

Politecnico di Milano

Facoltà di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in
Ingegneria Energetica



Filiera Bosco Energia nel Verbano Cusio Ossola:

Modello a redditività garantita per definire le strategie di valorizzazione energetica dei residui legnosi presso i comuni montani.

Relatore: Prof. Paolo Silva

Studente: Marcello Pomponi

Matricola: 805647

Anno accademico: 2013/2014

Ringraziamenti

Ringrazio tutta la mia famiglia per avermi dato la possibilità di raggiungere questo traguardo. In particolare mio Papà e mia Mamma che mi hanno aiutato allo sviluppo di questo stesso progetto.

Inoltre ringrazio Katherina e la sua famiglia, mio fratello Andrea e tutti i miei grandi amici che mi hanno sempre supportato e dato la possibilità di essere felice durante questi anni.

Sommario

Questa tesi ha l'obiettivo di definire le strategie per lo sviluppo di una filiera bosco energia nel Verbano Cusio Ossola con la realizzazione di interventi di manutenzione dei patrimoni forestali montani collegati ad investimenti per la valorizzazione delle biomasse raccolte, attraverso la vendita di energia.

Lo studio è stato contestualizzato ad un bando della Regione Piemonte avente come linea d'azione lo sviluppo sostenibile del sistema montano. La proposta progettuale è stata ritenuta idonea dalla commissione che ha assegnato la realizzazione alla ESCo tutor di questo progetto.

Dopo aver analizzato e validato l'opportunità di mercato legata ad una filiera legno bosco energia, sono state identificate le condizioni al contorno per questo specifico progetto quali ad esempio quantità, qualità e costi di approvvigionamento della biomassa potenzialmente disponibile.

I requisiti contenuti nel bando della regione Piemonte hanno inoltre fornito le basi per un'analisi dettagliata dei modelli organizzativi e dei processi integrati di filiera. A tal fine sono stati raccolti e analizzati i documenti presentati dal capofila, dai partner di progetto e le manifestazioni di interesse da parte dei consumatori finali.

Lo studio sulla valorizzazione energetica si è basato sull'utilizzo del processo di cogenerazione attraverso ciclo Rankine con tre configurazioni alternative: turbina a vapore d'acqua, turbina a fluido organico ed un ciclo combinato ad acqua-fluido organico.

I risultati economici ottenibili dal sistema sono stati calcolati attraverso un modello dinamico che ha permesso di analizzare la sensitività rispetto a parametri tecnico-economici quali ad esempio il costo della biomassa, l'efficienza di conversione e la richiesta di energia termica locale. Inoltre sono stati identificati i principali rischi di progetto stimando per ognuno di essi le conseguenze in termini di profittabilità.

Lo studio si conclude analizzando l'impatto ambientale, economico, sociale e di governance che il sistema integrato di filiera bosco energia può avere sul territorio, analizzando infine le emissioni prodotte ed evitate dal processo di valorizzazione energetica dei residui legnosi locali.

Abstract

This thesis describes ESCo approaches and business models for biomass heating and CHP generation with the aim to define strategies for the development of wood energy chain in the area of Verbano CusioOssola (Italy).

The study has been referred to a public tender from the Piedmont region, requiring the organization of a business network among the locals partner to feed a biomass power plant located in Bagnella, Omegna VB. One of the party participating to the tender has been the ESCo company Baboo S.r.l , tutor for this study.

The study has evaluated the potential market opportunity achievable from the environment considering the boundary conditions such as quantity, quality and cost of the biomass available. The public tender has also provided valuable insights about policies and best practices for organizational models to realize integrated of supply chain processes.

The study about the energy production has been centered on the Rankine cycle cogeneration process with three alternative configurations: water steam turbine, organic Rankine cycle (ORC) and combined cycle based on water/organic fluid. The system outcomes have been assessed through a dynamic model that allowed to analyze the sensitivity across several perspectives covering the risks associated with the project long term sustainability such as cost of the biomass, conversion efficiency and local heat load rate. The study concludes analyzing about environmental, economic, social and governance requirements for this integrated wood energy chain approach.

Keywords: Wood energy chain; Sustainable forestry management; CHP; ORC; Steam Cycle; Wood Chips; Sensitivity analysis.

Indice Generale

1	Introduzione	13
2	L'opportunità di mercato	14
	2.1 Filiera bosco energia: l'energia come vettore di sviluppo dei comuni montani.....	14
	2.2 Identificazione unità dei consumi locali.....	16
	2.3 Opportunità di fornitura di energia basata su una fonte energetica rinnovabile.....	17
	2.4 Gestione attiva dei boschi.....	17
	2.5 Nuova occupazione per il territorio.....	19
3	Il contesto locale di riferimento	22
	3.1 Protocollo di Kyoto, PAN, decreto Burden Sharing, Patto dei sindaci	22
	3.2 Panorama energetico della regione Piemonte.....	26
	3.3 Gestione del sistema forestale in Piemonte.....	30
	3.4 Analisi del territorio del Verbano Cusio Ossola.....	32
	3.5 Bando regione Piemonte per lo sviluppo sostenibile delle comunità montane	38
	3.5.1 Bando regione Piemonte: Filiera bosco energia.....	38
	3.6 Schemi di certificazione	40
	3.7 Schemi di incentivazione.....	46
4	Nascita del progetto	48
	4.1 Processo di partecipazione al bando regionale.....	48
	4.1.1 Manifestazione d'interesse.....	48
	4.1.2 Contratto di servizio energetico.....	54
	4.1.3 La rete d'impresa	55
	4.1.4 Contratto di fornitura di prodotti e servizi.....	56
	4.1.5 Progetto operativo preliminare	58
	4.1.6 Schema di processo operativo preliminare.....	59
	4.1.7 Layout dell'impianto	59
	4.1.8 Business Plan.....	62
	4.1.9 Piano Forestale Aziendale: Mottarone	67
	4.1.10 Esito del bando.....	70
5	Modello di Business ESCo	71

5.1	Identificazione dei processi chiave	72
5.1.1	Livelli di servizio	73
5.2	Analisi delle alternative tecnologiche	75
5.2.1	Profilo di consumo termico locale	79
5.2.2	Ciclo cogenerativo basato su turbina a vapore	81
5.2.3	Ciclo a fluido organico	86
5.2.4	Ciclo combinato acqua / fluido organico.....	91
5.2.5	Confronto delle soluzioni analizzate	95
5.3	Studio di fattibilità	96
5.3.1	Impianto CHP a vapor d'acqua	97
5.3.2	Centrale termica.....	116
6	Analisi d'impatto.....	123
6.1	Metodologia	123
6.2	Strumento di Valutazione dell'Impatto (IAT).....	123
6.3	Analisi d'impatto: Risultati ottenuti.....	125
6.4	Analisi d'impatto: Conclusioni	127
6.5	Analisi delle emissioni di inquinanti.....	127
6.5.1	Calcolo delle tonnellate di CO2 evitate annualmente	131
7	Conclusioni	134
8	Bibliografia	136

Indice delle figure

Figura 1-1: Schema rappresentativo di una filiera Bosco – Legno - Energia	15
Figura 2-1: Burden Sharing, obiettivi delle singole regioni italiane	24
Figura 2-2: Distribuzione regionale dell'incidenza della produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile.....	26
Figura 2-3: Tipi di fonti FER installate nella regione Piemonte	27
Figura 2-4: Distribuzione di impianti a biomassa in Piemonte.....	28
Figura 2-5: Distribuzione di ettari globali forestali pro capite in Piemonte	29
Figura 2-6: Distribuzione di ettari globali forestali specifici in Piemonte.....	29
Figura 2-7: Distribuzione di ettari globali forestali in Piemonte	29
Figura 2-8: Aree forestali del Piemonte	34
Figura 3-1: Collocazione geografica	50
Figura 3-2: Inquadramento cartografico dell'area scelta per l'intervento.....	51
Figura 3-3: Foto ante intervento.....	52
Figura 3-4: Cronoprogramma	54
Figura 3-5: Distanza are di approvvigionamento.....	66
Figura 3-6: Collocazione geografia area del Mottarone	67
Figura 4-1: La ESCo e i portatori d'interesse	72
Figura 4-2: Stadi per costruire un modello di Business ESCo nel settore delle biomasse.....	73
Figura 4-3: Processi per il recupero energetico di gas combustibili	78
Figura 4-4: Schema di processo impianto CHP a vapor d'acqua	84
Figura 4-5: Rendering impianto ORC – Fornitore: Zuccato.....	87
Figura 4-6: Schema di processo impianto di produzione combinata di energia termica e calore con turbina ORC da 175 kW	88
Figura 4-7: Curva di Andrews per ciclo a vapore saturo ideale ORC e H2O.....	91
Figura 4-8: Schema di processo Ciclo combinato H2O / ORC	92
Figura 4-9: Output del programma di simulazione IAT per la sola produzione di calore	125
Figura 4-10: Output del programma IAT per l'impianto CHP proposto.....	126

Indice delle tabelle

Tabella 3-1: Caratteristiche delle aree territoriali del VCO	33
Tabella 3-2: Nome delle aree boschive Piemonte	34
Tabella 3-3: Massa prelevabile a scopo energetico nel VCO per tipologia di intervento.....	35
Tabella 3-4: Quantitativi e finalità dei prodotti distinti per categoria forestale ..	36
Tabella 5-1: Costi di approvvigionamento della biomassa fresca.....	74
Tabella 5-2: Caratteristiche dei flussi energetici prodotti da impianto a vapore di H2O	81
Tabella 5-3: Caratteristiche tecniche turbina ORC 175 kW - Fornitore: Zuccato	87
Tabella 5-4: Confronto delle soluzioni analizzate	95
Tabella 5-5: Caratteristiche impianto CHP a vapore d'acqua	98
Tabella 5-6: Costi d'impianto CHP ad acqua	98
Tabella 5-7: Caratteristiche combustibile	99
Tabella 5-8: Costi combustibile	99
Tabella 5-9: Ricavi vendita energia termica	100
Tabella 5-10: Ricavi vendita energia elettrica	100
Tabella 5-11: Totale ricavi della produzione	100
Tabella 5-12: Costi di gestione	101
Tabella 5-13: Costo di investimento	102
Tabella 5-14: Valutazione dell'investimento.....	104
Tabella 5-15: Variabili di sensibilità impianto a vapore d'acqua.....	105
Tabella 5-16: Intervallo di variazione delle variabili di sensibilità.....	106
Tabella 5-17: Matrici di sensibilità prezzo biomassa – PCI per tre impianti con rendimento elettrico differente	111
Tabella 5-18: Matrice di sensibilità rendimento e costi di investimento	112
Tabella 5-19: Scenari di rischio e relativi impatti economici	114
Tabella 5-20: Potenza ed efficienza della caldaia	116
Tabella 5-21: Costi caldaia.....	116
Tabella 5-22: Ricavi generati dalla vendita del calore.....	117
Tabella 5-23: Costi gestione caldaia	118
Tabella 5-24: Parametri di redditività caldaia.....	118
Tabella 5-25: Variabili di sensibilità caldaia e variazione rispetto al valore preso come riferimento	119

Tabella 5-26: Matrice di sensitività del prezzo al variare del potere calorifico del combustibile	122
Tabella 6-1: Confronto dei parametri d'impatto della centrale termica.....	125
Tabella 6-2: Confronto dei parametri d'impatto della centrale CHP	126
Tabella 6-3: Limiti di emissioni imposti dalle normative	130
Tabella 6-4: Calcolo delle emissioni di CO2 evitate annualmente	131
Tabella 6-5: Calcolo del numero di carichi mensili per l'approvvigionamento dell'impianto CHP	132

Indice dei grafici

Grafico 3.1: Superficie espressa in km ² delle aree forestali presenti nel VCO ..	33
Grafico 3.2: Finalità dei prodotti forestali del VCO	37
Grafico 5.1: Profilo di domanda termica annuale de centro sportivo	80
Grafico 5.2: Profilo di domanda termica annuale condominio	80
Grafico 5.3: Impianto CHP a vapor d'acqua: Profilo di produzione di energia elettrica e calore	85
Grafico 5.4: Impianto con turbina ORC: Profilo di produzione di energia elettrica e calore	89
Grafico 5.5: Impianto con turbina ORC: Potenza elettrica prodotta e potenza termica richiesta	89
Grafico 5.6: Impianto combinato: Relazione tra calore reso disponibile alleutenze e potenza elettrica prodotta da ORC	93
Grafico 5.7: Impianto combinato: Potenze prodotte	94
Grafico 5.8: Impianto combinato: Profili elettrici prodotti annualmente	94
Grafico 5.9: Quota annuale degli oneri finanziari	102
Grafico 5.10: Andamento dei flussi di cassa netti attualizzati	103
Grafico 5.11: Analisi di sensitività, NPV	106
Grafico 5.12: Analisi di sensitività, PBT	107
Grafico 5.13: Analisi di sensitività, PI	108
Grafico 5.14: Consumo annuo di cippato	109
Grafico 5.15: Rappresentazione radar dell'impatto economico riguardo gli scenari di rischio	114
Grafico 5.16: Analisi sensitività centrale termica - NPV	119
Grafico 5.17: Analisi sensitività centrale termica - PBT	120
Grafico 5.18: Analisi sensitività centrale termica - PI	121
Grafico 6.1: Profilo di consumo mensile di cippato, centrale CHP	132

1 Introduzione

Le biomasse raggruppano tutti quei materiali di origine vegetale che non hanno subito processi di fossilizzazione. Queste sono infatti definite *carbon free* in quanto emettono in atmosfera il quantitativo di carbonio assorbito durante il loro processo di crescita.

Le biomasse sono strettamente legate al territorio di origine, proprio come ad esempio l'energia solare o quella eolica. Il territorio oggetto di questo studio, localizzato 90 km a nord di Milano fra il Lago Maggiore ed il lago d'Orta è costituito per il 55% da superficie forestale così che l'interesse posto riguarda la valorizzazione energetica dei residui legnosi originati dalla pulizia dei boschi.

La risorsa legnosa da sempre utilizzata per la produzione di energia, ha visto sin dagli inizi del '900 un progressivo decadimento di utilizzo a favore di combustibili fossili quali gasolio, carbone o gas naturale.

A causa delle innumerevoli problematiche legate all'approvvigionamento di risorse fossili, i paesi sviluppati hanno deciso impegnarsi secondo obiettivi comuni per il raggiungimento di definiti livelli di indipendenza energetica rimettendo così in gioco il potenziale ricorso a risorse energetiche locali quali la valorizzazione della biomassa legnosa attraverso tecnologie innovative, efficienti e sostenibili

In questo studio si sono quindi analizzati tutti i processi e le tecnologie necessarie per dare vita ad un sistema integrato locale capace di valorizzare le proprie risorse nel rispetto dei criteri di compatibilità ambientale e costituire così una filiera bosco – legno-energia evidenziando in modo specifico le alternative tecniche identificate, le redditività economiche ottenibili e considerando i rischi per i potenziali investitori.

2 L'opportunità di mercato

2.1 Filiera bosco energia: l'energia come vettore di sviluppo dei comuni montani

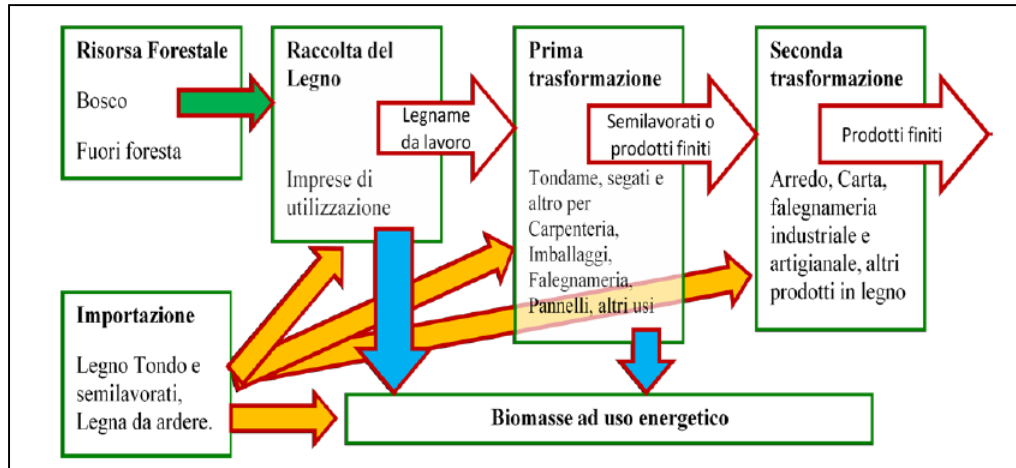
I boschi italiani hanno storicamente rappresentato una tra le principali componenti economiche del nostro Paese. Dalla metà del secolo scorso la loro storica funzione produttiva si è progressivamente ridotta.

Infatti le comunità montane stanno risentendo sempre di più la loro posizione marginale e l'avvento della crisi economica; il contesto odierno politico, sociale ed economico privilegia i grandi centri urbani con la forte conseguenza di un'emigrazione verso le città.

L'opportunità di mercato è giustificata dalla presenza di un elevato quantitativo di risorse con le quali è possibile creare valore. Il valore ricavabile da questi territori è facilmente visualizzabile dalla collocazione geografica prevalentemente boschiva. Il bosco diventa quindi fonte di reddito per le comunità attraverso la sua gestione razionale e sostenibile.

La natura boschiva offre innumerevoli risorse sfruttabili dall'uomo. Il vettore energetico può nascere sia dal recupero degli scarti derivanti dalla pulizia e gestione attiva delle superfici forestali, sia dal recupero dei residui della prima trasformazione del legno.

Figura 2-1: Schema rappresentativo di una filiera Bosco – Legno - Energia



Sviluppando il settore locale dell'industria del legno si contribuisce allo sviluppo agricolo e forestale, grazie alla crescente attenzione per l'ambiente e per gli spazi rurali, al miglioramento della qualità della vita e alla diversificazione dell'economia.

Implementando piani per la gestione forestale vengono generati prodotti che possono essere valorizzati economicamente. Ovviamente il processo di valorizzazione economica dipende dalla qualità del materiale legnoso estratto; materiali di elevata qualità verranno utilizzati come legname da lavoro nelle falegnameria e segherie, mentre la restante parte può essere convertita in energia.

Come mostrato dall'immagine sopra, i componenti della filiera bosco-legno-energia si possono visualizzare dagli innumerevoli prodotti ed attività che possono nascere dalla valorizzazione delle risorse forestali.

Quindi il recupero di scarti vegetali forestali permette alle realtà montane di raggiungere maggior autonomia energetica, oltre alla possibilità di creare reddito.

Ma questa fonte di reddito da dove deriva e a chi è rivolta? La fonte di reddito è in primis rivolta a coloro che decidono di entrare a far parte di questo mercato.

Imprese taglia boschi, personale addetto alla pianificazione forestale, società per i servizi energetici, i fornitori di tecnologia e gli utenti finali sono tutti partecipanti alla filiera con la conseguente possibilità di avere un ritorno economico.

Il ritorno economico si genera dalla vendita di energia, questa crea quindi un flusso monetario che pagherà i diversi fornitori di prodotti e servizi sopra citati, nonché un risparmio in bolletta per gli utenti finali.

Identificando quindi nella crescita economica lo sviluppo umano, il mercato legno-energia disponibile nelle realtà montane risulta di notevole importanza diventando un'opportunità per incrementare notevolmente il benessere collettivo.

2.2 Identificazione unità dei consumi locali

L'identità bosco energia si può verificare all'interno di una realtà dove è presente un consumo energetico. Condizione necessaria per sfruttare questo mercato è quella di poter consumare in loco l'energia prodotta dalla biomassa forestale. La domanda che sorge quindi spontanea è: il consumo di energia quale forma deve avere?

Parlando di energia elettrica, se nel luogo dove avviene la produzione di potenza è presente la rete elettrica nazionale allora risulta ininfluente che l'utenza sia locale oppure no. Basta un collegamento alla rete elettrica ed immettere così l'energia prodotta.

Parlando invece di energia termica, il vincolo economico-fisico sul trasporto del calore impone l'esigenza di collocare la produzione nei pressi del consumo.

Pertanto il dimensionamento della filiera in esame si deve basare sulla quantità di energia termica richiesta localmente. Il sistema di produzione di energia deve essere collocato in un punto strategico dove il consumo di energia termica risulta quindi rilevante.

2.3 Opportunità di fornitura di energia basata su una fonte energetica rinnovabile

L'incidenza che le energie rinnovabili stanno avendo nella nostra società è di notevole importanza. Ma cosa ancora più rilevante è la possibilità di costituire sistemi indipendenti a livello energetico. L'autosostenibilità consente al sistema oggetto di questo studio di creare una rete interna isolata, intelligente, gestita in prima persona dai partecipanti alla filiera.

Risulta così sempre più evidente la non convenienza di estrarre energia da giacimenti fossili (gas, petrolio e carbone) presenti a migliaia di km di distanza e sempre più verosimile la possibilità di sfruttare energie disponibili nel proprio territorio, spesso anche a costo zero.

Ovviamente la risorsa energetica locale non potrà sostituire completamente quella fossile poiché la biomassa non sempre risulta reperibile. Inoltre il dimensionamento efficiente di caldaie o sistemi CHP sono sempre basati sulla potenza termica media richiesta. La presenza di caldaie ausiliarie alimentate da combustibili convenzionali è quindi essenziale per l'erogazione continua ed affidabile del servizio energetico. La conseguenza è comunque un rilevante aumento dell'efficienza energetica.

2.4 Gestione attiva dei boschi

Per poter sfruttare l'opportunità di mercato evidenziata è necessario applicare una gestione attiva delle superfici forestali.

È necessario fare riferimento ad una “selvicoltura attiva, partecipata e sostenuta” che trovi fondamento su di una programmazione in funzione sia delle caratteristiche stazionali e strutturali dei popolamenti sia degli aspetti socio-economici del territorio.

E' augurabile ed incentivante il pensiero di una gestione finalizzata ad implementare la multifunzionalità dei popolamenti il che indica una selvicoltura

- i. Sostenibile ecologicamente
- ii. Applicabile in popolamenti in buona efficienza funzionale e soddisfacente il suo stato fitosanitario

La manutenzione e gestione attiva del bosco oltre ad essere necessarie per la salute dell'ambiente e delle piante può ricondurre a benefici di carattere sociale, ambientale e di ricettività turistica.

Prendiamo in esame le singole prospettive.

- Mantenere il bosco in uno stato sano: Applicando corrette attività di taglio alle superfici boschive è possibile garantire maggiore fertilità e stabilità alla vita delle piante. Oltre a questo è possibile conservare e migliorare la qualità e la funzione del bosco.
- Viabilità: Grazie alla gestione attiva è possibile creare e mantenere le vie taglia fuoco, i sentieri turistici e le segnalazioni per la viabilità
- Presidio del territorio: Risulta anche possibile evitare abusi quali scarichi di rifiuti o prelievi illeciti. In generale quindi vi è un aumento della sicurezza sul territorio.
- Immagine ambientale: Il bosco risulta esteticamente più sano
- Generazione di prodotti e sottoprodotti legnosi con valenza economica: Grazie alle attività finalizzate alla gestione attiva nascono prodotti e sottoprodotti di notevole valenza economica

La corretta gestione è una condizione necessaria allo sviluppo di una filiera del legno; infatti una delle maggiori criticità che ostacolano lo sviluppo di filiere bosco-energia è la concezione politico-culturale secondo cui le risorse forestali costituiscono unicamente una riserva economico-ambientale da conservare più che da gestire - anche a fini produttivi- secondo il concetto di “gestione forestale sostenibile”.

Inoltre, l'attuale apparato normativo, base di riferimento per la gestione forestale, nato nel 1923 su concrete esigenze di conservazione e tutela del patrimonio forestale, non è stato adeguatamente aggiornato alle attuali e reali esigenze del territorio.

Infatti oggi è necessario un adeguamento normativo al fine modernizzare lo sviluppo del settore garantendo la tutela e gestione del territorio, con particolare riferimento agli impegni ambientali internazionali e comunitari sottoscritti dal nostro Paese in tema di cambiamento climatico e salvaguardia della biodiversità.

2.5 Nuova occupazione per il territorio

La Filiera italiana presenta numerose opportunità di crescita specialmente a monte della stessa, per imprese singole e associate, che svolgono attività di selvicoltura assicurando, oltre alla produzione di legno, la gestione e la manutenzione continua per valorizzare a livello produttivo attraverso una gestione forestale sostenibile.

La costituzione di uno specifico Tavolo per la Filiera Legno nasce dall'esigenza di aumentare la competitività del settore nel suo insieme, attraverso interventi specifici che possano migliorare l'efficienza e il coordinamento di tutta la Filiera, la qualità delle produzioni forestali e il ruolo svolto da proprietari e gestori forestali nell'attuazione di una Gestione Forestale Sostenibile e attiva del patrimonio forestale nazionale.

Attualmente si stima che nelle attività connesse alla filiera del legno italiana (dalla produzione, alla trasformazione industriale in prodotti semilavorati e finiti, fino alla commercializzazione - mobili, impieghi strutturali, carta, cartone, pasta di cellulosa e legno per fini energetici), siano coinvolte circa 80.000 imprese, per oltre 500.000 unità lavorative.

La filiera produttiva nazionale risulta però dipendente dall'estero per l'approvvigionamento della materia prima e più di 2/3 del suo fabbisogno viene coperto dalle importazioni.

Nonostante che più di un terzo della superficie nazionale sia ricoperta da boschi e che nell'ultimo secolo si sia assistito ad un aumento della superficie e della provvigione legnosa, non si è avuto un adeguato incremento della gestione, delle utilizzazioni e degli investimenti produttivi.

Infatti, il prelievo legnoso nazionale nell'ultimo decennio, di poco superiore agli 8 milioni di m³ annui (dati ISTAT), è equivalente a poco meno del 25% dell'incremento annuo, contro il 65% della media europea.

Oltretutto, importanti opportunità per la crescita e lo sviluppo socio-economico dei territori montani e rurali sono offerte dal riconosciuto ruolo "multifunzionale" svolto dalle superfici boschive, che si concretizza nella fornitura di tutta una serie di servizi e benefici ambientali e sociali irrinunciabili, grazie anche alle diversificate caratteristiche ecologiche e di pregio ambientale uniche nel panorama forestale europeo.

L'uso della biomassa e l'ottimizzazione dei processi di lavorazione del legno, possono creare nuove possibilità di lavoro certo e duraturo a lungo termine e mantenere i posti di lavoro esistenti.

Numerose opportunità restano inespresse in queste aree in quanto sono molte le potenzialità non sfruttate che includono tanto l'impiego di manodopera altamente specializzata quanto lavoratori con un relativamente basso livello di formazione.

Le iniziative per la gestione del bosco portano alla nascita di opportunità di impiego di personale e sviluppo di nuove imprese a vari livelli. Le imprese ed i professionisti coinvolti saranno:

- Imprese, singole e associate, che svolgono attività di selvicoltura;
- Dottori forestali

- Società di trasporto
- Fornitori di tecnologia
- Servizi finanziari
- Servizi assicurativi
- Servizi energetici

In questo contesto è sempre più rilevante il ruolo della ESCO che, in quanto soggetto titolato alla fornitura di servizi a redditività garantita, diventa un interlocutore privilegiato sia per le amministrazioni pubbliche -Patto dei Sindaci- sia che per i soggetti proponenti servizi a livello territoriale.

Questi trovano collocazione all'interno di nuove formule contrattuali che grazie alla redditività garantita prevista diventano facilmente finanziabili portando così linfa vitale allo sviluppo economico del territorio.

3 Il contesto locale di riferimento

3.1 Protocollo di Kyoto, PAN, decreto Burden Sharing, Patto dei sindaci

Quello che ha portato a porre interesse nella produzione di energia da biomassa deriva dal fatto che questa viene classificata come fonte energetica rinnovabile.

Infatti la valorizzazione energetica della biomassa emette una quantità di CO₂ pari a quella assorbita dalla pianta durante la sua crescita, al netto delle emissioni derivanti la conversione in biocombustibile.

Alcuni dei motivi per cui risulta corretto dare valore alle FER sono:

- I combustibili fossili sono risorse limitate: Questo porta al continuo innalzamento dei loro prezzi a causa della crescita esponenziale della domanda di energia primaria.
- Instabilità politica dei paesi dove sono presenti i maggiori giacimenti, che porta all'insorgere di guerre, causa prima la necessità di accaparramento delle terre e delle risorse.
- Forte impatto ambientale legato all'estrazione, trasporto e stoccaggio dei combustibili fossili
- Limitare il cambiamento climatico: Teorie oramai certe hanno dimostrato il forte legame tra l'innalzamento delle temperature e le emissioni di gas a effetto serra di origine antropica
- Incremento dell'indipendenza energetica: Aspetto di notevole importanza per i motivi sopra esposti.

Per questi motivi sono nati diversi movimenti, sia politici che culturali, che hanno dato un forte impulso alla crescita del settore inerente alle fonti energetiche rinnovabili.

In primis il protocollo di Kyoto, che ha dettato delle linee guida per mitigare il cambiamento climatico. Sono stati quindi imposti degli obiettivi per gli stati membri quali il Pacchetto clima energia del 20-20-20. La strategia ha stabilito per l'Unione Europea tre ambiziosi obiettivi da raggiungere entro il 2020:

- Ridurre i gas ad effetto serra del 20% (o del 30% in caso di accordo internazionale);
- Ridurre i consumi energetici del 20% aumentando l'efficienza energetica;
- Soddisfare il 20% del fabbisogno energetico europeo con le energie rinnovabili.

I vincoli del pacchetto clima energia sono stati ripartiti tra le diverse nazioni grazie al decreto *Burden Sharing*, in particolare l'Italia ha l'obbligo di raggiungere il 17% dei consumi finali lordi prodotti da FER rispetto ai consumi finali totali.

Alle FER viene riconosciuto un ruolo centrale per raggiungere il 20% dei consumi finali lordi al 2020 (rispetto all'obiettivo del 17%), pari a circa 25 Mtep di energia finale l'anno, in particolare gli obiettivi sono:

- 36-38% dei consumi finali nel settore elettrico (26% nel PAN),
- 20% nel settore termico (17% nel PAN),
- 10% nei trasporti (conferma target PAN).

Figura 3-1: BurdenSharing, obiettivi delle singole regioni italiane

Regioni	CFL [ktep]	Consumi FER [ktep]	Obiettivo regionale al 2020 [%]
Abruzzo	2.762	528	19,1
Basilicata	1.126	372	33,1
Calabria	2.458	666	27,1
Campania	6.634	1.111	16,7
Emilia Romagna	13.841	1.229	8,9
Friuli V. Giulia	3.487	442	12,7
Lazio	9.992	1.193	11,9
Liguria	2.927	412	14,1
Lombardia	25.810	2.905	11,3
Marche	3.513	540	15,4
Molise	628	220	35,0
Piemonte	11.436	1.723	15,1
Puglia	9.531	1.357	14,2
Sardegna	3.746	667	17,8
Sicilia	7.551	1.202	15,9
TAA - Bolzano	1.323	482	36,5
TAA-Trento	1.379	490	35,5
Toscana	9.405	1.555	16,5
Umbria	2.593	355	13,7
Valle d'Aosta	550	287	52,1
Veneto	12.349	1.274	10,3
Italia	133.042	19.010*	14,3

*Include 50 ktep di biogas/biometano previsti dal PAN nel settore trasporti

Sono stati così imposti obiettivi regionali; In particolare il Piemonte deve raggiungere il 15,1 % di produzione di energia da FER rispetto al consumo finale totale di energia.

Per raggiungere gli obiettivi sopra esposti sono state promosse iniziative attraverso diverse organizzazioni quali:

1. Il Piano di Azione Nazionale, previsto dalla direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 aprile 2009, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili. E' il documento programmatico che fornisce indicazioni dettagliate sulle azioni da porre in atto per il raggiungimento degli obiettivi sopra esposti.

2. Strategia Energetica Nazionale che contiene le linee direttrici della politica energetica italiana dei prossimi decenni puntando su allineare i costi energetici ai livelli europei, ridurre le emissioni, rafforzare l'indipendenza energetica e spingere la crescita economica
3. Il Patto dei sindaci: Il principale movimento europeo che vede coinvolte le autorità locali e regionali che si impegnano volontariamente ad aumentare l'efficienza energetica e l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili nei loro territori. Attraverso il loro impegno, i firmatari del Patto intendono raggiungere e superare l'obiettivo europeo di riduzione del 20% delle emissioni di anidride carbonica entro il 2020.
4. Strumenti di incentivazione per la produzione di energia elettrica da FER, per la promozione dell'efficienza energetica e strumenti per controllare le emissioni di inquinanti e gas serra (Emission Trading System)

La Filiera Bosco Energia risulta quindi determinante per raggiungere gli obiettivi imposti grazie al duplice ruolo offerto dalla gestione attiva delle superfici forestali

Infatti il taglio del bosco sostenibile, permette sia la produzione di biocombustibili che di risorse legnose trasformabili in prodotti finiti o semilavorati, sequestrando al loro interno anidride carbonica per un periodo pari al ciclo di vita del prodotto.

3.2 Panorama energetico della regione Piemonte

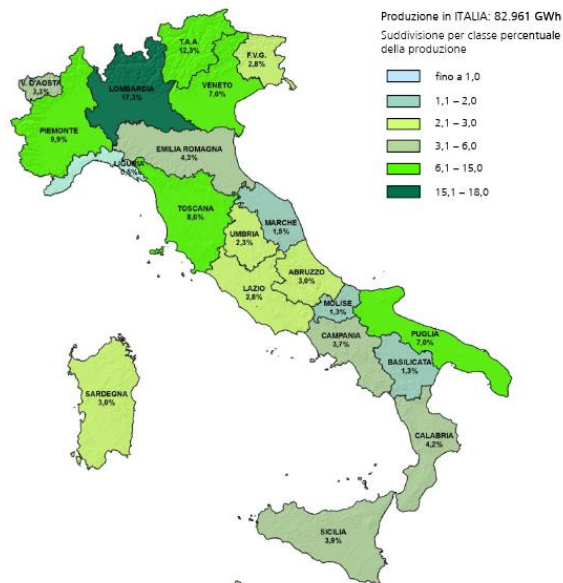


Figura 3-2: Distribuzione regionale dell'incidenza della produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile

Le immagini riportate mostrano un quadro di riferimento per quanto riguarda la produzione di energia da fonte rinnovabile, prima in Italia e poi in Piemonte relative alle diverse fonti.

Se si considerano i consumi finali lordi, il contributo delle FER al bilancio energetico regionale risulta inferiore al 10%.

Figura 3-3: Tipi di fonti FER installate nella regione Piemonte

PROVINCIA	MW INSTALLATI FOTOVOLTAICO (12/09/2012)	MW INSTALLATI ALTRE FER (01/01/2011)						
		TOTALE	BIOQUIDI	BIOGAS	GAS DA DISCARICA	EOLICO	IDRICA	BIOMASSE SOLIDE
Alessandria	220,9	37,7	0,7	12	2,25	-	18,6	4,1
Asti	67,3	2,8		0,1	0,3	-	0,1	1,3
Biella	72,1	25,7	1,1	1	0,6	-	18,3	3,3
Cuneo	483	149,2	2,7	11,5	1	1,3	115	8,1
Novara	75,5	26,4	3,8	0,4	1,5	-	15,2	-
Torino	304,1	392,4	22	1	0,6	0,1	312	23,8
VCO	11,7	166	1	-	-	-	164,7	0,2
Vercelli	71,3	35,6	2,3	1,4	-	-	18,1	12,1

Fonte: elaborazione Ires su dati GSE

Tuttavia, se si considera esclusivamente il settore elettrico (cioè l'ambito maggiormente dinamico delle FER in quanto è sull'elettricità che si concentrano i principali incentivi pubblici) le FER risultano incidere per il 26% (dati GSE aggiornati al 2010), in netto incremento rispetto al 2008, in cui tale contributo si assestava al 21%.

Il principale contributo alla quota di fonti rinnovabili è offerta dall'idroelettrico, che soddisfa il 91,8% della produzione elettrica da FER, quota ereditata dal gran numero di invasi e impianti idroelettrici storicamente attivi sulle Alpi occidentali. Seguono le biomasse, con il 6,2%, il solare con l'1,7% e l'eolico, presente nel bilancio regionale solo dal 2009, con lo 0,4%. Considerando gli obiettivi ancora da raggiungere, è utile verificare il potenziale disponibile nella regione Piemonte.

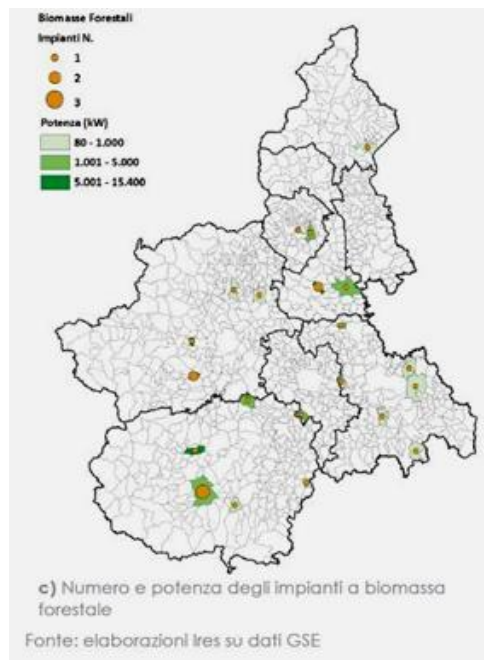


Figura 3-4: Distribuzione di impianti a biomassa in Piemonte

Grazie ad uno studio promosso dal IRES (Istituto di Ricerche Economico Sociale del Piemonte), è stato possibile avere maggiori informazioni sulla *biocapacità* presente nella regione. Con il termine di *biocapacità* si indica l'insieme dei servizi ecologici erogati dagli ecosistemi locali, stimata attraverso la quantificazione della superficie dei terreni ecologicamente produttivi che sono presenti all'interno della regione in esame. Si misura in ettari globali (gha) e rappresenta quindi l'estensione totale di territorio produttivo, ossia la capacità potenziale di erogazione di servizi naturali a partire dagli ecosistemi locali.

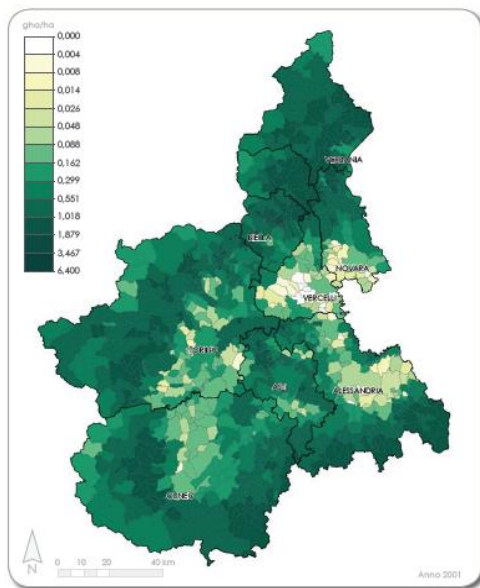
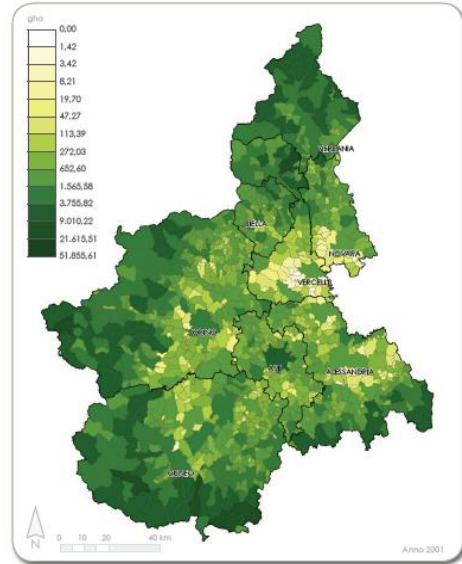
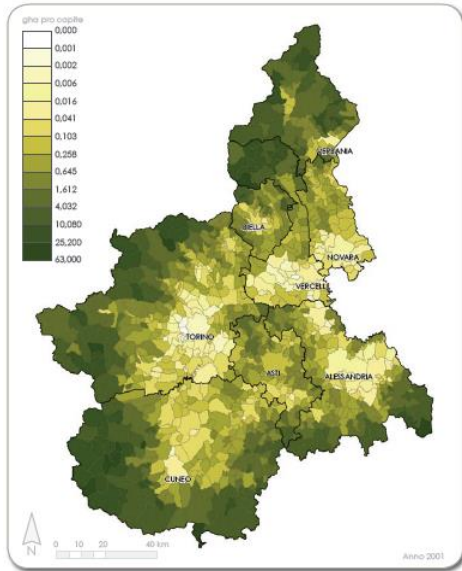


Figura 3-7: Distribuzione di ettari globali forestali pro capite in Piemonte

Figura 3-6: Distribuzione di ettari globali forestali specifici in Piemonte

Figura 3-5: Distribuzione di ettari globali forestali in Piemonte

A partire dalle mappe sopra esposte è possibile percepire l'elevata possibilità di estrarre servizi e valori a partire dalle superfici forestali presenti nella regione Piemonte, in particolare nel VCO.

L'elevata incidenza di sistemi ecologicamente predisposti ad offrire risorse, unito alla bassissima densità di impianti a biomassa installati nella provincia del VCO, può portare a dedurre un potenziale, che se sfruttato in maniera sostenibile, può produrre risultati estremamente positivi per l'economia ed il territorio nel suo insieme.

3.3 Gestione del sistema forestale in Piemonte

In questa sezione si descrive lo scenario relativo alla regione Piemonte la cui pianificazione forestale viene supportata dalla società IPLA S.p.a(Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente) che ricopre il ruolo di struttura tecnica di riferimento per lo sviluppo di azioni innovative e per il supporto alle politiche nel campo forestale, ambientale e in quello delle risorse energetiche.

IL modello di gestione oggi applicato si basa quindi su metodologie e Norme Tecniche messe a punto dall'IPLA.

Il modello di gestione si articola su tre livelli:

- Piano Forestale Regionale (PFR)
- Piano Forestale Territoriale (PFT)
- Piano Forestale Aziendale (PFA)

Tale modello va a sostituire integralmente quello precedentemente utilizzato (Piano di assestamento forestale), che ha contribuito al consolidamento dei territori e ha manifestato nel corso del tempo una progressiva inadeguatezza e costi eccessivi di attuazione.

Vediamo in dettaglio i livelli di Pianificazione e gestione forestale.

- **Regionale:** Il primo livello regionale ha la finalità di fornire tutti gli elementi utili alla programmazione strategica delle azioni regionali in materia di politica forestale e di predisporre gli adeguati strumenti di monitoraggio per assicurare la corretta gestione.
- **Territoriale:** Il piano forestale territoriale è finalizzato alla valorizzazione polifunzionale delle foreste e dei pascoli all'interno delle singole aree forestali individuate dal piano forestale regionale; determina le destinazioni d'uso delle superfici boschive e le relative forme di governo e trattamento, nonché le priorità d'intervento per i boschi e i pascoli. Il PFT è sottoposto ad aggiornamento almeno ogni quindici anni.
- **Aziendale:** Il piano forestale aziendale rappresenta lo strumento di programmazione e gestione degli interventi nelle proprietà forestali e delle opere connesse. Il PFA viene predisposto dalla proprietà o dal soggetto gestore, sulla base di indicazioni tecnico-metodologiche stabilite in conformità ai piani forestali territoriali per le aree di riferimento. La Giunta regionale, previa analisi e verifica della sua conformità alle prescrizioni di legge provvederà all'approvazione fornendo le autorizzazioni agli interventi previsti nel PFA stesso con validità di 15 anni.
- **Sistema Informativo forestale regionale(SIFOR):** Al fine di consentire un agevole accesso a tutte le informazioni rilevanti la gestione forestale la regione Piemonte ha predisposto il Sistema Informativo Forestale Regionale. Questo sistema consente di ottenere informazioni quali studi per i Piani Forestali Territoriali, la Tipologia Forestale, i Popolamenti da Seme e la localizzazione delle particelle catastali in ambiti geografici.

Grazie a questo sistema informativo tutti gli attori della filiera, dalla pianificazione strategica all'attuazione operativa, sono perfettamente informati ed in grado di partecipare ai processi di gestione e miglioramento continuo.

3.4 Analisi del territorio del Verbano Cusio Ossola

La provincia del Verbano-Cusio-Ossola (VCO), fa parte del Piemonte, conta di 163.247 abitanti, creata nel 1992 scorporando 77 comuni dalla provincia di Novara, con capoluogo la città di Verbania.

Situata nel nord della regione Piemonte, confina a nord, a ovest e ad est con la Svizzera (Canton Ticino e Vallese), a est con la Lombardia (provincia di Varese), a sud con le province di Novara e di Vercelli.

Il territorio del VCO, oltre ad essere caratterizzato da un'elevata incidenza di territori boschivi, è un luogo ricco di aziende specializzate in diversi settori. A puro titolo di esempio citiamo le industrie del marmo che hanno approvvigionato il Duomo di Milano, o le famose industrie metal meccaniche come Lagostina, Alessi e Bialetti.

Nonostante l'arrivo della crisi economica abbia colpito fortemente l'economia del VCO portando alla chiusura di gruppi quali Lagostina e Bialetti, l'area si è comunque mantenuta attiva e al suo interno sono ancora presenti innumerevoli imprese con la volontà di rinnovarsi a livello sia tecnologico che strategico.

Grazie al sistema informativo regionale forestale è stato possibile ricavare numerose informazioni riguardo la struttura del territorio, tipologia, quantità e finalità del materiale estraibile. Le tabelle seguenti mostrano i dati ricavati dal portale regionale.

Tabella 3-1: Caratteristiche delle aree territoriali del VCO

Area territoriale	Superficie territoriale [ha]	Superficie boschiva [ha]	Incidenza su totale bosco VCO	Densità boschiva
VALLE GRANDE, ALTO VERBANO, VAL CANNOBINA	37.108	24.498	20%	66%
VALLE STRONA, CUSIO, MOTTARONE E ORTA	27.645	17.591	14%	64%
VALLE OSSOLA	32.260	20.634	17%	64%
VALLE ANZASCA	30.164	15.675	13%	52%
VALLE ANTRONA	15.998	6.632	5%	41%
VALLE VIGEZZO	21.222	14.567	12%	69%
VALLI ANTIGORIO E FORMAZZA	61.019	25.197	20%	41%
TOTALE	225.416	124.793	100%	55%

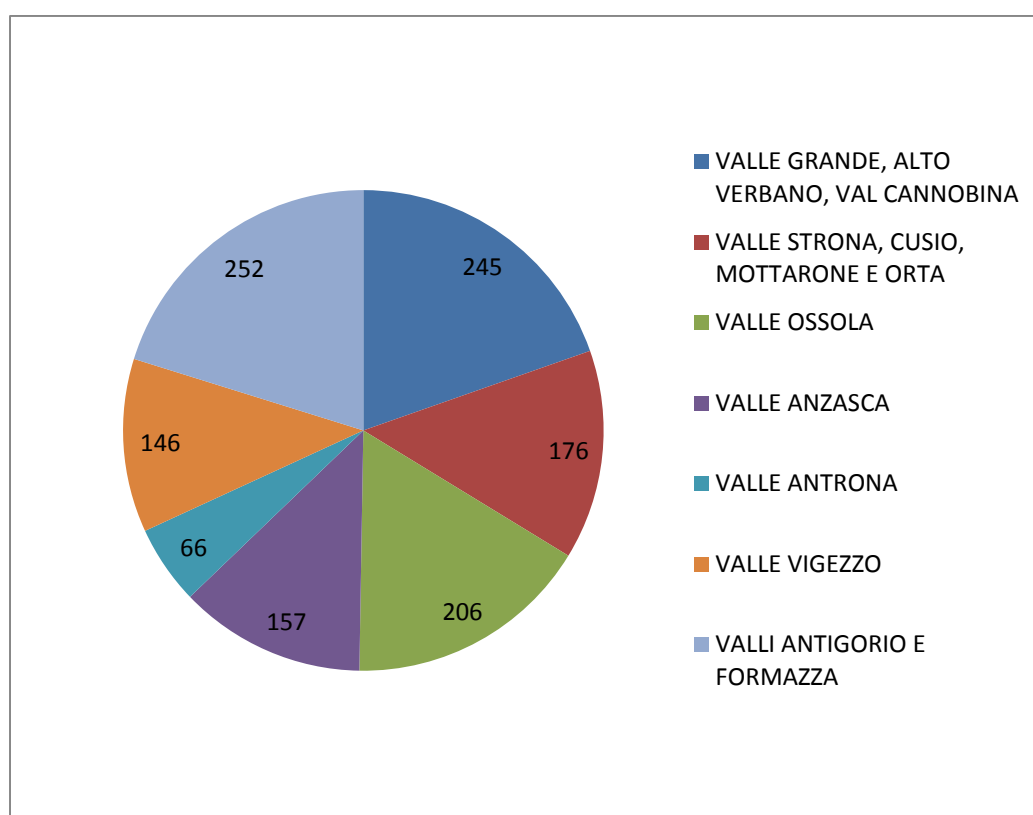


Grafico 3.1: Superficie espressa in km² delle aree forestali presenti nel VCO

Tabella 3-2: Nome delle aree boschive Piemonte

N° cartina	Nome area
23	VALLE GRANDE, ALTO VERBANO, VAL CANNOBINA
21	VALLE STRONA, CUSIO, MOTTARONE E ORTA
19	VALLE OSSOLA
18	VALLE ANZASCA
17	VALLE ANTRONA
16	VALLE VIGEZZO
15	VALLI ANTIGORIO E FORMAZZA

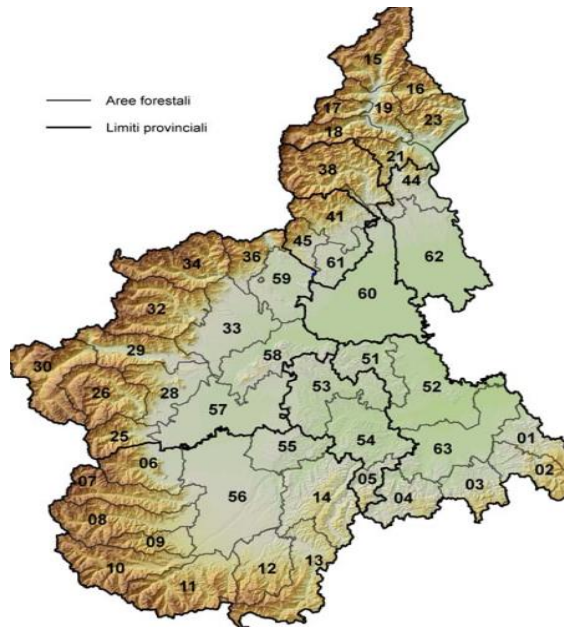


Figura 3-8: Aree forestali del Piemonte

La flora è costituita per il 55% da aree boschive costituite da tipi differenti; ad esempio i castagneti, faggi, querce e robinie sono quelle maggiormente diffuse.

Tabella 3-3: Massa prelevabile a scopo energetico nel VCO per tipologia di intervento

Intervento	Superficie [ha]	Provvigioni [tonn]	Massa Prelevabile [tonn]	Massa a scopo energetico [tonn]
CURE COLTURALI	19.353	3.839.278	612.696	308.950
DIRADAMENTI E CONVERSIONI	236.005	43.544.822	14.568.422	5.501.804
CEDUAZIONE	229.022	38.977.226	28.708.842	12.879.086
TAGLI DI RINNOVAZIONE	60.726	11.899.379	3.562.348	1.256.295
GESTIONE ATTIVA	545.106	98.260.705	47.452.308	19.946.135
EVOLUZIONE CONTROLLATA	230.159	36.181.810	-	-
EVOLUZIONE NATURALE	102.246	13.498.855	-	-
MONITORAGGIO	332.405	49.680.665	-	-
TOTALE	877.511	147.941.370	47.452.308	19.946.135

La valorizzazione economica delle superfici boschive del VCO porta alla generazione di prodotti legnosi con differenti caratteristiche e potenzialità commerciali. La massa disponibile ammonta a 47 milioni di tonnellate la cui ripartizione è evidenziata a fianco di ogni categoria.

- *Assortimento da triturazione (42%)*: Sono rami e tronchi che non hanno la possibilità di essere impiegati in altro modo se non triturati o cippati. Il processo di triturazione può essere a pezzature costante, attraverso una macchina cippatrice, oppure a pezzatura variabile con i trituratori. In quest'ultimo caso, a seconda delle esigenze di mercato, il materiale ottenuto può essere usato nella produzione di compensato oppure essere convertito in energia. Se bruciato in caldaia, è estremamente consigliato l'utilizzo di uno spintore di alimentazione, che rispetto alle coclee, ha il vantaggio di rendere il sistema più semplice, affidabile e poco sensibile alla eventuale eterogeneità del materiale.

- *Legna da ardere (35%)*: I tronchi vengono spaccati a tronchetti e commercializzati con il fine di alimentare camini e stufe domestiche.
- *Palerie e tondami da lavoro (10%-13%)*: Sono il risultato della conversione dei tronchi più sani e resistenti in prodotti commerciabili nel settore edile o per la produzione di prodotti finiti come ad esempio mobili per l'arredamento. Da queste lavorazioni vengono generati scarti come segatura e sfrido di varie dimensioni, anch'essi utilizzabili a scopo energetico.

• *Tabella 3-4: Quantitativi e finalità dei prodotti distinti per categoria forestale*

Categoria Forestale	Assortimenti da triturazione	%	Legna da ardere	%	Paleria	%	Tondame da lavoro	%	Massa prelevabile [tonn]
	[tonn]		[tonn]		[tonn]		[tonn]		
Formazioni igrofile	347.312	75%	83.355	18%	9.262	2%	23.154	5%	463.083
Castagneti	13.069.880	55%	4.752.684	20%	3.564.513	15%	2.376.342	10%	23.763.419
Faggete	1.510.224	25%	3.926.582	65%	0	0%	604.090	10%	6.040.896
Boschi di neoformazione	417.952	31%	736.333	54%	68.179	5%	136.358	10%	1.358.822
Querceti e ostrieti	1.264.580	25%	3.034.991	60%	0	0%	758.748	15%	5.058.319
Robinieti	1.758.595	25%	3.868.910	55%	1.055.157	15%	351.719	5%	7.034.381
Lariceti	270.717	25%	108.287	10%	0	0%	703.864	65%	1.082.868
Abetine e peccete	422.400	41%	195.042	19%	0	0%	410.616	40%	1.028.058
Arbusteti	3.519	75%	469	10%	235	5%	469	10%	4.692
Pinete	880.956	55%	80.727	5	0	0%	645.813	40%	1.607.496

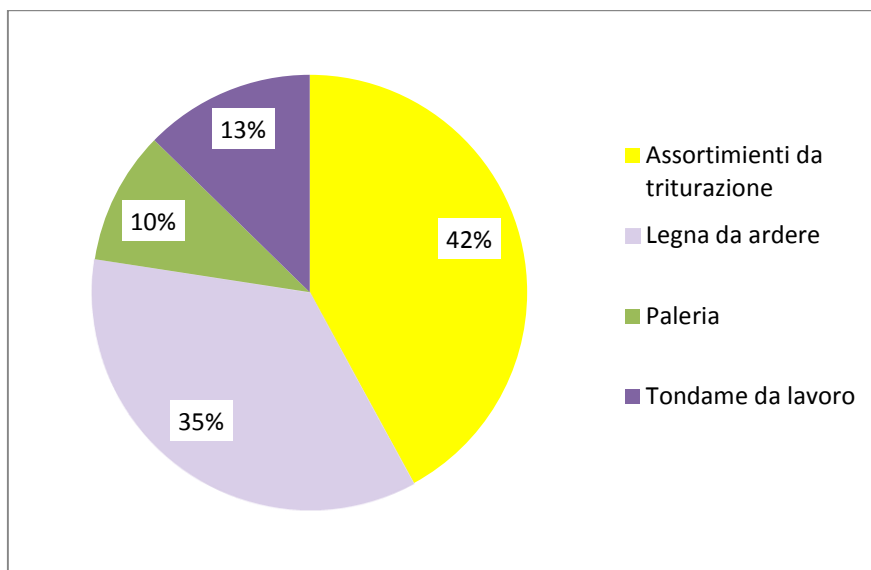


Grafico 3.2: Finalità dei prodotti forestali del VCO

I dati confermano una grande disponibilità di materia prima a scopo energetico. La quantità sfruttabile dipende principalmente dai fattori produttivi disponibili nel territorio e dalla loro organizzazione. I fattori produttivi che andranno ad influenzare direttamente l'attività di filiera per quanto riguarda l'approvvigionamento di materiale si possono elencare come di seguito:

- **Estrazione:** Manodopera diretta disponibile e macchinari appositi all'estrazione del legname (argano fisso o movimentabile, funicolari ecc.)
- **Trasporto e lavorazione:** Mezzi di trasporto per la mobilitazione e lavorazione del materiale (porteur, cippatrice e trituratore)
- **Piattaforma gestionale:** Area avente la finalità di raccolta, stoccaggio di lungo periodo e lavorazione dei residui legnosi forestali

3.5 Bando regione Piemonte per lo sviluppo sostenibile delle comunità montane

Questa tesi di natura tecnico-sperimentale è nata con l'obiettivo di applicare in corso d'opera i risultati conseguiti ad un caso reale.

In base ai dati raccolti e alle interviste effettuate con gli attori presenti nel territorio, si è evidenziata l'effettiva opportunità di valorizzare sottoprodotti generati dalla manutenzione dei boschi.

Ovviamente tali attività presuppongono un'evoluzione culturale degli operatori addetti ai lavori, spesso restii nel creare una rete e fare sistema cooperando. Un problema è legato alla concorrenza di soggetti che, attingendo risorse dalle economie in transizione (esempio l'est Europa), ottengono approvvigionamenti di risorse aventi prezzi molto più bassi rispetto a quelli locali.

Per questo motivo la regione Piemonte in conformità con i piani di sviluppo europei ha predisposto numerose linee d'azione specifiche per le aree interessate la cui conoscenza è di fondamentale importanza per gli operatori economici della zona.

Riportiamo di seguito la descrizione del bando PAR FSC 2007-2013 da prendersi come esempio di opportunità per lo sviluppo di una filiera locale e intorno al quale è stato incentrato lo studio specifico per il territorio del VCO.

3.5.1 Bandoregione Piemonte: Filiera bosco energia

Il bando prevede lo sviluppo di iniziative per realizzare uno o più degli interventi qui di seguito riportati:

- a) Impianti per la produzione di energia termica o in cogenerazione che utilizzano biomasse forestali
- b) Piattaforme per la gestione delle biomasse forestali

- c) Piani di approvvigionamento, piani forestali aziendali e interventi di miglioramento delle aree boschive
- d) Definizione di accordi organizzativi e commerciali per la realizzazione di filiere corte
- e) Acquisto o locazione di terreni

Nel modello di progetto previsto dal bando sono stati introdotti dei requisiti riferiti alla realizzazione degli investimenti, in particolare:

- Impianti di cogenerazione: la potenza elettrica massima non deve superare i 200 kW
- Impianti termici: la potenza nominale (P_n) delle caldaie non deve superare i 500 kW con un rendimento non inferiore all' $87\% + \log P_n$.
- Il progetto proposto verrà valutato attraverso un punteggio compreso tra 0 e 100. I criteri utilizzati per individuare le iniziative finanziabili danno le seguenti priorità.
- Ricadute socio economico locali assegnando un punteggio maggiore per ogni lavoratore assunto a tempo pieno all'interno della filiera (dalla raccolta alla vendita dell'energia)
- La provenienza del materiale che deve rimanere entro un raggio di 25 km dando priorità ad aree forestali aventi un PFA approvato.
- Uso di un contratto di rendimento energetico con finanziamento da parte di terzi. Si dà così priorità all'intervento di una ESCo per garantire la performance dell'impianto.

Il bando in questo tipo di progetti emette così delle linee guida d'azione che i portatori di interesse saranno incentivati a seguire per poter ottenere il finanziamento a fondo perduto emesso dalla regione.

3.6 Schemi di certificazione

L'elemento chiave per il successo di un mercato a biomassa sostenibile è rappresentato dalla fiducia del consumatore negli operatori e nella filiera nel suo complesso, a partire dall'approvvigionamento del combustibile fino all'installazione di sistemi efficienti ed affidabili e alla loro manutenzione e gestione nel tempo.

Senza questa fiducia nell'intera catena, il mercato della biomassa non riuscirà a competere con quello dei combustibili fossili, in cui tutti i passaggi sono ormai definiti e facilmente individuabili.

Vediamo nel dettaglio quali sono gli elementi e i processi critici per arrivare a rendere la filiera bosco energia il più possibile standardizzata ed affidabile:

Requisiti di filiera:

1. Approvvigionamento materia prima
2. Identificazione e raccolta del materiale grezzo
3. Produzione e preparazione del biocombustibile solido
4. Commercializzazione e consegna del biocombustibile solido
5. Ricevimento del biocombustibile solido dal cliente finale
6. Conversione in energia

I processi 1 e 2 sono inerenti alla tracciabilità del materiale, aspetto di notevole importanza se si desidera certificare la filiera in oggetto come "corta".

Il processo 3 è di rilevante per quanto riguarda la qualità del materiale utilizzato dal cliente finale poiché determinante di fattori come il potere calorifico, umidità, contenuto di ceneri e di altri componenti inorganici.

L'ecosistema Filiera Bosco Energia è di per se un processo incentrato sulla collaborazione tra più soggetti specializzati nei singoli sotto processi. Difficilmente vedremo un'unica entità legale operare su tutti i livelli della filiera.

Diventa così rilevante standardizzare i livelli di qualità di prodotto e di servizio al fine di assicurare affidabilità, prevedibilità e continuità al sistema.

Elenchiamo qui di seguito le norme e le relative aree di pertinenza.

3.6.1.1 PEFC: La certificazione per una foresta sostenibile

PEFC è il sistema di certificazione specializzato aree forestali con legname non adatto a scopi industriali. Lo schema fornisce parametri quantitativi e qualitativi da monitorare periodicamente per valutare le performance ambientali e la sostenibilità dei sistemi di gestione forestale.

Lo schema si rivolge sia a famiglie di proprietari forestali che ad aziende operative nel settore della gestione forestale e di commercio di prodotti derivati.

Aree di rilevanza: Questo schema di vocazione globale copre sia gli aspetti inerenti alla gestione forestale che quelli relativi al prodotto generato. In particolare le aree rilevanti sono:

- Criteri di conservazione della foresta come habitat per animali e piante,
 - Criteri di mantenimento della funzione protettiva delle foreste nei confronti dell'acqua, del terreno e del clima,
 - Criteri di tutela la biodiversità degli ecosistemi forestali,
 - Criteri di verifica l'origine delle materie prime legnose,
 - Criteri di taglio delle piante rispettando il naturale ritmo di crescita della foresta,
 - Criteri per la prevenzione delle aree soggette al taglio con la sicurezza che vengano rimboschite o preferibilmente rigenerate e rinnovate naturalmente,
 - Criteri di tutela i diritti e la salute dei lavoratori,
 - Criteri per la salvaguardia le filiere corte,
 - Criteri per garantire i diritti delle popolazioni indigene e dei proprietari forestali.
-

Riferimenti: <http://www.pefc.org/>

3.6.1.2 UNI EN 1496: Specifiche e classificazione del combustibile

In questa norma vengono definite le caratteristiche del combustibile, classificando il tipo di combustibile secondo l'origine, pezzatura, umidità e contenuto di ceneri.

Questa norma è al momento la prima a definire a livello europeo le caratteristiche dei biocombustibili solidi per usi non industriali. In attesa di aggiornamenti normativi queste specifiche possono essere adottate anche per prodotti destinati ad impieghi energetici.

Le sezioni specifiche della norma sono strutturate come di seguito indicato:

- Parte 1: Requisiti generali
- Parte 2: Pellet di legno per uso non industriale
- Parte 3: Bricchette per uso non industriale
- Parte 4: Cippato di legno per uso non industriale
- Parte 5: Legna da ardere per uso non industriale
- Parte 6: Pellet non legnoso per uso non industriale

Aree di rilevanza per la filiera: Consente di identificare il combustibile in modo univoco e quindi di certificare a livello qualitativo il prodotto oggetto della filiera.

Riferimenti: <http://store.uni.com/>

3.6.1.3 UNI EN 15234 Assicurazione della qualità del combustibile

Questa norma definisce le procedure e le modalità di gestione del processo produttivo per assicurare, con un'adeguata attendibilità, che le specifiche (serie UNI EN 14961) del biocombustibile siano soddisfatte. Questa norma europea si

rivolge all'intera filiera, dall'acquisto e collettamento della materia prima fino al punto di consegna al consumatore finale, escludendo però sia la fase di approvvigionamento del legname (esbosco o coltivazione che sia) sia l'utilizzo finale nell'impianto di combustione; sono esclusi quindi anche quegli aspetti comunque importanti, quali la sicurezza, la salute e la qualità dell'aria ambiente, ma che non sono controllabili dal produttore.

Lo scopo di questa norma è quello di assicurare la tracciabilità del prodotto e dimostrare che tutte le fasi della filiera fino al punto di consegna al consumatore finale sono sotto controllo, cosicché la qualità finale del prodotto è assicurata.

Le sezioni specifiche della norma sono strutturate in parti analogamente alla UNI EN 1496.

Aree di rilevanza per la filiera: Consente di rendere tracciabile il combustibile scambiato e risulta quindi di rilevanza all'interno di filiere che devono approvvigionarsi con prodotti locali o comunque all'interno di aree delimitate da un raggio specifico.

Riferimenti: [:http://store.uni.com/](http://store.uni.com/)

3.6.1.4 ONORM M7136/137 - Logistica e stoccaggio del combustibile

Un elemento chiave della filiera è quello relativo allo stoccaggio del biocombustibile. Attualmente però non esistono norme europee specifiche. In questo caso possono essere utilizzate eventuali norme tecniche non nazionali come la norma austriaca in oggetto di questo paragrafo.

Questa norma definisce i requisiti per gli aspetti logistici e per i sistemi di stoccaggio da parte del consumatore finale del combustibile solido.

Questa normativa è suddivisa in due specifiche sezioni:

- ONORM M7136: Descrive i requisiti di stoccaggio e logistica di trasporto per il legno pressato allo stato naturale e per il pellet di legno.

- ONORM M7137: Descrive i requisiti di stoccaggio del pellet di legno e del legno pressato allo stato naturale presso l'utente finale.

Considerando l'importanza della componente riguardante lo stoccaggio e la mobilitazione del combustibile solido, questa norma è rilevante in quanto certifica il rispetto dei requisiti per questi processi consentendo ad essi di essere ottimizzati all'interno della filiera.

3.6.1.5 UNI EN 303-5: Norme tecniche per i generatori di calore

La norma europea si applica alle caldaie da riscaldamento, inclusi i connessi dispositivi di sicurezza, aventi una potenza termica nominale fino a 500 kW, progettate per essere alimentate con combustibili solidi, utilizzare acqua come fluido termovettore alla temperatura massima di 110 °C, nonché lavorare alla pressione massima di 6 bar. Le caldaie possono lavorare a tiraggio naturale o forzato ed essere alimentate manualmente o automaticamente.

La norma si applica alle caldaie che costituiscono un'unica unità con il bruciatore si può però applicare anche a combinazioni di caldaia e bruciatore a se stante conforme alla UNI EN 15270, solo quando l'insieme dei due dispositivi è sottoposto a prova in conformità ai requisiti della presente norma.

La norma non si applica a:

- Caldaie per riscaldamento centralizzato o ad altre apparecchiature che sono progettate per il riscaldamento diretto del locale in cui sono installate;
- Apparecchiature per cottura;
- Alla progettazione e alla costruzione di dispositivi automatici di stoccaggio e alimentazione a monte dei dispositivi di sicurezza della caldaia;
- Apparecchi a funzionamento stagno;

- Caldaie a condensazione.

La norma definisce i requisiti e i metodi di prova per aspetti inerenti la sicurezza, la qualità della combustione e l'efficienza, le caratteristiche di gestione e di manutenzione delle caldaie e interessa anche elementi esterni facenti parte dei sistemi di sicurezza come per esempio i dispositivi contro i ritorni di fiamma o i vari elementi accessori quali le tramogge di alimentazione. La norma definisce inoltre la necessaria terminologia, i requisiti relativi al controllo e alla sicurezza, i requisiti di progettazione, i requisiti termotecnici (considerando anche requisiti ambientali) e le prove, così come i requisiti di marcatura.

Area di rilevanza per la filiera: Considerando che il fine primario della filiera è la produzione di energia termica, questa norma diventa rilevante in quanto permette al sistema di conversione di erogare il servizio con efficienza, continuità e rispetto delle emissioni e sicurezza.

Riferimenti: <http://store.uni.com/>

3.6.1.6 UNI CEI 11352: Certificazione ESCo

La certificazione ESCo fornisce i criteri di gestione di una società il cui obiettivo è quello di fornire servizi di efficienza energetica. In particolare la certificazione affronta la tematica della " garanzia di risultato ".

Le aziende certificate acquisiscono quindi la capacità di organizzare prodotti, servizi e formule contrattuali che assicurano l'utente finale sul risultato da conseguire.

La certificazione agisce sia sui processi interni che su quelli di approvvigionamento di materiali e servizi al fine di creare una catena di valore in cui tutti i soggetti partecipanti sono motivati e coinvolti nel proseguimento

dello stesso fine; il raggiungimento di un risultato effettivo per l'utente finale nel tempo previsto.

Aree di rilevanza: Risultane necessaria la partecipazione di una società certificata secondo questa norma per garantire il risultato agli utenti finali e di conseguenza la sicurezza della continuità di servizio e di domanda per tutta la catena sia a monte che a valle dell'impianto.

3.7 Schemi di incentivazione

Molteplici sono gli incentivi messi a disposizione per dare un impulso allo sviluppo di progetti inerenti alla valorizzazione dei residui biologici forestali.

Per la produzione di energia elettrica e termica, il GSE ricopre un ruolo fondamentale essendo il soggetto che, attraverso diverse modalità, offre tariffe agevolate per gli interventi riguardo l'efficienza energetica e la sostenibilità ambientale.

La produzione di energia elettrica, in base alla taglia e al tipo di biomassa utilizzata, il GSE offre tipologie diverse di incentivo.

Nel caso di impianto a biomassa con potenza massima di 200 kW elettrici alimentato da sottoprodotti biologici, il GSE ritira direttamente senza quindi dover richiedere l'iscrizione ai registri l'energia elettrica alla tariffa onnicomprensiva, costituita da una tariffa base più eventuali premi per quanto riguarda emissioni e produzione combinata di energia elettrica e calore.

Per quanto riguarda la produzione di energia termica, sempre il GSE offre servizi incentivanti, fra i quali i principali sono:

- Gli incentivi previsti dal nuovo DM 28 dicembre 2012 cosiddetto “Conto Termico”;
 - I Titoli di Efficienza Energetica (TEE), anche noti come Certificati Bianchi;
 - Le agevolazioni fiscali per il risparmio energetico;
-

- Credito di imposta per l'allacciamento alle reti di teleriscaldamento alimentate a biomassa.

Nel caso di caldaia da 500 kW termici collegata ad una rete di teleriscaldamento gli incentivi che è possibile acquisire sono legati al secondo e al quarto punto dell'elenco sopra esposto.

In particolare per i certificati bianchi, il GSE ha standardizzato molti degli interventi attraverso schede tecniche particolari, dove viene specificata la modalità di calcolo dei TEE. In un caso non standardizzato, bisogna fare richiesta all'ENEA che darà conferma riguardo la possibilità di ottenere i titoli.

Attraverso il quarto punto, il GSE impone l'obbligo di offrire agli utenti finali una tariffa di vendita del calore scontata di un quantitativo espresso in euro per MWh. Questo verrà poi restituito, dal GSE alla ESCo, tramite credito d'imposta.

Dato che il prezzo del calore offerto dalle ESCo agli utenti finali dipende dalla tariffa del calore ante intervento, che la maggior parte delle volte va a sostituire combustibili fossili, questa modalità permette di incentivare gli utenti finali ad acquistare il calore dalla rete di teleriscaldamento, tutelando la ESCo a livello remunerativo.

Un'altra modalità di ottenere incentivi è tramite la partecipazione a bandi regionali, nazionali o europei la cui approvazione da parte della commissione permette di ottenere finanziamenti a fondo perduto.

4 Nascita del progetto

Gli obiettivi oggetto di questa tesi richiedevano il reperimento di diversi fattori per consentire lo sviluppo di un caso reale.

Grazie alla disponibilità della ESCo Baboo è stato possibile accedere a tutte le risorse necessarie come ad esempio il poter contare sulle competenze e relazioni industriali di una ESCo, l'opportunità di partecipare ad un bando regionale incentivante ed infine un territorio montano ad alta densità boschiva.

Questi elementi hanno fornito la base per predisporre la manifestazione di interesse al bando. Tale attività è stato un primo importante momento per comprendere le complessità in gioco e le modalità con cui valutare i fattori di rischio di un moderno progetto ecosostenibile.

Il settore inerente alla produzione di energia da biomasse è molto in linea con gli obiettivi di Baboo, portandola così a rivolgere interesse al bando pubblicato dalla Regione Piemonte a Marzo 2014.

4.1 Processo di partecipazione al bando regionale

In questa sezione vengono illustrati i processi principali e i relativi documenti a supporto per costituire gli accordi di rete tra i soggetti partecipanti e definire i requisiti tecnici economici e finanziari di progetto.

4.1.1 Manifestazione d'interesse

Questo documento inquadra a livello generale l'iniziativa proposta e risulta così strutturato:

- Titolo dell'iniziativa
 - Denominazione del Soggetto delineato come Capofila
 - Individuazione degli altri soggetti coinvolti
 - Descrizione dell'iniziativa proposta
-

- Localizzazione territoriale degli interventi
- Cronoprogramma

4.1.1.1 I portatori di interesse: Scelta del capofila e dei partecipanti alla filiera

I portatori di interesse sono tutti coloro che, sia attivamente che passivamente, parteciperanno alla filiera.

Nella presentazione del bando, un aspetto fondamentale era quello di manifestare l'interesse di più parti. Questo assicura lo sviluppo di una filiera corta integrata a livello orizzontale e che quindi rende più credibile ed affidabile il progetto, oltre a far emergere il valore aggiunto ed il coinvolgimento per le realtà locali.

Ai soggetti coinvolti nella manifestazione di interesse, insieme alla nomina del capofila, viene delegato il compito da svolgere all'interno della filiera così da delineare sin dal principio quali mansioni dovranno svolgere.

L'elenco e la descrizione dei ruoli previsti per ciascuno dei soggetti coinvolti è qui di seguito riportato:

- **Capofila:** La *Comunità Montana Due Laghi, Cusio Mottarone e Val Strona* avrà il ruolo di supervisionare l'intervento di riqualificazione energetica dell'area in via Caduti di Bologna
- **Partner 1:** Baboo Energy Service Company con il compito di progettare, coordinare e realizzare l'intervento dal punto di vista tecnico.
- **Partner 2:** Società Agricola Semplice CIGA con il ruolo di pianificare l'approvvigionamento della biomassa destinata all'impianto e a carico del partner 3, basandosi sul Piano Forestale Aziendale inerente all'area del Mottarone.

- **Partner 3:** Impresa Tagliaboschi Ciga S.a.S. (iscritta all'Albo Regionale delle Imprese Forestali, nr. 378), con il ruolo di fornire la biomassa che alimenterà l'impianto, con un approvvigionamento che rientrerà nel raggio di 25 km dalla collocazione dell'impianto stesso
- **Partner 4:** Energy Recuperator S.p.a. con il compito di fornire la tecnologia studiata con Baboo, adeguatamente messa a punto per l'intervento previsto dal progetto

Oltre ai partner sopra elencati, i principali portatori di interesse, senza i quali la filiera non può essere stabilita, sono gli utenti finali. Come indicato precedentemente, questi acquisteranno il calore in loco e che quindi riusciranno a valorizzare, sia in termini economici che di utilità, la materia legnosa di scarto. A tale proposito sono stati coinvolti sia i condomini che l'amministratore del centro sportivo i quali hanno risposto positivamente alla proposta di acquisto del calore derivante dalla centrale.

4.1.1.2 Scelta dell'area di intervento

Il luogo scelto per la realizzazione dell'impianto a biomassa è in via Caduti di



Figura 4-1: Collocazione geografica dell'impianto

Bologna a Bagnella, comune di Omegna.

Oltre al fatto che Bagnella è un comune montano, condizione necessaria per la partecipazione al bando, in via caduti di Bologna è presente una caldaia a biomassa dismessa da 1000 kW termici, il cui fine era quello di riscaldare la piscina Equipe Italia e il complesso condominiale Riva Verde presenti nel medesimo sito e collegate attraverso una rete di teleriscaldamento.

Le motivazioni che hanno portato alla scelta di questo sito sono:

- Utilizzo di un terreno già predisposto a fini energetici
- Presenza di una rete di teleriscaldamento collegata alle utenze
- Presenza di utenze termiche disposte ad acquistare calore



Figura 4-2: Inquadramento cartografico dell'area scelta per l'intervento

- Vicinanza ad aree forestali idonee alla fornitura di materia prima

4.1.1.3 La soluzione proposta

La soluzione proposta prevede l'installazione di un impianto cogenerativo basato su ciclo Rankine a vapor d'acqua da 200 kW elettrici.

L'energia elettrica prodotta verrà venduta alla rete elettrica nazionale, ritirata dal GSE attraverso al tariffa onnicomprensiva, mentre l'energia termica verrà ceduta alle utenze localmente presenti.

La biomassa verrà approvvigionata dall'impresa forestale CIGA, che attraverso la gestione aziendale dell'area del Mottarone consente l'alimentazione di gran parte del quantitativo necessario. Per questioni di tutela e sicurezza della fornitura, sono stati coinvolti altri attori locali che serviranno il quantitativo di biomassa necessario.

4.1.1.4 Ricadute sociali

Il progetto proposto prevede la creazione di professionalità nuove e l'impiego di personale qualificato per le attività strettamente connesse al funzionamento degli



Figura 4-3: Foto ante intervento

impianti e per quelle connesse con l'approvvigionamento e la trasformazione della biomassa legnosa.

In questo modo il territorio potrà disporre di un termovalorizzatore dei materiali provenienti dalla pulizia dei boschi limitrofi a filiera corta, con evidenti ripercussioni positive sul territorio.

Il progetto proposto prevede:

- 1 posto di lavoro, per la conduzione ordinaria dell'impianto;
- Coinvolgimento di Aziende Agricole – Forestali locali (provinciali) in forma diretta con un impegno di circa 4 uomo/anno;
- Sviluppo di professionalità locali in tema di ambiente ed energia
- Un incremento di indotto per imprese artigiane del territorio operanti nel settore termico, edilizio, elettrico, trasportatori, sia quando l'impianto sarà avviato per i servizi di manutenzione ordinaria e straordinaria, sia per la precedente fase di costruzione.

Da sottolineare inoltre l'importante ricaduta sull'intera filiera del legno locale che vedrà aprirsi un'opportunità di crescita e sviluppo.

4.1.1.5 Cronoprogramma

L'iniziativa si sviluppa attraverso i seguenti interventi, che sono stati suddivisi in Work Package (WP):

- WP1: Ottenimento autorizzazioni e pianificazione tecnica dei lavori
- WP2: Lavori di smantellamento dell'area dalle attrezzature in disuso
- WP3: Riqualificazione e rimodulazione dell'immobile che conterrà l'impianto
- WP4: Installazione del nuovo impianto
- WP5: Installazione e collaudo delle linee di teleriscaldamento
- WP6: Prova e collaudo impianto

- WP7: Approvvigionamento della biomassa
- WP8: Avvio a regime dell'impianto

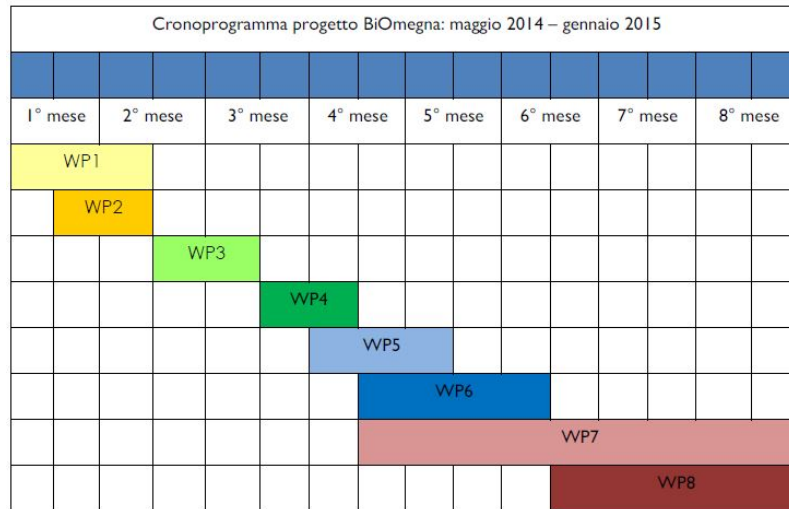


Figura 4-4: Cronoprogramma

4.1.1.6 Lettera di delega

In questo documento coloro che hanno sottoscritto il contratto di rete d'impresa, in questo caso Baboo e Ciga, delegano alla Comunità Montana Due Laghi, Cusio Mottarone e Val Strona, in qualità di capofila, di presentare la Manifestazione d'interesse allo sviluppo di una filiera bosco energia.

4.1.2 Contratto di servizio energetico

Il contratto di servizio energia ha per oggetto l'erogazione di beni e servizi necessari a mantenere le condizioni di comfort negli edifici nel rispetto delle vigenti leggi in materia di uso razionale dell'energia, di sicurezza e di salvaguardia dell'ambiente, provvedendo nel contempo al miglioramento del processo di trasformazione e di utilizzo dell'energia.

In qualità di ESCo è possibile esercitare il servizio energetico verso clienti sia pubblici che privati. Il contratto di servizio energetico prevede le seguenti attività:

- Interventi di adeguamento normativo e/o di riqualificazione funzionale degli impianti;
- Fornitura di servizi energetici con sistema di contabilizzazione a MWh

La ESCo in questo caso Baboo ed il committente piscina e condominio stipuleranno quindi un contratto dove viene garantita una determinata fornitura ad un prezzo stabilito tra le parti, espresso in €/MWh.

Per incentivare l'utente finale ad acquistare l'energia termica proveniente dall'impianto a biomassa, il prezzo fissato a contratto avrà l'agevolazione imposta dal GSE che prevede uno sconto per l'utente finale di circa 22 €/MWh che sarà poi restituito alla ESCo tramite credito d'imposta. Questo aspetto è di notevole importanza per garantire la redditività e la retribuzione di tutti i fattori di costo che interessano la filiera.

4.1.3 La rete d'impresa

Con il fine di acquisire maggior credibilità e fiducia nel progetto presentato, è stato costituito un Contratto di rete di impresa tra Baboo e la società agricola semplice CIGA. Sottoscrivendo questa rete come Biomegna, i contraenti si prefiggono l'obiettivo di:

- Gestire le iniziative e i progetti comuni
- Gestire i progetti di ricerca e sviluppo anche avvalendosi di finanziamenti pubblici
- Progettare e gestire impianti di produzione di energia elettrica e/o termica alimentati da biomassa legnosa di filiera corta

- Progettare e gestire impianti di raccolta, smistamento, separazione e lavorazione di biomassa legnosa da filiera corta

Il contratto di rete di impresa rappresenta quindi una forma di cooperazione per svolgere l'obiettivo di comune interesse relativo alla filiera Bosco Energia. Attraverso un esercizio comune di integrazione orizzontale tra più imprese risulta più efficiente lo sviluppo di filiere corte con molteplici riscontri positivi nei mercati locali.

4.1.4 Contratto di fornitura di prodotti e servizi

Come può la ESCo organizzare l'approvvigionamento di combustibile? In una filiera bosco-energia le principali opzioni percorribili sono:

- *ESCo verticalmente integrata*: la società per i servizi energetici si prende carico di tutti i processi riguardo l'approvvigionamento del combustibile. Produzione, raccolta, lavorazione, stoccaggio e trasporto, rispettando una qualità del combustibile in ingresso nell'impianto secondo le normative vigenti.
- *ESCo parzialmente integrata*: La ESCo ha in carico trasporto, lavorazione e stoccaggio del combustibile necessario.
- *Approvvigionamento da parte di terzi*: La ESCo ha solo il compito di assicurare lo stoccaggio di combustibile in loco per garantire la continuità del servizio energetico stipulando dei contratti di acquisto del combustibile con i fornitori presenti nel mercato locale.

La scelta del tipo di organizzazione ottimale dipende da innumerevoli condizioni al contorno. Nel caso oggetto di questo studio è stata scelta l'opzione numero 3, in quanto non sono stati previsti investimenti per l'acquisto dei fattori produttivi necessari all'esercizio delle prime due modalità.

Il contratto di rete di impresa insieme al contratto di fornitura di prodotti e servizi servono proprio ad assicurare la fornitura del combustibile rispettando tutte le regole previste a riguardo.

Le caratteristiche che devono essere contenute nel suddetto contratto sono:

- *Definizione dell'oggetto:* In questo caso l'oggetto del contratto è l'accordo tra l'impresa forestale e la società per i servizi energetici che si impegnano rispettivamente a vendere ed acquistare i prodotti/servizi rispettando le modalità definite dal contratto stesso.
 - *Durata:* Per salvaguardare l'approvvigionamento e assicurare continuità di fornitura il contratto deve avere validità pluriennale. In questo modo sia l'impresa forestale che la ESCo possono tutelare i loro interessi con la redditività garantita dal contratto di servizio energetico stipulato tra la ESCo e gli utenti finali.
 - *Prezzo:* Il prezzo contrattato, espresso in euro/tonnellata, sarà funzione dell'umidità a cui viene consegnato il combustibile.
 - *Quantità e consegne settimanali:* In questa sezione viene indicato il quantitativo annuale previsto e la frequenza settimanale di consegna. Sempre qui viene indicato che il materiale consegnato presso l'impianto dovrà essere conforme a quanto previsto dalle normative
 - *Contenuto di ceneri:* Il contenuto di ceneri è indice della qualità del combustibile, è quindi importante fare delle analisi - ad esempio con cadenza mensile - su un campione di combustibile prelevato. Se il residuo inorganico è maggiore della quantità specificata a contratto, il fornitore subirà delle penali.
 - *Pezzatura e parametri qualitativi:* La pezzatura indica la dimensione del materiale combustibile, fattore che è di notevole importanza per quanto riguarda la qualità e continuità del servizio energetico erogato. Infatti la maggior parte dei fermo macchina delle caldaie a biomassa è causato
-

proprio dall'incompatibilità dimensionale tra sistema di alimentazione e combustibile. Per tutelare la ESCo da questo tipo di problematiche è buona pratica inserire nel contratto di fornitura delle penali in caso di mancato rispetto delle dimensioni richieste.

- *Contenuto di umidità*: Maggiore è il contenuto di acqua all'interno di una determinata quantità di materiale legnoso minore sarà la sua energia sprigionata. E' quindi indispensabile un controllo per verificare il contenuto di umidità del materiale ed applicare così il prezzo relativo al contenuto di umidità rilevato.

4.1.5 Progetto operativo preliminare

Tra i documenti richiesti per la partecipazione al bando vi era la presentazione del progetto operativo preliminare. Questo rientra all'interno dei documenti prettamente di carattere tecnologico, studiati e prodotti dal fornitore della tecnologia.

In qualità di ESCo, in questo caso anche promotore del suddetto progetto, la tecnologia scelta deve prima di tutto rispettare le condizioni al contorno.

Queste riguardano:

- *Requisiti posti dal bando*: caldaia o impianto a biomassa aventi specifiche potenze producibili e finalizzati alla valorizzazione dei residui forestali
- *Vincoli legati all'area scelta*: Il fatto di essere collocato in un centro urbano prossimo alle utenze comporta il dover rispettare vincoli d'impatto ambientale, quali rumorosità ed emissioni. Inoltre le dimensioni dell'impianto devono essere compatibili con l'area disponibile.
- *Affidabilità tecnologica*: Assumendo su di sé il rischio dell'iniziativa, la ESCo deve selezionare un processo tecnologico il più possibile affidabile.
- *Esigenze degli utenti finali*: In questo progetto lo scopo principale è quello di soddisfare la domanda termica per la climatizzazione invernale del

condominio e del centro sportivo. Il condominio è costituito da 12 appartamenti dotati di radiatori mentre il centro sportivo richiede sia la climatizzazione di ambienti che il mantenimento dell'acqua delle piscine entro certe temperature. Le normative impongono temperature limite, in particolare 20°C per gli spazi abitativi mentre 27- 29 °C per le piscine.

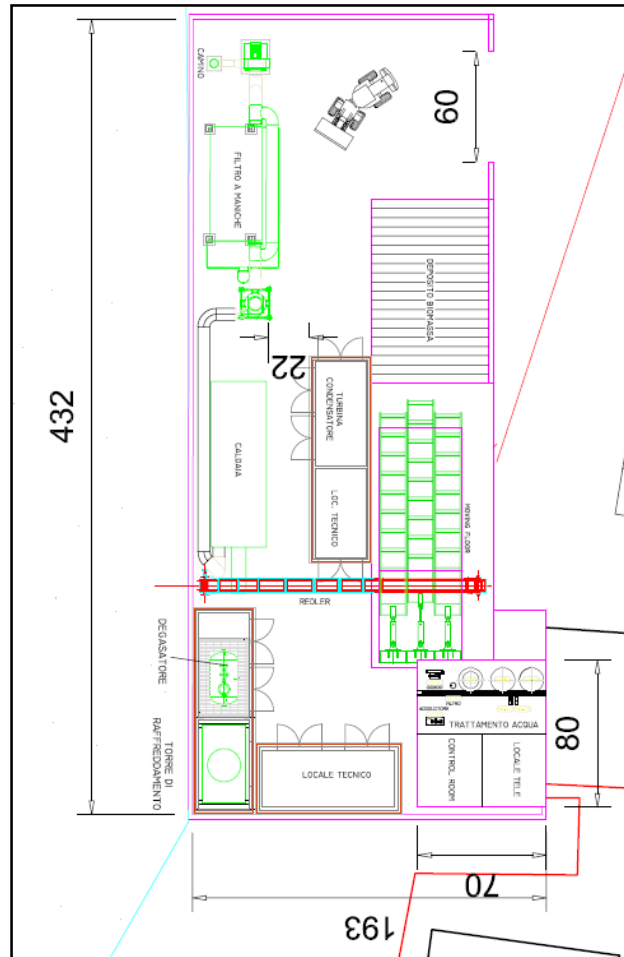
4.1.6 Schema di processo operativo preliminare

Grazie alla partnership con il fornitore di tecnologia bresciano, Energy Recuperator, è stato possibile presentare uno schema di processo operativo. Il documento presentato è un P&ID, *Process and Instrumentation Diagram*, un disegno che mostra le interconnessioni tra le apparecchiature del processo, il sistema delle tubazioni di interconnessione e la strumentazione utilizzata per il controllo del processo stesso.

4.1.7 Layout dell'impianto

Grazie al layout preliminare dell'impianto è possibile capire la disposizione dei componenti e dei servizi principali nell'area selezionata.

Figura 4-5: Layout dell'impianto



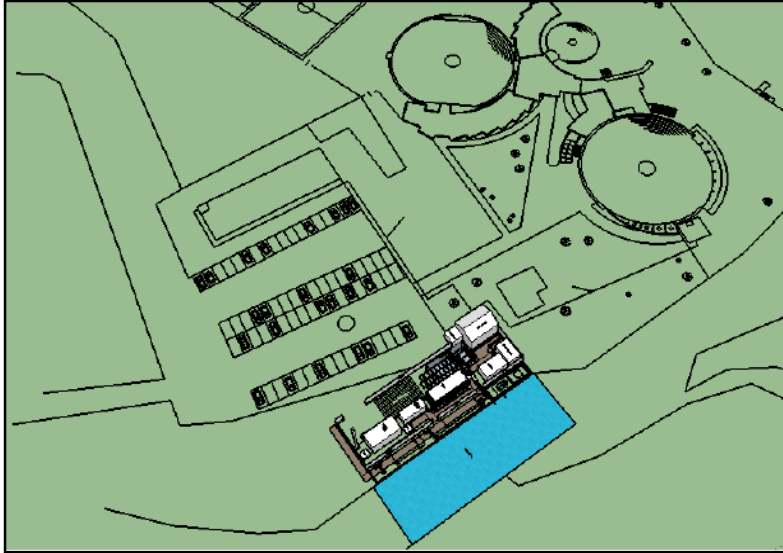


Figura 4-6: Rendering dell'impianto

Dalle immagini è possibile visualizzare l'area dove sarà collocato l'impianto allacciato all'attuale rete di teleriscaldamento che collega le utenze. L'Area disponibile per l'installazione dell'impianto è pari a 830 mq ed equidistante di circa 50 metri dai due contatori termici relativi alle utenze.

L'autocarro scaricherà il cippato negli appositi silos sotto i quali è presente un letto che muovendosi permette la caduta del combustibile sul nastro trasportatore. Quest'ultimo collega i silos di stoccaggio ad una tramoggia sotto la quale è presente uno spintore idraulico che alimenta la caldaia lateralmente.

La presenza del nastro trasportatore e dello spintore rende il sistema di alimentazione completamente automatizzato e flessibile al tipo di combustibile utilizzato.

Una volta che il combustibile entra in caldaia cade su una griglia mobile e, grazie all'energia di attivazione fornita da un bruciatore ausiliario, inizia la reazione di combustione. I tempi di residenza, le quantità ottime di aria primaria, secondaria ed il ricircolo dei fumi permettono di avere una combustione che emette un quantitativo di particolato, NOx e CO entro i limiti richiesti dalle normative vigenti.

Nella zona posta in prossimità dell'ingresso le ceneri pesanti e leggere verranno raccolte all'interno di appositi cassoni e poi ritirati dalla ditta autorizzata allo smaltimento.

I componenti di impianto maggiormente rumorosi, quali caldaia e turbina, risultano collocati in container insonorizzati così da contenere i decibel ammissibili dalla legge entro i limiti riferiti all'area urbana in oggetto.

4.1.8 Business Plan

Attraverso questo documento è possibile avere un quadro generale di quello che la filiera genera in termini di redditività per gli attori partecipanti, quindi il

livello d'impatto economico, sia di breve che di lungo periodo, all'interno del contesto selezionato.

Le variabili che determinano sia le voci di costo che di ricavi coinvolte nel business plan sono:

- **Tipologia di utenza termica:** I ricavi generati dalla vendita del calore sono il prezzo di vendita moltiplicato la quantità venduta. Il prezzo dipende fortemente dal costo attuale pagato dall'utenza ante intervento. Quindi la tipologia di utenza incide sia sulla quantità che sul prezzo di vendita, infatti un grande consumatore ha tariffe agevolate sulla fornitura di gas, e di conseguenza avrà tariffe agevolate sulla tariffa offerta dalla ESCo. Nel caso di impianto CHP, risulta fattibile installare l'impianto presso la grande utenza poiché garantisce l'acquisto del calore per un maggior numero di ore annue, valorizzano così al meglio l'energia primaria contenuta nella biomassa.

- **Luogo di installazione centrale:** Questo influenza la distanza dalla centrale al luogo di approvvigionamento - incidendo quindi sui costi di trasporto- e sulle quantità di emissioni ammissibili. Nel caso in esame la scelta del luogo era strettamente motivata dalla già presente rete di teleriscaldamento, dalla vicinanza ai boschi gestiti e alla presenza di un utenza termica come la piscina che garantisce l'acquisto del calore per un numero di ore annue prolungato.

- **Soluzione tecnologica:** Questa influenza la quantità di energia producibile a partire dal contenuto energetico nella biomassa. Avere un sistema con rendimenti elevati significa che, a pari quantitativo di biomassa consumata, riesco a produrre maggior energia disponibile per il consumo, aumentando quindi i ricavi oppure, viceversa, a parità di ricavi riesco a diminuire i costi. La scelta del tipo di tecnologia dipende in gran parte da quanto l'investitore è disposto a rischiare; la soluzione tecnologica deve avere un elevato numero di referenze per avere la garanzia del risultato prodotto. Inoltre la soluzione

tecnologica deve essere in grado di minimizzare i rischi di progetto; per esempio avere la possibilità di produrre in maniera combinata energia elettrica e calore assicura la vendita dell'energia elettrica in rete e quindi un ritorno dall'investimento. Confrontando la cogenerazione rispetto alla sola produzione di energia termica, nonostante il costo dell'investimento risulta molto più basso abbassando quindi anche il tempo di ritorno, quest'ultimo non è assicurato perché le utenze termiche possono decidere di non acquistare più il calore prodotto, o per esempio nel caso specifico, possono succedere eventi quali la chiusura della piscina che andrebbero a far crollare i ricavi attesi.

La soluzione tecnologica può inoltre influenzare i costi di manutenzione. Per esempio un ciclo a fluido organico ha minor costi di manutenzione rispetto ad un ciclo a vapore d'acqua; la turbina risulta meno sollecitata sia meccanicamente che termicamente, inoltre negli ultimi stadi non si presentano le goccioline che erodono le palette, non è presente il sistema di trattamento acque ed infine vi è l'esonero parziale o totale del conduttore patentato a causa delle minori pressioni a cui viene prodotto il vapore d'acqua necessario alla produzione di potenza.

- **Organizzazione delle attività di filiera:** Il livello di integrazione delle attività di filiera all'interno dei servizi erogati dalle ESCo può influenzare il costo di approvvigionamento del combustibile pena l'inserimento di nuovi assets all'interno del conto economico. Operare per la raccolta, trasporto, lavorazione e stoccaggio della materia prima può ridurre i costi fino a 50%. Nel caso in cui la ESCo non intende integrare queste attività, è altamente consigliato stipulare più contratti di fornitura così da avere la garanzia di una fornitura continua e maggiore flessibilità al prezzo.

- **Politiche incentivanti:** Queste incidono sui prezzi di vendita del calore e dell'energia elettrica prodotta, in particolare:

Energia elettrica: Attualmente impianti da 200 kW elettrici alimentati a biomassa accedono direttamente quindi non devono richiedere la concessione al registro del GSE. L'accesso a questi incentivi prevede il pagamento di una quota fissa e una variabile al kWh ritirato dal GSE; in questo caso tale valore è di 180 € + 0,05 c€/kWh. Per gli impianti di potenza inferiore a 1MW, il GSE provvede a riconoscere, sulla produzione netta immessa in rete, la tariffa incentivante onnicomprensiva T_o determinata secondo le formule:

$$T_o = T_b + P_r$$

Dove:

- T_b è la tariffa incentivante base ricavata per ciascuna fonte e tipologia di impianto; Per impianti da 200 kW elettrici alimentati da sottoprodotti di origine biologica la tariffa base risulta pari a 257 €/MWh
- P_r è l'ammontare totale degli eventuali premi a cui ha diritto l'impianto. I premi riconosciuti sono due; Premio per abbattimento di inquinanti pari a 30 €/MWh e premio per assetto CAR di 40 €/MWh

Energia termica: Nel caso in esame, dato che gli utenti acquisteranno il calore da una rete di teleriscaldamento alimentata a biomassa potranno usufruire di uno sconto pari a 22 €/MWh, sconto restituito alla ESCo tramite credito d'imposta

- **Costi del combustibile:** Tra le voci di costo presenti nel BP questa è quella che incide maggiormente ed allo stesso modo permette di quantificare l'impatto che questo progetto può avere per l'economia locale. Però rimane anche una delle variabili più critiche nelle filiera bosco-energia. Infatti un territorio come il VCO, a differenza dei territori pianeggianti dove sono presenti le coltivazione a

corta rotazione, il costo di raccolta risulta elevato a causa della non facile viabilità delle superfici forestali.

4.1.8.1 Distanza di approvvigionamento

L'interesse primo di questo progetto è il recupero degli scarti legnosi presenti in superfici boschive gestite e la valorizzazione energetica entro un raggio di 25 km. L'immagine sotto riportata mostra la distanza tra il punto dove sarà collocato l'impianto e l'area gestita dall'impresa forestale con cui è stato stipulato il contratto. Quest'area risulta di proprietà dei Borromeo e conta di circa 540 ha. L'area in oggetto è stata data in gestione all'impresa forestale CIGA, che grazie al Piano Forestale Aziendale redatto dal Dott. Forestale Marco Carnisio, offre un servizio di manutenzione boschiva sostenibile.

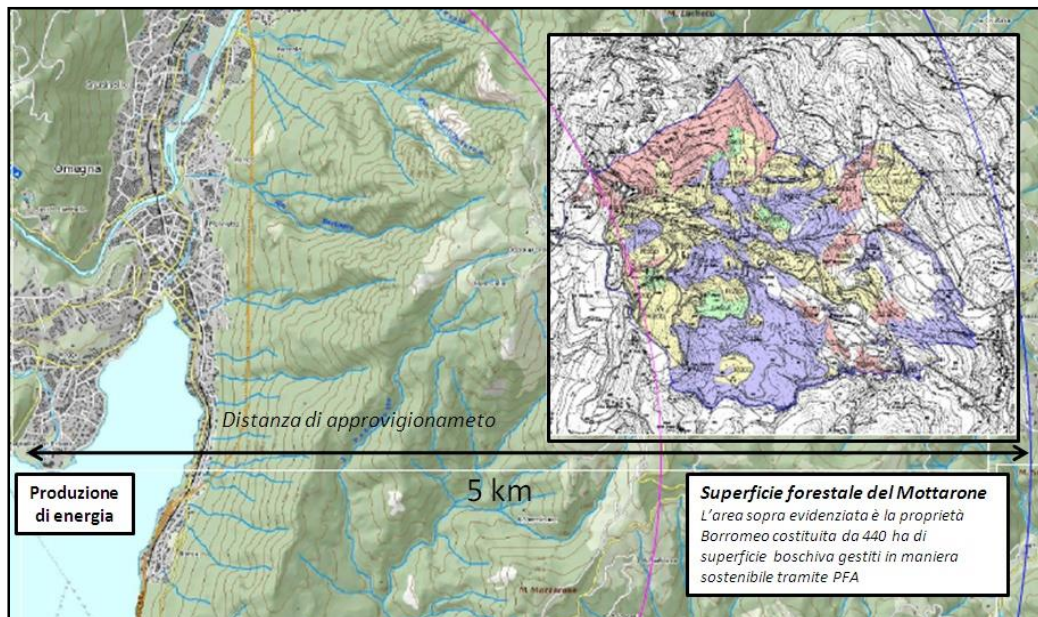


Figura 4-7: Distanza are di approvvigionamento

4.1.9 Piano Forestale Aziendale: Mottarone

La filiera oggetto di questo studio è definita Bosco - Energia, risulta quindi facile percepire l'importanza di un Piano che definisca le linee di azione per la corretta gestione di una superficie boschiva.

4.1.9.1 Mottarone, Piano Forestale Aziendale

Nel caso in oggetto, le pratiche definite sopra vengono soddisfatte grazie all'impresa tagliaboschi Ciga la quale ha ottenuto la gestione della superficie forestale del Mottarone di proprietà della famiglia Borromeo.



Figura 4-8: Collocazione geografica area del Mottarone

Quest'impresa grazie al Piano Forestale Aziendale riesce a valorizzare una superficie di 540 ha seguendo le linee di azione definite all'interno del PFA.

Le informazioni principali contenute in questo documento sono:

- Caratteristiche climatiche, geografiche e stagionali
- Criteri e normative di riferimento per la gestione sostenibile
- Gestione passata

- Vincoli zionali territoriali esistenti
- Uso ed occupazione del suolo
- Tipi forestali e strutturali presenti
- Parametri dendrometrici e metodologie di rilievo
- Descrizione delle comprese e delle particelle
- Interventi previsti per le singole particelle con le relative giustificazioni
- Viabilità e sistemi di esbosco

L'obiettivo principale è quindi quello di perseguire la rigenerazione naturale ed aumentare la resilienza e resistenza delle risorse forestali, la funzionalità ed il miglioramento delle molteplici funzionalità degli ecosistemi in equilibrio con un risultato economico soddisfacente per la proprietà.

Dalla lettura di questo documento è possibile percepire che la corretta gestione di una superficie forestale deriva dal taglio razionale della biomassa piuttosto che dalla raccolta della necromassa. Infatti, la materia legnosa morta viene lasciata poiché diventa fertilizzante per il suolo nonché habitat per molte specie viventi.

Inoltre, un altro aspetto positivo è quello di prevenire il fattore di rischio legato agli incendi, che grazie ad interventi selvicolturali, diminuisce la quantità di biomassa che può essere bruciata oltre al fatto che la pulizia e la manutenzione della viabilità, in particolare delle vie taglia fuoco, permette di intervenire più facilmente in caso di incendio.

4.1.9.2 Piano Industriale

Il piano industriale è il documento che illustra in termini qualitativi e quantitativi le strategie del progetto, le azioni che saranno realizzate per il raggiungimento degli obiettivi e la stima dei risultati attesi.

Considerando che il finanziamento emesso dalla regione ha come scopo principale quello di sviluppare una filiera devono essere specificate tutte le attività che caratterizzano il progetto proposto, giustificando le soluzioni proposte e spiegando il principio di funzionamento.

Quindi attraverso questo documento è stato possibile descrivere le principali fasi appartenenti al progetto valutando per ognuna le caratteristiche tecniche, le ricadute economiche e sociali.

Le fasi chiave che caratterizzano il progetto nel suo insieme e che sono state oggetto del Piano Industriale presentato sono:

- *Relazione tecnica impianto di cogenerazione*

Qui è stato approfondito a livello tecnico il ciclo di conversione della biomassa legnosa in energia elettrica e calore. Grazie al materiale messo a disposizione da fornitore di tecnologia sono stati analizzati nel dettaglio i principali componenti d'impianto e le metodologie di gestione dei processi più critici, quali ad esempio l'abbattimento degli inquinanti e il loro continuo monitoraggio, la pulizia della caldaia e lo smaltimento ceneri.

- *Relazione tecnica approvvigionamento biomassa*

In questa sezione sono stati forniti i dettagli della filiera del legno utilizzato quale combustibile, specificando le sue caratteristiche in termini chimici ed energetici. Inoltre sono stati descritti i cicli di produzione, lavorazione e raccolta previsti a monte dell'impianto con i relativi dettagli tecnici sui macchinari utilizzati ed i compiti svolti dal fornitore della materia prima stessa.

- *Quadro economico e copertura finanziaria*

Nella sezione seguente vengono riportati i costi e ricavi generati dall'investimento considerato; vengono quindi giustificate le marginalità prodotte così da poter dimostrare la sostenibilità economica dell'impianto.

4.1.10 Esito del bando

I documenti descritti nel paragrafo precedente sono stati inviati via corriere presso l'indirizzo riportato nel testo del bando, ed in seguito alla valutazione da parte delle giuria regionale, è stato comunicato al capofila la valutazione positiva riguardo l'approvazione del progetto.

I portatori di interesse hanno quindi ottenuto una forte agevolazione e stimolo allo sviluppo operativo della filiera proposta. In particolare Baboo, in qualità di società per i servizi energetici, ha iniziato un processo di pianificazione del progetto.

Il fine di tale pianificazione è quello di poter studiare nel dettaglio la sostenibilità del progetto, così da garantire un livello di servizio efficiente e in grado di ripagare tutte le voci di costo presenti e soddisfare il bisogno energetico degli utenti finali.

E' necessario quindi analizzare il sistema nel suo insieme per definire il modello d'impresa ottimale considerando il territorio in cui verrà collocato l'impianto.

5 Modello di Business ESCo

Una filiera bosco energia ha come scopo principale quello di convertire in energia i residui biologici derivanti dalla manutenzione dei boschi, coinvolgendo quindi tematiche importanti quali la sostenibilità ambientale, la produzione di energia da FER e lo sviluppo dei territori montani.

Questo progetto per essere realizzabile ha i seguenti requisiti:

- Disporre di risorse economico-finanziarie per l'acquisto dei fattori produttivi necessari
- Stabilire le condizioni per la valorizzazione economica dell'energia prodotta

Per le motivazioni sopra citate risulta evidente il vantaggio offerto dall'intervento di un ESCo. Infatti questa è certificata, secondo la normativa UNI CEI 11352, per offrire un servizio energetico garantito disponendo al suo interno delle conoscenze e degli strumenti necessari.

I soggetti che si interfacciano con la ESCo sono:

- a) **Fornitori:** Forniscono i materiali ed i macchinari necessari alla realizzazione dell'intervento
- b) **Istituti di credito:** Forniscono le risorse finanziarie necessarie alla realizzazione dell'intervento valutando il merito sulla base della qualità e redditività del progetto
- c) **Pubblica amministrazione:** Predisporre strumenti di agevolazione finanziaria e fiscale per incentivare l'adozione di tecniche di finanziamento da parte di terzi
- d) **Utenti finali:** Acquistano il servizio energetico offerto attraverso un determinato servizio contrattuale prestabilito

Per offrire un servizio energetico garantito tramite ESCo risulta quindi importante studiare il sistema sui cui intervenire per così definire i risultati che si possono raggiungere a partire dalle risorse disponibili.

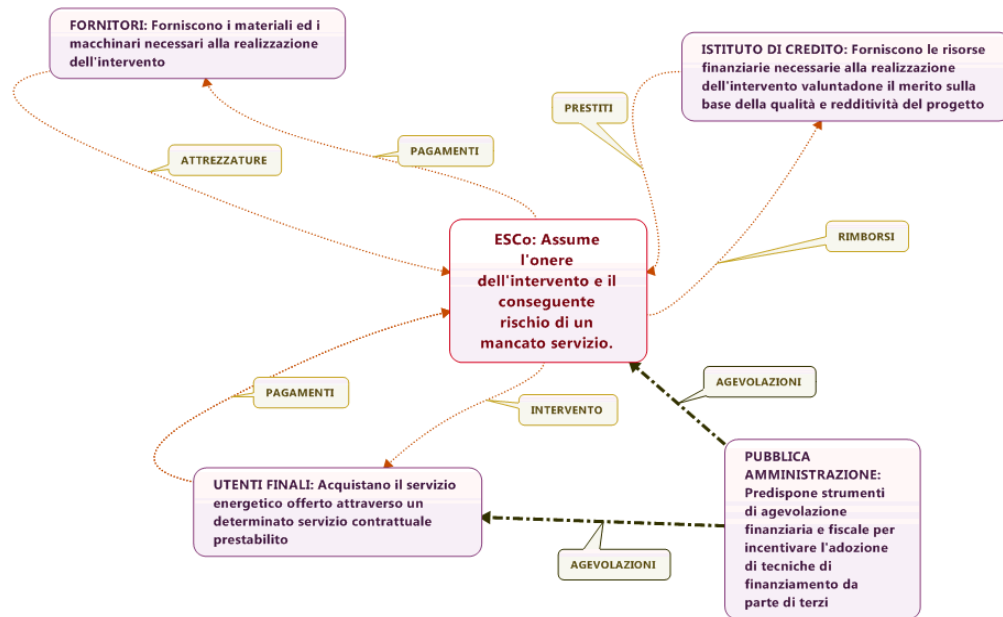


Figura 5-1: La ESCo e i portatori d'interesse

5.1 Identificazione dei processi chiave

Identificare i processi chiave serve a definire il modello di business che la ESCo intende costituire, quindi l'architettura del modello d'impresa finalizzato ad offrire flussi di servizi energetici.

Le scelte organizzative del modello di impresa e le relazioni contrattuali tra le parti dipendono da differenti fattori che possono essere collocate in categorie quali:

- Approvvigionamento della biomassa
- Conversione della biomassa
- Utenti finali
- Diritti di proprietà e responsabilità dei portatori di interesse
- Scopo della fornitura
- Strategia per generare profitto
- Modalità di finanziamento

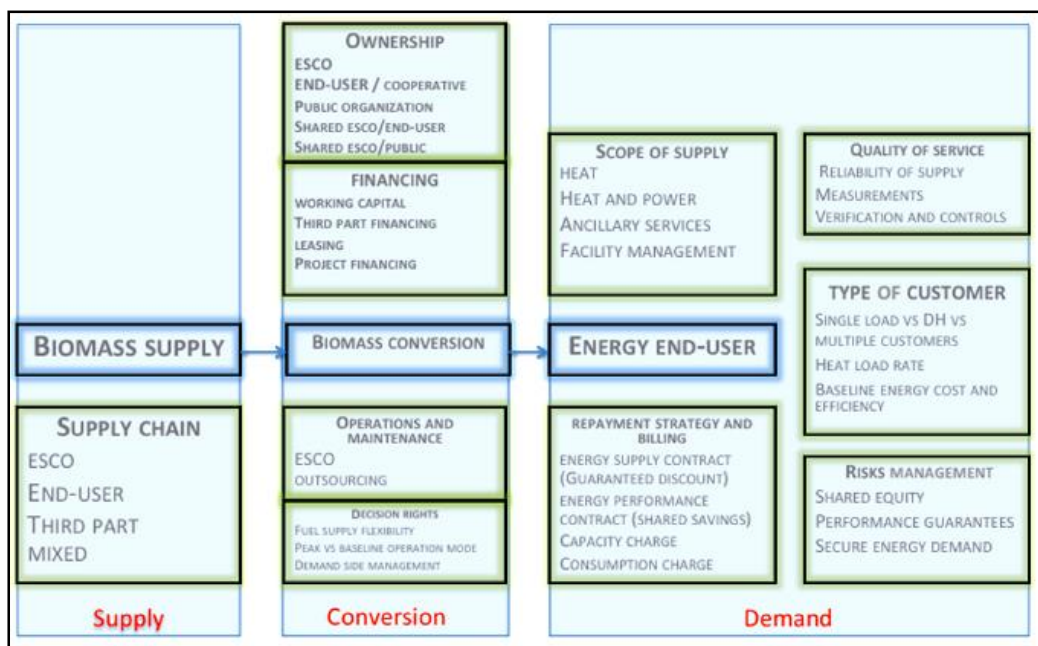


Figura 5-2: Stadi per costruire un modello di Business ESCo nel settore delle biomasse

Nell'immagine sopra sono schematizzate le fasi riportate precedentemente con i relativi soggetti interessati ed il possibile il ruolo da essi assunto.

5.1.1 Livelli di servizio

Il livello di servizio della ESCo è finalizzato a fornire l'energia richiesta garantendo un livello di risparmio in bolletta agli utenti finali, valorizzare in

maniera efficiente i residui legnosi locali e costituire una filiera sostenibile sia a livello economico che ambientale.

Per poter raggiungere questi obiettivi risulta necessario analizzare il sistema nel suo insieme così da poter intendere quali sono le criticità in modo tale da prevenire eventuali situazioni di rischio.

Importante è quindi conoscere il territorio locale ed i costi specifici di tutte le attività necessarie all'approvvigionamento del biocombustibile.

Per esempio, è differente il costo di raccolta della biomassa forestale proveniente da superfici boschive pianeggianti -con coltivazioni a corta rotazione - piuttosto che originari dai boschi del VCO. Ad esempio tra i confini del Verbano Cusio Ossola è presente la Val Grande, che nonostante la sua forte incidenza boschiva, a causa delle elevate pendenze ed il basso indice di viabilità, attualmente non riesce a rendere competitivo il costo del biocombustibile nei mercati energetici delle biomasse.

Grazie ad un incontro con il Dott. Forestale che ha prodotto il Piano Forestale Aziendale dell'area del Mottarone è stato possibile venire a conoscenza dei costi di gestione e approvvigionamento del materiale presente nell'area del Mottarone. I costi riportati nella tabella sottostante sono da considerare come biomassa fresca, contenente quindi un tenore di umidità del 40-50%.

Da questa è possibile constatare come il poter includere nelle attività erogate dalla esco anche il servizio di trasporto, lavorazione stoccaggio può far diminuire molto il costo di approvvigionamento.

Tabella 5-1 Costi di approvvigionamento della biomassa fresca

Costi gestione e approvvigionamento biomassa fresca			
Materiale presso cantiere forestale	<i>Tronco</i>	3,5	€/q
	<i>Rami</i>	1,5	€/q
Trasporto da cantiere forestale a impianto	-	2	€/q
Cippatura	-	1,5	€/q
Costo cippato di tronco presso impianto	-	7	€/q
Costo rami tritati presso impianto	-	5	€/q

Oltre alle conoscenze legate al territorio, per poter erogare un servizio efficiente è necessario analizzare le alternative tecnologiche, così che risulta possibile prendere delle decisioni sulla soluzione ottimale.

5.2 Analisi delle alternative tecnologiche

Nelle sezioni precedenti sono state definite le condizioni al contorno che caratterizzano questo processo, quindi i requisiti necessari per costituire una filiera integrata bosco energia.

Le alternative tecnologiche presenti per valorizzare energeticamente i residui legnosi possono essere molteplici.

In questa sezione si provvederà ad un'analisi degli impianti disponibili allo stato dell'arte in grado di fornire un servizio sia efficiente che allo stesso tempo affidabile e compatibile con le disponibilità finanziarie.

L'analisi effettuata è inerente a soluzioni tecnologiche definite di *minicogenerazione*, cioè impianti di taglia non superiore ai 200 kW elettrici in grado di produrre in maniera combinata energia elettrica e calore a partire dalla stessa energia primaria consumata.

In vantaggi di questo tipo di tecnologia sono quelli di poter sfruttare maggiormente il potenziale energetico contenuto nella biomassa rispetto alla sola produzione termica. La spiegazione all'affermazione appena fatta rientra in quello che in Ingegneria Energetica si definisce *Analisi Exergetica*.

Infatti, le caldaie tradizionali a biomassa per la sola produzione di energia termica hanno rendimenti molto elevati dal punto di vista energetico (circa il 90%). Dal punto di vista exergetico invece le efficienze risultano molto scadenti. Infatti nella camera di combustione della caldaia, i livelli di temperatura risultano prossimi ai 1500 K, mentre l'energia termica richiesta dalle utenze risulta ad un livello di temperatura pari a circa 353 gradi Kelvin.

Quindi l'elevata differenza di temperatura tra la disponibilità e la richiesta energetica è indice di un elevato contenuto exergetico che non viene sfruttato.

Risulta conveniente interporre tra i due livelli di temperatura un ciclo in grado di sfruttare l'elevato potenziale energetico per la produzione di energia elettrica, il cui livello di temperatura richiesto è maggiore circa 500 K, e sfruttare il potenziale energetico allo scarico della turbina per soddisfare l'utenza termica essendo questa richiesta a minor temperatura.

La soluzione scelta deve avere determinati requisiti quali:

- Valorizzare un quantitativo di legna presente all'interno di un'area avente raggio di 25 km. Questo è stato stimato analizzando il territorio e risulta circa pari a 3000 tonnellate annue di biomassa legnosa disponibile. La qualità della biomassa, in termini di pezzatura e umidità, non avrà valori costanti.
- Produzione e distribuzione tramite rete di teleriscaldamento di 1.500 MWh termici annui per la climatizzazione di un condominio e di un centro sportivo. La temperatura richiesta in mandata alla rete deve risultare intorno ai 110°C.
- Produzione di una potenza elettrica massima pari a 200 kW;
- Collocazione in un centro urbano prossimo alle utenze e avente un definito spazio in cui operare;
- Affidabilità tecnologica;
- Costi di investimento e gestione contenuti;

Considerando che il tipo di biomassa è relativamente secca, dato il valore medio di umidità del 40%, i processi energetici che prevalgono sono quelli termochimici quali la *combustione* e la *piro-gassificazione*.

I due processi sono simili, distinguendosi prevalentemente per il contenuto di aria con cui la biomassa entra in contatto; nella combustione tale quantitativo risulta maggiore rispetto a quello stechiometrico, nella gassificazione minore.

Questo comporta che, mentre nella combustione l'eccesso d'aria permette di ossidare tutto il combustibile producendo una reazione esotermica ad alta temperatura, nella gassificazione si ottengono prodotti finali gassosi non completamente ossidati, da usare come gas combustibile.

Il vantaggio del gassificare un combustibile come la biomassa è quello di poter eliminare i componenti solidi ottenendo così un gas di sintesi utilizzabile in motori a combustione interna - alternativi o turbine a gas- aventi rendimenti di conversione elettrica maggiori grazie alle maggiori temperature massime raggiungibili.

Inoltre il processo di gassificazione permette di togliere con le ceneri elementi altrimenti problematici per la successiva fase di combustione, quali ad esempio cloro e potassio, consentendo la produzione di un gas molto pulito con conseguenze positive sia a livello d'impatto ambientale che per la maggior facilità di manutenzione delle apparecchiature.

Nonostante questi aspetti molto positivi della gassificazione, ad oggi non risulta ancora abbastanza affidabile; i fermo macchina sono frequenti e i requisiti riguardo la biomassa in ingresso sono troppo restrittivi. Inoltre, nello specifico caso qui analizzato, un impianto di gassificazione non risulta compatibile, dal punto di vista degli ingombri, rispetto all'area disponibile nel comune di Bagnella.

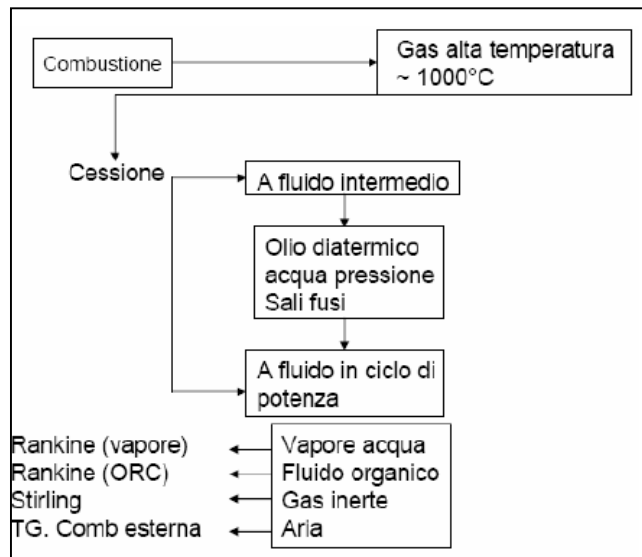


Figura 5-3: Processi per il recupero energetico di gas combustibili

Dovendo scartare il processo di gassificazione, la tecnologia più affidabile e compatibile con i requisiti sopra esposti risulta quella della combustione esterna in caldaia ed il successivo recupero di calore contenuto nei gas combustibili.

Per il recupero di tale calore le possibili alternative sono:

- Cedere calore direttamente al un fluido motore
- Interporre un fluido termovettore tra i gas combustibili e il fluido motore. Questa soluzione viene adottata per esempio nei cicli ORC dove i fluidi organici non possono entrare in contatto con temperature troppo elevate per problemi di cracking molecolare

Una volta che il fluido motore ha acquisito l'energia necessaria, i possibili cicli di produzione di potenza sono:

1. Ciclo Rankine con turbina a vapore d'acqua
2. Ciclo Rankine con turbina a fluido organico
3. Ciclo combinato acqua-fluido organico
4. Ciclo Stirling con motore a combustione esterna

5. Ciclo Joule Bryton con turbina a gas a combustione esterna
6. Ciclo combinato gas-fluido organico

Il ciclo Stirling, per quanto vantaggioso per piccole applicazioni, non risulta essere in grado di produrre abbastanza potenza rispetto a quanto richiesto, sia a livello termico che a livello elettrico.

Il ciclo Joule Bryton con turbina a gas a combustione esterna risulta avere invece costi ed ingombri troppo elevati, oltre che bassi rendimenti causati dalla presenza dello scambiatore di calore, quindi limitata temperatura massima raggiungibile.

Verranno quindi prese in considerazione le prime tre opzioni.

5.2.1 Profilo di consumo termico locale

Per poter definire i profili di produzione e consumo relativi ai flussi energetici è necessario analizzare la domanda di richiesta termica attuale da parte delle utenze allacciate alla rete di teleriscaldamento.

Come anticipato prima la fornitura del calore sarà finalizzata al riscaldamento di un centro sportivo e di un condominio costituito da 12 appartamenti. Dalle bollette prelevate, tolta la quota relativa al consumo di acqua sanitaria – circa il 10 % del totale- è stato possibile costruire le di seguito riportate.

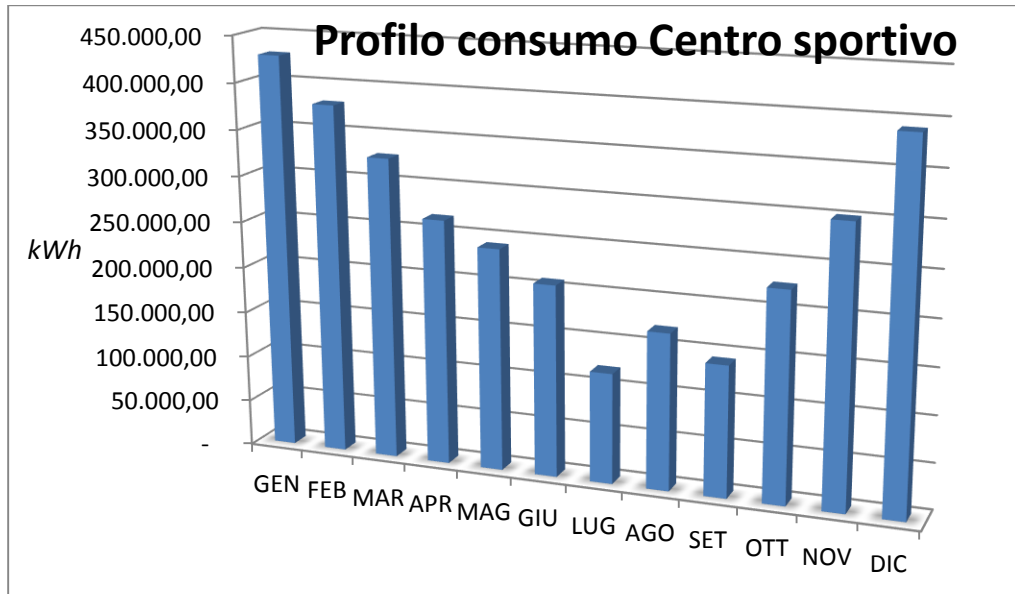


Grafico 5.1: Profilo di domanda termica annuale de centro sportivo

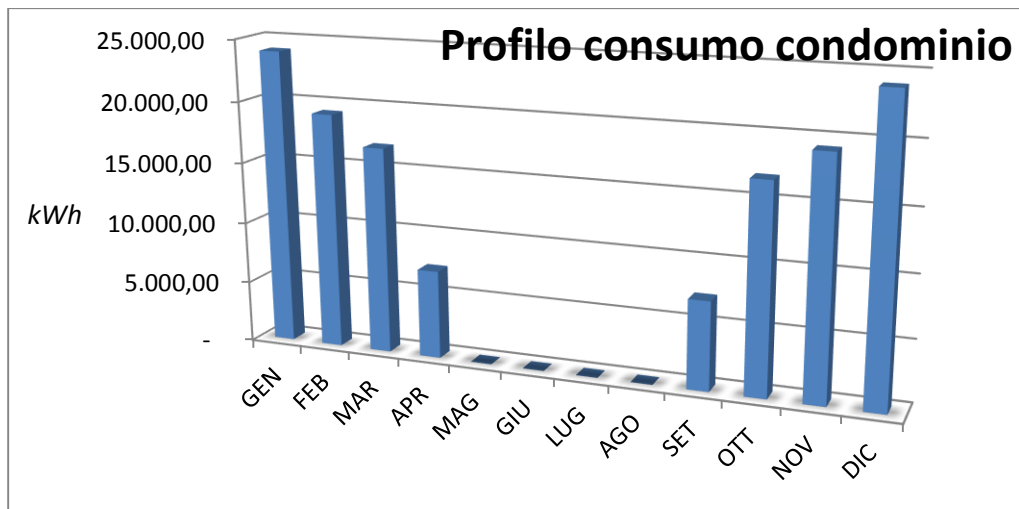


Grafico 5.2: Profilo di domanda termica annuale condominio

Emerge quindi che l'energia termica richiesta totale è di 1.666 MWh all'anno. Considerando che i picchi verranno coperti dalle attuali caldaie a gas, la domanda termica a cui il sistema dovrà rispondere risulta pari a 1500 MWh, corrispondenti a 3000 ore equivalenti di fornitura del calore.

5.2.2 Ciclo cogenerativo basato su turbina a vapore

Il ciclo risulta essere a vapore d'acqua surriscaldato, raggiungendo infatti le temperature massime di 280 °C e 21 bar.

La caldaia, a griglia mobile e caricamento automatico, risulta essere di notevole dimensioni e complessità impiantistica data le condizioni a cui deve essere portato il vapore in ingresso turbina. Di seguito verrà descritto il processo in maniera dettagliata.

Descrizione del processo: Il processo è in grado di fornire calore alle utenze locali tramite lo spillamento regolato tra gli ultimi due stadi della turbina alle condizioni di vapore saturo alla temperatura di 110 °C e 1,5 bar tra. Tale regolazione avviene grazie ad una valvola di by pass collocata tra lo spillamento della turbina e la rete di teleriscaldamento; regolando l'apertura di questa valvola, e quindi la portata di vapore spillata, è possibile modulare la quantità di calore reso disponibile alle utenze.

La potenza elettrica prodotta dalla turbina a vapore rimane costante a spese di un maggior consumo di combustibile, quindi maggior portata di vapore prodotta dalla caldaia.

Il rapporto tra la quantità di vapore prodotta e la potenza assorbita dalla caldaia è rappresentato dal seguente grafico.

Tabella 5-2: Caratteristiche dei flussi energetici prodotti da impianto a vapore di H2O

Calore cogenerativo @ 110°C	Portata di vapore prodotta e smaltita dalla caldaia	Potenza ingresso impianto	η impianto, netto
[kW]	[kg/s]	kW	%
-	0,44	1.421,80	0,11
500,00	0,49	1.558,52	0,10

I componenti di tale sistema sono:

- *Camera di combustione;*
 - *Turbina a vapore:* Turbina multistadio a vapore d'acqua avente potenza nominale di 200 kW elettrici. Le condizioni in ingresso della TV sono quelle di vapore surriscaldato a 280 °C e 21 barA. In uscita si avrà un flusso bifase alla temperatura di 95°C e 0,1 bar.
 - *Condensatore:* Il condensatore è costituito da uno scambiatore acqua-acqua dimensionato per smaltire una potenza nominale di 1000 kW. Successivamente, l'acqua refrigerante viene inviata ad un sistema costituito da una torre evaporativa in parallelo con la sezione di recupero termico per un eventuale essiccazione della biomassa.
 - *Degasatore:* Questo ha sia la finalità di estrazione degli incondensabili che di rigeneratore a miscela. I flussi in ingresso ed in uscita sono:
 - *Flussi in ingresso:* Acqua liquida proveniente dal condensatore, reintegro dal sistema di trattamento, liquido proveniente da sistemi di drenaggio e vapore proveniente dalla turbina;
 - *Flussi in uscita:* Sfiato dei gas disciolti, acqua opportunamente degasata prelevata dalle pompe per alimentare il ciclo ed eventuali flussi in uscita dalle valvole di sicurezza;
 - *Economizzatore:* Il liquido, opportunamente degasato, viene mandato dalla pompa di alimento all'economizzatore. Questo è uno scambiatore acqua-fumi che ha lo scopo di preriscaldare il liquido prima dell'immissione in caldaia, aumentando così il rendimento del ciclo;
 - *Corpo cilindrico:* il corpo cilindrico riceve sia il liquido proveniente dall'economizzatore che il vapore saturo prodotto dai vari banchi evaporativi. Il vapore saturo successivamente uscendo dal corpo cilindrico prosegue verso i surriscaldatori;
-

- *Evaporatore e surriscaldatore*: Questi scambiatori di calore permettono l'evaporazione e il raggiungimento delle condizioni di surriscaldamento adatte all'immissione in turbina. Come esplicitato sopra, tra i banchi evaporativi e i surriscaldatori, il vapore saturo viene fatto convergere in un corpo cilindrico.
 - *Trattamento acqua*: Questo sistema produce acqua con le caratteristiche idonee al reintegro nel ciclo. Esso è costituito da un addolcitore per diminuire la durezza dell'acqua ioni calcio e magnesio, metalli pesanti e da un sistema di demineralizzazione ad osmosi inversa.
 - *Abbattimento inquinanti*: Questo è costituito da un ciclone in serie ad un filtro a maniche. La disposizione in serie di questi due dispositivi permette il raggiungimento dei valori di emissioni entro i limiti imposti dalle normative vigenti.
 - *Circuito dell'aria compressa*: Attraverso un compressore, serbatoio, sistema di sicurezza, essiccazione aria e drenaggio acqua, viene preparata l'aria utilizzata per la pulizia automatica degli scambiatori di calore e per altri azionamenti pneumatici.
 - *Strumentazione*: Misuratori di livello e di portata, termocoppie e misuratori di pressione permettono il controllo dei principali parametri di processo che grazie al PLC possono essere impiegati per l'automazione dell'impianto.
 - *Valvolame e raccorderia*: Valvole a farfalla, a globo, a sfera e a saracinesca sono installate ognuna con una specifica funzionalità. Queste sono tra gli organi più importanti all'interno del processo poiché permettono di controllare i flussi, regolare le portate e moderare le avarie es. valvole di sicurezza. Il PLC è proprio grazie alle valvole che permette di rendere il servizio automatico e continuativo.
 - *Ventilatori, pompe e compressori*: Questi organi rotanti hanno ognuno un ruolo essenziale; i ventilatori consentono la convezione forzata nella torre evaporativa, le pompe permettono la circolazione dell'acqua e il raggiungimento delle condizioni richieste per la produzione di potenza, mentre i compressori
-

pressurizzando l'aria primaria e secondaria di alimento caldaia, nonché il sistema dell'aria compressa.

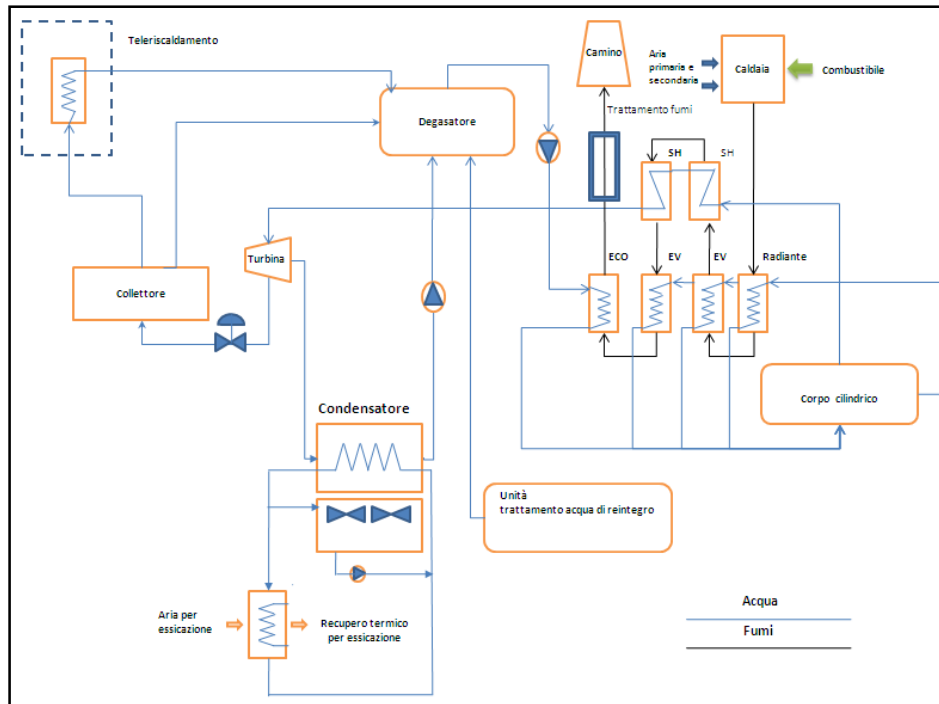


Figura 5-4: Schema di processo impianto CHP a vapore d'acqua

Il profili di produzione sono quelli riportati nel grafico sottostante.

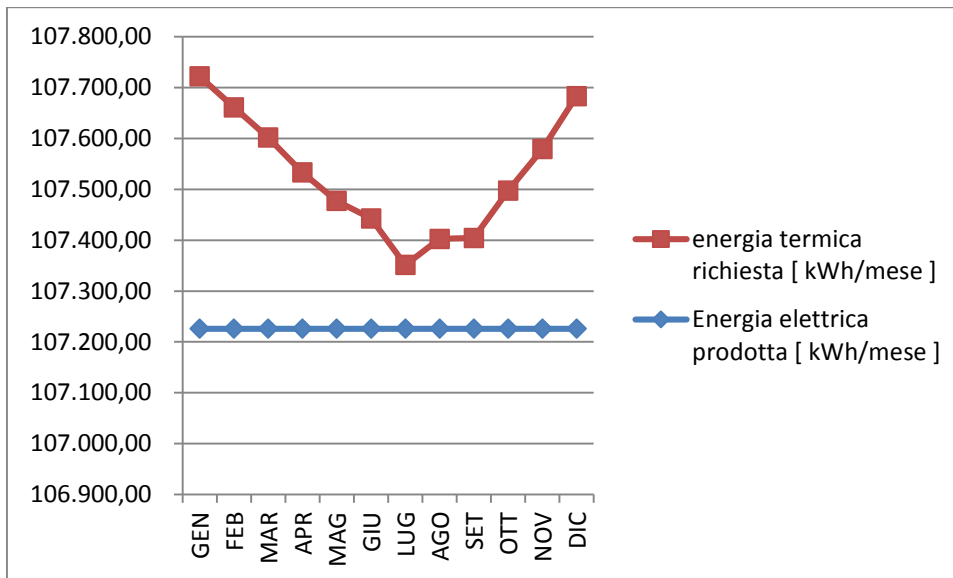


Grafico 5.3: Impianto CHP a vapore d'acqua: Profilo di produzione di energia elettrica e calore

E' possibile verificare come la produzione di energia elettrica rimane costante con la richiesta di energia termica. Questo perché la turbina a vapore, non lavorando bene ai carichi parziali, eroga potenza elettrica costante aumentando il consumo di combustibile.

Il consumo annuo di combustibile risulta circa pari a 3500 tonnellate di cippato avente potere calorifico medio di 3,4 kWh/kg. Questo consumo può essere abbattuto fino a 3000 tonnellate sfruttando il calore di scarto al condensatore attraverso il sistema riportato nello schema di processo.

Le positività di questo impianto derivano dall'utilizzo di un fluido come l'acqua, quindi economico e di facile reperibilità. Inoltre il ciclo, grazie alla temperatura massima relativamente elevata gode in un rendimento modesto; infatti la potenza prodotta lorda risulta di 200 kW elettrici con un potenza assorbita dall'impianto di 1400 kW.

Inoltre questo è una tecnologia affidabile dato l'elevato numero di referenze presenti.

Gli aspetti negativi sono l'elevata complessità d'impianto a causa della presenza di vapore ad elevate temperature e pressioni e del ciclo a spillamento per l'alimentazione delle utenze del teleriscaldamento. Questo porta ad avere elevati costi di investimento e gestione.

5.2.3 Ciclo a fluido organico

Per impianti a vapore di piccola taglia può risultare vantaggioso l'applicazione di un ciclo di potenza a fluido organico. Per produrre energia elettrica e calore attraverso un ciclo ORC i modelli proposti dai produttori prevedono l'installazione di impianti la cui taglia minima di 200 kW elettrici producono almeno 1000 kW termici in contropressione alle temperature richieste 100- 150 °C, cioè condensando a pressioni più elevate per utilizzare così il condensatore come scambiatore di calore per il teleriscaldamento.

Nel caso qui studiato, la potenza necessaria per soddisfare la richiesta termica risulta di 500 kW, così che risulterebbe troppo inefficiente applicare una soluzione come quella esposta sopra a causa dell'eccessiva dissipazione in ambiente di calore ad elevata entalpia.

Una soluzione alternativa, che permetterebbe di produrre energia elettrica con una taglia inferiore ai 200 kW elettrici e allo stesso tempo fornire calore all'utenza è quella di installare una caldaia a vapore che oltre a fornire il calore necessario per coprire la richiesta di energia termica, riesca a fornire un surplus energetico recuperabile con un ORC.

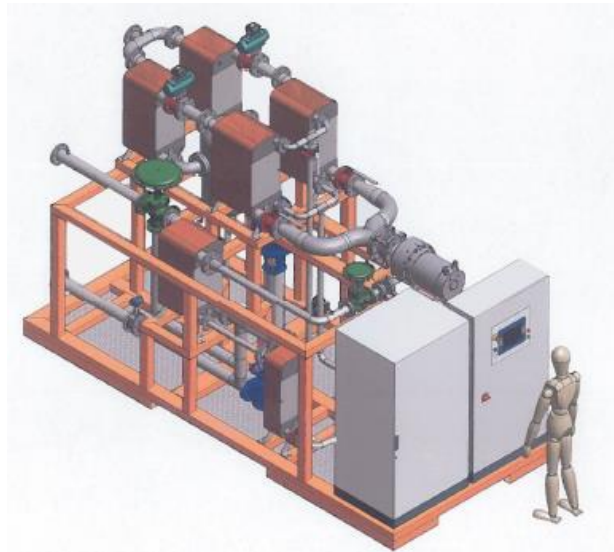


Figura 5-5: Rendering impianto ORC – Fornitore: Zuccato

Lo skid raffigurato sopra è ciò che viene proposta dalla ditta Zuccato, specializzata nella progettazione e produzione di ORC di piccola taglia.

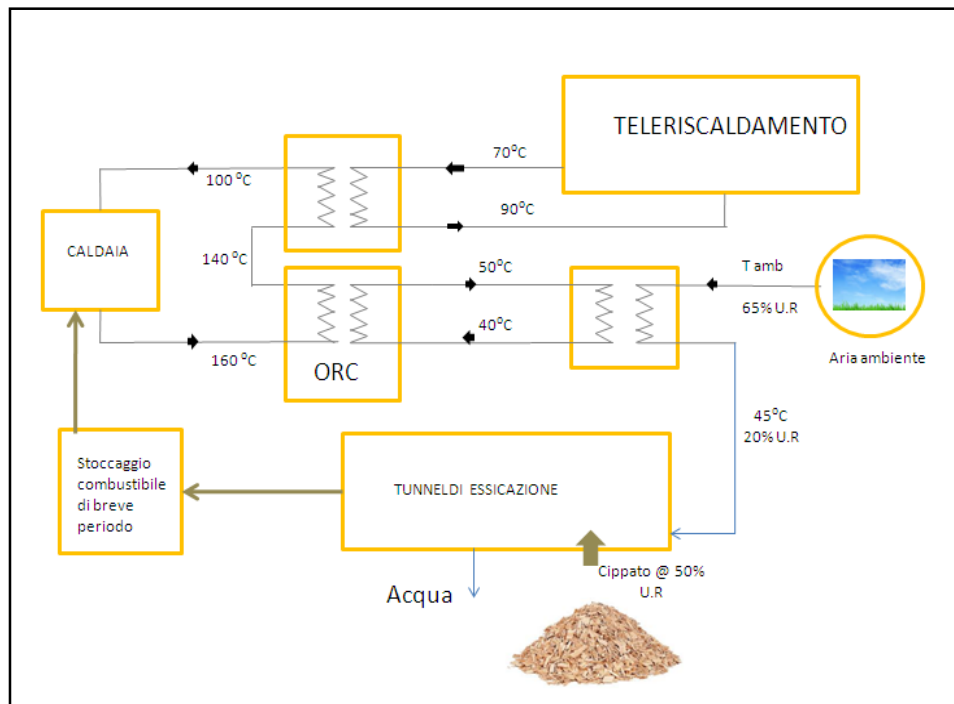
Tabella 5-3: Caratteristiche tecniche turbina ORC 175 kW - Fornitore: Zuccato

Potenza termica ingresso turbina	1.280,	kW
Temperatura acqua calda ingresso	160	°C
Temperatura acqua calda ritorno	140	°C
Portata acqua calda	15,33	kg/s
Potenza di targadella turbina	175,00	kWel

La peculiarità del fluido organico è proprio quella di evaporare a basse temperatura, così da riuscire a produrre potenza sfruttando livelli entalpici che l'acqua non riuscirebbe ad utilizzare.

Applicando quindi una caldaia a vapore dimensionata sull'ordine dei 1.500 kW di potenza, capace di produrre una portata di acqua come richiesta dal ciclo ORC sopra esposto, risulta possibile fornire sia potenza elettrica che termica per soddisfare le utenze. Inoltre la pressione a cui viene prodotto il vapore è 6 bar, così che la caldaia risulta caratterizzata da minori complessità impiantistiche.

Figura 5-6: Schema di processo impianto di produzione combinata di energia termica e calore con turbina ORC da 175 kW



I flussi energetici prodotti sono stati stimati a partire dai consumi mensili delle due utenze. Come risulta mostrato sotto, la produzione è elettrica a seguire. Cioè quando aumenta la richiesta di energia termica diminuisce quella recuperabile dalla turbina ORC

Questo impianto risulta più inefficiente a livello elettrico rispetto a quello sopra riportato, questo a causa della turbina che produce meno potenza elettrica.

Il consumo di combustibile rimane comunque analogo all'impianto a vapore, pari a circa 3500 tonnellate di cippato annue, considerando lo stesso potere calorifico di 3,5 kWh/kg. Questo consumo può diminuire notevolmente collocando un tunnel di essiccazione della biomassa in coda all'ORC, riscaldando quindi l'aria ambiente con il calore di condensazione.

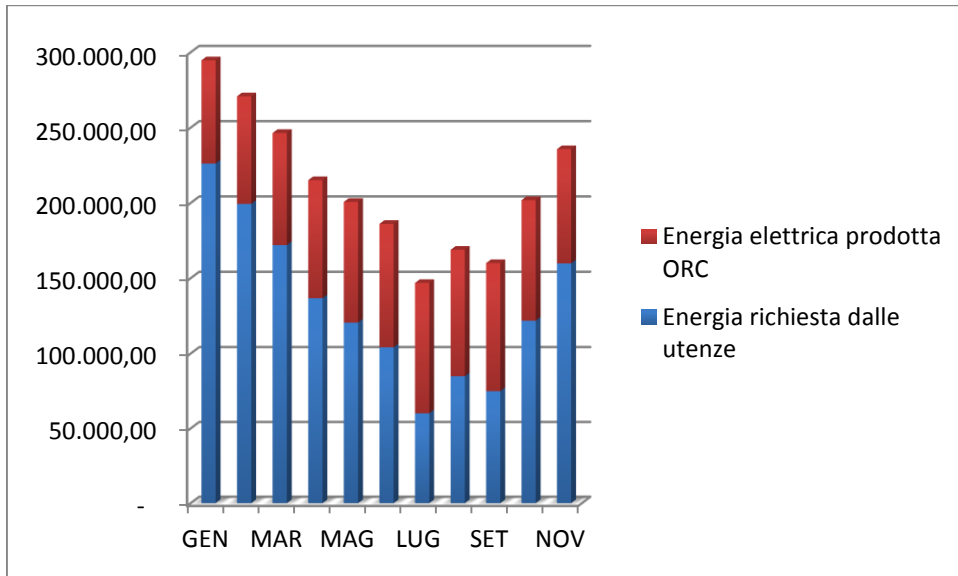


Grafico 5.4: Impianto con turbina ORC: Profilo di produzione di energia elettrica e calore

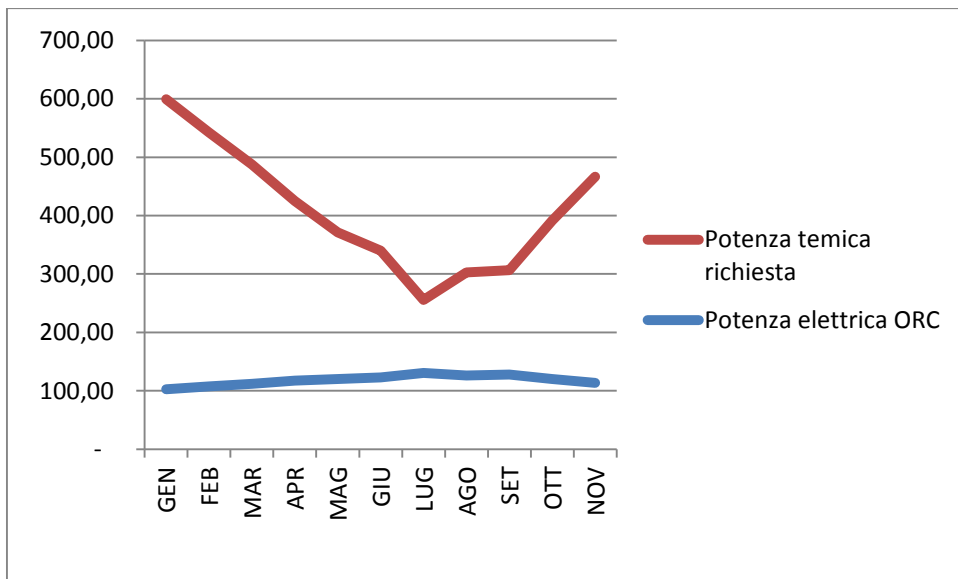


Grafico 5.5: Impianto con turbina ORC: Potenza elettrica prodotta e potenza termica richiesta

La potenza producibile con la turbina ORC ha un massimo nel periodo estivo dove la richiesta termica risulta minima.

Nonostante il minor rendimento elettrico complessivo, questa tipologia impiantistica minimizza i costi di impianto per i seguenti motivi:

- Maggior semplicità impiantistica; le temperature e le pressioni in gioco sono inferiori;
- Esonero parziale del conducente patentato per le minori pressioni a cui viene prodotto il vapore d'acqua
- La turbina ORC risulta avere un numero di stadi nettamente inferiore rispetto alla turbina a vapore a causa del minor salto entalpico presente tra monte e valle della macchina.

Inoltre i costi di manutenzione risultano inferiori, primo le minori potenze in gioco ed inoltre per il fatto che la turbina non ha il problema dell'erosione degli ultimi stadi, diversamente che per la turbina a vapore d'acqua.

La diversa forma della curva di Andrews per un ciclo saturo ideale a fluido organico e ad acqua dipende dalla complessità molecolare dei due fluidi.

Questo permette di capire perché allo scarico di una turbina ORC non si ha il problema delle condense che erodono le palette. Infatti il fluido risulta vapore surriscaldato, motivo per il quale un ciclo ORC ha sempre un recuperatore interposto tra l'uscita dalla turbina e l'ingresso nel condensatore.

Inoltre sempre dalla stessa figura è possibile verificare come il salto entalpico smaltito dalla turbina ORC è inferiore che in quella ad acqua, implicando una diminuzione del numero di stadi necessario. Infatti questo si calcola come:

$$N^{\circ} \text{ stadi} = \frac{\Delta h_{\text{stadio}}}{\Delta h_{\text{tot}}}$$

Dove Δh_{stadio} corrisponde al salto entalpico smaltito dal singolo stadio della turbina.

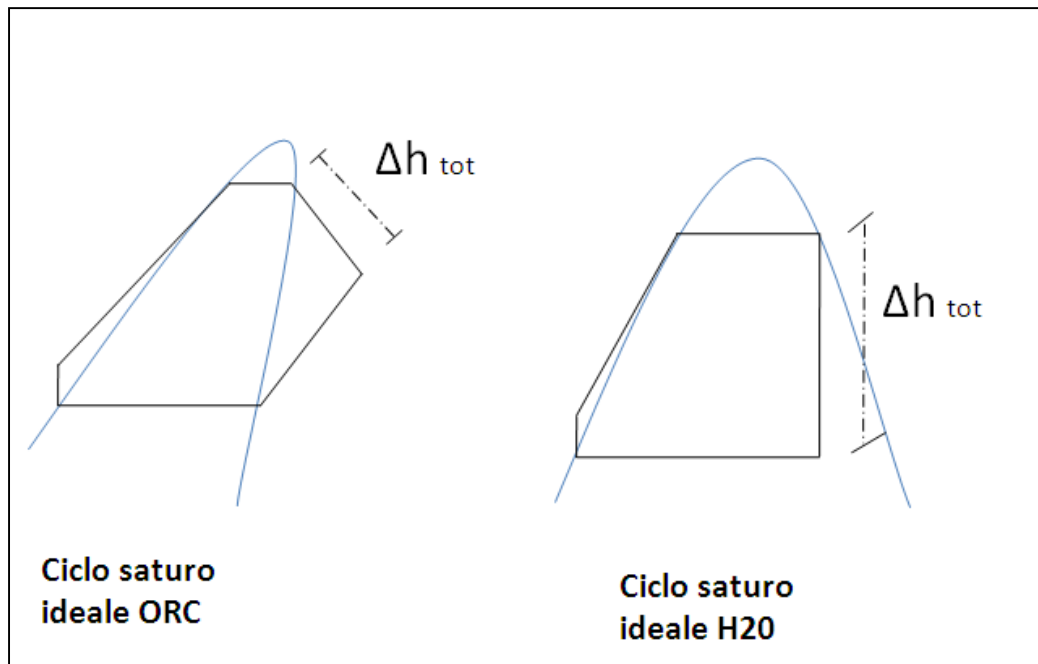


Figura 5-7: Curva di Andrews per ciclo a vapore saturo ideale ORC e H₂O

In impianti di piccola taglia, dove il costo prevalente risulta essere quello della turbina, l'utilizzo di un fluido organico consente di minimizzare il costo d'investimento.

5.2.4 Ciclo combinato acqua / fluido organico

Esiste una tecnologia capace di produrre in maniera combinata energia elettrica e calore sovrapponendo un ciclo a vapore d'acqua ed un ciclo a fluido organico. Questo ciclo sfrutta al meglio le proprietà termodinamiche del vapore sulle alte temperature (150-220°C) e quelle del fluido organico più adatto alle basse temperature (<140°C).

Espandendo quindi il vapore d'acqua in questi campi di pressione (>5 bar) l'espansore produce quantità di energia facendo passare volumi di vapore abbastanza contenuti rendendo l'espansore compatto ed economico.

L'utilizzo di vapor saturo a pressioni non superiori a 24 bar, rende inoltre la caldaia semplice e poco costosa. Al contrario il bottoming a fluido organico,

grazie alle caratteristiche basso bollenti del fluido, è adatto per temperature da 140°C in giù e non necessita del vuoto nel condensatore, perché a 20°C la tensione di vapore è circa 1,2 bar assoluti.

Questo rende possibile l'utilizzo di turbine di piccole dimensioni ad alta velocità che modulano bene in termini di potenza (che è il caso del CleanCycle 125 *General Electric*). E' un sistema quindi composto da caldaia a vapore da 20 bar, turbina ad espansione di vapore saturo (20 bar-5bar) in cascata con sistema ORC CleanCycle 125.

L'applicazione consente lo sfruttamento del calore in assetto cogenerativo a due livelli diversi di temperatura 150°C e 30-35°C.

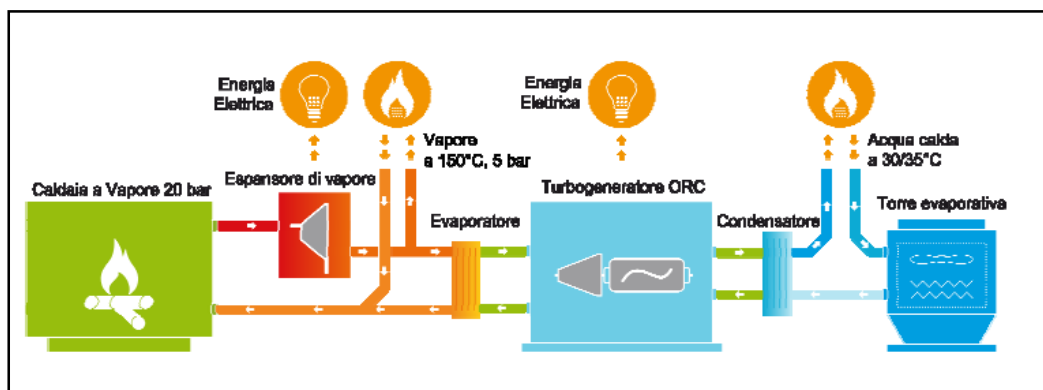


Figura 5-8: Schema di processo Ciclo combinato H2O / ORC

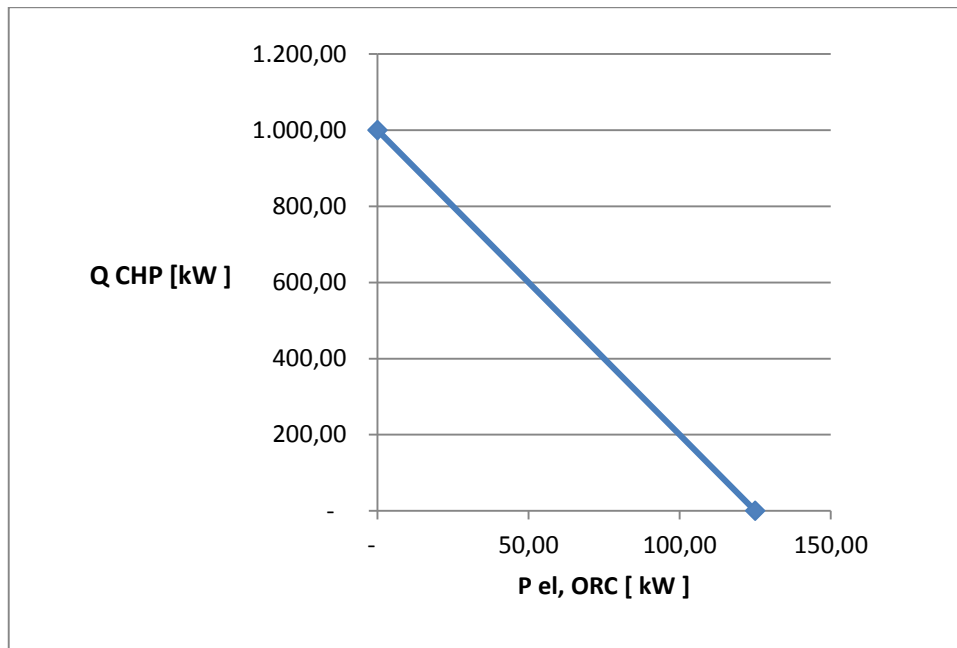


Grafico 5.6: Impianto combinato: Relazione tra calore reso disponibile alle utenze e potenza elettrica prodotta da ORC

Il servizio erogato può quindi essere modulato secondo assetti differenti, massimizzando comunque la produzione di energia elettrica grazie al sistema ORC che risulta essere in grado di adattarsi in maniera ottimale ai carichi parziali. La turbina a vapore d'acqua, le cui performance risentirebbero molto delle variazioni di potenza prodotta, produce energia elettrica continuamente senza variare i carichi.

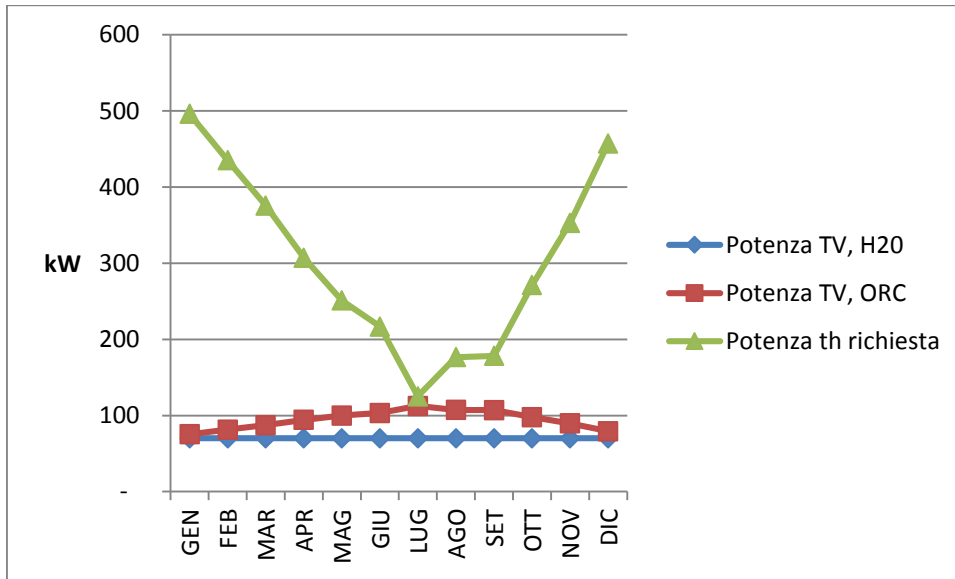


Grafico 5.7: Impianto combinato: Potenze prodotte

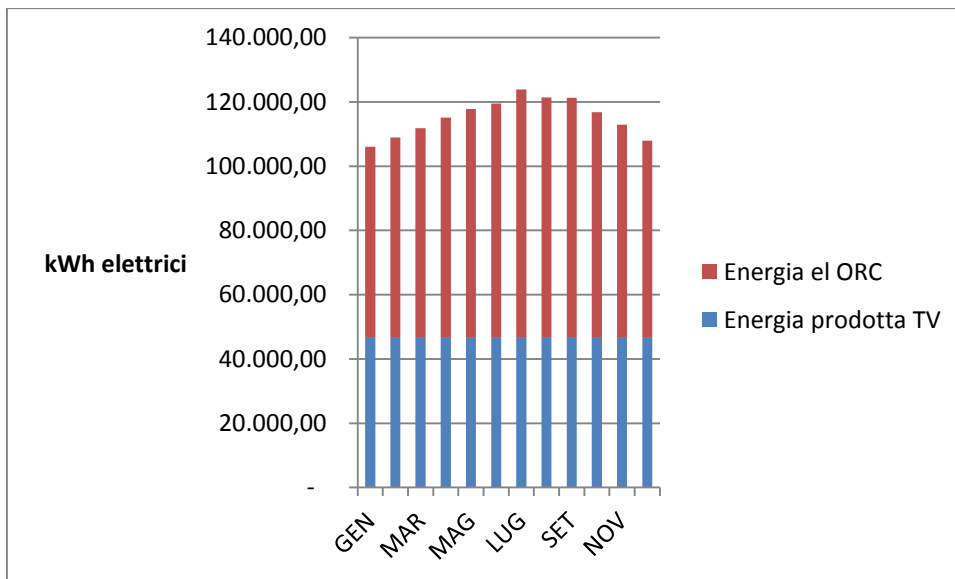


Grafico 5.8: Impianto combinato: Profili elettrici prodotti annualmente

5.2.5 Confronto delle soluzioni analizzate

Avendo analizzato le diverse alternative identificate risulta utile ora confrontarle attraverso una matrice che riassume le principali informazioni riguardo i flussi annui sia energetici che massivi.

I dati utilizzati per generare la tabella seguente sono

- PCI pari a 3,4 kWh/kg
- Ore annue di funzionamento impianto pari a 8000
- Rendimento generatore di vapore pari a 85%

Tabella 5-4: Confronto delle soluzioni analizzate

	Vapore	ORC	Ciclo Combinato
Energia primaria consumata [MWh/anno]	11.757	11.988	10.390
Consumo combustibile [Tonn/anno]	3.458	3.526	3.056
Energia termica prodotta [MWh/anno]	1.501	1.501	1.501
Energia elettrica prodotta [MWh/anno]	1.287	937	1.384
Efficienza elettrica	11%	8%	13%
Efficienza termica	13%	13%	14%

L'efficienza dell'impianto a ciclo combinato risulta maggiore, questo grazie alla disposizione a cascata delle due turbine in moda da massimizzare, in funzione dei livelli di temperatura disponibile, la produzione di energia elettrica.

Per tutti gli impianti sopra citati l'indice di risparmio energetico risulta negativo, infatti il rendimento di riferimento per la generazione elettrica fornito dalle normative risulta del 25% mentre per la produzione termica del 80%, nettamente superiori rispetto alla situazione oggetto di questo studio.

5.3 Studio di fattibilità

In questa sezione verrà analizzata effettivamente quale può essere la miglior strategia d'impresa in grado di garantire la sostenibilità dell'investimento.

La tecnologia selezionata per sviluppare lo studio di fattibilità risulta quella basata sul ciclo a vapore; questo perché l'investitore crede di più in una tecnologia oramai nota e avanzata come quella del ciclo Rankine a vapore d'acqua. Bisogna comunque sottolineare che, i risultati e le considerazioni a seguito di analisi di sensitività su questo tipo di tecnologia si possono facilmente riportare analogamente anche per gli altri due tipi.

Oltre a sviluppare un'analisi di fattibilità sulla centrale cogenerativa è stata svolta una medesima analisi riguardo una centrale termica dalle dimensioni di 500 kW. Senza andare nel dettaglio della descrizione tecnica riguardo quest'ultima, è possibile in questo mondo giungere conclusioni per poter definire una strategia di valorizzazione energetica dei residui boschivi.

L'obiettivo principale è quindi quello definire la redditività del sistema secondo diversi scenari prevedibili attraverso un modello di simulazione che consente di calcolare indici economico finanziari ed analizzare la loro sensitività al variare di alcuni parametri importanti.

In analisi dove la finestra temporale coincide con la vita utile degli impianti, in questo caso 20 anni, gli indici che meglio permettono di qualificare l'investimento sono di natura finanziaria; quindi si prenderà in considerazione il *Net Present Value*, il *Profitability Index* ed il *Pay Back time*.

Risulta quindi necessario analizzare la sensitività del sistema rispetto a parametri che possono variare rispetto ad una situazione presa come riferimento, questo consente di identificare i fattori più critici e i limiti di ammissibilità riguardo le principali variabili.

5.3.1 Impianto CHP a vapor d'acqua

L'impianto oggetto dello studio è quello presentato per il bando regionale, quindi basato su tecnologia a ciclo Rankine a vapore d'acqua.

L'analisi effettuata prevede un primo studio attraverso un set di parametri definiti come riferimento, per poi verificare la sensitività al variare delle principali variabili critiche.

5.3.1.1 Caso di riferimento

Vediamo prima di tutto di definire il NPV ed il PBT secondo un modello statico basato su una situazione che sarà presa poi come riferimento. Per calcolare i *cash flow* annui attualizzati è necessario considerare le seguenti voci:

- Dati e costi d'impianto
- Caratteristiche e costi del combustibile
- Ricavi di produzione
- Costi di produzione e oneri finanziari
- Equity, debity e WACC

Dati e costi d'impianto

Questi riguardano la tecnologia e la sua capacità di convertire l'energia contenuta nel combustibile in energia finale disponibile per il consumo.

Tabella 5-5: Caratteristiche impianto CHP a vapore d'acqua

DATI IMPIANTO	U.d.m	
η elettrico, FE, lordo	-	14%
η elettrico, FE, netto	-	11%
η elettrico, CHP, netto	-	10%
P. Elettrica, lorda, FE	kW	200,00
P. Elettrica, netta, FE	kW	161,00
P. Elettrica, netta, CHP	kW	161,00
P.Termica CHP	kW	500,00
P.Termica Introdotta (FE)	kW	1.421,80
P.Termica Introdotta (CHP)	kW	1.558,52

Tabella 5-6: Così d'impianto CHP ad acqua

COSTI D'IMPIANTO		
Autorizzazioni	Euro	15.000,00
Opere elettromeccaniche	Euro	1.250.000,00
Opere civili	Euro	50.000,00
Allacciamento ENEL	Euro	25.000,00
Ristrutturazione impianto teleriscaldamento	Euro	50.000
Valore Impianti da ammortizzare	Euro	1.390.000,00

Caratteristiche e prezzo del combustibile

Il combustibile utilizzato è cippato di legna e per lo studio del caso base sono state definite le sue caratteristiche e i costi come riportato nelle seguenti tabelle.

Tabella 5-7: Caratteristiche combustibile

CARATTERISTICHE COMBUSTIBILE	
Contenuto idrico*	40%
Contenuto di ceneri**	2%
PCI [kWh/kg]	3,4
<i>* Massa d'acqua presente in rapporto alla massa di legno fresco</i>	
<i>** Contenuto di ceneri presente in rapporto alla sostanza secca</i>	

Tabella 5-8: Costi combustibile

COSTI COMBUSTIBILE		
	Quota di mercato	Prezzo €/tonn)
Mercato di filiera	50%	50,00
Mercato non di filiera	50%	80,00
Prezzo medio acquisto biomassa		65,00

Nonostante i passi avanti che si stanno facendo, le qualità dei biocombustibili rispetto agli idrocarburi non risultano ancora standardizzate. Questo comporta che i lotti acquistati dai vari fornitori possono avere caratteristiche e prezzi differenti.

Le quote di mercato sopra riportate indicano che metà della biomassa acquistata deriva da contratti di rete con operatori locali; quindi consorzi di imprese forestali che operano, attraverso piani di gestione sostenibile, su superfici forestali distanti 25 km dall'impianto. La restante parte deriva dall'acquisto di materiale non di filiera, quindi con soggetti con i quali non è stato stabilito un rapporto di fornitura in ottica di lungo periodo.

Ricavi della produzione

Nel luogo in cui si è deciso di installare l'impianto la domanda di energia termica e le tariffe di acquisto sono quelle riportate in tabella. L'energia elettrica verrà acquistata direttamente dal GSE attraverso la tariffa onnicomprensiva le cui componenti sono specificate nel capitolo precedente).

Tabella 5-9: Ricavi vendita energia termica

ENERGIA TERMICA				
Utenza	Richiesta	Produzione	Tariffa	Ricavi
U.d.m	MWh/anno	MWh/anno	€/MWh	€/anno
Piscina	1.140,00	1.140,00	40,00	45.600,00
Condominio	360,00	360,00	60,00	21.600,00
Totale	1.500,00	1.500,00	-	67.200,00
Ore equivalenti in assetto CHP:				3.000

Tabella 5-10: Ricavi vendita energia elettrica

ENERGIA ELETTRICA			
	Produzione	Tariffa onn.	Ricavi
	MWh/anno	€/MWh	€/anno
Assetto CHP	483,00	307,00	148.281,00
Assetto FE	805,00	287,00	231.035,00
Totale	1.288,00	-	379.976,00
Ore equivalenti in assetto FE:			5.000

Tabella 5-11: Totale ricavi della produzione

TOTALE RICAVI DELLA PRODUZIONE		
Totale ricavi	Euro/anno	447.176

Costi della produzione e oneri finanziari

I costi della produzione inerenti al combustibile, con i costi e le modalità specificati sopra sono:

COSTO COMBUSTIBILE		
	tonn/anno	€/anno
Acquisto da filiera	1.457,8	72.889,1
Acquisto fuori filiera	1.457,8	116.622,5
Totale	2.915,6	189.511,6

Gli altri costi della produzione sono legati alla manutenzione ordinaria dell'impianto, ai costi assicurativi e ad altre voci come qui di seguito riportati.

Tabella 5-12: Costi di gestione

COSTI DI GESTIONE		
Costo Contratto O&M (su prod. Lorda)	€/MWh	20
	€/anno	25.760
Costo personale addetto alla centrale	€/ anno	35.000
Costo smaltimento ceneri + gasolio + E.E.	€/ anno	5.000
Costo assicurazione AllRisk + sicurezza	€/ anno	5.000
Affitto terreno (DDS)	€/ anno	7.500
Altri costi	€/ anno	5.000
Diritti comunità montana	€/ anno	750
Totale costi di gestione	€/ anno	84.010

Oneri finanziari dipendono dal quantitativo di soldi presi a prestito, dal tasso di interesse associato e dalla durata del finanziamento.

Tabella 5-13: Costo di investimento

Capitale totale richiesto		1.390.000,00
Equity	euro	90.000,00
Finanziamento a fondo perduto	euro	200.000,00
Debiti	euro	1.050.050,00
Costo del capitale preso in prestito	-	5,50%
Costo del capitale proprio	-	5%
Durata finanziamento	anni	15

Gli oneri finanziari risultano così aventi un valore decrescente, come riportato dal seguente grafico:

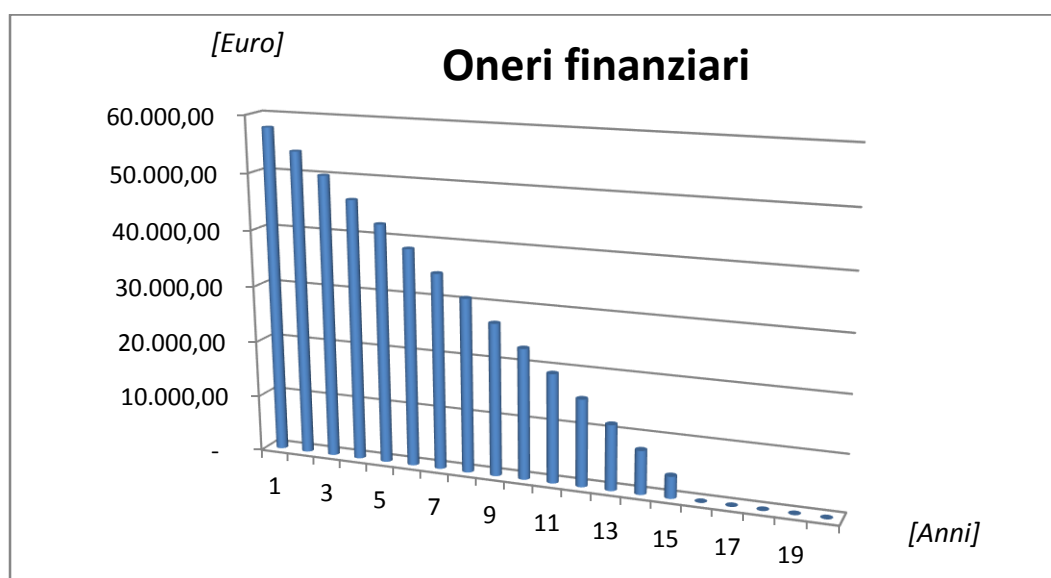


Grafico 5.9: Quota annuale degli oneri finanziari

WACC Weighted Average Cost of Capital:

Grazie alle informazioni contenuto nella tabella sopra è possibile calcolare il WACC, quindi il costo medio ponderale del capitale:

$$K = K_D * \frac{D}{E + D} + K_E * \frac{E}{E + D}$$

Che nel nostro caso risulta:

$$K = 5\%$$

A questo punto è immediato il calcolo del NPV nell'ipotesi in cui il valore terminale dell'impianto risulta nullo e che l'esborso di capitale avvenga tutto all'anno zero.

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^{20} \frac{CashFlow}{(1+K)^t}$$

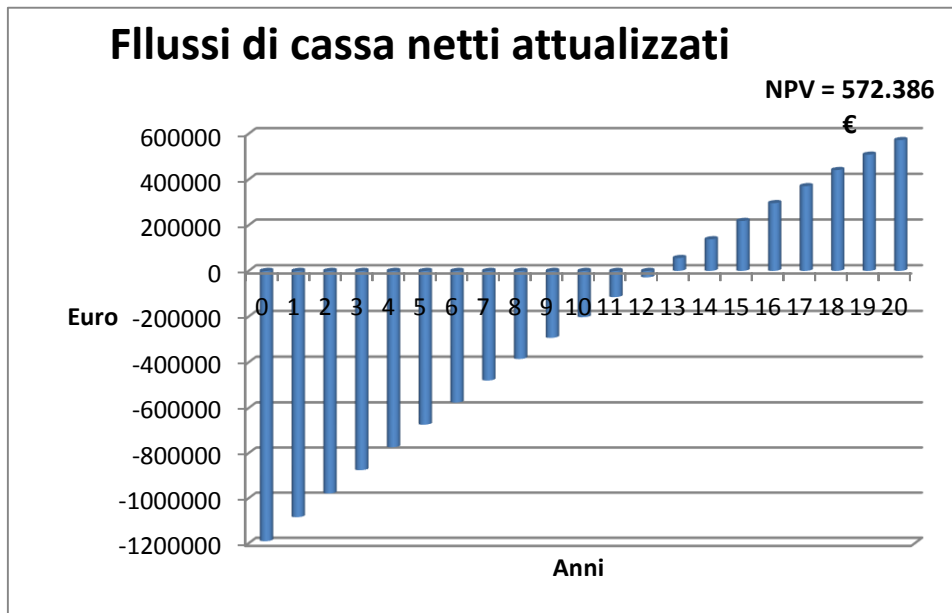


Grafico 5.10: Andamento dei flussi di cassa netti attualizzati

Il valore positivo del NPV alla fine del ciclo di vita dell'impianto indica il successo dell'investimento, nonostante un PBT troppo allungato.

La tabella sottostante riassume i principali indici sulla qualità dell'investimento:

Tabella 5-14: Valutazione dell'investimento

Valutazione dell'investimento		
NPV	<i>Euro</i>	572.386
PBT	<i>Anni</i>	13,18
PI	-	1,48

5.3.1.2 Analisi di sensitività:

L'analisi di sensitività è quella tecnica manageriale che cerca di individuare le variabili critiche alla performance reddituale o finanziaria di un progetto. Lo scopo è quello di costruire più scenari economici assegnando a queste variabili valori di massima e di minima al fine di verificare lo scostamento nella performance imprenditoriale indotta da tali cambiamenti.

Risulta quindi utile indagare la sensibilità del business al variare di alcune ipotesi di calcolo, e dunque, l'attendibilità (o rischiosità) dei risultati economico-finanziari esposti.

Le variabili identificate sono:

- Richiesta di energia termica: La quantità di energia termica venduta annualmente è direttamente correlata alla domanda locale, che per molteplici motivazioni può aumentare o diminuire.
- Prezzo acquisto della biomassa: Il prezzo di acquisto della biomassa è una delle variabili maggiormente soggette ad oscillazioni. Le motivazioni per cui il prezzo della biomassa può cambiare sono legate sia a fattori legati al territorio che all'organizzazione delle attività come espresso nei capitoli precedenti. Per esempio, incrementando i processi

di gestione attiva dei boschi locali si andrebbe incontro ad un aumento dell'offerta di residui legnosi e quindi ad un calo del prezzo di mercato. Inoltre può causare una variazione del prezzo la resilienza del territorio il quale se risulta essere capace di adattarsi e organizzarsi per rispondere alla domanda di biomassa locale, il costo può scendere e diventare maggiormente competitivo.

- Efficienza elettrica di conversione
- Costo d'impianto
- K_D: Costo del capitale di terzi
- Costo combustibile fossile: La tariffa proposta agli utenti finali dipende direttamente dal prezzo di acquisto del calore ante intervento, quindi legato al prezzo del combustibile fossile.

Queste variabili sono state fatte variare dello stesso incremento percentuale, da un valore minimo ad uno massimo, utilizzando come riferimento i valori utilizzati nel caso di riferimento.

La seguente matrice riporta le variabili utilizzate come input per il modello di sensibilità:

Tabella 5-15: Variabili di sensibilità impianto a vapore d'acqua

Variabili di sensibilità	U.d.m	ID
Domanda di energia termica	MWh/anno	1
Rendimento impianto	-	2
Costo combustibile	€/tonn	3
Costo impianto	k€	4
Costo capitale di terzi	-	5
Costo manutenzione	€/anno	6
Costo combustibile fossile	€/MWh	7

Tabella 5-16: Intervallo di variazione delle variabili di sensitività

ID	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
1	750	900	1.050	1.200	1.350	1500	1.650	1.800	1.950	2.100	2.250
2	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	17%
3	31	37	43	49	55	61,5	68	74	80	86	92
4	695	834	973	1.112,00	1.251,00	1.390,00	1.529,00	1.668,00	1.807,00	1.946,00	2.085,00
5	3%	3%	4%	4%	5%	6%	6%	7%	7%	8%	8%
6	32.005,00	38.406,00	44.807,00	51.208,00	57.609,00	64.010,00	70.411,00	76.812,00	83.213,00	89.614,00	96.015,00
7	25,25	30,3	35,35	40,4	45,45	50,5	55,55	60,6	65,65	70,7	75,75

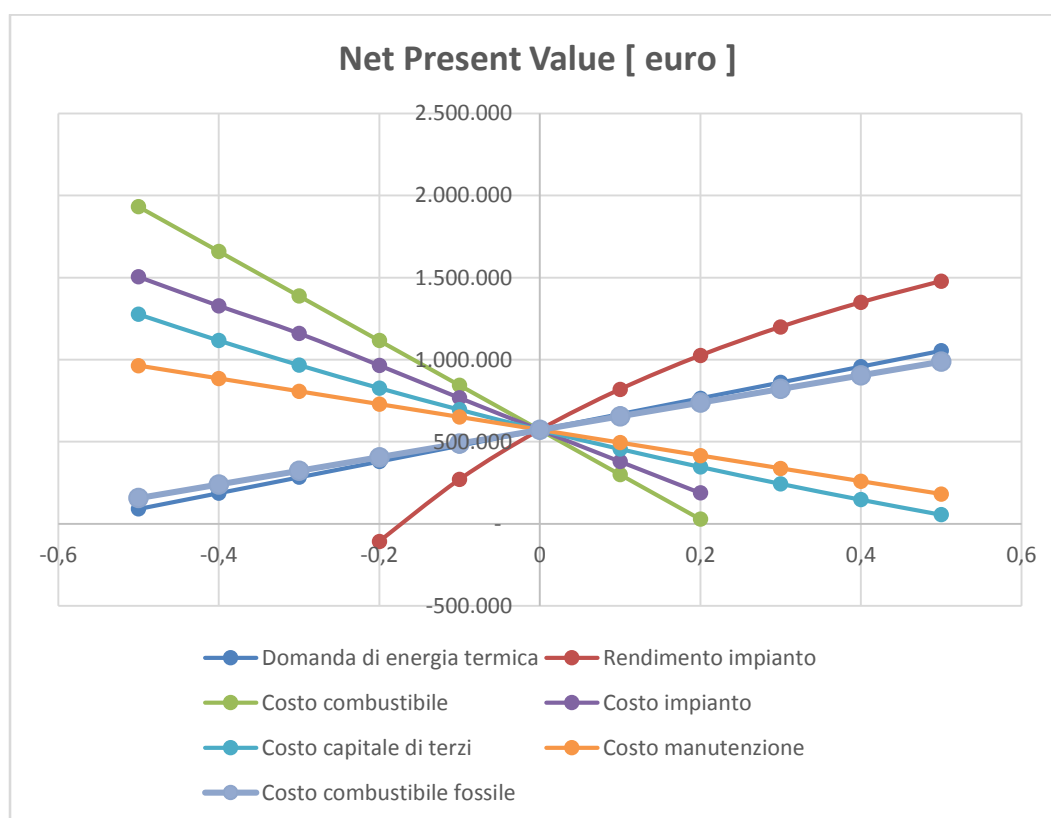


Grafico 5.11: Analisi di sensitività centrale CHP – Output NPV

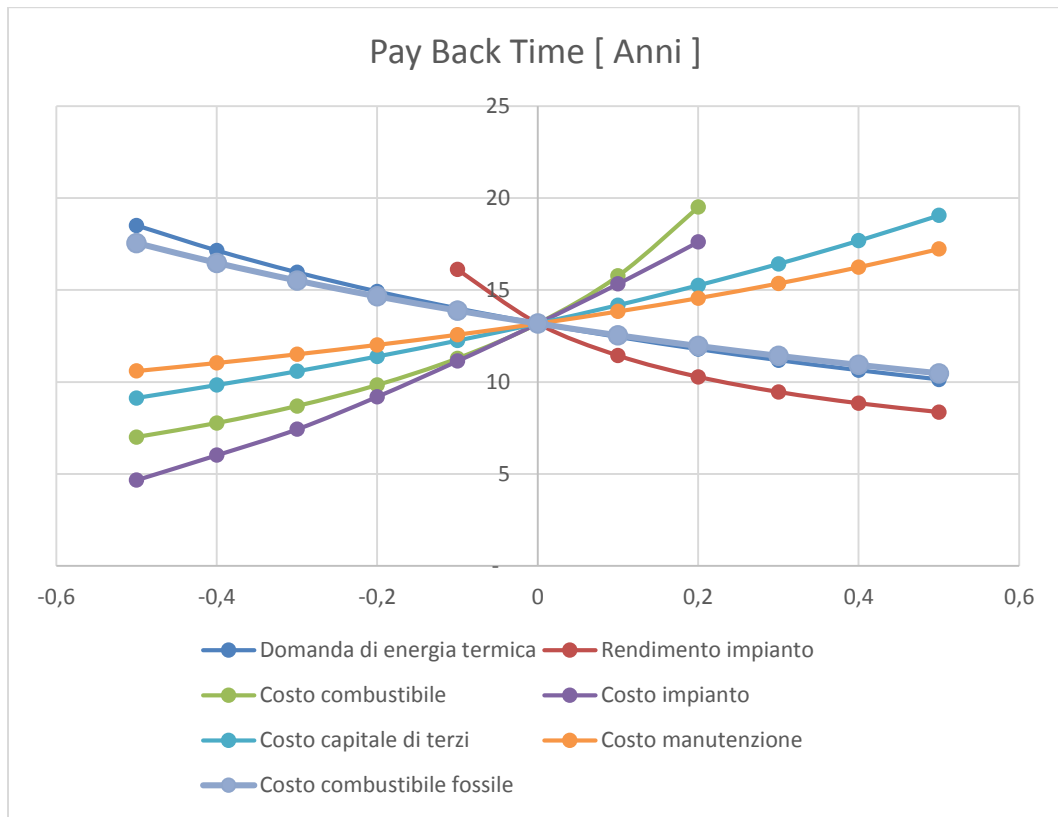


Grafico 5.12: Analisi di sensitività centrale CHP - Output PBT

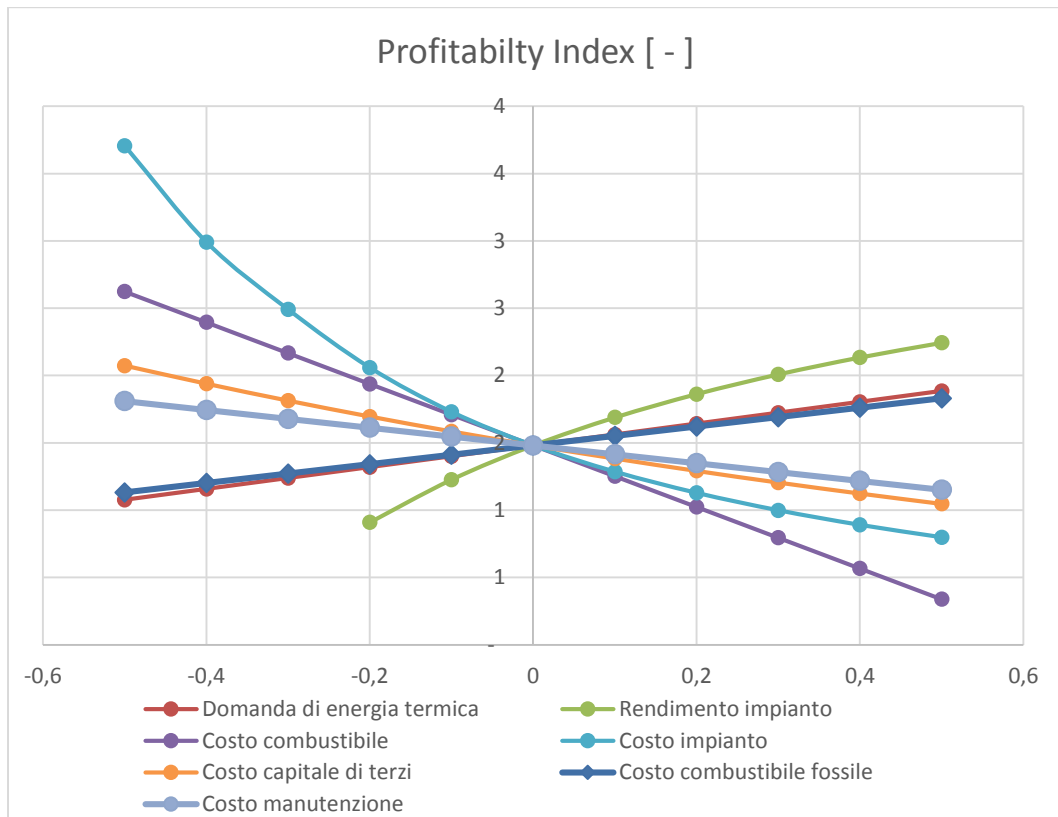


Grafico 5.13: Analisi di sensitività centrale CHP - Output PI

L'analisi ha consentito di evidenziare le variabili che influenzano maggiormente la redditività dell'impianto. Queste sono il rendimento elettrico ed il costo del combustibile. Anche piccole variazioni del rendimento, a parità di energia elettrica prodotta e di richiesta termica, implicano scostamenti considerevoli per quanto riguarda il consumo del combustibile.

La formula che descrive il legame tra efficienza di conversione e consumo di combustibile è la seguente:

$$\eta = \frac{\text{Energia prodotta}}{\text{Consumo combustibile} * PCI}$$

Come evidenziato nel grafico 5.11 la curva rappresentata la sensibilità rispetto al rendimento elettrico d'impianto ha un andamento non lineare. Da questo emerge che piccole perdite di efficienza hanno un forte impatto sui consumi e quindi sulla redditività complessiva.

In progetti di questo tipo dove il combustibile utilizzato ha una bassa densità energetica, unite alle non facili questioni riguardo l'approvvigionamento, minimizzare i consumi di biomassa porta vantaggi considerevoli.

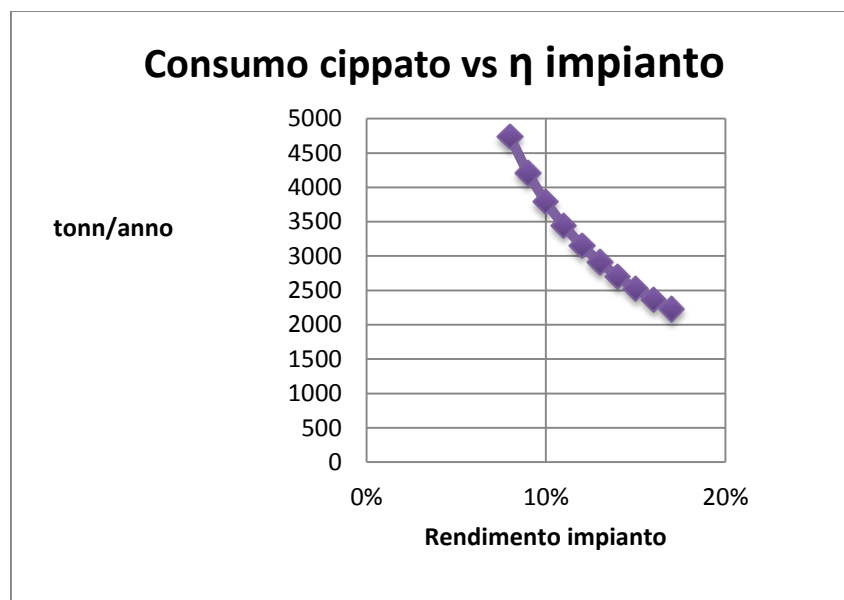


Grafico 5.14: Consumo annuo di cippato

Per quanto riguarda il costo del combustibile questo incide notevolmente poiché le quantità di biomassa consumate annualmente sono elevate, quindi anche piccole variazioni del costo incidono molto.

5.3.1.3 Analisi di sensitività: Prezzo e qualità del combustibile

Il modello utilizzato ha permesso inoltre di definire matrici di scenario bidimensionale per analizzare in modo più specifico l'interdipendenza tra i vari parametri presi in esame.

Al fine di approfondire la relazione tra il costo e la qualità del combustibile con impianti caratterizzati da efficienze di conversione differenti si è costruito un modello che ha fornito una rappresentazione di range di sostenibilità e delle aree oltre le quali l'impianto non risulta sostenibile.

I risultati hanno consentito di raffinare i criteri di scelta del combustibile fornendo un quadro chiaro ed intuitivo per le decisioni in materia di approvvigionamento.

$\eta=11\%$		Prezzo Biomassa (€/tonn)					
		30	40	50	60	70	80
PCI kWh/kg	1,6	-36.085	-926.250	-1.816.414	-2.706.579	-3.596.744	-4.486.908
	2,2	692.231	44.839	-602.553	-1.249.946	-1.897.338	-2.544.731
	2,8	1.108.412	599.747	91.081	-417.584	-926.250	-1.434.915
	3,4	1.377.706	958.805	539.904	121.003	-297.898	-716.799
	4	1.566.211	1.210.145	854.080	498.014	141.948	-214.118

$\eta=14\%$		Prezzo Biomassa (€/tonn)					
		30	40	50	60	70	80
PCI kWh/kg	1,6	189.242	-505.479	-1.200.200	-1.894.922	-2.589.643	-3.284.364
	2,2	757.650	252.398	-252.853	-758.105	-1.263.357	-1.768.609
	2,8	1.082.455	685.471	288.488	-108.496	-505.479	-902.463
	3,4	1.292.623	965.695	638.767	311.840	-15.088	-342.015
	4	1.439.740	1.161.852	883.963	606.075	328.186	50.298

$\eta=16\%$		Prezzo Biomassa (€/tonn)					
		30	40	50	60	70	80
PCI kWh/kg	1,6	291.033	-314.605	-920.243	-1.525.881	-2.131.518	-2.737.156
	2,2	786.554	346.091	-94.373	-534.837	-975.301	-1.415.765
	2,8	1.069.710	723.631	377.552	31.474	-314.605	-660.684
	3,4	1.252.928	967.922	682.916	397.910	112.904	-172.102
	4	1.381.180	1.138.925	896.670	654.415	412.160	169.905

Tabella 5-17: Matrici di sensitività prezzo biomassa – PCI per tre impianti con rendimento elettrico differente

5.3.1.4 Analisi di sensitività: Costo di investimento – rendimento elettrico

Al fine di determinare la qualità dell'investimento dal punto di vista del tempo di ritorno sono state correlate le due variabili più significative per l'acquisto di un impianto ovvero il costo dell'investimento ed il rendimento complessivo dell'impianto. La matrice risultante mostra che per ottenere tempi di ritorno dell'investimento tra i 7 e gli 8 anni è necessario dotarsi di un impianto con un rendimento di almeno il 12 % con un costo al di sotto di 1.100.000 €. Nel modello economico sviluppato in questo studio è stato utilizzato un costo di impianto di 1.390.000 € fornito chiavi in mano con un package inclusivo di tutti i componenti. Risulta evidente la necessità di studiare soluzioni alternative di fornitura della tecnologia. Da una prima indagine effettuata risulta essere possibile diminuire il costo agendo sui seguenti fattori:

- Acquisire componenti singoli dell'impianto da fornitori specializzati ed effettuare le attività di integrazione nei servizi della ESCo
- Valutare tecnologie differenti da quella considerata come ad esempio il Ciclo Combinato vapore-fluido organico avente a parità di costo iniziale un rendimento maggiore del 2 %
- Sostituzione del ciclo a vapor d'acqua con un ciclo a fluido organico, dove è possibile diminuire l'investimento grazie al minor costo della turbina a fluido organico.

Pay Back Time [anni]		Costo investimento [Euro]					
		1.000.000,00	1.100.000,00	1.200.000,00	1.300.000,00	1.400.000,00	1.500.000,00
Rendimento	9%	9	10	12	13	15	17
	10%	8	9	11	12	14	15
	11%	8	9	10	11	13	14
	12%	7	8	10	11	12	13
	13%	7	8	9	10	12	13
	14%	7	8	9	10	11	12
	15%	7	8	9	10	11	12
16%	6	7	8	9	11	12	

Tabella 5-18: Matrice di sensitività rendimento e costi di investimento

5.3.1.5 Analisi dei fattori di rischio: Centrale CHP a vapor d'acqua

La corretta impostazione del progetto richiede che sia per gli aspetti di accesso al credito che per la realizzazione della contrattualistica secondo il modello ESCo a redditività garantita, vengano evidenziati e gestiti correttamente tutti i rischi di progetto.

Durante l'analisi prima effettuata è emerso che il sistema risulta particolarmente sensibile alla variazione di parametri che non possono essere determinati a priori. Per esempio, mentre il rendimento d'impianto è fissato *ex ante* e le performance vengono garantite da appositi test eseguiti dal fornitore di tecnologia, parametri quali il costo del combustibile o la richiesta di energia termica possono assumere variazioni nel tempo anche considerevoli.

In questo tipo di progetti, i fattori di rischio rientrano prevalentemente all'interno di tre categorie; rischio legato all'approvvigionamento, rischio tecnologico ed il rischio inerente alla domanda di energia.

In generale, sono stati identificati le seguenti criticità:

Interruzione della domanda termica
Questo è stato simulato andando a modificare la domanda di energia termica rispetto a quanto pianificato inizialmente. Nel caso in esame è stato ipotizzato che la piscina, che copre quasi l'80% della domanda, interrompa la richiesta di energia allo scadere del quinto e del settimo anno.
Costo combustibile
Sono stati quindi simulati tre scenari caratterizzati da un differente prezzo medio di acquisto del combustibile pari a 30, 50 e 80 euro a tonnellata.

Anno completamento lavori

Il requisito primario per l'accesso agli incentivi statali è che l'impianto venga collaudato ed avviato entro l'anno 2015. Si è considerato pertanto il rischio di ritardare la data di completamento lavori posticipando l'anno di messa in parallelo della macchina.

Al fine di fornire una griglia di riferimento per la valutazione dell'impatto dei rischi sul NPV sono stati definiti 6 scenari corrispondenti ad altrettante combinazioni dei tre fattori di rischio evidenziati.

Tabella 5-19: Scenari di rischio e relativi impatti economici

Fattori di rischio	Scenario1	Scenario2	Scenario3	Scenario4	Scenario5	Scenario6
Interruzione domanda termica [anni]	20	7	5	20	7	5
Costo combustibile [€/tonn]	30	50	80	30	50	80
Anno completamento lavori	2015	2015	2015	2016	2016	2016
NPV [Euro]	1.978.192	740.391	-628.854	1.737.534	504.583	-863.598

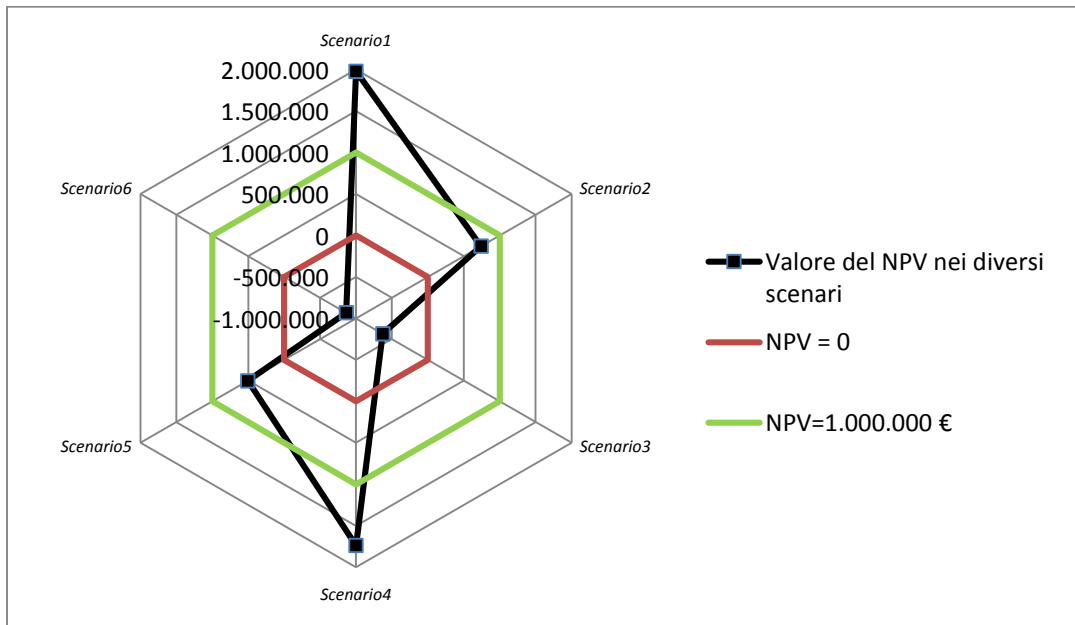


Grafico 5.15: Centrale CHP: Rappresentazione radar dell'impatto economico riguardo gli scenari di rischio

Questi scenari hanno un notevole impatto; in particolare lo scenario 1 e 4 risultano positivi mentre il 3 ed il 6 rappresentano i casi peggiori.

Dall'analisi di sensitività si deduce che il fattore che incide maggiormente in questi scenari è il costo della biomassa. Risulta quindi necessaria l'esigenza di costituire un piano di gestione della biomassa ben strutturato, in modo tale da mitigare il rischio di approvvigionamento.

Nel territorio del VCO, il prezzo della biomassa disponibile come combustibile consegnato presso l'impianto varia attualmente da un minimo di 50 ed un massimo di 80 euro a tonnellata. Dall'analisi dei rischi, questo intervallo risulta rischioso.

E' possibile abbattere il costo fino a 30 euro a tonnellata attraverso l'organizzazione di attività finalizzate all'acquisto e gestione della biomassa "grezza". Per attuare questo piano di approvvigionamento è necessario interfacciarsi con le imprese taglia boschi e ritirare il materiale fresco direttamente dai cantieri forestali. Quindi risulta necessario disporre di determinati fattori produttivi, quali ad esempio:

- Mezzi di trasporto;
- Piattaforma di accumulo dei residui legnosi locali per lo stoccaggio di lungo periodo;
- Macchinari per le lavorazioni di cippatura e triturazione;

Nell'ipotesi in cui l'organizzazione di queste attività possa posticipare l'avviamento dell'impianto all'anno successivo, va tenuto presente che il vantaggio di avere il combustibile ad un prezzo inferiore compensa ampiamente i mancati incentivi sulla vendita dell'energia elettrica.

5.3.2 Centrale termica

La centrale termica selezionata è una caldaia da 500 kW termici ed il metodo applicato per effettuare lo studio è analogo a quello svolto per la centrale CHP.

Dati e costi d'impianto

Questi riguardano la tecnologia e la sua capacità di convertire l'energia contenuta nel combustibile in energia finale disponibile per il consumo.

Tabella 5-20: Potenza ed efficienza della caldaia

DATI IMPIANTO		
η	-	90 %
P.Termica Introdotta	kW	555
P.Termica Prodotta	kW	500

I costi relativi alla realizzazione dell'impianto aventi le caratteristiche sopra riportate:

Tabella 5-21: Costi caldaia

COSTI D'IMPIANTO		
Autorizzazioni	€	1.000,00
Opere elettromeccaniche	€	140.000,00
Opere civili	€	6.000,00
Ristrutturazione impianto teleriscaldamento	€	50.000,00
Valore Impianto	€	197.000,00

Caratteristiche e prezzo del combustibile: La qualità del combustibile è analoga al caso precedente. In questo caso però la minore quantità di combustibile consumata può essere considerata completamente derivante dalla filiera ad un prezzo medio pari a 62 euro a tonnellata.

Ricavi della produzione: In questo caso i ricavi della produzione sono inerenti alla sola vendita dell'energia termica secondo le stesse quantità e tariffe precedentemente considerate. In questo tipo di impianti è possibile inoltre recuperare incentivi attraverso i Titoli di Efficienza Energetica. Non essendo presente ancora una scheda tecnica standardizzata per questa tipologia di interventi bisognerà fare richiesta all'ENEA.

Tabella 5-22: Ricavi generati dalla vendita del calore

ENERGIA TERMICA				
Utenza	Richiesta	Produzione	Tariffa	Ricavi
U.d.m	MWh/anno	MWh/anno	€/MWh	€/anno
Piscina	1.140,00	1.140,00	40,00	45.600,00
Condominio	360,00	360,00	60,00	21.600,00
Ricavi TEE	Euro/anno	-	-	9.000
Totale	1.500,00	1.500,00	-	76.200

Per il calcolo dei TEE verrà considerato un fattore di conversione pari a 11.628 kWh/tep, il che significa che l'intervento in oggetto porta al risparmio annuo di 129 tep.

COSTO COMBUSTIBILE		
	tonn/anno	€/anno
Acquisto da filiera	490	30.147,06

Tabella 5-23: Costi gestione caldaia

COSTI DI GESTIONE		
Costo personale addetto alla centrale	€ / anno	5.000
Costo smaltimento ceneri + altro	€ / anno	1.000
Costo assicurazione AllRisk + sicurezza	€ / anno	1.000
Affitto terreno (DDS)	€ / anno	7.500
Altri costi	€ / anno	1.000
Diritti comunità montana	€ / anno	750
Totale costi di gestione	€ / anno	16.250

Nella seguente soluzione viene ipotizzato che l'investimento viene coperto tutto attraverso capitale proprio e il grazie al premio del bando che andrà a coprire il 20 % del costo totale. A partire da questa ipotesi non sono presenti oneri finanziari. Considerando un WACC pari al 5% gli indici di redditività risultano come sotto riportati:

Tabella 5-24: Parametri di redditività caldaia

NPV [euro]	239.350,60
PBT [anni]	7,3
PI	2,5

5.3.2.1 Analisi di sensitività centrale termica:

Data la maggior semplicità del sistema considerato, in questo caso le variabili identificate sono:

- Richiesta di energia termica
- Prezzo acquisto della biomassa

- Costo combustibile fossile di riferimento

Tabella 5-25: Variabili di sensitività caldaia e variazione rispetto al valore preso come riferimento

Variabili	U.d.m	ID
Domanda di energia termica	MWh/anno	1
Costo combustibile	€/tonn	2
Costo combustibile fossile	€/MWh	3

ID	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
1	750	900	1.050	1.200	1.350	1500	1.650	1.800	1.950	2.100	2.250
2	31	37	43	49	55	61,5	68	74	80	86	92
3	25,25	30,3	35,35	40,4	45,45	50,5	55,55	60,6	65,65	70,7	75,75

I risultati del modello sono rappresentati dai grafici seguenti:

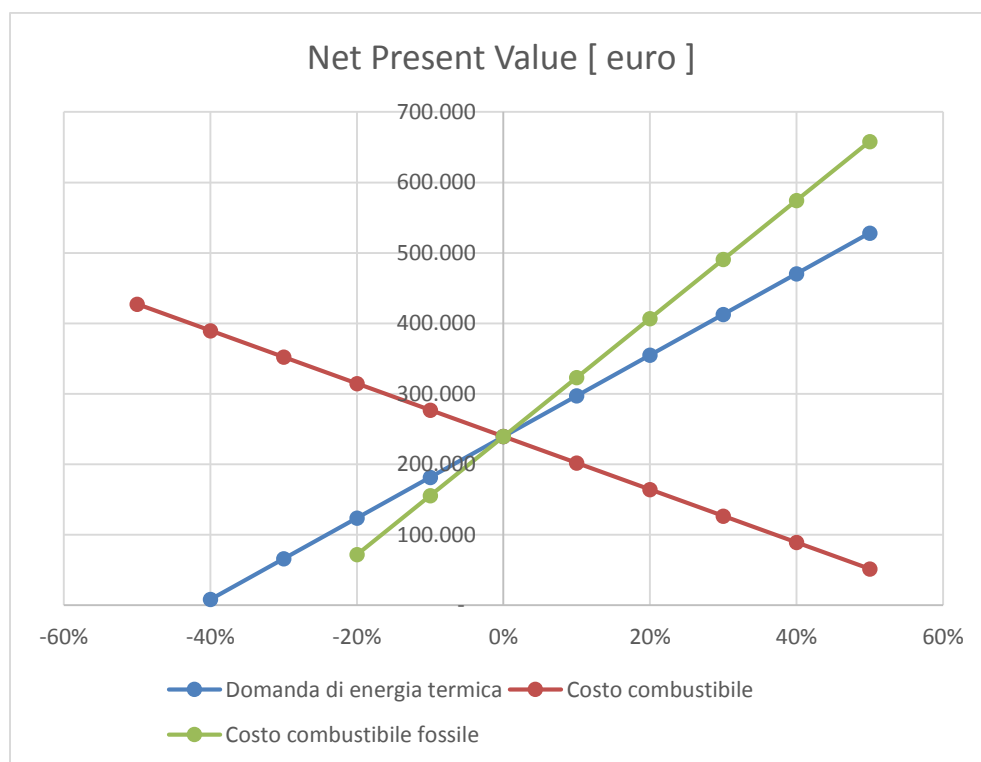


Grafico 5.16: Analisi sensitività centrale termica - Output NPV

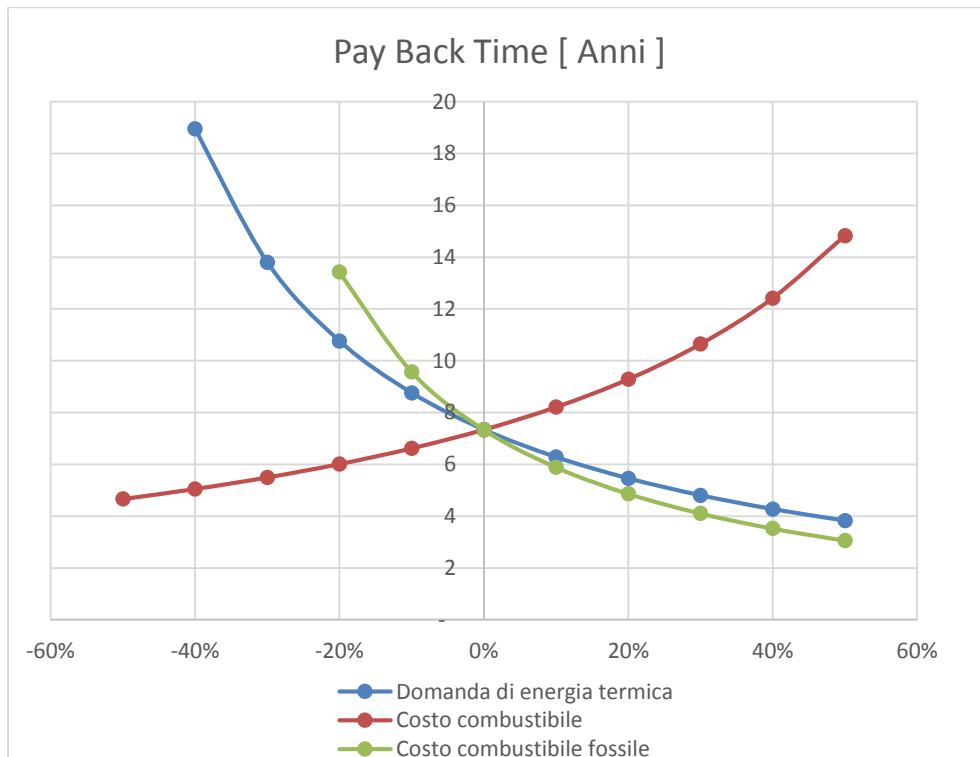


Grafico 5.17: Analisi sensitività centrale termica - Output PBT

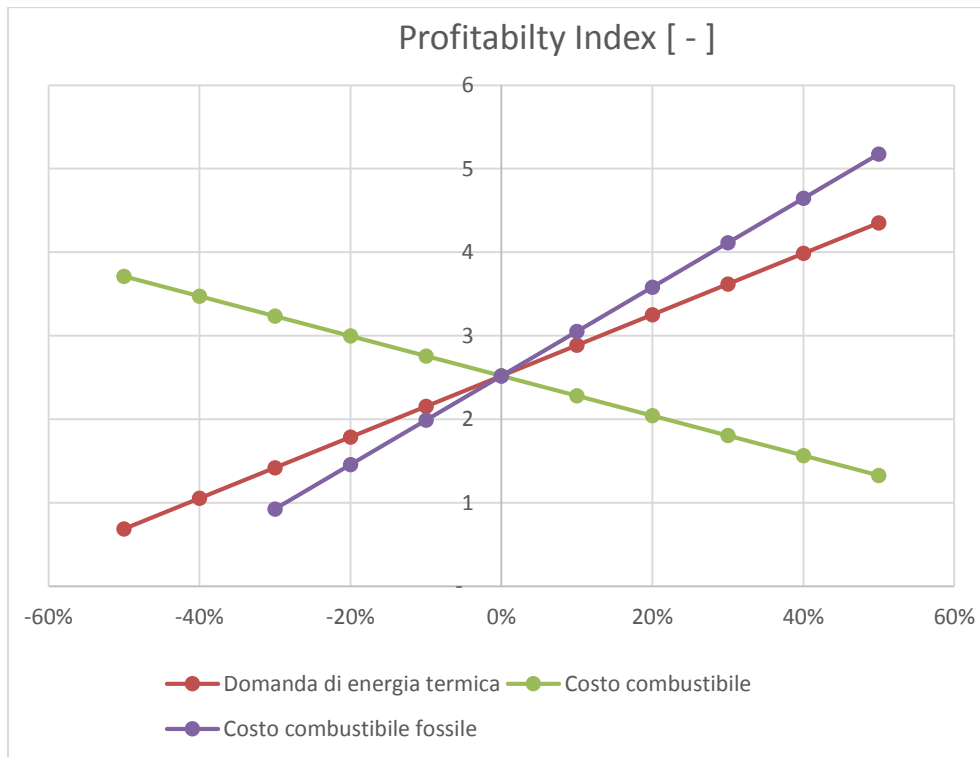


Grafico 5.18: Analisi sensitività centrale termica - PI

Lo studio evidenzia l'elevata dipendenza della profittabilità dal costo di mercato del combustibile fossile di riferimento. Tale prezzo infatti è direttamente correlato con la tariffa di vendita del calore imposta dalla ESCo.

E' verosimile quindi prevedere un incremento dei ricavi e della marginalità dovuti esclusivamente all'adeguamento delle tariffe praticate dalla ESCo sulla vendita del calore.

In minor modo incide il costo di acquisto della biomassa, date le minori quantità coinvolte annualmente. Questo aspetto prevede maggiore flessibilità al prezzo e alle qualità della biomassa accettabile.

Mentre nel caso CHP i rendimenti elettrici a disposizione delle varie tecnologie possono avere valori differenti- oscillando da un minimo di 11% ad un massimo del 16 %- i rendimenti di conversione della caldaia a biomassa sono all'incirca pari al 90%.

La matrice sotto riportata evidenzia come in presenza di una così alta redditività d'impianto il prezzo della biomassa risulti essere molto meno influente.

Tabella 5-26: Matrice di sensitività del prezzo al variare del potere calorifico del combustibile

$\eta = 90\%$		Prezzo Biomassa [€/ton]					
		30	40	50	60	70	80
PCI kWh/ kg	1,6	225.606	95.791	-34.024	-163.839	-293.653	-423.468
	2,1	318.330	219.424	120.517	21.611	-77.295	-176.202
	2,6	375.392	295.506	215.620	135.734	55.848	-24.038
	3,1	414.046	347.045	280.044	213.043	146.042	79.041
	3,6	441.963	384.268	326.572	268.877	211.182	153.486
	4,1	463.071	412.412	361.753	311.093	260.434	209.774

Valori NPV euro	
	minore di ,00
	compreso fra ,00 e 231.535,71
	maggiore di 231.535,71

5.3.2.2 Valutazione del rischio di interruzione domanda termica

Il sistema in esame risulta fortemente dipendente da una singola utenza termica centro sportivo e quindi un eventuale interruzione della domanda porterebbe inevitabilmente alla cessazione dei ricavi totali in quanto non esistono altre potenziali utenze in prossimità della centrale.

Questo fattore di rischio ha portato ad escludere l'ipotesi solo termico, pur potenzialmente conveniente e di minor impatto finanziario. Si è così preferito adottare un disegno di sistema basato sulla produzione combinata di calore ed energia elettrica, la cui vendita è certa anche se con efficienze minori e maggiori tempi di ritorno dell'investimento.

6 Analisi d'impatto

In questa sezione verranno quantificati gli impatti generati dall'installazione di un impianto per la produzione di energia termica avente potenza di 500 kW e dall'installazione di un impianto CHP con potenza inferiore a 1 MW elettrico.

Inoltre per l'impianto CHP sarà valutata la produzione di inquinanti emessi in atmosfera confrontando questa con la medesima generazione di energia derivante da il combustibile fossile preso come riferimento, il gas naturale.

6.1 Metodologia

Per la valutazione dell'impatto si è adottata la metodologia originata dal progetto europeo *Wood E3*. Questo è il risultato di uno studio allargato finalizzato a fornire soluzioni ottimali e definire la possibilità per ricavare ed impiegare biomassa di origine forestale nell'area del Mediterraneo. Il metodo fornisce linee guida per identificare le informazioni da raccogliere e le modalità per correlarle al fine di ottenere indicatori confrontabili e ottenere oltre che valori assoluti anche la possibilità di effettuare dei *benchmark*.

6.2 Strumento di Valutazione dell'Impatto (IAT)

Lo strumento di valutazione è disponibile on-line all'indirizzo <http://www.woode3.eu/> e consente di valutare l'idea preliminare di un progetto relativamente agli aspetti economici, sociali, ambientali e di governance.

Le maggiori informazioni richieste dallo strumento sono:

- Localizzazione del progetto
 - Tipologia di tecnologia applicata per la produzione di energia
 - Trasporto e raccolta della biomassa
 - Distanza dal bacino di approvvigionamento
-

- Livello di sensibilizzazione della popolazione alle tematiche di filiera bosco-energia
- Grado di marginalità del territorio
- Situazione attuale oggetto del cambiamento
- Presenza di finanziamenti pubblici
- Livello di partecipazione dei portatori di interesse
- Finalità dell'utilizzo del calore,
- Tipologia dei contratti di fornitura,

Tale strumento come output emette una matrice di valutazione degli impatti che, grazie ad un approccio interdisciplinare al settore di produzione di energia da biomasse, propone l'integrazione di diversi criteri quali:

- **AMBIENTALI:** gestione dell'uso del suolo, misura e valutazione delle emissioni clima-alteranti della filiera di approvvigionamento.
- **ECONOMICI:** valutazione delle sinergie tra origini diverse di biomasse o con altre filiere o centri di consumo esistenti, costi di produzione e efficacia del business, costi del personale.
- **SOCIALI:** impatto sulle comunità locali e occupazione.
- **GOVERNANCE:** valutazione preliminare di un progetto, soddisfacimento dei requisiti o indicazioni del processo di pianificazione o programmazione.

6.3 Analisi d'impatto: Risultati ottenuti

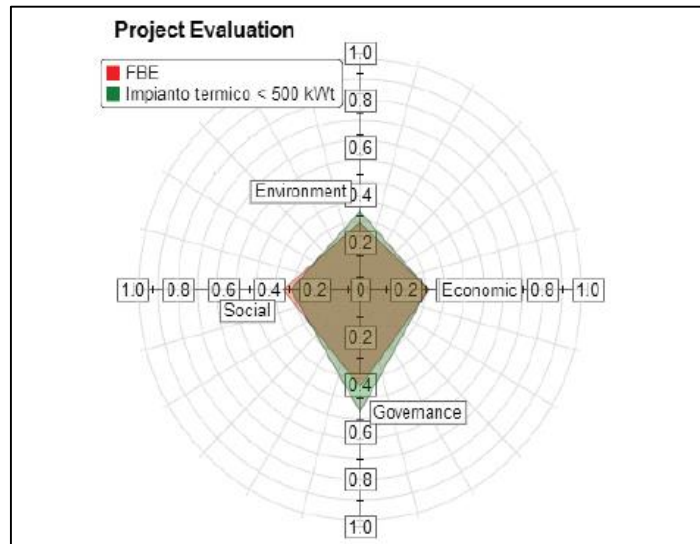


Figura 6-1: Output del programma IAT per la sola produzione di calore

Tabella 6-1: Confronto dei parametri d'impatto della centrale termica

Impianto termico: P < 500 kWth		
Ricadute	FBE	Benchmark
Economiche	0,3	0,3
Sociali	0,34	0,3
Ambientali	0,28	0,33
Governance	0,41	0,52

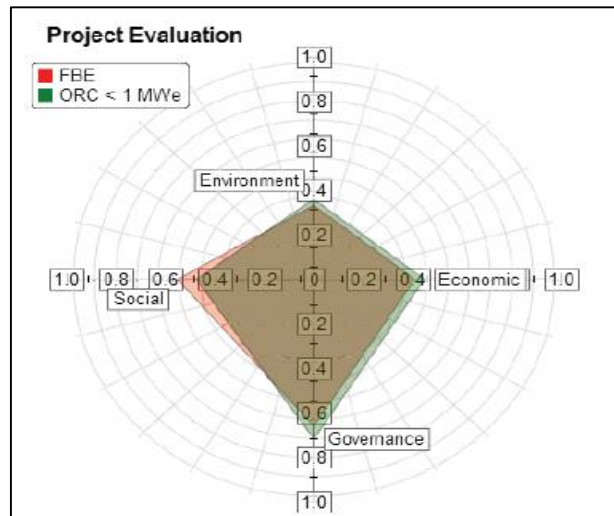


Figura 6-2: Output del programma IAT per l'impianto CHP

Tabella 6-2: Confronto dei parametri d'impatto della centrale CHP

Impianto CHP: P < 1 MW el		
RICADUTE	FBE	Benchmark
Economiche	0,41	0,45
Sociali	0,55	0,47
Ambientali	0,33	0,36
Governance	0,66	0,72

6.4 Analisi d'impatto: Conclusioni

Gli impianti considerati per l'analisi d'impatto sono una centrale di produzione di energia termica con potenzialità di 500 kW e una centrale cogenerativa con potenza elettrica prodotta inferiore a 1 MW elettrico.

Nel caso CHP i parametri d'impatto sono maggiori in tutti e quattro i settori considerati. Infatti le 7000 ore anno di funzionamento e l'efficienza elettrica non superiore al 16% portano ad un significativo incremento del consumo della biomassa.

La maggior quantità di legna consumata induce tre fattori:

1. Incremento della domanda di biomassa che porta mercato e maggiori benefici economici per gli attori partecipanti
2. Incremento dei processi di movimentazione dei materiali con conseguente aumento delle complessità di gestione e dei livelli di governance
3. Incremento delle emissioni in atmosfera dell'inquinamento termico

In entrambi i casi lo scostamento maggiore si riscontra nell'area di governance. Risulta quindi necessario costituire un piano di approvvigionamento pianificato e i relativi processi di governo per assicurare l'allineamento degli standard di gestione operativi ai livelli medi europei.

6.5 Analisi delle emissioni di inquinanti

La produzione di energia tramite la combustione della biomassa legnosa produce emissioni che possono essere più o meno inquinanti se comparate con la combustione dei combustibili fossili.

Infatti la combustione della biomassa rispetto a quella con combustibile fossile risulta benefica per quanto riguarda l'emissione di gas ad effetto serra, perché il

quantitativo di carbonio emesso in atmosfera è lo stesso assorbito durante la crescita della pianta, rispettando quindi il naturale ciclo del carbonio.

Bisogna considerare che, a differenza del gas naturale, la combustione del cippato di legna emette in atmosfera componenti solidi organici e inorganici, quali particolato e ceneri, con forte impatto sia sulla salute dell'uomo che sull'ambiente.

E' quindi importante valutare attentamente i contributi inquinanti prodotti dalla combustione della biomassa con l'obiettivo di identificare i metodi e gli strumenti per limitare il più possibile l'emissione di sostanze tossiche.

I principali inquinanti emessi dalla combustione delle biomassa legnosa sono:

- *Monossido di carbonio e composti organici volatili*: Indicati rispettivamente con CO e COV questi composti sono incombusti, originati quindi da una combustione incompleta all'interno della caldaia. Mentre il CO risulta un gas che entrando in atmosfera si ossida immediatamente producendo CO₂, i COV risultano composti ad elevato peso molecolare che quando emessi in atmosfera formano un gruppo con elevato impatto sulla salute dell'uomo. Per limitare la formazione di questi composti devono essere garantite tre condizioni: elevata temperatura, lunghi tempi di permanenza ed efficace mescolamento.
- *Polveri totali*: Comunemente chiamate ceneri, consistono nella parte separata, con apposito filtro, dei gas di scarico. La quantità di ceneri emesse dipende dalla qualità della biomassa utilizzata e dalla "bontà" della combustione. Il loro quantitativo emesso in atmosfera può essere notevolmente ridotto grazie all'applicazione di appositi sistemi di filtraggio.
- *Polveri sottili PM*: Con questo termine sono indicate tutte le particelle con un diametro inferiore ai 10 micrometri. Esse si distinguono dal materiale costituente la particella solfati, metalli pesanti, composti

organici e inorganici e in base alle sorgenti che originano tali costituenti cioè dal tipo di combustibile. Durante i processi di combustione queste sostanze sono particolarmente tossiche poiché adsorbono incombusti o sostanze come metalli pesanti fungendo così da vettore per il trasporto di sostanze nocive.

- *Ossidi di azoto NOx*: Emessi in forma di NO, quando emessi in atmosfera si ossidano in NO₂, entrambi chiamati infatti NOx. Derivano dalla reazione dell'azoto contenuto nel combustibile -nel legno assume valori relativamente bassi- con l'ossigeno comburente

Il quantitativo emesso in atmosfera dei composti sopra elencati dipende in grandissima misura dalla qualità del combustibile utilizzato, oltre che dalla qualità della combustione e dal sistema di trattamento fumi utilizzato.

Le moderne caldaie ad alimentazione automatica garantiscono un livello di emissioni estremamente inferiore rispetto ad apparecchiature a biomassa, quali ad esempio le piccole caldaie a legna domestiche.

Inoltre l'elevato costo di investimento delle caldaie moderne può essere "alleggerito" grazie alla presenza di premi riconosciuti dal GSE sulla vendita di energia elettrica, incentivando il rispetto dei livelli imposti dalle normative vigenti.

Per una caldaia alimentata da residui legnosi esistono dei limiti specifici al di sotto dei quali viene riconosciuto un premio di 30 €/MWh sulla vendita dell'energia elettrica. Quindi per una centrale da 200 kW in funzionamento per 8000 ore annue il bonus annuo ammonterebbe a 48.000 euro.

Tabella 6-3: Limiti di emissioni imposti dalle normative

Limiti emissioni al camino*	U.d.m	Valore
NOx	mg/Nm ³	≤ 200
NH₃	mg/Nm ³	≤ 5
CO	mg/Nm ³	≤ 202
SO₂	mg/Nm ³	≤ 150
COT	mg/Nm ³	≤ 30
Polveri totali	mg/Nm ³	≤ 10

* Con riferimento a fumi in condizioni normali e tenore di ossigeno dell'11%

In questo modo diventa economicamente sostenibile l'acquisto di impianti termici innovativi, quali caldaie automatiche con filtri efficienti e dotati di un sistema per il monitoraggio e controllo costante della percentuale di inquinante presente a camino.

Il sistema di rilevazione e monitoraggio fumi è composta da:

- 1 Sonda di temperatura PT 100 direttamente immersa nell'effluente per la rilevazione della temperatura;
- 2 Polverimetro per la misura della concentrazione delle polveri;
- 3 Sonda di prelievo gas campione;
- 4 Quadro analisi fumi.

Questo permette di visualizzare le misure di O₂, CO, NO₂ ed SO₂ e in presenza di anomalie e il segnale viene trasmesso ad un PC dove saranno validate e registrate confrontando il valore misurato con i limiti imposti dalle normative.

Attraverso un collegamento telematico, il sistema invia i dati per consentire la lettura agli enti preposti, In caso di guasto o malfunzionamento, il campionamento verrà eseguito con un analizzatore portatile (correttamente

mantenuto e certificato) con opportuna registrazione e archiviazione delle misure effettuate.

6.5.1 Calcolo delle tonnellate di CO2 evitate annualmente

Tabella 6-4: Calcolo delle emissioni di CO2 evitate annualmente

Prodotto	Energia prodotta kWh/anno	Energia primaria consumata kWh/anno	Tonnellate di CH4	Tonnellate di CO2
Termico	1.667.445	2.084.307	150	412,6
Elettrico	1.286.712	2.339.476	168	463,2

Per il calcolo sopra riportato è stato ipotizzato che prima dell'intervento il calore derivasse da una caldaia a gas metano avente rendimento del 80% mentre l'energia elettrica da una moderna centrale a ciclo combinato avente rendimento del 55%.

Inoltre è stato ipotizzato che la combustione risulta completa così da convertire direttamente le tonnellate di CH4 in tonnellate di CO2 attraverso il fattore di conversione 44/16.

Ovviamente per definire in maniera definitiva quante tonnellate di CO2 vengono effettivamente risparmiate è necessario calcolare il consumo energetico per le attività di filiera.

Risulta semplificativa fare l'ipotesi che le emissioni siano derivanti solamente dall'attività di trasporto. Il numero di viaggi dipende dalla stagione e dall'umidità della biomassa trasportata; ipotizzando un quantitativo di umidità del 40% e una densità di 250 kg/m³ il profilo di approvvigionamento del combustibile risulta come quello in tabella:

Tabella 6-5: Calcolo del numero di carichi mensili per l'approvvigionamento dell'impianto CHP

	Ore di funzionamento Ore/mese	Ore Chp %	Consumo tonn/mese	Consumo mc/mese	frequenza carica stock times/month	camion mensili unità/mese
Gennaio	666,67	0,80	300,84	1.203,36	12,03	24,07
Febbraio	666,67	0,80	300,84	1.203,36	12,03	24,07
Marzo	666,67	0,40	294,52	1.178,07	11,78	23,56
Aprile	666,67	0,20	291,36	1.165,42	11,65	23,31
Maggio	666,67	0,10	289,78	1.159,10	11,59	23,18
Giugno	666,67	0,00	288,20	1.152,78	11,53	23,06
Luglio	666,67	0,00	288,20	1.152,78	11,53	23,06
Agosto	666,67	0,00	288,20	1.152,78	11,53	23,06
Settembre	666,67	0,20	291,36	1.165,42	11,65	23,31
Ottobre	666,67	0,50	296,10	1.184,39	11,84	23,69
Novembre	666,67	0,70	299,26	1.197,03	11,97	23,94
Dicembre	666,67	0,80	300,84	1.203,36	12,03	24,07
Totale	8.000,00	3.000,00	3.529,46	14.117,85	141,18	282,36

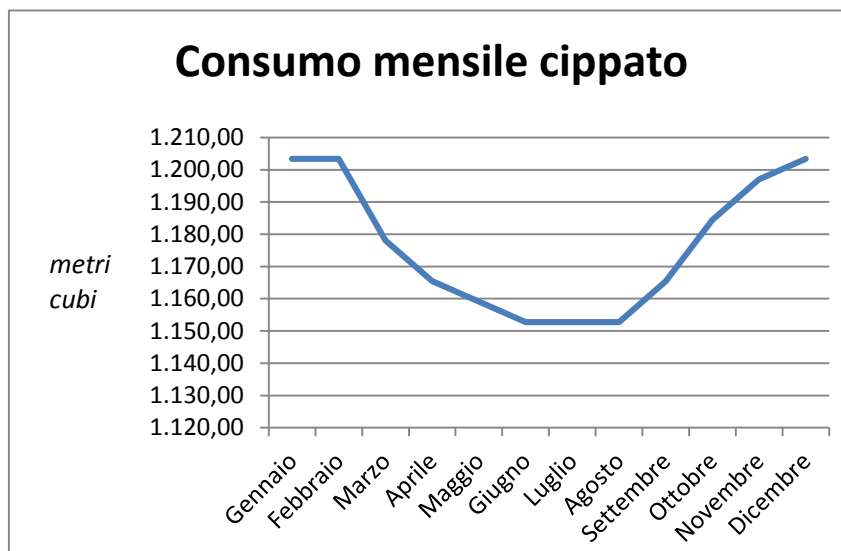


Grafico 6.1: Profilo di consumo mensile di cippato, centrale CHP

Considerando una distanza media di 25 km – inclusivi di andata e ritorno- i chilometri annui percorsi in totale per rispettare il profilo sopra riportato sono pari a circa 7000 km. Il camion considerato è un autocarro alimentato a gasolio, da 30 metri cubi di cippato riversato trasportabili, il cui grado di emissione di CO2 per km risulta di circa 0,3 kgCO2/km.

Le emissioni di anidride carbonica emesse relative al trasporto sono così dell'ordine delle 2,1 tonnellate annue. Anche considerando un aumento di questo valore a causa delle altre attività di filiera, il quantitativo rimarrebbe comunque inferiore rispetto alle tonnellate di anidride carbonica risparmiate.

7 Conclusioni

Quello che è emerso dallo studio, oggetto di questa tesi, è che gli aspetti positivi generati dalla nascita di una filiera bosco energia possono essere molteplici. Intervenire nella gestione attiva dei boschi, incrementando la loro multifunzionalità, permette ai territori più marginali come i comuni montani di ricavare profitto valorizzando i propri beni e servizi presenti oltre che garantire e salvaguardare la qualità dell'ecosistema bosco.

Lo sviluppo di un approccio all'uso "industrializzato" della biomassa disponibile sul territorio locale, fortemente incentrato sull'autonomia e l'interconnessione di raccolta della biomassa e della sua trasformazione in energia, permette di ottenere modelli distribuiti che rendono i soggetti del sistema più partecipi attraverso una progressiva sensibilizzazione culturale ed un sempre maggior coinvolgimento nelle tematiche di scambio nel mercato dell'energia.

Nel caso specifico studiato, basato sul processo di generazione combinata di energia elettrica e calore, è emerso che l'efficienza di conversione energetica risulta essere uno dei principali fattori da considerare per poter progettare e realizzare soluzioni sostenibili.

Infatti i biocombustibili, se non gassificati, hanno l'obbligo di essere utilizzati in cicli a combustione esterna limitati dalle massime temperature raggiungibili. Nel caso analizzato delle turbine a vapore, per taglie non superiori ai 200 kW elettrici i rendimenti massimi raggiungibili rientrano dell'ordine del 15%. Ne consegue che la potenza termica recuperabile a bassa entalpia risulta maggiore del 1 MW termico.

Quindi se non risulta essere presente una richiesta di energia termica in quantità sufficiente, la valorizzazione energetica del sistema risulta essere inefficiente, portando a conseguenze quali un elevato impatto ambientale non giustificato ed eccessivi tempi di ritorno dall'investimento.

L'analisi tecnica ed economica effettuata e gli studi sulla sensitività dei principali parametri di sistema hanno dimostrato tempi di ritorno sostenibili (minori di 10 anni). Tali risultati sono ovviamente conseguibili solo in presenza degli incentivi previsti dalla tariffa elettrica onnicomprensiva del GSE. Inoltre si è potuto evidenziare l'impatto significativo della variazione del prezzo di approvvigionamento del combustibile rispetto tempi complessivi di ritorno dell'investimento.

Affinché un sistema basato sull'approvvigionamento di bio combustibile da fonti locali sia sostenibile risulta quindi fondamentale la partecipazione e la cooperazione di tutte le parti coinvolte. Risulta così rilevante il ruolo della ESCo quale elemento di raccordo fra tutti i soggetti interessati in qualità di gestore con livelli di servizio e risultati garantiti.

8 Bibliografia

- Andrea Sgarbossa, S. G. (2011, Maggio 20). Apsetti normativi e standard qualitativi per l'impiego energetico edl cippato. Cavalese, Italia.
- Antonio Pantaleo, C. C. (2013). ESCo business models for biomass heating and CHP: Profitability of ESCo operations in Italy and key factors assessment. *Elsevier* , 12.
- Carnisio, M. (2008). Piano Forestale Aziendale . *Mottarone - Proprietà Borromeo* . Regione Piemonte.
- Claudia Cambero, T. (2010). Assessment and optimization of forest biomass supply. *Elsevier* , 12.
- Comitato termotecnico italiano. (s.d.). *Forest Programme*. Tratto da www.cti2000.it
- Consonni, S. (2006, Novembre 20). Tecnologie e prospettive della produzione di energia da biomasse. *Caratteristiche e potenzialità della risorsa energetica biomassa* . Piacenza.
- Fiorenzo Ferlaino, M. B. (2013). *La Green Economy in Piemonte*. IRES.
- Gaia, M. (2006, Novembre 20). Tecnologie e prospettive della produzione di energia da biomasse. *Processi e tecnologie per la produzione di energia da biomasse* . Piacenza.
- Gazzetta ufficiale*. (2012, Dicembre 28). Tratto da GSE: www.gse.it
- IRES. (s.d.). La Biocapacità. *L'offerta annuale di capitale naturale* .
- Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali. (2012-2014). *Politiche agricole*. Tratto da Orientamenti strategici nelle politiche di sviluppo e nell'individuazione delle misure ed azioni utili a sostegno del settore: <http://www.politicheagricole.it>
- (2009). *PIANO DI AZIONE NAZIONALE*. Ministero dello sviluppo economico.
-

Regione Piemonte. (2013, febbraio 13). Tratto da Riqualficazione territoriale”
Linea d’azione 2 “Sviluppo sostenibile del sistema montano:
www.regione.piemonte.it/bandipiemonte

S.R. Wood, P. R. (2010). A techno-economic analysis of small-scale, biomass-fuelled. *Elsevier* , 10.

Sorrell, S. (2006). The economics of energy service contracts. *Elsevier* , 15.

Terzuolo, G. (s.d.). *Sistema Informativo Forestale Regionale*. Tratto da Sistema Piemonte: <http://www.sistemapiemonte.it/montagna/sifor/>

Valter Francescato, E. A. (s.d.). AIEL. *La combustione del legno* , p. 32.

Veronika Dornburg, A. P. (2001). Efficiency and economy of wood-fired biomass energy systems in relation to scale regarding heat and power generation. *Elsevier* , 18.