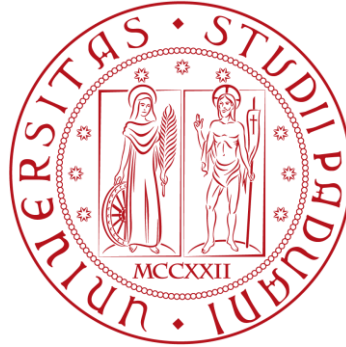


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica



**ANALISI DELLO STATO DI FATTO E
RIPRODUCIBILITÀ DI UN IMPIANTO DI
TELERISCALDAMENTO A BIOMASSA DA
FILIERA CORTA**

Laureando:
Renato Buzzo Contin

Relatore:
Prof. Michele De Carli

Correlatore:
Dott.ssa Samantha Graci

Anno Accademico 2012 – 2013

Desidero ringraziare il Professor De Carli per la disponibilità e la professionalità, e ringrazio inoltre la Dottoressa Graci per tutti i consigli, l'aiuto e la presenza costante durante il lavoro svolto.

Vorrei poi ringraziare l'Amministrazione Comunale di Santo Stefano di Cadore e il Signor Carlo Peruz per la disponibilità, l'aiuto e il materiale fornitomi per la stesura di questa tesi.

Infine ringrazio i miei genitori, i miei familiari e i miei amici più cari per avermi incoraggiato e aiutato nei momenti difficili e per essermi stati sempre vicini lungo tutta la mia esperienza universitaria.

Renato Buzzo Contin

Sommario

PREMESSA.....	1
CAPITOLO 1. LE BIOMASSE.....	1
CLASSIFICAZIONE E SFRUTTAMENTO DELLE BIOMASSE.....	5
PROCESSI PER LA PRODUZIONE ENERGETICA DA BIOMASSE.....	10
PROCESSI TERMOCHIMICI.....	10
La combustione diretta.....	10
La carbonizzazione.....	14
La gassificazione.....	15
La pirolisi.....	16
I PROCESSI BIOCHIMICI.....	16
LO SFRUTTAMENTO DELL'ENERGIA TERMICA PRODOTTA: GLI IMPIANTI DI TELERISCALDAMENTO A BIOMASSA.....	17
Vantaggi del teleriscaldamento.....	20
Servizi resi alla comunità.....	21
LA COGENERAZIONE.....	21
ESEMPI DI IMPIANTI DI TELERISCALDAMENTO A BIOMASSA. LA FIPER.....	23
Impianto di teleriscaldamento a biomassa termo - elettrico di Dobbiaco – San Candido.....	24
Impianto di teleriscaldamento a biomassa di Pomino, Comune di Rufina (FI).....	27
CAPITOLO 2. L'IMPIANTO DI TELERISCALDAMENTO A BIOMASSA DI SANTO STEFANO DI CADORE.....	28
Considerazioni iniziali.....	28
IL PROGETTO INIZIALE.....	31
Prima della costruzione dell'impianto:.....	35
Dopo la costruzione dell'impianto:.....	35
DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO.....	37
La centrale termica.....	37
Alimentazione delle caldaie.....	43
Periodi di funzionamento delle caldaie.....	44
Portate d'acqua nel circuito idraulico.....	45
Temperature di mandata e di ritorno dell'acqua.....	47
Espansione dell'utenza e della rete.....	47
Caldaie integrative e previsioni di ampliamento.....	47
Consumo e rifornimento di biomassa.....	48

Tipologia di biomassa utilizzata.....	49
Gestione della caldaia e della rete.....	49
CAPITOLO 3. STUDIO SUL TERRITORIO MONTANO IN PROVINCIA DI BELLUNO: CONDIZIONI FAVOREVOLI PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI TELERISCALDAMENTO A BIOMASSA LEGNOSA.....	
56	56
Scelta dell'area idonea.....	56
DISPONIBILITÀ DI BIOMASSA LEGNOSA IN PROVINCIA DI BELLUNO.....	
57	59
Biomassa ricavabile dalla variazione annuale della superficie boscata.....	59
Biomassa ricavabile dalle domande di taglio.....	62
Biomassa ricavabile dagli scarti di lavorazione delle industrie del legno.....	63
Potenziale totale di biomassa disponibile sul territorio bellunese.....	64
IPOTESI DI RIPETIBILITÀ.....	66
STIMA DEL FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA DELL'UTENZA SELEZIONATA.....	
66	68
FABBISOGNO TERMICO DELLE UTENZE PRIVATE.....	68
Riscaldamento.....	68
Acqua calda sanitaria.....	69
FABBISOGNO TERMICO DELLE PRINCIPALI UTENZE PUBBLICHE.....	
70	70
Riscaldamento.....	70
Acqua calda sanitaria.....	71
VALUTAZIONE DELLA POTENZA INSTALLABILE.....	
72	72
Acqua calda sanitaria.....	72
Riscaldamento degli edifici.....	75
STATO DI FATTO.....	
80	80
Ipotesi 1.....	80
Ipotesi 2.....	83
Ipotesi 3.....	85
IPOTESI DI COSTO DELL'IMPIANTO DI TELERISCALDAMENTO A BIOMASSA.....	
86	86
Centrale termica.....	86
Rete di teleriscaldamento.....	87
CONCLUSIONI.....	
88	91
BIBLIOGRAFIA.....	

PREMESSA.

La criticità legata al lento ma inesorabile esaurimento delle fonti energetiche di origine fossile (derivati del petrolio, carbone, gas naturale), nonché alla loro distribuzione geografica in aree politicamente instabili, unitamente alle ingenti problematiche ambientali su scala globale hanno indotto un forte interessamento verso la ricerca di fonti energetiche alternative che siano possibilmente rinnovabili.

L'energia rinnovabile è quella che proviene da sorgenti non esauribili e con il termine "fonte rinnovabile" si considerano quindi quelle fonti energetiche con tempi di ripristino sufficientemente contenuti da garantire una reintegrazione compatibile con la domanda di energia.

Il Decreto Legislativo 387 del 29 Dicembre 2003 definisce come fonti energetiche rinnovabili il sole, il vento, l'energia idraulica, le biomasse, le risorse geotermiche, le maree, il moto ondoso, il biogas, il gas di discarica e i gas residuati dai processi di depurazione.

In questa trattazione viene analizzato l'uso della biomassa come fonte di energia rinnovabile, in particolare la biomassa legnosa (cippato di legna) e il suo utilizzo negli impianti di teleriscaldamento. In questi impianti l'energia termica prodotta dalla combustione del cippato viene trasferita all'acqua che funge da fluido termovettore; questa poi viene fatta circolare in una rete di tubi interrati opportunamente isolati; scopo della rete è quello di andare a soddisfare la richiesta di energia termica delle utenze ad essa allacciate.

Partendo dallo studio di un esistente impianto di teleriscaldamento a biomassa legnosa (proveniente da filiera corta) al servizio di un piccolo Comune montano, verrà analizzata la possibilità di riprodurre lo stesso modello di impianto presso un differente sito avente simili caratteristiche geografiche e climatiche.

CAPITOLO 1. LE BIOMASSE.

Con il termine "biomassa" ci si riferisce ad una quantità di materiali di natura estremamente eterogenea. Essa è formata da tutti quei componenti organici vegetali ed animali, principalmente ottenuti dalla raccolta e dalla lavorazione delle colture agricole e forestali. Potature, paglia, tagli forestali, residui delle produzioni alimentari, rifiuti del verde urbano e residui dell'industria del legno sono alcuni esempi di materiali che rientrano in questa definizione; tutti questi prodotti organici sono principalmente il risultato di attività agro forestali, la loro disponibilità in natura è maggiore e il loro ciclo di rinnovo è più veloce rispetto a quello dei combustibili fossili (i cui tempi

di formazione sono dell'ordine di milioni di anni e non sono comparabili con i tempi di sfruttamento della risorsa, ben più rapidi considerando l'attuale tasso di consumo).

Dal punto di vista energetico la biomassa può essere vista come la forma più sofisticata di accumulo dell'energia solare, essa infatti attraverso il processo della fotosintesi cattura la radiazione solare e la trasforma in energia chimica; questa energia può poi essere trasformata in altre forme più facilmente utilizzabili, come ad esempio calore, energia elettrica o biocarburanti, in appositi impianti di conversione. Le biomasse quindi costituiscono una risorsa rinnovabile ed inesauribile, sono come un serbatoio di energia che però deve essere gestito con la dovuta cura. Risulta indispensabile farne un uso sostenibile, vale a dire evitare di incrementare l'uso delle risorse naturali oltre le capacità che l'ambiente ha di fornirle (come è stato fatto nel caso dei combustibili fossili il cui uso sempre maggiore ha creato molti problemi sociali e ambientali), cercando invece di garantire la necessaria rigenerazione nelle zone in cui la biomassa è stata prelevata (attraverso ad esempio coltivazioni cicliche oppure rimboschimenti se si parla di biomassa vegetale). L'uso sostenibile delle risorse si ottiene anche promuovendo una politica di sfruttamento delle energie rinnovabili di pari passo con lo sviluppo di tecnologie di conversione più efficienti, che permettano di avere maggiori rendimenti e una conseguente diminuzione dei consumi.

Pur essendo una fonte rinnovabile e largamente disponibile in natura, dal punto di vista della resa le biomasse presentano una densità energetica inferiore rispetto ai combustibili fossili, come si può notare effettuando un confronto tra i valori del potere calorifico inferiore (PCI).

Materiale	PCI [kcal/kg]	PCI [kJ/kg]
Biomasse	4000 - 4400	16747,2 - 18421,9
Petrolio grezzo	10000	41868
Metano	7560	31652,208
Carbone	7500	31401

Il potere calorifico inferiore indica la quantità di calore generato (a pressione costante) dalla combustione di 1 kg di materiale considerato quando i prodotti della combustione siano rilasciati in ambiente in fase gassosa. Come si può vedere dalla tabella il PCI delle biomasse è nettamente inferiore al PCI dei principali combustibili fossili: ciò significa che la stessa quantità di energia è contenuta in una quantità di "materia biomassa" maggiore (sia in volume che in massa) rispetto al combustibile fossile. Si osservi inoltre che il valore del PCI della biomassa è fortemente influenzato da diversi fattori: dal tipo di essenza legnosa, dalla densità della struttura del legno e dalla percentuale di umidità in essa contenuta; in particolare all'aumentare del grado di umidità diminuisce il valore del PCI.

Questo svantaggio è totalmente compensato se si esamina l'uso della biomassa dal punto di vista delle emissioni, la combustione delle biomasse è infatti intesa come un processo a emissioni zero. Questo non significa che durante il processo non venga prodotta anidride carbonica, ma quella sviluppata dalle reazioni di combustione va a compensare l'anidride assorbita dalla biomassa durante la sua vita. Quest'ultimo aspetto è però un concetto molto criticato ed anche un po' ingannevole. Esso è valido sicuramente se ci si sofferma alla sola combustione ma cade se viene considerato l'intero ciclo di vita della biomassa. Includendo infatti tutte le operazioni che vanno dalla semina alla raccolta, dal trasporto alla trasformazione in energia l'anidride emessa non bilancia più quella assorbita, ma la supera. Ciò nonostante va fatta chiarezza sulla differenza tra questo tipo di emissioni e quelle legate ai combustibili fossili. Mentre con le biomasse l'anidride carbonica assorbita verrebbe comunque riemessa alla morte del vegetale attraverso i normali processi di decomposizione (la combustione porta solamente ad una decomposizione molto più rapida della biomassa con l'ovvio raggiungimento di elevate temperature); bruciando petrolio, metano o carbone si immettono in atmosfera quantità di carbonio che erano sedimentate nelle profondità del terreno, e perciò non contribuivano più al ciclo stesso. Sono due procedimenti ben distinti, il primo movimentava una quantità di carbonio che appartiene al ciclo mentre il secondo va ad incrementare il carbonio già presente nel ciclo stesso. Si conclude quindi che nel processo di sfruttamento energetico delle biomasse per combustione e non solo, il ciclo ecologico del carbonio è un circolo chiuso, ovvero non provoca alcun aumento della quantità di anidride carbonica nell'atmosfera.

Questo è sicuramente uno dei più grandi vantaggi che derivano dall'uso della biomassa come fonte energetica, il fatto di poter ottenere energia con un impatto ambientale quasi nullo ha spinto molti Paesi a valorizzare al massimo questa risorsa (da sempre vista più come scarto che non come fonte di energia) anche alla luce di quanto emerso nella Conferenza di Kyoto del 1997 dove più di 180 Paesi hanno sottoscritto un trattato (Protocollo di Kyoto) che prevede l'obbligo di operare una riduzione delle emissioni totali di gas serra (anidride carbonica, metano, ossido di azoto, idrofluorocarburi, perfluorocarburi ed esafluoruro di zolfo) in una misura non inferiore al 5,2% rispetto alle emissioni registrate nel 1990 (considerato come anno base) entro il 2008 – 2012, termine che poi è stato posticipato fino al 2020 (in seguito all'accordo di Doha).

I principali vantaggi che incentivano l'uso della biomassa come fonte energetica possono quindi essere così riassunti:

- è una fonte energetica rinnovabile;
- le emissioni nette di anidride carbonica sono tendenti a zero;
- la biomassa è immagazzinabile e stoccabile in siti dedicati;

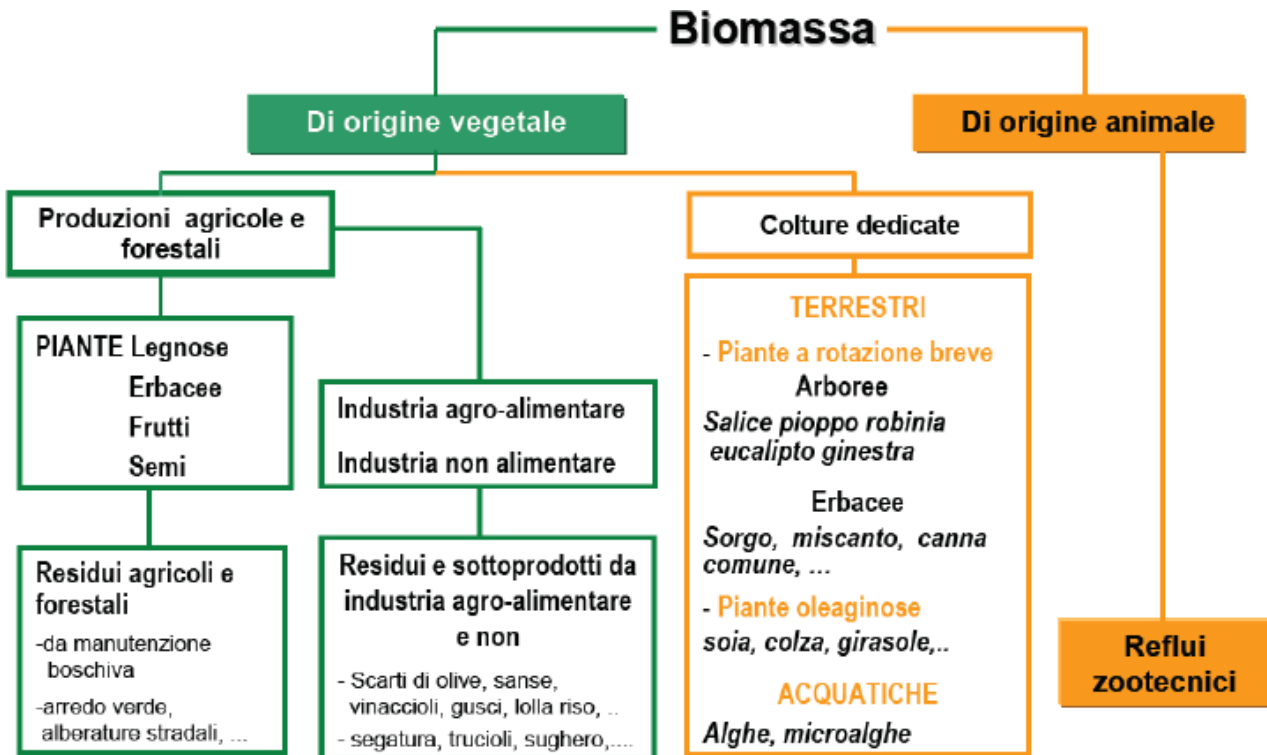
- la biomassa può essere convertita in combustibili solidi, liquidi o gassosi;
- esistono numerose tecnologie per la generazione di energia termica ed elettrica già mature;
- tecnologie di generazione caratterizzate da un ampio campo di potenze e differenti livelli di sofisticazione;
- la produzione di biomassa genera più occupazione (permanente) degli altri sistemi a energia rinnovabile della stessa taglia.

Gli svantaggi che si possono individuare invece sono:

- la produzione di biomassa genera competizione nell'uso del territorio;
- sono necessarie grandi aree a causa della bassa densità energetica;
- alcune tipologie di produzione della biomassa possono richiedere elevati volumi di fertilizzanti ed irrigazione (energy short rotation);
- il sistema di gestione (logistica) complesso per assicurare la fornitura costante della risorsa;
- possibili problemi di trasporto con conseguenti costi che possono essere molto elevati nel caso in cui ci sia una lunga filiera produzione – consumo;
- produzione soggetta a variazioni legate alle condizioni ambientali;
- produzione della biomassa non costante durante l'anno;
- contenuto di umidità variabile.

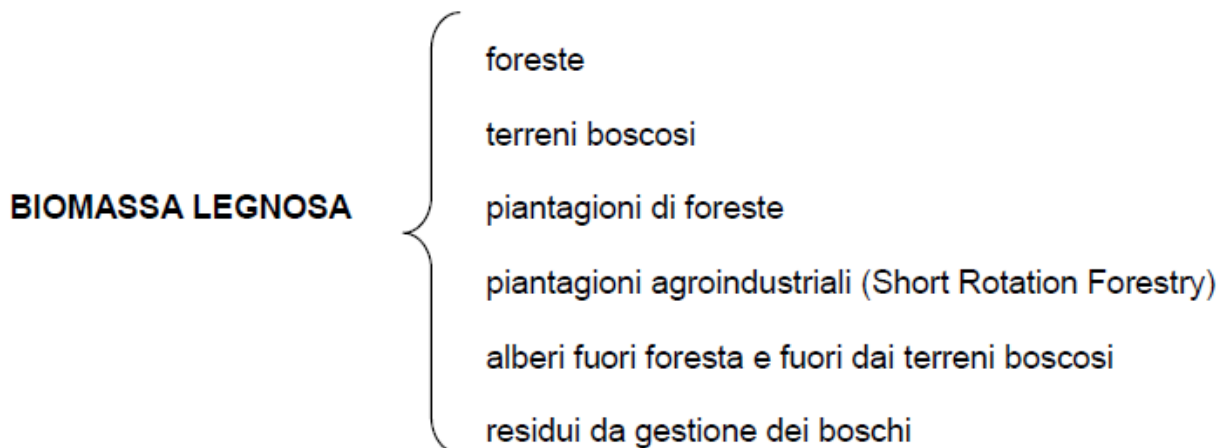
CLASSIFICAZIONE E SFRUTTAMENTO DELLE BIOMASSE.

Una prima classificazione della biomassa può essere fatta in base alla sua origine, e più precisamente si possono distinguere biomasse di origine vegetale e biomasse di origine animale come riportato nello schema seguente.



Un secondo metodo di classificazione consiste nel suddividere le biomasse per tipo, ed in particolare distinguere tra biomasse legnose e biomasse non legnose.

Per biomasse legnose si intendono:



In generale quindi vengono chiamate biomasse legnose (o forestali) i residui forestali risultanti dai diversi tipi di interventi selvicolturali. Esse consistono in linea di principio negli assortimenti minori nel caso di tagli selvicolturali di boschi a fustaia (parte legnosa delle piante con diametro generalmente inferiore ai 18 cm), dall'intero assortimento nel caso dei boschi mantenuti a ceduo.

Costituiscono biomassa forestale gli schianti, ovvero le piante spezzate o sradicate a seguito di eventi climatici, i residui di utilizzazione (rami, cimali ecc.) ed anche gli scarti della lavorazione del legno provenienti dalle segherie (ad esempio cortecce, refili, segatura, trucioli ecc.)

Gli elementi chimici che compongono le biomasse forestali sono prevalentemente il carbonio (49 – 51 %), l'ossigeno (41 – 45 %) e l'idrogeno (5-7 %). A differenza di altri combustibili (ad esempio il carbone) il legno contiene relativamente basse quantità di azoto, tracce di zolfo e altri elementi minerali che vanno a costituire le ceneri. La produzione di ceneri varia infatti tra lo 0,5 e l'1,5 % del volume della biomassa. Il rapporto percentuale tra i principali elementi (in particolare i rapporti H/C e O/C) influiscono in maniera determinante sul valore del legno come combustibile: un alto contenuto di carbonio e idrogeno determina un più alto potere calorifico, mentre elevate presenze di ossigeno, azoto e ceneri hanno un effetto opposto.

Parametri importanti per valutare la qualità delle biomasse forestali sono inoltre alcune proprietà fisiche quali l'umidità, la densità e il peso specifico.

L'umidità esprime la quantità di acqua presente nel legno e può essere valutata sia come rapporto tra la quantità d'acqua contenuta in un pezzo di legno ed il suo peso secco sia come percentuale di acqua sul peso fresco. La quantità di acqua nel legno è estremamente variabile: assume valori diversi in funzione della specie, dell'età, della diversa parte della pianta e della stagione. Generalmente i valori dell'umidità sono più bassi per le latifoglie rispetto alle conifere, nelle parti basse rispetto alle parti alte delle piante, in estate rispetto all'inverno.

La densità è definita come il rapporto tra l'unità di massa e l'unità di volume del legno, essa è misurata in kg/m^3 . La densità rappresenta il più comune indicatore della qualità del combustibile legnoso essendo il potere calorifico del legno ad essa direttamente proporzionale. È necessario però distinguere tra la densità basale del legno, cioè il rapporto tra la massa del legno secco ed il volume del legno con umidità (esclusa la corteccia) e la densità di massa, data dal rapporto tra la massa del legno allo stato fresco ed il volume del legno allo stato fresco.

Il peso specifico è rappresentato invece dal rapporto tra la densità basale del legno e la densità dell'acqua a 4°C. La densità basale del legno varia da 0,3 a 0,7 kg/m^3 in funzione delle condizioni stagionali, della specie, dell'età, della parte della pianta, della forma di governo e trattamento forestale e di altri fattori ancora.

Come indice del valore combustibile del legno viene preso il potere calorifico inferiore, definito come la quantità di calore che si sviluppa in seguito alla combustione completa di 1 kg di legno considerando l'acqua contenuta nei prodotti della combustione allo stato di vapore a 100°C. Il potere calorifico delle biomasse forestali varia notevolmente in funzione delle caratteristiche fisiche e della composizione chimica del materiale. A parità di peso il legno delle conifere ha un potere calorifico maggiore rispetto a quello delle latifoglie; ciò è dovuto alla presenza di resine e a più elevate quantità di lignina. Infatti mentre per le conifere si può raggiungere un PCI di 5000 kcal/kg (legno di pino), per le latifoglie il PCI non supera le 4500 kcal/kg. Con una percentuale di umidità (riferita alla sostanza secca) variabile tra 11 – 12 % e il 15 % si può affermare che, in linea generale, il potere calorifico delle conifere si assesta intorno alle 3800 kcal/kg e quello delle latifoglie attorno alle 3600 kcal/kg (APAT 2003). Le diverse caratteristiche della biomassa sono tra loro correlate, ossia la biomassa forestale può essere considerata un buon combustibile quando ha un ridotto tasso di umidità, quindi un alto PCI e un'elevata densità.

Variazione del PCI all'aumentare del tasso di umidità.

% di umidità	Potere calorifico kcal/kg
15%	3490
20%	3250
25%	3010
30%	2780
35%	2450
40%	2300

Per biomasse non legnose invece si intendono:

**BIOMASSA
NON LEGNOSA**

raccolti agricoli: per alimentazione, foraggio, fibre, semi e frutti (girasole, colza, soia)

residui da raccolti: paglia, foglie, gambi

raccolti erbacei: mischantus, phalarisarundinacea, panicumvirgantum, barbabietola, canna da zucchero, patata, frumento, mais, sorgo

residui da processo di lavorazione industriale

residui animali

biomassa densa: bricchette, pellets, trucioli di legno

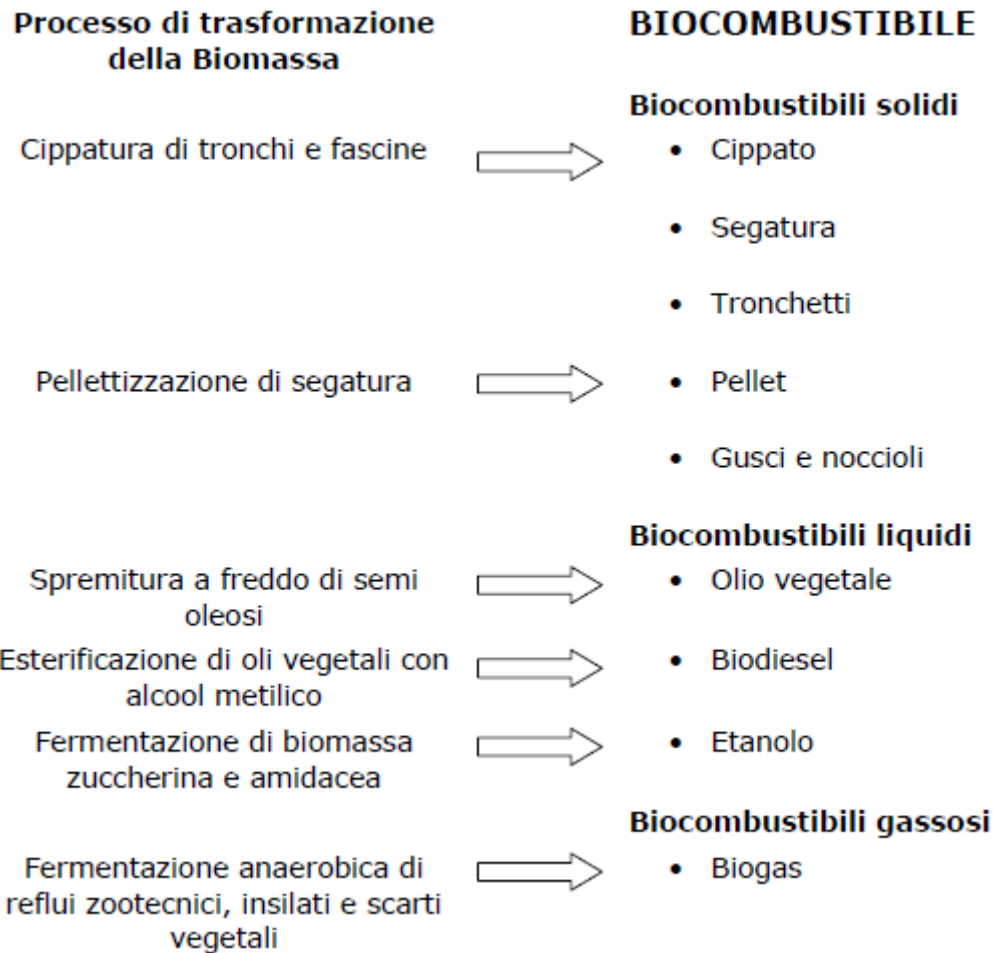
combustibili secondari: biodiesel, biogas, etanolo, metanolo

combustibili terziari: parte organica dei rifiuti solidi urbani

In generale fanno parte delle biomasse non legnose i residui delle lavorazioni agricole, gli scarti dei prodotti agro-alimentari destinati all'alimentazione umana o alla zootecnia, i prodotti organici derivanti dall'attività biologica degli animali e dell'uomo (come quelli contenuti nella frazione organica dei rifiuti solidi urbani) e le essenze coltivate espressamente per scopi energetici (colture dedicate o energy crops). Di queste ultime si ricordano le colture erbacee (sorgo a fibra, canapa, arundo donax), le colture zuccherine (barbabietola da zucchero, sorgo zuccherino, patata), le piante acquatiche e le piante oleaginose (colza, girasole, jatropha).

Per quanto riguarda la resa energetica bisogna considerare il fatto che l'umidità è fortemente variabile per le biomasse non legnose e lo stesso si può dire per la densità; di conseguenza anche il potere calorifico varierà in relazione al tipo di biomassa considerato. Per i residui agricoli il PCI si aggira intorno alle 3800 kcal/kg, per gli scarti agro-alimentari e per i residui organici da attività animale o umana il PCI oscilla tra le 2000 e le 4000 kcal/kg mentre per le colture energetiche dedicate il PCI varia tra le 3500 e le 4500 kcal/kg.

A partire dalla biomassa legnosa e da quella non legnosa, mediante opportuni processi di trasformazione che variano a seconda del combustibile che si vuole ottenere e della matrice impiegata, si possono ricavare biocombustibili solidi, liquidi, gassosi. Lo schema seguente riassume i vari processi di trasformazione e il biocombustibile che viene ottenuto.



Una volta ricavato il biocombustibile, il passo successivo da effettuare è quello della conversione dell'energia chimica in una forma di energia di più facile utilizzo (energia elettrica, energia termica o biocarburanti). Viste le numerose tipologie di biomasse per attuare questa conversione sono disponibili diversi processi. Occorre quindi scegliere il metodo più opportuno per massimizzare l'energia in uscita. A questo punto si fa riferimento a due grandezze specifiche del materiale già citate in precedenza:

- l'umidità (U);
- il rapporto carbonio su azoto (C/N);

I valori assunti da queste grandezze sono importanti per definire il procedimento più efficiente con cui trattare la biomassa. La tabella seguente indica il processo di conversione da utilizzare a seconda dei valori assunti dalle proprietà sopracitate. Questa distinzione ha un valore indicativo, non attenersi ad essa comporta una perdita dell'efficienza globale dovuta a una scelta non ottimale del processo di conversione dal punto di vista energetico.

Caratteristiche del materiale	Tipologia di processo
$U < 50\%$ e $C/N > 30$	Processi Termochimici
$U > 50\%$ e $C/N < 30$	Processi Biochimici
$U < 35\%$ e $C/N > 35$	Esterificazione degli oli

PROCESSI PER LA PRODUZIONE ENERGETICA DA BIOMASSE.

Per sfruttare l'energia delle biomasse è necessario prima trasformarla in una forma più pratica con un'efficienza di conversione il più elevata possibile. A questo proposito i processi comunemente utilizzati e a cui si fa riferimento sono due:

- processi termochimici;
- processi biochimici.

PROCESSI TERMOCHIMICI.

Come si può già capire dal nome, basano il loro funzionamento sull'uso del calore il quale è necessario per innescare le reazioni necessarie per trasformare l'energia chimica in ulteriore calore. L'energia termica generata può poi essere utilizzata per scopi termici (ad esempio per il riscaldamento di singoli edifici oppure se trasferita ad un fluido vettore può essere utilizzata per riscaldare più edifici contemporaneamente attraverso una rete; come avviene negli impianti di teleriscaldamento) oppure può essere impiegata per generare energia elettrica. Fanno parte di questa categoria:

- la combustione diretta;
- la carbonizzazione;
- la gassificazione;
- la pirolisi.

Le biomasse più utilizzate per queste metodologie sono sostanze che hanno umidità bassa (al massimo il 50 %) e un rapporto carbonio su azoto minore di 30.

La combustione diretta.

È il processo più conosciuto e semplice; si basa sull'ossidazione totale del combustibile in presenza di un comburente, l'aria, permettendo così di sfruttare l'energia termica derivante dalla reazione. Viene fatta in caldaie le quali, vista l'esperienza acquisita, hanno generalmente buoni rendimenti (si

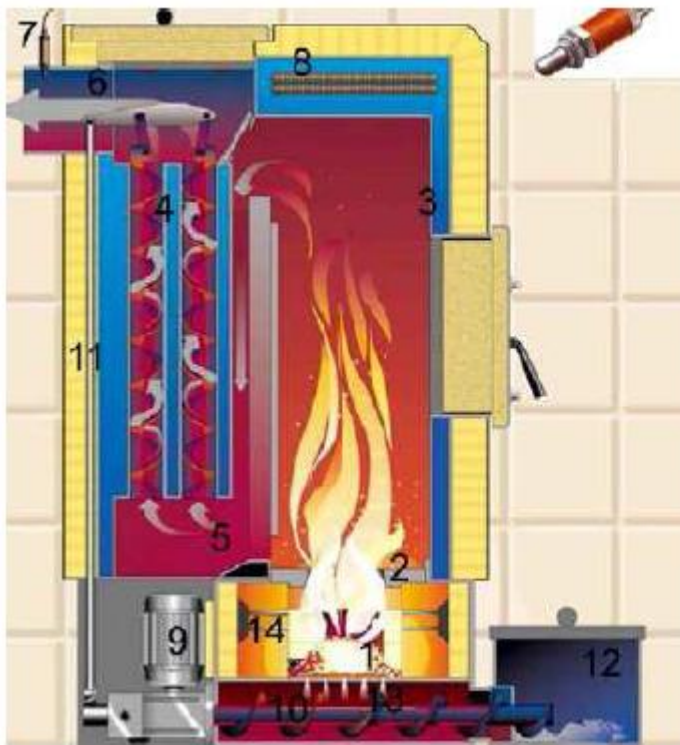
parla di valori superiori all'80-85 %). Le biomasse più utilizzate per questo procedimento sono quelle di origine legnosa; e quindi cippato di legna, tronchetti, pellets ecc. Prima di venire utilizzato il materiale di solito viene essiccato per ridurre il più possibile il valore dell'umidità e quindi far aumentare nel contempo il potere calorifico, i processi di essiccazione possono essere naturali o artificiali.

Essendo il processo più antico e conosciuto, ci sono a disposizione numerose tecnologie che puntano migliorare la resa termica. Le principali tipologie di caldaie presenti sul mercato sono:

- **caldaie a sospensione;** in questo genere di caldaie il materiale viene inserito dall'alto, così facendo il combustibile brucia ad una certa altezza prima di toccare la griglia del fondo. È una tecnologia molto sviluppata nell'ambito industriale e si è potuto ottimizzarla inserendo sostanze con pezzatura fine e un basso tasso di umidità (< 15 %), queste peculiarità rendono questo tipo di caldaia adatto per smaltire gli scarti della lavorazione del legno (segatura, trucioli, ecc). Il rendimento di queste caldaie è dell'ordine dell' 80-85 % con carico ottimale, ma non appena si incrementa o si riduce il lavoro anche il rendimento ne risente. Un difetto di queste caldaie sta nei costi di manutenzione; essi sono in genere elevati data la grande quantità di ceneri che si formano e si depositano nelle varie zone dell'impianto.
- **caldaie a griglia fissa o a griglia mobile;** la griglia da cui questi processi prendono il nome è formata da barre o tubi paralleli che costituiscono dei gradini e favoriscono l'inserimento del materiale da bruciare e la combustione stessa. Le caldaie a griglia fissa sono usate sia per scopi industriali sia per scopi civili, a causa della staticità dell'insieme sono alimentate da combustibili a basso tenore di ceneri, ciò serve ad evitare intasamenti ed ostruzioni degli orifici per l'aria comburente e allo stesso tempo per limitare i costi di pulizia e manutenzione dell'impianto. Il rendimento è dell'ordine dell' 80 %, a causa dell'energia persa per il materiale incombusto che finisce nelle ceneri o esce dal camino con i fumi. Le caldaie a griglia mobile invece cercano di superare i limiti appena descritti, grazie alla possibilità di muovere la griglia è possibile bruciare anche combustibili di minore qualità; cioè con un tasso di umidità e un tenore di ceneri più alto. Risulta anche più facile estrarre le ceneri in modo automatico abbassando così sia il costo di manutenzione sia il costo del combustibile. Se si confrontano i costi, a causa della maggiore complessità quello della caldaia a griglia mobile è sicuramente più elevato. Un problema legato a questa tecnologia è il fatto che con temperature di funzionamento elevate e lunghi periodi di funzionamento le griglie possono perdere le loro caratteristiche meccaniche. Per questo motivo si sono studiati diversi sistemi di raffreddamento: per quelle fisse si inietta un getto d'aria da sotto in modo

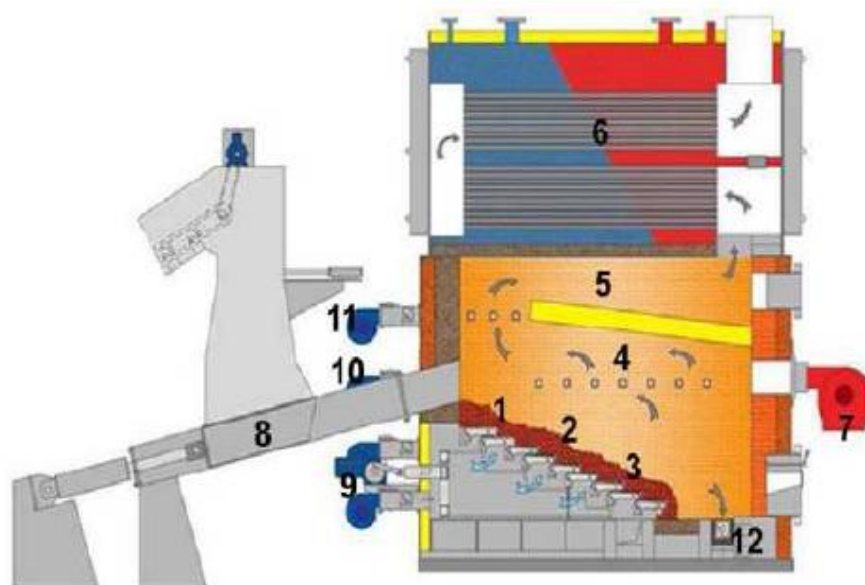
da abbassare la temperatura sulla griglia, per quelle mobili invece si fa passare dell'acqua all'interno della struttura cava delle parti meccaniche.

Esempio di caldaia a cippato con griglia fissa.



1. Sottoalimentazione a spinta
2. Piastra di concentrazione fiamma
3. scambiatore
4. turbolatori
5. flusso gas caldi
6. canna fumaria
7. sonda Lambda³
8. scambiatore di sicurezza (EN 303-5)
9. motore coclee e sist. pulizia scambiatore
10. coclea asporto cenere
11. barra comando sist. pulizia scambiatore
12. cassetto cenere
13. aria primaria
14. aria secondaria pre-riscalsata

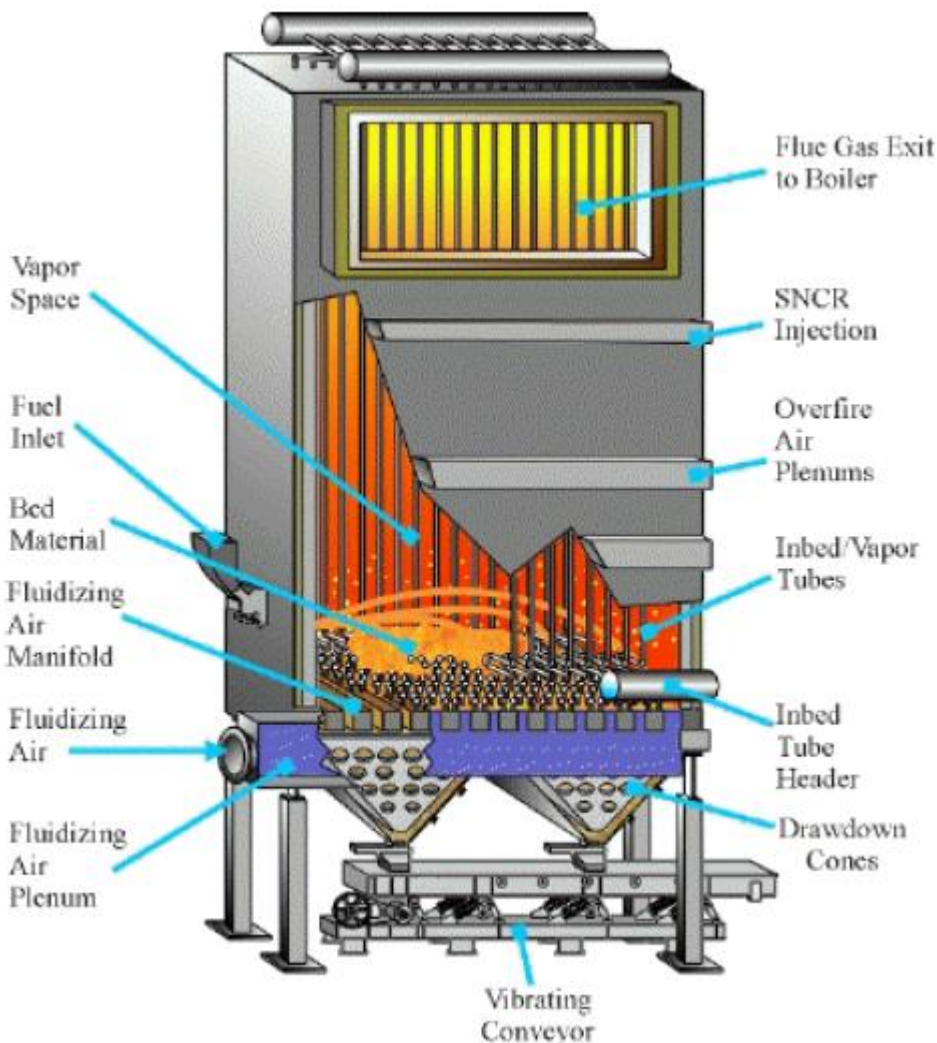
Esempio di una caldaia a cippato a griglia mobile.



1. zona di essiccazione
2. zona di gassificazione
3. zona di ossidazione
4. camera primaria
5. camera secondaria
6. scambiatore
7. bruciatore ausiliario
8. spintore idraulico
9. ventilatori aria primaria
10. ventilatori aria secondaria
11. ventilatori aria terziaria
12. coclea estrazione cenere

- **caldaie a letto fluido;** tecnologicamente parlando rappresentano la soluzione più recente per quanto riguarda la conversione di energia da combustibili solidi. Il principio di funzionamento è quello di iniettare dal basso un forte getto d'aria attraverso un letto di sabbia. Quest'ultimo, sottoposto a tale forza, si solleva e sottopone le particelle di sabbia a continua agitazione. Fatto ciò, si immette il combustibile in modo da creare un sistema unico tra sabbia e biomassa, che viene mantenuto in sospensione e in continuo rimescolamento. Il tutto assume caratteristiche simili a un fluido, da cui deriva appunto il nome "letto fluido". Finchè non si arriva ad avere un equilibrio il tutto viene sostenuto da una griglia. Questa tecnologia permette di limitare l'eccesso d'aria comburente abbassando così le emissioni di NO_x , consente poi di raggiungere rendimenti di combustione molto elevati ($> 90\%$), i fumi in uscita vengono filtrati in modo da separare le particelle solide del gas e riciclarle con un nuovo inserimento nel letto fluido. In questo modo si riescono ad avere basse emissioni di anidride carbonica e idrocarburi incombusti. A seconda delle caratteristiche assunte dal letto fluido si possono distinguere due tipologie di combustione: la "fluid bed combustion" (FBC) è il letto fluido normale il quale a sua volta si divide in "bubbling fluid bed combustion" (BFBC, cioè letto fluido bollente) e "circulating fluid bed combustion" (CFBC, cioè letto fluido ricircolato), e la "pressured fluid bed combustion" (PFBC) cioè il letto fluido pressurizzato che viene usato negli impianti ibridi gas vapore. In una caldaia a letto fluido bollente la velocità del gas è relativamente bassa (1-1,5 m/s) e la quantità di particelle trascinate via dai fumi è contenuta, il risultato è un letto chiaramente definito del quale è possibile individuare le dimensioni. Al contrario se il letto fluido è ricircolato il gas assume velocità più elevate (4-8 m/s) e quindi le particelle trasportate dai fumi sono molto numerose, il letto non ha una forma definita ma occupa uno spazio all'interno della caldaia nettamente superiore rispetto alla tecnologia precedente. Tale metodo vista l'elevata quantità di particelle movimentate necessita di un buon sistema di filtraggio dei fumi in modo tale da recuperare e reinserire il materiale solido che tenta di fuoriuscire. I vantaggi del sistema ricircolato sono legati soprattutto alla compattezza e ai minori problemi dovuti allo scambio termico visto che questo avviene fuori dalla camera di combustione. Tale sistema ha poi il pregio di consentire una certa flessibilità per quelle che possono essere le variazioni di carico rispetto ai sistemi a letto fluido bollente.

Esempio di caldaia a biomassa a letto fluido.



La carbonizzazione.

È un processo di pre-trattamento che consiste nella trasformazione della biomassa legnosa in carbone, il risultato è il cosiddetto carbone vegetale o carbone di legna. È un'alterazione termochimica che avviene in assenza di aria, nello specifico si somministra calore in presenza di ossigeno cercando di eliminare tutti quei prodotti volatili e non combustibili (come ad esempio l'acqua). Questo metodo è molto simile alla pirolisi, il carbone vegetale che si ricava viene utilizzato o come combustibile oppure come materia prima da cui ottenere prodotti chimici industriali.

La gassificazione.

È un processo di ossidazione parziale in difetto d'ossigeno che avviene a temperature molto elevate, circa 900-1000 °C. All'interno della camera di combustione una parte della biomassa viene bruciata per provvedere al calore necessario per innescare le reazioni chimiche del processo. Come risultato si ottiene un gas combustibile la cui composizione è molto eterogenea (si possono trovare anidride carbonica, vapore acqueo, idrocarburi vari, metano e altri gas). La frazione dei vari elementi all'interno del gas stesso dipende dal tipo di gassificatore, dal tipo di biomassa usata come combustibile e dal livello di umidità. Si possono distinguere diverse tipologie di gassificazione:

1. gassificazione in aria;
2. gassificazione in ossigeno;
3. gassificazione in vapore acqueo.

La miscela gassosa risultante assume diversi nomi e diversi valori del potere calorifico a seconda del processo di gassificazione utilizzato, come evidenziato nella tabella seguente.

	PCI MJ/Nm ³	Risultato
Gassificazione in aria	5,5÷7,5	Gas di gasogeno
Gassificazione in ossigeno	14	Gas di sintesi
Gassificazione in vapor acqueo	10	

Nel processo di gassificazione in ambiente ricco di aria è ottenuto un gas caratterizzato da un basso potere calorifico, questo a causa dell'abbondante presenza di azoto. Per questo motivo il gas di gasogeno viene usato prevalentemente nelle caldaie. Al contrario i gas generati attraverso gli altri processi possono essere impiegati direttamente sia in turbine a gas sia nelle reazioni di sintesi di molti prodotti (metanolo, idrogeno, ammoniaca, ecc). Se lo scopo è quello di produrre energia elettrica risulta più conveniente usare la gassificazione in ossigeno o quella in vapore acqueo. Le due reazioni in questione sono molto diverse, mentre la gassificazione in ossigeno è una reazione esotermica, e perciò libera calore utilizzabile, la gassificazione in vapore acqueo risulta fortemente endotermica, cioè assorbe calore. Inoltre mentre il procedimento svolto in ossigeno richiede temperature molto elevate, quello in vapore acqueo avviene a temperature più basse. Ne consegue che, nella pratica, si usano miscele di ossigeno e vapore acqueo in modo tale da sfruttare la massima resa termica con valori di temperatura non troppo elevati. Per quanto riguarda la gassificazione in aria va detto che l'uso del gas di gasogeno come vettore energetico è ancora molto complesso a causa dei problemi di stoccaggio e trasporto che esso presenta; per questo motivo si preferisce trasformare il gas in benzine sintetiche a più alto contenuto energetico.

La pirolisi.

È un processo basato su una decomposizione termochimica che avviene fornendo calore a temperature elevate (400 ÷ 800 °C) in quasi totale assenza di ossigeno. La caratteristica di questo processo è quella di avere prodotti sia solidi che liquidi o gassosi. Le proporzioni sono legate al tipo di pirolisi scelto e ai parametri della reazione. Si possono distinguere diverse tipologie di svolgimento della pirolisi:

1. pirolisi lenta;
2. pirolisi convenzionale;
3. pirolisi veloce (o flash pirolisi) la quale a sua volta si suddivide in due modalità a seconda della temperatura a cui viene eseguita.

La scelta del procedimento e del materiale con cui alimentare il reattore viene fatta a seconda del tipo di prodotto che si vuole ottenere (ad esempio per ottenere alcool metilico oppure acido acetico è necessario impiegare legno proveniente da piante a foglie caduche, mentre per ottenere carbone di legna è preferibile impiegare legno proveniente da piante sempreverdi). L'essiccazione della biomassa è un fattore che influenza il rendimento del processo di pirolisi in quanto l'acqua contenuta nel materiale richiede un elevato calore di vaporizzazione, quindi per avere buoni rendimenti il tasso di umidità non deve essere superiore al 20 %. È possibile raggiungere questo valore con un processo di essiccazione naturale (lento ma che non richiede di spendere energia) oppure utilizzando forni a temperatura di 100 °C che garantiscono l'evaporazione dell'acqua contenuta nel materiale evitando la sua possibile autoaccensione. Per quanto riguarda gli usi le opzioni più convenienti sono i cicli combinati con olio pirolitico per gli impianti di grande taglia, mentre per gli impianti più piccoli vengono usati motori a ciclo diesel basati su prodotti pirolitici (una volta raffinato l'olio pirolitico permette di ottenere biobenzine e biodiesel). Un vantaggio di questo metodo è che non implicando la combustione della biomassa permette di evitare l'emissione in atmosfera di sostanze inquinanti e dannose per l'uomo e per l'ambiente. Sistemi di questo genere possono essere usati in diversi ambiti industriali o possono essere applicati per smaltire i rifiuti solidi urbani (RSU).

I PROCESSI BIOCHIMICI.

Sono dei processi che basano il loro funzionamento su enzimi, funghi o microrganismi che vengono a formarsi nel materiale in determinate condizioni. Le biomasse più utilizzate per queste metodologie sono quelle che hanno un elevato tasso di umidità (> 50 %) e un basso valore del rapporto carbonio su azoto (< 30). Sono processi utilizzati soprattutto per produrre biocombustibili,

anche se i loro prodotti possono venire impiegati anche per scopi diversi. I processi biochimici maggiormente utilizzati al giorno d'oggi sono:

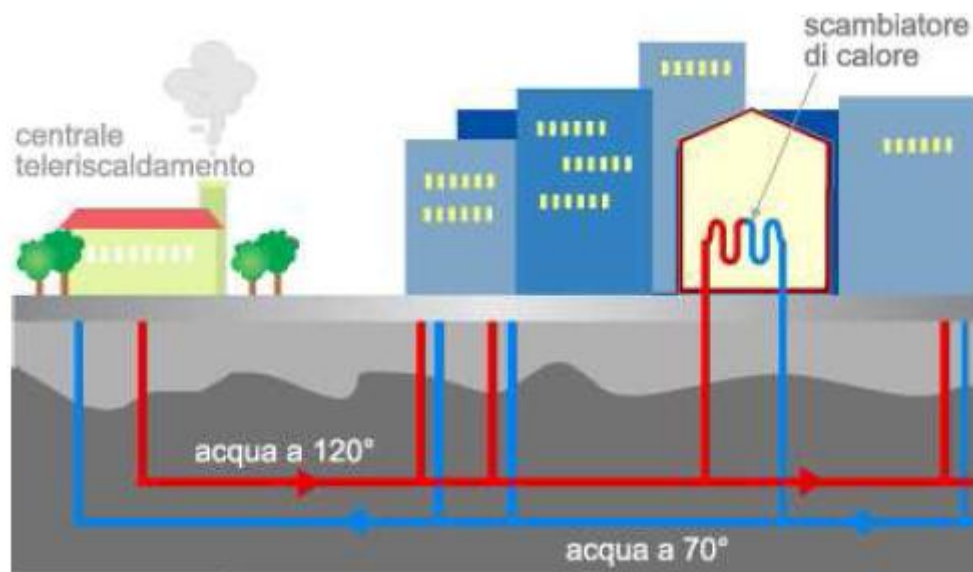
- la digestione anaerobica;
- la digestione aerobica;
- la fermentazione alcolica;
- l'esterificazione degli oli.

LO SFRUTTAMENTO DELL'ENERGIA TERMICA PRODOTTA: GLI IMPIANTI DI TELERISCALDAMENTO A BIOMASSA.

Nel glossario dell'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas si trova la seguente definizione di teleriscaldamento: “sistema di riscaldamento a distanza di un quartiere o di una città che utilizza il calore prodotto da una centrale termica, da un impianto di cogenerazione o da una sorgente geotermica”. In un sistema di teleriscaldamento il calore viene distribuito agli edifici tramite una rete di tubazioni in cui fluisce un fluido termovettore (che può essere acqua o vapore).

Il termine “teleriscaldamento” evidenzia una specifica caratteristica del servizio, ossia la distanza esistente tra il punto di produzione e i punti di utilizzo del calore: il cuore del sistema è composto da una o più centrali che possono servire edifici situati anche ad alcuni chilometri di distanza e che sono collegati alla centrale mediante una rete di tubi interrati.

Le componenti principali di un sistema di teleriscaldamento sono: una centrale termica dove viene prodotto il calore, una rete di trasporto e distribuzione costituita da speciali condotte sotterranee e un insieme di sottostazioni. Queste ultime sono situate nei singoli edifici da servire e sono costituite da scambiatori di calore che permettono di realizzare lo scambio termico tra l'acqua della rete di teleriscaldamento (circuito primario) e l'acqua del circuito dell'utilizzatore (circuito secondario) senza che vi sia miscelazione tra i due fluidi. Nella centrale termica il calore sviluppato viene trasferito all'acqua del circuito primario che si riscalda e viene poi inviata alle diverse utenze attraverso la rete di distribuzione. Giunta alla sottostazione l'acqua della rete trasferisce all'acqua del circuito secondario il calore necessario per riscaldare gli ambienti e per la produzione dell'acqua calda sanitaria. Alla fine di questo processo l'acqua, ormai raffreddata, ritorna alla centrale per essere nuovamente riscaldata.



L'impianto di distribuzione interno agli edifici allacciati alla rete resta inalterato e lo scambiatore di calore sostituisce la caldaia convenzionale. Nel caso in cui allo scambiatore siano allacciate più utenze, presso ciascuna di esse è installata un'apposita apparecchiatura che consente di gestire autonomamente le temperature dei locali e di registrare i relativi consumi. L'affidabilità del servizio è molto elevata ed è possibile applicare il sistema ad intere aree urbane, rendendolo un vero e proprio servizio pubblico come l'acquedotto o la rete elettrica cittadina.

Perché il teleriscaldamento abbia efficacia, è necessario tuttavia individuare un'utenza concentrata in un'area ben definita, come un quartiere, un'area commerciale o industriale, un insieme di utenze pubbliche prossime tra loro o loro combinazioni (la traduzione in inglese di teleriscaldamento, "district heating", richiama proprio questa caratteristica di riscaldamento distrettuale). Non è perciò consigliabile una rete di teleriscaldamento che colleghi utenze isolate o sparse, questo perché il costo della rete è molto elevato ed è proporzionale all'estensione della rete stessa. Se le utenze sono molto sparse sarà necessario realizzare una rete molto lunga per fare in modo che ognuna di esse possa allacciarsi alla condotta primaria, di conseguenza i costi di investimento per il complesso centrale più rete aumenteranno di molto rendendone poco conveniente la realizzazione.

Negli impianti di teleriscaldamento a biomassa il calore prodotto nelle centrali termiche è ottenuto solitamente usando come combustibile la biomassa legnosa, attraverso il processo di combustione. Negli ultimi anni questi impianti si sono sviluppati maggiormente nei paesi di montagna data l'elevata presenza di superficie boscata e quindi l'elevata disponibilità di biomassa legnosa da filiera corta. Con "filiera corta" si intende dire che la biomassa ha origine all'interno di un raggio di 70 km dall'impianto di produzione dell'energia, questo è un aspetto molto importante da tenere in considerazione in quanto utile per fare una stima dei costi di approvvigionamento della biomassa.

Infatti maggiore è la distanza tra il sito di produzione e la centrale termica e maggiori saranno i costi per il trasporto della biomassa nelle vicinanze della centrale stessa (silos di stoccaggio interno oppure piazzale o capannone esterno). Se la somma dei costi di trasporto e di acquisto risultano troppo elevati si perde una buona parte del vantaggio che deriva dalla grande disponibilità della biomassa nel territorio.

La biomassa legnosa, derivante da interventi di taglio e pulizia dei boschi, schianti e scarti dell'industria del legno (scarti di segheria), prima di poter essere usata come combustibile viene trasformata in cippato di legna; ovvero viene sminuzzata e ridotta in scaglie che possono avere dimensioni variabili da alcuni millimetri fino a 7-8 centimetri. Con questa operazione la biomassa può essere maneggiata e trasportata più facilmente, può essere stoccata nei silos e permette un'alimentazione automatica delle caldaie. La dimensione del cippato va ad influenzare la rapidità della combustione, la facilità di alimentazione della caldaia e la purezza del materiale da corpi estranei. La qualità del cippato dipende dal materiale di provenienza, dal livello di umidità (che ne va ad influenzare il potere calorifico) e dalla tecnologia di produzione; a questo proposito si possono distinguere:

1. cippato prodotto dai residui forestali; come ramaglie, cimali o tronchi interi derivanti dai diradamenti boschivi. Questo tipo di cippato è caratterizzato da un'elevata umidità (circa il 50 %), da una pezzatura non omogenea e da un contenuto non trascurabile di cortecce e fogliame;
2. cippato prodotto dagli scarti di segheria; ha proprietà combustibili superiori ma presenta un tasso di umidità ancora troppo elevato (40÷50 %) che lo rende quindi idoneo ad essere bruciato solo in caldaie di una certa taglia (non nelle piccole caldaie a meno che non sia prima sottoposto ad un processo di essiccazione);
3. cippato prodotto dai diradamenti purchè privi di ramaglie e fogliame; in questo caso il tasso di umidità è più contenuto (~30 %), il potere calorifico è più elevato e la pezzatura si presenta abbastanza uniforme.

Il processo di combustione per la produzione dell'energia termica avviene all'interno di caldaie che solitamente sono del tipo a griglia mobile; questa tipologia di caldaia permette infatti di bruciare cippato di qualità più bassa, vale a dire con un tasso di umidità maggiore (fino al 50 %) e con un contenuto di ceneri più alto. Il calore generato viene trasferito al fluido termovettore (che di solito è acqua) mediante uno scambiatore di calore del tipo gas-fluido, il fluido viene poi fatto circolare nella rete di teleriscaldamento con l'utilizzo di un sistema di pompaggio e andrà a soddisfare la richiesta termica di tutte le utenze allacciate alla rete.

Vantaggi del teleriscaldamento.

Nonostante la realizzazione di un sistema di teleriscaldamento rispecchi l'interesse della ditta proprietaria, che consiste nel profitto derivato dalla vendita dell'energia termica, la costruzione dell'impianto porta ad una serie di benefici collettivi, individuali e ambientali.

Sul territorio comunale l'introduzione di un sistema di teleriscaldamento favorisce la razionalizzazione di un settore quale quello dei consumi termici degli edifici, generalmente contraddistinto da basse efficienze nell'utilizzo dell'energia. Inoltre lo spegnimento delle caldaie di edificio e di appartamento porta all'eliminazione di una fonte di rischi per la pubblica sicurezza come incendi ed esplosioni. La creazione di un'azienda di gestione di un nuovo servizio produce a livello locale occupazione e sviluppo, soprattutto se si considera l'attivazione della filiera per l'approvvigionamento della biomassa.

Il teleriscaldamento non presenta solo vantaggi collettivi ma porta anche a convenienze per i singoli utenti; si consideri che, per un principio di concorrenza, le tariffe del servizio calore saranno necessariamente posizionate per offrire all'utenza un risparmio economico rispetto alle soluzioni tradizionali. Ad essere offerto poi è un servizio finale e non un combustibile che necessita di una ulteriore trasformazione tramite le caldaie. Il servizio calore permette di:

- pagare a contatore il servizio e non il combustibile;
- regolare la durata del riscaldamento secondo le proprie esigenze (sempre secondo le limitazioni di legge).

I costi per gli utenti sono ancora minori se si analizzano altri fattori:

- costi evitati per acquisto e manutenzione ordinaria e straordinaria delle caldaie che vengono eliminate;
- maggiore disponibilità di spazi utili (le dimensioni degli scambiatori per teleriscaldamento sono minori delle caldaie di pari potenza, ed inoltre non richiedono locale ventilato, tiraggio, ecc.).

Il vantaggio economico va valutato infatti sul ciclo di vita delle apparecchiature considerando tutti i costi (acquisto, esercizio, manutenzione).

La riduzione del consumo di fonti energetiche fossili comporta chiari vantaggi ambientali, come già detto le singole caldaie di appartamento o di edificio che solitamente usano come combustibile il gasolio vengono eliminate e quindi oltre alla riduzione dei consumi si ha una netta diminuzione delle emissioni di CO_{2eq} nell'ambiente. Inoltre l'eliminazione delle caldaie distribuite e la loro sostituzione con un'unica centrale termica consente l'adozione delle migliori tecnologie di abbattimento degli inquinanti; infatti una sola fonte di emissioni è più facilmente controllabile e può essere facilmente sottoposta ad interventi migliorativi con il progredire della tecnologia.

L'uso della biomassa, oltre che comportare benefici ambientali, riduce la dipendenza dall'importazione di combustibili fossili, consente di valorizzare le risorse agro-forestali ed incrementare il reddito delle attività. L'uso razionale dei bacini di raccolta della biomassa può invece favorire la prevenzione degli incendi e la diminuzione dei rischi idrogeologici.

Servizi resi alla comunità.

I possibili servizi resi alla cittadinanza al momento della realizzazione delle sottostazioni riguardano le varie possibilità di impianto installabile in particolare:

- teleriscaldamento individuale; fornitura di teleriscaldamento standard e unità di contabilizzazione per ogni unità abitativa. L'unità di contabilizzazione è il sistema di misurazione dell'energia termica (per riscaldamento e acqua calda sanitaria) costituito da un contacalorie, un contatore volumetrico e valvole di intercettazione. Il contratto di fornitura potrebbe essere direttamente tra il gestore e il cliente finale.
- Allacciamento e messa a norma del circuito secondario; possibilità di affidare al gestore oltre l'allacciamento al teleriscaldamento, la messa a norma dell'impianto secondario, in particolare la sostituzione dei vasi di espansione, la trasformazione dell'impianto interno da vaso aperto a vaso chiuso, la messa a norma dell'impianto elettrico, ecc.
- Trasformazione di un condominio con caldaie mono-famigliari; quando la canna fumaria è da sostituire e le singole caldaie sono obsolete può essere vantaggioso allacciarsi al teleriscaldamento. Si può utilizzare la canna fumaria per una nuova distribuzione interna ed installare al posto delle caldaie i cosiddetti moduli satellite, ossia apparecchiature idonee a produrre riscaldamento e acqua calda sanitaria, oppure contacalorie con valvola di zona. In questo modo si uniscono i vantaggi del teleriscaldamento mantenendo la completa autonomia di regolazione.

LA COGENERAZIONE.

Con il termine cogenerazione si indica la produzione combinata di energia elettrica e di energia termica. Questi impianti sono in grado di produrre energia elettrica e recuperare contemporaneamente l'energia termica che si sprigiona durante il processo termodinamico, energia che nelle centrali elettriche convenzionali verrebbe espulsa nell'ambiente e quindi persa. Pertanto a parità di energia utile ricavata, la produzione combinata di energia elettrica e termica consente un minor consumo e uno sfruttamento ottimale dell'energia sprigionata dal combustibile.

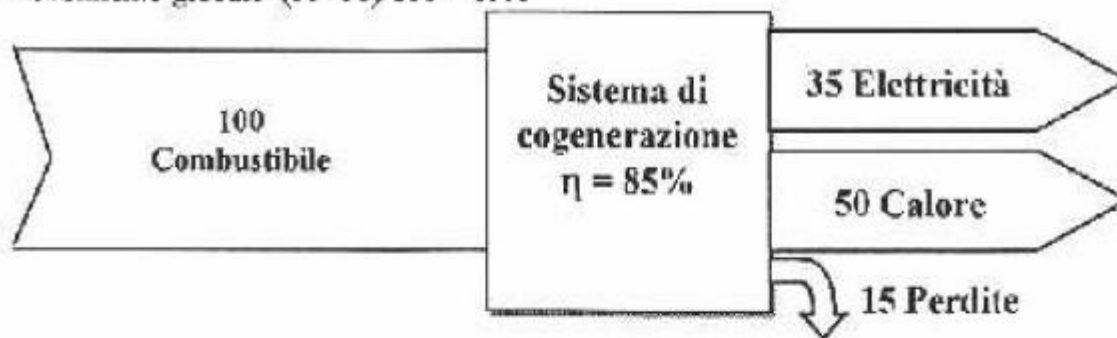
L'energia termica sviluppata dalla combustione della biomassa viene utilizzata per produrre vapore surriscaldato ad alta temperatura e alta pressione che poi viene fatto espandere in una turbina a

vapore per la produzione dell'energia elettrica. Il vapore in uscita dalla turbina ha una temperatura ancora piuttosto elevata e quindi può essere recuperato e inviato ad uno scambiatore dove cede calore al fluido termovettore che circola nella rete di teleriscaldamento. In questo modo si ha da una parte la produzione di energia elettrica e dall'altra il recupero del calore per soddisfare le richieste di energia termica delle utenze allacciate alla rete.

Il recupero del calore può essere totale o parziale; nel primo caso l'intera portata di vapore in uscita dalla turbina viene recuperata e sfruttata per i bisogni delle utenze, nel secondo caso invece grazie ad una valvola di regolazione situata tra il corpo di alta pressione e quello di bassa pressione della turbina si può effettuare uno spillamento di vapore che verrà usato per i bisogni della rete di teleriscaldamento, la restante parte del vapore passerà nel corpo di bassa pressione per la produzione di ulteriore energia elettrica.

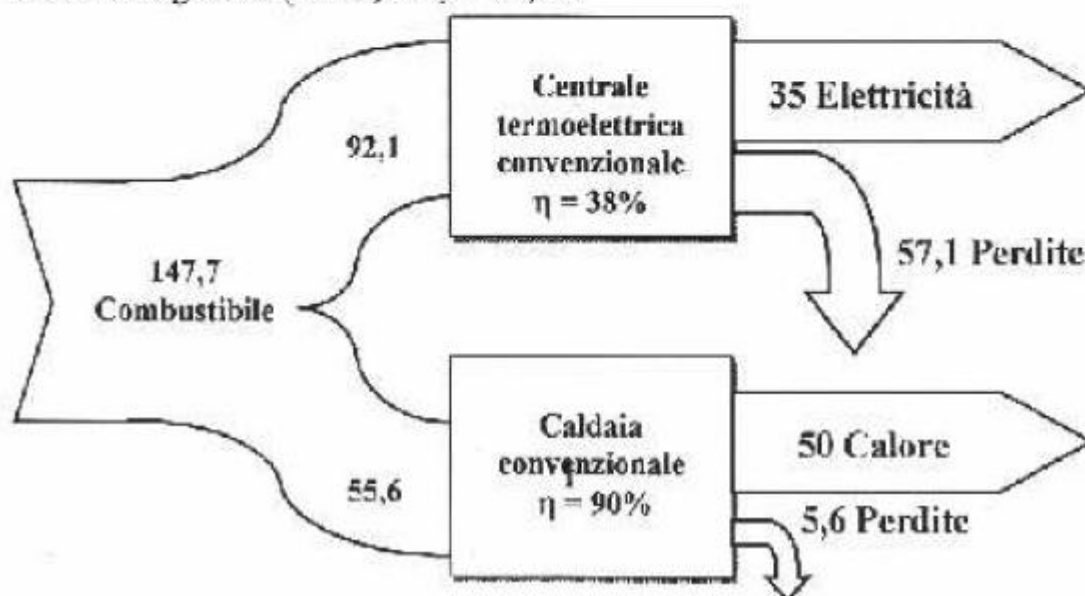
La figura seguente indica come per ottenere la stessa quantità di energia utile finale (35 unità di energia elettrica e 50 di energia termica) sia necessaria una quantità di energia primaria pari quasi a 150 nel caso di produzione separata (con rendimento elettrico medio delle centrali termoelettriche pari al 38 % e rendimento medio di generazione del calore con una caldaia pari all'87 %), e sia invece sufficiente una quantità di energia primaria pari a 100 nel caso della cogenerazione (rendimento totale dell'85 %, di cui 31 % come rendimento elettrico e 59 % come rendimento termico).

SISTEMA DI COGENERAZIONE
 Rendimento globale $(35+50)/100 = 85\%$



PRODUZIONE CONVENZIONALE SEPARATA

Rendimento elettrico netto medio centrale termoelettrica convenzionale 39%
 Rendimento termico caldaia 90%
 Rendimento globale $(35+50)/147,7 = 57,5\%$



ESEMPI DI IMPIANTI DI TELERISCALDAMENTO A BIOMASSA. LA FIPER.

Con sede a Tirano (SO) la FIPER   la Federazione Italiana Produttori di Energia da fonti Rinnovabili che opera nell'ambito del teleriscaldamento a biomassa riunendo le centrali di teleriscaldamento che utilizzano esclusivamente combustibili legnosi e le imprese che producono biogas da reflui e biomasse agricole. Tale Federazione si muove in prima linea per quanto riguarda la sensibilizzazione dei cittadini verso l'efficienza energetica e l'uso delle energie rinnovabili. Il teleriscaldamento a biomassa rappresenta una risposta puntuale alla domanda di energia locale ma

soprattutto garantisce un impatto economico, occupazionale e ambientale significativo dove gli impianti hanno sede. Gli impianti di teleriscaldamento a biomassa legnosa associati alla FIPER sono in totale 78, ubicati in nord e centro Italia e costituiscono l'85 % del comparto a livello nazionale. FIPER ha elaborato interessanti stime sulla potenzialità di una delle filiere più promettenti tra le energie rinnovabili; quella delle biomasse per il teleriscaldamento dei comuni italiani non ancora metanizzati.

La provincia di Bolzano è attualmente la realtà italiana dove è maggiormente diffuso il teleriscaldamento da impianti alimentati con biomasse lignocellulosiche anche in virtù del fatto che circa il 42 % dei territori dell'Alto Adige è ricoperto da boschi e foreste e quindi la disponibilità di biomassa è molto elevata. Considerando la potenza termica installata per estensione di territorio i dati di Bolzano sono di assoluto valore anche a livello europeo.

In Alto Adige la FIPER conta 38 soci e altrettanti impianti di teleriscaldamento o cogenerazione (energia elettrica più teleriscaldamento).

Impianto di teleriscaldamento a biomassa termo - elettrico di Dobbiaco – San Candido.

Anno di costruzione: 1995;

Centrale termica: 2 caldaie a biomassa con potenza 4 MW;

1 caldaia a biomassa con potenza 10 MW;

impianto ORC per la produzione di energia elettrica con potenza circa 1500 kW;

Potenza allacciata: 34 MW;

Utenti allacciati: 640;

Energia termica prodotta: 44000 MWh/anno;

Energia elettrica prodotta : 7809 MWh/anno;

Lunghezza complessiva della rete di teleriscaldamento: 87 km;

Deposito cippato all'aperto: 80000 m³;

Deposito cippato coperto: 5000 m³;

Pulizia fumi: ciclone, multiciclone, condensazione fumi, filtro elettrostatico;

Ricavo energia termica venduta: 3,7 milioni €/anno;

Ricavo energia elettrica venduta: 1,2 milioni €/anno;



Biomassa forestale utilizzata



*Centrale di teleriscaldamento di
Dobiacco – San Candido*



Caldaia a 10 MW



Caricamento cippato di legno



*Realizzazione rete di
teleriscaldamento*

Impianto di teleriscaldamento a biomassa di Pomino, Comune di Rufina (FI).

L'impianto di teleriscaldamento a biomassa di Pomino – Rufina è nato su iniziativa della Comunità Montana Montagna Fiorentina per rispondere all'esigenza della popolazione locale di abbattere gli elevati costi di riscaldamento. Il Comune di Pomino si trova ad un'altitudine di 585 metri sul livello del mare in un'area non metanizzata e non soggetta a defiscalizzazione per i combustibili da riscaldamento. Ecco quindi che al fine di valorizzare le risorse forestali del territorio la Comunità Montana Montagna Fiorentina ha dato il via ad un percorso partecipato e condiviso con la popolazione locale di Pomino al fine di stabilire se la costruzione di un impianto di teleriscaldamento a biomassa legnosa fosse utile e conveniente. Dopo aver esaminato attentamente la situazione nel 2010 è stato realizzato l'impianto che tuttora serve 72 utenze (che rappresentano il 90 % della popolazione) per un volume riscaldato complessivo pari a 27000 m³. La centrale termica è composta da due caldaie modello Binder RRK 640 – 850 e RRK 400 – 600, ha una potenza termica complessiva installata pari a 970 kW e consente l'erogazione di 1800 MWh/anno di energia termica, con un rendimento del 90 %. Le caldaie sfruttano come combustibile il cippato di legna, preferibilmente con un tasso di umidità non superiore al 30 % e pezzatura media di 4,5 cm (il potere calorifico è pari a 3,4 MWh/t); il consumo medio è pari a circa 600 t/anno. La biomassa legnosa dalla quale viene ricavato il cippato proviene dai boschi limitrofi (cure colturali in impianti artificiali di conifere), da interventi selvicolturali (altrimenti non realizzabili perché poco convenienti), interventi di ripulitura degli alvei, potature di oliveti, vigneti ecc. Il cippato viene accumulato in un silo di stoccaggio di volume pari a 408 m³ (consente un'autonomia media nel periodo invernale di 45 giorni), viene estratto dal silo mediante un sistema di rastrelli e convogliato in caldaia con una coclea di alimentazione. Il calore generato dalla combustione viene usato per riscaldare il fluido termovettore che poi attraverso un sistema di pompaggio viene fatto circolare in una rete di teleriscaldamento lunga 1500 m alla quale sono allacciate le diverse utenze. L'impianto è poi dotato di un serbatoio di accumulazione dell'acqua (puffer) di capacità 25000 litri.

L'intero sistema è regolato e controllato in maniera automatica da un dispositivo di comando dotato di microprocessore, esso consente di ottimizzare le fasi della combustione e quindi di avere un ottimo controllo sulle emissioni.

Le unità abitative di Pomino erano riscaldate con caldaie a GPL o a gasolio, nella maggior parte dei casi integrate con stufe, caminetti o termocamini a legna. La costruzione dell'impianto e la sostituzione delle singole caldaie con un'unica caldaia a cippato ha consentito di evitare ogni anno l'emissione in atmosfera di circa 540 t di CO₂ rispetto al gasolio e circa 453 t rispetto al GPL (il risparmio di gasolio è stato di circa 180000 litri/anno).

CAPITOLO 2. L'IMPIANTO DI TELERISCALDAMENTO A BIOMASSA DI SANTO STEFANO DI CADORE.

Considerazioni iniziali.

Santo Stefano di Cadore è un piccolo Comune del Veneto, situato nella parte alta della provincia di Belluno a pochi chilometri dal confine con il Trentino Alto Adige e con il Friuli Venezia Giulia, conta circa 2900 abitanti e si trova ad un'altitudine di 908 metri sul livello del mare in un territorio a carattere in prevalenza montuoso sul quale è presente una superficie boscata che secondo i dati della Comunità Montana del Comelico – Sappada (di cui il Comune fa parte) ha un'estensione di 21270,06 ettari.



Il Comune si trova in zona climatica F (il numero dei gradi giorno è 4141) ed è quindi soggetto a inverni lunghi e molto freddi, inoltre va detto che l'area dove sorge il Comune non è metanizzata. La popolazione per soddisfare il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento degli edifici e la

produzione dell'acqua calda sanitaria si affida in prevalenza all'uso di caldaie a gasolio e di stufe a legna, risorsa peraltro molto disponibile nel territorio.

L'impianto di teleriscaldamento a biomassa di Santo Stefano è stato realizzato principalmente per conseguire i seguenti obiettivi:

- ridurre il consumo di combustibili fossili per la produzione di energia termica;
- ridurre la spesa energetica legata ai costi dovuti all'approvvigionamento di combustibili fossili;
- ridurre le emissioni di gas serra legate all'uso dei combustibili fossili, che specialmente in queste zone dove le caldaie sono attive per un periodo che dura in media dai 7 agli 8 mesi possono essere notevoli;
- valorizzare le risorse del luogo, in particolare la biomassa forestale, la cui disponibilità è molto ingente data l'elevata superficie boscata presente e il grande numero di industrie di lavorazione del legno attive nel territorio;

La centrale di Santo Stefano produce energia termica sfruttando come combustibile il cippato di legna ottenuto dalla cippatura della biomassa legnosa (scarti degli interventi di taglio e manutenzione dei boschi e scarti delle industrie di lavorazione del legno, ecc.). L'energia prodotta viene trasferita ad un fluido termovettore (che in questo caso è l'acqua) attraverso uno scambiatore di calore, tale fluido viene poi fatto circolare in una rete di tubi interrati (rete di teleriscaldamento, detta anche circuito primario) alla quale sono allacciate le diverse utenze da servire, in questo modo si ha il "trasporto" dell'energia termica dalla centrale fino al singolo edificio. Ciascuna utenza è provvista di una sottostazione composta da un contacalorie (per la misura dell'energia termica consumata) e da uno scambiatore a piastre; questo permette lo scambio del calore tra l'acqua della rete e l'acqua del circuito dell'abitazione (circuito secondario) evitando il mescolamento dei due fluidi. L'acqua del circuito secondario riscaldata nella sottostazione sarà il mezzo con cui soddisfare le esigenze di riscaldamento degli ambienti o la richiesta di acqua calda sanitaria, mentre l'acqua della rete ormai fredda dopo aver ceduto parte del proprio calore è convogliata in centrale dove sarà nuovamente riscaldata sino alla temperatura desiderata e rimessa nella rete del circuito primario.

La realizzazione dell'impianto ha consentito di ottenere un duplice risparmio:

1. risparmio energetico; il cippato che alimenta la centrale è una biomassa legnosa e una fonte rinnovabile ed il suo uso in sostituzione del gasolio ha consentito il ridurre il consumo di combustibile fossile con una conseguente diminuzione delle emissioni e una migliore qualità dell'aria.

2. risparmio economico; la biomassa legnosa è una fonte energetica facile da reperire in questo territorio, quindi il suo costo di acquisto è sensibilmente inferiore rispetto a quello del gasolio. Inoltre, se venisse creata una filiera corta locale ben strutturata si andrebbero a ridurre ulteriormente i costi di approvvigionamento, in particolare i costi di trasporto.

Tuttavia per trarre degli effettivi vantaggi dalla realizzazione di questo tipo di impianti è auspicabile che la taglia dell'impianto sia media – grande e che la potenza installata non scenda al di sotto del valore indicativo di 1 MW. Infatti il costo della centrale termica e soprattutto quello della rete di teleriscaldamento è molto elevato e richiede un investimento iniziale oneroso, se la potenza della caldaia fosse troppo bassa l'impianto potrebbe soddisfare il fabbisogno di energia di un numero limitato di utenze e il guadagno derivante dalla vendita dell'energia sarebbe troppo basso per garantire un ritorno economico entro un tempo ragionevole, tenendo anche presente che parte dei guadagni dovranno essere spesi per le opere di manutenzione (ordinaria o straordinaria) e di pulizia del complesso caldaia – impianto.

Le caldaie utilizzate in questo tipo di impianti sono programmate per lavorare in maniera continua e sono fermate di norma una volta all'anno per effettuare la pulizia, i controlli e la manutenzione. La scelta di far lavorare la caldaia in regime continuo piuttosto che con funzionamento intermittente è influenzata anche dal materiale bruciato, in questo caso il cippato di legna, combustibile sul quale si ha uno scarso controllo del grado di umidità. Il cippato infatti una volta prodotto può essere stoccato dal produttore (in attesa di essere venduto) in capannoni o in appositi silos coperti ma spesso viene accumulato in piazzali esterni a diretto contatto con la pioggia e l'umidità dell'ambiente. Una volta venduto esso può essere stoccato (in attesa di essere bruciato) al coperto oppure più spesso all'esterno nei dintorni della centrale. Tutti questi fattori fanno sì che il grado di umidità del cippato possa variare tra il 25 % (ottimale) e il 40÷50 %. L'umidità oltre ad influenzare il potere calorifico del combustibile (che diminuisce all'aumentare della percentuale di umidità), influenza anche la sua attitudine ad incendiarsi e bruciare; infatti più il cippato è umido e più fatica fa ad incendiarsi. Risulta quindi sconveniente che la caldaia lavori in modo intermittente: se il cippato è molto umido e la caldaia, nei periodi di spegnimento, è lasciata raffreddare, in fase di accensione sarà necessario spendere più energia per aumentare la temperatura nella camera di combustione e favorire l'accensione e la regolare combustione del cippato. Al contrario, se la caldaia lavora in maniera continua la temperatura della camera di combustione sarà sempre ottimale in modo da evaporare il contenuto di umidità del cippato in ingresso e consentire la sua combustione. Tale cessione di calore provoca un raffreddamento della camera di combustione tanto più accentuato quanto più alto è il tasso di umidità del cippato (se è molto umido avrà bisogno di più calore per smaltire l'acqua in esso contenuta). Anche la grandezza della camera di combustione

gioca quindi un ruolo importante, indicativamente si può dire che più piccola è la camera di combustione e più il grado di umidità del cippato deve essere basso. Naturalmente il volume della camera di combustione e quindi della caldaia sarà proporzionale alla potenza installata, impianti di media-grande potenza avranno caldaie più grandi con camere di combustione più grandi (magari con tecnologia a griglia mobile) e quindi potranno permettersi di bruciare cippato di qualità inferiore.

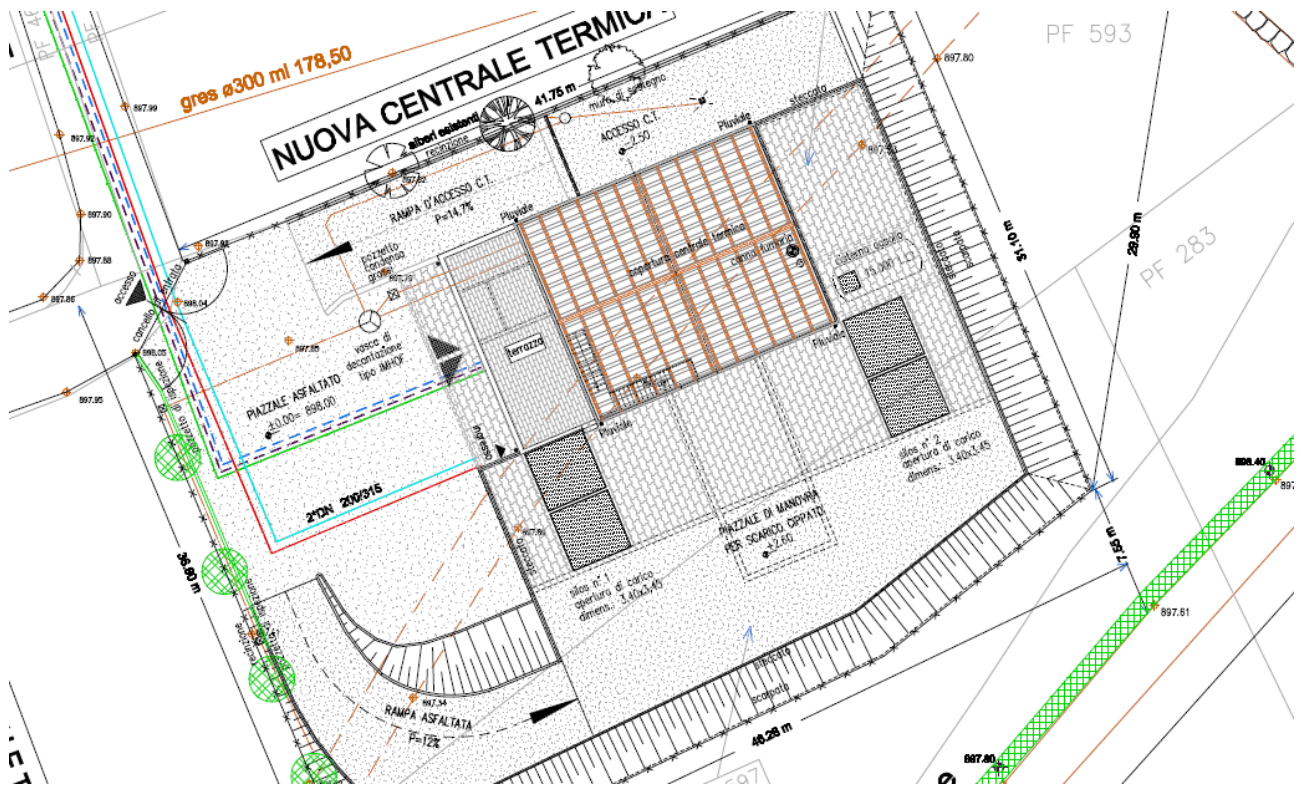
Un altro problema legato all'impiego di cippato quale combustibile è quello dello sporcamiento: più il cippato è umido e più andrà a sporcare la caldaia; di conseguenza una caldaia più piccola avrà bisogno di un numero maggiore di interventi di pulizia e manutenzione rispetto a una caldaia più grande e questo comporta, oltre ai costi più elevati, anche periodi di inattività dell'impianto più frequenti nel corso dell'anno (per svolgere queste operazioni la caldaia deve essere spenta).

Per tutti questi motivi si conclude la realizzazione di un impianto di teleriscaldamento a biomassa, che impieghi come combustibile il cippato di legna, è conveniente solo se la potenza installata non è troppo bassa (da 1 MW in su). Per piccole potenze è più conveniente sfruttare una biomassa legnosa alternativa sulla quale si può avere un controllo più accurato del tasso di umidità, come ad esempio il pellets.

IL PROGETTO INIZIALE.

L'impianto di teleriscaldamento a biomassa legnosa di Santo Stefano di Cadore è nato come "progetto pilota", vale a dire un progetto dimostrativo che inizialmente prevedeva l'allacciamento di 8 strutture pubbliche integrate da 10 utenze private prioritarie (allacciate secondo il criterio della convenienza e della vicinanza alla condotta passante). L'obiettivo era quello sensibilizzare la popolazione al nuovo impianto e al suo funzionamento, permettendo al contempo di valutare i vantaggi e gli svantaggi, e permettendo agli utenti privati interessati di fare richiesta di allacciamento (l'impianto è stato realizzato quindi senza stipulare dei pre-contratti di allacciamento tra i gestori e la popolazione). La stesura del progetto è iniziata nel 2002 e la versione definitiva è stata consegnata nel maggio dello stesso anno, dopo aver affrontato l'iter burocratico necessario per l'approvazione, i lavori di costruzione sono iniziati tra la fine del 2006 e l'inizio del 2007 e la centrale termica è stata inaugurata il 17 aprile del 2009.

Planimetria della centrale di teleriscaldamento.



L'impianto di teleriscaldamento a biomassa realizzato a Santo Stefano di Cadore.



Il progetto prevedeva la costruzione di una centrale di teleriscaldamento, costituita da un fabbricato in cemento armato avente una volumetria complessiva di 4063 m³ comprendente:

- locale centrale termica seminterrata a servizio della rete di teleriscaldamento;
- 1 silos interrato di volume 335 m³ per lo stoccaggio del cippato;
- locali al pianterreno: accesso principale, centrale di comando, servizi, ecc.;
- strada d'accesso;
- i servizi tecnologici a servizio della centrale termica;

e della rete di teleriscaldamento lunga circa 1700 m e costituita da :

- una doppia condotta (di mandata per l'acqua calda e di ritorno per l'acqua fredda collegate direttamente alla caldaia) preisolata, costituita da tubi in acciaio con coibentazione termica in poliuretano espanso e camicia di protezione esterna in polietilene posta su blocchi in polistirolo pesante di sostegno e di separazione;
- un sistema di monitoraggio delle perdite (lungo le tubazioni corrono dei fili conduttori elettrici che fungono da sensori di umidità e da segnalatori per la localizzazione di eventuali guasti o difetti);
- unità di consegna del calore (sottostazioni) montate nei locali caldaia di ogni singolo utente;
- predisposizione di snodi a “ T ” per ulteriori allacciamenti privati lungo il percorso della condotta.

Secondo i dati del progetto, il fabbisogno di energia termica delle utenze (per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria) è stato stimato pari a circa 3210 kW; dei quali 2190 kW per gli edifici pubblici e 1020 kW per quelli privati. Per soddisfare tale fabbisogno le utenze si servivano prevalentemente di caldaie a gasolio (integrate nella maggior parte dei casi con stufe a legna) che complessivamente consumavano una quantità di combustibile pari a 185507,25 litri/anno.

Sulla base di questi dati di partenza è stata calcolata la potenza della caldaia da installare nell'impianto, l'energia vendibile all'anno e il consumo annuo di combustibile.

potenza richiesta dalle utenze: 3210 kW

consumo di combustibile: 185507,25 litri/anno

assumendo un peso specifico del gasolio pari a 0,965 kg/litro si ottiene:

$$m_{gasolio} = 185507,25 * 0,965 = 179014,5 \text{ kg/anno}$$

Sapendo che il potere calorifico del gasolio è pari a circa 10 kWh/kg si ottiene infine un fabbisogno energetico annuo pari a:

$$E = m_{gasolio} * H_{i gasolio} = 179014,5 * 10 = 1790145 \text{ kWh/anno}$$

Ipotizzando un numero di ore di funzionamento a pieno carico per la caldaia pari a 1500 ore/anno si ottiene poi la potenza che deve avere la caldaia per soddisfare il fabbisogno energetico delle diverse utenze:

$$P = 1790145/1500 = 1193 \text{ kW}$$

Si è deciso quindi di suddividere la potenza attraverso l'uso di 2 caldaie; una caldaia a cippato di legna con potenza nominale di 800 kW e una caldaia a gasolio con potenza nominale di 400 kW, per un totale quindi di 1200 kW di potenza installata.

L'energia vendibile è stata calcolata in base alla capacità termica dell'impianto considerando una potenzialità di 1200 kW installati.

Per il riscaldamento:

$$E_{v1} = P_{i1} * t_1 * \eta_1 = 1200 * 1500 * 0,87 = 1566000 \text{ kWh} \rightarrow 1566 \text{ MWh}$$

dove: • P_{i1} è la potenza termica totale installata;

- t_1 è il numero di ore di funzionamento annuali a pieno carico;
- η_1 è il fattore di rendimento della caldaia a pieno carico;

Per la produzione di acqua calda:

$$E_{v2} = P_{i2} * t_2 * \eta_2 = 200 * 3000 * 0,7 = 420000 \text{ kWh} \rightarrow 420 \text{ MWh}$$

dove: • P_{i2} è la potenza ridotta ;

- t_2 è il numero di ore di funzionamento all'anno a carico ridotto ipotizzate;
- η_2 è il fattore di rendimento della caldaia al carico ridotto.

L'energia totale netta vendibile all'anno risulta quindi:

$$E_v = 1566000 + 420000 = 1986000 \text{ kWh}$$

Mentre l'energia totale lorda prodotta all'anno risulta:

$$E_p = E_{v1}/\eta_1 + E_{v2}/\eta_2 = 1566000/0,87 + 420000/0,7 = 2400000 \text{ kWh} \rightarrow 2400 \text{ MWh}$$

Tale produzione si ripartisce sulla caldaia a cippato di legna da 800 kW e sulla caldaia a gasolio da 400 kW nel modo seguente:

per il riscaldamento a pieno carico:

- caldaia da 800 kW $\rightarrow 3/4 E_{p1} = 1350000 \text{ kWh}$;
- caldaia da 400 kW $\rightarrow 1/4 E_{p1} = 450000 \text{ kWh}$;

per la produzione di acqua calda:

- caldaia da 800 kW $\rightarrow 5/6 E_{p2} = 500000$ kW;
- caldaia da 400 kW $\rightarrow 1/6 E_{p2} = 100000$ kW;

In conclusione la caldaia a cippato produce un totale di 1850000 kWh di energia mentre la caldaia a gasolio ne produce un totale di 550000 kWh.

I valori del potere calorifico del combustibile sono:

600 kWh/m³ per il cippato di legna;

10 kWh/kg per il gasolio;

si può quindi ricavare il consumo annuo di combustibile:

cippato di legna $\rightarrow 1850000/600 = 3080$ m³

gasolio $\rightarrow 550000/10 = 55000$ kg

Ipotizzando un costo unitario del combustibile pari a 10 €/m³ per il cippato di legna e di 0,7 €/kg per il gasolio (i prezzi sono quelli in vigore nell'anno della stesura del progetto) si può ricavare il costo netto di produzione dell'energia termica E_p :

cippato di legna $\rightarrow 3080 * 10 = 30800$ €/anno;

gasolio $\rightarrow 55000 * 0,7 = 38500$ €/anno;

per un totale di 69300 €.

Con questi dati è stato possibile effettuare una stima delle emissioni di CO_{2eq} nell'ambiente prima e dopo la costruzione dell'impianto per rendersi conto degli effettivi benefici derivanti dall'eliminazione delle singole caldaie a gasolio.

Prima della costruzione dell'impianto:

consumo di gasolio: $m_{gasolio} = 179014,5$ kg/anno $\rightarrow \approx 180000$ kg/anno = 180 ton/anno

sapendo che 1 ton di gasolio è pari a 1,02 tep si ricava il corrispondente consumo in termini di energia primaria:

$$E_{p\ gasolio} = m_{gasolio} * 1,02 = 180 * 1,02 = 183,6 \text{ tep/anno}$$

sapendo che per il gasolio 1 tep è pari a 3087 kgCO_{2eq} si ricava:

$$\begin{aligned} E_{CO_{2eq}} &= E_{p\ gasolio} * 3087 = 183,6 * 3087 = 566773,2 \text{ kgCO}_{2eq}/\text{anno} \\ &= 566,8 \text{ tonCO}_{2eq}/\text{anno} \end{aligned}$$

Dopo la costruzione dell'impianto:

consumo di cippato: 3080 m³/anno

se il peso specifico del cippato è pari a 300 kg/ m³ si ricava:

$$m_{\text{cippato}} = 3080 * 300 = 924000 \text{ kg/anno} \rightarrow 924 \text{ ton/anno}$$

$$\text{consumo di gasolio: } m_{\text{gasolio}} = 55000 \text{ kg/anno} \rightarrow 55 \text{ ton/anno}$$

sapendo che 1 ton di gasolio è pari a 1,02 tep e che 1 ton di cippato è pari a 0,45 tep si possono ricavare i rispettivi consumi in termini di energia primaria:

$$E_{p \text{ cippato}} = m_{\text{cippato}} * 0,45 = 924 * 0,45 = 415,8 \text{ tep/anno}$$

$$E_{p \text{ gasolio}} = m_{\text{gasolio}} * 1,02 = 55 * 1,02 = 56,1 \text{ tep/anno}$$

Il consumo totale in termini di energia primaria è pari a:

$$E_{p \text{ tot}} = E_{p \text{ cippato}} + E_{p \text{ gasolio}} = 415,8 + 56,1 = 471,9 \text{ tep/anno}$$

sapendo che per il gasolio 1 tep è pari a 3087 kgCO_{2eq} mentre per il cippato 1tep è pari a 0 kgCO_{2eq} (provenendo da una fonte rinnovabile le emissioni relative al combustibile cippato sono considerate pari a zero) si ricava:

$$\begin{aligned} E_{CO_{2eq}} &= E_{p \text{ cippato}} * 0 + E_{p \text{ gasolio}} * 3087 = E_{p \text{ gasolio}} * 3087 = \\ &= 56,1 * 3087 = 173180,7 \text{ kgCO}_{2eq}/\text{anno} \rightarrow 173,2 \text{ tonCO}_{2eq}/\text{anno} \end{aligned}$$

Come si può vedere dal confronto, le emissioni passano dal valore di 566,8 tonCO_{2eq}/anno per il caso senza impianto al valore di 173,2 tonCO_{2eq}/anno con l'impianto attivo (un valore 3,27 volte più piccolo); in totale quindi vengono riversate nell'ambiente 393,6 tonCO_{2eq}/anno in meno, un risultato molto promettente che rispecchia gli obiettivi preposti.

Si può notare inoltre come per produrre la stessa quantità di energia sia necessaria una quantità di energia primaria maggiore se l'impianto è attivo (471,9 tep/anno contro 183,6 tep/anno per il caso senza impianto), ma questo non costituisce un problema in quanto al maggior parte di quest'energia (415,8 tep/anno su 471,9) è ricavata dalla biomassa che è una fonte rinnovabile.

Il progetto dell'impianto è stato pensato in maniera tale da poter provvedere ad un aumento della potenza installata nel caso in cui le 2 caldaie presenti non fossero state sufficienti a soddisfare il fabbisogno di energia termica delle eventuali nuove richieste di allacciamento. Per questo motivo l'infrastruttura esterna, la centrale termica e il silo di stoccaggio della biomassa sono stati predisposti per l'installazione di una terza caldaia a cippato della potenza di 1200 kW. Questo ha comportato un investimento iniziale maggiore che porterà, tuttavia, indiscussi vantaggi se si decidesse di ampliare l'impianto.

DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO.

La centrale termica.

Nella centrale termica sono collocate una caldaia a griglia mobile che sfrutta come combustibile il cippato di legna, con potenza di 800 kW, e una caldaia a gasolio della potenza di 700 kW (diversamente da quanto deciso nel progetto che prevedeva una potenza di 400 kW per la caldaia a gasolio), per un totale di 1500 kW di potenza installata.

La caldaia a cippato lavora in maniera continua, e quando è in funzione essa riesce da sola a soddisfare l'intera richiesta di energia termica da parte dell'utenza. Per questo motivo la caldaia a gasolio viene generalmente mantenuta ferma e attivata solo nelle emergenze; essa cioè entra in funzione solamente in caso di blocco o di malfunzionamento della caldaia a cippato (per fare in modo che l'utenza riceva ugualmente l'energia termica) e rimane attiva fintanto che quest'ultima non viene rimessa in funzione. La scelta di affidare l'intero carico di lavoro alla caldaia a cippato lasciando in disparte la caldaia a gasolio (anziché ripartire il carico tra le due caldaie come inizialmente era stato deciso) è legata a considerazioni di carattere economico. Il costo di funzionamento della caldaia a gasolio sarebbe stato infatti troppo elevato come si può vedere dalla stima seguente:

potenza della caldaia a gasolio $\rightarrow P = 700 \text{ kW}$

potere calorifico del gasolio $\rightarrow H_i = 10 \text{ kWh/kg}$

ipotizzando un funzionamento giornaliero a pieno carico di 20 ore (valore a titolo di esempio) per i mesi invernali, si può ricavare l'energia prodotta dalla caldaia:

$$E = P * t = 700 * 20 = 14000 \text{ kWh/giorno}$$

e successivamente il consumo giornaliero di combustibile:

$$C = E / H_i = 14000/10 = 1400 \text{ kg/giorno} \rightarrow \text{pari a circa 1700 litri/giorno}$$

Moltiplicando il valore del consumo giornaliero di combustibile per il prezzo del combustibile in €/litro si può vedere come il costo di funzionamento della caldaia sia troppo oneroso. Quindi, dato che in ogni caso la caldaia a cippato deve lavorare in maniera continua (per i motivi già visti), si è preferito sfruttare di più quest'ultima (il cui costo di funzionamento è molto più contenuto) e usare la caldaia a gasolio come caldaia di riserva in caso di emergenza.

Caldaia a griglia mobile a cippato di legna (potenza 800 kW).



Camera di combustione e griglia mobile della caldaia a cippato.



Combustione del cippato di legna.



Caldaia a gasolio (potenza 700 kW).



Per quanto riguarda la rete di teleriscaldamento, inizialmente le condotte di mandata e di ritorno erano direttamente collegate con la biocaldaia che però in questo modo era soggetta ad un regime di funzionamento variabile, dipendente dalla domanda di energia termica da parte dell'utenza. Questi continui sbalzi del carico di lavoro costringevano la caldaia ad un funzionamento molto irregolare, aumentandone quindi l'usura e il rischio di blocco o ingolfamento (inoltre si poteva avere un ritardo nella consegna dell'energia termica nel caso in cui tutte le utenze avessero richiesto istantaneamente la massima energia).

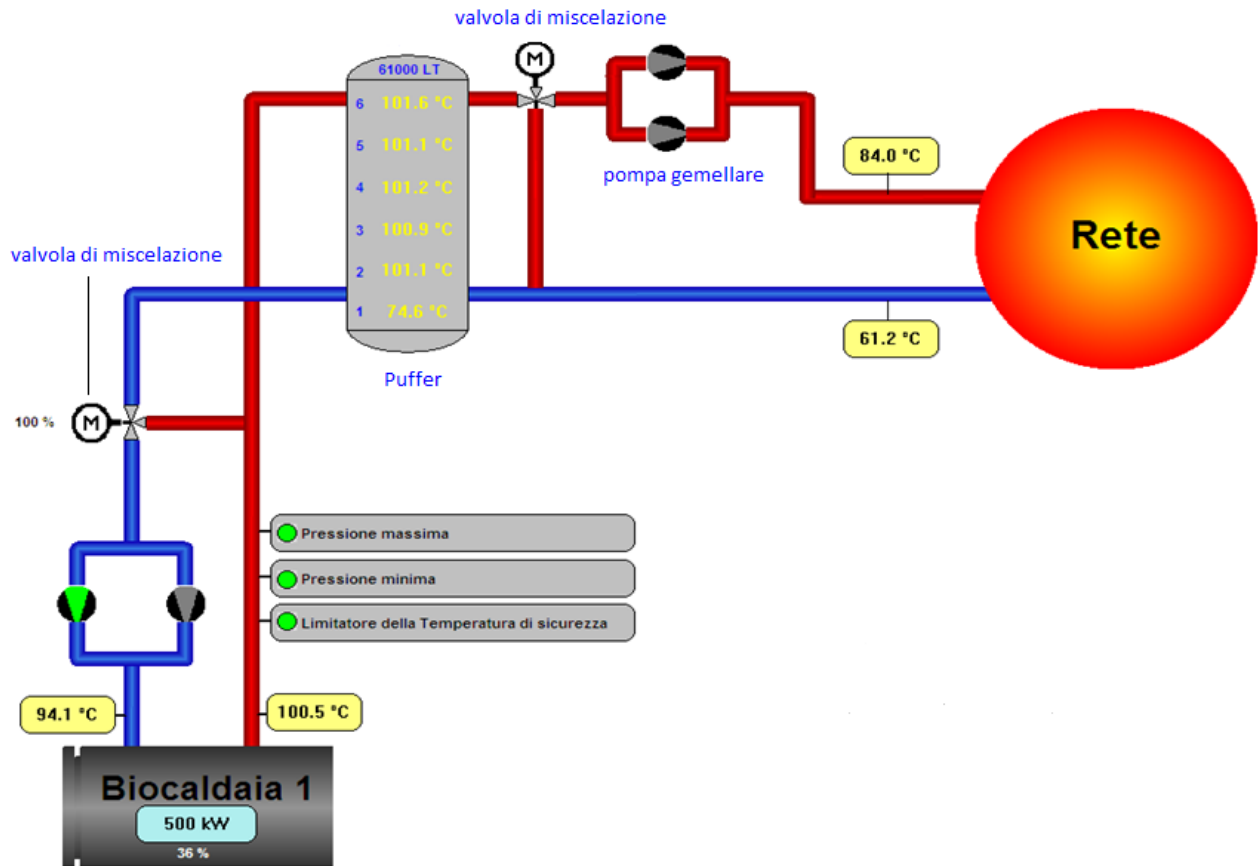
Per questo motivo si è deciso di introdurre una variante non prevista dal progetto andando ad inserire nello schema dell'impianto un accumulatore termico (chiamato anche puffer o disconnettore idraulico) della capacità di 61000 litri (pari a 61 m^3) e due valvole di miscelazione. Tale aggiunta ha portato a notevoli miglioramenti permettendo di suddividere il circuito idraulico in due parti distinte:

1. circuito che va dalla caldaia al puffer; questa parte del circuito lavora a portata costante, le temperature in ingresso e in uscita dalla biocaldaia sono impostate in base alle esigenze e al periodo dell'anno (estate o inverno) e sono mantenute costanti grazie alla valvola di miscelazione. Essa cortocircuita parte della portata di mandata al puffer per garantire una adeguata temperatura di ritorno alla biocaldaia che in questo modo può lavorare con un carico costante; non è più soggetta in prima persona alle continue variazioni di richiesta energetica che arrivano dalla rete, la potenza prodotta viene mantenuta costante e tutto questo si traduce in un funzionamento più regolare che comporta una minore usura e un minore sovraccarico;
2. circuito che va dal puffer alla rete; questa parte del circuito lavora con una portata variabile che dipende dalla richiesta di energia termica da parte dell'utenza. Il puffer è in sostanza un accumulatore di energia; è un polmone che permette disoddisfare istantaneamente il fabbisogno energetico dell'utenza, questo si rivela molto utile nelle ore in cui la richiesta di calore è limitata e soprattutto nelle ore di massima domanda, il puffer eroga l'energia richiesta consentendo così alla caldaia di lavorare senza sovraccarichi e di reintegrare con continuità l'energia consumata dalla rete, questo si traduce in un notevole aumento del rendimento dell'impianto.

Come si può vedere dallo schema seguente, la differenza tra la temperatura di mandata e di ritorno dell'acqua è costante ($\Delta t \approx 6,5^\circ\text{C}$), se anche la portata che circola nel circuito non varia la caldaia deve fornire un flusso termico costante per riscaldare nuovamente il fluido e quindi la potenza

prodotta è anch'essa costante (e inferiore alla potenza massima, limitando così il consumo di combustibile).

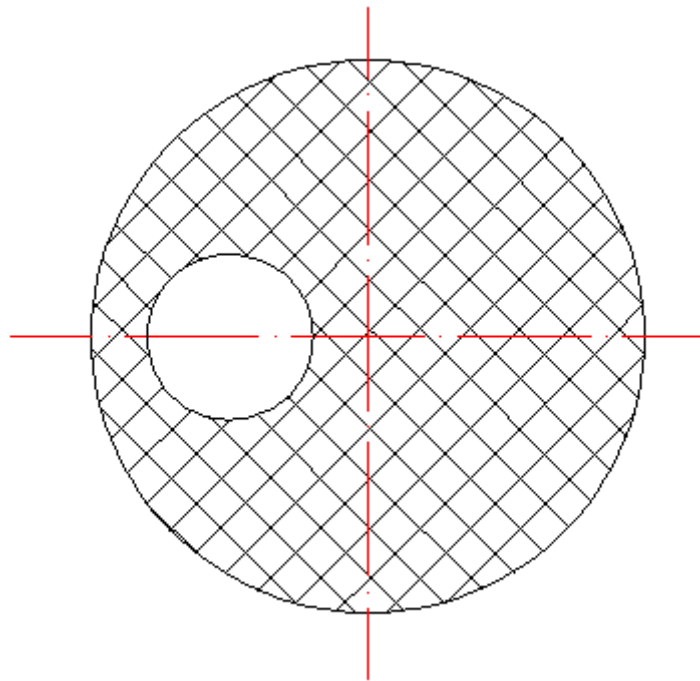
Schema del circuito idraulico dell'impianto.



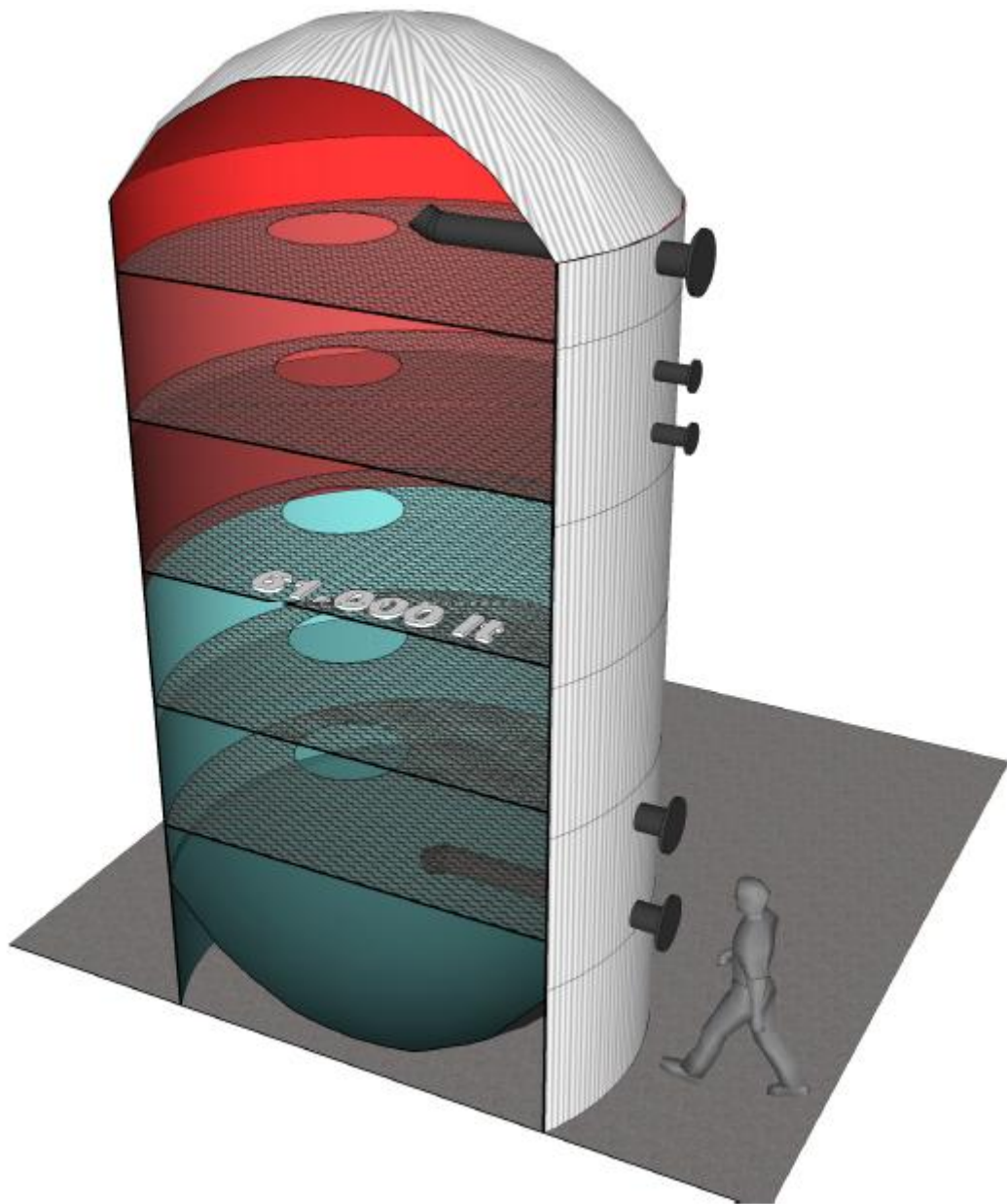
All'interno dell'accumulatore si creano dei moti convettivi che abbinati ai moti turbolenti dovuti alla portata del fluido che viene continuamente immessa e prelevata tendono a provocare una miscelazione dell'acqua, abbassandone così la temperatura media. Per contrastare questo fenomeno, il puffer è provvisto di una serie di griglie equidistanziate (in questo caso sono 5) ciascuna dotata di un foro eccentrico che ha lo scopo di favorire un cortocircuito nel percorso del fluido. Nella parte alta del puffer sono presenti gli attacchi per due tubazioni; quella superiore è la condotta di entrata dell'acqua calda in arrivo dalla caldaia, mentre quella inferiore è la condotta di mandata verso la rete. Grazie al foro presente sulla griglia la seconda condotta preleva l'acqua calda prima che questa vada a miscelarsi con l'acqua più fredda presente nella parte bassa dell'accumulatore.

Nella parte bassa del puffer invece le posizioni delle condotte sono invertite; quella superiore è entrante e contiene l'acqua di ritorno dalla rete, mentre quella inferiore è la condotta che preleva l'acqua per riportarla in caldaia; anche in questo caso le griglie forate ostacolano la miscelazione dell'acqua. In questo modo all'interno del puffer si viene a creare una stratificazione, l'acqua calda staziona nella parte medio - alta e l'acqua "fredda" invece nella parte più bassa, la temperatura viene monitorata da dei sensori presenti su ciascuna griglia, e andrà calando passando dall'alto verso il basso dell'accumulatore (come si vede nello schema a pagina precedente).

Esempio di griglia forata.



Serbatoio di accumulazione (puffer) con capacità di 61 m³.



Alimentazione delle caldaie.

La caldaia alimentata a gasolio attinge da una cisterna interrata che si trova all'esterno della centrale ed ha una capacità di 15.000 litri. È una cisterna a doppia camera; nella camera più interna è contenuto il gasolio, nella camera esterna (che contiene la prima) invece è presente un pressostato; se dovesse esserci una perdita di gasolio dalla camera più interna, la pressione nella seconda camera andrebbe a variare, il pressostato andrebbe a rilevare questa variazione di pressione ed invierebbe un segnale al pannello di controllo per segnalare la possibile perdita di gasolio. E' stato scelto di

usare una cisterna di questo tipo perché la centrale si trova nelle vicinanze del fiume Piave, ed essendo la cisterna interrata, se ci fosse una perdita e questa non venisse segnalata, l'intero contenuto di gasolio andrebbe a riversarsi nel fiume (filtrando attraverso il terreno) provocando un grave danno ambientale oltre che economico.

Il cippato che alimenta le biocaldaie è stoccato in un silos all'interno della centrale. Il silos è dotato di un sistema di pistoni che terminano con dei rastrelli; quando i pistoni fuoriescono, i rastrelli si fanno strada sul fondo del cumulo di cippato e quando si ritraggono lo trascinano facendolo cadere in una guida dove poi uno spintore oleodinamico (che è composto in sostanza da un altro pistone) provvederà a spingere il combustibile verso la camera di combustione. Il tempo che intercorre tra una carica e l'altra è impostato sul pannello di controllo.

Si è preferito adottare un sistema di carico a spintore oleodinamico piuttosto che un sistema a coclea; questo perché il cippato ha forma irregolare e dimensioni fortemente variabili, di conseguenza il rischio di inceppamento o blocco della coclea (e quindi il blocco della caldaia se il combustibile non arriva più in camera di combustione) sarebbe stato alto, così come il tempo per il suo smontaggio e la pulizia (tempi morti). Con lo spintore oleodinamico questi problemi non sussistono, il cippato viene spinto a intervalli di tempo regolari dal silos di stoccaggio verso la camera di combustione, la rampa di carico prima della camera è chiusa ed è dotata di due lame al widia distanziate tra di loro con il compito di troncare eventuali pezzi di cippato di dimensioni troppo elevate ; inoltre è dotata di sensori di calore; se al momento della apertura della camera di combustione per il carico la fiamma dovesse propagarsi a ritroso verso il silos di stoccaggio, il sensore rivelerebbe l'aumento di temperatura ed invierebbe un segnale al pannello di controllo che andrebbe a chiudere la rampa di carico isolandola, un getto d'acqua sarebbe poi sparato all'interno in modo da raffreddare quasi istantaneamente l'ambiente. In questo modo viene evitato il rischio di incendio poiché anche se la fiamma dovesse propagarsi al di fuori della camera di combustione non potrebbe raggiungere il silos di stoccaggio.

Periodi di funzionamento delle caldaie.

La caldaia a cippato è in funzione 350 giorni all'anno (pari al 96%) mentre la caldaia a gasolio è in funzione solo per 15 giorni all'anno (il 4%) durante i mesi estivi. Solitamente la caldaia a gasolio viene messa in funzione nelle due settimane a cavallo tra la fine di luglio e l'inizio di agosto, vale a dire nel periodo più caldo dell'anno. Durante l'estate infatti l'utenza non richiede energia termica per il riscaldamento degli edifici ma solo per la produzione dell'acqua calda sanitaria. L'acqua viene inviata alle utenze ad una temperatura di 65° C che risulta sufficiente per riscaldare i boiler dove è contenuta per l'uso domestico. Dato il periodo caldo la caldaia a gasolio riesce a riscaldare

l'acqua fino a 65°C con un consumo minimo di combustibile e quindi con costi ridotti (in inverno l'acqua per il riscaldamento viene inviata all'utenza a 77°C, se fosse la caldaia a gasolio a farsi carico di tutta la richiesta si avrebbe un alto consumo di combustibile con costi troppo elevati.). Durante i 15 giorni in cui la caldaia a gasolio è in funzione, quella a cippato viene fermata per effettuare le operazioni di controllo, manutenzione e pulizia.

Portate d'acqua nel circuito idraulico.

Il tratto di circuito che va dalla biocaldaia al puffer ha una portata costante di 80 m³/h (pari a circa 22,2 litri/s), la differenza tra la temperatura di mandata dell'acqua (uscita dalla biocaldaia) e quella di ritorno (entrata in biocaldaia) viene fissata pari a ≈ 8 °C in inverno e pari a ≈ 2 °C in estate. Per quanto riguarda la rete invece bisogna considerare che ciascuna sottostazione è dotata di una valvola che si apre o si chiude a seconda della richiesta di energia termica. Di conseguenza la portata che circola nella rete varia in base al grado di apertura della valvola di ogni sottostazione.

La portata d'acqua viene fatta circolare nella rete mediante due pompe gemellari autoregolanti (dotate di inverter), la prevalenza viene mantenuta fissa e pari 10 m e la portata viene modulata in base alle esigenze (l'inverter permette di variare il numero di giri della pompa permettendo quindi la regolazione della portata).

Stazione di pompaggio all'interno della centrale.



Le pompe gemellari sono di marca Grundfos, modello TPED 100 – 120 (dove 100 mm è il diametro nominale delle bocche di aspirazione e di mandata, mentre 120 dm è il valore della prevalenza massima) e possono avere 3 modalità di funzionamento:

1. alternanza di funzionamento; le pompe funzionano alternativamente come pompa di servizio e di stand - by. Lo scambio avviene ogni 24 ore; se la pompa in servizio viene fermata a causa di un guasto la pompa in stand - by interviene automaticamente. Al momento dello scambio, entrambe le pompe funzionano contemporaneamente per un breve periodo al fine di assicurare un transitorio il più silenzioso possibile;
2. posizione di stand - by; una pompa funziona costantemente come pompa di servizio e l'altra costantemente come pompa di riserva (senza alternarsi tra di loro). Se la pompa in servizio viene fermata a causa di un guasto, la pompa in stand - by interviene automaticamente al segnale della pompa che si è fermata.
3. funzionamento a pompa singola; le pompe funzionano indipendentemente senza comunicare tra di loro.

La scelta del tipo di funzionamento dipende dalle esigenze richieste.

Pompa gemellare Grundfos TPED 100 - 120.



Temperature di mandata e di ritorno dell'acqua.

Nella parte di circuito che va dalla biocaldaia al puffer (nel quale la portata è costante) la temperatura di mandata è fissa e pari a circa 100 °C in inverno e 98 °C in estate; la temperatura di ritorno invece resta determinata una volta fissata la potenza con la quale far lavorare la caldaia.

Nella parte di circuito che va dal puffer alla rete (nel quale la portata è variabile) la temperatura di mandata è fissata tra 80 ÷ 85 °C in inverno e tra 60 ÷ 65 °C in estate; la temperatura di ritorno invece varia in funzione dell'energia richiesta dall'utenza.

Lungo il circuito sono posizionati dei sensori i quali rilevano la temperatura dell'acqua e ne inviano il valore al pannello di controllo, dal quale quindi è possibile verificare l'esattezza delle temperature impostate.

Espansione dell'utenza e della rete.

Nel momento in cui è entrato in funzione, l'impianto provvedeva al fabbisogno energetico di 8 utenze pubbliche e di 12 utenze private, come previsto dal progetto iniziale. Durante i 4 anni di funzionamento 2009 -2013 le richieste di allacciamento alla rete sono state molteplici e allo stato attuale le utenze servite sono aumentate a 12 pubbliche e 65 private, la potenza massima totale richiesta è pari a circa 3,9 MW dei quali 2,4 MW vengono spesi per gli edifici pubblici e 1,48 MW per quelli privati. Sebbene siano in numero maggiore, le utenze private hanno un fabbisogno energetico più basso rispetto a quelle pubbliche; e ciò è dovuto al fatto che queste ultime sono composte da edifici molto grandi (municipio, chiesa, casa di riposo, palazzetto dello sport, scuola, ecc.) che hanno quindi un volume da riscaldare molto più elevato.

Anche la rete di teleriscaldamento (che da progetto aveva una lunghezza pari a 1700 m) è stata ampliata raggiungendo così la lunghezza di circa 2000 m.

Caldaie integrative e previsioni di ampliamento.

La caldaia a gasolio presente in centrale funge da caldaia integrativa anche se per questioni di costo si preferisce utilizzarla solo nelle situazioni di emergenza (blocchi o malfunzionamenti della caldaia a cippato). In futuro è inoltre prevista l'installazione di un'ulteriore caldaia a cippato della potenza di 1600 kW, prima di procedere a questa aggiunta verrà redatto un piano industriale con la sottoscrizione di precontratti di allacciamento in maniera tale da assicurare all'utente il servizio e al gestore la copertura dell'investimento.

Consumo e rifornimento di biomassa.

Il consumo giornaliero di combustibile varia in funzione del periodo dell'anno che si va a prendere in considerazione :

- in inverno si consumano dai 15 ai 30 m³/giorno;
- in estate si consumano dagli 8 ai 15 m³/giorno;

Il rifornimento di biomassa avviene ogni 2 giorni, viene fatta arrivare una motrice che trasporta un volume di 27 m³ di cippato; questo viene scaricato direttamente all'interno del silos di stoccaggio che ha un volume nominale di circa 300 m³ ma il contenuto effettivo di solito non supera 250 m³. Un sistema di pistoni oleodinamici consente l'apertura del coperchio del silos, e il cippato viene scaricato sfruttando il cassone ribaltabile della motrice.

Sistema di apertura del silos di stoccaggio e scarico della biomassa.



Il coperchio del silos si trova in una posizione sopraelevata raggiungibile attraverso una rampa, che però non permette il transito di un bilico che avrebbe una portata variabile tra gli 80 e 100 m³ e permetterebbe quindi di avere una minore frequenza tra un rifornimento e l'altro. Il cippato viene acquistato dalla “ Ditta Doriguzzi Mario Autotrasporti e legna da ardere” con sede a San Nicolò di Comelico, la quale acquista gli scarti del legname non commerciabile, prevalentemente di abete e provvede all'operazione di cippatura direttamente in loco. Si può quindi dire che il rifornimento della biomassa avviene per il 90% da filiera corta, data la poca distanza tra il luogo di produzione ed il luogo di consumazione (circa 4 km.)

Tipologia di biomassa utilizzata.

Il cippato che viene bruciato nella biocaldaia è quasi esclusivamente ottenuto da legno di abete scortecciato, con una minima quantità di ramaglia. Il cippato di abete ha una resa inferiore rispetto ad esempio a quello di faggio, ha però il vantaggio di avere un minor costo. E' preferibile che l'abete sia scortecciato; in questo modo la caldaia si sporca di meno e questo si traduce in una minore frequenza di interventi di pulizia. Si sottolinea che il cippato viene prodotto utilizzando il legname di scarto, ad esempio i bottoli, parti della pianta che sono marce e rosate e tutte quelle parti che non sono destinate alla produzione di tavolame o travature, che vengono utilizzate in edilizia. Non viene bruciato materiale proveniente da potature, questo perché la sua forma e dimensioni sarebbero troppo irregolari ed inoltre potrebbe essere troppo umido con il rischio che, una volta stoccato nel silos possa fermentare facendo salire la temperatura, con il pericolo che si vengano a creare le condizioni idonee per l'autocombustione (specialmente nei mesi caldi). A questo proposito nel silos è presente un sensore che va a monitorare la temperatura interna ed invia un segnale al pannello di controllo nel caso in cui questa aumentasse troppo.

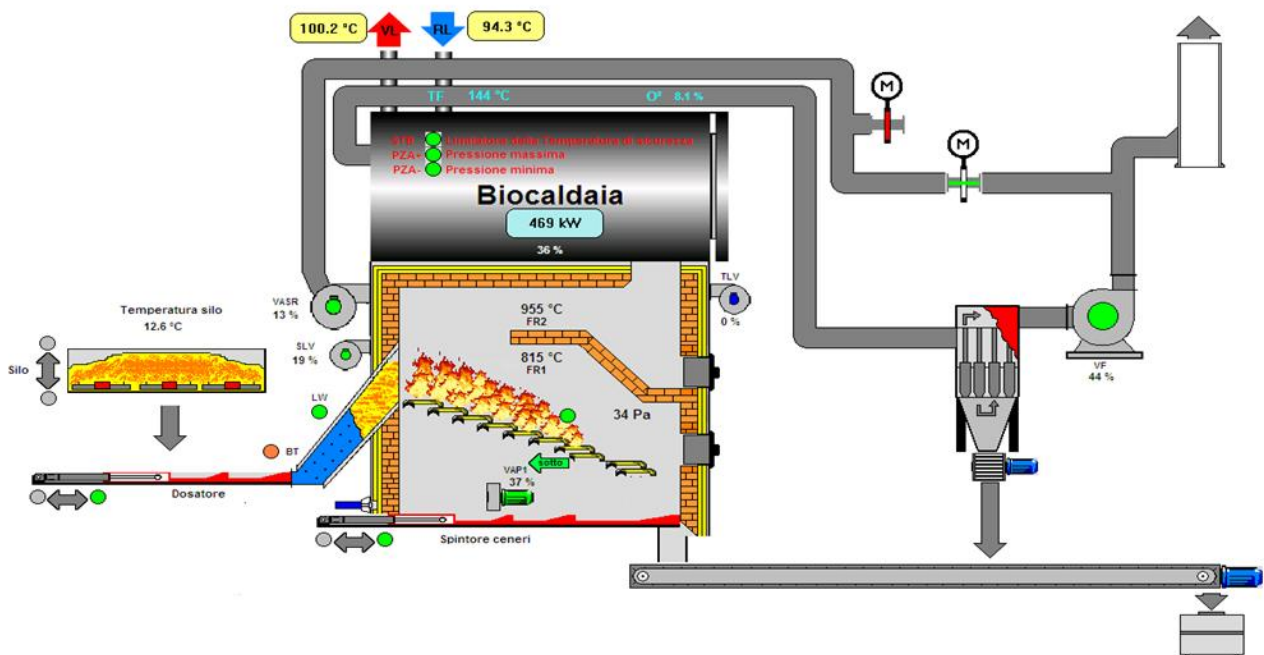
Gestione della caldaia e della rete.

Il funzionamento ed il monitoraggio dei parametri della caldaia e della rete sono gestiti da un sistema PLC della Siemens (S 7). La caldaia è dotata da 3 ventilatori a inverter (a giri variabili) per il tiraggio forzato dell'aria, ognuno dei quali entra in funzione a seconda delle temperature impostate sul pannello di controllo (temperatura di combustione, temperatura di uscite dei fumi, temperatura di richiesta per il riscaldamento dell'acqua).

Sala di controllo dell'impianto.



Schema dell'impianto.



Il ventilatore dell'aria primaria è quello che provvede a far arrivare l'aria comburente nella camera di combustione, in questo modo si ha un aumento della temperatura di fiamma che da luogo alla combustione dello strato di cippato superficiale, successivamente la gran quantità di calore che si sviluppa fa in modo che inizi a bruciare anche il resto del cippato presente nella camera. I gas di

combustione che si vengono a creare si spostano verso la parte alta della caldaia (camera secondaria) dove si incendiano e fanno aumentare ulteriormente la temperatura. E' a questo punto che entra in azione il ventilatore dell'aria secondaria.

L'attivazione di questo ventilatore dipende dalla percentuale di ossigeno presente nei fumi di uscita. A valle della biocaldaia lungo il condotto di uscita dei fumi oltre ad un sensore per il monitoraggio della temperatura è presente una sonda lambda che ha il compito di rilevare la percentuale di ossigeno residuo dei fumi, questo valore viene poi confrontato con il valore ottimale impostato sul pannello di controllo (7 ÷ 8 %). Si possono verificare 2 situazioni:

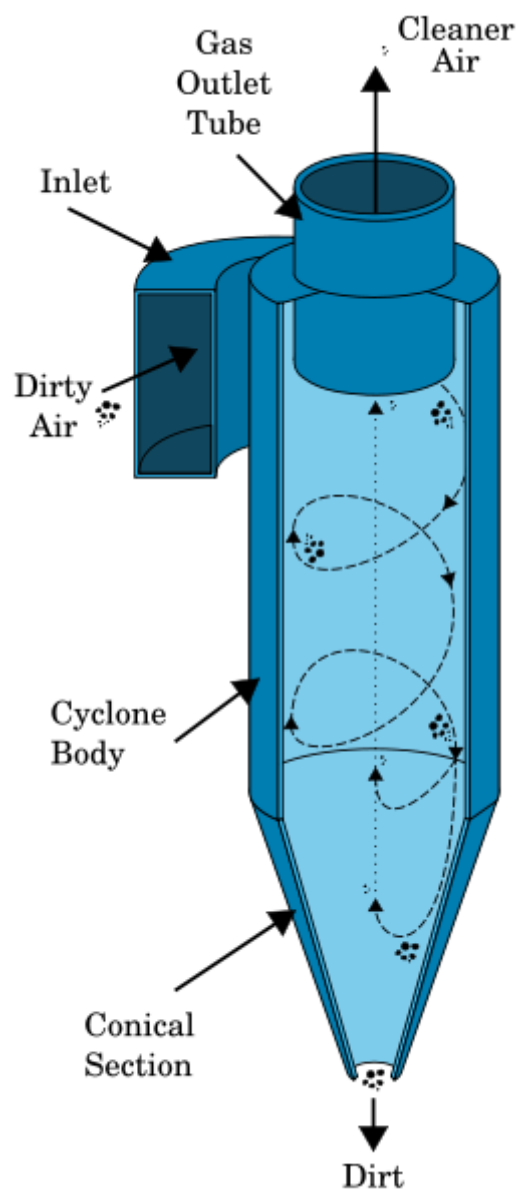
1. se la % di ossigeno rilevata è minore di quella impostata significa che in camera di combustione è presente una quantità di gas che rimangono incombusti e vengono espulsi senza essere sfruttati al massimo, ciò causa una diminuzione del rendimento della caldaia. In questo caso viene inviato un segnale al ventilatore dell'aria secondaria che si attiva e fa entrare più aria in modo da permettere la combustione completa di tutto il gas (evitando così che questi vengano liberati nell'ambiente dato che sono molto nocivi);
2. se la % di ossigeno rilevata è maggiore di quella impostata significa che tutto il gas è bruciato ma in camera di combustione c'è un esubero di ossigeno che può raffreddarla eccessivamente causando una diminuzione del rendimento. In questo caso viene inviato un segnale al ventilatore dell'aria secondaria che rallenta la sua velocità facendo entrare la quantità d'aria necessaria per la combustione completa dei gas, evitando l'eccessivo raffreddamento della camera di combustione. In tal modo si cerca di rendere la combustione il più possibile vicino a quella stechiometrica ottimizzandone così il rendimento.

La temperatura massima che si può raggiungere in camera di combustione è fissata a 970°, valore limite per preservare l'integrità della stessa. Se la temperatura dovesse salire al di sopra del valore prefissato bisogna provvedere al suo raffreddamento.

Il ventilatore dell'aria di raffreddamento si aziona nel caso in cui venga segnalata al pannello di controllo una temperatura maggiore di 970° in camera di combustione. In questo caso la logica consiglierebbe di immettere nella camera un certo quantitativo di aria esterna per ottenere un effetto raffreddante. L'aria esterna però è ricca di ossigeno e potrebbe favorire l'incendio degli eventuali gas incombusti causando quindi un aumento ulteriore della temperatura anziché una sua riduzione. L'ideale sarebbe immettere dell'aria a bassa temperatura e con un ridotto contenuto di ossigeno; a questo scopo è stato studiato un apposito sistema di ripescaggio dei fumi i quali escono dalla biocaldaia ad una temperatura di circa 150 °C ed hanno un contenuto di ossigeno che varia tra il 7 e l'8,5 %, passano attraverso un depolveratore centrifugo (ciclone) per essere purificati dalle

polveri e arrivano ad un ventilatore per essere mandati a camino ed essere espulsi. A valle di questo ventilatore c'è un condotto di ripescaggio che è collegato al ventilatore di raffreddamento, quando la temperatura sale sopra i 970° il ventilatore si attiva e va ad immettere in camera di combustione i fumi ottenendo così il raffreddamento voluto. Una volta che la temperatura è rientrata entro i limiti prestabiliti il ventilatore smette di funzionare e una valvola chiude il condotto di ripescaggio ; i fumi così vengono inviati interamente a camino.

Schema di un depolveratore centrifugo (ciclone).



La cenere prodotta dalla combustione del cippato filtra attraverso le griglie mobili e va ad accumularsi sul fondo della caldaia dove poi un pistone oleodinamico provvede a spingerla (ad

intervalli di tempo regolari impostati sul pannello di controllo) verso un nastro trasportatore sul quale vengono scaricate anche le particelle in uscita dal depolveratore centrifugo. Ceneri e particelle vengono condotte dal nastro in un locale apposito dove vengono stoccate in attesa di essere smaltite come rifiuti speciali (come previsto dalla normativa).

Il consumo di combustibile è di circa 5600 m³/anno, dai quali si ricavano 12 m³ di cenere.

L'emissione in ambiente di particelle e polveri sottili è stata monitorata ed è risultata 5÷6 volte inferiore ai limiti di legge.

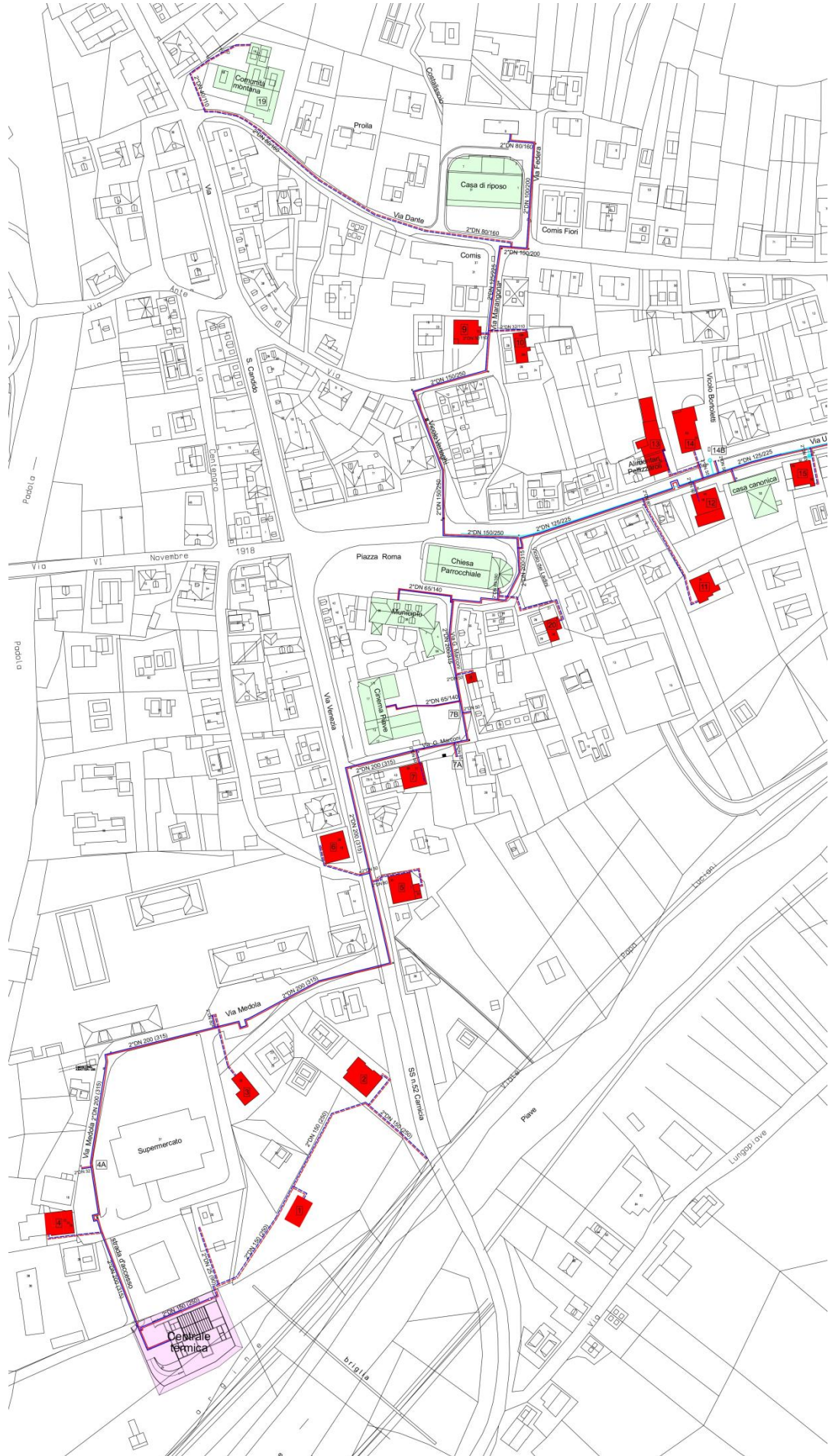
Uscita della cenere dal nastro trasportatore.

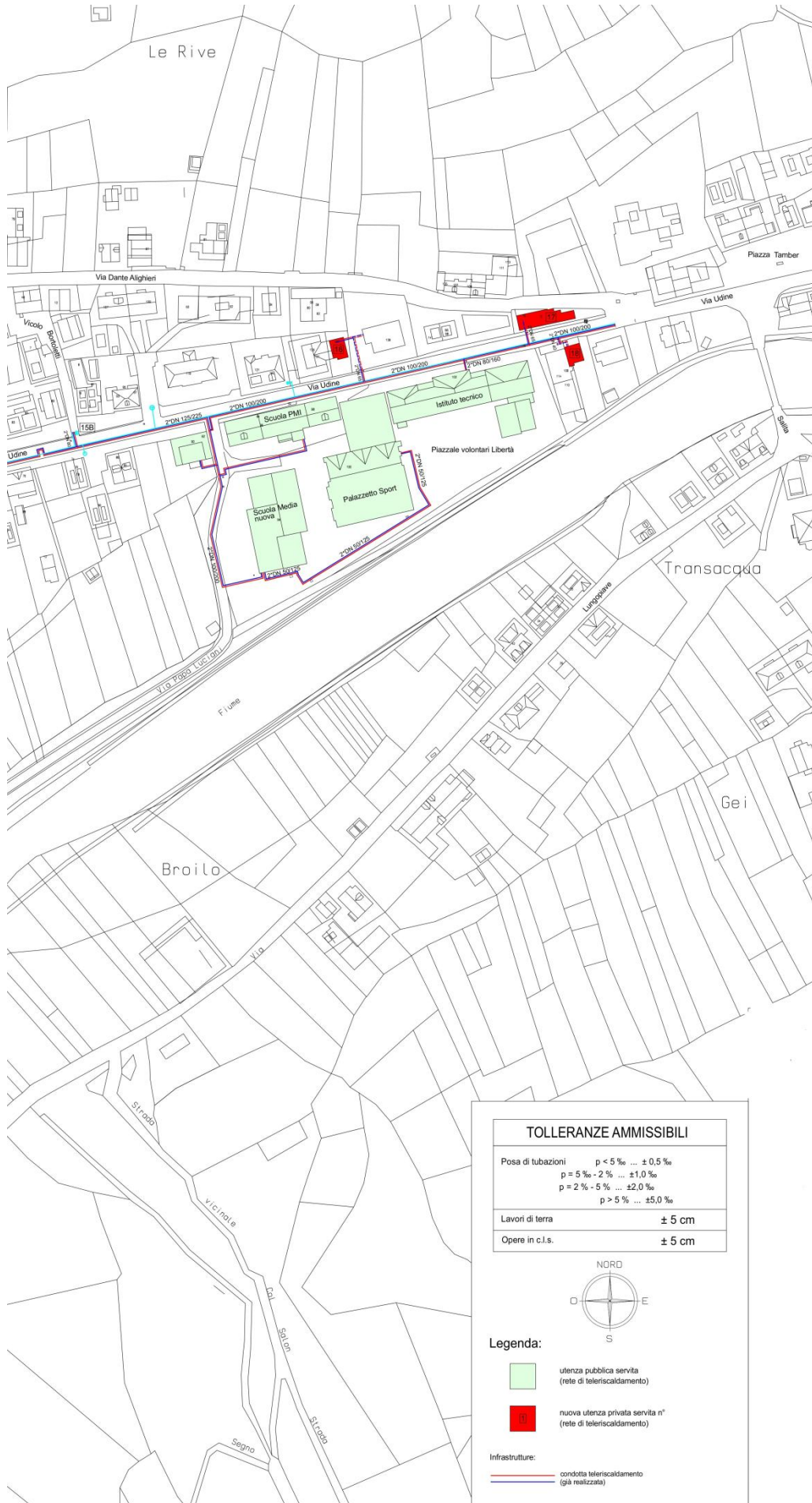


Sacchi di cenere pronti per essere smaltiti.



Nelle figure seguenti è mostrata la mappa di Santo Stefano di Cadore con le utenze servite dall'impianto di teleriscaldamento a biomassa.





TOLLERANZE AMMISSIBILI

Posa di tubazioni	p < 5 % ... ± 0,5 %
	p = 5 % - 2 % ... ± 1,0 %
	p = 2 % - 5 % ... ± 2,0 %
	p > 5 % ... ± 5,0 %

Lavori di terra ± 5 cm

Opere in c.l.s. ± 5 cm



Legenda:

utenza pubblica servita (rete di teleriscaldamento)

nuova utenza privata servita n° (rete di teleriscaldamento)

Infrastrutture:

condotta teleriscaldamento (già realizzata)

CAPITOLO 3. STUDIO SUL TERRITORIO MONTANO IN PROVINCIA DI BELLUNO: CONDIZIONI FAVOREVOLI PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI TELERISCALDAMENTO A BIOMASSA LEGNOSA.

Scelta dell'area idonea.

Le principali caratteristiche che rendono un abitato adatto alla realizzazione sul proprio territorio di un impianto di teleriscaldamento a biomassa legnosa sono:

- la necessità di riscaldamento per molti mesi all'anno: quindi sono preferibili zone in cui la stagione invernale è lunga e particolarmente fredda (zona E o F);
- un medio–alto consumo di combustibili fossili per soddisfare il proprio fabbisogno di energia termica: in questo modo l'introduzione di un impianto centralizzato a biomassa porta all'eliminazione delle singole caldaie e alla riduzione delle emissioni di CO₂ con evidenti benefici economici ed ambientali;
- l'area scelta non deve possedere o trovarsi nelle vicinanze di una rete del metano o GPL altrimenti la realizzazione di un impianto di questo tipo risulterebbe meno conveniente, dato l'elevato costo, sarebbe invece più logico eventualmente provvedere ad un ampliamento del gasdotto (o della rete GPL) già esistente;
- la presenza di uno spazio sufficiente per ospitare il complesso della centrale termica e la rete di teleriscaldamento; è auspicabile che la centrale termica venga costruita in una posizione periferica rispetto agli edifici che poi si andranno a servire, questo per avere il minimo impatto visivo e ambientale, tuttavia la sua posizione non deve essere neppure troppo lontana dal centro abitato per non incrementare i costi e le perdite di energia durante il trasporto all'utenza;
- la densità delle abitazioni deve essere elevata, in maniera tale da poter raggiungere il maggior numero di utenze con la posa di una rete di dimensioni contenute riducendo così i costi;
- l'area scelta deve essere il più possibile piana o comunque presentare un dislivello ridotto, in questo modo si possono servire le utenze senza il bisogno di stazioni di pompaggio intermedie la cui installazione farebbe lievitare i costi e comporterebbe un'ulteriore spesa energetica;
- è opportuno che l'area scelta sia facilmente raggiungibile attraverso una rete stradale adeguata, in modo che l'approvvigionamento della biomassa risulti più agevole limitando così i costi di trasporto;

- la rete di vie all'interno dell'abitato deve essere sufficientemente fitta in maniera tale da favorire la posa delle tubazioni e l'allacciamento delle utenze;
- la disponibilità di biomassa locale (filiera corta) deve essere elevata in modo tale da ridurre al minimo i costi di approvvigionamento (acquisto e trasporto del cippato).

Come probabili siti di realizzazione per questo tipo di impianto vengono di seguito presi in considerazione i Comuni montani della provincia di Belluno che soddisfano alle caratteristiche sopra elencate.

DISPONIBILITÀ DI BIOMASSA LEGNOSA IN PROVINCIA DI BELLUNO.

L'analisi del potenziale di biomassa ricavabile dal territorio bellunese è stata compiuta sulla base dei dati disponibili sull'Atlante Nazionale delle Biomasse (ENEA 2009).

Il criterio impiegato ricerca un utilizzo sostenibile della biomassa, ovvero entro i limiti di naturale rinnovabilità della risorsa; esso considera inoltre delle limitazioni connesse all'accessibilità dei soprassuoli forestali, che condizionano l'ambito di convenienza economica delle utilizzazioni. Un primo fattore di riduzione della produttività annua sostenibile è basato sulla distanza dalla viabilità, un secondo fattore tiene invece conto della pendenza e della quota delle superfici forestali.

Potenziale biomassa di origine legnosa disponibile per fini energetici (fonte ENEA).

Biomassa legnosa	tonnellate/anno
Boschi di latifoglie	19463
Boschi di conifere	5490
Arboricoltura	0
Totale	24953

Un dato confrontabile con quello appena trovato è stato estratto dal bollettino 2010 delle biomasse legnose di Veneto Agricoltura che attraverso un'indagine di campionatura di 3 anni (2006 - 2008), ha rilevato la disponibilità ritraibile di biomassa per ettaro, applicando diversi coefficienti per la massa ricavabile dalle fustaie (5 % cippato di qualità A e 20 % cippato di qualità B) e dai cedui (85 % legna da ardere e 15 % cippato di qualità A).

La biomassa totale ricavabile in questo caso viene stimata in oltre 20000 ton/anno, risultato inferiore ma in linea con i valori ricavati da ENEA.

Poteniale biomassa di origine legnosa disponibile per fini energetici (fonte Veneto Agricoltura 2010)

Biomassa ricavabile per la produzione di legna e cippato di qualità A e B	Cedui [ton]	Fustaie [ton]	TOTALE [ton]
Legna da ardere	14127,6	0	14127,6
Cippato qualità A	2493,1	796,2	3289,3
Cippato qualità B	0	3184,9	3184,9
TOTALE	16620,7	3981,1	20601,8

Per fare una stima del quantitativo di biomassa ricavabile dai territori di ciascuna delle 9 Comunità Montane presenti in provincia sono state visionate le Carte Forestali redatte dalla Regione Veneto, grazie alle quali si è potuta analizzare la superficie occupata e l'indice di fertilità relativa per ogni specie forestale presente sul territorio. Studiando l'indice di fertilità relativa (variabile da 1 a 10) è stato possibile evidenziare le specie dotate di un fattore di crescita più elevato e quindi aventi un ciclo di rinnovo più breve. Le specie esaminate sono 28 (su un totale di 63 presenti sul territorio) e possiedono un indice di fertilità relativa compreso tra 7 e 10; tra queste quelle maggiormente presenti nel territorio provinciale sono l'abiteto dei substrati carbonatici, l'abiteto dei suoli mesici tipico, la faggeta montana tipica esalpica, la pecceta dei substrati silicatici dei suoli mesici altimontana e la pecceta secondaria montana.

Specie forestali con indice di fertilità maggiore di 7 presenti in provincia di Belluno.

Tipo	PCI [MJ/kg]	I.F.R.
Abiteto dei substrati carbonatici	19,31	9
Abiteto dei substrati silicatici	19,31	10
Abiteto dei suoli mesici con faggio	19,31	10
Abiteto dei suoli mesici tipico	19,31	10
Abiteto esometamorfismo montano	19,31	8
Abiteto esomesalpico montano	19,31	7
Aceri - frassineto tipico	18,06	7
Aceri - tiglieto tipico	18,31	7
Carpineto con frassino	17,8	7
Carpineto tipico	17,35	7
Castagneto dei suoli mesici	18,84	7
Rovereto tipico	18,13	7
Faggeta altimontana	18,09	8
Faggeta montana tipica esalpina	18,09	8

Faggeta montana tipica esomesalpica	18,09	8
Faggeta montana tipica mesalpica	18,09	7
Faggeta submontana dei suoli acidi	18,09	7
Faggeta submontana dei suoli mesici	18,09	7
Robinieto	18,49	8
Orno - ostrieto primitivo	17,8	7
Pecceta dei substrati carbonatici altimontana	19,28	7
Pecceta con frassino e/o acero	19,28	7
Pecceta dei substrati silicatici dei suoli mesici altimontana	19,28	9
Pecceta dei substrati silicatici dei suoli xerici altimontana	19,28	8
Pecceta dei substrati silicatici dei suoli xerici montana	19,28	7
Pecceta secondaria montana	19,28	7
Piceo - faggeto dei suoli mesici	19,28	9
Piceo - faggeto dei suoli xerici	19,28	7

Biomassa ricavabile dalla variazione annuale della superficie boscata.

In base ai dati riportati nella tabella seguente si può vedere quanto la crescita annuale della superficie boscata sia elevata nei territori delle Comunità Montane della provincia.

Tasso di variazione della superficie boscata per ciascuna Comunità Montana della provincia di Belluno.

Comunità Montana	Superficie totale [ha]	Superficie boscata [ha]	Superficie bosco < 1500 m slm [ha]	Variazione sup. bosco [ha/anno]	Tasso variazione %
Agordina	65916,26	38936,68	19322,69	18,36	0,095%
Belluno - Ponte nelle Alpi	20533,2	10180,41	8791,22	8,35	0,095%
Cadore - Longaronese - Zoldano	32296,56	23798,25	15747,64	14,96	0,095%
Centro Cadore	59541,33	39324,06	21320,88	20,25	0,095%
Comelico - Sappada	34293,22	21270,06	8825,95	8,38	0,095%
dell'Alpago	16759,36	9370,39	6848,08	6,51	0,095%
Feltrina	60414,34	37339,65	28635,68	27,2	0,095%
della valle del Boite	40995,84	22350,77	6457,15	6,13	0,095%
Val Belluna	36389,26	20034,92	14683,42	13,95	0,095%

La variazione di superficie calcolata in tabella è riferita all'area boscata che si trova ad un'altitudine inferiore a 1500 m, mentre la parte di bosco superiore non è stata presa in considerazione in quanto poco estesa (la sua variazione è quindi poco significativa) e comunque difficile da raggiungere data la scarsa viabilità presente oltre a questa quota.

Nella tabella seguente invece è riportata per ciascuna Comunità Montana la superficie boscata ricoperta da specie forestali con indice di fertilità relativa compreso tra 10 e 7 e tra 10 e 8 e la loro percentuale rispetto alla totale area di bosco.

Superfici forestali presenti in provincia con indice di fertilità relativa compreso tra 10÷7 e tra 10÷8.

Comunità Montana	Sup. [ha] F.R. 10 - 8	Sup. [ha] F.R. 10 - 7	% F.R. 10 - 8	% F.R. 10 - 7
Agordina	7622,5	17969,7	19,58%	46,15%
Belluno - Ponte nelle Alpi	1178,8	2764,4	11,58%	27,15%
Cadore - Longaronese - Zoldano	5090	8228,1	21,39%	34,57%
Centro Cadore	11206,1	19174,7	28,50%	48,76%
Comelico - Sappada	8740,8	11503,5	41,09%	54,08%
dell'Alpago	3238,9	4881,3	34,57%	52,09%
Feltrina	4874	10591,3	13,05%	28,36%
della valle del Boite	2860,8	8126,1	12,80%	36,36%
Val Belluna	2976,4	5865,1	14,86%	29,27%

Facendo l'ipotesi che da ogni ettaro di superficie boscata si possano ricavare circa 400 q di tondame, e 600 q di scarti (suddivisi in 400 q di rami e cimoli e 200 q di ceppaie) è stato possibile calcolare la quantità di biomassa ricavabile dalla variazione superficiale annua di bosco di ogni Comunità Montana, sia in termini di scarti che di totale (tondame + scarti).

Inoltre, ipotizzando ancora che nella variazione superficiale di bosco le percentuali di superficie ricoperta da specie forestali con indice di fertilità compreso tra 7÷10 e tra 8÷10 siano quelle riportate nella tabella precedente, è stato possibile calcolare per ogni ettaro di variazione la quantità di biomassa (sia in termini di scarti che di totale) ricavabile unicamente dalle specie ad alta fertilità.

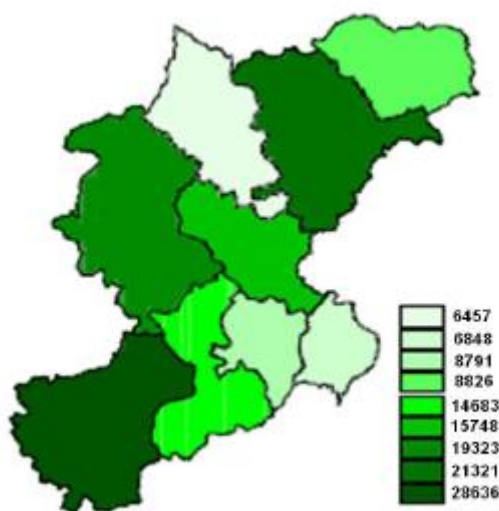
I risultati sono esposti nella tabella seguente.

Biomassa ricavabile per ogni ettaro di variazione superficiale annuale della superficie boscata.

Comunità Montana	tonnellate ricavate sugli ha della variazione superficiale annuale					
	cippato da scarto	cippato da totale	cippato da tot FR10-8	cippato da tot FR10-7	cippato da scarti FR10-8	cippato da scarti FR10-7
Agordina	1.101,60	1.836,00	215,66	847,33	143,77	338,93
Belluno-Ponte	501,00	835,00	96,69	226,74	38,67	90,69
Alpago	390,60	651,00	225,02	339,12	90,01	135,65
Valle del Boite	367,80	613,00	78,46	222,87	31,38	89,15
Comelico Sappada	502,80	838,00	344,37	453,22	137,75	181,29
Feltrina	1.632,00	2.720,00	355,05	771,52	142,02	308,61
CLZ	897,60	1.496,00	319,97	517,23	127,99	206,89
Val Belluna	837,00	1.395,00	207,24	408,38	82,90	163,35
Centro Cadore	1.215,00	2.025,00	577,06	987,40	230,82	394,96
TOTALE	7.445,40	12.409,00	2.419,51	4.773,82	1.025,31	1.909,53

Come si può vedere, la quantità di scarti ricavabile tra tutte le specie forestali, considerando la variazione annuale di superficie, ammonta a circa 7450 ton, mentre aggiungendo anche il tonname si arriva a circa 12400 ton.

La quantità di scarti ricavabile dalle sole specie ad alta ricrescita (con indice di fertilità compreso tra 7÷10) ammonta invece a circa 1900 ton, mentre aggiungendo il tonname si arriva a circa 4780 ton.



Ettari di superficie boscata ad un'altezza < 1500 m sul livello del mare nelle Comunità Montane della provincia di Belluno.

Biomassa ricavabile dalle domande di taglio.

Analizzando la documentazione messa a disposizione dal Servizio Forestale della Regione Veneto, è stato possibile effettuare una stima del legname disponibile sul territorio bellunese (per ogni Comunità Montana) ottenuto a seguito dell'accettazione delle domande di taglio per la manutenzione del bosco. La quantità calcolata è pari a 67424 ton di fustaie e 17827 ton di cedui.

Per tenere conto dei residui minimi e delle perdite si esclude una quantità pari al 20% del totale sia per le fustaie (13484,8 ton) che per i cedui (3565,4 ton).

Facendo riferimento al rapporto dell'Associazione Biomassa Italiana, si è stimato di poter ricavare un 30 % di ramaglie e cimali dal totale delle fustaie, pari a 20227,2 ton di scarti utilizzabili per fini energetici.

La parte restante del legname ricavato dalle fustaie (33712 ton, pari al 50% del totale) è destinata ad un mercato proprio essendo più pregiata, mentre la parte restante dei cedui (14261,6 ton, pari al 80 % del totale) può essere sommata agli scarti utilizzabili a scopo energetico, raggiungendo così un totale di circa 34489 ton.

Quantità di biomassa derivante dalle domande di taglio per la manutenzione dei boschi.

C.M.	Massa Fustaie (t)	Massa Cedui (t)	Totale (t) 2010	Scarti energetici (t)	Totale energetico (t)
Agordina	7778	942	8720	2522	3087
Belluno-Ponte	1094	1054	2148	539	1171
Alpago	3966	2181	6147	1626	2934
Valle del Boite	8508	17	8525	2556	2566
Comelico Sappada	21564	6	21570	6470	6474
Feltrina	6610	7181	13791	3419	7728
CLZ	2615	414	3029	867	1116
Val Belluna	3292	5777	9069	2143	5609
Centro Cadore	11998	254	12252	3650	3803
TOTALE	67424	17827	85251	23792	34489

La maggior disponibilità è stata riscontrata nella Comunità Montana Feltrina e in quella del Comelico e Sappada, caratterizzate da numerose quantità boschive.

Biomassa ricavabile dagli scarti di lavorazione delle industrie del legno.

Nel 2004 una collaborazione tra Regione Veneto e Università di Padova, ha effettuato uno studio sui residui prodotti dalle industrie di prima lavorazione del legno che si trovano nelle aree montane e pedemontane, cercando di coinvolgere le 45 aziende presenti in provincia di Belluno (tra imprese boschive e segherie). A questo progetto hanno aderito 27 aziende rendendo disponibili i propri dati in merito agli scarti annuali, tali dati sono riportati nella tabella seguente.

Quantità di scarti disponibili per fini energetici ricavabili dalle industrie di lavorazione del legno.

Comunità Montana	N° aziende	Risposte	Refili e sciaveri [t/anno]	Trucioli [t/anno]	Segatura e polveri [t/anno]	Corteccia [t/anno]	Totale [t/anno]
Agordina	4	2	1055,33	40,46	389,94	230,65	1716,38
Bellunese Belluno- Ponte nelle Alpi	2	2	823,7	60,2	392,68	99,33	1375,91
Cadore Longaronese Zoldano	3	1	176,6	0	38,7	0	215,3
Centro Cadore	13	9	3767,04	222	1221,67	627,34	5838,05
Comelico Sappada	3	2	591,68	0	342,28	0	933,96
dell'Alpago	4	3	1193,16	140,81	371,63	90,47	1796,07
Feltrina	6	5	2322,54	0	971,48	444,83	3738,85
della Valle del Boite	2	0	-	-	-	-	-
Val Belluna	8	3	861,92	0	411,28	42,3	1315,50
TOTALE	45	27	10791,97	463,47	4139,66	1534,92	16930,02

Gli scarti migliori per la produzione di cippato risultano essere i refili e gli sciaveri (scarti esterni del tronco dell'albero e di rifilatura che si ottengono dalla segazione di tavole); gli altri scarti hanno una scarsa resa energetica e quindi possono essere trascurati.

La tabella seguente evidenzia la quantità di scarti usati come biocarburante nelle aziende presenti nelle 9 Comunità Montane della provincia.

Quantità di scarti delle industrie del legno utilizzati come biocombustibile.

Comunità Montana	Refili e sciaveri [t/anno]	Trucioli [t/anno]	Segatura e polveri [t/anno]	Corteccia [t/anno]	Totale [t/anno]
Agordina	1055,33	6,02	169,52	117	1347,87
Bellunese-Belluno-Ponte nelle Alpi	776,4	0	82,56	76,63	935,59
Cadore Longaronese-Zoldano	176,3	0	38,7	0	215
Centro Cadore	2804,14	67,2	275	375,15	3521,49
Comelico-Sappada	421,4	0	0	0	421,4
dell'Alpago	993,3	0	275,2	42,57	1311,07
Feltrina	677,54	0	0	4,83	682,37
della Valle del Boite	0	0	0	0	0,00
Val Belluna	861,92	0	41,28	42,3	945,5
TOTALE	7766,33	73,22	882,26	658,48	9380,29

Potenziale totale di biomassa disponibile sul territorio bellunese.

Il potenziale di biomassa totale è stato calcolato sommando gli scarti ricavabili dalla variazione annuale di superficie boscata, gli scarti di lavorazione delle industrie del legno e gli scarti ricavabili dalla manutenzione del bosco (domande di taglio); ottenendo un totale di circa 42000 ton. Considerando oltre agli scarti anche il tondame (di solito sfruttato come legna da ardere) si arriva ad un massimo di 57689 ton di biomassa disponibile.

Quantità totale di biomassa disponibile.

Potenziale da scarti [ton/anno] (esclude la parte destinata al mercato del tondame)	
cippato da variazione annuale	7.445,40
scarti di segheria	10.791,97
manutenzione bosco sulle domande di taglio	23.792,45
TOTALE	42.029,82

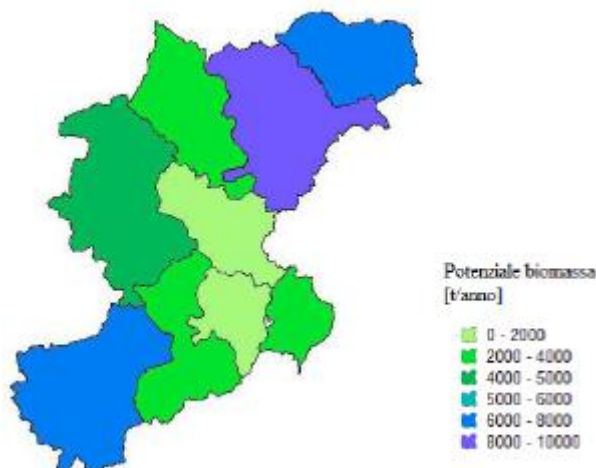
Potenziale TOT [ton/anno] (include la parte destinata al mercato del tondame)	
cippato da variazione annuale	12.409,00
scarti di segheria	10.791,97
manutenzione bosco sulle domande di taglio	34.488,65
TOTALE	57.689,62

Quantità totale di biomassa disponibile per ciascuna Comunità Montana.

C.M.	Potenziale da scarti (t)				Potenziale TOT (t)			
	Cippato da variazione annuale	Scarti di segheria	Cippato da manutenz. bosco	TOT.	Cippato da variazione annuale	Scarti di segheria	Cippato da manutenz. bosco	TOT.
Agordina	1101,6	1055,3	2521,9	4678,8	1836,0	1055,3	3087,2	5978,6
Belluno-Ponte	501,0	823,7	539,0	1863,7	835,0	823,7	1171,4	2830,1
Alpago	390,6	1193,2	1625,9	3209,7	651,0	1193,2	2934,2	4778,4
Valle del Boite	367,8	/	2555,8	2923,6	613,0	/	2566,0	3179,0
Comelico Sappada	502,8	591,7	6470,3	7564,7	838,0	591,7	6473,9	7903,5
Feltrina	1632,0	2322,5	3419,2	7373,8	2720,0	2322,5	7728,0	12770,5
CLZ	897,6	176,6	867,2	1941,4	1496,0	176,6	1115,9	2788,5
Val Belluna	837,0	861,9	2142,9	3841,8	1395,0	861,9	5609,3	7866,2
Centro Cadore	1215,0	3767,0	3650,3	8632,3	2025,0	3767,0	3802,8	9594,9
TOTALE	7445,4	10792,0	23792,5	42029,8	12409,0	10792,0	34488,7	57689,6

Come evidenziato dalla tabella, le zone del Cadore, Feltrino e del Comelico e Sappada sono quelle che possiedono disponibilità maggiori di biomassa rispetto alle altre Comunità Montane

Potenziale totale di biomassa per ciascuna Comunità Montana.



IPOTESI DI RIPETIBILITÀ.

Dopo aver valutato la disponibilità di biomassa sul territorio, con l'ausilio delle carte tecniche regionali è stato possibile analizzare la struttura urbana dei Comuni montani della provincia di Belluno per individuare le zone con caratteristiche più vicine a quelle esposte inizialmente, e quindi più adatte ad ospitare un impianto di questo tipo.

La scelta è ricaduta su di un Comune facente parte della Comunità Montana Agordina che conta circa 1324 abitanti ed è situato ad un'altitudine di 1143 metri sul livello del mare in un territorio a carattere in prevalenza montuoso sul quale però è presente un'elevata superficie boscata (circa 38937 ettari). Il Comune si trova in zona climatica F (il numero dei gradi giorno è 4379) ed inoltre l'area su cui sorge non è metanizzata e non è servita da una rete GPL. Come per il Comune di Santo Stefano, anche in questo caso la popolazione residente per soddisfare il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento degli edifici e la produzione dell'acqua calda sanitaria si affida all'uso di caldaie a gasolio e di stufe a legna risorsa molto abbondante nel territorio.

STIMA DEL FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA DELL'UTENZA SELEZIONATA.

Grazie all'utilizzo della carta tecnica regionale, è stato possibile visionare e poi scegliere un'area all'interno del Comune considerato con le caratteristiche più adatte alla realizzazione di un impianto di teleriscaldamento a biomassa.

In tale zona è stata rilevata la presenza di 120 edifici tra pubblici e privati, con un numero di abitanti residenti pari a 174; secondo le previsioni l'impianto andrà a servire solamente questa parte del Comune, data l'impossibilità di soddisfare la totale richiesta di energia termica con una rete di teleriscaldamento di dimensioni contenute (e quindi con costi di investimento iniziale limitati).

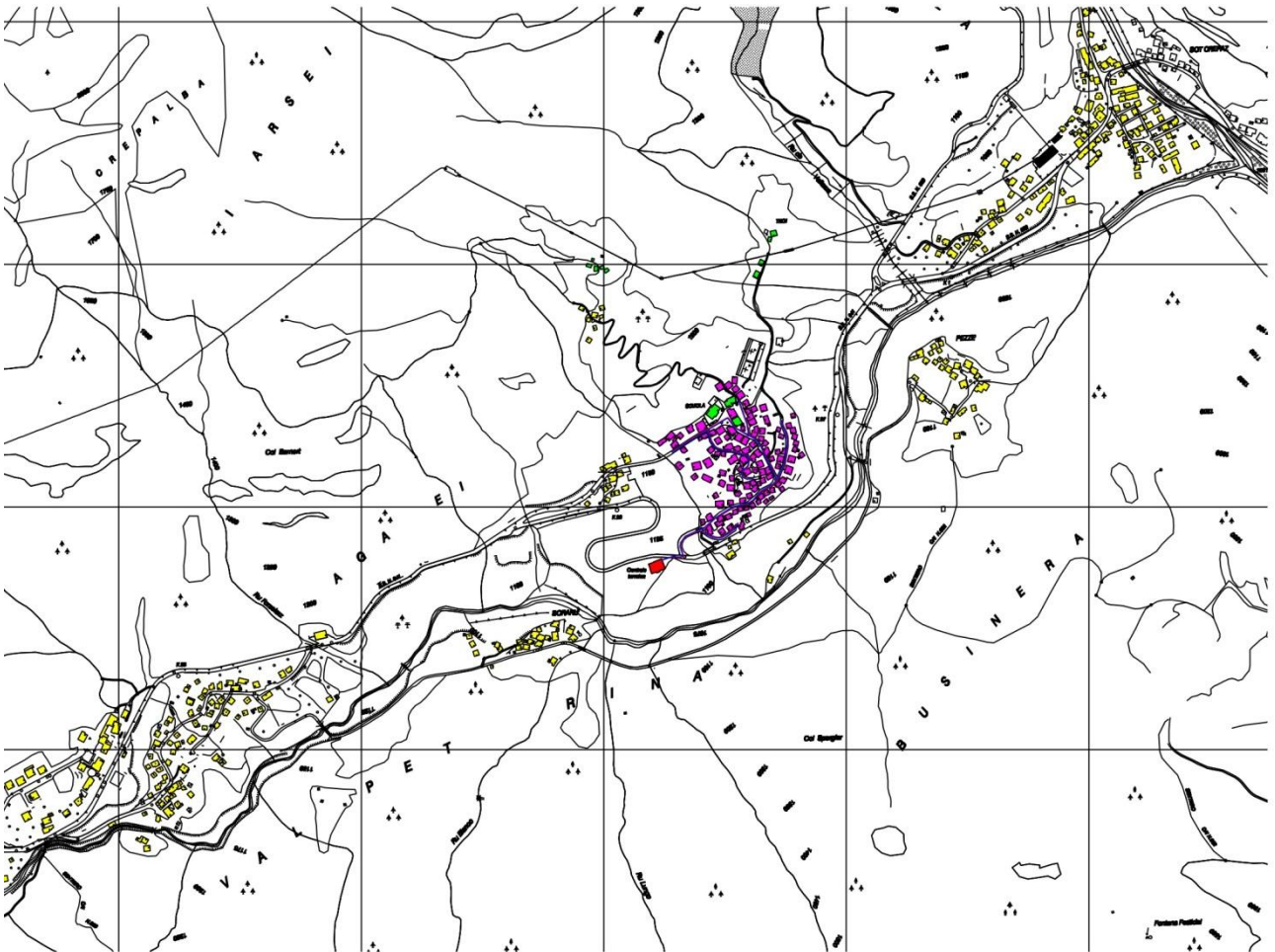
Per stimare la potenza dell'impianto è necessario prima valutare l'entità del fabbisogno energetico degli edifici selezionati.

Dati iniziali dell'utenza:

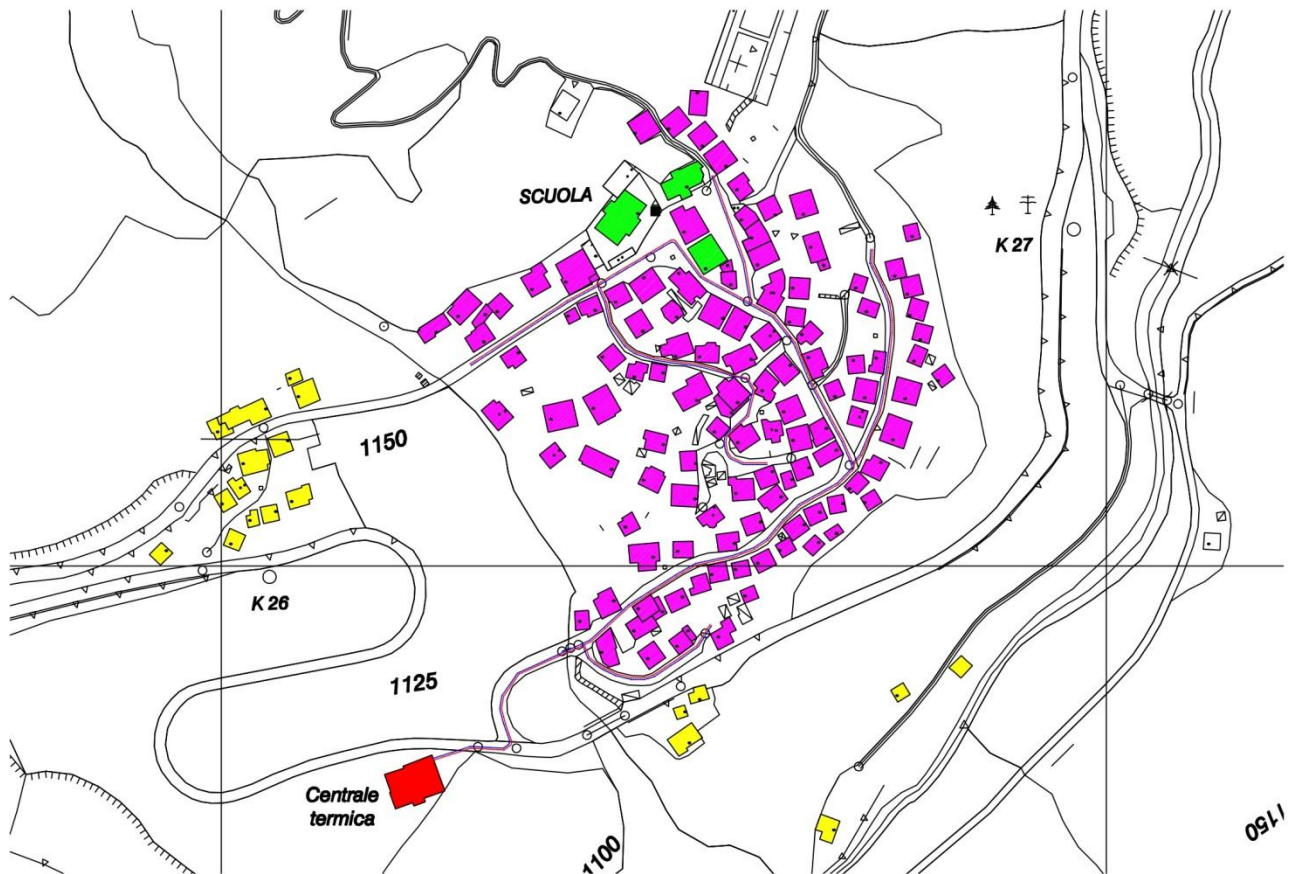
- edifici selezionati: 120;
- abitanti residenti $\rightarrow n_{ab} = 174$;
- consumo specifico medio di energia per gli edifici nei Comuni montani della provincia di Belluno:
per unità di superficie $\rightarrow C_s = 205 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{anno})$;
per unità di volume $\rightarrow C_v = 76 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{anno})$;

- superficie netta media delle abitazioni nei Comuni montani della provincia di Belluno (fonte ISTAT): $S = 80 \text{ m}^2$;

Pianta dell'abitato nel quale sono state selezionate le utenze.



Pianta delle utenze selezionate (in viola quelle private, in verde quelle pubbliche), della centrale termica e della rete di teleriscaldamento.



FABBISOGNO TERMICO DELLE UTENZE PRIVATE.

Riscaldamento.

Dato il numero di abitanti residenti, assumendo una media di 2 abitanti per famiglia si stima il numero di abitazioni presenti nell'area selezionata:

$$n_{\text{abitazioni}} = n_{\text{ab}}/2 = 174/2 = 87 \text{ abitazioni}$$

ipotizzando che l'altezza media di un'abitazione sia pari a $h = 2,7 \text{ m}$, si ricava il volume totale netto delle abitazioni:

$$V_{\text{abitazioni}} = n_{\text{abitazioni}} * S * h = 87 * 80 * 2,7 = 18792 \text{ m}^3 \rightarrow \cong 18800 \text{ m}^3$$

moltiplicando volume appena calcolato per il consumo specifico per unità di volume si ottiene il consumo di energia termica per il riscaldamento delle abitazioni private:

$$C_{R \text{ priv}} = V_{\text{abitazioni}} * C_s = 18800 * 76 = 1428800 \text{ kWh/anno} \rightarrow \cong 1430 \text{ MWh/anno}$$

Si considera un'abitazione domestica servita da un impianto tipo costituito da un generatore di calore da 25 kW di potenza, di classe tre stelle avente un rendimento di generazione pari a $\eta_g = 0,9$; e con i seguenti rendimenti di impianto (secondo la norma UNI 11300 parte 2):

- rendimento di emissione pari a: $\eta_e = 0,96$;
- rendimento di regolazione pari a: $\eta_r = 0,94$;
- rendimento di distribuzione pari a: $\eta_d = 0,96$.

Volendo valutare l'impatto di una rete di teleriscaldamento, si considera il consumo complessivo al netto del rendimento di generazione, in modo da comprendere nel fabbisogno stimato dell'utenza i rendimenti di impianto che non sono interessati dalla modifica del sistema di generazione (e cioè i rendimenti di regolazione, emissione e distribuzione).

Avendo assunto un rendimento di generazione medio stagionale pari a $\eta_{g\ mst} = 0,9$; dal consumo valutato si calcola il fabbisogno di energia termica da convogliare alle utenze:

$$E_{R\ priv} = C_{R\ priv} * \eta_{g\ mst} = 1428800 * 0,9 = 1285920 \text{ kWh/anno} \rightarrow \cong 1286 \text{ MWh/anno}$$

Acqua calda sanitaria.

Ipotizzando un fabbisogno giornaliero di acqua pari a 60 litri/(giorno*persona), moltiplicando per il numero di abitanti si calcola la portata volumetrica totale:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= n_{ab} * 60 = 174 * 60 = 10440 \text{ litri/giorno} \\ &= 0,12083 \text{ litri/s} \end{aligned}$$

sapendo che la massa volumica dell'acqua è 1000 kg/m^3 , uguale a 1 kg/dm^3 e quindi pari a 1 kg/litro , è possibile calcolare la portata di massa totale:

$$\dot{m} = \dot{V} * \rho = 0,12083 * 1 = 0,12083 \text{ kg/s} \rightarrow \cong 0,121 \text{ kg/s}$$

sapendo che il calore specifico dell'acqua è pari a $c_p = 4186 \text{ J/(kg*K)}$ e supponendo di dover riscaldare la portata d'acqua \dot{m} dalla temperatura di acquedotto di 10° C fino ad una temperatura di utilizzo di 45° C , si dovrà fornire al fluido una potenza termica pari a:

$$P = \dot{m} * c_p * \Delta t = 0,121 * 4186 * 35 = 17703,3 \text{ W} \rightarrow \text{pari a } 17,703 \text{ kW}$$

moltiplicando la potenza per il numero di ore annuali si ottiene il fabbisogno di energia termica per la produzione dell' acqua calda sanitaria:

$$E_{ACS\ priv} = P * 24 * 365 = 17,703 * 24 * 365 = 155078,3 \text{ kWh/anno}$$

$$E_{ACS\ priv} \cong 155,1 \text{ MWh/anno}$$

FABBISOGNO TERMICO DELLE PRINCIPALI UTENZE PUBBLICHE.

Le utenze pubbliche più importanti dal punto di vista del fabbisogno energetico presenti tra gli edifici considerati sono il municipio, la scuola elementare e la chiesa.

Riscaldamento.

Per il municipio e la scuola elementare si assume un consumo specifico medio di energia per unità di volume pari a $76 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{anno})$, mentre per la chiesa si utilizza la metà di tale valore ($38 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{anno})$). Mediante l'utilizzo della carta tecnica regionale è stata ricavata l'area di questi edifici, e da questa è stato possibile risalire poi al volume totale riscaldato.

Municipio.

Sapendo che l'area dell'edificio è pari a circa 274 m^2 e che esso conta 5 piani, ipotizzando che l'altezza media per ogni piano sia pari a $h = 3 \text{ m}$, si ottiene un volume di:

$$V_m = A_m * h * n = 274 * 3 * 5 = 4110 \text{ m}^3$$

moltiplicando il valore appena ottenuto per il consumo specifico per unità di volume si ricava il consumo di energia termica per il riscaldamento del municipio:

$$C_m = V_m * C_{sv} = 4110 * 76 = 312360 \text{ kWh/anno} \rightarrow \cong 312,4 \text{ MWh/anno}$$

Scuola elementare.

Sapendo che l'area dell'edificio è pari a circa 483 m^2 e che esso conta 3 piani, ipotizzando che l'altezza media per ogni piano sia pari a $h = 3 \text{ m}$, si ottiene un volume di:

$$V_s = A_s * h * n = 483 * 3 * 3 = 4347 \text{ m}^3 \rightarrow \cong 4350 \text{ m}^3$$

moltiplicando il valore appena ottenuto per il consumo specifico per unità di volume si ricava il consumo di energia termica per il riscaldamento della scuola elementare:

$$C_s = V_s * C_{sv} = 4350 * 76 = 330600 \text{ kWh/anno} \rightarrow \cong 330,6 \text{ MWh/anno}$$

Chiesa.

Sapendo che l'area dell'edificio è pari a circa 305 m^2 , è stata ipotizzata un'altezza di circa 10 m , il volume ricavato è stato poi aumentato per avere una stima cautelativa:

$$V_c = A_c * h = 305 * 10 = 3050 \text{ m}^3 \rightarrow \text{aumentato a } 3100 \text{ m}^3$$

moltiplicando il valore appena ottenuto per il consumo specifico per unità di volume si ricava il consumo di energia termica per il riscaldamento della chiesa:

$$C_c = V_c * C_{sv} = 3100 * 38 = 117300 \text{ kWh/anno} \rightarrow \cong 117,3 \text{ MWh/anno}$$

Il consumo termico totale per il riscaldamento delle 3 utenze pubbliche descritte è dato dalla somma dei contributi appena calcolati:

$$C_{R\text{ pubb}} = C_m + C_s + C_c = 312,4 + 330,6 + 117,3 = 760,3 \text{ MWh/anno}$$

Analogamente a quanto fatto per le utenze private, anche in questo caso si considera il consumo complessivo al netto del rendimento di generazione, in modo da comprendere nel fabbisogno stimato dei 3 edifici pubblici i rendimenti di impianto che non sono interessati dalla modifica del sistema di generazione.

assumendo un rendimento di generazione medio stagionale pari a $\eta_{g\text{ mst}} = 0,9$ si calcola il fabbisogno di energia termica per le 3 utenze pubbliche considerate:

$$E_{R\text{ priv}} = C_{R\text{ priv}} * \eta_{g\text{ mst}} = 760300 * 0,9 = 684270 \text{ kWh/anno} \rightarrow \cong 684,3 \text{ MWh/anno}$$

Acqua calda sanitaria.

L'energia termica necessaria per la produzione dell'acqua calda sanitaria è stata calcolata solamente per la scuola elementare, ritenendo molto limitato (se non addirittura nullo) il consumo d'acqua nelle altre 2 strutture.

Supponendo che la scuola sia frequentata da 40 persone (studenti più insegnanti), è stato ipotizzato un consumo giornaliero pari a 15 litri/(giorno*persona), con questi dati si è ricavata la portata volumetrica totale:

$$\dot{V} = n_{\text{persone}} * 15 = 40 * 15 = 600 \text{ litri/giorno} \rightarrow \text{pari a } 0,00694 \text{ litri/s}$$

la portata di massa è uguale alla portata volumetrica espressa in litri/s:

$$\dot{m} = 0,00694 \text{ kg/s}$$

sapendo che il calore specifico dell'acqua è pari a $c_p = 4186 \text{ J/(kg*K)}$ e supponendo di dover riscaldare la portata d'acqua \dot{m} dalla temperatura di acquedotto di 10°C fino ad una temperatura di utilizzo di 45°C , si dovrà fornire al fluido una potenza termica pari a:

$$P = \dot{m} * c_p * \Delta t = 0,00694 * 4186 * 35 = 1016,8 \text{ W} \rightarrow \text{pari a } 1,02 \text{ kW}$$

moltiplicando la potenza per il numero di ore annuali si ottiene il fabbisogno di energia termica per la produzione dell'acqua calda sanitaria per la scuola elementare:

$$E_{ACS\text{ pubb}} = P * 24 * 365 = 1,02 * 24 * 365 = 8935,2 \text{ kWh/anno} \rightarrow \cong 9 \text{ MWh/anno}$$

Il fabbisogno di energia termica totale per il riscaldamento degli edifici e quello per la produzione dell'acqua calda sanitaria si ottiene dalla somma dei contributi ricavati per le utenze pubbliche e per quelle private:

$$E_R = E_{R\text{ priv}} + E_{R\text{ pubb}} = 1286 + 684,3 = 1970,3 \text{ MWh/anno}$$

$$E_{ACS} = E_{ACS\ priv} + E_{ACS\ pubb} = 155,1 + 9 = 164,1 \text{ MWh/anno}$$

per un totale di:

$$E = E_R + E_{ACS} = 1970,3 + 164,1 = 2134,4 \text{ MWh/anno} \rightarrow \cong 2135 \text{ MWh/anno}$$

VALUTAZIONE DELLA POTENZA INSTALLABILE.

I dati di partenza sono il fabbisogno termico totale richiesto per il riscaldamento degli edifici e quello per la produzione dell'acqua calda sanitaria:

$$E_R = 1970,3 \text{ MWh/anno}$$

$$E_{ACS} = 164,1 \text{ MWh/anno}$$

per un totale pari a $E \cong 2135 \text{ MWh/anno}$.

Acqua calda sanitaria.

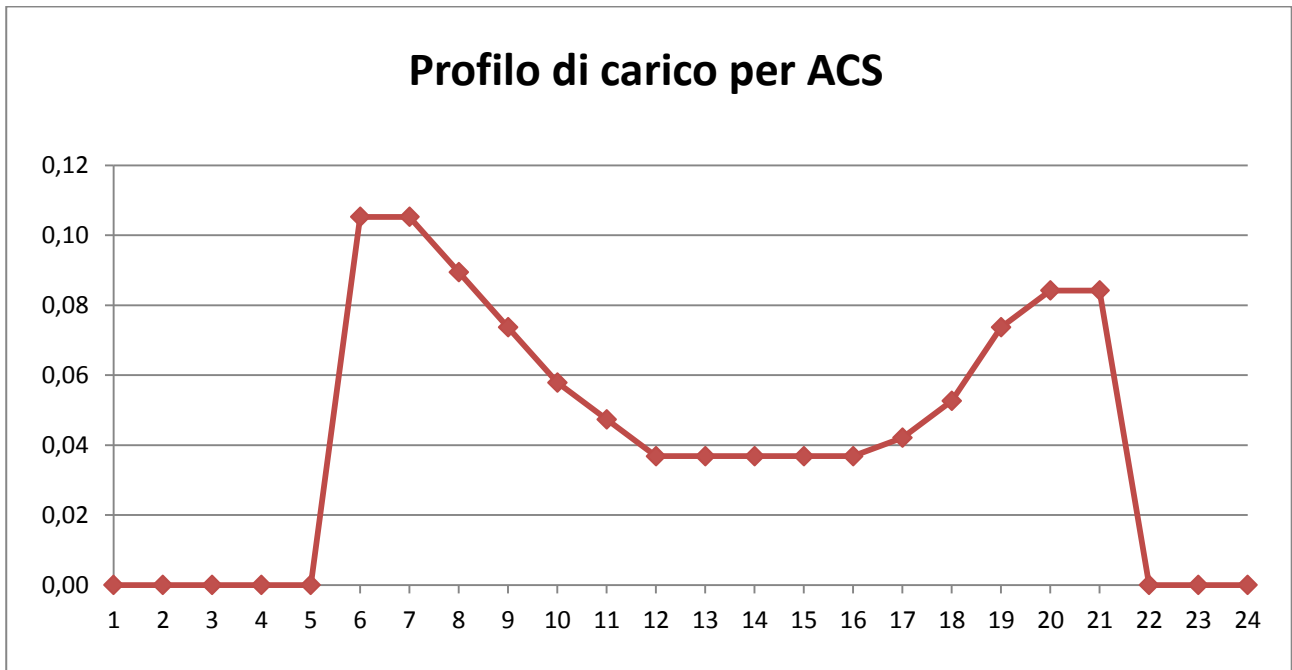
Per quanto riguarda l'acqua calda sanitaria, si suppone che il fabbisogno giornaliero di energia sia costante per tutto il periodo dell'anno e precisamente pari a:

$$E_{g\ ACS} = E_{u\ ACS}/365 = 164,1/365 = 0,4495 \text{ MWh/giorno} \rightarrow \cong 0,45 \text{ MWh/giorno}$$

$$E_{g\ ACS} \cong 450 \text{ kWh/giorno}$$

Il fabbisogno così calcolato è stato poi ripartito seguendo un profilo di carico tipico per il settore residenziale che riporta la percentuale di energia richiesta per la produzione di acqua calda al variare delle ore del giorno. In questo metodo si ricava l'andamento della potenza richiesta e si individua il momento della giornata in cui è massima (potenza di picco per la produzione di ACS).

Profilo di carico giornaliero normalizzato per la produzione di acqua calda sanitaria tipico di un'utenza residenziale.

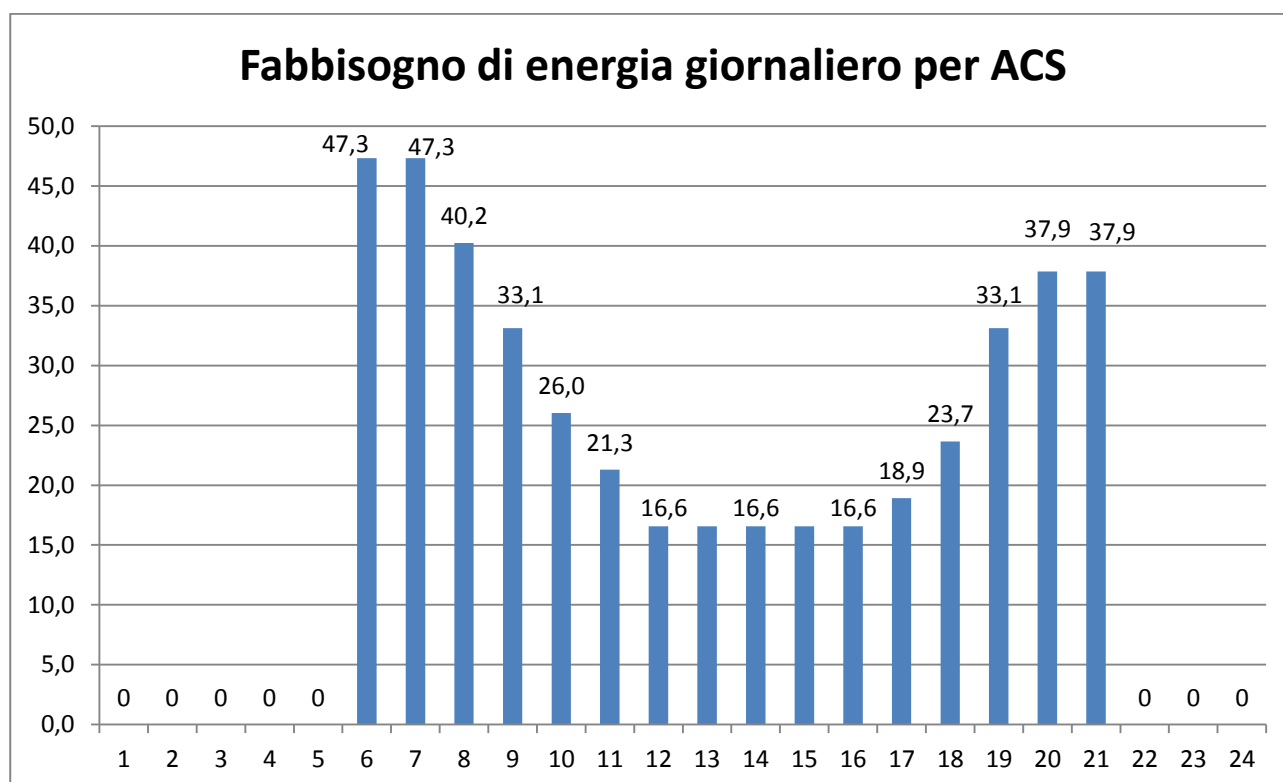


Profilo di carico giornaliero normalizzato per la produzione di acqua calda sanitaria tipico di un'utenza residenziale.

Ore	% Fabbisogno	Potenza [kW]
1	0	0,0
2	0	0,0
3	0	0,0
4	0	0,0
5	0	0,0
6	0,1052	47,3
7	0,1052	47,3
8	0,0895	40,2
9	0,0737	33,1
10	0,0579	26,0
11	0,0474	21,3
12	0,0368	16,6
13	0,0368	16,6
14	0,0368	16,6
15	0,0368	16,6
16	0,0368	16,6
17	0,0421	18,9
18	0,0526	23,7

19	0,0737	33,1
20	0,0842	37,9
21	0,0842	37,9
22	0	0,0
23	0	0,0
24	0	0,0
Totale	1	450

Profilo del fabbisogno di energia giornaliero per l'ACS.



Come si può vedere dalla tabella e dal grafico, il picco di energia richiesta per la produzione di acqua calda sanitaria si ha nelle prime ore della giornata e precisamente tra le 6 e le 7 del mattino, ed è pari a 47,3 kWh. La richiesta cala durante la mattina e si stabilizza ad un valore minimo orario di 16,6 kWh durante le ore centrali della giornata, per poi aumentare nuovamente nelle ore serali fino ad un massimo orario di 37,9 kWh.

Riscaldamento degli edifici.

Per quanto riguarda il riscaldamento domestico, l'ipotesi che il fabbisogno di energia si mantenga costante non è più veritiera, esso infatti varia in relazione al periodo dell'anno (sarà maggiore in inverno e più limitato nella mezza stagione) e alla zona climatica presa in considerazione.

Per tenere conto di questi fattori è stata fatta una ripartizione del fabbisogno annuale sulla base dei gradi giorno mensili della zona scelta, mediante la seguente proporzione:

$$E_R : GG_{annuali} = E_m : GG_{mensili}$$

dalla quale si ricava:

$$E_m = (E_R * GG_{mensili}) / GG_{annuali}$$

dove:

E_R → fabbisogno energetico annuale pari a 2190,3 MWh/anno;

$GG_{annuali}$ → gradi giorno annuali della zona scelta pari a 4379;

$GG_{mensili}$ → gradi giorno mensili;

E_m → fabbisogno energetico mensile.

Una volta calcolato il fabbisogno per ogni mese è stato sufficiente dividere i valori trovati per il numero di giorni di ciascun mese per ricavare il fabbisogno medio giornaliero.

Fabbisogno mensile e giornaliero per il riscaldamento.

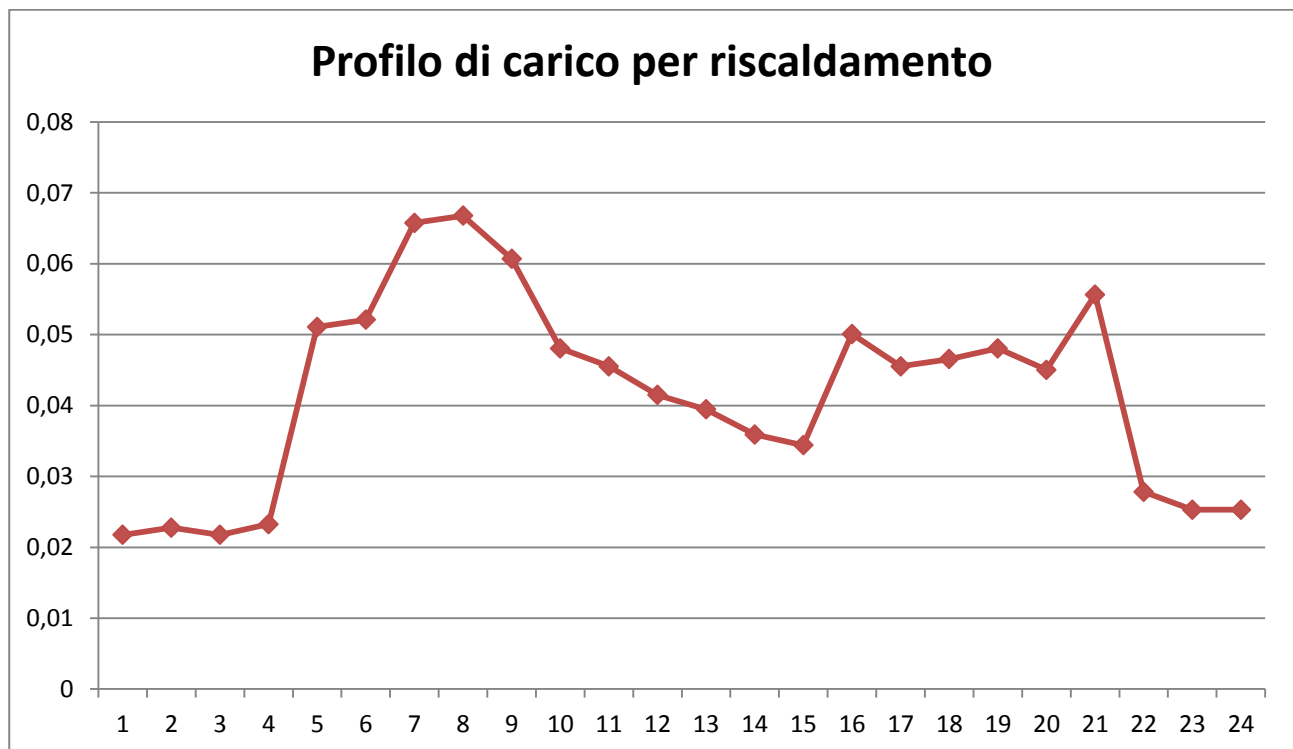
Mese	n° giorni	GG mensili	E_m [MWh/mese]	E_g	
				[MWh/giorno]	[kWh/giorno]
Gennaio	31	857,1	385,7	12,44	12440,58
Febbraio	28	688,6	309,8	11,07	11065,24
Marzo	31	568,5	255,8	8,25	8252,04
Aprile	30	366,8	165,0	5,50	5501,36
Maggio	31	219,7	98,8	3,19	3188,29
Giugno	30	0,0	0,0	0,00	0,00
Luglio	31	0,0	0,0	0,00	0,00
Agosto	31	0,0	0,0	0,00	0,00
Settembre	30	0,0	0,0	0,00	0,00
Ottobre	31	327,3	147,3	4,75	4751,18
Novembre	30	562,7	253,2	8,44	8439,59
Dicembre	31	788,2	354,7	11,44	11440,33
Totale		4379	1970,3		

Come si può notare dalla tabella, la massima richiesta di energia avviene durante nel mese di gennaio ed è pari a circa 12,44 MWh/giorno. Quindi al fine della valutazione della potenza installabile il calcolo viene fatto su questo fabbisogno giornaliero, che viene ripartito sulle diverse

ore del giorno prendendo come riferimento un profilo di carico tipico di un'utenza residenziale servita da una rete di teleriscaldamento. Tale profilo riporta la percentuale del fabbisogno energetico giornaliero richiesta per il riscaldamento domestico durante l'arco del giorno.

In questo metodo si ricava l'andamento della potenza richiesta e si individua il momento della giornata in cui è massima (potenza di picco per il riscaldamento).

Profilo di carico medio giornaliero tipico per riscaldamento domestico di un'utenza residenziale servita da una rete di teleriscaldamento.

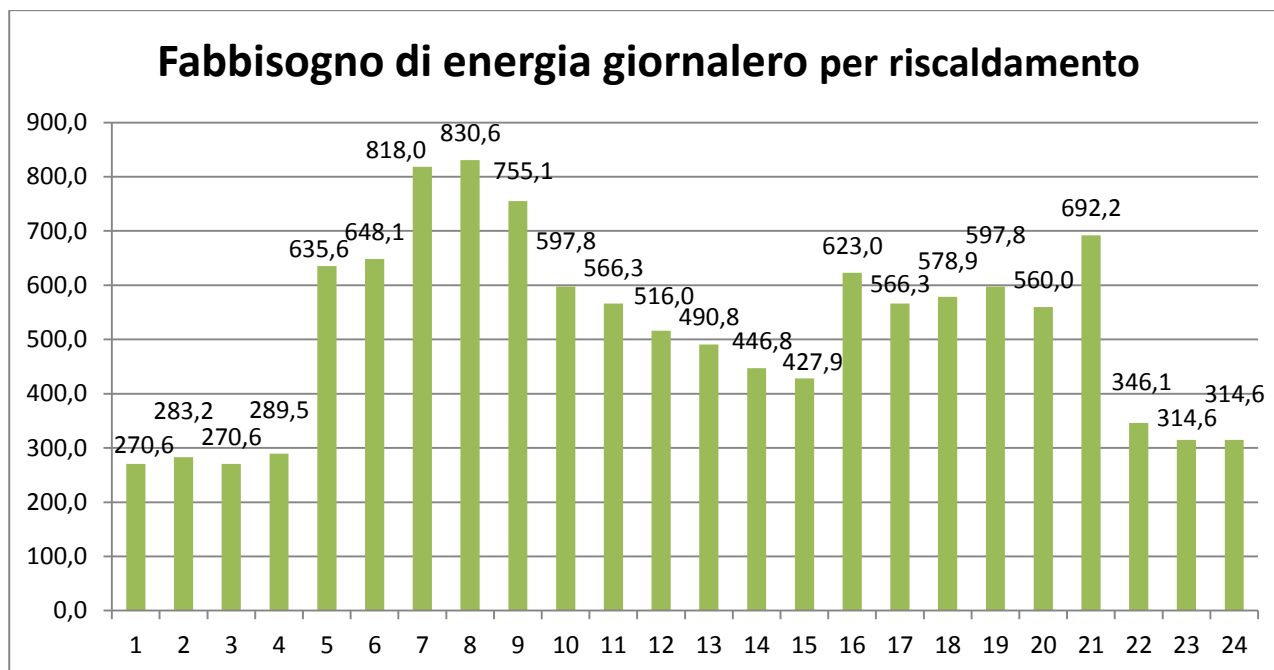


Potenza istantanea richiesta per un giorno tipo del mese di gennaio (mese più freddo).

Ore del giorno	% Fabbisogno	P_R [kW]
1	0,0218	270,6
2	0,0228	283,2
3	0,0218	270,6
4	0,0233	289,5
5	0,0511	635,6
6	0,0521	648,1
7	0,0658	818,0
8	0,0668	830,6
9	0,0607	755,1

10	0,0481	597,8
11	0,0455	566,3
12	0,0415	516,0
13	0,0395	490,8
14	0,0359	446,8
15	0,0344	427,9
16	0,0501	623,0
17	0,0455	566,3
18	0,0465	578,9
19	0,0481	597,8
20	0,0450	560,0
21	0,0556	692,2
22	0,0278	346,1
23	0,0253	314,6
24	0,0253	314,6
Totale	1	12440,58

Profilo del fabbisogno di energia giornaliero per il riscaldamento.



Come si può vedere dal grafico, il picco di energia richiesta per il riscaldamento si ha ancora durante le prime ore della giornata, precisamente tra le 7 e le 9 del mattino, ed è pari a 830,6 kW. La richiesta poi cala durante le ore centrali della giornata per poi aumentare nuovamente nelle ore

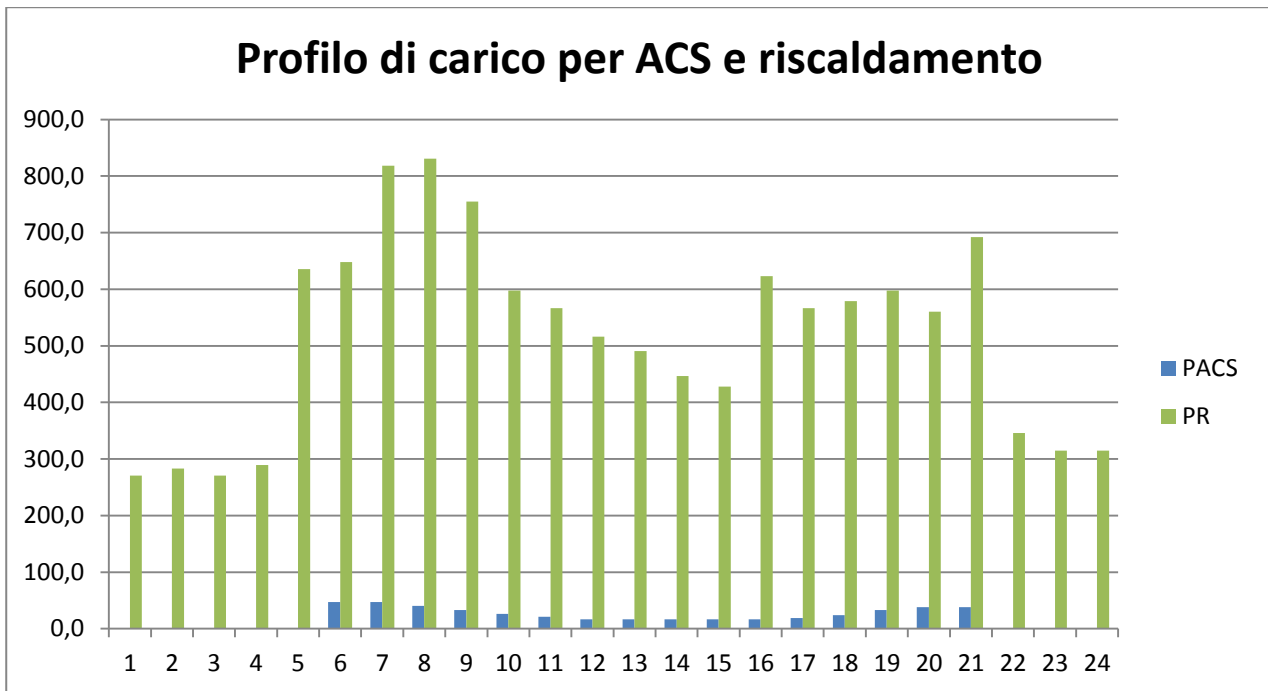
serali fino ad un massimo di 692,2 kW; mentre durante le ore notturne si mantiene bassa e oscilla tra i 270 e i 315 kW.

La potenza che l'impianto deve essere in grado di fornire per garantire il soddisfacimento del fabbisogno energetico delle utenze selezionate, è pari al valore massimo che si ricava dalla somma per ogni ora della giornata tra la potenza per la produzione dell'acqua calda sanitaria e la potenza per il riscaldamento in un giorno tipo del mese più freddo (gennaio).

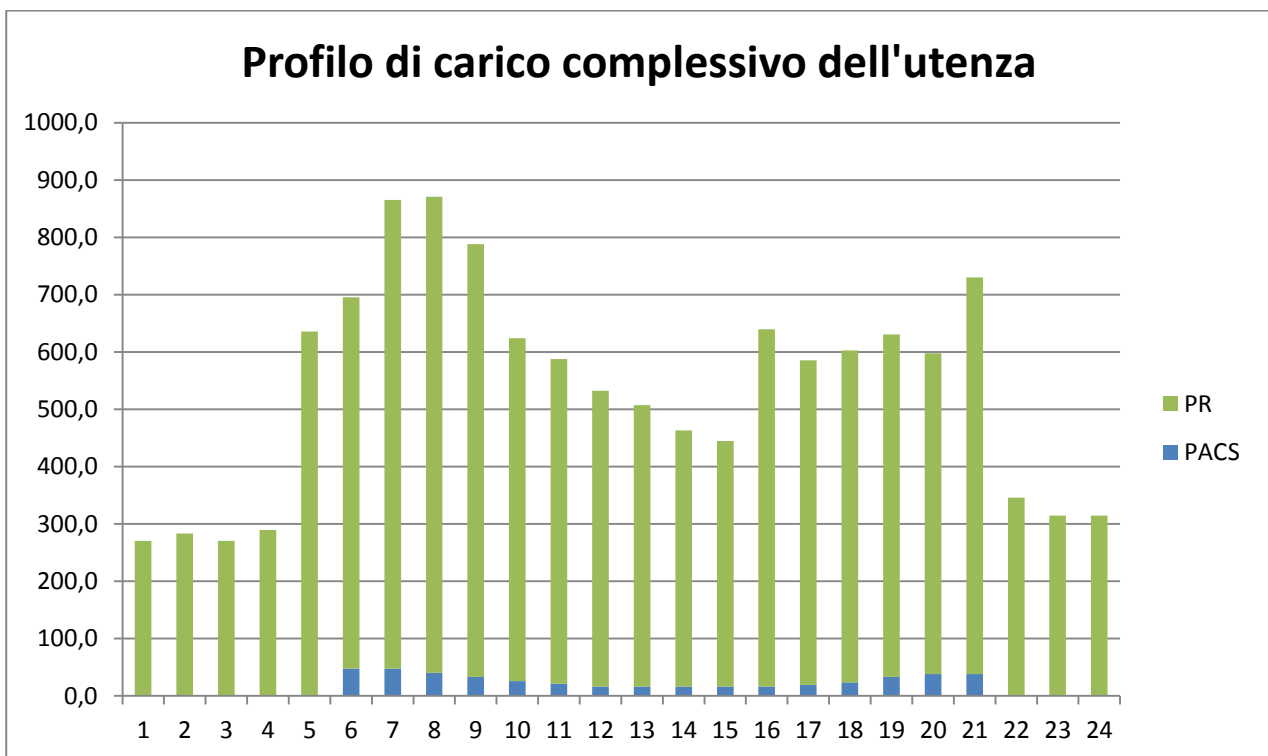
Potenza totale.

Ore del giorno	P _R [kW]	P _{ACS} [kW]	P _{tot} [kW]
1	270,6	0,0	270,6
2	283,2	0,0	283,2
3	270,6	0,0	270,6
4	289,5	0,0	289,5
5	635,6	0,0	635,6
6	648,1	47,3	695,5
7	818,0	47,3	865,4
8	830,6	40,2	870,9
9	755,1	33,1	788,2
10	597,8	26,0	623,8
11	566,3	21,3	587,6
12	516,0	16,6	532,6
13	490,8	16,6	507,4
14	446,8	16,6	463,3
15	427,9	16,6	444,5
16	623,0	16,6	639,5
17	566,3	18,9	585,3
18	578,9	23,7	602,6
19	597,8	33,1	630,9
20	560,0	37,9	597,9
21	692,2	37,9	730,1
22	346,1	0,0	346,1
23	314,6	0,0	314,6
24	314,6	0,0	314,6

Confronto tra il profilo di carico per l'acqua calda sanitaria e quello per il riscaldamento.



Profilo di carico complessivo dell'utenza.



Come si vede dalla tabella e dai grafici sopra esposti, la potenza da installare nell'impianto per soddisfare il fabbisogno di riscaldamento e di acqua calda sanitaria delle utenze dovrà essere pari a:

$$P = 830,6 + 40,2 = 870,8 \text{ kW}$$

per tenere conto delle perdite di distribuzione lungo la rete di teleriscaldamento, si assume un rendimento di distribuzione pari a $\eta_{d \text{ rete}} = 0,85$, di conseguenza la potenza reale che dovrà erogare la caldaia sarà pari a:

$$P_e = P/\eta_{d \text{ rete}} = 870,8/0,85 = 1024,47 \text{ kW} \rightarrow \cong 1024,5 \text{ kW}$$

Dato che in commercio la taglia di potenza più vicina a quello trovata è 1200 kW, si è deciso di scegliere una caldaia che abbia questa potenza.

STATO DI FATTO.

Per valutare l'impatto della rete di teleriscaldamento in termini di risparmio energetico ed emissioni è fondamentale analizzare lo stato antecedente per quanto riguarda i sistemi di generazione di energia termica attualmente in uso presso le utenze selezionate.

Anche in questo caso si prendono come dati di partenza il fabbisogno termico totale richiesto per il riscaldamento degli edifici e quello per la produzione dell'acqua calda sanitaria:

$$E_R = 1970,3 \text{ MWh/anno}$$

$$E_{ACS} = 164,1 \text{ MWh/anno}$$

per un totale pari a $E \cong 2135 \text{ MWh/anno}$.

Ipotesi 1.

Si suppone che ciascuna utenza per soddisfare il proprio fabbisogno energetico utilizzi un impianto di riscaldamento con caldaia a gasolio avente i seguenti rendimenti:

- rendimento di generazione pari a: $\eta_g = 0,85$;
- rendimento di emissione pari a: $\eta_e = 0,96$;
- rendimento di regolazione pari a: $\eta_r = 0,94$;
- rendimento di distribuzione pari a: $\eta_d = 0,96$.

Poiché nel fabbisogno calcolato precedentemente sono già compresi i rendimenti di regolazione, emissione e distribuzione, il consumo energetico da soddisfare utilizzando gasolio si ricava dal rapporto tra il fabbisogno e il rendimento di generazione:

$$C_e = E/\eta_g = 2135/0,85 = 2511,8 \text{ MWh/anno}$$

sapendo che il potere calorifico inferiore del gasolio è $H_{i \text{ gasolio}} = 43,3 \text{ MJ/kg}$ (pari a $11,9 \text{ kWh/kg}$) si ottiene la massa di combustibile necessaria per far fronte al consumo termico:

$$m_{\text{gasolio}} = C_e / H_{i \text{ gasolio}} = 2511800 / 11,9 = 211075,6 \text{ kg/anno}$$

assumendo un peso specifico del gasolio pari a $0,83 \text{ kg/litro}$ si ricava il consumo annuo in litri:

$$Consumo_{\text{gasolio}} = m_{\text{gasolio}} / 0,83 = 211075,6 / 0,83 = 254307,99 \text{ litri/anno}$$

se si considera un costo pari a $1,417 \text{ €/litro}$ si ottiene la spesa annua per l'acquisto del combustibile:

$$Costo_{\text{gasolio}} = 254307,99 * 1,417 = 360354,4 \text{ €/anno}$$

Stima delle emissioni di $\text{CO}_{2\text{eq}}$ nell'ambiente:

sapendo che 1 ton di gasolio è pari a $1,02 \text{ tep}$ si ricava il corrispondente consumo in termini di energia primaria:

$$m_{\text{gasolio}} = 211075,6 \text{ kg/anno} \rightarrow \text{pari a circa } 211,08 \text{ ton/anno}$$

$$E_{p \text{ gasolio}} = m_{\text{gasolio}} * 1,02 = 211,08 * 1,02 = 215,3 \text{ tep/anno}$$

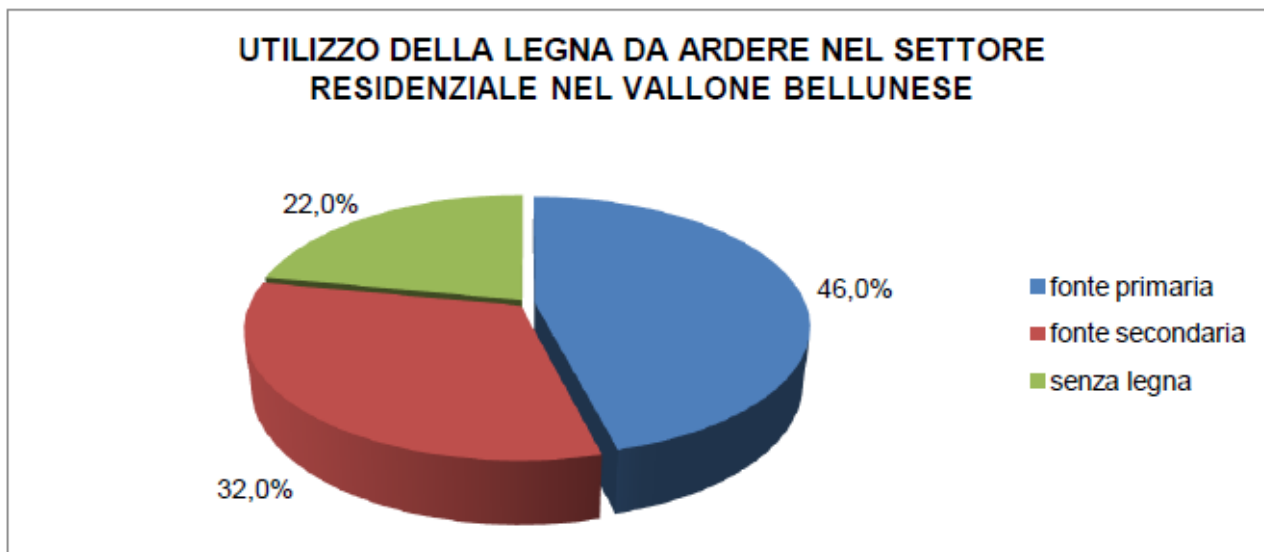
sapendo che per il gasolio 1 tep è pari a $3087 \text{ kgCO}_{2\text{eq}}$ si ricava:

$$E_{\text{CO}_{2\text{eq}}} = E_{p \text{ gasolio}} * 3087 = 215,3 * 3087 = 664636,04 \text{ kgCO}_{2\text{eq}}/\text{anno}$$
$$= 664,64 \text{ tonCO}_{2\text{eq}}/\text{anno}$$

Per arrivare a formulare la seconda ipotesi è stata presa in considerazione l'indagine effettuata sul territorio bellunese da ARPA Veneto (nell'anno 2006) con lo scopo preciso di quantificare l'uso della biomassa legnosa in ambito residenziale. L'analisi è stata fatta mediante un sondaggio a livello scolastico, in collaborazione con l'Ufficio Scolastico Provinciale di Belluno. Tale studio ha confermato che nelle valli bellunesi l'uso delle stufe a legna è molto radicato ed ha consentito di stimare un consumo domestico di biomassa legnosa che si è attestato nel 2006 a poco oltre le 300000 tonnellate delle quali circa il 2 % è costituito da pellets e tronchetti. La ricerca si è svolta in due zone geografiche ben limitate e caratteristiche del territorio, come il vallone Bellunese e la Val Zoldana, potendo poi estendere i risultati in analogia alle altre zone montane della provincia.

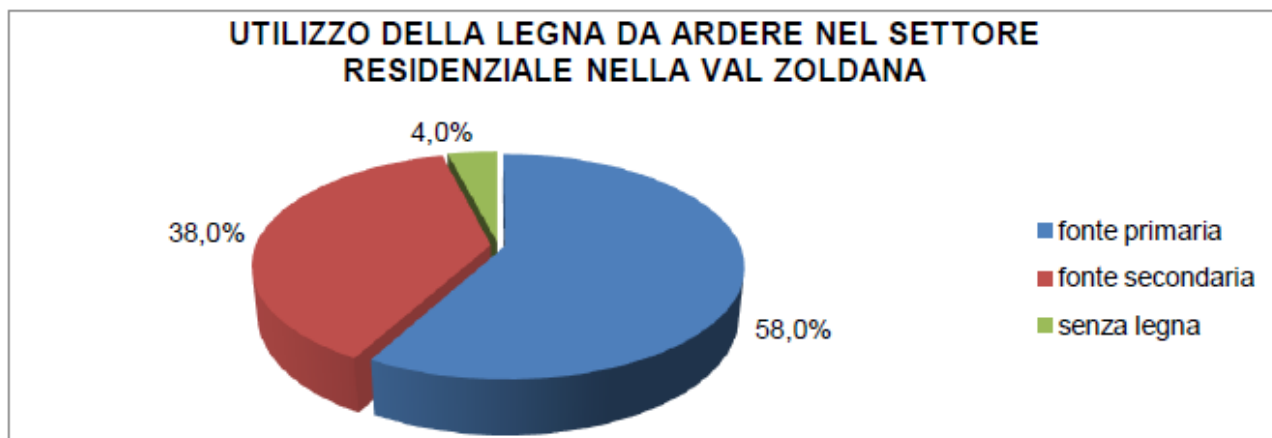
Dall'analisi dei risultati si vede come nel vallone Bellunese la legna da ardere rappresenti per il 46 % degli intervistati la fonte primaria di energia impiegata nel riscaldamento domestico, per il 32 % una fonte secondaria mentre il 22 % del campione ha dichiarato di non utilizzare legna per fini energetici.

Percentuale di utilizzo della biomassa legnosa nel vallone Bellunese (ARPAV 2006).



Nella Val Zoldana invece, data la sua conformazione in prevalenza montuosa, ben il 58 % degli intervistati utilizzano la biomassa legnosa come fonte primaria di energia, il 38 % la utilizza come fonte secondaria mentre solo il 4 % ha dichiarato di non sfruttare la legna come fonte energetica.

Percentuale di utilizzo della biomassa legnosa nella Val Zoldana (ARPAV 2006).



Le caratteristiche territoriali e climatiche del Comune scelto per la possibile realizzazione di un nuovo impianto di teleriscaldamento a biomassa sono simili a quelle della Val Zoldana.

Per questo motivo, i risultati ottenuti da ARPAV sull'utilizzo della legna da ardere nel settore residenziale nella Val Zoldana sono stati considerati validi anche per il nuovo sito, ma data l'esigua percentuale di campione non utilizzante biomassa (4 %), si è deciso di ripartire equamente tale percentuale tra le altre due categorie.

In definitiva si assume che nella zona considerata il 60 % della popolazione utilizzi legna da ardere come fonte primaria di energia per il riscaldamento, mentre il restante 40 % utilizzi legna come fonte secondaria.

Ipotesi 2.

Grazie a questi dati percentuali sull'utilizzo della legna da ardere per fini energetici è stato possibile ipotizzare una nuova ripartizione dei fabbisogni che prevede:

- produzione di energia termica con gasolio per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria, per un fabbisogno totale pari a 164,1 MWh/anno;
- produzione di energia termica per il riscaldamento domestico così suddivisa:
60 % del totale con legna da ardere, per un fabbisogno di 1182,2 MWh/anno;
40 % del totale con gasolio, per un fabbisogno di 788,12 MWh/anno.

Il fabbisogno totale da soddisfare utilizzando gasolio risulta quindi pari a $E_g = 952,22$ MWh/anno. Anche in questo caso tale valore è già comprensivo dei i rendimenti di regolazione, emissione e distribuzione, quindi il consumo energetico da soddisfare utilizzando gasolio si ricava dal rapporto tra il fabbisogno e il rendimento di generazione $\eta_g = 0,85$:

$$C_g = E_g / \eta_g = 952,22 / 0,85 = 1120,26 \text{ MWh/anno}$$

sapendo che il potere calorifico inferiore del gasolio è $H_{i \text{ gasolio}} = 11,9$ kWh/kg si ottiene la massa di combustibile necessaria per far fronte al consumo termico:

$$m_{\text{gasolio}} = C_g / H_{i \text{ gasolio}} = 1120260 / 11,9 = 94139,5 \text{ kg/anno}$$

assumendo un peso specifico del gasolio pari a 0,83 kg/litro si ricava il consumo annuo in litri:

$$\text{Consumo}_{\text{gasolio}} = m_{\text{gasolio}} / 0,83 = 94139,5 / 0,83 = 113421,08 \text{ litri/anno}$$

se si considera un costo pari a 1,417 €/litro si ottiene la spesa annua per l'acquisto del combustibile:

$$\text{Costo}_{\text{gasolio}} = 113421,08 * 1,417 = 160717,7 \text{ €/anno}$$

Stima delle emissioni di $\text{CO}_{2\text{eq}}$ nell'ambiente:

sapendo che 1 ton di gasolio è pari a 1,02 tep si ricava il corrispondente consumo in termini di energia primaria:

$$m_{\text{gasolio}} = 94139,5 \text{ kg/anno} \rightarrow \text{pari a } 94,14 \text{ ton/anno}$$

$$E_{p \text{ gasolio}} = m_{\text{gasolio}} * 1,02 = 94,14 * 1,02 = 96,02 \text{ tep/anno}$$

sapendo che per il gasolio 1 tep è pari a 3087 kgCO_{2eq} si ricava:

$$E_{CO_{2eq}} = E_{p\ gasolio} * 3087 = 96,02 * 3087 = 296413,7 \text{ kgCO}_{2eq}/\text{anno}$$

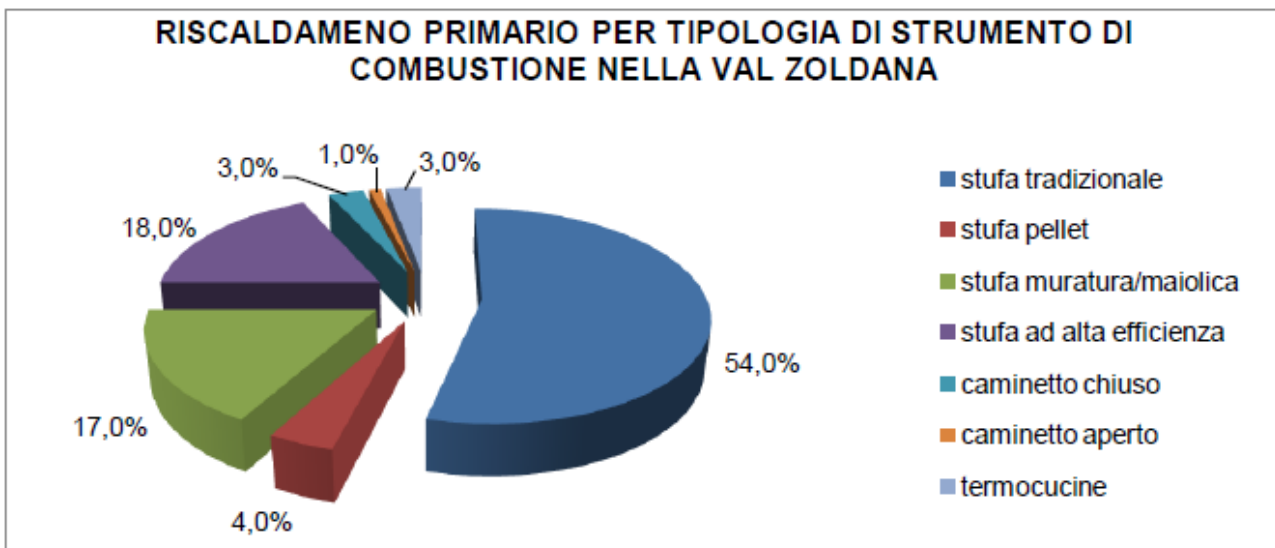
$$= 296,41 \text{ tonCO}_{2eq}/\text{anno}$$

Il fabbisogno totale da soddisfare utilizzando legna da ardere risulta invece pari a $E_l = 1182,2$ MWh/anno. Tale valore è comprensivo dei rendimenti di regolazione, emissione e distribuzione; al fine di valutare il consumo di energia termica da soddisfare mediante legna da ardere si calcola il fabbisogno netto delle utenze:

$$E_n = E_l * \eta_r * \eta_e * \eta_d = 1182,2 * 0,94 * 0,96 * 0,96 = 1024,14 \text{ MWh/anno}$$

Si suppone che nella zona considerata la tipologia di apparecchi utilizzati per la combustione della legna sia rappresentata per la maggior parte da stufe tradizionali come evidenziato nel diagramma seguente che rappresenta i risultati di una ricerca fatta da ARPA Veneto sui principali metodi di combustione della legna in provincia di Belluno.

Riscaldamento primario per tipologia di strumento di combustione nella Val Zoldana.



Per le stufe tradizionali si assume quindi un rendimento medio complessivo pari a $\eta_m = 0,6$ e si calcola il consumo energetico da soddisfare utilizzando legna da ardere:

$$C_l = E_n / \eta_m = 1024,14 / 0,6 = 1706,9 \text{ MWh/anno}$$

si suppone di utilizzare legno con un grado di umidità del 30 % e un potere calorifico inferiore pari a $H_{i\ legno} = 3,4$ kWh/kg (da fonte AIEL), si calcola la massa di legna necessaria per far fronte al consumo termico:

$$m_{legno} = C_l / H_{i\ legno} = 1706900 / 3,4 = 502029,4 \text{ kg/anno}$$

$$m_{legno} = 502,03 \text{ ton/anno}$$

se si considera un costo pari a 120 €/ton si ottiene una spesa annua per l'acquisto del combustibile pari a:

$$Costo_{legno} = m_{legno} * 120 = 502,03 * 120 = 60243 \text{ €/anno}$$

Sapendo poi che 1 ton di legna è pari a 0,292 tep si ricava il corrispondente consumo in termini di energia primaria:

$$E_{p\ legno} = m_{legno} * 0,45 = 502,03 * 0,292 = 146,6 \text{ tep/anno}$$

Le emissioni di CO_{2eq} sono teoricamente pari a zero dato che la legna da ardere è una fonte energetica rinnovabile.

Ipotesi 3.

Si suppone ora di dover soddisfare l'intero fabbisogno energetico (riscaldamento più acqua calda sanitaria) pari a 2135 MWh/anno attraverso un impianto di teleriscaldamento a biomassa alimentato a cippato di legna per il quale si assume cautelativamente un grado di umidità del 50% (cippato di qualità molto scadente).

Per tenere conto delle perdite di distribuzione lungo la rete si assume un rendimento di distribuzione $\eta_{d\ rete} = 0,85$, mentre per tenere conto delle perdite di generazione del calore in caldaia si assume un rendimento di generazione pari a $\eta_g = 0,8$.

Il valore del fabbisogno è già comprensivo dei rendimenti di regolazione, emissione e distribuzione, di conseguenza per valutare il consumo energetico complessivo da soddisfare mediante cippato è sufficiente fare il rapporto tra il fabbisogno e il rendimento complessivo (quest'ultimo dato dal prodotto dei rendimenti di generazione e di distribuzione di rete).

Si calcola il rendimento complessivo:

$$\eta = \eta_g * \eta_d = 0,8 * 0,85 = 0,68$$

e si ricava poi il consumo energetico da soddisfare tramite il cippato:

$$C_{cippato} = E/\eta = 2135/0,68 = 3139,7 \text{ MWh/anno}$$

sapendo che il potere calorifico inferiore del cippato con 50 % di umidità è $H_{i\ cippato} = 600 \text{ kWh/m}^3$ si ottiene il volume di combustibile consumato:

$$V_{cippato} = C_{cippato}/H_{i\ cippato} = 3139700/600 = 5232,8 \text{ m}^3/\text{anno}$$

assumendo un peso specifico del cippato pari a 300 kg/m³, si ricava:

$$m_{cippato} = V_{cippato} * 300 = 5232,8 * 300 = 1569850 \text{ kg/anno}$$

$$m_{cippato} \cong 1570 \text{ ton/anno}$$

se si considera un costo pari a 95 €/ton (circa 29 €/m³) si ottiene una spesa annua per l'acquisto del combustibile pari a:

$$Costo_{cippato} = m_{cippato} * 95 = 1570 * 95 = 149150 \text{ €/anno}$$

Si ricorda che la Comunità Montana Agordina ha una disponibilità annua di biomassa legnosa ricavata da scarti pari a 4678,8 ton/anno, che risulta quindi pienamente sufficiente per soddisfare il fabbisogno energetico richiesto dalle utenze. La realizzazione di una filiera corta per l'approvvigionamento della biomassa porterebbe benefici economici (minori costi di trasporto) e ambientali (oltre alla diminuzione delle emissioni in ambiente ci sarebbe la possibilità di operare una maggiore pulizia del territorio boschivo).

Sapendo poi che 1 ton di cippato con un grado di umidità del 50 % equivale a 0,172 tep, si ricava il consumo in termini di energia primaria:

$$m_{cippato} \cong 1570 \text{ ton/anno}$$

$$E_{p \text{ cippato}} = m_{cippato} * 0,172 = 1570 * 0,172 = 270,04 \text{ tep/anno}$$

Per quanto riguarda le emissioni di CO_{2eq}, queste sono considerate pari a zero in quanto il cippato è una fonte energetica rinnovabile.

IPOTESI DI COSTO DELL'IMPIANTO DI TELERISCALDAMENTO A BIOMASSA.

Per ultimo è stata fatta una stima del costo di realizzazione dell'impianto, dato dalla somma del costo della centrale termica e del costo della rete di teleriscaldamento.

Centrale termica.

Nella centrale termica saranno installate una caldaia a cippato della potenza di 1200 kW e rendimento $\eta = 0,8$, e una caldaia a gasolio della potenza di 1000 kW che fungerà da caldaia integrativa ed entrerà in funzione in caso di emergenza (guasti o blocchi della caldaia a cippato) e nei giorni in cui la caldaia a cippato viene spenta per le opere di pulizia e manutenzione.

Costo della caldaia a cippato → 472500 €;

Costo della caldaia a gasolio → 52000 €.

Per le opere edili è stato stimato un costo pari a 320 € per ogni kW di potenza installata. Il costo di realizzazione della centrale sarà pertanto pari a:

$$Costo_{centrale} = 320 * 2200 = 704000 \text{ €}.$$

Rete di teleriscaldamento.

La lunghezza totale della rete di teleriscaldamento (condotta principale più 4 snodi secondari) è pari a circa 1090 m. Assumendo un costo medio della tubazione pari a 340 €/m, si calcola un costo totale pari a:

$$\text{Costo}_{\text{tubazioni}} = 1090 * 340 = 370600 \text{ €}$$

Le derivazioni per l'allacciamento delle utenze sono ottenute con tubi di diametro nominale DN 50 che costano circa 115 €/m. Assumendo una lunghezza media di 5 m, il costo della tubazione per l'allacciamento di tutte le utenze (se ne considerano 90 in via cautelativa) alla rete è pari a:

$$\text{Costo}_{\text{allacciamenti}} = 5 * 115 * 90 = 51750 \text{ €}$$

Assumendo un costo medio per le sottostazioni pari a 3000 €, si ricava un costo totale pari a:

$$\text{Costo}_{\text{sottostazioni}} = 90 * 3000 = 270000 \text{ €}$$

Il costo complessivo stimato dell'impianto risulta quindi pari a 1920850 €.

CONCLUSIONI.

Il lavoro svolto in questa tesi è iniziato con lo studio di un impianto di teleriscaldamento alimentato a biomassa legnosa proveniente da filiera corta, ubicato nel piccolo Comune montano di Santo Stefano di Cadore in provincia di Belluno. Successivamente è stata analizzata la possibilità di riprodurre lo stesso modello di impianto presso un differente sito, avente caratteristiche geografiche e climatiche simili a quello già studiato e avente tra i requisiti una buona disponibilità di biomassa locale, in maniera tale da poter creare una filiera corta per l'approvvigionamento del combustibile, che permetta da un lato la riduzione dei costi (in particolare quelli di trasporto) e dall'altro una migliore pulizia e mantenimento del territorio boschivo.

Dopo aver individuato, all'interno del territorio comunale, la zona più adatta per l'impianto e aver stimato gli edifici presenti grazie all'ausilio della carta tecnica regionale, sulla base del numero di abitanti residenti è stato stimato il totale delle utenze private. Le principali utenze pubbliche (chiesa, municipio, scuola elementare) sono state individuate sempre per mezzo la carta tecnica regionale.

Dopo aver calcolato il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento delle utenze e quello per la produzione dell'acqua calda sanitaria si è potuto procedere con la valutazione della potenza della caldaia da installare nell'impianto che è risultata pari a 1200 kW.

Successivamente è stato valutato il consumo annuo di biomassa e il corrispondente consumo in termini di energia primaria risultati rispettivamente pari a circa 1570 ton/anno e 270,04 tep/anno.

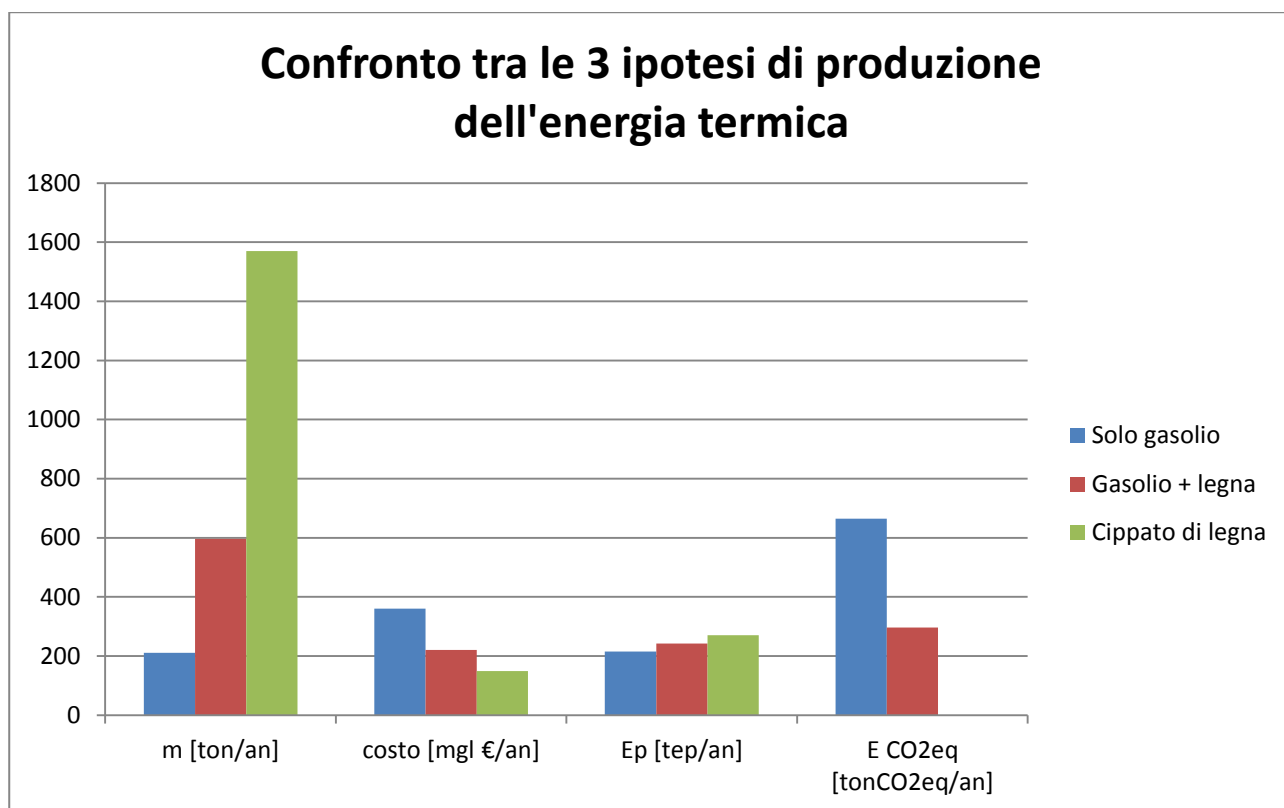
Come ultima analisi è stato fatto un confronto tra la soluzione con impianto di teleriscaldamento a biomassa e lo stato di fatto, basandosi per quest'ultimo sulle seguenti ipotesi:

1. per soddisfare il proprio fabbisogno di energia termica (riscaldamento più acqua calda sanitaria) ciascuna utenza utilizzi un impianto di riscaldamento con caldaia a gasolio;
2. l'energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria sia prodotta utilizzando gasolio, mentre quella per il riscaldamento degli edifici sia prodotta per il 60 % con legna da ardere e per il 40 % con gasolio.

I risultati ottenuti sono evidenziati nella tabella e nel grafico seguenti dove per l'ipotesi gasolio + legna da ardere è stato considerato il computo cumulativo.

	m [ton/an]	costo [mgl €/an]	E_p [tep/an]	E CO_{2eq} [tonCO_{2eq}/an]
Solo gasolio	211,08	360,35	215,3	664,64
Gasolio + legna	596,17	220,96	242,6	296,41
Cippato di legna	1570	149,15	270,04	0

Confronto tra le 3 ipotesi di produzione dell'energia.



Come si può vedere dal grafico, la produzione di energia termica con cippato di legna nella centrale termica dell'impianto di teleriscaldamento comporta un consumo di combustibile (e quindi di energia primaria) più elevato rispetto agli altri due casi ipotizzati. Questo è dovuto alle ipotesi cautelative assunte relativamente alle perdite energetiche lungo la rete di teleriscaldamento e al rendimento di generazione della caldaia a cippato.

Tuttavia questo svantaggio apparente è totalmente compensato se si considera il fatto che il cippato di legna è una fonte energetica rinnovabile; questo consente di avere dei costi di approvvigionamento ridotti e soprattutto un impatto ambientale in termini di emissioni di CO_{2eq} praticamente nullo.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] L. Agostinetto et al. (2006), *La produzione di biomasse legnose a scopo energetico*, Legnaro (PD), Veneto Agricoltura;
- [2] L. Agostinetto et al. (2008), *Una filiera locale del legno cippato – L'impianto di riscaldamento per la Comunità Montana Feltrina*, Legnaro (PD), Veneto Agricoltura;
- [3] Agostinetto L. (2011) (a cura di), *Stima dei combustibili legnosi in Veneto, dalla scala domestica alle caldaie centralizzate, (Longarone (BL) 13-15 maggio 2011)*, Longarone (BL);
- [4] ARPAV (2010a), *L'energia in Veneto – Provincia di Belluno*, Belluno;
- [5] ARPAV (2010b), *La situazione energetica in provincia di Belluno*, Belluno;
- [6] ARPAV (2011), *Dati Statistici climatici e fonti rinnovabili*;
- [7] Berton M. (2011) (a cura di), *Le biomasse legnose per la produzione di energia rinnovabile in Italia: le regole e gli incentivi per un modello di sviluppo sostenibile, (Longarone (BL) 13- 15 maggio 2011)*, Longarone (BL);
- [8] S. Caserini et al. (2008), *Stima dei consumi di legna da ardere per riscaldamento ed uso domestico in Italia*, Milano, APAT;
- [9] Comunità Montana del Comelico e Sappada (2011), *Dati di superficie forestale e prelievi annuali*;
- [10] R. Del Favero et al. (2004a), *Biodiversità e indicatori nei tipi forestali nel Veneto*, Venezia, Regione del Veneto
- [11] R. Del Favero et al. (2004b), *Carta regionale dei tipi forestali: documento base*, Venezia, Regione del Veneto;
- [12] ENEA (2010a), *Atlante nazionale Biomasse*;
- [13] Foresta Legno Energia (2007), *Linee guida per lo sviluppo di un modello di utilizzo del cippato forestale a fini energetici*, Sesto Fiorentino (FI);
- [14] V. Francescato et al. (2009), *Legna e cippato – Manuale Pratico*, Legnaro (PD), AIEL;
- [15] INFC (2005), *Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi Forestali di Carbonio*, Web.<<http://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/home.jsp>>;
- [16] ISTAT (2001), *14° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni*, Web, <<http://dawinci.istat.it/>>;
- [17] S. Lamedica et al. (2007), *Variazione di superficie e fissazione del carbonio in foresta nel territorio montano della regione Veneto in riferimento all'applicazione del Protocollo di Kyoto*, Firenze, Forest@;

- [18] Pettenelle D. (2011) (a cura di), *Produzioni e consumi di biomasse legnose ai fini energetici: problemi di monitoraggio e pianificazione Longarone (BL) 13- 15 maggio 2011*, Longarone (BL);
- [19] Regione del Veneto (2004), *Ricerca finalizzata allo studio della produzione dei residui legnosi da parte delle industrie di prima lavorazione operanti nelle aree montane e pedemontane della Regione del Veneto*, Venezia;
- [20] Regione del Veneto (2011a), *Sistema Informativo Territoriale e Cartografia – GeoPortale Regionale*, <<http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/index?deflevel=1>>;
- [21] Regione del Veneto (2011c), *Analisi Utilizzazioni relative alle Domande di Taglio a livello di Regione*, Venezia;
- [22] Natalini Y. (2011), *Analisi del potenziale delle risorse rinnovabili in provincia di Belluno*, Tesi di laurea, Università degli Studi di Padova;
- [23] PEAP Belluno, *Analisi dei consumi energetici; energie rinnovabili: situazione attuale e prospettive*;
- [24] ISPRA (2012), *Fattori di emissione di CO₂ nel settore elettrico e analisi della decomposizione delle emissioni*;
- [25] Punto Energia (allegato I), *Gas serra e definizione di CO₂ equivalente*;
- [26] ENEA (2011), *Quaderno biomasse e bioenergia*;
- [27] Regione Lombardia, *Dieci anni di teleriscaldamento in Valtellina*;
- [28] Citran E. (2007), *Valorizzazione energetica delle risorse del territorio montano della Carnia: l'impianto di teleriscaldamento a biomassa di Arta Terme*, Tesi di laurea, Università degli Studi di Trieste;
- [29] Fiorese G. (2007), *Biomasse per l'energia, aspetti ecologici, energetici ed economici*, Dottorato di ricerca, Università degli studi di Parma;
- [30] ENEA (2008), *Energia dalle biomasse, tecnologie e prospettive*;
- [31] FIPER, *La disciplina del teleriscaldamento a biomassa: problematiche e peculiarità*;
- [32] Basso G. (2010), *Teleriscaldamento nel Comune di La Thuile: aspetti tecnico economici*, Tesi di laurea, Università degli Studi di Padova;
- [33] Silvestri F. (2010), *La biomassa forestale per uso energetico: domanda e offerta in Val di Sole*, Tesi di laurea, Università degli Studi di Trento;
- [34] APAT & REANEL, *Vademecum sulle tecnologie del risparmio energetico: il teleriscaldamento*;
- [35] Cesaro L. , *La filiera foresta – legno*;
- [36] AIEL (2009), *Manuale pratico: legna e cippato*;

- [37] Klimaenergy (2012), *Uno sguardo ai sistemi per la cogenerazione già realizzati nei settori industriale, commerciale e residenziale*;
- [38] Consorzio biomassa Alto Adige, Web <www.biomasseverband.it>;
- [39] FIPER (2010), *Sostenibilità economica e prospettive degli impianti a biomassa*,
- [40] Progetto Biomasse ENAMA, *Biomasse ed energia: disponibilità delle biomassa*;
- [41] Progetto Biomasse ENAMA, *La rete di teleriscaldamento di Pomino – Rufina*;
- [42] Energylife, *Valorizzazione a scopo energetico delle biomasse tramite impianti di pirogassificazione e biodigestione*;