in un evaporatore che va quindi in una turbina di espansione. La turbina è accoppiata ad un generatore elettrico, il vapore in uscita dalla turbina passa successivamente per un rigeneratore per poi condensare in un condensatore completando il circuito chiuso del fluido organico.

Il sistema ORC può funzionare senza problemi a carico parziale fino al 10% del carico nominale mantenendo una buona efficienza anche in parzializzazione. Fino a carichi del 50% del nominale infatti il rendimento resta pressoché costante.

Perché questi impianti siano remunerativi le considerazioni di base da fare sono: il numero di ore di funzionamento annuo dovrebbe avvicinarsi ad almeno 4000 ore/anno, il costo della biomassa utilizzata non deve essere troppo elevato tenendo conto che esso dipende molto dalla distanza di trasporto e che per cippato di qualità A2 il prezzo di mercato si aggira attorno ai 70- 80 €/tonn.

1.5 CALDAIA A CIPPATO

Gli impianti di riscaldamento a cippato, o caldaie a cippato, sono sistemi completamente automatizzati. Sono sistemi particolarmente indicati per il riscaldamento di edifici di medie o grandi dimensioni. I rendimenti ed i comfort sono gli stessi delle caldaie a gas, per questo motivo, installare un impianto a cippato in sostituzione ad una caldaia a gas è una scelta che mira alla sostenibilità e contemporaneamente non comporta difficoltà aggiuntive all'utente.

I componenti principali sono:

- Caldaia
- Locale (silo) per lo stoccaggio del cippato
- Sistema di movimentazione del combustibile
- Centralina di regolazione
- Eventuale accumulatore inerziale e bollitore ACS

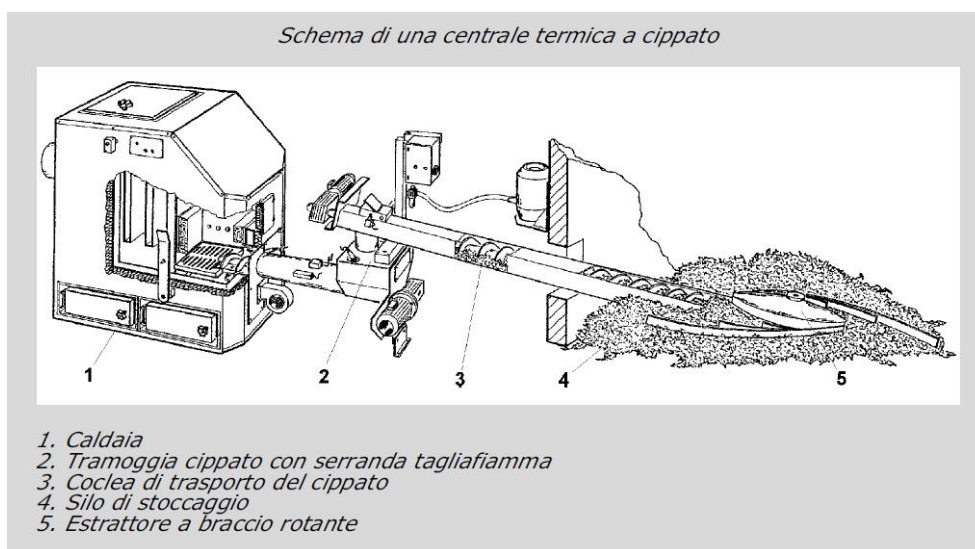


Fig. 1-5 – Schema caldaia termica a cippato

La combustione avviene nella camera di combustione che può essere:

- A griglia fissa (per materiali fini con bassi livelli di umidità)
- A griglia mobile (per materiali grossolani ad alto contenuto di ceneri e umidità quali biomassa forestale fresca M40-M50)
- A griglia semimobile

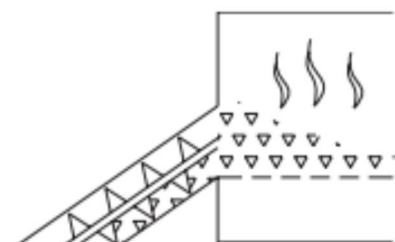


Fig. 1-6 Focolare a griglia fissa

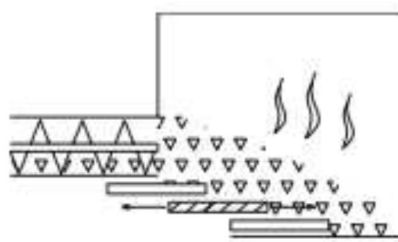


Fig. 1-7 Focolare a griglia mobile

Come si osserva in Fig. 1-5, si ha un silo o locale di stoccaggio che può essere interrato, parzialmente interrato o esterno. Dal silo di stoccaggio grazie ad un estrattore viene prelevato il combustibile e mandato attraverso un sistema a coclea verso la caldaia vera e propria. L'accensione può essere automatica o manuale, generalmente avviene a mezzo di dispositivi elettrici. Il trasporto del cippato sopra la griglia deve essere mantenuto il più possibile uniforme, al fine di evitare inconvenienti e malfunzionamenti. Il flusso di cippato e la modulazione dell'aria comburente nei sistemi più avanzati sono gestiti da una microprocessore in funzione della richiesta termica al fine di ottimizzare la combustione, sia al variare delle caratteristiche del combustibile (umidità) sia al variare del carico. In alcuni sistemi esiste anche la funzione di mantenimento delle braci che consente di mantenere una piccola quantità di braci accese se si hanno brevi periodi di spegnimento in modo da facilitare la riaccensione.

Il sistema prevede una serie di dispositivi di sicurezza che riguardano principalmente il sistema di alimentazione del combustibile in modo da impedire eventuali ritorni di fiamma. A questo scopo spesso è presente una tramoggia tra due diverse coclee, quella collegata al silo e quella che porta il materiale alla caldaia, questa tramoggia che funge così da tagliafiamma. In molte caldaie esiste un sistema di estrazione automatica delle ceneri, dispositivo che diventa essenziale qualora si tratti di caldaie di taglie elevate.

Al sistema caldaia è collegato il sistema termoidraulico che mediante scambiatori di calore trasporta l'energia termica perché essa possa essere utilizzata all'interno dell'edificio.

L'accumulatore inerziale ha un ruolo molto importante nelle caldaie centralizzate. Entra in gioco quando la potenza termica richiesta dall'edificio scende sotto il 30% del valore nominale di progetto della caldaia. Se l'accumulatore non fosse presente sarebbe necessario un sistema ausiliario in quanto la caldaia non dovrebbe lavorare. Al di sotto di questo limite, infatti, si riscontrerebbero diversi problemi quali: fenomeni di condensazione dei gas di scarico, combustione non ottimale e conseguente aumento delle emissioni inquinanti, bassi rendimenti e riduzione della vita utile dell'impianto a causa di necessità continua di ricorrere all'accensione/spegnimento per mantenere la temperatura fissata.

L'intervallo di taglie delle caldaie a cippato è molto ampio, si possono avere caldaie da poche decine di kW termici, a centinaia di kW termici, fino a qualche MW. L'utilizzo di cippato, rispetto al pellet o alla legna da ardere, è da preferire per impianti di medie- grandi dimensioni.

1.6 ASPETTI ECONOMICI

Allo scopo di valutare correttamente da un punto di vista economico le diverse soluzioni che si andranno ad individuare è necessario analizzare i diversi metodi di incentivazione che lo Stato Italiano prevede qualora si eseguano interventi di miglioramento energetico. La trattazione economica verrà poi sviluppata al capitolo 4.4.

I metodi di incentivazione che riguardano la produzione di calore e di energia elettrica da fonte rinnovabile che si andranno a sviluppare in quest'analisi si riferiscono a due tipologie di impianti differenti:

- Impianti per la generazione di calore
- Impianti per la generazione simultanea di calore ed energia elettrica

Nel caso di sola produzione di calore si andrà ad analizzare il Conto Termico, nel caso di cogenerazione si andrà ad analizzare la tariffa Omnicomprensiva.

Prima di passare all'analisi di tali metodi è necessario definire alcuni parametri utili alla comprensione. Si definisce:

“INCENTIVO”: l'integrazione economica al ricavo connesso alla valorizzazione dell'energia prodotta idonea ad assicurare una equa remunerazione dei costi di investimento ed esercizio e corrisposta dal GSE al produttore in riferimento alla produzione netta immessa in rete.

“TARIFFA INCENTIVANTE”: è il ricavo complessivo derivante dalla valorizzazione dell'energia elettrica e dall'incentivo;

“VITA TECNICA”: il numero di anni successivi alla realizzazione dell'intervento durante i quali si assume che gli apparecchi o dispositivi installati funzionano e inducano effetti misurabili sui consumi di energia

“COGENERAZIONE ALTO RENDIMENTO”: è la cogenerazione per la quale l'energia elettrica/meccanica prodotta sia una funzione derivata del calore utile richiesto dal processo di valle.

1.6.1 Conto Termico

Il sistema di incentivazione è gestito dal GSE (Gestore dei Servizi Energetici) ed è definito a seguito della pubblicazione del DM 28/12/12. Esso prevede incentivi per impianti di piccole dimensioni che producano energia termica e frigorifera da fonti rinnovabili.

Tra i diversi interventi incentivabili che rientrano nel decreto, il nostro studio che prevede la possibilità di installare una caldaia a cippato, rientra nella categoria incentivabile:

Art. 3.

Soggetti ammessi

1. Sono ammessi agli incentivi previsti dal presente decreto:

- a) le amministrazioni pubbliche, relativamente alla realizzazione di uno o più degli interventi di cui all'art. 4;
- b) i soggetti privati, intesi come persone fisiche, condomini e soggetti titolari di reddito di impresa o di reddito agrario, relativamente alla realizzazione di uno o più degli interventi di cui all'art. 4, comma 2.

Art. 4.

Tipologie di interventi incentivabili

2. Sono incentivabili, alle condizioni e secondo le modalità di cui all'allegato II, ivi comprese le spese ammissibili di cui all'art. 5, i seguenti interventi di piccole dimensioni di produzione di energia termica da fonti rinnovabili e di sistemi ad alta efficienza:
- b) sostituzione di impianti di climatizzazione invernale o di riscaldamento delle serre esistenti e dei fabbricati rurali esistenti con impianti di climatizzazione invernale dotati di generatore di calore alimentato da biomassa.

Il decreto stanziava i fondi per una spesa cumulata annua massima di 700 mln di euro per interventi di privati e 200 mln di euro per interventi delle amministrazioni pubbliche. L'incentivo ha una diversa durata a seconda del tipo di impianto installato, nel caso di sostituzioni di impianti per la climatizzazione di potenza termica utile nominale maggiore di 35kW e inferiore o uguale a 1000kW che hanno come soggetto amministrazioni pubbliche, la durata dell'incentivo è di 5anni. Per quanto riguarda i requisiti, l'allegato II contiene anche le seguenti regole per le caldaie a biomassa di potenza termica nominale inferiore o uguale a 500 kWt:

- i. certificazione di un organismo accreditato che attesti la conformità alla norma UNI EN 303-5 classe 5;
- ii. rendimento termico utile non inferiore a $87\% + \log(P_n)$ dove (P_n) è la potenza nominale dell'apparecchio;
- iii. emissioni in atmosfera non superiori a quanto riportato nella Tabella 11, come certificate da un organismo accreditato;
- iv. obbligo di installazione di un sistema di accumulo termico dimensionato secondo quanto segue:
 - a. per le caldaie con alimentazione manuale del combustibile, in accordo con quanto previsto dalla norma EN 303-5;
 - b. per le caldaie con alimentazione automatica del combustibile, prevedendo un volume di accumulo non inferiore a 20 /kWt.

Per quanto riguarda la sostituzione degli impianti di climatizzazione con impianti a biomassa esistono tuttavia dei requisiti di soglia per l'accesso agli incentivi:

“L'intervento deve consistere nella sostituzione di impianti di climatizzazione invernale in edifici esistenti, parti di edifici esistenti o unità immobiliari esistenti, o di riscaldamento di serre esistenti e fabbricati rurali esistenti, alimentati a biomassa, a carbone, a olio combustibile o a gasolio”.

Per questo motivo il conto energia non può essere applicato al nostro intervento andando a sostituire una caldaia a metano.

1.6.2 Tariffa Omnicomprensiva

Per quanto riguarda la cogenerazione a cippato, essa può accedere al sistema di incentivazione della tariffa Omnicomprensiva qui analizzata. Il DM 6 luglio 2012 regola le nuove modalità di incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti alimentati da fonti rinnovabili IAFR, diverse da quella solare fotovoltaica, con potenza non inferiore a 1 kW. Gli incentivi previsti dal Decreto si applicano agli impianti nuovi, integralmente ricostruiti, riattivati, oggetto di intervento di potenziamento o di rifacimento, che entrano in esercizio dal 1° gennaio 2013. La tariffa è differenziata per tipologia di fonte utilizzata. Gli impianti alimentati a biomassa che hanno accesso diretto all'incentivo sono gli impianti con potenza elettrica fino a 200 kWe.

Vengono di seguito riportate le parti dell'Allegato 1 prese dal decreto di aggiornamento esposto alla conferenza stato-regioni del novembre 2015.

La vita utile convenzionale e le tariffe incentivanti e incentivi per i nuovi impianti sono indicati alla *Tabella 1-1 – Vita utile e tariffa base*

Fonte rinnovabile	Tipologia	Potenza kW	VITA UTILE degli IMPIANTI anni	TARIFFA €/MWh
Biomassa	a) prodotti di origine biologica di cui alla tabella 1-B	1<P<300	20	210
		300<P<1000	20	150
		1000<P<5000	20	115
		P>5000	-	-
<i>Tabella 1-1 – Vita utile e tariffa base</i>				

Per la determinazione degli incentivi per impianti di potenza inferiore a 500 kW che scelgono di richiedere la tariffa onnicomprensiva, il GSE provvede a riconoscere, sulla produzione netta immessa in rete, la tariffa incentivante onnicomprensiva T_o determinata secondo le formule di seguito indicate.

$$T_o = T_b + P_r$$

dove:

- T_b è la tariffa incentivante base ricavata per ciascuna fonte e tipologia di impianto dalla Tabella 1-1;
- P_r è l'ammontare totale degli eventuali premi a cui ha diritto l'impianto.

Alla tariffa di riferimento, per impianti alimentati a cippato, spettano i seguenti premi:

- 30 €/MWh qualora gli impianti soddisfino i requisiti di emissione in atmosfera di Tabella 1-2
- 40 €/MWh per gli impianti operanti in cogenerazione ad alto rendimento (CAR)

Inquinante	Valori (mg/Nm ³) PTN ≤ 6 MW _t
NO _x (espressi come NO ₂)	200
NH ₃	5
CO	200
SO ₂	150
COT	30
Polveri	10
<i>PTN = Potenza Termica Nominale</i>	
<i>Tabella 1-2 - Valori di emissione in atmosfera per impianti di combustione a biomasse</i>	

Per quanto riguarda il premio per impianti operanti in CAR, per il riconoscimento della condizione di Alto Rendimento delle unità di cogenerazione, bisogna fare riferimento ai criteri stabiliti dal D.M. 4 agosto 2011, validi a partire dal 1° gennaio 2011, che ha completato il recepimento della Direttiva 2004/8/CE.

Il GSE è il soggetto incaricato al riconoscimento degli impianti di CAR secondo due indici:

- PES: risparmio di energia primaria
- Rendimento globale

Ai sensi del DL n.20 del 2007 i requisiti prevedono che il PES debba essere >10% e per impianti di piccole dimensioni <1 MWe è sufficiente che sia positivo. Esiste poi un requisito relativo al rendimento globale il quale dev'essere > del rendimento di riferimento.

Taglia Unità	PES
>1 MWe	≥ 10 %
Unità di piccola cogenerazione (>50 kWe ≤1MWe)	> 0
Unità di micro cogenerazione (≤ 50 kWe)	> 0

Tabella 1-3 – Requisiti PES per riconoscimento CAR

Il risparmio di energia primaria fornito dalla produzione mediante cogenerazione secondo la definizione dell'allegato II del DM 5 settembre 2011 è calcolato secondo la seguente formula:

$$PES = \left(1 - \frac{1}{\frac{CHPH\eta}{RefH\eta} + \frac{CHPE\eta}{RefE\eta}} \right) * 100$$

dove:

CHPH η è il rendimento termico della produzione mediante cogenerazione calcolato dall'energia termica annua utile divisa per l'energia contenuta nel combustibile tot consumato annuo

CHPE η è il rendimento elettrico della produzione mediante cogenerazione calcolato dall'energia elettrica annua da cogenerazione divisa per l'energia contenuta nel combustibile tot consumato annuo

RefH η è il valore di riferimento per la produzione separata di calore

RefE η è il valore di riferimento per la produzione separata di energia elettrica

I valori di riferimento sono definiti negli allegati IV e V del decreto che prevedono valori tabellati a cui bisogna applicare dei fattori correttivi in funzione della località e della tensione di allaccio.

Per il requisito legato al rendimento globale si osservi *Tabella 1-4*

Tipo unità	η globale ≥ 0,75	η globale ≥ 0,80
	Turbina a vapore a contropressione	Turbina a gas a ciclo combinato con recupero di calore
Turbina a gas con recupero di calore		
Motore a combustione interna		
Microturbine		
Motori Stirling		
Pile a combustibile		

Tabella 1-4 Requisiti rendimento globale per riconoscimento CAR

Il calcolo del rendimento globale è il seguente:

$$\eta_{globale} = \frac{E + H_{CHP}}{F}$$

dove:

E è l'energia elettrica prodotta

H_{CHP} è l'energia termica utile cogenerata effettivamente utilizzata

F è l'energia termica immessa con il combustibile

Altro requisito importante da rispettare per avere accesso all'incentivo nel caso di impianti alimentati a biomassa è relativo alla qualità del combustibile:

“Per gli impianti alimentati da biomassa, in forma di pellet o cippato, entrati in esercizio a decorrere dal 29 marzo 2012, in base a quanto disposto dal punto 2 dell'allegato 2 del D.Lgs 28/2011, l'accesso agli incentivi è vincolato al rispetto della conformità di detti combustibili alle classi di qualità A1 e A2, definite rispettivamente nelle norme UNI EN 14961-2 (pellet) e UNI EN 14961-4 (cippato)”

Capitolo 2. ANALISI DELLA RISORSA BOSCHIVA

L'analisi della risorsa boschiva è rivolta alla valutazione e qualificazione della biomassa forestale disponibile nel *Monte Summano* all'interno del territorio comunale del Comune di Santorso. L'analisi parte dal presupposto che si intende eseguire una valutazione sulla possibilità di utilizzare esclusivamente biomassa derivante dalla gestione dei boschi al fine della riqualificazione degli stessi, attualmente in situazione di abbandono, in un'ottica di selvicoltura di tipo naturalistico, come esposto al *capitolo 1.3*.

2.1 I BOSCHI DEL COMUNE DI SANTORSO

Il territorio comunale è suddiviso tra l'area ai piedi del monte dove si è sviluppata l'area urbana e l'area soprastante composta dal versante sud del monte stesso.

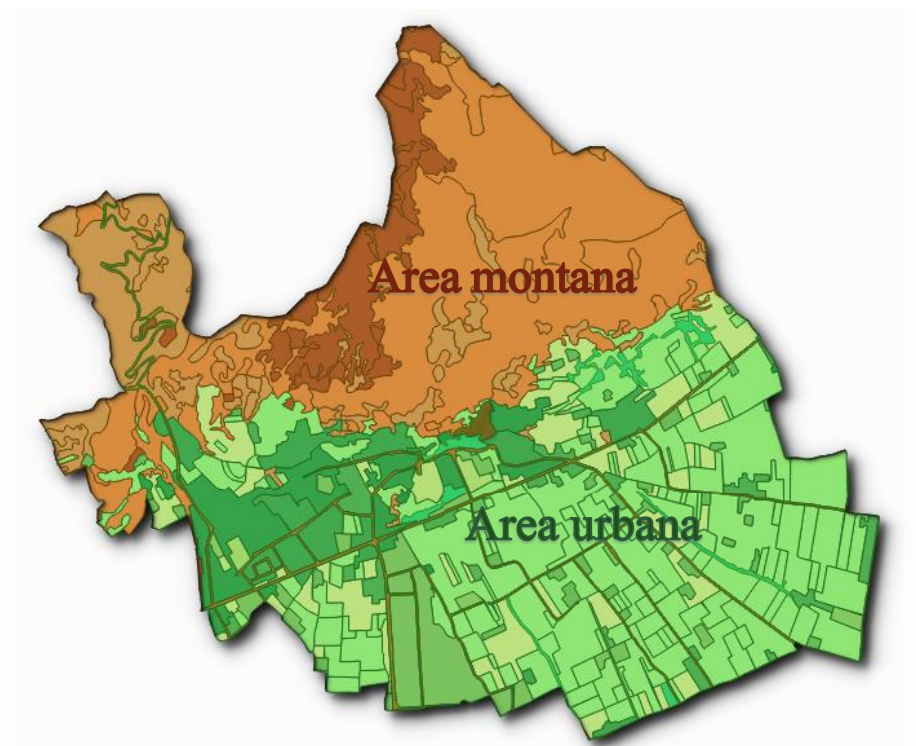


Fig. 2-1 – Territorio comunale del comune di Santorso (VI)

L'area montana si estende per circa 5,5 km², di questa, l'area boscata rappresenta circa l'85%. Si tratta di 2080 particelle catastali interessate da bosco di dimensione media di 2040m² (circa 1/5 di ettaro) per un'area boscata di circa 470ettari, dati che denotano la frammentarietà delle proprietà. Trattandosi di aree prevalentemente prealpine prevalgono le proprietà private con un numero cospicuo di proprietari, la proprietà pubblica è molto limitata, quasi trascurabile, e praticamente inesistenti sono le forme di proprietà collettiva. Le utilizzazioni forestali già esistenti sono principalmente destinate alla produzione di legna da ardere ad utilizzo privato del singolo proprietario, ma la situazione prevalente dei boschi è lo stato di abbandono, soprattutto per quanto riguarda quelli non attigui alle strade forestali.

2.1.1 Creazione della mappatura territoriale

Allo scopo di stimare la quantità di biomassa disponibile, si sono innanzitutto recuperati i dati che permettono di individuare le tipologie arboree presenti sul territorio in esame. Per fare ciò si è utilizzata la *mappa di copertura del suolo*, disponibile nel sito dell'Infrastruttura dei Dati Territoriali della Regione Veneto.

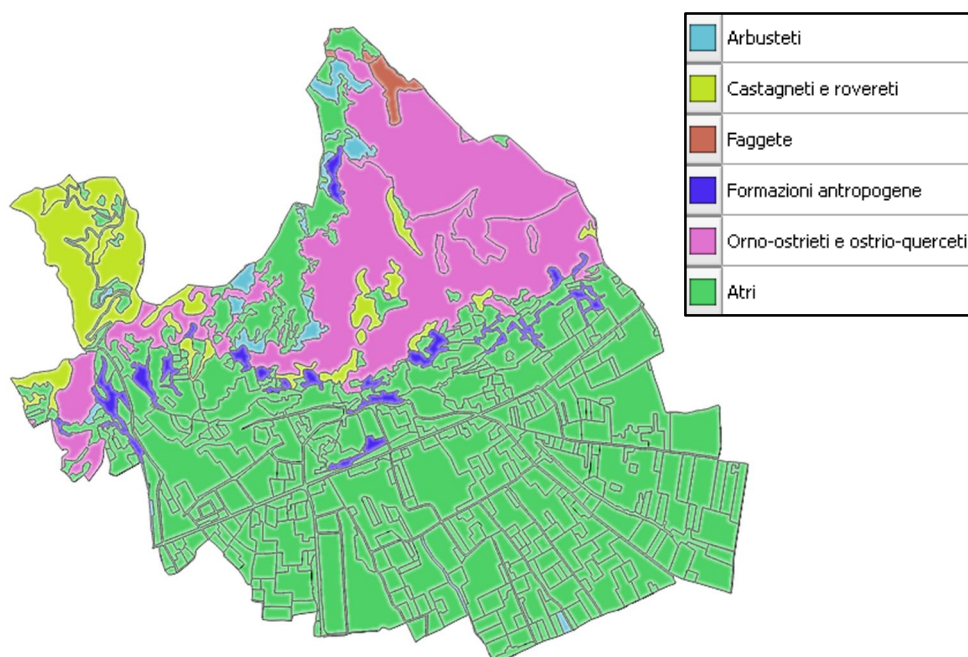


Fig. 2-2 Coperture arboree nel comune di Santorso

Le mappe scaricabili dall' IDT derivano da studi territoriali regionali e sono di tipo vettoriale perciò ad esse sono collegati diversi dati in forma tabellare, facilmente elaborabili. In particolare, la mappa di copertura del suolo suddivide le aree dell'intero territorio della Regione Veneto nelle varie tipologie, da quelle cittadine a quelle rurali e montane. La mappatura disponibile oltre a definire le aree coperte da boschi specifica le diverse tipologie di bosco.

Nello studio si è interessati all'area boschiva del Monte Summano. Con l'ausilio del software QGis si è pertanto creata la mappa di Fig. 2-2 nella quale sono evidenziate con diverse colorazioni le differenti tipologie di bosco presenti nel territorio comunale. Tra le diverse tipologie arboree si sono prese in considerazione quelle più rilevanti per la finalità del progetto ossia per la produzione di biomassa a fini energetici. Escludendo le aree urbane e le aree montane coperte da prati e arbusteti, si sono invece prese in considerazione le aree con le seguenti tipologie arboree: Castagneti e Rovereti, Orno-Ostrieti, Ostrio-Querceti, Robinieti antropogeni, Faggete. Nell' area oggetto d'indagine prevalgono nettamente i boschi dei latifoglie, sono invece praticamente assenti i boschi di conifere. Le formazioni più ampie sono quelle degli Orno-ostrieti e Ostrio querceti che caratterizzano gran parte dei pendii del monte. I castagneti sono ben rappresentati e si ritrovano in aree di bassa altitudine e di facile accesso. Molto limitata è la presenza di faggete, situate in un'area circoscritta sulla cima del monte.

2.1.2 Caratteristiche e Potenzialità

Per quanto riguarda i boschi di interesse, la letteratura (Spezzati e Tullio 2002) specifica le diverse capacità produttive di ciascuna tipologia arborea:

Il **bosco di Castagno** è un bosco che origina da substrati di origine vulcanica. Accanto al castagno con facilità si possono riscontrare rovere e orniello. Per la loro origine antropica, questi boschi risentono in modo particolarmente grave del generale abbandono colturale. Sono boschi caratterizzati da una buona produttività: si possono ottenere dal taglio in media 130 m³/ettaro, pari a circa 90 tonnellate/ettaro.

La formazione del **bosco di Robinia** è di origine antropica. All'interno di questo tipo di bosco si annoverano le tipologie forestali del robinieto puro e del robinieto misto. La produttività media è pari a circa 120 m³/ettaro, pari a circa 84 tonnellate/ettaro.

Gli **Orno-ostrieti** sono per lo più caratterizzati da Carpino nero e orniello, ai quali si aggiungono in misura minore altre latifoglie, castagno e roverella. Si trovano in forma di boscaglia cedua, con copertura arborea ed arbustiva densa. Mediamente la produttività si attesta sui 100 m³/ettaro, pari a circa 70 tonnellate/ettaro.

L' **Ostrio-querceto** è un tipo di bosco che si riscontra in particolare sui rilievi di matrice calcarea, carbonatica, lungo i pendii. Si differenzia dal precedente per lo strato arboreo più elevato e con partecipazione di specie mesofile. Gli ostrio-querceti offrono produzioni ridotte rispetto ai boschi di robinia e castagno: la produttività si attesta sugli 80 m³/ettaro, pari a circa 60 tonnellate/ettaro.

Per tutte le tipologie arboree in esame, la mappatura assegna un indice di copertura 70%-100% perciò nelle successive analisi si è deciso, cautelativamente, di considerare un coefficiente 0,8 come indice di copertura.

2.2 ACCESSIBILITÀ ALLA RISORSA

La questione dell'accessibilità alla risorsa è stata sviluppata da due punti di vista.

Il primo riguarda le pendenze caratterizzanti il territorio montano. La questione principale riguarda la scelta dei mezzi con cui imbastire il cantiere per le operazioni selvicolturali. A seconda delle diverse caratteristiche ed accidentalità del terreno si dovranno scegliere sistemi a maggiore o minore livello di meccanicizzazione. Pertanto in questo paragrafo si è cercato innanzitutto di individuare quali sono le pendenze che maggiormente caratterizzano il territorio in esame.

Il secondo punto di vista riguarda la viabilità in quanto essa è necessaria per poter eseguire gli interventi selvicolturali volti alla conservazione e valorizzazione delle risorse forestali. Il versante del monte in esame, una volta superata l'area urbana non è caratterizzato dalla presenza di contrade o frazioni ma, eccetto qualche abitazione isolata nella parte più a valle, è coperto esclusivamente da boschi. Non esistono pertanto strutture stradali, tuttavia, esistono due rami principali di strade forestali che permettono l'accesso al monte, la Via Crucis e la strada Tagliafuoco ed alcuni sentieri in alcuni casi anche percorribili da mezzi previa sistemazione degli stessi.

2.2.1 Analisi delle pendenze

Una volta individuate le aree boscate disponibili, con l'aiuto del software QGis si è eseguita l'analisi delle pendenze. Dal sito dell'Infrastruttura dei Dati Territoriali si sono recuperati i Modelli Digitali del Terreno DTM-5metri, disponibili come *raster* nei quali il territorio viene riprodotto attraverso una matrice di pixel di forma quadrata dove ciascun pixel rappresenta un attributo, in questo caso un'altitudine. Da esse si è isolata la zona di interesse ossia l'area territoriale del comune di Santorso e si è ottenuta pertanto l'immagine di Fig. 2-3 – DTM 5metri, Carta delle altimetrie.

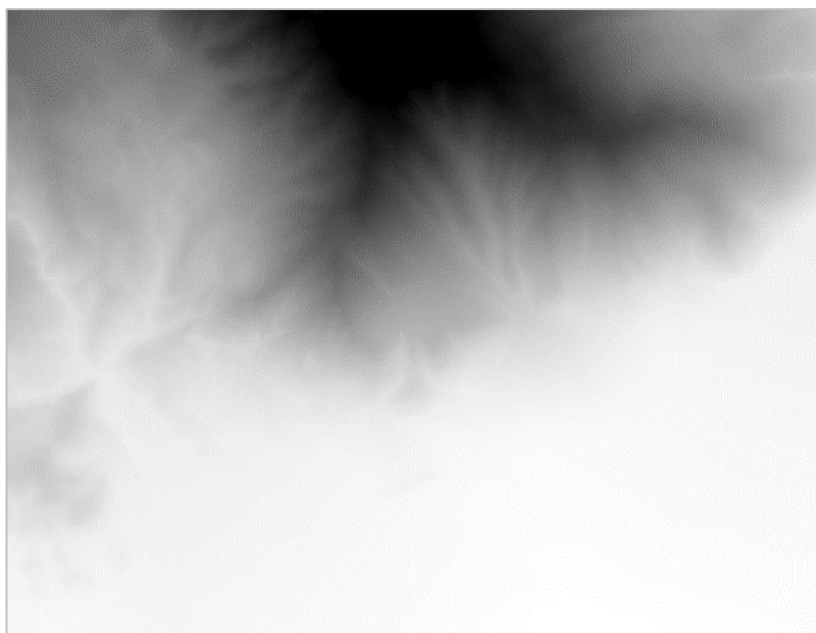


Fig. 2-3 – DTM 5metri, Carta delle altimetrie

Si è successivamente eseguita un'analisi DEM (geomorfologica). Dall'analisi geomorfologica si è estratta la mappa delle pendenze in Fig. 2-4 nella quale ad ogni unità di area è associata ora una pendenza espressa in percentuale.

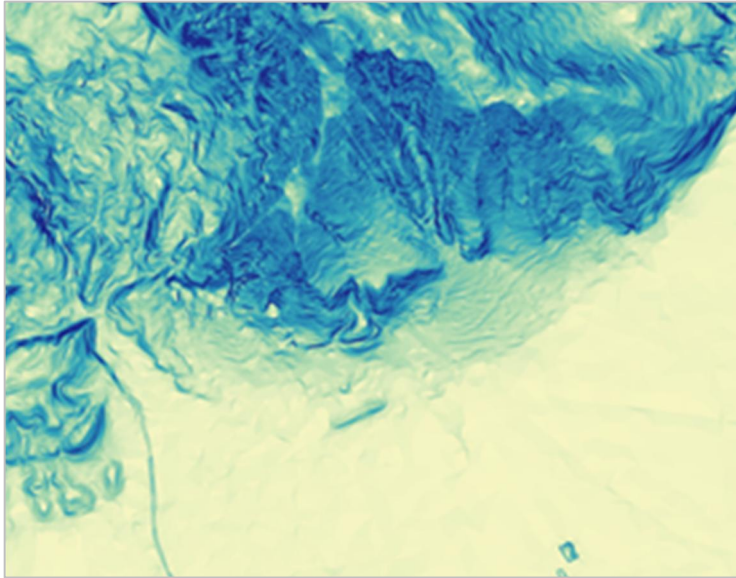


Fig. 2-4 – Mappa delle pendenze

Grazie alla successiva vettorializzazione è stato possibile effettuare un'analisi dei dati sull'andamento delle pendenze delle aree boscate di interesse. La pendenza percentuale assegna valore 100 in corrispondenza di un'angolazione del suolo di 45° rispetto all'orizzontale, significa infatti che per un'unità sull'orizzontale, il suolo si è elevato di un'unità.

L'istogramma delle frequenze (Fig. 2-5) e i parametri di interesse statistico sono i seguenti:

- Il 99,87% delle pendenze rientra nell'intervallo di pendenza: 0 -150
- La pendenza media è 54,99
- La mediana (Q2) è 56 (il 50% delle pendenze è al di sotto di quel valore)
- Terzo quartile (Q3) è 71 (il 75% delle pendenze è al di sotto di quel valore)

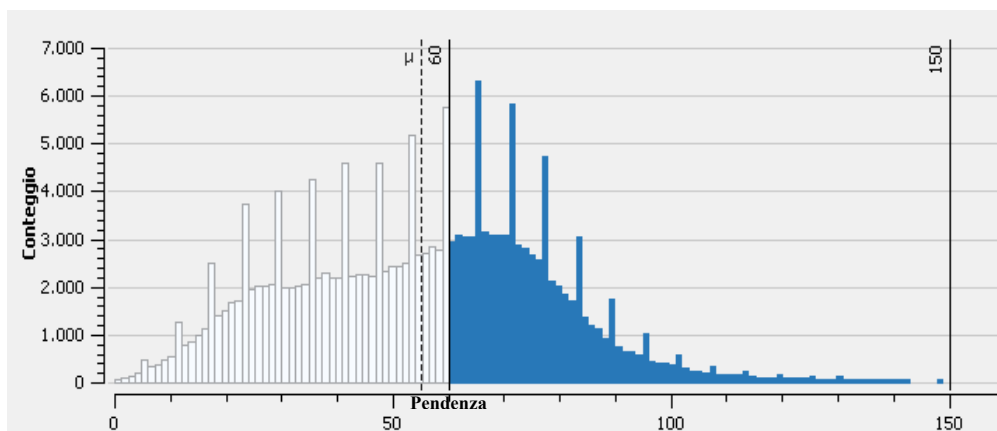


Fig. 2-5 – Istogramma delle frequenze

I picchi di frequenza che si notano ad intervalli regolari sono dovuti al metodo con cui viene realizzata la mappatura fornita dall'IDT relativa alle altimetrie. Essa è creata con riferimento alla mappa delle

isoipse e rilevamenti aerei che creano delle aree più o meno estese, ad altimetria uniforme, di forma generalmente allungata. Si hanno perciò numerosi pixel attigui tra due aree e una volta trasformata in mappa delle pendenze si ottiene in una maggior frequenza della stessa pendenza quando l'area originaria è grande e minore quando si tratta di un'area piccola (più dettagliata); tuttavia essendo che i picchi di frequenza seguono lo stesso andamento dei valori non di picco, essi pesano in egual misura per tutti i macro livelli di pendenza, perciò tali picchi non incidono al fine dell'analisi in quanto ciò che interessa è la percentuale di pendenze che superano o rientrano in un intervallo di pendenza.

Le pendenze considerate sono quelle $\leq 60\%$ che rientrano cioè in classe di pendenza 3 riferendosi alla classificazione dell'INFC *Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio*, come da *Tabella 2-1 – Classi di pendenza*:

Categoria	Pendenza	Classe
Pianeggiante	0-20	1
Inclinato	21-40	2
Ripido	41-60	3
Molto ripido	61-80	4
Scosceso	>80	5

Tabella 2-1 – Classi di pendenza

L'intersezione della mappa delle aree delle diverse tipologie di bosco e quella delle pendenze ha permesso di individuare l'estensione di ciascun tipo di bosco con pendenza massima 60%. I risultati sono mostrati in Fig. 2-6 – Boschi con pendenze $\leq 60\%$

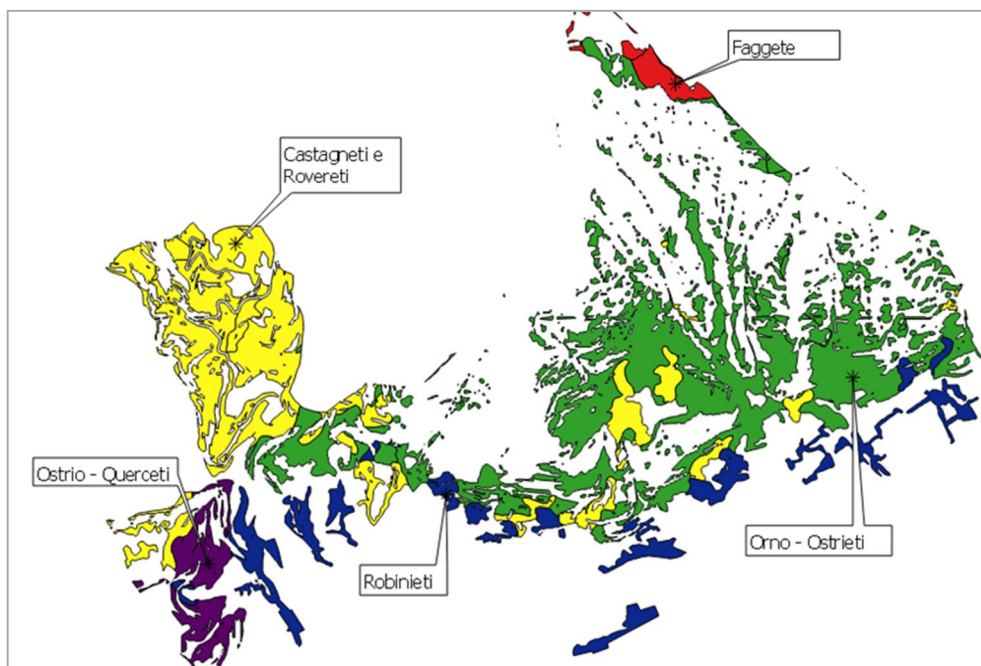


Fig. 2-6 – Boschi con pendenze $\leq 60\%$

Tipologia di bosco	Area totale (ha)	Area con pendenza < 60%(ha)
Castagneti e Rovereti	89,96	68,1
Faggete	7,99	5,3
Orno-ostrieti	278,84	118,2
Ostrio-querzeti	18,10	12,9
Robineti	33,76	31,9

Tabella 2-2

L'area totale disponibile con pendenza inferiore al 60% risulta essere: 236,4 ettari.

Dall'analisi di tutti i risultati, e specialmente dall'analisi dell'istogramma si nota che il territorio oggetto di studio presenta numerosi settori caratterizzati da elevate pendenze. Se si dovesse operare in zone boscate con pendenze prevalenti attorno al 60% sarebbero infatti necessari macchinari molto costosi e cingolati (vedi capitolo 3.1). Per questo motivo nella trattazione seguente si cercano di individuare le aree boscate trattabili da bordo strada.

2.2.2 Analisi delle Aste Viarie Esistenti

Il Monte Summano presenta uno scarso numero di vie accessibili a mezzi, tra i suoi pendii infatti si diramano per lo più sentieri percorribili a piedi. Tuttavia si ritiene che alcuni di essi possano essere con facilità sistemati e allargati per permettere l'accesso ai mezzi automatizzati. Si è pertanto deciso di fare un'ulteriore valutazione che individui le aree boscate già accessibili o che lo potrebbero diventare con piccoli lavori di manutenzione delle vie esistenti.

La scelta è quindi di accedere e lavorare con *sistema di esbosco a bassa difficoltà di utilizzazione*: soprassuoli che si localizzano entro 50 metri dalla viabilità trattorabile con pendenza fino al 60%. Si tratta di popolamenti facilmente accessibili in cui l'esbosco può essere attuato anche esclusivamente con trattore e verricello se realizzato da basso verso l'alto, per avvallamento quando realizzato dall'alto verso il basso e se necessario con di gru a cavo leggera. Si sfruttano pertanto tutte le strade minori camionabili e/o trattorabili e le strade silvo-pastorali trattorabili.

Per eseguire i calcoli, si è recuperata dall'I.D.T. la mappa delle aste viarie della zona, successivamente attorno ciascun tratto di sterrato, con la funzione "buffer" in QGis, si è espanso di 50m a destra e sinistra ciascun sentiero ritenuto idoneo allo studio. Si è infine intersecata quest'area ottenuta con la mappa dei boschi di pendenza minore del 60%.

I risultati (Fig. 2-7) evidenziano che le aree direttamente accessibili sono circa la metà di quelle ricavate dalla precedente analisi. Si ottengono quindi 139 ettari direttamente accessibili.

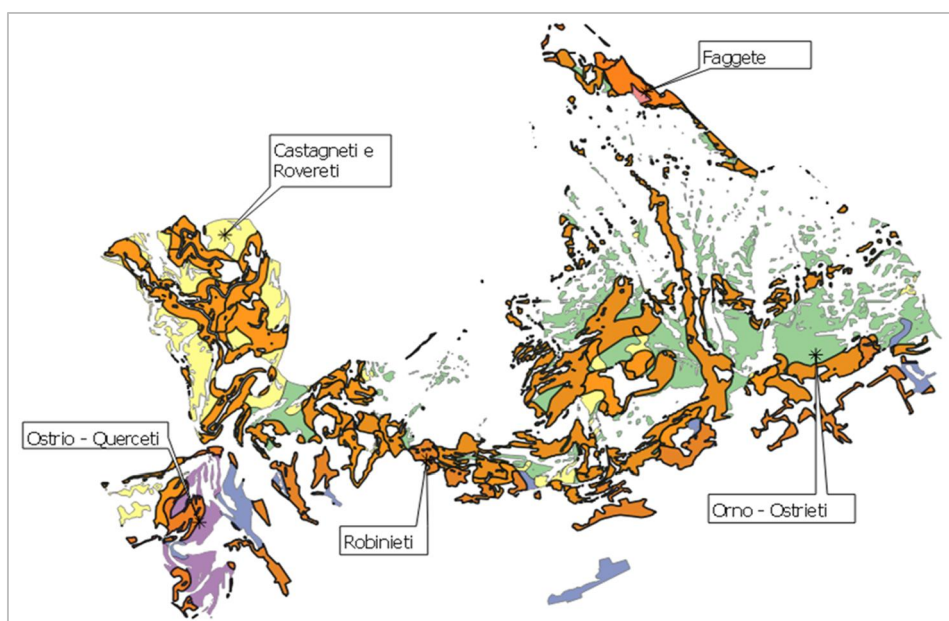


Fig. 2-7 – Aree boscate attigue a sentieri e strade forestali

2.2.3 Calcolo producibilità di biomassa

Scopo di questo studio è verificare la quantità di materiale legnoso che potenzialmente può essere destinato alla produzione di cippato. Per valutare la biomassa che può essere resa disponibile dalle aree boschive in esame si è tenuto conto dell'indice di copertura 0,8 indicato al paragrafo 2.1, inoltre si è considerato di avviare una gestione del bosco secondo le regole della selvicoltura naturalistica. Si è pertanto scelto un coefficiente di disponibilità di biomassa pari a 0,23. La scelta del coefficiente tiene conto che rispetto alla quantità di legname estraibile da un bosco con l'adozione di una forma di governo con turni di taglio volti al suo massimo utilizzo (posto questo il 100%), la biomassa che si estrae garantendo il rispetto dei principi della selvicoltura naturalistica è inferiore. La realizzazione di cantieri forestali generalmente prevede che l'asportazione di materiale abbia diverse funzioni commerciali con diverse destinazioni degli assortimenti: legname di pregio, assortimenti per l'industria imballaggio/cartiera, legname di minor pregio a fini energetici. Il nostro studio tuttavia ha una finalità differente che giustifica la scelta del coefficiente sopra citato.

Le tabelle seguenti riportano i risultati dei calcoli di producibilità di biomassa nei diversi casi:

1. considerando l'intera area boschiva indipendentemente dalle pendenze e dall'accessibilità;

	Area [ha]	Indice di copertura	ton/ha	% estrazione	Tonnellate ottenibili di legno fresco
Castagneti e rovereti	89,96	0,8	90	0,23	1489,73
Orno - ostrieti	278,84	0,8	70	0,23	3591,45
Robinieto antropogene	33,76	0,8	84	0,23	521,79
Ostrio-querceto	18,10	0,8	60	0,23	199,82
Faggete	7,99	0,8	60	0,23	88,20
TOTALE	428,65				5891,02

Tabella 2-3 – Producibilità intera area boscata

2. considerando l'area con pendenze $\leq 60\%$, cantierabili ma con sistemi di esbosco altamente meccanizzati;

	Area [ha]	Indice di copertura	ton/ha	% estrazione	Tonnellate ottenibili di legno fresco
Castagneti e rovereti	68,1	0,8	90	0,23	1127,73
Orno - ostrieti	118,2	0,8	70	0,23	1522,41
Robinetto antropogene	31,9	0,8	84	0,23	493,04
Ostrio-querceto	12,9	0,8	60	0,23	142,4
Faggete	5,3	0,8	60	0,23	58,51
tot	236,4				3344,13

Tabella 2-4 – Producibilità aree con pendenze $\leq 60\%$

3. considerando le aree circostanti le aste viarie con sistemi di esbosco a bassa difficoltà di utilizzazione.

	Area [ha]	Indice di copertura	ton/ha	% estrazione	Tonnellate ottenibili di legno fresco
Tutti i boschi	139	0,8	72,8	0,23	1861,93

Tabella 2-5 – Producibilità aree attigue ad aste viarie e pendenza $\leq 60\%$

Tutti i calcoli relativi alle disponibilità di risorsa sono stati elaborati con l'ausilio di un foglio di calcolo excel nel quale si sono trasferiti i dati ottenuti con il software QGis.

Nel caso in cui si considerino tutte le aree boscate con pendenza massima 60%, si ottiene che la biomassa disponibile dalla gestione dei boschi corrisponde a 3344,13 t/anno, avvalendosi di una superficie pari a 236,4 ha.

Nel caso in cui si considerino le aree circoscritte alle vie accessibili, con pendenza massima del bosco pari al 60%, si ottiene che la biomassa disponibile dalla gestione dei boschi corrisponde a 1861,93 t/anno, avvalendosi di una superficie pari a 139 h

La quantità di legname teoricamente recuperabile dalla manutenzione dei boschi risulta elevata e più che sufficiente (circa dieci volte superiore) a coprire il fabbisogno di una singola utenza delle dimensioni in questione. Per questi motivi se si vuole ottimizzare la gestione del bosco con le modalità già esposte è necessario che la produzione di legname abbia come destinatari anche altre utenze oltre a quella in analisi.

Capitolo 3. FILIERA DI PRODUZIONE DEL CIPPATO

3.1 COME PRODURRE IL CIPPATO

L'azione di recupero della biomassa forestale e produzione di cippato racchiude un insieme complesso di tecniche, si tratta di interventi che richiedono grande professionalità e competenza senza le quali si rischia di non rispettare le condizioni che garantiscano sostenibilità economica ed ecologica. In sé il cippato ha un contenuto economico che non consente grandi profitti. Il processo di gestione del bosco sembra non essere remunerativo se non lo si sfrutta anche per recuperare altri materiali di pregio. Tuttavia attraverso le operazioni di utilizzazione boschiva si cercano di conseguire simultaneamente diversi obiettivi: economici, ecologici, paesaggistici, culturali, che devono perciò essere considerati nel complesso quando si fa una valutazione di convenienza.

La filiera legno-energia ideale prevede le seguenti fasi:

1. Abbattimento
2. Depezzatura ed esbosco
3. Trasporto dei tronchi alla piattaforma
4. Cippatura presso la piattaforma e stoccaggio sotto copertura
5. Stagionatura
6. Trasporto e consegna all'impianto



Figura 1 - (Francescato, Antonini e Zuccoli Bergomi 2009)

I sistemi di **abbattimento, depezzatura ed esbosco** possono prevedere diversi livelli di meccanizzazione dai quali dipendono sia tempi di produzione che i diversi costi di produzione.

Le diverse macchine e attrezzature che caratterizzano i cantieri forestali sono:

- Motosega
- Trattore forestale con verricello
- Trattore con rimorchio
- Gru a cavo a stazione con matrice mobile leggera o media
- Elicottero da esbosco
- Harvester (semplice o ibrido)
- Forwarder
- Skidder
- Processore su trattore

- Processore su escavatore

Di tutte queste macchine alcune sono utilizzate in tutti i cantieri, altre solo in cantieri a bassa meccanizzazione, altri ancora solo in cantieri ad alta meccanizzazione.

Si distinguono principalmente due modalità di lavoro: sistema del legname corto dove l'allestimento viene eseguito nel bosco ossia si suddividono le diverse tipologie di materiale (tronchi, rami, ramaglia e cimale) e successivamente si esbosca, o il sistema dell'albero intero dove l'albero viene esboscato e successivamente si allestisce sulla strada forestale oppure all'imposto. La più diffusa è la prima metodologia, nel caso di utilizzo della gru a cavo si esbosca solitamente l'albero e si recupera tutto in strada o all'imposto.

Le macchine che lavorano dentro bosco su elevate pendenze sono gli Hervester, fino a 60%, i Forwarder che hanno un livello di pendenza massima di lavoro pari a 35% e lo skidder per pendenze massime del 20%. Sono tutte macchine molto costose sia in termini di prezzo di acquisto sia in termini di costo orario. Il loro utilizzo ha senso nei casi in cui si abbiano grandi foreste con grandi quantitativi di legname da tagliare ed esboscare con diverse finalità commerciali (legno di pregio per falegnamerie, legno per l'industria degli imballaggi e della carta, etc.), il loro utilizzo non sarebbe infatti ripagato se la destinazione d'uso fosse esclusivamente la cippatura.

Nel nostro caso si ritiene opportuno allestire un cantiere che lavori esclusivamente su strada forestale e nell'area strettamente circostante (raggio 50m) con l'ausilio di trattore con verricello e/o gru a cavo leggera, operatori con motosega, eventualmente processore su trattore e trattori con rimorchio.

Da prove sperimentali eseguite con diverse tipologie di cantieri (U.N.I.F., Di.S.A.F.R.I e I.R.L. 2002) per ciò che riguarda i metodi di esbosco risulta che il verricello forestale fornisce ottime produttività fino a 50m di strascico oltrepassati i quali si ha un brusco calo, mentre l'utilizzo di una gru a cavo superleggera consente buone produttività che aumentano con l'esperienza della squadra di lavoro, tali da renderla preferibile al verricello forestale per distanze di esbosco superiori ai 50m o pendenze maggiori del 25%.

Per le caratteristiche del soprassuolo del presente studio si ritiene perciò necessario l'utilizzo di entrambi i sistemi diesbosco.

Per quanto riguarda la fase di **cippatura** la macchina utilizzata è la cippatrice. È una macchina progettata per ridurre in scaglie il legno all'interno di un range di dimensione variabile a seconda delle esigenze. Il macchinario può essere:

- Fisso
- Allestito su rimorchio o autocarro
- Semovente
- Carrellato
- Montato su trattore

Le macchine cippatrici si possono poi classificare a seconda del tipo di unità di cippatura in:

- *Cippatrici a disco*, coltelli montati su volano e controlama regolabile
- *Cippatrici a tamburo*, grandi e potenti adatte a lavorare anche ramaglia costituite da un cilindro con coltelli in posizione tangenziale
- *Cippatrici a vite o a coclea*, adatte principalmente per fusti interi

Si possono poi avere diverse potenze:

- Cippatrice di piccola taglia: ~ 50kW lavora diametri fino 20 cm e produce fino a 20 t/giorno

- Cippatrice di media taglia: 50-110kW lavora diametri fino 30 cm e produce fino a 50 t/giorno
- Cippatrice di grossa taglia: >130kW lavora diametri elevati e può superare le 60 t/giorno

Il *vaglio* è un componente aggiuntivo che rende più uniforme il cippato prodotto “raffinandolo” ma rallenta i tempi di produzione perciò a seconda delle necessità può essere o meno montato.

La cippatura può avvenire a bordo strada, con l'accortezza di accertarsi che lo spazio sia sufficiente per l'affiancamento del mezzo che monta la cippatrice al mezzo di carico del cippato, oppure può essere eseguita in piattaforma logistica.

Per quanto riguarda lo **stoccaggio** e la **stagionatura** ci sono diverse possibilità. Lo stoccaggio può esser fatto al coperto o allo scoperto. La stagionatura può essere eseguita sul legno tal quale o dopo la cippatura. La cippatura su legno tal quale è preferibile per i motivi che si esporranno in seguito. Lo stoccaggio al coperto è da preferire in quanto meno soggetto ad eventi meteorologici e maggiormente controllato.

Per quanto riguarda la stagionatura si può considerare che sul legname tagliato in inverno già durante i mesi invernali si riscontra un'elevata perdita d'acqua e, se lasciato fino all'estate in luogo soleggiato all'esterno del bosco, a fine estate avrà raggiunto un contenuto idrico inferiore al 30% e sarà adatto per procedere alla cippatura. La stagionatura del tal quale può essere eseguita a bordo strada se si dispone di un imposto adeguatamente soleggiato, altrimenti dovrà essere trasportato in una piattaforma logistica sotto copertura.

Nel caso di cippatura a fresco durante lo stoccaggio del cippato si ha un aumento della temperatura che avviene naturalmente a causa sia dei processi di respirazione delle cellule ancora vive (fino a 40°) sia al metabolismo dei funghi e batteri (fino a 60°). L'andamento è quello in figura per diversi contenuti idrici.

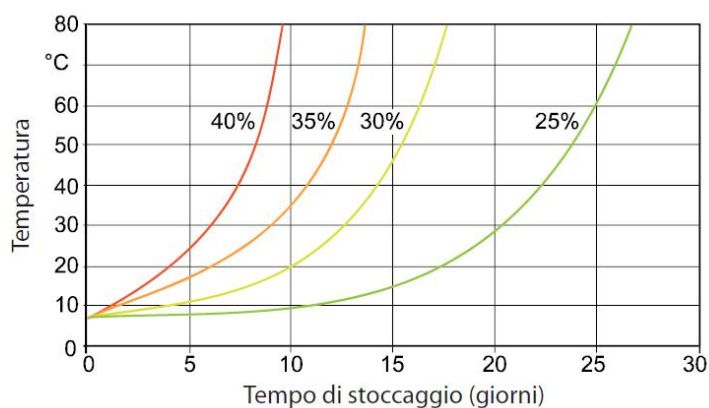


Figura 2 - (Francescato, Antonini e Zuccoli Bergomi 2009)

Si nota che maggiore è il contenuto idrico, più velocemente si raggiungono temperature elevate poiché l'ambiente è ottimale per i batteri. In inverno dove le temperature sono basse la vita batteriologica è smorzata e perciò con più facilità le temperature restano contenute.

L'attività di funghi e batteri è causa di perdita di sostanza legnosa. Questa perdita può essere evitata con opportuni accorgimenti: stoccare il materiale meno umido possibile e possibilmente al coperto, favorire la ventilazione, minimizzare la presenza di foglie e parti verdi delle piante, minimizzare la durata dello stoccaggio e l'altezza del mucchio, preferire lo stoccaggio nella forma di legname piuttosto che in forma di cippato (come già esposto). L'esecuzione della cippatura sarebbe da preferire

man mano che il combustibile si rende necessario in modo che la durata dello stoccaggio del materiale nella forma di cippato non superi i 3-4 mesi.

Per le fasi di **trasporto** a seconda delle necessità, delle dimensioni e delle caratteristiche dei cantieri si preferiscono diversi mezzi di trasporto:

- Autotreno di trasporto (legna o cippato)
- Camion
- Trattore con rimorchio

Il trasporto riguarda: il tratto dal punto di esbosco alla zona di stoccaggio, imposto o piattaforma logistica, il tratto dallo stoccaggio alla piattaforma dove si esegue la cippatura e il tratto dalla piattaforma all'impianto di utilizzazione. L'importanza del trasporto è legata principalmente alle distanze piuttosto che alla tipologia di trasporto scelta. I costi e la sostenibilità del cippato sono infatti fortemente legate alla distanza tra il luogo di produzione e il luogo del suo utilizzo. Ciò è dovuto al fatto che elevate distanze comportano grande uso di mezzi di trasporto che oltre ad alzare il prezzo del cippato comportano un aumento delle emissioni a causa del combustibile usato dal mezzo stesso.

3.2 QUANTITÀ DI CIPPATO OTTENIBILI

Si andranno ora a determinare le quantità di cippato ottenibili attraverso la filiera di produzione del cippato e successivamente si faranno delle valutazioni di tipo energetico. Le unità di misura con cui si avrà a che fare sono:

- Tonnellata [t] e Chilogrammo[kg]: unità di massa utilizzate sia per il legname che per il cippato
- Metro Stero Riversato [msr]: unità di volume utilizzata per gli ammassi di combustibile legnoso, sia per la legna che per il cippato.

Quando si parla di cippato o più in generale di biomassa legnosa, non si può non tenere in considerazione il contenuto idrico della biomassa che si ha a disposizione. Infatti, mentre a parità di peso e contenuto idrico il Potere Calorifico (PCI) delle varie tipologie di legno non varia in modo significativo, varia invece il volume: a parità di volume e contenuto idrico il PCI cambia da legno a legno.

Il contenuto idrico di una biomassa è descritto con il parametro umidità che può essere indicato in due formule:

Tenore di umidità sul tal quale che indica il contenuto di acqua rispetto all'intera massa (umidità sul tal quale):

$$U = \frac{m_A}{m_A + m_S}$$

Tenore di umidità sul secco che indica il contenuto d'acqua rispetto la massa secca:

$$U_O = \frac{m_A}{m_S}$$

dove m_A = massa d'acqua m_S = massa di sostanza secca

L'utilità energetica della biomassa è costituita dalla sostanza secca tuttavia nell'utilizzo della biomassa per usi energetici non si arriva mai ad ottenere un combustibile privo di umidità e per questo motivo bisogna conoscere la quantità di acqua contenuta. La massa d'acqua infatti rappresenta in sé

sia una fonte di perdita in combustione sia un elemento da tenere in considerazione nelle fasi di raccolta, trasporto, stoccaggio, stagionatura perché porta a dover elaborare pesi e volumi maggiori.

La massa di legname fresco che è reso disponibile dai boschi nello studio in questione è stata calcolata al Capitolo 2 e ammonta a:

SUPERFICIE BOSCATI CON PENDENZA < 60%	3344,13 t
SUPERFICIE BOSCATI CON PENDENZA < 60% GIÀ ACCESSIBILE	1861,93 t

L'ipotesi iniziale è quella legata al contenuto idrico da assegnare al legno fresco. Per i materiali in esame si è considerato, ricavando da letteratura, che l'umidità tipica del legno fresco al taglio sia del 50%. Dalle formule si può pertanto ricavare la massa secca di cui si dispone e valutare, una volta effettuata la stagionatura, la disponibilità in massa di biomassa legnosa ad un certo grado di umidità.

Si ricavano i seguenti valori di massa secca disponibile:

Sostanza secca disponibile	
SUPERFICIE BOSCATI CON PENDENZA < 60%	1672,1 t
SUPERFICIE BOSCATI CON PENDENZA < 60% GIÀ ACCESSIBILE	930,97 t

E quindi dalla formula $m_i = \frac{m_s}{1-U}$ si possono calcolare le masse disponibili dopo la stagionatura:

Sostanza stagionata fino a:	U=30%	U=20%
SUPERFICIE BOSCATI CON PENDENZA < 60%	M ₃₀ =2388,71 t	M ₂₀ =2090,13 t
SUPERFICIE BOSCATI CON PENDENZA < 60% GIÀ ACCESSIBILE	M ₃₀ =1329,96 t	M ₂₀ =1163,71 t

Ai fini dell'analisi di trasporto e stoccaggio, si possono pertanto valutare le masse volumiche kg/m³ e le masse steriche kg/msr del legno a disposizione. Definendo il contenuto idrico si può ottenere la massa volumica e da essa la massa sterica del cippato ottenibile.

Comunemente in via approssimativa si può trasformare il legno dalla massa volumica alla massa sterica usando i seguenti fattori di conversione:

1m³ tondo → 2,5 msr cippato fino (G30)

→ 3 msr cippato medio (G50)

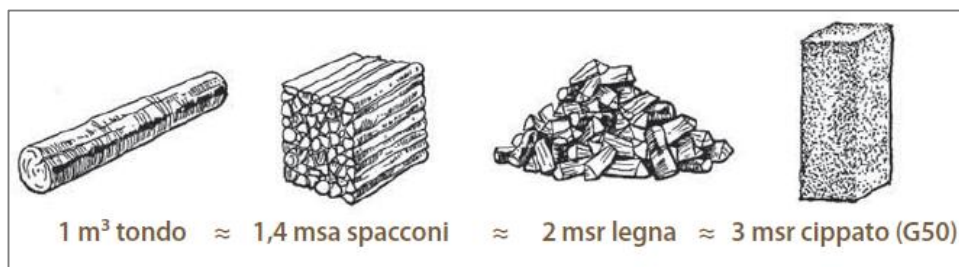


Figura 3 - (Francescato, Antonini e Mezzalira 2004)

In *Tabella 3-1* e *Tabella 3-2* sono invece calcolate in maniera analitica la masse volumiche e steriche in kg delle principali tipologie arboree.

Cont. idrico M%	Faggio		Quercia	
	m ³	Cip msr	m ³	Cip msr
0	680	280	660	272
10	704	290	687	283
15	716	295	720	289
20	730	300	724	298
30	798	328	828	341
40	930	383	966	397
50	1117	454	1159	477

È stata impiegata l'equivalenza 1m³ di tondo = 2,43msr di cippato.

Tabella 3-1 – Masse volumiche e steriche in funzione del contenuto idrico (Francescato, Antonini e Zuccoli Bergomi 2009)

Variazione indicativa della massa volumica (kg/m³) di alcune specie legnose in funzione del contenuto idrico (Fonte: Regione Piemonte)

u %	0	12	30	50	70	> 100	Contenuto idrico indicativo all'abbattimento (w)
w %	0	11	23	33	41	> 50	
Latifoglie							
Carpini, bianco/nero	750	780	820	930	1100	fino 1200	44 - 50%
Castagno	560	600	650	780	960	1000-1100	44 - 50%
Faggio	710	750	800	920	1100	fino 1200	41 - 50%
Querce	680	720	770	900	1080	fino 1200	41 - 50%
Ontani, bianco/nero	510	550	600	740	920	fino 1000	50%
Pioppi ibridi	300	330	360	450	570	750-950	60 - 71%
Pioppo nero	370	400	430	540	660	750-950	60 - 71%
Robinia	710	750	800	920	1100	fino 1200	37 - 47%

Tabella 3-2 – Masse volumiche e steriche di diversi legni in funzione del contenuto idrico (Francescato, Antonini e Mezzalira 2004)

Con l'ausilio degli strumenti appena citati e delle tabelle si possono perciò quantificare i volumi le quantità steriche di cippato ottenibili dal monte Summano.

Si possono pertanto ottenere i seguenti risultati (cippato G50):

	Cippato fresco U=50%	Stagionato U=30%	Essiccato U=20%
SUPERFICIE BOSCATATA CON PENDENZA < 60%	2974,73 m ³ 8924,18 msr	2949,02 m ³ 7130,48 msr	2870,97 m ³ 6990,40 msr
SUPERFICIE BOSCATATA CON PENDENZA < 60% GIÀ ACCESSIBILE	1656,26 m ³ 4968,77 msr	1641,93 m ³ 3970,03 msr	1602,91 m ³ 3892,01 msr

3.3 ENERGIA PRIMARIA DISPONIBILE

Dal quantitativo di cippato teoricamente disponibile è possibile stimare la quantità di energia primaria teorica disponibile contenuta nel combustibile. La valutazione deve tener conto dei diversi poteri calorifici che ha il legno a seconda del tipo di legno e del grado di umidità.

Il potere calorifico superiore del legno dipende al massimo per il 15% dalla specie della pianta come mostrato in Fig. 3-1 - Potere calorifico superiore

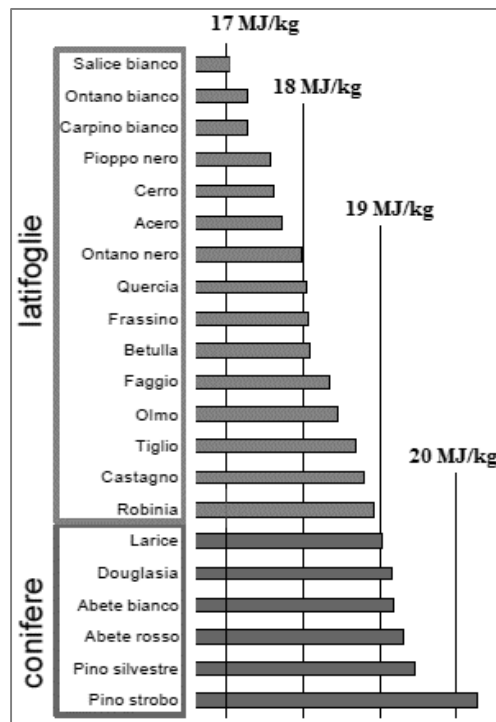


Fig. 3-1 - Potere calorifico superiore

Il contenuto energetico del legno (e del cippato) dipende invece molto dalla sua umidità. In linea generale il PCI del legno anidro si attesta a 18,5 MJ/kg (Francescato, Antonini e Mezzalira 2004).

Per valutare il potere calorifico in funzione del contenuto idrico del legno si utilizza pertanto la seguente formula:

$$PCI = (18.5 * (100 - w) - 2.44 * w) / 100 * 0.278 [kWh/kg]$$

dove: $w = w(\%) = \frac{m_u - m_o}{m_u}$

L'andamento per diversi gradi di umidità è espresso nel grafico di Fig. 3-2.

PCI=	5,143	kWh/kg	w=	0	%
PCI=	4,560868	kWh/kg	w=	10	%
PCI=	4,3862284	kWh/kg	w=	13	%
PCI=	4,269802	kWh/kg	w=	15	%
PCI=	3,978736	kWh/kg	w=	20	%
PCI=	3,68767	kWh/kg	w=	25	%
PCI=	3,396604	kWh/kg	w=	30	%
PCI=	2,814472	kWh/kg	w=	40	%
PCI=	2,23234	kWh/kg	w=	50	%

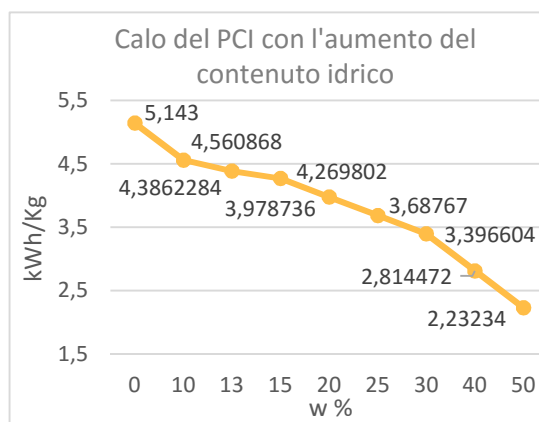


Fig. 3-2 - Potere calorifico in funzione del contenuto idrico

Ciò che si osserva è che se la con la stagionatura si riesce a ridurre il contenuto idrico di un 10%, si ha un guadagno in termini di contenuto energetico di circa 0,6 kWh/kg.

Nella pratica per il cippato si possono utilizzare i seguenti fattori di conversione:

$PC_{30} = 3,397 \text{ kWh/kg}$ ($w=30\%$)

$PC_{20} = 3,979 \text{ kWh/kg}$ ($w=20\%$)

Valutando perciò il cippato disponibile dopo l'analisi della risorsa boschiva si può calcolare che l'energia primaria teorica che è resa disponibile dai boschi del Monte Summano sia dell'ordine delle migliaia di MWh:

	U=30%	U=20%
SUPERFICIE BOSCATATA CON PENDENZA < 60%	8114 MWh	8317 MWh
SUPERFICIE BOSCATATA CON PENDENZA < 60% GIÀ ACCESSIBILE	4517 MWh	4630 MWh

3.4 VALUTAZIONI ECONOMICHE

Le valutazioni economiche sulla produzione di cippato per una ipotetica raccolta del materiale dai boschi del monte Summano è stata eseguita riferendosi: ai costi di alcune esperienze ritenute confrontabili, ai costi indicati nella guida "Legno e energia" (Francescato, Antonini e Zuccoli Bergomi 2009) promossa da A.I.E.L. Associazione Italiana Energia Legno, e alla relazione tecnica del progetto ENERVAL (Correale Santacroce, F.; Loreggian, M.; Agostinetto, L.; Zinato, T. 2015).

Si sono considerate le seguenti apparecchiature valutando il trattamento di 100 tonnellate di legname:

Operazione	Costo unitario	Ore necessarie	Costo complessivo
Taglio con motosega	20 €/ora	30 ore	600
Trattore con verricello per esbosco	45 €/ora 2op.	15 ore	675
Gru a cavo media per esbosco	80 €/ora	20 ore	1600
Allestimento all'imposto con processore su trattore	35 €/ora	15 ore	525
Cippatura elevata potenza	170 €/ora	6 ore	1020
Trasporto, trattore con rimorchio	45 €/ora	18 ore	810
Trasporto all'impianto	50 €/ora	5 ore	250

Si ottiene un risultato che fornisce un costo del cippato di 54,8 €/t.

Per quanto riguarda i costi di realizzazione di una piattaforma logistica coperta, si è deciso di non inserirli nel costo del cippato in quanto una sua ipotetica realizzazione dovrebbe essere inserita in un contesto più ampio poichè le quantità di materiale da lavorare annualmente necessarie all'istituto del presente studio sono assai ridotte e non giustificerebbero un tale investimento.

Capitolo 4. UTILIZZO DEL CIPPATO NEL COMPLESSO G.BOSCO

Si sono eseguite delle analisi su possibili sistemi di produzione di calore ed energia elettrica che soddisfino il fabbisogno dell'istituto G.Bosco, che utilizzino come fonte rinnovabile il cippato prodotto dalla rivalutazione del patrimonio boschivo comunale.

L'analisi prevede il confronto tra le seguenti possibilità:

- Installazione di uno o più sistemi cogenerativi ORC alimentati da caldaia a cippato
- Installazione di caldaia a cippato per la produzione di calore
- Non eseguire alcun intervento.

L'obiettivo primario riguarda la necessità di sostituire l'attuale sistema di produzione di calore dell'istituto e perciò di coprire il fabbisogno termico. Le diverse configurazioni prese in considerazione, pur avendo come punto di partenza questo obiettivo comune, svolgono differenti funzioni che si ritiene necessario chiarire:

- La soluzione "caldaia a cippato" è in grado di coprire l'intera richiesta termica autonomamente, permettendo l'eliminazione totale della caldaia a metano attualmente installata;
- Le soluzioni cogenerative prevedono l'installazione di sistema ORC combinato a caldaia a cippato. In questo modo si ha produzione sia di energia termica che di energia elettrica tuttavia, per evitare sovradimensionamenti, il sistema non copre i carichi termici di picco per i quali è necessario che intervenga l'ausiliario.

4.1 CARICHI TERMICI ED ELETTRICI

Al fine di svolgere correttamente l'analisi economica è stato necessario ricostruire i profili termici ed elettrici che caratterizzano l'istituto in esame. Essi sono stati costruiti a partire dall'analisi dei dati ricevuti sui consumi mensili di gas metano e di elettricità e sugli orari di accensione e spegnimento del sistema di riscaldamento. I dati ricevuti non sono molto accurati e non distinguono i consumi della scuola da quelli della palestra. È stato perciò necessario adottare alcune semplificazioni nella costruzione dei profili giornalieri.

4.1.1 Carichi termici

Le principali informazioni su cui ci si è basati per la costruzione i profili termici sono:

1. L'istituto scolastico ha una domanda di calore esclusivamente per il riscaldamento dell'edificio. Gli orari considerati di accensione e spegnimento del sistema di riscaldamento sono i seguenti:

Struttura	Periodo	Orari di accensione
Scuola	15novembre-15marzo (inverno)	4.00 -17.00
	15marzo-15aprile e 15ottobre-15-novembre	6.00-10.00
	15aprile-15ottobre (estate)	Sempre spento
Palestra	15novembre-15marzo (inverno)	4.00 -22.00
	15marzo-15aprile e 15ottobre-15-novembre	6.00-10.00 e 18.00-22.00
	15aprile-15ottobre (estate)	Sempre spento

Tabella 4-1- Tabella oraria riscaldamento

2. La palestra viene utilizzata al mattino esclusivamente dagli alunni della scuola perciò non c'è richiesta di acqua calda sanitaria (ACS) ma solo di riscaldamento.
3. La palestra nel pomeriggio e la sera viene utilizzata da una società polisportiva, il profilo è perciò caratterizzato da picchi di domanda dovuti a l'utilizzo di ACS per il funzionamento delle docce. Nelle ore pomeridiane e serali, ogni due ore circa, si hanno dei picchi di richiesta termica poiché 10 - 15 docce funzionano contemporaneamente per una durata di circa 15-30 minuti.
4. Trattandosi di edifici pubblici, il riscaldamento è completamente spento da metà aprile a metà ottobre.
5. Nel fine settimana l'edificio scolastico è chiuso mentre la palestra è utilizzata il sabato nel pomeriggio-sera e la domenica mattina da settembre a maggio.
6. I kWh_{th} medi mensili richiesti considerando un potere calorifico di 10,5 kWh/smc sono i seguenti:

Mese	Consumi
gennaio	77102
febbraio	75191
marzo	41680
aprile	19808
maggio	2777
giugno	0
luglio	0
agosto	0
settembre	572
ottobre	10537
novembre	41165
dicembre	59798

Tabella 4-2 – Fabbisogni termici medi mensili [kWh]

Nell'arco dell'anno si ricava il seguente andamento della domanda termica:

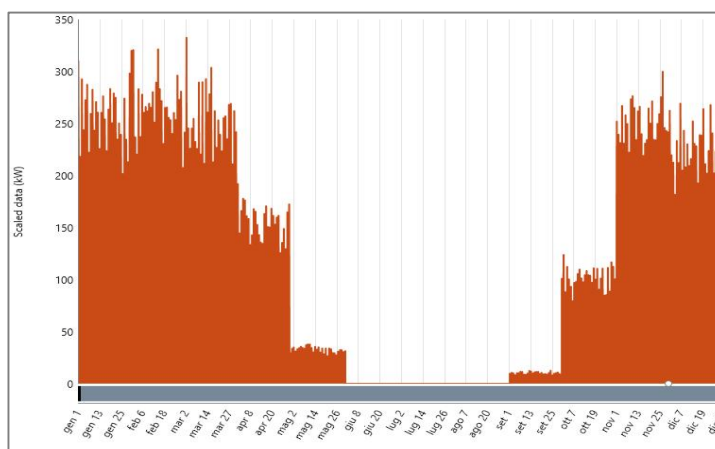


Fig. 4-1 - Simulazione profilo termico annuale istituto G.Bosco

4.1.2 Carichi elettrici

Per quanto riguarda la creazione del profilo del carico elettrico si sono utilizzate le seguenti informazioni:

1. Il carico elettrico della scuola è principalmente legato all'illuminazione. Gli orari considerati sono: 7:00- 17:00 tuttavia la richiesta non è stata considerata costante né nell'arco della giornata né nell'arco dell'anno ma si è inserita una certa variabilità.
2. Il carico elettrico della palestra è così caratterizzato
 - a. Mattino: illuminazione
 - b. Pomeriggio-sera e fine settimana: illuminazione + asciugacapelli
3. Nel fine settimana è aperta solo la palestra: il sabato dalle 18:00 alle 22:00, la domenica mattina dalle 9:00 alle 12:00.
4. Nei mesi di luglio e agosto scuola e palestra sono completamente chiuse. Dai consumi elettrici dichiarati di questi mesi si è quindi calcolato il "carico elettrico minimo".

Si è pertanto ottenuto il seguente profilo elettrico nel quale si osserva la variabilità della domanda elettrica (dovuta alle precedenti considerazioni):

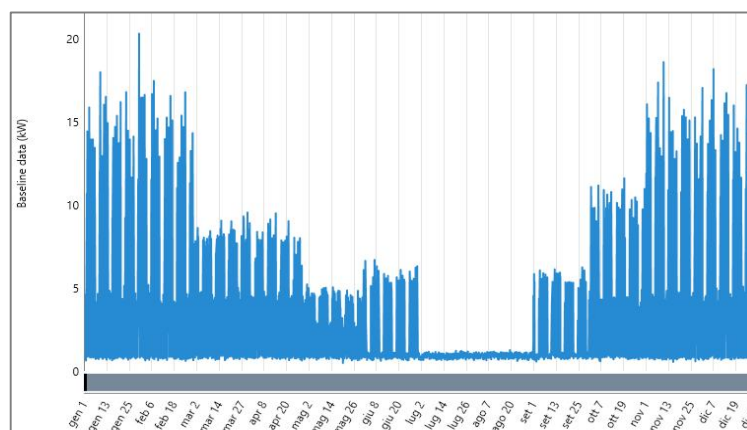
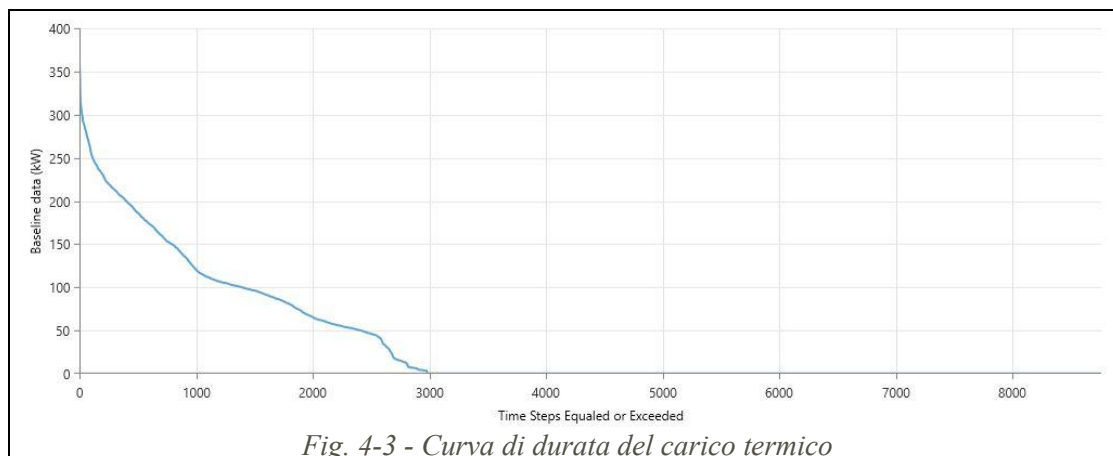


Fig. 4-2 - Simulazione profilo elettrico annuale istituto G.Bosco

4.1.3 Curva di durata del carico termico

In Fig. 4-3 - Curva di durata del carico termico è riportata la curva di durata del carico termico.



Si può notare che la curva di durata del carico termico è limitata ad un periodo molto breve dell'arco dell'anno. Non presenta la classica forma con un ampio numero di ore a carico costante bensì si possono individuare, escludendo il picco di potenza attorno ai 300kW, quattro livelli di potenza richiesta:

- 200 kWth richiesti per circa 500 ore/anno
- 150 kWth richiesti per circa 1000 ore/anno
- 100 kWth richiesti per circa 2000 ore/anno
- 50 kWth richiesti per circa 2600 ore/anno

Da questi presupposti dipendono sia la scelta delle configurazioni di seguito analizzate sia l'impostazione delle simulazioni, le quali mirano a seguire il più possibile il carico termico.

4.2 SOLUZIONI IN COGENERAZIONE

Si è inizialmente focalizzato l'intervallo di taglie d'interesse dai dati macroscopici:

	Termica	Elettrica
Fabbisogno Energia annua [kWh]	35476smc \approx 330000kWh _{th}	28918 kWh _{el}
Potenza attuale [kW]	320kW _{th} +120 kW _{th}	30kW (tens.380V)

Si sono quindi individuati e valutati molteplici sistemi cogenerativi ponendo attenzione alle esigenze specifiche del caso e perciò rivolgendosi a sistemi di mini-micro cogenerazione funzionanti a biomassa. A tal fine sul mercato si sono identificate le seguenti opportunità:

- Caldaia a biomassa in combinazione a turbina a vapore
- Caldaia a biomassa in combinazione a macchina a ciclo Rankine a fluido organico ORC
- Impianto con motore Stirling combinato a caldaia a biomassa o a gassificatore di biomassa
- Motore a combustione interna alimentato a syngas da gassificazione di biomassa
- Microturbine a gas da gassificazione della biomassa

Un primo livello di analisi, che ha previsto la ricerca di aziende produttrici, la richiesta di preventivi e la simulazione in Homer Energy®, si è eseguita sui seguenti sistemi:

- sistema funzionante con ORC da combustione del cippato,
- sistema di gassificazione del cippato annessi a motori a combustione interna,
- sistema con combustione del cippato e utilizzo del calore in motori di tipo Stirling.

Successivamente, si è scelto di abbandonare la tecnologia con gassificazione e quella con motore Stirling in quanto prevedevano l'utilizzo di tecnologie non sufficientemente affermate e delle quali, per le taglie in questione, il mercato non risulta essere ancora maturo.

Si è scelto di tenere in considerazione la cogenerazione con tecnologia ORC che oltre ad essere una tecnologia matura presenta il vantaggio di permettere una buona parzializzazione permettendo di lavorare bene anche a carico parziale senza che ciò comporti una grave riduzione dei rendimenti. Data la tipologia di utenza ciò rappresenta un'importante caratteristica in quanto la richiesta di calore non ha un andamento costante nell'arco della giornata.

4.2.1 Simulazioni

Le ipotesi di dimensionamento dei sistemi cogenerativi si basano sulla curva di durata del carico termico (non di quello elettrico). Il mercato della cogenerazione propone le taglie dei sistemi basandoli sulla potenza elettrica perciò, una volta individuata la potenza termica desiderata, si sono estrapolate di conseguenza le potenze elettriche e quindi si sono individuati i sistemi proposti dalle diverse aziende che potevano meglio soddisfare le esigenze. Le simulazioni dei sistemi cogenerativi sono state eseguite con l'ausilio del software Homer Energy®. Il software è intrinsecamente concepito per un'ottimizzazione che attribuisce la precedenza al carico elettrico piuttosto che a quello termico. Per conseguire perciò l'obiettivo di simulare secondo la domanda termica si sono adoperate le seguenti strategie:

- Si è forzata l'accensione dei sistemi e il loro spegnimento al fine di seguire la domanda termica;
- Si è impostato un valore massimo, pari al 10%, di calore non recuperato, in questo modo il generatore anziché lavorare sempre alla potenza elettrica nominale lavora anche a carico parziale.

Dall'analisi dei carichi e della curva di durata si sono elaborate tre possibili configurazioni cogenerative:

- A. 1x 35 kW_{el} ≈ 135 kW_{th}
- B. 1x 30 kW_{el} ≈ 110 kW_{th} + 1x 20 kW_{el} ≈ 70kW_{th}
- C. 2x 30 kW_{el} ≈ 110 kW_{th} + 1x 20 kW_{el} ≈ 70kW_{th}

I risultati delle simulazioni hanno evidenziato che l'utilizzo delle macchine è assai limitato come si può vedere in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**:

CONFIGURAZIONE	Ore di funzionamento ORC1	Ore di funzionamento ORC2	Ore di funzionamento ORC3
A	2.020 ore/anno	/	/
B	1.783 ore/anno	1.627 ore/anno	/
C	1.892 ore/anno	575 ore/anno	1.005 ore/anno

Tabella 4-3 – Ore di funzionamento soluzioni ORC

Nel caso A si ha un funzionamento complessivo di circa 2000 ore/anno, nei casi B e C complessivamente il sistema funziona per quasi 3500 ore/anno tuttavia ciascuna macchina funziona per meno di 2000 ore/anno.

Le Fig. 4-4 e Fig. 4-5 – Copertura dei carichi mostrano la copertura dei carichi termici ed elettrici operate dalle diverse configurazioni:



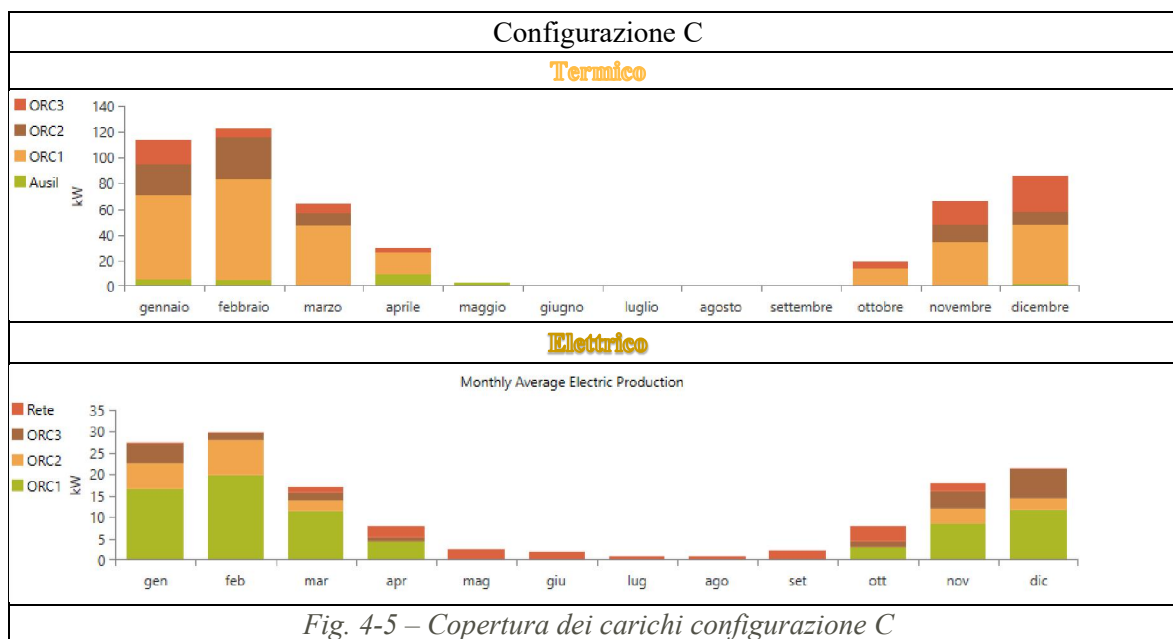


Fig. 4-5 – Copertura dei carichi configurazione C

Le simulazioni inoltre forniscono il valore di produzione termica per ciascuna macchina nei diversi casi:

Configurazione			
A	ORC1 (35 kW _{el})	250'533 kWh _{th} /anno	72%
B	ORC1 (30 kW _{el})	206'918 kWh _{th} /anno	58,7%
	ORC 2 (20 kW _{el})	117'306 kWh _{th} /anno	33,3%
C	ORC1 (30 kW _{el})	216'712 kWh _{th} /anno	59,5%
	ORC 2 (30 kW _{el})	64'712 kWh _{th} /anno	17,8%
	ORC 3 (20 kW _{el})	65'410 kWh _{th} /anno	17,9%

Si osserva che:

Caso A : Il sistema copre il 72% del fabbisogno termico mentre l'ausiliario copre il restante 28%, (produzione di calore in eccesso 5,9%)

Caso B: Il sistema complessivamente copre il 92% del fabbisogno termico, l'ausiliario copre l'8% (calore in eccesso 8,2%)

Caso C: Il sistema complessivamente copre il 95% del fabbisogno termico, l'ausiliario copre il 5% (calore in eccesso 11,9%)

Si è già detto che ogni simulazione prevede la presenza di una caldaia ausiliaria. La caldaia ausiliaria copre il fabbisogno termico nei momenti in cui non risulta conveniente l'avvio dell'impianto cogenerativo (ad es. nei mesi estivi dove l'unica richiesta termica è quella per l'uso di acqua calda sanitaria per le docce) e quando è necessario far fronte ai picchi di potenza richiesta.

Per quanto riguarda il risparmio di metri cubi di gas che si avrebbero nel caso di installazione dei sistemi in esame risulta:

CONFIGURAZIONE	CONSUMO smcGAS/anno	RISPARMIO smcGAS/anno
NESSUNA	35476	/
A	10292	25184
B	3086	32390
C	1928	33548

Nelle precedenti analisi si nota che il risparmio e la percentuale di copertura del carico ottenuti nei casi B e C non sono molto differenti mentre differiscono di molto le potenze nominali installate:

Caso B: 50 kW_{el} ≈ 180 kW_{th}

Caso C: 80 kW_{el} ≈ 290 kW_{th}

La macchina ORC2 del *Caso C* risulta infatti lavorare per sole 575 ore annuali, il che rende la sua installazione inadeguata. Per questo motivo si è deciso di escludere la soluzione *C* e nelle seguenti trattazioni e si sono tenute in considerazione solo le soluzioni *A* e *B*.

Il vantaggio del sistema cogenerativo è quello di coprire non solo un fabbisogno termico ma di produrre simultaneamente energia elettrica.

Per quanto riguarda le produzioni e i consumi elettrici si riporta la seguente tabella:

Soluzione	Macchina	Energia elettrica prodotta kWh/anno	Energia elettrica consumata tot. kWh/anno	Energia elettrica acquistata kWh/anno	Energia elettrica venduta kWh/anno
A	35kW	61'728	28'918	16'949	49'758
B	30kW	51'911	28'918	13'300	65'300
	20kW	29'007			

Gli esiti delle simulazioni forniscono i seguenti rendimenti elettrici:

A. $\eta_{el} = 16,5 \%$

B. $\eta_{el} = 17 \%$

La differenza tra i due rendimenti è legata alle condizioni di lavoro: nella soluzione *A* l'impianto lavora maggiormente a carico parziale mentre nella soluzione *B* i due impianti lavorano maggiormente vicini al carico nominale come si può osservare in Fig. 4-6, Fig. 4-7, Fig. 4-8.

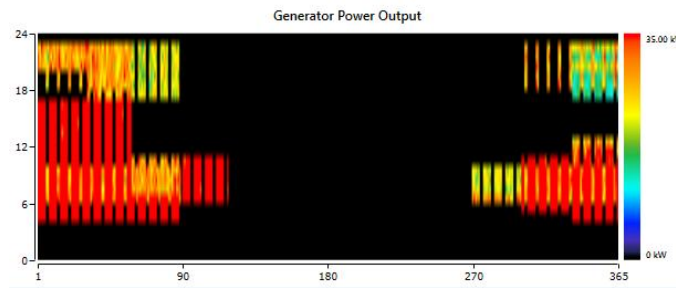


Fig. 4-6 – Funzionamento ORC1 Soluzione A

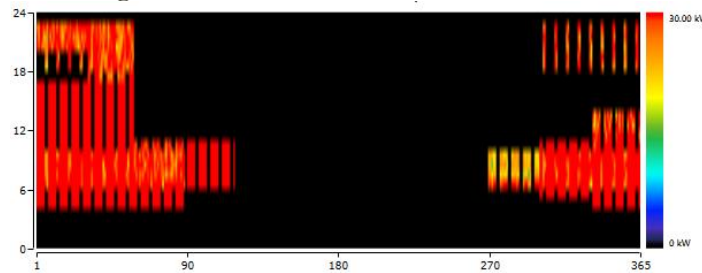


Fig. 4-7 – Funzionamento ORC1 Soluzione B

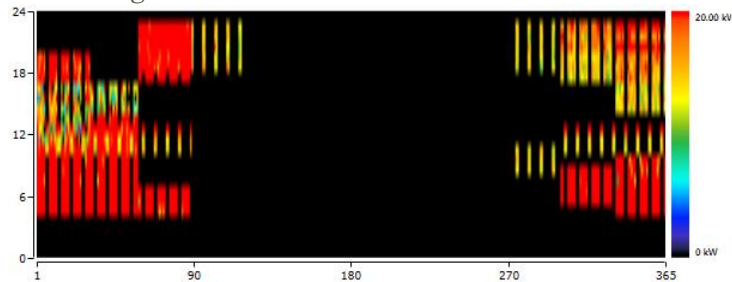


Fig. 4-8 – Funzionamento ORC2 Soluzione B

4.3 SOLUZIONE CON CALDAIA A CIPPATO

La soluzione con caldaia si rivolge alla sola produzione di calore per il riscaldamento degli edifici e per la produzione di ACS. Per quanto riguarda l'impianto termoidraulico è opportuno considerare la necessità di installare un accumulatore inerziale soprattutto nel caso in cui il circuito caldaia (primario) sia separato dal secondario e nel caso, come quello studiato, in cui si abbia la necessità di ACS nei mesi in cui il riscaldamento degli ambienti non è necessario.

Per quanto riguarda il dimensionamento dell'impianto si considerano comunemente gli stessi criteri che si seguono per l'installazione di caldaie a gas pertanto, considerate la potenze in gioco e valutata la curva di durata della domanda termica, si è scelta la soluzione di affiancare due caldaie modulari di taglia 150kWth ciascuna abbinata ad un accumulo. La scelta di affiancamento di due caldaie piuttosto dell'installazione di una unica è dovuta principalmente a due motivi:

- Garantire maggiore affidabilità in quanto con due macchine affiancate il rischio del completo fuori servizio si riduce notevolmente
- Permettere alle due caldaie di lavorare maggiormente vicino alla potenza nominale in modo da garantire un buon rendimento

La scelta della caldaia modulare permette di avere elevati rendimenti in quanto l'accensione/spengimento di ciascun modulo è gestita da un sistema elettronico ad inseguimento del rendimento massimo. I rendimenti di queste caldaie si aggirano attorno all' 80-87%

Il locale caldaia deve necessariamente essere adiacente al locale di stoccaggio del combustibile. Il silo di stoccaggio va dimensionato sulla base della potenza, del rendimento della caldaia e dell'autonomia richiesta.

Un dimensionamento di massima per lo stoccaggio può essere il seguente:

Potenza nominale complessiva 300kW

Rendimento termico 83%

Potere calorifico cippato 3,4 kWh/kg

Autonomia: 1 mese

Domanda di energia mese di gennaio (picco): 77102 kWh

Producibilità caldaia $0,83 \cdot 3,4 = 2,82$ kWh/kg

Tonnellate necessarie: 27,321 tonnellate

Massa sterica: 330 kg/msr

Volume consumato in un mese: 82,8 msr

Si può perciò pensare ad uno stoccaggio di capienza 100m³.

4.4 ANALISI ECONOMICA

Gli impianti a biomassa sono caratterizzati da elevati costi di investimento e bassi costi di esercizio. Si indicano ora le principali scelte fatte per procedere nell'analisi economica.

Nelle valutazioni economiche della cogenerazione si sono analizzate due possibilità:

1. Tutta l'energia elettrica prodotta è ceduta alla rete con applicazione della tariffa omnicomprensiva, vedi paragrafo 1.6.2, mentre quella consumata è tutta acquistata;
2. L'energia prodotta viene quando possibile auto-consumata e solo la restante venduta e acquistata.

Nella valutazione della caldaia a cippato non si è potuto considerare il conto termico poiché l'intervento prevede la sostituzione di una caldaia a metano mentre l'incentivo si applica per sostituzione di impianti "alimentati a biomassa, a carbone, a olio combustibile o a gasolio" (vedi paragrafo Conto Termico 1.6.1).

Per la valutazione dei costi di investimento e dei costi di gestione si sono raccolti prezzi e preventivi da diverse aziende del settore, inoltre si sono analizzati dati da letteratura e da esperienze simili di realtà locali. Per quanto si sia cercato di procedere in una valutazione il più verosimile possibile, i prezzi sono da ritenersi indicativi poiché non si sono effettuati sopralluoghi con le aziende e non si sono potuti fornire dati precisi alle stesse per la redazione dei preventivi.

Si è considerato un prezzo per gli impianti cogenerativi di 4500 €/kWel.

Il prezzo per l'installazione della caldaia a cippato è stato fissato a 400 €/kWth a partire da esempi di installazioni realizzate nel territorio che trovano riscontro nell'andamento di Fig. 4-9

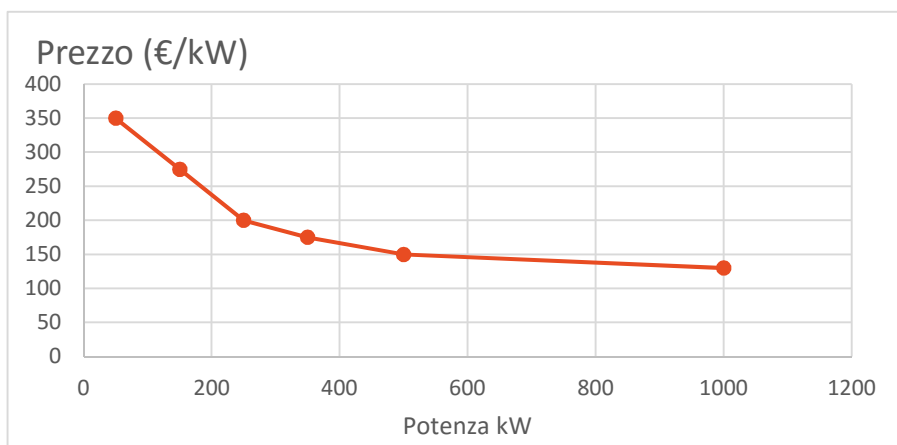


Fig. 4-9 – Prezzi al kW installato in funzione della potenza complessiva dell'impianto (ITABIA)

Dal dato riportato nel grafico si devono aggiungere sia l'IVA che i costi di installazione.

In entrambi i casi, cogenerazione e caldaia a cippato, si sono aggiunti 30.000€ di opere murarie legate principalmente alla realizzazione del serbatoio di stoccaggio presso l'istituto infine si sono quantificati 10.000€ di oneri accessori.

Per quanto riguarda i costi di gestione di O&M (oneri e manutenzione), si è considerata una quota fissa annuale pari al 5% dell'investimento iniziale.

Il costo fissato per il cippato è quello che è risultato dall'analisi al capitolo 3.4 e corrisponde a 54,8 € a tonnellata considerando un cippato di qualità A2.

In tutte le valutazioni si è considerato un tasso di sconto: $a = 0,05$

Le tariffe reali di energia elettrica e del gas della rete di distribuzione applicate all'istituto non sono state fornite pertanto si è scelta una tariffa dell'energia elettrica pari a 0,24 €/kWh basandosi sulle tariffe applicate attualmente a simili utenze, si è scelta una tariffa del gas pari a 0,83 €/smc calcolandola in base alle tabelle fornite dal mercato di maggior tutela relative.

La tariffa base omnicomprensiva e i premi si sono trattati al capitolo 1.6.2 mentre la valorizzazione dell'energia elettrica nel caso di autoconsumo e vendita è pari a 0,05€/kWh.

Si riportano le tabelle dei costi principali per l'acquisto e la gestione dei sistemi considerati.

4.4.1 Cogenerazione

Costo impianto	4500 €/kW
Costo cippato	54,8 €/t
T _b (tariffa omnicomprensiva)	0,21 €/kWh
Premio emissioni	0,03 €/kWh
Premio CAR	0,04 €/kWh
Tariffa EE acquistata	0,24 €/kWh
Valorizzazione EE venduta	0,05 €/kWh
Tariffa Gas	0,83 €/smc

Soluzione A

INVESTIMENTO INIZIALE

Impianto	157500 €
Opere murarie	30000 €
Oneri accessori	10000 €

Cessione di tutta l'energia prodotta

COSTI DI GESTIONE

En. Elettrica acquistata	6940,32 €/anno
Cippato consumato	5172,353 €/anno
Gas	8542,36 €/anno
O&M	7875 €/anno

Autoconsumo e vendita

COSTI DI GESTIONE

En. Elettrica acquistata	4067,76 €/anno
Cippato consumato	5172,353 €/anno
Gas	8542,36 €/anno
O&M	7875 €/anno

Il **bilancio economico** è il seguente:

Investimento iniziale	197500 €	Investimento iniziale	197500 €
Costi di gestione	28530 €/anno	Costi di gestione	25657 €/anno
Entrate annue tariffa omni.	12962 €/anno	Vendita EE	2488 €/anno
Mancato acquisto EE	0 €/anno	Mancato acquisto EE	2872 €/anno
Mancato acquisto Gas	20902 €/anno	Mancato acquisto Gas	20902 €/anno

Soluzione B

INVESTIMENTO INIZIALE

Impianto	225000 €
Opere murarie	30000 €
Oneri accessori	10000 €

Cessione di tutta l'energia prodotta

COSTI DI GESTIONE

En. Elettrica acquistata	6940,32 €/anno
Cippato consumato	6134,915 €/anno
Gas	2564,7 €/anno
O&M	11250 €/anno

Autoconsumo e vendita

COSTI DI GESTIONE

En. Elettrica acquistata	3192 €/anno
Cippato consumato	6134,915 €/anno
Gas	2564,7 €/anno
O&M	11250 €/anno

Il **Bilancio economico** è il seguente:

Investimento iniziale	265000 €	Investimento iniziale	265000 €
Costi di gestione	26890 €/anno	Costi di gestione	23141 €/anno
Entrate annue tariffa omni	15314 €/anno	Vendita EE	2865 €/anno
Mancato acquisto EE	0 €/anno	Mancato acquisto EE	3748 €/anno
Mancato acquisto Gas	26880 €/anno	Mancato acquisto Gas	26880 €/anno

4.4.2 Caldaia a cippato

Costo impianto	400 €/kW
Costo cippato	54,8 €/t
Costo gas	0,83 €/smc

INVESTIMENTO INIZIALE

Impianto	120000 €
Opere murarie	30000 €
Oneri accessori	10000 €

COSTI DI GESTIONE

Cippato consumato	5820,308 €/anno
O&M	3000 €/anno

Il **bilancio economico** è il seguente:

Investimento iniziale	160000 €
Costi di gestione	8820,308 €/anno
Mancato acquisto Gas	26100,18 €/anno

4.4.3 Risultati: Valore Attuale Netto, Pay Back, Indice di Profittabilità

Dal bilancio economico, si è calcolato il Valore Attuale Netto (valore cumulato dei flussi di cassa generato dal progetto) e il P_B semplice (tempo di ritorno) e l'indice di profittabilità per le diverse soluzioni basandosi sulle seguenti formule:

$$VAN = \left[\sum_{j=0}^n \frac{D_j}{(1+r)^j} \right] - I_o \quad P_B = \frac{I_o}{D_j} \quad I_P = \frac{VAN}{I_o}$$

dove:

I_o = investimento iniziale (concentrato all'anno zero)

n = numero di anni considerati nel calcolo

D_j = disponibilità all'anno j-esimo

r = tasso di sconto

Si riportano i risultati ottenuti:

Cogenerazione A (35kWel)

$VAN = -131'007 \text{ €}$ se tariffa omnicomprensiva $P_b = 37 \text{ anni}$ $I_p = -0,663$

$VAN = -77'158 \text{ €}$ se tariffa omnicomprensiva con premi $P_b = 20,5 \text{ anni}$ $I_p = -0,391$

$VAN = -189'952 \text{ €}$ se autoconsumo e vendita

Cogenerazione B (20kWel + 30kWel)

$VAN = -74'275 \text{ €}$ se tariffa omnicomprensiva $P_b = 17,3 \text{ anni}$ $I_p = -0,28$

$VAN = -10'660 \text{ €}$ se tariffa omnicomprensiva con premi $P_b = 13 \text{ anni}$ $I_p = -0,04$

$VAN = -135'988 \text{ €}$ se autoconsumo e vendita

Caldaia a cippato

$VAN = 55'345 \text{ €}$ $P_b = 9 \text{ anni}$ $I_p = 0,345$

4.5 VALORIZZAZIONE DELLA CO₂ RISPARMIATA

Prima di procedere alla valorizzazione della CO₂ risparmiata è necessario:

- definire i fattori di emissione utilizzati per ciascun tipo di combustibile e per l'energia elettrica
- calcolare le quantità di CO₂ risparmiata

4.5.1 Fattori di emissione di CO₂

In questo paragrafo si introducono i fattori di emissione considerati nel presente studio relativi all'utilizzo di biomassa, gas naturale ed energia elettrica.

I fattori di emissione di CO₂ da combustione di biomasse (cippato) sono stati considerati pari a zero, in accordo con quanto definito nell'ambito della convenzione UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) per la contabilizzazione delle emissioni atmosferiche di anidride carbonica. In tale contesto la biomassa è una sorgente neutra rispetto alle emissioni di CO₂, in quanto la CO₂ emessa durante la combustione è pari a quella assorbita nel corso della vita della pianta con il processo di fotosintesi.

La quantità CO₂ atmosferica relativa alla produzione di energia elettrica è legata al mix di produzione elettrica nazionale. Gli impianti termoelettrici costituiscono la principale sorgente emissiva del settore delle industrie energetiche (che comprende anche le raffinerie e le cokerie). Nello stesso settore sono inoltre comprese le emissioni fuggitive dovute alle perdite di metano dalle reti di distribuzione, dai campi di coltivazione degli idrocarburi e dallo stoccaggio di combustibili fossili. Le emissioni atmosferiche di CO₂ dovute alla produzione dell'energia elettrica importata dall'estero non entrano nel novero delle emissioni nazionali.

In Fig. 4-10 Si può osservare l'andamento dei fattori di emissione per la produzione e il consumo di energia elettrica

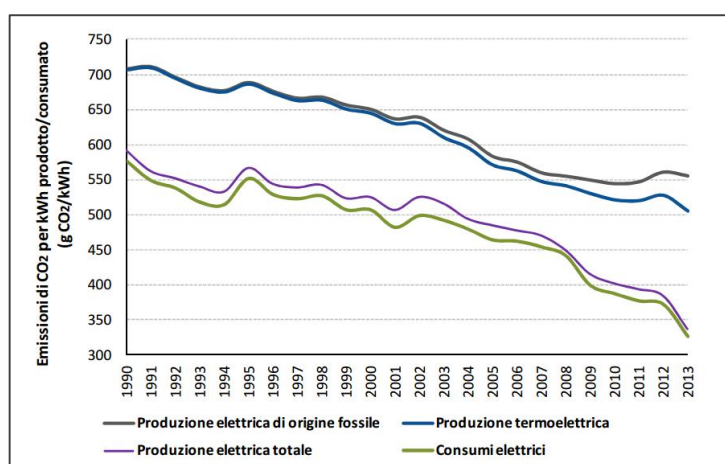


Fig. 4-10- Andamento del fattore di emissione per la produzione lorda ed il consumo di energia elettrica (ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca 2015)

I dati relativi alle emissioni del parco termoelettrico e della produzione elettrica nazionale della tabella in Fig. 4-11 mostrano che a fronte di un incremento della produzione elettrica dal 1990 al 2013 si è registrata una diminuzione delle emissioni atmosferiche di anidride carbonica per kWh prodotto/consumato. Si ha infatti che l'aumento della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili ha determinato una riduzione del fattore di emissione per la produzione elettrica totale

poiché tali fonti hanno un bilancio emissivo pari a zero e inoltre le perdite di rete sono diminuite dal 7,5% al 7,1% dei consumi nazionali nello stesso periodo.

Anno	Produzione elettrica lorda di origine fossile	Produzione termoelettrica lorda ¹	Produzione elettrica lorda ²		Consumi elettrici
			g CO ₂ /kWh		
1990	707,62	707,23	591,07		576,85
1995	687,86	686,79	566,42		552,33
2000	649,58	645,13	525,00		507,36
2005	582,43	571,23	484,90		464,55
2006	574,28	562,65	477,57		462,72
2007	558,99	547,50	470,27		454,45
2008	554,08	541,38	449,67		441,90
2009	548,80	530,45	415,84		399,78
2010	543,63	521,36	402,17		387,75
2011	546,11	520,13	393,94		377,43
2012	559,97	527,72	384,85		372,42
2013	554,68	505,36	337,43		326,78

¹ comprensiva della quota di elettricità prodotta da bioenergie
² al netto degli apporti da pompaggio

Fig. 4-11 – Fattori di emissione della produzione elettrica nazionale e dei consumi elettrici
 (ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca 2015)

Per il calcolo dei fattori di emissione dei consumi è stata considerata la produzione netta di energia elettrica, ovvero l'energia elettrica misurata in uscita dagli impianti al netto dell'energia elettrica utilizzata per i servizi ausiliari della produzione, la quota di energia elettrica importata e le perdite di rete.

Per quanto riguarda la CO₂ relativa al consumo di gas metano di rete i fattori di emissione sono stati calcolati a partire dal contenuto di carbonio e dal potere calorifico del combustibile e si fa riferimento alla tabella di Fig. 4-12:

	t CO ₂ / TJ (stechiometrico)	Coefficiente di ossidazione	t CO ₂ / TJ	t CO ₂ / 10 ³ Stdm ³	t CO ₂ / tep
2010	55.998	1.000	55.998	1.97126	2.343
2010, pci 8190 kcal/m ³	57.527	1.000	57.527	1.97126	2.407
2011	55.803	1.000	55.803	1.95470	2.335
2011, pci 8190 kcal/m ³	57.044	1.000	57.044	1.95470	2.387
2012	55.862	1.000	55.862	1.96076	2.337
2012, pci 8190 kcal/m ³	57.220	1.000	57.220	1.96076	2.394
2013	55.794	1.000	55.794	1.95283	2.334
2013, pci 8190 kcal/m ³	56.989	1.000	56.989	1.95283	2.384

Fig. 4-12 – Fattori di emissione medi del gas naturale
 (ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca 2015)

Al fine dell'analisi si utilizzano perciò i seguenti fattori di emissione:

Biomassa = 0,00 kgCO₂/t

Energia elettrica = 0,337 kgCO₂/kWh

Gas Naturale = 1,953 kgCO₂/smc

4.5.2 Emissioni di CO₂ evitate

Le soluzioni considerate per la valutazione della CO₂ risparmiata sono:

- Cogenerazione ORC con due generatori da 1x20 kWel e 1x30 kWel;
- Caldaia a Cippato

In entrambi i casi il confronto è fatto rispetto alle emissioni attuali dell'istituto dovute all'utilizzo di energia elettrica per l'illuminazione e le apparecchiature e di gas naturale nella caldaia del sistema di riscaldamento.

Le emissioni annue attuali dell'istituto in esame sono 79029 kgCO₂/anno, così suddivise:

- Energia elettrica 9745 kgCO₂/anno (28918 kWh)
- Gas 69284 kgCO₂/anno (35476 smc)

Nel caso di installazione di caldaia a cippato le emissioni complessive sarebbero tutte associate al consumo di energia elettrica 9745 kgCO₂/anno con un risparmio di 69284 kgCO₂/anno.

Nel caso di cogenerazione i bilanci sono i seguenti:

Il bilancio per il gas è -63257 kgCO₂/anno tenendo conto del gas:

- non acquistato 32390 smc (-1,953 kgCO₂/smc)

Il bilancio per l'energia elettrica è -27269 kgCO₂/anno valutato tenendo conto dell'energia:

- autoconsumata: 15618 kWh (emissione nulla)
- immessa in rete: 65300 kWh (-0,337 kgCO₂/kWh)
- non acquistata: 15618 kWh (-0,337 kgCO₂/kWh)

la CO₂ evitata nel caso di cogenerazione è 90526 kgCO₂/anno.

4.5.3 Valorizzazione economica della CO₂ evitata

Valutando al prezzo corrente (novembre 2015) la CO₂ risparmiata a 8,65€/t, le soluzioni proposte possono essere così valorizzate:

		VAN restituito
Caldaia a cippato	599 €/anno	57939 €
Cogenerazione	783 €/anno	-902 € (con premi)
		-64517 € (senza premi)

Il prezzo del carbonio che mi renderebbe fattibile l'iniziativa (garantendo un VAN neutro) nel caso di cogenerazione sarebbe: 9,5 €/t (con premi), 65,83 €/t (senza premi).

Pertanto, nel caso in cui non si ottenessero i premi, la scelta della cogenerazione non sarebbe giustificata nemmeno considerando la CO₂ evitata (limite considerato ammissibile 40€/t).

CONCLUSIONI

Dall'analisi economica è emerso che:

1. Confrontando tra loro le soluzioni cogenerative la soluzione migliore risulta essere quella che prevede l'installazione di due macchine, una da 20 kWel ed una da 30 kWel con applicazione della tariffa omnicomprensiva. Questa soluzione pur avendo un Pay Back semplice (con disponibilità non attualizzate) inferiore alla vita utile dell'impianto, presenta un Valore Attuale Netto dell'investimento negativo, che si avvicina allo zero nel caso in cui si riesca ad ottenere i premi legati alla C.A.R. e ai limiti di emissione (vedi cap.1.6.2);
2. L'installazione di caldaia a cippato realizza un Valore Attuale Netto positivo, tuttavia la sua installazione non comporta un risparmio di energia elettrica ma solo di gas. Se si considera che l'energia elettrica genera un esborso di 6940 € annui allo scopo di confrontare questa tecnologia con la tecnologia in cogenerazione, realizzerebbe anch'essa un VAN negativo pari a -31142 €, ancora conveniente rispetto alla cogenerazione senza premi;
3. Per tutti i casi analizzati è necessario sottolineare l'importanza degli incentivi statali, senza i quali gli investimenti fin qui citati non risulterebbero in nessun caso convenienti.

Da un punto di vista strettamente economico sembrerebbe che la possibilità di intervenire con un sistema cogenerativo non abbia senso mentre può essere considerata l'installazione di una caldaia a cippato. Ciò è dovuto al fatto che la cogenerazione per essere remunerativa necessita di funzionare per almeno 3000-4000 ore annue mentre il nostro sistema funzionerebbe per appena 2000ore/anno.

Dal punto di vista di un'amministrazione, ovvero di un ente pubblico, è tuttavia necessario tener conto di numerosi altri fattori.

Tra queste:

- Riduzione delle emissioni di CO₂ (per raggiungere gli obiettivi del PAES)
- La riqualificazione delle aree montane del territorio comunale
- La possibilità che l'investimento sia parzialmente coperto da finanziamenti di fondi europei, nazionali o regionali
- La creazione di posti di lavoro all'interno del territorio

Dall'analisi effettuata per la valorizzazione della CO₂ risulta che il sistema cogenerativo se non ottiene i premi non ha giustificazione di essere realizzato, mentre nel caso di ottenimento dei premi la soluzione può essere maggiormente considerata.

Per quanto riguarda la possibilità di finanziamenti si fa riferimento al *POR FESR 2014-2020 Regione Veneto* approvato dalla Commissione Europea il 17 agosto 2015. Il presente studio può rientrare in diverse voci previste che rientrano negli assi prioritari 4 e 5 "sostenibilità energetica e qualità ambientale" in particolar modo gli aspetti 4C, 5C, 5E che riguardano la gestione forestale e del suolo, l'energia rinnovabile e il sequestro del carbonio. I bandi non sono attualmente aperti perciò non è possibile quantificare l'ammontare del finanziamento in caso di vincita del bando. Tuttavia, riferendosi ai bandi precedenti (FESR 2007-2013), si può supporre un finanziamento al 50% o al 75% dell'investimento. In tal caso sia la cogenerazione che l'installazione di caldaia a biomassa garantirebbero un'elevata remuneratività.

Elemento aggiuntivo da tenere in considerazione è che la disponibilità di risorsa boschiva è maggiore di almeno un ordine di grandezza rispetto al cippato necessario all'utenza d'analisi. Si ritiene perciò che qualora si volesse intraprendere la strada per la creazione della filiera corta, essa avrebbe senso

nel momento in cui un maggior quantitativo di biomassa venisse utilizzata rispetto al quantitativo strettamente necessario all'istituto; sia per limitare i costi di produzione del cippato sia per considerare veramente il beneficio sociale creato grazie a questo intervento.

Per questi motivi le proposte da considerare sono:

- Installazione di caldaia a cippato 2x150kWh
- Installazione di gruppo cogenerativo 20+30kWel solo nel caso di finanziamento europeo o regionale in modo da rendere l'investimento economicamente sostenibile e vantaggioso.

In conclusione, si ritiene opportuno affermare che e gli interventi possano essere presi in considerazione dall'amministrazione qualora si garantiscano determinate circostanze come il finanziamento europeo per sostenere l'investimento, la valorizzazione della CO2 evitata e si considerino i benefici dovuti sia alla riqualificazione ambientale sia alla possibilità di creare dei posti di lavoro a livello locale per la gestione della filiera.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bartolelli V., Schenone G., Atrese C., *Caldaie a Biomasse per impianti di riscaldamento domestico*. ITABIA, 2003.
- [2] Berra P., De Paoli L., Zingales G., *Economia delle fonti di energia*. 1997.
- [3] Cocco D., Palomba C., Puddu P., *Tecnologie delle energie rinnovabili*. SGE editoriali Padova, 2008.
- [4] Correale Santacroce F., Loreggian M., Agostinetto L., Zinato T., *Progetto ENERVAL, Studio di fattibilità relativo alla filiera legno energia*. Relazione Tecnica, Veneto Agricoltura, 2015.
- [5] Francescato V., Paniz A., Negrin M., Zuccoli Bergomi L., Antonini E., *Moderne caldaie e impianti a legna cippato e pellet*, AIEL- Associazione Italiana Energie Agroforestali, 2012.
- [6] Francescato Valter, Antonini Eliseo, Mezzalira Giustino, *L'energia dal legno*. Regione Piemonte, Paulownia Italia srl, 2004.
- [7] Francescato V., Antonini E., Zuccoli Bergomi L.. *Legna e Cippato. Produzione, Requisiti qualitativi e Compravendita*. Padova, AIEL, 2009.
- [8] GSE, *Incentivazione della produzione di energia termica da impianti a fonti rinnovabili ed interventi di efficienza energetica di piccole dimensioni - Regole applicative del D.M. 28 dicembre 2012*. 2013.
- [9] ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca, *Fattori di emissione atmosferica di CO2 e sviluppo delle fonti rinnovabili nel settore elettrico*. 2015.
- [10] Ministero dello sviluppo economico, *Linee guida per l'applicazione del Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 5 settembre 2011 – Cogenerazione ad Alto Rendimento (CAR)*. 2012.
- [11] Palestra N, Vescovo A. *Applicazioni di cicli ORC a recuperi termici da processi industriali*. E.ON, Turboden Srl. 2009.
- [12] Regione del Veneto, *POR FSE Veneto 2014-2020*. 2014.
- [13] Spezzati E., Tullio L., *Come si Taglia il Bosco?: Manuale per l'utilizzatore*. 2002.
- [14] Tchanche BF, Petrissans M, Papadakis B. *Heat resources and organic Rankine cycles machines. Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2014.
- [15] U.N.I.F., Di.S.A.F.R.I, I.R.L., *Biomasse agricole e forestali per uso energetico*. Agra ed., 2002.
- [16] Veneto Agricoltura, *La produzione da biomasse legnose a scopo energetico*. Veneto Agricoltura, 2007.

Legislazione di riferimento:

«DL 08/02/2007 n20.»

«DM 05/09/2011.»

«DM 28/12/12.»

«Conferenza stato-regioni: Testo nuovo decreto fonti rinnovabili non FV, novembre 2015»

Sitografia:

www.energiaenergetica.enea.it

www.enea.it

www.gse.it

www.pattodeisindaci.eu

www.sviluppoenergia.it

www.turboden.eu

www.wikipedia.org

RINGRAZIAMENTI

Il mio primo grazie va ai miei genitori senza i quali non sarei qui. Grazie per avermi sempre supportata nelle mie scelte e perché so che posso sempre contare su di voi. Ringrazio mia sorella Lara perché scopro sempre di più quanto l'essere tra noi così differenti sia veramente una ricchezza, poi i miei nonni Riccardo e Iolanda per le passioni che mi hanno trasmesso, gli zii e i cugini tutti, Manuela e la famiglia di Andrea.

Ringrazio Filippo, Michele e Andrea con cui ho iniziato a vivere questa splendida avventura universitaria, fin dal primo giorno nella mitica Lu4, con le nostre briscolate, le fiere, le decine di pannellotti acquistati, i tour auto-organizzati, le giornate full immersion pre-compitini, le conquiste e le sconfitte di quei primi anni da studenti di ingegneria dove, diciamo così, l'entusiasmo era davvero alle stelle! Senza di voi, ragazzi, non sarei la persona che sono. Ringrazio poi coloro che ho incontrato negli anni successivi Marco, Chiara, Ruggero, Diego con cui ho condiviso le giornate a lezione, gli esami, i progetti, le vacanze; non mi avete fatto mai mancare un supporto quando ne avevo bisogno, Grazie! Non posso poi dimenticare gli amici conosciuti tra Padova e Vicenza nei più svariati contesti, dai compagni di corso ai coinquilini, al volontariato: Stefania, Gian, Giorgio, Ju, Claudia, Angela.

Grazie a tutte le altre bellissime amicizie create in questi anni, vicini e lontani: grazie Scap, Stefano, Elisa, Shadat, Arianna, Alberto, Elisa, Lucia, Elisa, Vale, Mahsa, Elisa, amicizie forti, che mi hanno aiutata ognuna con le sue caratteristiche quando ero in difficoltà, persone che voglio tenere vicine vicine negli anni a venire.

Ringrazio poi i sanvitesi e affini: Illy, Selva, Silvia, Vero, Sara, Giulio, Fra, Giulio, Fra, e tutti gli altri per la bellezza di poter sempre trovare qualcuno con cui chiacchierare e fare un pò di festa.

Grazie alla mia comunità capi che mi ha accolta perché mi ha fatto riscoprire che vivere lo scautismo è un valore aggiunto che mi ha dato una mano anche nel vivere questo ultimo anno universitario: Sara, Elena, Angelo, la primissima Staff e poi Chiocca e Daniele che ci hanno dato aria nuova, Michael della nuova Staff che mi ha supportata in questi ultimi mesi e poi Arianna, Silvia, Marco, Cristina, Ale, Manu, Chiara, Anna, Alessia, Gobi, chi va e chi viene.

Ma il mio più grande grazie va ad Andrea che oltre ad essere stato il mio primissimo compagno di università, è il mio compagno di vita, la persona che in assoluto mi ha maggiormente supportata e sopportata, capita, aiutata, sostenuta, incoraggiata in questi anni. Con te, Andrea, con grande entusiasmo desidero vivere ciò che il futuro ha da proporci dopo questa seconda grande tappa raggiunta assieme.

Sperando di non aver dimenticato nessuno e se l'ho accidentalmente fatto, scusatemi, saluto tutti e vi ringrazio nuovamente. Grazie!