UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE

FLORE
Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

Valutazione della domanda di biocombustibili solidi (legno cippato) nell’area dell’Appennino Pistoiese

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:
Valutazione della domanda di biocombustibili solidi (legno cippato) nell’area dell’Appennino Pistoiese / I. Bernetti; C. Fagarazzi. - STAMPA. - (2008), pp. 1-212.

Availability:
This version is available at: 2158/781371 since:

Publisher:
Centro Editoriale Toscano

Terms of use:
Open Access
La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf)

Publisher copyright claim:

(Article begins on next page)

12 October 2024

Valutazione della domanda di biocombustibili solidi (legno cippato) nell'area dell'Appennino Pistoiese

A cura di:

Iacopo Bernetti

Claudio Fagarazzi

CENTRO EDITORIALE TOSCANO

ISBN 10: 88-7957-287-3
ISBN 13: 88-7957-287-3

Si ringrazia il dott. Carlo Chiostri ed il dott. Gianfranco Nocentini, rispettivamente, responsabile del Settore “Promozione dell'innovazione e sistemi della conoscenza” dell’ARSIA, e referente per il progetto VADOBAP presso ARSIA, per la preziosa collaborazione tecnica, organizzativa e scientifica che ha portato alla realizzazione del presente studio.
Ringraziamenti vanno inoltre al dott. Roberto Fedeli ed al dott. Francesco Benesperi, della Comunità Montana Appennino Pistoiese, per l’indispensabile azione di coordinamento territoriale dell’iniziativa; al dott. Stefano Stranieri ed alla dott.ssa Catia Consolati del GAL Garfagnana Ambiente e Sviluppo, per l’organizzazione delle iniziative di promozione e divulgazione; al dott. Marco Failoni e Carlo Franceschi dell’Associazione Regionale Boscaioli Toscana e alla signora Nadia Bartoli, presidente dell’Associazione Boscaioli Pistoiesi, per il supporto tecnico ed il coordinamento con le imprese forestali locali; al dott. Andrea Formento, della Val di Luce S.p.a., per la collaborazione e la disponibilità tecnica ed organizzativa nella realizzazione dello studio di fattibilità della centrale termica situata in Val di Luce.

Si ringrazia infine le Amministrazioni Comunali presenti all’interno della Comunità Montana Appennino Pistoiese, per la disponibilità accordata nella fornitura di dati tecnici ed economici relativamente alle strutture edili da loro gestite, ed i relativi referenti; in particolare:

- arch. Sandro Cappelli e la sig.ra Beatrice Fontana del Comune di Abetone
- arch.Paolo Massaini del Comune di Cutigliano
- arch.Mauro Pastacaldi del Comune di Marliana
- geom. Riccardo Vivona del Comune di Montale
- arch.Marco Damiani del Comune di Pescia
- geom. Mauro Filoni del Comune di Piteglio
- geom.Federica Strufaldi del Comune di San Marcello
- geom.Marco Cecchini del Comune di Sambuca Pistoiese

Indice

1 INTRODUZIONE 7

2 COME NASCE IL PROGETTO VA.DO.B.A.P. 11

2.1 L'USO DEL LEGNO PER SCOPI ENERGETICI IN TOSCANA 11
2.2 OBIETTIVI E FASI DI ATTUAZIONE DEL PROGETTO 12
2.2.1 Fasi di sviluppo del progetto 13

3 L'AREA DI STUDIO: LA COMUNITÀ MONTANA DELL'APPENNINO PISTOIESE 15

3.1.1 Caratteristiche forestali dell'area 16

4 ANALISI GIS PER LA DETERMINAZIONE DELL'OFFERTA DI BIOMASSE LEGNOSE E PER L'INDIVIDUZIONE DELL'EDIFICATO POTENZIALMENTE CONVERTIBILE CON IMPIANTI A CIPPATO 19

4.1 L'OFFERTA DI RESIDUI LEGNOSI 19
4.1.1 Il modello di offerta per unità di superficie 20
4.1.2 Il modello geografico di offerta aggregata 21
4.2 METODOLOGIA PER LA DEFINIZIONE DELLA VOCAZIONALITÀ DELL'EDIFICATO ALL'INSTALLAZIONE DI IMPIANTI TERMICI A BIOMASSA RESIDUA (CIPPATO). 24
4.2.1 Costituzione di un Sistema Informativo Territoriale dell'area della Comunità Montana 25
4.2.2 Individuazione di un set di criteri (indicatori) per ciascun aspetto esaminato 26
4.2.2.1 Esigenze termiche degli edifici 26
4.2.2.2 Distanza dalla rete di distribuzione del gas metano 27
4.2.2.3 Accessibilità stradale dell'area 29
4.2.2.4 Densità dell'edificato 30
4.2.3 Aggregazione dei criteri e definizione delle classi di vocazionalità 31
4.3 RISULTATI DELLA VALUTAZIONE TERRITORIALE 34
4.3.1 La vocazionalità alla conversione egli edifici 34
4.3.2 L'offerta di biomasse forestali 35

5 PIANO DI CONVERSIONE ENERGETICA DELL'EDIFICATO CENSITO 37

5.1 DIMENSIONAMENTO DEGLI IMPIANTI TERMICI A CIPPATO 37
5.1.1 Costi di realizzazione e gestione dell'impianto a cippato 39
5.1.1.1 Costi di realizzazione 39
5.1.1.2 Costi di gestione annui 39
5.1.2 Costi di realizzazione e gestione dell'impianto/i a combustibile fossile tradizionale (gasolio o GPL) 40
5.2 VALUTAZIONE DEGLI INVESTIMENTI 40
5.2.1 Parametri tecnico – economici esaminati in caso di richiesta di co-finanziamento pubblico 41
5.2.2 Strumenti per la valutazione dell'efficienza dell'investimento 41
5.2.2.1 Il flusso di cassa ed il valore attuale dei costi: VAC 41
5.2.2.2 Il saggio di rendimento interno - SRI 43
5.2.2.3 Il Tempo di Ritorno (o Pay-back period) 43
5.2.2.4 Il prezzo di Break Even Point (BEP) del legno cippato. 45
5.3 SCHEDATURA DEGLI EDIFICI ED ANALISI DEGLI INVESTIMENTI 46
5.3.1 Comune di Abetone: 46
5.3.1.1 schedatura degli edifici 46
5.3.1.2 Comune di Abetone: analisi degli investimenti 51
5.3.2 Comune di Cutigliano 64
5.3.2.1 Schedatura degli edifici 64
5.3.2.2 Comune di Cutigliano: analisi degli investimenti 68
5.3.3 Comune di Marliana 81
5.3.3.1 schedatura degli edifici 81
5.3.3.2 Comune di Marliana: analisi degli investimenti 84
5.3.4 Comune di Piteglio 97
5.3.4.1 Schedatura degli edifici 97
5.3.4.2 Comune di Piteglio: analisi degli investimenti 100
5.3.5 Comune di Sambuca 112
5.3.5.1 Schedatura degli edifici 112
5.3.5.2 Comune di Sambuca: analisi degli investimenti 116
5.3.6 Comune di San Marcello Pistoiese 129
5.3.6.1 Schedatura degli edifici 129
5.3.6.2 Comune di San Marcello Pistoiese: analisi degli investimenti 133

5.4 IL CALENDARIO DELLE SOSTITUZIONI DEGLI IMPIANTI TERMICI 151

6 POSSIBILI MODELLI DI FILIERA LEGNO-ENERGIA BASATE SULL'IMPIEGO DI LEGNO CIPPATO E VINCOLI TECNICO-ORGANIZZATIVI 155

6.1 L'ATTIVAZIONE DELLA FILIERA LEGNO-ENERGIA NELLA COMUNITÀ MONTANA APPENNINO PISTOIESE 155
6.1.1 Vendita di legno cippato a terzi 155
6.1.2 Vendita di calore 156
6.1.3 Esigenze e problemi tecnico - organizzativi 158
6.1.3.1 Per le ditte di utilizzazione boschiva e/o società di vendita di calore 158
6.1.3.2 Per le utenze finali 158
6.1.3.3 Per gli aspetti gestionali della risorsa boschiva 159

7 INCENTIVI FINANZIARI A FAVORE DELLA FILIERA LEGNO – ENERGIA 161

7.1 NORME RELATIVE AGLI ASPETTI COLTURALI 161
7.2 NORME RELATIVE ALLE TECNOLOGIE PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA E/O BIOCOMBUSTIBILI DA FONTI RINNOVABILI 162
7.3 NORME RELATIVE ALL'ENERGIA TERMICA PRODOTTA 164
7.4 NORME RELATIVE ALL'INTERA FILIERA LEGNO – ENERGIA 165

8 INDICAZIONI NORMATIVE PER REGOLAMENTI URBANISTICI E REGOLAMENTI EDILIZI VOLTE AD INCENTIVARE LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTI A BIOMASSA 167

9 STUDIO DI FATTIBILITÀ TECNICO – ECONOMICA DI UN IMPIANTO DI RISCALDAMENTO CON CENTRALE TERMICA ALIMENTATA A CIPPATO DI LEGNO 169

9.1 LOCALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO A CIPPATO 169
9.2 CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO 169
9.2.1 Valutazione della potenza dell'impianto 169
9.2.2 Valutazione dei volumi della centrale termica e del silo di stoccaggio 170
9.2.3 Schema d'impianto 170
9.2.4 Caratteristiche della caldaia a biomassa 171
9.2.4.1 DOSATORE A COCLEA 171
9.2.4.2 FOCOLARE CON GRIGLIA DI AVANZAMENTO E VENTOLA DI ACCENSIONE 171
9.2.4.3 CALDAIA CON CAMERA DI COMBUSTIONE A ROTAZIONE 171
9.2.5 Sistema automatico di alimentazione 173
9.2.5.1 ESTRAZIONE IDRAULICA AD ASSE DI SPINTA 173
9.2.5.2 COCLEA DI TRASPORTO 175
9.2.6 Valutazione economica dell'impianto a biomassa 175

10 CONCLUSIONI 179

11 TECNOLOGIE IMPIEGABILI PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTI DI TELERISCALDAMENTO ALIMENTATI A LEGNO CIPPATO: ESEMPI DI COMPONENTISTICA E LOCALI TECNICI 183

12 CALDAIE A BIOMASSA 184

13 LOCALE CALDAIA E SISTEMI DI SICUREZZA 200

14 SILO DI STOCCAGGIO DEL CIPPATO 201

15 SERBATOI DI ACCUMULO 204

16 RETE DI TELERISCALDAMENTO 205

I contributi sono stati redatti dai seguenti autori:

Cap. 1 **Introduzione** Iacopo Bernetti

Cap. 2 **Come nasce il progetto VA.DO.B.A.P.** Claudio Fagarazzi

Cap. 3 **L'area di studio: la Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese** Christian Ciampi

Cap. 4 **Analisi GIS per la determinazione dell'offerta di biomasse legnose e per l'individuazione dell'edificato potenzialmente convertibile con impianti a cippato**
Cap. 4.1 **L'offerta di residui legnosi** Claudio Fagarazzi
Cap. 4.2 **Metodologia per la definizione della vocazionalità dell'edificato all'installazione di impianti termici a biomassa residua (cippato)** Iacopo Bernetti
Cap. 4.2.1 **Costituzione di un Sistema Informativo Territoriale dell'area della Comunità Montana** Christian Ciampi
Cap. 4.2.2 **Individuazione di un set di criteri (indicatori) per ciascun aspetto esaminato** Sandro Sacchelli
Cap. 4.2.3 **Aggregazione dei criteri e definizione delle classi di vocazionalità** Christian Ciampi
Cap. 4.3 **Risultati della valutazione territoriale** Sandro Sacchelli

Cap. 5 **Piano di conversione energetica dell'edificato censito**
Cap. 5.1 **Dimensionamento degli impianti termici a cippato** Sandro Sacchelli
Cap. 5.2 **Valutazione degli investimenti** Claudio Fagarazzi
Cap. 5.3 **Schedatura degli edifici ed analisi degli investimenti** Sandro Sacchelli
Cap. 5.4 **Il calendario delle sostituzioni degli impianti termici** Christian Ciampi

Cap. 6 **Possibili modelli di filiera legno-energia basate sull'impiego di legno cippato e vincoli tecnico-organizzativi** Claudio Fagarazzi

Cap. 7 **Incentivi finanziari a favore della filiera legno-energia** Sandro Sacchelli

Cap. 8 **Indicazioni normative per regolamenti urbanistici e regolamenti edilizi volte ad incentivare la realizzazione di impianti a biomassa** Christian Ciampi

Cap. 9 **Studio di Fattibilità tecnico-economica di un impianto di riscaldamento con centrale termica alimentata a cippato di legno** Paolo Taddei

Cap. 10 **Conclusioni** Iacopo Bernetti

1 INTRODUZIONE

Lo sfruttamento dei giacimenti fossili effettuato nel corso del XX° secolo ha permesso il raggiungimento di un tenore di vita senza precedenti. L'industria, il commercio ed i servizi si sono sviluppati grazie all'impiego di macchine alimentate con l'energia prodotta da tali combustibili. Si tratta però di una struttura economica che presenta un'elevata vulnerabilità legata sia agli effetti di dissesto ecologico conseguente all'uso di tali risorse, sia al fatto che il modello socio-economico che ne deriva è caratterizzato da una struttura organizzativa gerarchizzata al cui vertice si collocano imprese energetiche di dimensioni colossali[1]. Si tratta però di un modello che non è destinato a mantenersi nel tempo dato che le risorse su cui si basa sono destinate inesorabilmente ad esaurirsi. Secondo studi condotti dall'US Geological Survey (USGS), le riserve stimate (EUR) sono pari a 3003 Gbo[2], mentre il fabbisogno annuo sta aumentando ad un tasso del 2%. Sulla base di tali parametri l'EIA (*Energy Information Administration* U.S.) ha stimato che la produzione mondiale di petrolio raggiungerà il picco[3] entro il 2037[4] (AA.VV, 2001). Il raggiungimento del picco in tempi relativamente brevi comporterà uno sconvolgimento del modello socio-economico attuale sia perché tale fenomeno non si verificherà in tutte le nazioni contemporaneamente, con conseguente modificazione dell'assetto geopolitico mondiale, sia perché la crisi energetica conseguente porterà ad un incremento nell'uso di combustibili fossili "sporchi" come carbone, sabbie bituminose ed oli combustibili, con conseguente incremento delle emissioni di CO_2 nell'atmosfera.
In considerazione della portata planetaria del problema, molte nazioni ed organismi sovranazionali, si sono opportunamente mossi negli ultimi anni per cercare strumenti adeguati per concordare lo sviluppo con la salvaguardia dell'ambiente.
Uno degli strumenti disponibili per raggiungere questo obiettivo è rappresentato dall'uso più esteso delle fonti energetiche rinnovabili che, attraverso l'impiego di biomasse, energia eolica, energia solare, energia idraulica e geotermica, sono in grado di garantire un impatto ambientale più contenuto di quello prodotto dalle fonti fossili.
In questo contesto la biomassa assume un ruolo strategico. Essa, infatti, è ovunque ampiamente disponibile e rappresenta una risorsa locale, pulita e rinnovabile. La biomassa inoltre può essere convertita tramite tecnologie commercialmente disponibili in combustibili solidi, liquidi e gassosi potendo sostituire pressoché in tutto i combustibili fossili.
L'Italia ha la fortuna di caratterizzarsi per la presenza di risorse rinnovabili, come il bosco ceduo, storicamente finalizzate alla produzione di biomasse per uso combustibile, a cui si possono affiancare produzioni complementari derivate da residui delle coltivazioni legnose agrarie, da interventi di ripulitura di alvei fluviali e di linee elettriche, nonché da nuovi impianti forestali specializzati per la produzione di biomassa per fini energetici (*short rotation forestry*, sorgo a fibra, miscanto, ecc.).
Fra tutte le fonti energetiche suddette, quella rappresentata dalle biomasse di origine forestale rappresenta un caso particolare poiché il suo impiego consente la creazione di una perfetta e rara sinergia fra uso di risorse naturali, e miglioramento ambientale. Secondo fonti ENEA la copertura energetica che potrebbe fornire questo tipo di combustibile in Italia, senza un depauperamento delle

---

1 Tali dimensioni sono legate all'esigenza di coprire gli smisurati costi associati alla lavorazione del carbone del petrolio e del gas naturale. Attualmente otto super-aziende gestiscono i flussi energetici nel mondo (Rifkin, 2002).

2 Giga barili di petrolio.

3 Il "Picco" corrisponde al momento in cui è già stata estratta la metà delle riserve stimate di petrolio disponibile (EUR – *Estimated Ultimate Recoverable Riserve*). In tale momento il prezzo dei combustibili salirà progressivamente per effetto della contrazione di offerta e dell'incremento di domanda.

4 Secondo modelli di stima più recenti, che tengono conto della distinzione tra "risorsa" (presente ma non economicamente disponibile per gli eccessivi oneri di estrazione) e "riserva" (presente ed economicamente disponibili), il momento di picco potrebbe essere raggiunto già entro il 2016 (Laherrère, 1995)

risorse forestali, ammonta al 5% del consumo energetico finale, mentre allo stato attuale la legna copre solo l'1,5%. Ciò significa che un incremento controllato nelle utilizzazioni forestali (taglio del bosco), soprattutto nei boschi cedui abbandonati da diversi decenni, non implicherebbe alcun esaurimento del soprassuolo forestale, e che questo tipo di formazione boschiva può rappresentare ancor oggi una forma di gestione flessibile e in grado di fornire prodotti apprezzati dal mercato, rappresentando così una notevole opportunità di sviluppo economico soprattutto nelle zone montane e collinari più svantaggiate. Infatti, se l'utilizzazione di tale risorsa viene realizzata con pratiche gestionali corrette dal punto di vista ecologico – forestale, la produzione risulterà sostenibile nel tempo e di gran lunga preferibile all'abbandono.
Per promuovere lo sviluppo di questo mercato, parallelo a quello dei tradizionali assortimenti forestali, è però necessario lo sviluppo della domanda di biomasse residuali, ovvero della domanda di cippato di legno. Tale domanda, al momento di modestissima consistenza, non trova infatti un mercato favorevole a causa delle caratteristiche intrinseche del cippato. Il prodotto, ottenuto dal recupero dei residui forestali, presenta infatti caratteristiche tecnico-qualitative che non consentono, per ora, il loro impiego in piccole utenze domestiche a costi contenuti, ma bensì in impianti di medie grandi dimensioni, generalmente di potenza uguale o superiore ai 100 kW.
La domanda dovrebbe quindi essere generata o da una sorta di scelta collettiva di piccole utenze, che per preferenze specifiche scelgono di installare un impianto centralizzato a cippato anziché uno termosingolo alimentato, ad esempio, a pellets, oppure, da grandi utenze come ospedali, enti pubblici, ecc.
Sulla base di tali presupposti, si è quindi sviluppato il presente progetto orientato alla strutturazione operativa di una filiera biomassa-energia nel contesto territoriale della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese. Gli strumenti attraverso cui il progetto persegue tale obiettivo sono legati alla quantificazione dell'offerta potenziale di risorse ligneo-cellulosiche ed alla quantificazione della domanda potenziale di legno cippato per riscaldamento di edifici pubblici e privati presenti nel contesto esaminato. Il punto chiave dello studio è però legato alla definizione di un programma di investimenti, per il settore pubblico, che porti alla progressiva conversione degli impianti termici delle strutture pubbliche attualmente alimentati a combustibili fossili. In questo contesto infatti, le Amministrazioni Locali assumono un ruolo strategico nell'ambito della promozione della filiera legata alle biomasse forestali. Il fatto che esse siano in grado di generare una domanda termica di dimensioni tali da garantire la realizzazione di impianti di teleriscaldamento, fa si che assolvano anche ad una funzione di catalizzatore della domanda dispersa originata dalle singole utenze private.
Per quanto concerne l'articolazione del lavoro, essa si è strutturata attraverso un esame delle componenti territoriali, sia in termini di tipologie di risorse forestali, sia in termini di caratteristiche strutturali e localizzative di tutto l'edificato presente nel territorio esaminato. Tali valutazioni, sviluppate attraverso applicazioni GIS (Geographic Information System), hanno portato ad una classificazione dell'edificato esistente in ragione della loro vocazione all'installazione di impianti di teleriscaldamento alimentati con biomasse legnose. In un'ottica dinamica del problema, sono state prese in considerazione anche le nuove costruzioni previste dai vari Piani Strutturali (PS) comunali, così da prevedere le modificazioni della domanda termica dei prossimi anni.
Successivamente, lo sviluppo del Piano di Conversione Energetica ha portato alla identificazione di una serie di strutture pubbliche e private che presentano un certo grado di idoneità alla sostituzione degli attuali impianti alimentati con combustibili fossili, con impianti alimentati con biomasse di origine forestale, ed alla programmazione degli investimenti pubblici nel settore per i prossimi 15 anni.
Il lavoro è quindi proseguito esaminando una serie di possibili punti di debolezza e di rischi legati all'attivazione della filiera biomassa-energia, riconducibili ad aspetti endogeni al territorio della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese od a fattori esterni dovuti a particolari condizioni socio-economiche.

Sono state inoltre esaminate possibili azioni volte a promuovere l'uso di biomasse forestali per scopi energetici; fra queste, le agevolazioni finanziarie ed i contributi di carattere regionale, nazionale ed europeo concessi allo scopo di favorire la filiera legno-energia, nei diversi comparti; dalla risorsa forestale fino alla produzione energetica.
Infine, lo studio, dopo aver definito alcuni possibili interventi normativi sui regolamenti edilizi ed urbanistici, atti ad incrementare l'uso di biomassa legnosa a livello di edilizia privata, ha sviluppato un progetto di fattibilità relativo ad un impianto di teleriscaldamento alimentato a cippato a servizio di una nuova struttura ricettiva situata nel Comune di Abetone, corredato di descrizione dell'impianto, analisi finanziaria dell'investimento ed allegati tecnici (planimetrie generali e schemi degli impianti meccanici), cui è seguita una disanima delle tecnologie attualmente disponibili sul mercato nazionale ed internazionale.

2 COME NASCE IL PROGETTO VA.DO.B.A.P.

2.1 L'uso del legno per scopi energetici in Toscana

Il Rapporto sullo Stato delle Foreste in Toscana (RAFT – 2006), evidenzia la presenza nella regione di oltre 1.100.000 ettari di superficie forestale. La Toscana rappresenta quindi la regione con il maggior indice di boscosità (50,1% del territorio regionale) e si pone, in termini assoluti, al secondo posto dopo la Sardegna, per superficie forestale totale.
La forma di governo più diffusa risulta quella a ceduo (fig. 1), prevalentemente praticata per la produzione di legna da ardere ed in misura minore per assortimenti di altro genere (paleria, ecc.). Il mercato della legna da ardere, tradizionalmente diffuso nelle aree montane e rurali, si sta progressivamente ampliando anche verso aree periurbane, soprattutto a causa dei prezzi crescenti dei combustibili fossili, sia liquidi che gassosi.

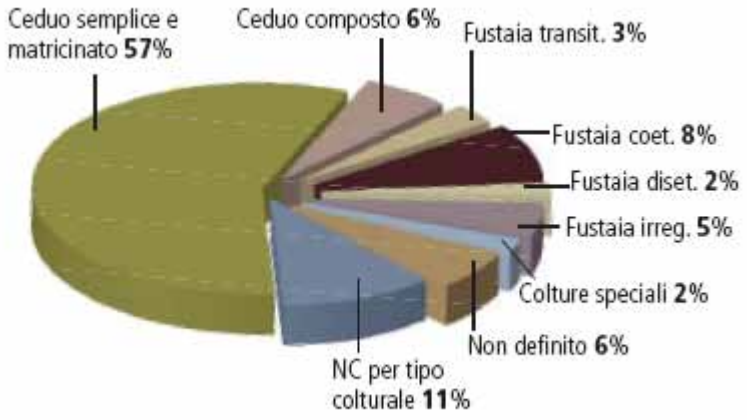


Figura 1. Distribuzione dei boschi in Toscana per forma di governo (fonte: RAFT, 2006)

Proprio a seguito di tale crescente domanda, la filiera bosco-legno-energia sta conoscendo in questi ultimi anni uno sviluppo crescente non solo in Toscana, ma soprattutto in Paesi dell'arco alpino come Svizzera ed Austria e nelle regioni del Nord Italia, come Trentino e Piemonte. In considerazione di ciò, la Regione Toscana, tramite ARSIA, ha sviluppato un'iniziativa comunitaria legata allo sviluppo di un progetto transnazionale LEADER PLUS[5] denominato "*Lo sviluppo della filiera bosco – legno – energia attraverso il rafforzamento dell'associazionismo forestale*".
Lo sviluppo di tale progetto, ha portato alla realizzazione, sul territorio toscano, di cinque impianti pilota di teleriscaldamento alimentati a cippato di legno con rilevante funzione dimostrativa. Tale obiettivo, è stato perseguito attraverso la strutturazione operativa di una filiera di approvvigionamento energetico locale basata sul rafforzamento dell'associazionismo delle imprese forestali e sull'uso di risorse legnose endogene.
I soggetti attuatori, sono stati i Gruppi di Azione Locale (GAL), ovvero: il GAL Garfagnana Ambiente e Sviluppo, il GAL Consorzio Appennino Aretino, il GAL LEADER Siena ed il GAL Eurochianti.
Dall'esperienza acquisita con queste iniziative e sulla base dei risultati conseguiti da precedenti studi diretti a valutare le potenzialità energetiche connesse all'attivazione della filiera, è emersa

[5] *Liaisons Entre Actions de Développement de l'Economie Rurale* (Coordinamento tra azioni di sviluppo dell'economia rurale).

l'esigenza di analizzare la sostenibilità ecologica ed economica della filiera biomassa forestale-energia. In particolare, è stata constatata l'esigenza di avviare, in uno specifico contesto territoriale, la realizzazione di un piano di conversione energetica idoneo a superare l'ostacolo determinato dal circolo vizioso che vede: da un lato, l'operatore forestale che non produce legno cippato perché al momento non vi è né domanda del prodotto, né garanzia di fornitura; e dall'altro lato, il consumatore che non valuta la possibilità di installare impianti termici alimentati a cippato di legno, perché al momento non vi è disponibilità del prodotto e, soprattutto, non c'è garanzia di stabilità né dell'offerta, né di supporto tecnico per la gestione di questo tipo di tecnologie.

2.2 Obiettivi e fasi di attuazione del progetto

Il presente studio, attuato nel contesto territoriale della comunità Montana dell'Appennino Pistoiese, nasce quindi su iniziativa di ARSIA in collaborazione con i seguenti partner:

- C.R.E.A.R. (Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Energie Alternative e Rinnovabili dell'Università di Firenze), coordinatore e responsabile scientifico del progetto;
- Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese, che ha avuto la funzione di coordinamento territoriale e fornitura di parte dei dati cartografici dell'area oggetto di studio;
- GAL Garfagnana Ambiente e Sviluppo, con il compito di trasferimento delle informazioni a livello territoriale;
- Associazione Regionale Boscaioli Toscana (ARBO) e Associazione Boscaioli Pistoiese (ABP), che hanno fornito informazioni, legate all'attuale strutturazione del settore forestale nell'area della Comunità Montana.

Il progetto VA.DO.B.A.P. - Valutazione della Domanda di Biocombustibili solidi (legno cippato) nell'area della Comunità Montana Appennino Pistoiese - ha quindi come principale obiettivo, l'individuazione e realizzazione di strumenti utili a favorire lo start-up della filiera bosco-legno-energia in uno specifico contesto territoriale.
Per fare ciò il progetto VADOBAP ha individuato due target principali da raggiungere: il primo, di lungo termine, diretto alla classificazione di tutto l'edificato esistente all'interno della Comunità Montana secondo il diverso grado di vocazionalità che ciascun edificio ha nel convertire il proprio impianto termico; il secondo, di breve termine, legato alla realizzazione di un vero e proprio piano di conversione energetica dell'edificato pubblico (ed in parte privato), che possa favorire la strutturazione operativa di una filiera locale legno-cippato-energia.
L'obiettivo di lungo periodo, sviluppato attraverso un'analisi territoriale su piattaforma GIS (Geographic Information System), ha portato alla identificazione del livello di produzione energetica massima sostenibile con l'impiego di biomasse residue di origine forestale prodotte in ambito locale, e conseguentemente, ha portato all'identificazione del massimo volume di edificato riscaldabile con l'impiego di tali fonti energetiche. E' opportuno sottolineare che la vocazionalità degli edifici è stata definita in relazione all'efficienza economica dell'investimento, ovvero, favorendo gli edifici che a parità di caratteristiche tecniche garantivano il minor dispendio di risorse economiche nel processo di conversione tecnologica degli impianti termici[6].

[6] Gli edifici che garantiscono il minor dispendio di risorse economiche nel processo di conversione, sono costituiti da quelli che si trovano più vicini alla viabilità, in posizioni reciproche molto prossime, molto distanti dalla rete di distribuzione del gas metano e di elevata consistenza volumetrica.

2.2.1 Fasi di sviluppo del progetto

1) *Analisi territoriale su base GIS per la determinazione dell'edificato con impianto termico potenzialmente convertibile ad impianti a cippato.*

In questa fase sono state sviluppate una serie di analisi territoriali su piattaforma GIS (*Geographic Information System*), utili a stimare da un lato, la quantità massima di legno cippato potenzialmente ritraibile dai boschi della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese; e dall'altro lato, l'individuazione dell'edificato che presenta elevata vocazionalità alla conversione degli impianti termici e della relativa domanda potenziale di energia termica ad essi correlata.
L'analisi delle esigenze termiche degli immobili è stata effettuata tramite la creazione di modelli cartografici, specificamente sviluppati a partire dai dati relativi alle Cartografie Tecniche Regionali (CTR) in scala 1:10.000 e 1:2.000, con i quali è stata determinata la potenzialità di conversione del patrimonio edilizio pubblico e privato attualmente presente, in relazione alla struttura dei singoli edifici, all'aggregazione degli stessi ed alle distanze da viabilità e rete del gas metano. In un'ottica dinamica del problema, sono state prese in considerazione anche le nuove costruzioni previste dai vari Piani Strutturali (PS) comunali. In tal modo è stato possibile stimare anche l'incremento della domanda termica dei prossimi anni.
Lo sviluppo di questa prima fase ha portato alla realizzazione di un Sistema Informativo Territoriale del comprensorio della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese, che oltre a contenere informazioni di carattere strutturale (viabilità, uso del suolo, ecc.) supporta anche dati relativi alla distribuzione della domanda e dell'offerta di energia termica e di legno cippato.

2) *Piano di Conversione energetica dell'edificato pubblico censito.*

Questa fase, sviluppata in collaborazione con le amministrazioni territoriali locali, ha portato alla identificazione di una serie di strutture pubbliche e private (alcuni alberghi), che presentano un certo grado di idoneità alla sostituzione degli attuali impianti alimentati a combustibili fossili tradizionali, con altri alimentati a cippato di legno. Come verrà dettagliatamente specificato in seguito, il Piano di Conversione Energetica prevede una valutazione finanziaria degli investimenti connessi alla installazione e gestione degli impianti termici alimentati a biomassa e la loro comparazione con investimenti analoghi basati però sulla installazione e gestione di impianti termici alimentati a combustibili fossili tradizionali (gasolio o GPL). Si tratta di valutazioni eseguite per singolo edificio, nel caso di impianto termosingolo, o gruppo di edifici, nel caso di reti di teleriscaldamento.
Per quanto riguarda la valutazione degli investimenti connessi all'installazione dei suddetti impianti, sono state utilizzate metodologie ormai consolidate in ambito internazionale, ovvero il Valore Attuale Netto (VAN), il Tasso Interno di Rendimento (TIR) ed il Tempo di Ritorno (TR); a tali parametri è stato poi aggiunto il punto di pareggio o Break Even Point (BEP) relativo al prezzo della biomassa.

3) *Identificazione di limiti e vincoli allo sviluppo della filiera forestal-legno-energia*

La prosecuzione del lavoro ha delineato una serie di possibili punti di debolezza e di rischi legati alla filiera del legno cippato, riconducibili ad aspetti endogeni al territorio della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese od a fattori esterni dovuti a particolari condizioni socio – economiche, variabili nel breve e nel medio periodo. La definizione di questi aspetti ha permesso quindi un'ulteriore verifica della possibilità di realizzazione della filiera legno – energia nell'area in esame e di eventuali interventi compensativi.

4) *Definizione delle possibili azioni volte a promuovere l'uso di biomasse forestali per scopi energetici nel contesto della Comunità Montana Appennino Pistoiese.*

Questa fase è stata articolata in vari punti ed in particolare:

- ✓ determinazione di agevolazioni finanziarie e di contributi di carattere regionale, nazionale ed europeo aventi lo scopo di favorire la filiera legno – energia, nei diversi comparti, dalla risorsa forestale fino alla produzione energetica;
- ✓ caratterizzazione di possibili interventi normativi sui regolamenti edilizi ed urbanistici, atti ad incrementare l'uso di biomassa legnosa a livello di edilizia privata;
- ✓ realizzazione dello studio di fattibilità relativo ad un impianto di teleriscaldamento alimentato a cippato situato in località Val di Luce nel comune di Abetone, corredato di descrizione dell'impianto, analisi finanziaria dell'investimento ed allegati tecnici (planimetrie generali e schemi degli impianti meccanici).

2) *Definizione delle tecnologie per la realizzazione di impianti termici a cippato presenti sul mercato nazionale ed internazionale.*

Un'ulteriore prodotto realizzato, riportato negli allegati, è risultato un documento che definisce le principali tecnologie necessarie per la realizzazione di impianti alimentati con legno sminuzzato. Sono state ad esempio definite le principali caratteristiche tecnico - logistiche di alcune caldaie a cippato con tutti i componenti e i sistemi di sicurezza dell'impianto, del sito di stoccaggio del combustibile, del vano caldaia, della rete di teleriscaldamento ecc. per fornire un primo supporto tecnico alle diverse amministrazioni pubbliche o ai privati, che si approcciano per la prima volta al settore della filiera legno – energia o che intendono acquisire alcune nozioni di base per la realizzazione di un impianto a cippato.

3 L'AREA DI STUDIO: LA COMUNITÀ MONTANA DELL'APPENNINO PISTOIESE

La Comunità Montana Appennino Pistoiese è costituita dai comuni di Abetone, Cutigliano, San Marcello Pistoiese, Piteglio, Marliana, Sambuca Pistoiese e dai territori montani dei comuni di Pescia e Montale. La superficie totale è pari a circa 407 km^2.

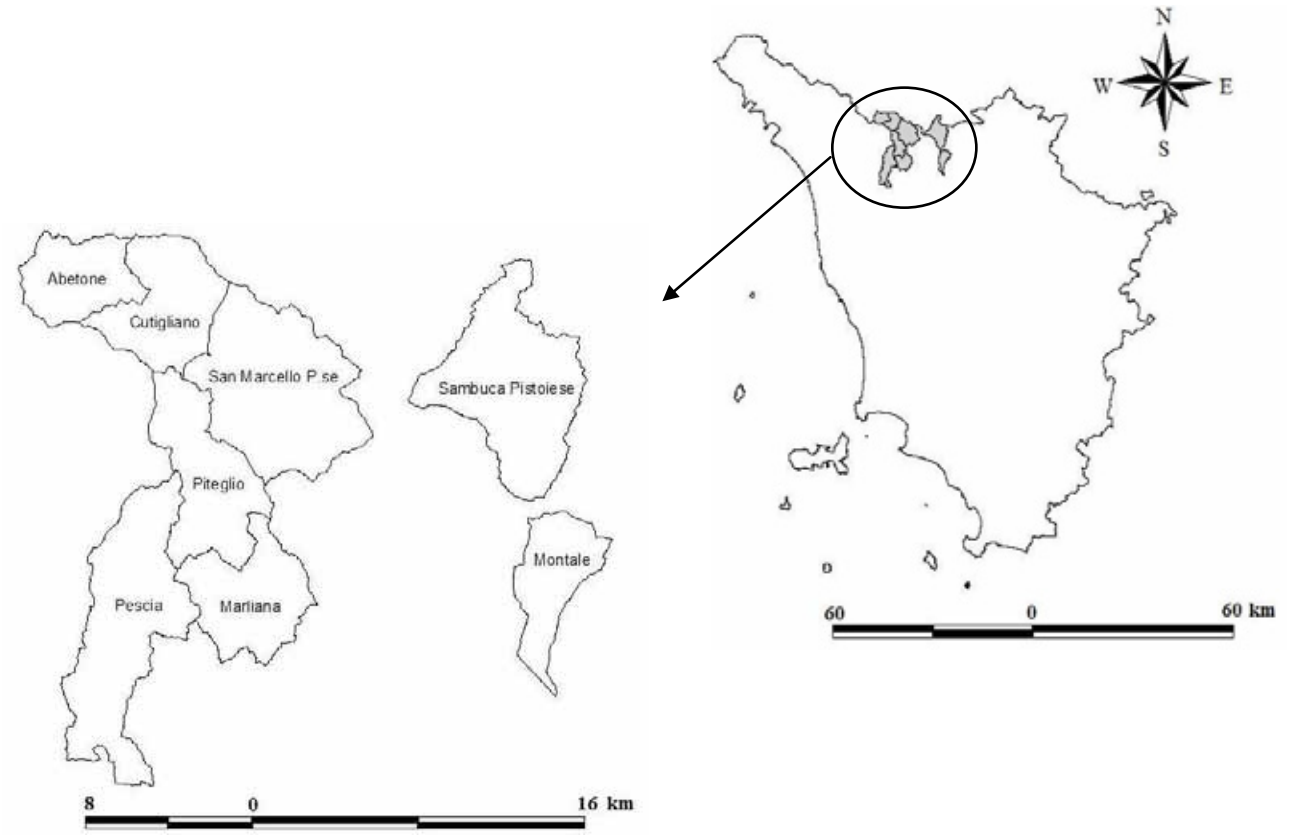


Figura 2. Inquadramento geografico della Comunità Montana Appennino Pistoiese

Il territorio presenta i caratteri tipici delle aree montane, con il 100% della superficie costituita da rilievi, anche aspri, ed occupa una porzione dell'Appennino Tosco – Emiliano posta al confine con l'Emilia Romagna.

L'area montana è solcata da numerosi corsi d'acqua che, ad eccezione del Lima e del Reno, presentano carattere torrentizio. Questi corsi dopo breve tratto sconfinano nelle limitrofe Province di Lucca, Bologna e Modena. Il Pescia invece interessa la zona montana dei Comuni di Piteglio e di Pescia, sfociando poi nel padule di Fucecchio.

Il territorio si presenta quasi completamente ricoperto da boschi (indice di boscosità dell'82%) (tab. 1).

INDICE BOSCOSITA' PER COMUNE			
COMUNI	**SUP.BOSCO (ha)**	**SUP. COMUNI (ha)**	**I.B. (%)**
ABETONE	2367	3114	**76**
CUTIGLIANO	3455	4391	**79**
SAN MARCELLO	6357	8484	**75**
PITEGLIO	4451	4992	**89**
MARLIANA	3638	4298	**85**
PESCIA*	4861	5799	**84**
SAMBUCA	6694	7745	**86**
MONTALE*	1631	1933	**84**
Totale			
COMUNITA' MONTANA	**33455**	**40756**	**82**

*sup. territorio montano

Tabella 1. Indice di boscosità del territorio della Comunità Montana

3.1.1 Caratteristiche forestali dell'area

Una prima analisi dell'uso del suolo forestale della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese, derivante dalla cartografia *Corine Land Cover* di IV° livello, in scala 1:10.000 (tabella 2), mette in evidenza come tra le specie più diffuse vi siano il castagno (*Castanea sativa* Mill.) e il faggio (*Fagus sylvatica* L.).

Tra le conifere le specie più rappresentate sono invece, l'abete bianco (*Abies alba* Mill.), l'abete rosso (*Picea abies* Kartstens), la douglasia (*Pseudotsuga menziesii* Franco) ed il pino nero (*Pinus nigra* Arnold), prevalentemente di origine artificiale e derivanti da rimboschimenti effettuati tra gli anni '50 e gli anni '70.

La forma di governo maggiormente diffusa (più dell'80%) risulta quella a ceduo.

USO DEL SUOLO FORESTALE	**SUP. (ha)**	**% su TOT.**
Boschi cedui coniferati	720	2,1
Boschi cedui di latifoglie a prevalenza di carpino nero	610	1,8
Boschi cedui di latifoglie a prevalenza di castagno	11021	32,3
Boschi cedui di latifoglie a prevalenza di faggio	6018	17,6
Boschi cedui di latifoglie a prevalenza di querce	329	1,0
Boschi cedui di latifoglie a prevalenza di robinia	1111	3,3
Boschi cedui misti di latifoglie	8951	26,2
Boschi d'alto fusto di latifoglie a prevalenza di castagno	10	0,0
Boschi d'alto fusto di latifoglie a prevalenza di faggio	1783	5,2
Boschi d'alto fusto misti di latifoglie	42	0,1
Boschi d'alto fusto di latifoglie a prevalenza di querce caducifoglie	12	0,0
Boschi di conifere a prevalenza d'abeti	813	2,4
Boschi di conifere a prevalenza di douglasia	72	0,2
Boschi di conifere a prevalenza di pino marittimo	65	0,2
Boschi di conifere a prevalenza di pino nero	294	0,9
Boschi misti di conifere	835	2,4
Boschi misti di conifere e latifoglie	1455	4,3
Totale	**34141**	100,0

Tabella 2. Uso del suolo forestale da Corine Land Cover IV° livello

I soprassuoli di castagno hanno avuto in passato una notevole importanza per l'economia locale, sia per i prodotti legnosi che potevano offrire (paleria, paloni, tondame, tondello da triturazione per la produzione di tannino), sia per il frutto. Successivamente, a seguito di alcuni problemi fitosanitari ai quali questa specie è andata incontro, come ad esempio il cancro corticale ed il mal dell'inchiostro, si è assistito ad un progressivo abbandono selvicolturale, soprattutto dei castagneti da frutto, ancora oggi recuperati solo in parte.
Specie come faggio, cerro (*Quercus cerris* L.), carpino (*Ostrya carpinifolia* Scopoli) e robinia (*Robinia pseudacacia* L.) rivestono attualmente, così come in passato, un ruolo di primo piano per la produzione di legna da ardere; è invece diminuita fino quasi a scomparire la produzione di carbone, diffusa fino a pochi decenni fa nei boschi di faggio.
Tra le latifoglie il governo a fustaia è praticato quasi esclusivamente per il faggio, a parte pochi altri avviamenti in alcune cerrete e sporadiche fustaie di castagno; dal punto di vista commerciale, però, gli assortimenti legnosi che derivano da questi soprassuoli difficilmente sono impiegati come legname da opera, ma vengono anch'essi indirizzati sul mercato della legna da ardere.
Le conifere presenti nel territorio dell'Appennino Pistoiese, siano esse autoctone, che di origine artificiale, presentano nella maggior parte dei casi buoni accrescimenti; spesso però, soprattutto negli impianti derivanti da rimboschimento, non sono state effettuate le dovute cure colturali, come sfolli e diradamenti. Questo aspetto, unito in certe aree all'azione di patogeni e ad una senescenza naturale delle piante, crea condizioni di deperimento diffuse che si manifestano prevalentemente con disseccamenti e schianti da vento o neve, sia nelle abetine (soprattutto ai danni dell'abete bianco), che nelle pinete.
Nell'area esaminata la douglasia è, tra le conifere, la specie che dimostra le migliori caratteristiche qualitative per un impiego nelle industrie del legno locali, ad esempio per la realizzazione di infissi e travature.

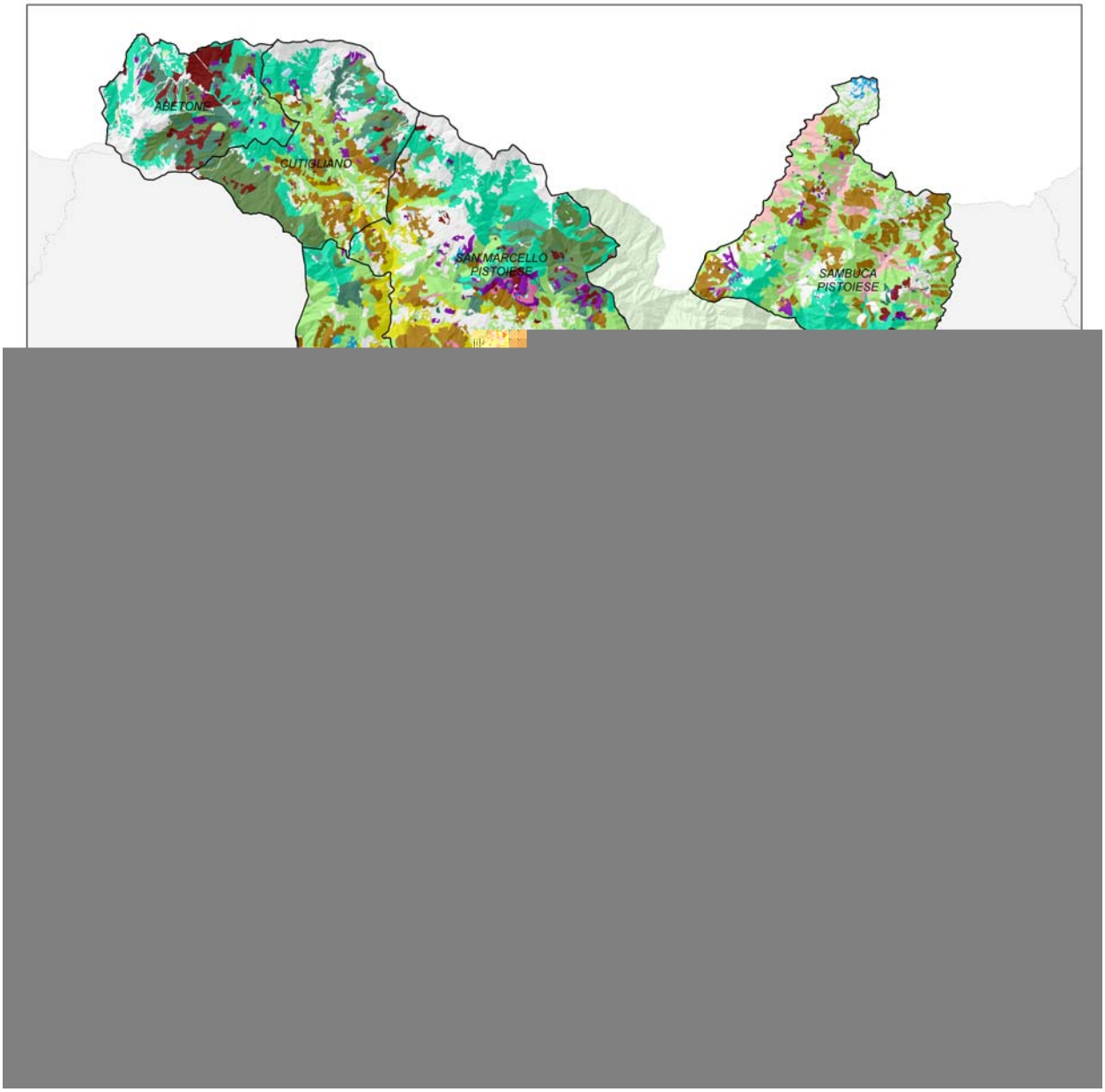


Figura 3. Carta dell'uso del suolo della Comunità Montana Appennino Pistoiese

4 ANALISI GIS PER LA DETERMINAZIONE DELL'OFFERTA DI BIOMASSE LEGNOSE E PER L'INDIVIDUZIONE DELL'EDIFICATO POTENZIALMENTE CONVERTIBILE CON IMPIANTI A CIPPATO

4.1 L'offerta di residui legnosi

Nelle prime fasi di sviluppo del progetto, si è proceduto alla stima della quantità di residui legnosi potenzialmente ritraibili dai soprassuoli forestali e utilizzabili per la produzione di cippato legnoso da impiegare in impianti termici.
Tale valutazione è stata effettuata attraverso lo sviluppo di modelli econometrici su piattaforma Geographic Information System – GIS, basati su dati relativi all'Inventario Forestale della Regione Toscana (IFT).
A tale scopo, la stima dei residui ritraibili, distinti per specie, tipologia forestale e per forma di governo, è stata eseguita sulla base di una metodologia proposta da Bernetti e Fagarazzi nel 2003 (BIOSIT, 2003). In tale modo è stato possibile quantificare il massimo prelievo annuo sostenibile dalle risorse forestali, e verificarne la compatibilità con i tassi di accrescimento annui dei diversi soprassuoli.
Dal punto di vista teorico metodologico, la modellizzazione dell'offerta di biomasse forestali deve tenere conto di numerosi fattori di natura biologico-ecologica, economica, tecnica e istituzionale. Nel caso specifico, essendo la biomassa una risorsa rinnovabile, la sua gestione "sostenibile" deve tener conto dello *stock* di capitale naturale necessario a garantire la sopravvivenza, la riproduzione e la resilienza dell'ecosistema. Inoltre il tasso di prelievo massimo ammesso non deve essere superiore al tasso di crescita del popolamento forestale a livello di *stock* individuato (Pierce e Turner, 1991). Numerose sono inoltre le variabili economiche che influenzano la produzione forestale, fra queste si ricordano il prezzo dei prodotti, i costi di produzione, gli obiettivi dell'imprenditore. La produzione forestale, inoltre, si basa su processi ecologici complessi, e ciò implica la necessità di considerare nell'analisi dell'offerta i vincoli dovuti alle pratiche selvicolturali, di trattamento del bosco ed alle tecnologie applicabili in relazione alle condizioni orografiche e stazionali.
E' quindi evidente che la complessità dei fenomeni coinvolti ha portato allo sviluppo di molteplici modelli di offerta di prodotti forestali.
Nel presente studio, sono stati sviluppati due modelli di offerta riconducibili a due tipologie di approcci:

- ✓ modelli di offerta ottimale per unità di superficie (attraverso l'individuazione del turno ottimale[7]);
- ✓ modelli di offerta aggregata di lungo periodo che operano sulla base dell'equilibrio di stato stazionario (steady state) e quindi su approcci derivati dalla teoria delle risorse rinnovabili (Pearce e Turner 1989).

Relativamente al modello di offerta per unità di superficie, sono stati definiti tre tipologie di offerta in relazione a tre possibili scenari di sviluppo della filiera foresta–legno, ovvero:

- Produzione di assortimenti tradizionali secondo il modello di filiera attualmente esistente nell'area dell'Appennino toscano;
- Produzione di solo cippato, ovvero tramite cippatura della pianta intera e perdita del mercato tradizionale;

[7] Nel presente studio è stato fatto riferimento ai turni consuetudinare adottati nel contesto esaminato

- Produzione di assortimenti tradizionali ai quali affiancare la produzione di cippato derivante dai residui delle utilizzazioni forestali.

4.1.1 Il modello di offerta per unità di superficie

Il modello impiegato per valutare l'offerta ottimale di prodotto legnoso per unità di superficie, fa riferimento a boschi coetanei nei quali la produzione viene stimata facendo riferimento al turno consuetudinario praticato per le diverse specie forestali e per le diverse tipologie di governo del bosco. Benché i modelli tradizionalmente impiegati per la definizione dell'offerta unitaria facciano riferimento a modelli di ottimizzazione del turno (Newmann 1998, Reed 1986, Bernetti 1999) si è preferito far riferimento ai turni consuetudinari in quanto maggiormente rappresentativi delle realtà socio-economiche locali e delle relative capacità produttive delle superfici forestali. La definizione del turno e del corrispondente *stock* di risorsa (provvigione), ha quindi permesso la stima, per ogni tipologia di bosco, dell'offerta media annua per unità di superficie.
Una condizione del genere è ad esempio raggiungibile nel caso dei boschi particellari coetanei, attraverso l'applicazione di metodi di assestamento di tipo planimetrico spartitivo. L'applicazione di tale metodo, consiste nella suddivisione del bacino di utilizzazione di superficie pari ad *S*, in *T* aree di ampiezza pari a *S/T*, dove *T* rappresenta il turno della specie arborea che costituisce il bacino di utilizzazione. Ciò significa che se il complesso forestale sarà strutturato in modo da avere un numero di particelle della medesima superficie ed età progressivamente crescente fino all'età massima *T*; essi saranno in grado di fornire un prodotto annuo per ettaro, dato dal rapporto fra la provvigione della T_q*-esima* particella che annualmente cade al taglio, ed il turno T_q di ciascuna tipologia di bosco *q*, ed avranno uno *stock* di risorse per ettaro dato dalla sommatoria degli incrementi medi delle (T_q-1)*-esime* particelle. Formalmente:

$$x_q(t) = \sum_{i=1}^{T_q-1} x_{i,q} \qquad con\ t = T_q - 1 \qquad (1)$$

dove:

$x_{i,q}$ = incremento medio annuo per ettaro della particella di bosco di tipo *q* all'età *i*-esima
$x_q(t)$ = *stock* di biomassa per ettaro di soprassuolo di tipo *q* al momento *t*;
T_q = turno consuetudinario del soprassuolo di tipo *q*.

Essendo lo *stock* di risorse $x_q(t)$ funzione del turno applicato a ciascuna tipologia di soprassuolo T_q ed essendo la ripresa annua per ettaro x_q^* funzione dello *stock*, ne consegue che x_q^* sarà a sua volta funzione del turno T_q

$$x_q^* = \frac{x_q(t)}{t} \quad con\ \ t = T_q \qquad (2)$$

x_q^* = ripresa media annua per ettaro di superficie di bosco di tipo *q*

Per giungere ad una stima del valore degli assortimenti ritraibili da ciascuna tipologia forestale, è stato quindi necessario definire:

- Produttività media annua, ovvero, incremento medio annuo di ciascuna tipologia di bosco relativamente ai turni consuetudinari praticati nel contesto esaminato (Bernetti, Fagarazzi, 2003);

- La ripartizione percentuale degli assortimenti ritraibili (Bernetti, Fagarazzi, 2003), (tabella 3);
- Il prezzo indicativo per ciascun assortimento ritraibile (AA.VV., 2007), (tabella 3).

Per le conifere si tratta di una stima per difetto in quanto è possibile dirottare verso il mercato del legno cippato anche la totalità del prodotto legnoso derivato dai tagli intercalari.

Tipologia forestale[8]	*Tondame da sega*		*Tondame da imballaggio*		*Paleria*		*Legna da ardere*		*Residui*	
	% sul totale	*Prezzo €/t*	*% sul totale*	*Prezzo €/t*	*% sul totale*	*Prezzo €/t*	*% sul totale*	*Prezzo €/t*	*% sul totale*	*Prezzo €/t*
Boschi a prevalenza di castagno	0	0	0	0	79	88	0	0	21	60
Boschi a prevalenza di faggio	0	0	0	0	0	0	72	100	28	60
Boschi a prevalenza di latif.mesofite	0	0	0	0	0	0	88	100	12	60
Boschi a prevalenza di abeti	65	135	25	135	0	0	0	0	10	60
Boschi a prevalenza di pini montani	0	0	90	73	0	0	0	0	10	60
Boschi a prev. di pini medit. e cipr.	0	0	77	59	0	0	0	0	23	60
Boschi a prev. di querce caduc.	0	0	0	0	0	0	77	100	23	60
Boschi a prevalenza di latif.esotiche	0	0	0	0	0	0	74	100	26	60
Boschi a prevalenza di conif.esotiche	65	152	25	76	0	0	0	0	10	60

Tabella 3: Assortimenti ritraibili da ciascuna tipologia forestale e relativi prezzi medi.

4.1.2 Il modello geografico di offerta aggregata

Il modello di offerta aggregata applicato nel presente studio, è rappresentato da un modello di lungo periodo in cui viene fatto riferimento allo *stock* di capitale naturale desiderato ed al tasso di prelievo sostenibile (Bernetti, 1999). Il modello, nel caso specifico, si presta quale strumento di pianificazione di lungo periodo che risponde a problematiche quali la capacità di supportare determinati costi di produzione, sia marginali che medi, nonché la ricerca dell'estensione ottimale dei soprassuoli capaci di rispondere efficacemente ad un determinato livello di domanda di prodotti legnosi (Bernetti, 1999). In particolare, attraverso la costituzione di un Sistema Informativo Territoriale su base raster, è stato possibile definire un modello di offerta aggregata che presenta un buon grado di accuratezza, dettaglio e aderenza alla realtà.
Il metodo può essere sintetizzato attraverso il seguente algoritmo:

[8] Le tipologie di bosco individuate, fanno riferimento alle tipologie individuabili attraverso il Corine Land Cover di V livello. Trattandosi di categorie piuttosto ampie, in alcuni casi è stato necessario riferirsi a medie di incrementi medi annui di specie appartenenti allo stesso genere.

- La superficie forestale è rappresentata attraverso una base dati geografica di tipo raster. Ad ogni pixel sono associate le variabili (q) ecologiche (specie, fertilità trattamento selvicolturale sostenibile, ecc.), geografiche (pendenza, distanza dal mercato, accessibilità, ecc.) e produttive (prelievo sostenibile, ripartizione assortimentale, ecc.);
- Assumendo che la distribuzione dell'età dei soprassuoli della q-esima tipologia di bosco sia approssimativamente uniforme tra 0 e T_q , possiamo definire la quantità totale di prodotto teoricamente utilizzabile ogni anno in corrispondenza del turno consuetudinario T_q, come la produttività x_q^* definita per ciascun pixel attraverso il modello di offerta per unità di superficie;
- Se i costi totali di produzione $ctu_j(q)$, calcolati per ciascun pixel, risultano minori o uguali del prezzo della biomassa ($ctu_j(q) \leq p$), significa che quel pixel è utilizzabile con profitto;
- L'offerta complessiva che si ha in corrispondenza di uno specifico prezzo è quindi definita come la somma delle produzioni medie annue ottimali derivate dalle q tipologie di bosco, posti nelle j classi di distanza:

$$S^*(p) = \sum_{j \in J(p)} A_j(q) x_q^*(p)$$

$$s.a.$$

$$J(p) \big| ctu_j(q) \leq p \qquad (3)$$

dove:

$A_j(q)$ = superficie totale con soprassuoli del tipo q situata nella j-esima classe di distanza;

$x_q^*(p)$ = produzione media annua ottimale per unità di superficie dei soprassuoli del tipo q al prezzo p;

$J(p)$ = totale delle particelle in produzione al prezzo p.

$ctu_j(q)$ = costi totali di produzione per quintale di biomassa estratta dai soprassuoli di tipo q situati nella classe di distanza j.

p = prezzo della biomassa.

Maggiori saranno i prezzi e maggiori saranno le superfici dei diversi tipi di soprassuoli che saranno utilizzabili con profitto, e che quindi andranno a sommarsi alla quantità complessiva offerta.
Il costo di produzione unitario rappresenta il parametro del modello maggiormente dipendente dalle caratteristiche di tipo geografico.
Nel settore forestale i costi di produzione dipendono infatti dai seguenti fattori:

- ✓ caratteristiche *in situ* del suolo e del soprassuolo;
- ✓ localizzazione del bosco rispetto al mercato;
- ✓ costo dei fattori di produzione.

Nel caso in esame, i costi di produzione relativi a ciascun pixel del territorio esaminato, sono stati calcolati attraverso un modello di costo di tipo geografico che ha portato alla realizzazione di "mappe di costo" rappresentative dei *costi in situ* (costi di abbattimento e allestimento) e dei *costi di localizzazione* (esbosco e trasporto fino ai centri di stoccaggio), nonché della eventuale cippatura all'imposto (fig. 4). Il modello, relativamente all'esbosco, ha inoltre considerato la presenza di ostacoli naturali, come impluvi o crinali. L'esbosco è stato supposto con trattori skidder o con teleferica (in funzione della pendenza, della distanza dalla viabilità principale e della densità di strade, secondo l'equazione 4.

$$C = \begin{cases} C_{i,skid} \begin{cases} \text{se densità viabilità forestale} \geq 20\, m/ha \\ and \\ \text{se pendenza} \leq 30\% \end{cases} \\ C_{i,tel} \begin{cases} \text{se distanza viabilità} \leq 600\, m \\ and \\ \text{se } 30\% < \text{pendenza} \leq 70\% \end{cases} \end{cases} \qquad (4)$$

dove:

C_i = costo di esbosco del pixel *i*-esimo;

$C_{i,\, skid.}$ = costo di esbosco del pixel *i*-esimo con skidder;

$C_{i,\, tel.}$ = costo di esbosco del pixel *i*-esimo con teleferica;

Per il trasporto, considerato che le distanze da percorrere nel contesto esaminato sono risultate sempre inferiori ai 10 Km, è stato ipotizzato l'uso di solo trattore con rimorchio.

Il modello di costo complessivo ha quindi portato alla definizione del costo di produzione totale $ctu_j(q)$ di assortimenti legnosi e/o cippato per ciascun pixel del database geografico.

La comparazione tra costi di produzione di ciascun pixel e prezzi di mercato degli assortimenti tradizionali e delle biomasse residuali, ha poi portato alla definizione dell'offerta di biomasse del contesto esaminato.

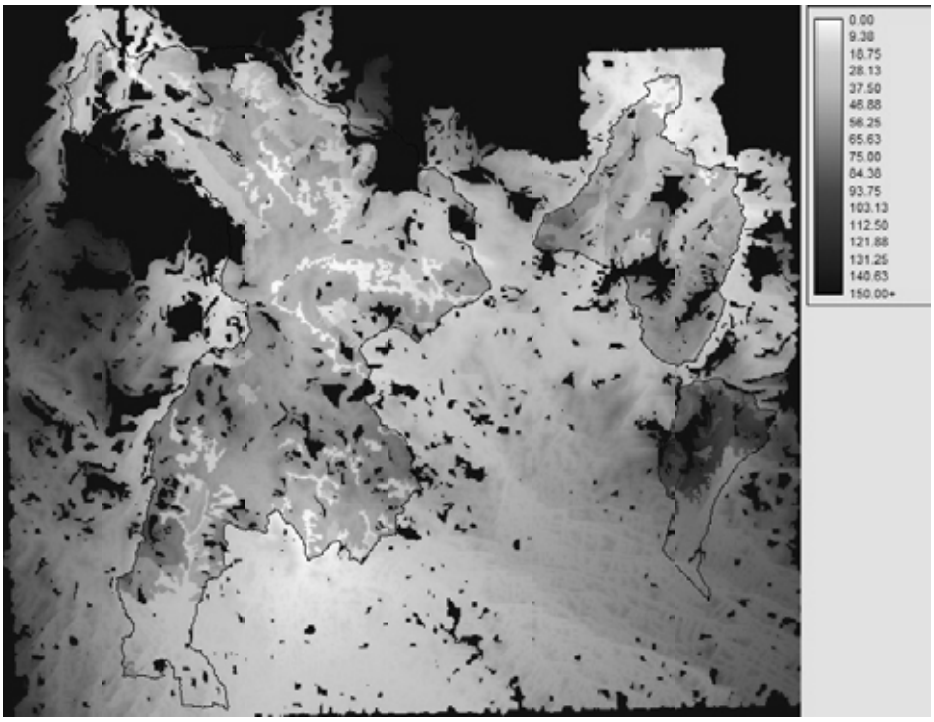


Figura 4. Mappa di costo di produzione del cippato (€/t)

Allo scopo di produrre una stima cautelativa circa l'entità delle risorse disponibili, sono state escluse dalla valutazione tutte le superfici che presentavano una pendenza superiore al 60%. In tale modo è stata riconosciuta la funzione protettiva e di regimazione dei deflussi svolta dai soprassuoli forestali che insistono su tali aree. Inoltre, sono stati esclusi dal computo i boschi inclusi all'interno della Riserva Statale di Campolino (Comune di Abetone) poiché al loro interno non vengono eseguite forme di utilizzazione boschiva[9].

[9] Le Riserve Naturali Statali presenti nell'area della Comunità Montana sono quelle di: Abetone, Campolino, Pian di Novello e Acquerino; esse con l'esclusione dell'Acquerino rientrano anche tra i Siti di Interesse Regionale

La stima, in peso, delle quantità di residui ritraibili è stata effettuata considerando il peso specifico di ogni specie legnosa con un'umidità pari al 30%, mentre il potere calorifico totale generato dalle biomasse prodotte è stato stimato considerando il potere calorifico inferiore del legno con umidità al 30%, ovvero 3,0 MWh/tonn.

4.2 Metodologia per la definizione della vocazionalità dell'edificato all'installazione di impianti termici a biomassa residua (cippato).

L'esigenza di acquisire elementi utili a valutare la domanda potenziale di biomasse legnose secche (legno cippato), unitamente all'analisi delle possibili dinamiche che tale domanda potrebbe avere, ha spinto il gruppo di ricerca alla strutturazione di una metodologia di indagine volta a quantificare, con dettaglio territoriale, la domanda potenziale di biomasse residue per usi termici.
In particolare, nel presente paragrafo, illustriamo una proposta metodologica volta a classificare l'edificato presente nel territorio della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese in ragione della sua vocazionalità all'installazione di impianti di teleriscaldamento alimentati con combustibili vegetali di origine forestale, rappresentati nel caso specifico da legno cippato.
Il risultato ottenuto con questo tipo di valutazione rappresenta, infatti, un utile strumento di programmazione locale per verificare la fattibilità tecnica ed economica di interventi diretti a rendere ecologicamente sostenibili attività antropiche legate al settore residenziale e produttivo.
Ovviamente, i fattori che condizionano questo tipo di dinamiche sono molteplici, fra questi: le esigenze termiche specifiche di ogni edificio, l'accessibilità dell'immobile, la contiguità con altro edificato, la presenza della rete del gas metano, ecc.
Si tratta quindi di un approccio che esige la valutazione congiunta di un *set* complesso di indici multidimensionali, nonché l'adozione di un approccio pluralistico e "partecipativo" che tenga in debita considerazione le preferenze espresse dalle comunità locali.
L'approccio che è risultato più promettente per affrontare questo tipo di problematiche, ovvero, capace di definire *sets* di indicatori specifici per ogni problema, e garantire la "partecipazione" delle comunità locali, è risultato essere quello dei modelli di analisi decisionale dei problemi ambientali basati su tecniche multicriteriali. Il principale vantaggio dei metodi multicriteriali risiede infatti nella possibilità di considerare simultaneamente una grande quantità di informazioni e modelli provenienti da differenti discipline (Bernetti, 1993), fornendo in questo modo un supporto ai problemi decisionali non completamente strutturati (Munda, 1995, 1997).

Nella formalizzazione dei modelli di analisi multicriteriale geografici è innanzitutto necessario specificare che ciascun criterio[10] decisionale è rappresentato tramite una specifica mappa tematica detta *layer* o "strato cartografico". Variabili decisionali del modello sono perciò (in un SIT raster) i diversi *pixels*, che esprimono la potenzialità del territorio verso una data alternativa di destinazione di uso del suolo.

Dal momento che i *layers* tematici che rappresentano i criteri sono generalmente espressi con differenti unità di misura, è necessaria una loro normalizzazione nell'intervallo [0,1] per poter essere considerati in un processo di analisi multicriteriale.

Una procedura più articolata di normalizzazione è quella che si basa sulla teoria degli insiemi sfocati (Bernetti, 1993, 1996). Rimandando alla letteratura specializzata per maggiori

---

(SIR), assieme alle zone del Libro Aperto – Cima Tauffi e Monte Spigolino – Monte Gennaio. Nel calcolo dei residui legnosi prelevabili è stata esclusa solo l'area di Campolino; poiché nelle altre aree protette le utilizzazioni forestali vengono normalmente attuate.

[10] Criteri: sono fattori che incrementano o decrementano la potenzialità di un territorio per una data destinazione d'uso o il suo valore complessivo per un dato aspetto (ambientale, culturale, sociale, ecc.).

approfondimenti (Cox, 1993, Zimmemann, 1987), nella standardizzazione tramite i principi della logica sfocata si adottano specifiche "funzioni di appartenenza" definite nell'intervallo [0,1]. Per la loro semplicità interpretativa le funzioni più adottate sono quelle lineari, riportate nella figura 5. Nelle funzioni riportate, dette "funzioni di appartenenza", i punti di controllo *a* e *d* rappresentano la assoluta condizione di insoddisfacenza del valore relativamente al criterio in esame *R* (es. distanza da rete metano); parimenti i punti *b* e *c* rappresentano il limite di assoluta idoneità del valore *R*.

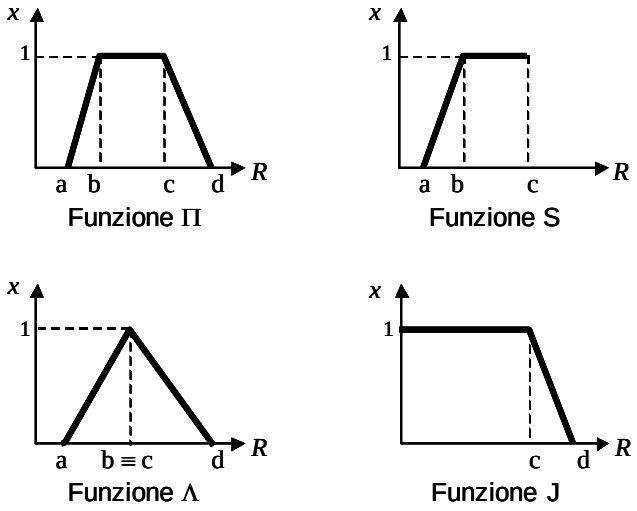


Figura 5. Funzioni sfocate di normalizzazione

Lo sviluppo di questa approccio basato su metodi multicriteriali per definire la "*vocazionalità delle aree urbane e rurali alla installazione di impianti termici a biomassa residua*", necessita di un'articolazione che si sviluppi secondo le seguenti fasi:

a) Costituzione di un Sistema Informativo Territoriale dell'area della Comunità Montana
b) Individuazione di un set di criteri (indicatori) per ciascun aspetto esaminato
c) Aggregazione dei criteri e definizione delle classi di vocazionalità

4.2.1 Costituzione di un Sistema Informativo Territoriale dell'area della Comunità Montana

La realizzazione di un archivio cartografico elettronico (SIT) rappresenta l'elemento cardine per lo sviluppo di modelli di analisi geografica fondati su indicatori multidimensionali. In considerazione dei diversi elementi che devono essere esaminati nel presente studio, è necessario realizzare un database geografico in formato raster.

Le basi dati da inserire all'interno del Sistema Informativo Territoriale sono:

- Carta dell'uso del suolo derivante dal database dell'Inventario Forestale Toscano (IFT), da cui ricavare le carte delle aree agricole e forestali;
- Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000, da cui ricavare le carte della viabilità principale e delle aree residenziali e produttive (industriali e commerciali);
- Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:2.000 (dove presente), da cui ricavare la carta delle volumetrie di edificato civile e amministrativo;
- Cartografia della rete di distribuzione del gas metano (in diverse scale a seconda dei gestori, rappresentati, nel caso in esame da: *Fiorentinagas, AMAG – CIS* , *Toscana Energie*).

4.2.2 Individuazione di un set di criteri (indicatori) per ciascun aspetto esaminato

Per giungere ad una classificazione dell'edificato in grado di definire la propria vocazione alla conversione/installazione di reti di teleriscaldamento alimentate con cippato legnoso, è stato necessario definire un set di indicatori capaci di rappresentare una serie di aspetti, quali:

- esigenze termiche degli edifici (domanda termica dell'edificato);
- distanza dalla rete di distribuzione del gas naturale;
- accessibilità stradale dell'area;
- concentrazione degli edifici;

4.2.2.1 Esigenze termiche degli edifici

Per stimare le esigenze termiche dei singoli edifici, è stato necessario calcolare sia la volumetria di ogni edificio, sia il fabbisogno "specifico" di ogni tipologia abitativa, ovvero i Kw termici necessari ogni anno per riscaldare un metro cubo di edificio [11].
Per la stima delle volumetria di ogni edificio è stata effettuata un'analisi su base cartografica. In questo caso infatti, l'acquisizione di cartografie tecniche regionali in scala 1:2.000, ha permesso la costituzione di un Sistema Informativo Geografico in cui lo strato informativo relativo all'edificato dell'area esaminata, ha associato una serie di dati alfanumerici, che riportano anche "l'altezza di gronda" degli edifici. In tal modo è stato possibile stimare tutte le volumetrie degli edifici presenti all'interno del comprensorio in esame, tenendo anche distinte le diverse categorie di edificato (residenziale, commerciale, di culto, ecc.), ovvero, considerando le diverse esigenze termiche caratteristiche di ciascuna delle tipologie edili illustrate in tabella 4.

Codice C.T.R.	***Tipo di edificio***
201	Unit. Vol. Civile/Sociale/Amministrativo
202	Unit. Vol. Industriale/Commerciale/Capannone
203	Unit. Vol. Di Culto/Campanile/Tabernacolo
204	Edificio In Costruzione
223	Complesso Ospedaliero
224	Complesso Scolastico
225	Complesso Sportivo
226	Complesso Religioso
227	Complesso Sociale

Tabella 4. Tipologie edile esaminate

[11] Si tratta di un coefficiente che viene calcolato per dimensionare gli impianti termici alimentato con residui legnosi

Ora, poiché il volume di ogni singolo edificio è strettamente correlato con le esigenze termiche dello stesso, è stato supposto che all'aumentare della volumetria corrisponda un incremento proporzionale della vocazionalità alla conversione. Per tale ragione è stato impiegato un indice sfocato che assume valore minimo (0) in corrispondenza dell'edificio più piccolo e valore massimo (1) in corrispondenza dell'edificio più grande.

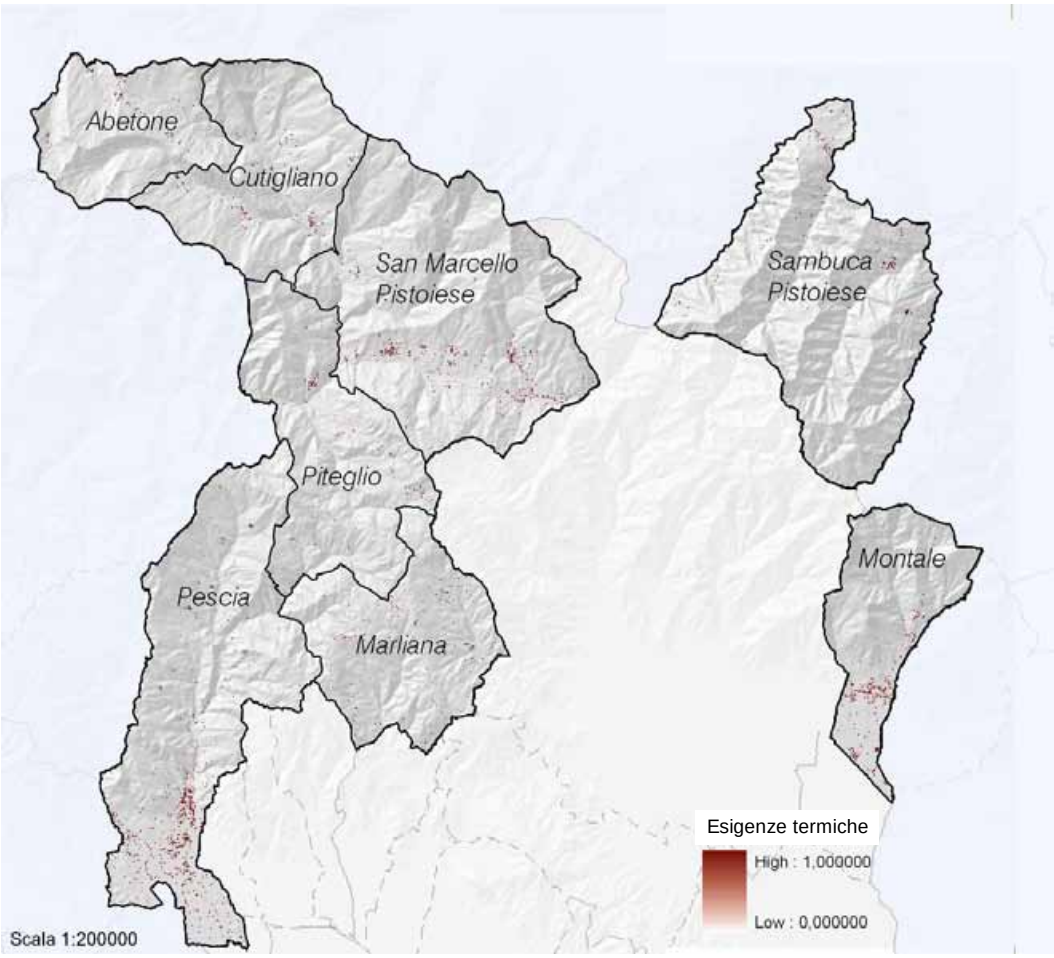


Figura 6. Esigenze termiche dell'edificato

4.2.2.2 Distanza dalla rete di distribuzione del gas metano

La presenza della rete di distribuzione del gas naturale rappresenta un fattore che può ostacolare lo sviluppo di reti di teleriscaldamento alimentate con biomasse legnose. Il gas naturale rappresenta infatti il combustibile fossile più conveniente e quindi più competitivo in termini di efficienza economica, ma anche di flessibilità d'uso.
Per tale ragione è stata presa in considerazione una funzione di appartenenza (fig. 7) che tenga conto della prossimità alla rete di distribuzione del gas naturale (fig. 8). In prossimità della rete (fino ai 200 m) il valore dell'indicatore è pari a 0, mentre risulta progressivamente crescente per giungere al valore massimo in corrispondenza di distanze uguali o superiori ai 1000 metri.

Nelle figure 8 e 9, è possibile vedere una rappresentazione cartografica della funzione di appartenenza relativa alla distanza dalla rete del gas naturale.

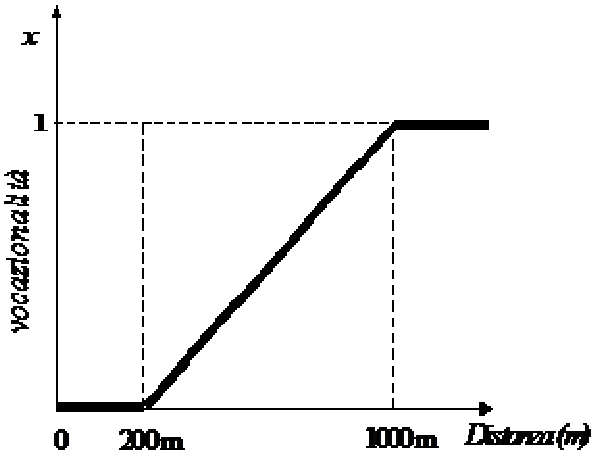


Figura 7. Funzione di appartenenza relativa alla distanza dalla rete del gas

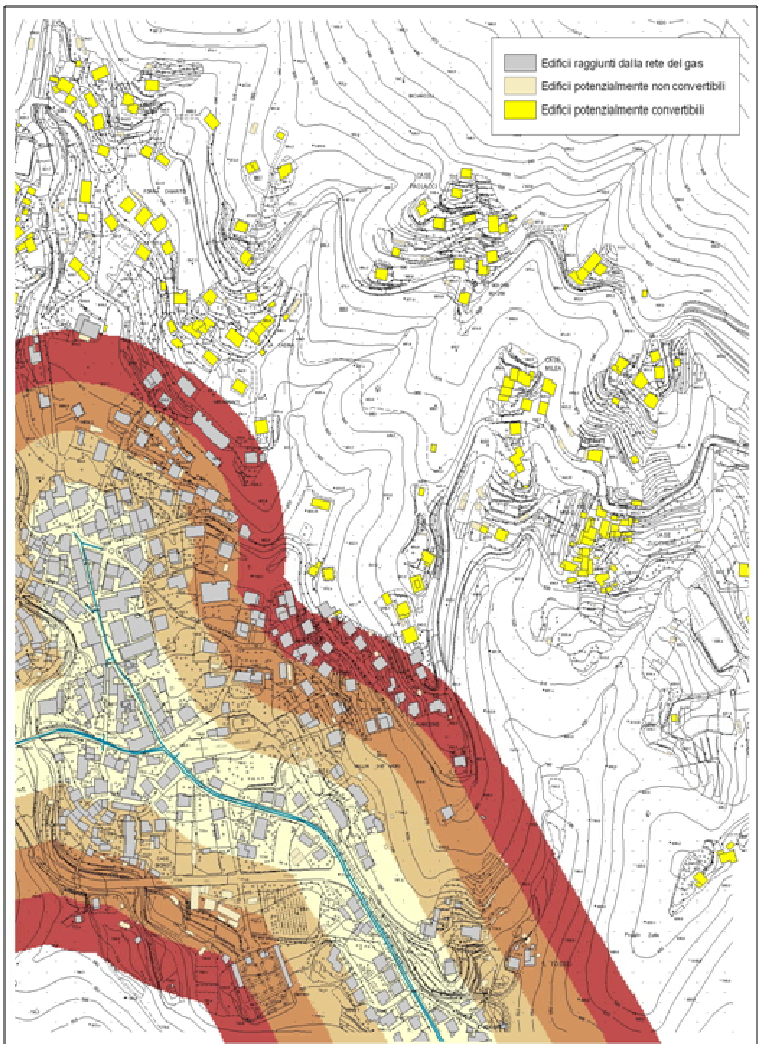


Figura 8. Funzione di appartenenza relativa alla distanza dalla rete del gas naturale e classificazione edifici.

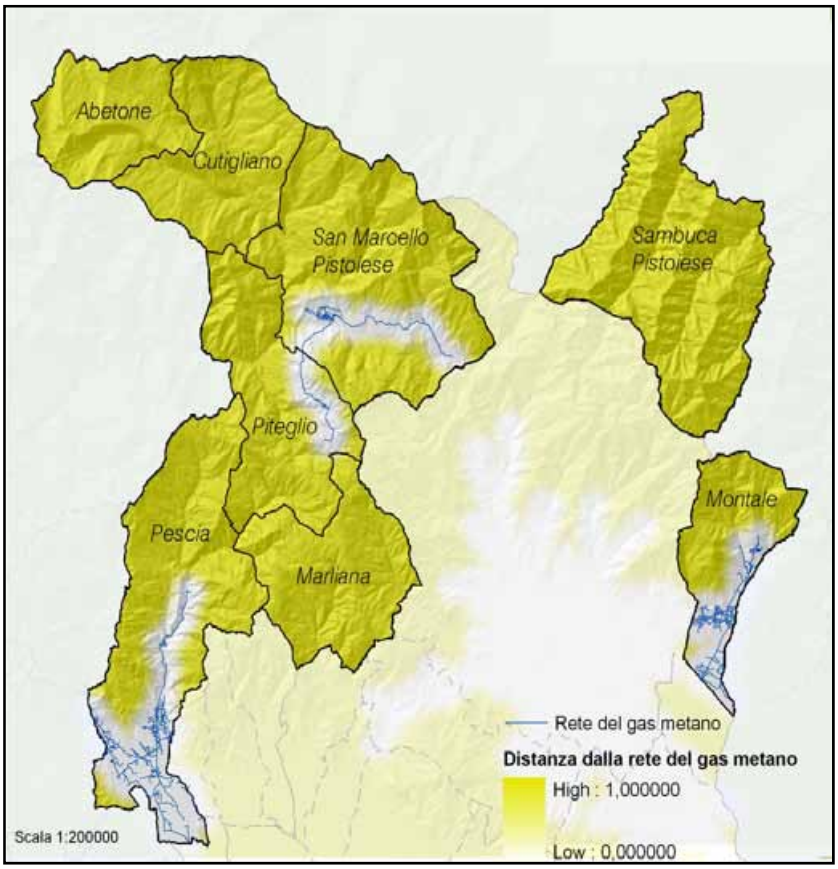


Figura 9. Mappa sfocata della distanza da rete gas metano

4.2.2.3 Accessibilità stradale dell'area

La distanza dalla viabilità principale assume particolare importanza soprattutto per quanto riguarda l'accessibilità dell'impianto e quindi i costi di approvvigionamento della materia prima (cippato). L'impianto termico deve infatti risultare facilmente accessibile dai mezzi pesanti che trasportano il combustibile legnoso, per cui la corrispondente funzione di appartenenza assume l'andamento illustrato in figura 10, ovvero, un elevato valore della funzione in corrispondenza della strada, mentre tale valore si riduce progressivamente fino ad annullarsi per distanze uguali o superiori ai 1.000 metri di distanza.

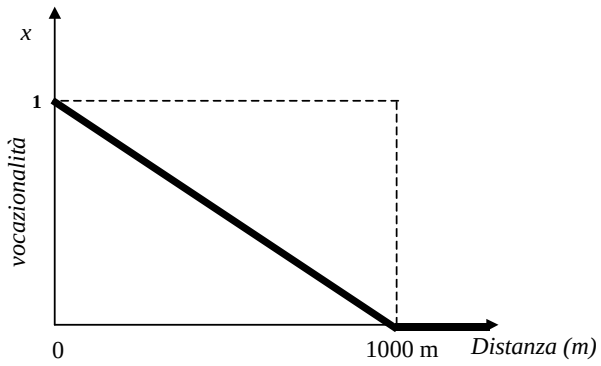


Figura 10. Funzione di appartenenza relativa alla distanza dalla viabilità principale

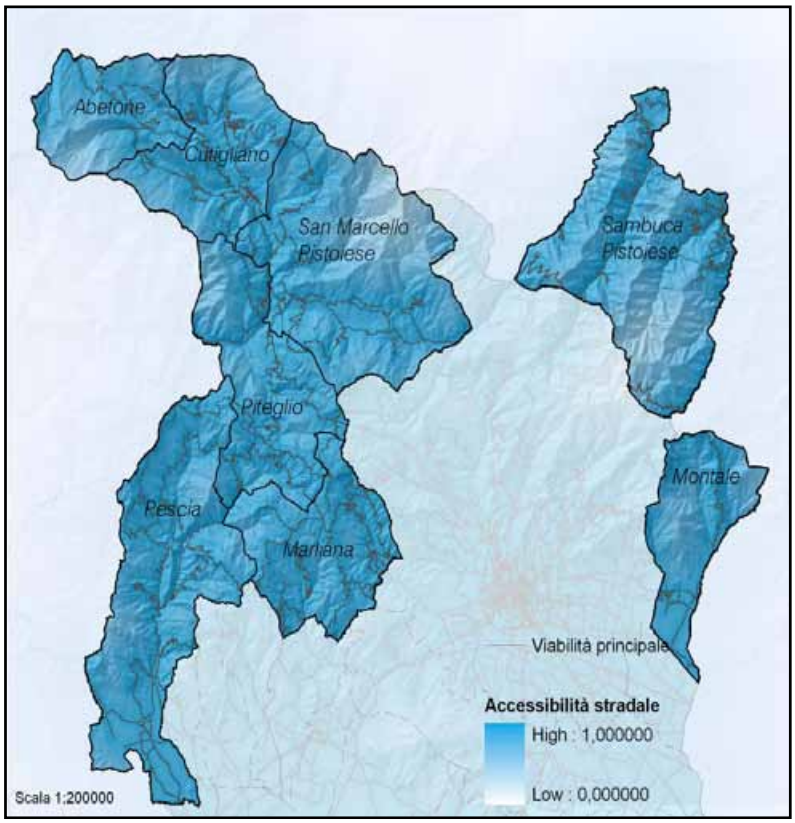


Figura 11. Mappa sfocata relativa alla distanza dalla viabilità principale

4.2.2.4 Densità dell'edificato

La densità degli edifici rappresenta un fattore importante per la definizione della vocazionalità alla conversione degli impianti termici. L'opportunità di creare una rete di teleriscaldamento è tanto maggiore, quanto maggiore è il numero e la concentrazione di edifici.
Per valutare questo aspetto, è stato quindi introdotto un indicatore in grado di percepire la densità dell'edificato.
Si tratta del coefficiente di densità H che per ciascun pixel dell'area di studio, indica la densità di edifici presenti in un area quadrata circostante di dimensioni pari a 7x7 pixel. Nel nostro caso, dato che i pixel erano di dimensioni pari a 10 metri, verrebbe da pensare che la finestra mobile copra un'area pari a 4.900 m^2; in realtà, l'area esaminata corrisponde a 37 pixel, poiché non vengono

esaminati dall'algoritmo i 3 pixel situati ad ogni angolo della finestra mobile, per cui la superficie realmente esaminata è pari a 3.700 m^2. Il risultato è costituito da un layer raster con valori variabili tra 0 (assenza totale di edifici all'interno della finestra mobile) a 1 (superficie della finestra mobile totalmente coperta da edifici).

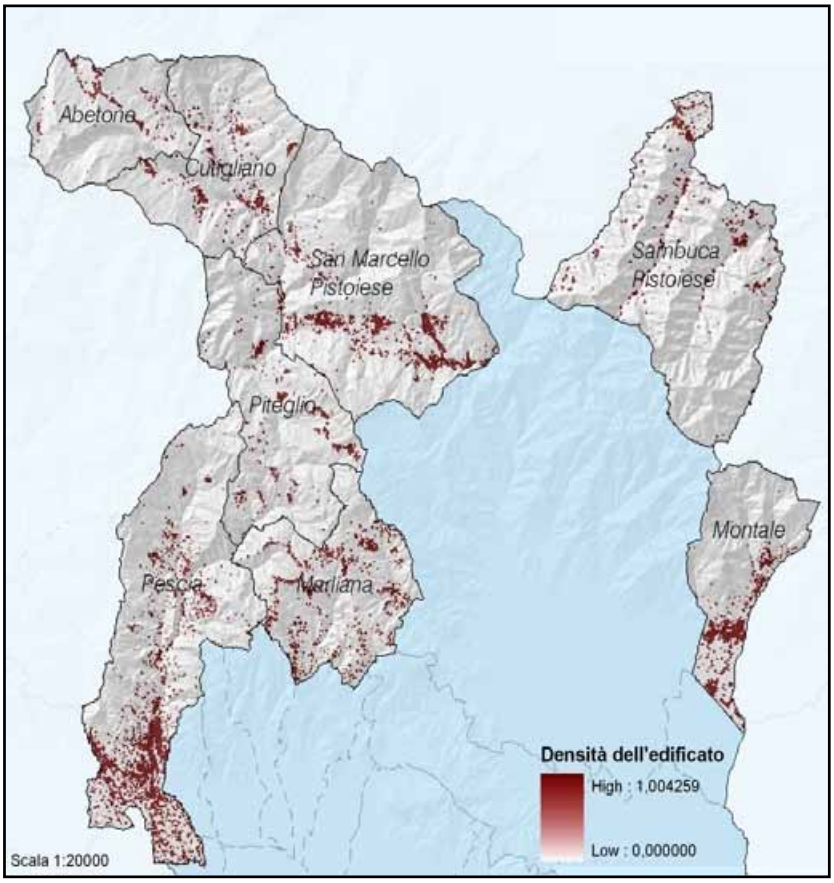


Figura 12. Mappa sfocata della densità abitativa

4.2.3 Aggregazione dei criteri e definizione delle classi di vocazionalità

Nel processo di aggregazione, l'importanza relativa di ciascun indicatore è stata definita tramite una analisi multicriteriale geografica AMC, basata sull'analisi delle gerarchie (Analytical Hierarchy Process - AHP) (Saaty, 1980).

L'analisi AHP consiste in un metodo e, insieme, una tecnica, utilizzata sia nelle scienze economiche che sociali, per la definizione dell'ordine di priorità in cui vanno poste n alternative che soddisfano prescritti criteri di scelta. In altre parole, attraverso l'AHP, si è trattato il problema del *ranking* delle alternative, ossia il loro allineamento, in ordine di importanza, o preferenza, sulla base di valutazioni quantitative.

Nel nostro caso l'applicazione è stata adattata alla determinazione della priorità/rilevanza che i diversi fattori (presenza rete gas, accessibilità, esigenze termiche, ecc.), hanno nel perseguimento dell'obiettivo (*goal*), rappresentato dalla*"vocazionalità degli edifici all'installazione di impianti di teleriscaldamento alimentati a residui legnosi"*.

Una volta definita la gerarchizzazione, è stato possibile definire i contributi dei vari fattori e criteri.

Per fare ciò si è proceduto alla costruzione di una serie di matrici quadrate A^K, dette *matrici di confronto a coppie* (eq. 1), i cui elementi a_{ij}^K sono non nulli e tali che:

$$a_{ij}^K = 1 / a_{ji}^K$$

per ogni *i, j = 1,…,n*, e, quindi con elementi delle diagonale principale uguali ad 1 (D'Apuzzo e Ventre, 1995).

$$A^K = (a_{ij}^K) = \begin{bmatrix} 1 & b_1/b_2 & \cdot & b_1/b_n \\ b_2/b_1 & 1 & \cdot & b_2/b_n \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ b_n/b_1 & \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(1)}$$

In A^K il numero a_{ij}^K indica l'importanza dell'*i*-esimo fattore (o criterio) rispetto al *j*-esimo fattore (o criterio).
Per effettuare la comparazione e definire la priorità fra ciascuna coppia di fattori/criteri, ci siamo basati su una comparazione verbale sviluppata su due domande:
Rispetto all'obiettivo "*vocazionalità alla sostituzione degli impianti termici con impianti di teleriscaldamento a biomassa*", quale dei due fattori è maggiormente rilevante? E quanto è più rilevante?
Mentre la risposta al primo quesito può essere fornita in modo piuttosto semplice, il secondo può risultare più ostico[12]. Per tali ragioni, nella scelta della scala per la quantificazione della comparazione a coppie, è stato fatto riferimento alla scala di importanza relativa, utilizzata dallo stesso Saaty (1980), con massimo numero di livelli (9) (tab. 5).

Importanza	Definizione	Esplicazione
1	Uguale importanza	I due fattori contribuiscono in ugual modo al perseguimento dell'obiettivo
3	Debole importanza di uno sull'atro	Un fattore contribuisce leggermente di più al perseguimento dell'obiettivo
5	Forte importanza di uno sull'altro	Un fattore contribuisce in modo determinante nel perseguimento dell'obiettivo (è praticamente dimostrato)
7	Molto forte importanza di uno sull'altro	E' evidente che un fattore contribuisce in determinante nel perseguimento dell'obiettivo
9	Assoluta rilevanza di uno sull'altro	Si può affermare in modo assoluto che un fattore contribuisce in modo rilevante al perseguimento dell'obiettivo
2, 4, 6, 8	Valori intermedi a due giudizi adiacenti	Soluzioni di compromesso ai casi precedenti

Tabella 5. Scala di importanza relativa utilizzata (Saaty 1980)

[12] In accordo a molte teorie di psicologia, è infatti impossibile, per qualsiasi soggetto, effettuare una quantificazione di un fenomeno in un intervallo continuo. Secondo molti psicologi infatti, la maggior parte degli individui non può comparare simultaneamente più di sette entità ($\pm due$) (Miller, 1956).

Per cui, se il valutatore preferisce fortemente il criterio *i* rispetto al criterio *j*, l'elemento a_{ij}^{K} della matrice *K* di confronto a coppie assume valore pari a 7, mentre l'elemento a_{ji}^{K} e uguale a 1/7.
Successivamente si è proceduto ad associare ad ogni fattore/criterio *i* un peso w_i che misuri l'importanza in una scala di valori continui da 0 a 1.
Per fare ciò è stata supposta la soddisfazione delle *condizioni di normalità*, ossia che:

$$w_1 + w_2 + ... + w_n = 1$$

La tecnica per la determinazione dei pesi si è basata sul seguente ragionamento:
se il valutatore conoscesse i pesi effettivi w_1, w_2, ..., w_n degli *n* elementi, la matrice dei confronti a coppie diventerebbe,

$$A = (a_{ij}) = \begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & \cdot & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \cdot & w_2/w_n \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_n/w_1 & \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(2)}$$

In questo caso i pesi si otterrebbero banalmente dalla normalizzazione rispetto alla somma di una qualunque delle righe poiché sono tutte multiple fra loro.

Nella pratica però, non è possibile conoscere il vettore pesi *w* e quindi i valori a_{ji}^{K} assegnati secondo il giudizio del valutatore, possono scostarsi dai valori w_i/w_j ignoti.
Quindi, le matrici A^K avranno spesso rango superiore a 1, ossia saranno *inconsistenti*.
Saaty (1980) ha dimostrato, relativamente a tali matrici, che è possibile giungere ad un "*indice di consistenza*" ed alla stima dei pesi relativi di ciascun fattore/criterio.

Se prendiamo infatti in considerazione un qualsiasi autovettore $\boldsymbol{w} = (w_1, w_2, ..., w_n)$ e l'equazione generale degli autovettori:

$$A\,\boldsymbol{w} = \alpha\,\boldsymbol{w} \qquad \textbf{(3)}$$

Con α = autovalore della matrice *A;*
si può dimostrare che se non vi sono valutazioni incongruenti esiste un unico autovettore che rappresenta il vettore pesi ***w*** cercato (Bernetti, 1994).

Se invece, esistono valutazioni incongruenti, per cui i valori assegnati dal valutatore a a_{ji}^{K} sono prossimi, ma non uguali, ai rapporti *wi/wj*, allora l'autovalore massimo α_{max} è prossimo ad α e gli altri autovalori sono prossimi a 0, per cui si può stimare il vettore ***w*** usando l'equazione:

$$\mathrm{A}\,\boldsymbol{w} = \alpha_{max}\,\boldsymbol{w} \qquad \textbf{(4)}$$

con α_{max} = autovettore principale.
Si dimostra (Saaty, 1980) che α_{max} è sempre maggiore di *n* (ordine della matrice), per cui tanto più α_{max} è prossimo a *n*, tanto più consistenti sono i valori contenuti in *A*.
E' stato quindi sviluppato (Saaty, 1980) uno specifico indice in grado di esprimere il livello di inconsistenza delle matrici di confronto a coppie.
L'indice è definito dalla seguente equazione:

$$CI = \frac{\alpha_{\max} - n}{n - 1} \qquad \textbf{(5)}$$

con α_{max} autovalore massimo della matrice, ed *n* ordine della matrice[13].

---

[13] Lo stesso Saaty ha fornito una regola pratica per la valutazione della bontà dei giudizi. In pratica se l'indice CI assume valori minori o uguali a 0,1, allora il valutatore si può ritenere soddisfatto dei suoi giudizi (D'Apuzzo e Ventre, 1995).

Il modello AMC applicato ha quindi interpretato la diversa rilevanza degli indici sulla base dei pesi definiti attraverso la valutazione analitica delle gerarchie (AHP).
La formalizzazione del modello AMC è stata quindi la seguente:

$$V_q = \sum_{i=1}^{n} I_{qi}\, w_i \qquad \textbf{(6)}$$

Con: V_q = vocazionalità alla conversione dell'edificio *q*-esimo;
I_{qi} = valore assunto dall'indicatore *i*-esimo per l'edificio *q*-esimo;
w_i = peso complessivo dell'indicatore *i*-esimo;
n = totale indicatori.

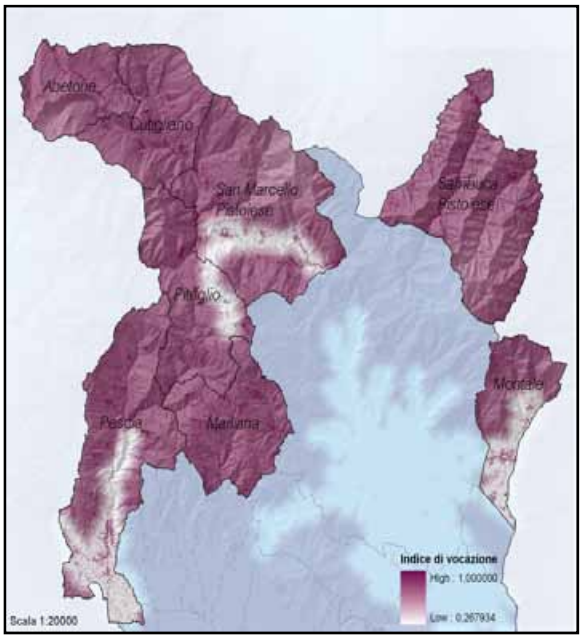
4.3 Risultati della valutazione territoriale

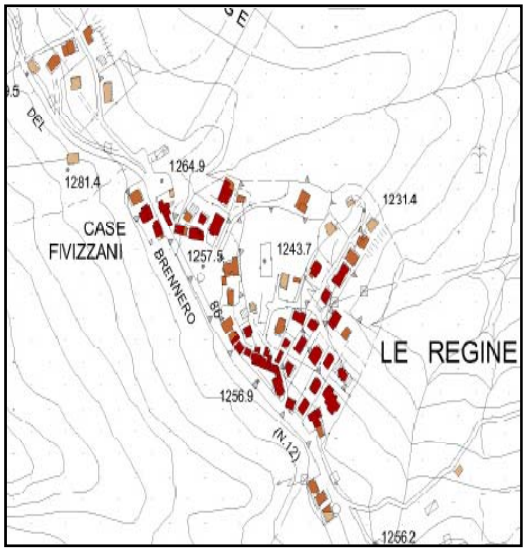
4.3.1 La vocazionalità alla conversione egli edifici

L'applicazione della metodologia AMC geografica ha portato alla classificazione di tutti gli edifici civili e amministrativi (codice 201 delle Carte Tecniche Regionali 1:10.000) presenti nell'area di studio. Il prodotto realizzato è quindi rappresentato da una mappa vettoriale (*shapefile*) nella quale viene riportato, per ciascuna struttura, il grado di "vocazione" all'installazione di impianti di riscaldamento alimentati con residui legnosi.
E' così stato possibile classificare l'edificato in cinque categorie:

- Strutture ad alta vocazione
- Strutture a vocazione medio-alta
- Strutture a media vocazione
- Strutture a vocazione medio-bassa
- Strutture a bassa vocazione

Figure 13 e 14. A sinistra, Carta della vocazione.
Sotto, dettaglio sull'edificato in località Le Regine – Abetone; vocazione in scala di rossi (vocazione crescente dal rosa al rosso scuro).





Il risultato complessivo evidenzia la seguente situazione: la volumetria degli edifici residenziali e amministrativi ammonta a 19.121.746 m^3 così suddivisi:

- Strutture ad alta vocazione = 5.687.867 mc
- Strutture a vocazione medio-alta = 3.119.832 mc
- Strutture a media vocazione = 5.353.339 mc
- Strutture a vocazione medio-bassa = 4.243.736 mc
- Strutture a bassa vocazione = 716.972 mc

Oltre alla stima della vocazionalità legata all'edificato esistente, sono state anche esaminate le potenzialità connesse alla realizzazione del nuovo edificato previsto dai Piano Strutturali Comunali. Gli edifici in fase di nuova realizzazione risultano infatti, particolarmente idonei all'installazione di impianti alimentati a biomasse legnose, in considerazione della necessità di creare per questi, impianti di riscaldamento *ex-novo*; ovviamente per queste volumetrie non è stato possibile sviluppare l'AMC geografica in quanto non è stata ancora definita la loro esatta collocazione geografica.
La valutazione è stata eseguita sull'intero territorio della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese, al netto delle aree dei comuni di Abetone, San Marcello Pistoiese e Pescia, i cui Piani Strutturali (PS) sono in fase di realizzazione più o meno avanzata. Per ciascun Piano sono state esaminate le nuove volumetrie residenziali, artigianali/produttive e turistico-ricettive.
I risultati hanno evidenziato che le nuove volumetrie previste per l'intero territorio della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese risultano così suddivise:

- 464.800 mc residenziali
- 185.601 mc artigianali/produttivi
- 164.000 mc turistico – ricettivi

per un totale di 814.401 mc.

4.3.2 L'offerta di biomasse forestali

Per quanto riguarda l'offerta di biomasse forestali (wood chips), l'analisi ha portato alla definizione, per ciascuno scenario ipotizzato, delle superfici a macchiatici positivo e delle relative quantità di biomassa legnosa ritraibili. Considerato che la superficie forestale totale dell'area esaminata ammonta a 36.367 ettari, i risultati emersi sono:

- **Primo Scenario**: produzione di assortimenti tradizionali
  - Superficie potenziale a macchiatico positivo: 16.341 ha
  - Quantitativo di assortimenti tradizionali economicamente utilizzabile: 48.163 t di cui 15.252 t di legna da ardere
- **Secondo Scenario**: produzione di solo cippato
  - Superficie potenziale a macchiatico positivo: 23.539 ha
  - Quantitativo di cippato economicamente utilizzabile: 84.050 t
- **Terzo Scenario**: produzione di assortimenti tradizionali e cippato derivante dai residui delle utilizzazioni forestali
  - Superficie potenziale a macchiatico positivo: 22.208 ha
  - Quantitativo di assortimenti tradizionali economicamente utilizzabile: 62.804 t di cui 17.936 t di legna da ardere
  - Quantitativo di cippato realizzabile: 16.826 t

Se consideriamo un potere calorifico inferiore medio (PCI) del legno pari a 3,5 kWh/kg[14], ed un fabbisogno termico medio annuo dell'edificato, per l'area di studio, di circa 45 kWh/m^3, i volumi potenzialmente riscaldabili con le risorse locali, per i diversi scenari risultano:

- **Primo Scenario**: produzione di assortimenti tradizionali e solo legna da ardere per usi termici.
  Copertura del fabbisogno termico pari al 21% della volumetria ad alta vocazione.
- **Secondo Scenario**: priduzione di solo cippato
  Copertura del fabbisogno termico pari al 100% della volumetria ad alta vocazione ed al 27% di quella a vocazione medio-alta.
- **Terzo Scenario**: produzione di assortimenti tradizionali (inclusa la legna da ardere) e cippato
  Copertura del fabbisogno termico pari al 25% della volumetria ad alta vocazione, con legna da ardere;
  Copertura del fabbisogno termico pari al 23% della volumetria ad alta vocazione, con cippato.

[14] Nell'ipoesi di materiale legnoso con 30% di umidità

5 PIANO DI CONVERSIONE ENERGETICA DELL'EDIFICATO CENSITO

La realizzazione del Piano di Conversione Energetica dell'edificato pubblico e privato presente all'interno del territorio della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese, ha previsto la definizione di casi di studio, concordati con le PP.AA. locali, per i quali sono stati sviluppati progetti preliminari di conversione degli attuali impianti di riscaldamento alimentati a combustibili fossili con impianti termici alimentati a legno cippato. Ogni progetto ha previsto, il dimensionamento della caldaia, del vano caldaia, del silo di stoccaggio, della rete di teleriscaldamento, la stima del fabbisogno annuo di legno cippato, ecc. A tali parametri di natura tecnica si sono poi aggiunte valutazioni economiche legate alla stima di una serie di indicatori di convenienza finanziaria all'investimento, oltre alla definizione dell'anno ottimale di sostituzione dell'impianto preesistente con quello a biomassa.
Sulla base delle esigenze emerse presso ciascuna PP.AA., il Piano di Conversione Energetica (PCE) ha preso in considerazione ventiquattro edifici (ventuno pubblici e tre privati) così suddivisi tra le varie amministrazioni locali:
- 5 edifici presso il comune di Abetone: (3 pubblici e 2 privati)
- 4 edifici presso il comune di Cutigliano: (3 pubblici e 1 privato)
- 3 edifici presso il comune di Marliana: (pubblici)
- 3 edifici presso il comune di Piteglio: (pubblici)
- 4 edifici presso il comune di Sambuca: (pubblici)
- 4 edifici presso il comune di San Marcello: (pubblici)

Il Piano ha sviluppato 13 progetti preliminari legati sia ad impianti di teleriscaldamento, sia ad impianti termosingoli in edifici di medie e grandi dimensioni.

5.1 Dimensionamento degli impianti termici a cippato

Per procedere al dimensionamento degli impianti termici, è stato necessario acquisire una serie di parametri base relativi sia all'area che a ciascun edificio esaminato; essi sono rappresentati da:

- ✓ *Fabbisogno energetico unitario dell'edificato* stimato per l'area della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese pari a 150 kWh/m^2 di superficie utile per anno;
- ✓ *Potere Calorifico Inferiore (PCI)* (per materiale al 30% di umidità) pari a 3,5 kWh/kg
- ✓ *Massa sterica* del cippato, pari a 250 kg/mst (metro stero);
- ✓ *Potere Calorifico Inferiore del combustibile fossile tradizionale* rispettivamente pari a 9,9 kWh/litro per il gasolio e 7 kWh/litro per il GPL;
- ✓ *Ipotesi di sette mesi di accensione dell'impianto* con un intervallo tra un rifornimento e l'altro, del vano di stoccaggio del cippato, di venticinque giorni.

Per rendere più comprensibili le variabili che compaiono nelle successive schede d'impianto, riportiamo adesso un glossario per la definizione delle variabili relative al dimensionamento dell'impianto, al calcolo dei consumi energetici, alla definizione dei costi unitari e delle spese totali d'investimento e gestione ed alla valutazione finanziaria dell'investimento, per ogni caso di studio.

- Volume riscaldato (mc): è il volume lordo complessivo degli edifici riscaldati con l'impianto a biomasse, calcolato grazie ai dati forniti dai proprietari e/o con integrazioni derivanti da Cartografia Tecnica Regionale (CTR 1:10.000 e CTR 1:2.000).
- Superficie utile degli edifici (m^2): rappresenta la superficie calpestabile dell'edificato sopra specificato, calcolata anche in questo caso grazie ai dati forniti dai proprietari o con integrazioni derivanti da Cartografia Tecnica Regionale (CTR 1:10.000 e CTR 1:2.000).
- Potenza della caldaia a cippato (kW): calcolata in funzione del volume, ipotizzando, per la zona in esame, una potenza necessaria pari a 30 W/mc di edificio.
- Volume degli accumuli inerziali (mc): stimato in funzione della potenza della caldaia considerando una dimensione ottimale variabile tra i 15 ed i 20 litri/kW.
- Volume vano centrale termica (mc): calcolato in funzione della potenza della caldaia, stimando una volumetria pari a circa 0,3 mc/kW[15].
- Volume vano di stoccaggio del cippato (mc): calcolato in funzione del fabbisogno energetico annuo dell'edificato (vedi voci successive), del numero di giorni di accensione e del rendimento dell'impianto, del numero di giorni intercorrenti tra un rifornimento e l'altro ed infine del potere calorifico inferiore e della massa sterica del cippato.
- Lunghezza rete di teleriscaldamento (m): misurata da CTR in base alla distanza tra i singoli edifici riscaldati; nel caso di impianti termosingoli questa voce risulterà pari a zero.
- Potenza elettrica installata (kWel): stimata per ogni singolo impianto (termosingolo o con rete di teleriscaldamento) per valori compresi tra i 10 ed i 20 kWel in base alla potenza della caldaia.
- Potenza della caldaia di *backup* (kW): per strutture particolari per le quali il regolare funzionamento dell'impianto deve essere garantito in continuo (es. alberghi, scuole ecc.) è stata prevista l'installazione di una caldaia di *backup* alimentata a combustibili fossili tradizionali della stessa potenza di quella a cippato.
- Ore di funzionamento annue dell'impianto (h): calcolate in funzione del fabbisogno energetico dell'edificato, della potenza della caldaia a cippato e del rendimento dell'impianto.
- Fabbisogno energetico degli edifici (kWh/anno): rappresenta la quantità di calore necessaria per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria; è calcolato moltiplicando il fabbisogno energetico unitario per la superficie utile totale.
- Rendimento dell'impianto a cippato (%): è il rendimento medio stimato per l'intero impianto durante il periodo di accensione (stimato pari al 60%[16]).
- Fabbisogno di cippato (tonn/anno): calcolato in funzione del fabbisogno energetico annuo degli edifici, del rendimento dell'impianto e del potere calorifico inferiore del combustibile legnoso.
- Rendimento dell'impianto alternativo a combustibile fossile (%): è il rendimento medio stimato per l'intero impianto durante il periodo di accensione.
- Combustibile fossile sostituito (litri/anno): rappresenta la quantità di gasolio o GPL non utilizzata in considerazione dell'impiego di cippato per l'alimentazione dell'impianto termico.

---

15 Dato calcolato sulla base dei primi risultati conseguiti con il progetto *Woodland energy. La filiera legno – energia come strumento di valorizzazione delle biomasse legnose agroforestali.* Fonte: AIEL, (2007) rielaborato.

16 Dato calcolato sulla base dei primi risultati conseguiti con il progetto *Woodland energy. La filiera legno – energia come strumento di valorizzazione delle biomasse legnose agroforestali.* Fonte: AIEL, (2007) rielaborato.

5.1.1 Costi di realizzazione e gestione dell'impianto a cippato

Una volta dimensionato l'impianto e determinati i quantitativi di biomassa legnosa necessaria e la quantità di combustibile fossile risparmiato, si è proceduto con l'analisi dei costi unitari e totali di realizzazione e gestione.

5.1.1.1 Costi di realizzazione

- Costo di realizzazione caldaia e accessori impianto: Le spese totali d'investimento riferite a queste componenti vengono calcolate moltiplicando i costi unitari per la potenza della caldaia. La voce di costo è comprensiva di caldaia, sistema di alimentazione dell'impianto, sistemi di sicurezza, abbattimento ceneri e fumi e componentistica varia. I costi unitari decrescono all'aumentare della potenza della caldaia variando approssimativamente tra i 300 ed i 40 €/kW per potenze dai 50 ai 1200 kW.
- Vano centrale termica e stoccaggio cippato: Costi riferiti alla costruzione delle opere civili. Le spese totali di realizzazione vengono calcolate moltiplicando il valore unitario di 200[17] €/mc per la volumetria complessiva.
- Rete di teleriscaldamento: Voce comprensiva del costo delle tubature coibentate per il trasporto (andata e ritorno) di acqua calda e dei costi di messa in opera delle stesse (scavo e copertura). Il costo totale della rete è dato dal prodotto del costo unitario di realizzazione (€/m) per la lunghezzza della rete. I costi unitari sono stati stimati in funzione delle casistiche di messa in opera seguenti:
    - Strada bianca (€/m): 100
    - Strada asfaltata larghezza sup. 3 m (€/m): 150
    - Strada asfaltata larghezza inf. 3 m (€/m): 200
    - Lastricato in centro urbano largh. sup. 3 m (€/m): 250
    - Lastricato in centro urbano largh. inf. 3 m (€/m): 300

- Installazione e servizi di ingegneria: Comprende i costi di installazione, la progettazione dell'impianto e delle opere civili, la direzione dei lavori e il collaudo. Il costo totale di tale voce è data dal prodotto del costo unitario (costi unitari di 125 €/kW[18)] e potenza della caldaia.
- Caldaia di *backup*: Anche in questo caso la voce è stata stimata sulla base di costi unitari (€/Kw) e della potenza d'impianto. I costi unitari per la caldaia di *backup* sono stati stimati in percentuale rispetto a quelli riferiti alla voce "Caldaia e accessori dell'impianto" riportati per il cippato (55% nel caso di caldaia a gasolio e 50% nel caso di caldaia a GPL); le spese totali non comprendono l'installazione ed i servizi di ingegneria già considerati nella voce precedente.

5.1.1.2 Costi di gestione annui

- Manutenzione ordinaria (€/anno): Costi totali annui definiti come prodotto tra costi unitari (stimati a 4,90 €/kW[18)] e la potenza della caldaia.

---

17 Dato calcolato sulla base dei primi risultati conseguiti con il progetto *Woodland energy. La filiera legno – energia come strumento di valorizzazione delle biomasse legnose agroforestali.* Fonte: AIEL, (2007) rielaborato.

18 Dato calcolato sulla base dei primi risultati conseguiti con il progetto *Woodland energy. La filiera legno – energia come strumento di valorizzazione delle biomasse legnose agroforestali.* Fonte: AIEL, (2007) rielaborato.

- Manutenzione straordinaria (€/anno): Costi totali annui definiti come prodotto tra costi unitari (stimati pari a 1 €/kW[18]) e potenza della caldaia.
- Acquisto cippato (€/anno): per ricavare la spesa annua necessaria all'acquisto del combustibile legnoso il costo unitario di 60 €/tonn[18] è stato moltiplicato per la voce "Fabbisogno di cippato".
- Interessi su capitale anticipati (€/anno): rappresentano gli interessi annui (ad un saggio del 3,5%) sul capitale anticipato per l'investimento nell'impianto a biomasse, con le ipotesi di presenza o meno di finanziamento iniziale.
- Costo dell'energia elettrica (€/anno): il costo totale annuo relativo all'energia elettrica consumata dall'impianto a cippato è stato determinato moltiplicando il prezzo unitario della stessa (0,19 €/kWhel) per il numero di ore di funzionamento dell'impianto e per la potenza elettrica installata (supponendo un funzionamento medio dei vari motori pari al 60% della potenza nominale).

5.1.2 Costi di realizzazione e gestione dell'impianto/i a combustibile fossile tradizionale (gasolio o GPL)

Riferendosi all'impianto a combustibili fossili tradizionali nelle spese di realizzazione non compariranno le voci relative alla costruzione dei vani per la centrale termica e dello stoccaggio del combustibile legnoso, la rete di teleriscaldamento, la caldaia di *backup* e gli accumuli inerziali. Gli altri costi unitari e, di conseguenza, le relative spese d'investimento totali, sono state così determinate:

- Caldaia e accessori impianto, installazione e servizi di ingegneria, manutenzione ordinaria, manutenzione straordinaria, costo dell'energia elettrica: stimati in percentuale rispetto alle stesse voci di costo calcolate per l'impianto a cippato (55% nel caso di impianto a gasolio e 50% per il GPL).
- Acquisto del combustibile fossile tradizionale: costo annuo riferito all'acquisto di gasolio o GPL, ottenuto moltiplicando il prezzo unitario (1.07 €/litro per il gasolio e 0,93 €/litro per il GPL[19]) per la voce "Combustibile fossile sostituito".
- Interessi su capitale anticipato: rappresentano gli interessi annui (ad un saggio del 3,5%) sul capitale anticipato per l'investimento alternativo nell'impianto a combustibile fossile.

NB: tutti i prezzi sono I.V.A. esclusa; il costo di gasolio e GPL è comprensivo di accisa.

5.2 Valutazione degli investimenti

Ogni progetto elaborato è stato corredato di due tipi di valutazione economica: la prima, in assenza di cofinanziamenti, e la seconda, nell'ipotesi di una contribuzione pari al 50% del costo di realizzazione dell'impianto a cippato. Ciò perché, al momento, esistono numerosi strumenti normativi diretti a finanziare investimenti finalizzati a promuovere l'uso di biomasse legnose per la produzione energetica (es. Piano di Sviluppo Rurale della Regione Toscana per il periodo 2007-

[19] Prezzi al 15-01-2008; fonte Camera di Commercio di Pistoia (www.pt.camcom.it).

2013). Per tale ragione, è plausibile ipotizzare che nel medio periodo questo tipo di investimenti beneficeranno di contributi in conto capitale con entità variabili tra il 40% ed il 60% del costo di realizzazione.

5.2.1 Parametri tecnico – economici esaminati in caso di richiesta di co-finanziamento pubblico

In considerazione del fatto che tutti gli strumenti normativi richiedono il rispetto di parametri tecnico-economici per la realizzazione degli impianti, è possibile individuare una serie di vincoli di massima[20] che è opportuno rispettare:

- Costo / potenza impianto (€/kW): questa voce comprende le spese per i generatori termici, i meccanismi di controllo elettronico, i serbatoi inerziali, gli impianti di abbattimento delle emissioni e tutte le opere idrauliche ed elettriche, escluse le opere edili connesse alla centrale e quelle della rete di teleriscaldamento. Sono ammissibili tali spese nel limite massimo di 330 €/kWt di potenza termica utile dell'impianto.
- Lunghezza rete di teleriscaldamento / potenza impianto (m/kW): sono ammissibili le spese relative alla rete di distribuzione dell'energia termica nel limite massimo di 3,3 metri lineari di rete per kW di potenza termica utile installata;
- Potenza caldaia / volume riscaldato (W/mc): rappresenta il rapporto tra la potenza della caldaia a cippato ed il volume lordo riscaldato dell'edificato. Non sono soggetti a finanziamento gli impianti per i quali tale indice assume un valore superiore a 45 W/mc.

5.2.2 Strumenti per la valutazione dell'efficienza dell'investimento

5.2.2.1 Il flusso di cassa ed il valore attuale dei costi: VAC

Investire in un impianto termico alimentato con risorse rinnovabili, significa investire un capitale ad oggi disponibile, rinunciando al suo consumo, in vista di una possibilità di poter disporre di un capitale maggiore da destinare al consumo ad un tempo futuro *t*.
Tradotto, significa investire adesso un capitale in vista di una possibile riduzione dei futuri costi di gestione di un impianto termico.
Per valutare la convenienza o meno a fare tale investimento, esistono diversi strumenti di valutazione; fra questi, quello maggiormente diffuso è sicuramente legato al Valore Attuale Netto (VAN).
Il Valore Attuale Netto, è una metodologia tramite cui si definisce il valore attuale di una serie attesa di flussi di cassa, non solo sommandoli contabilmente, ma attualizzandoli sulla base del tasso di rendimento (costo opportunità dei mezzi propri).

[20] In riferimento al D.R. n. 715 del 20-2-2007 della Regione Toscana "*Approvazione bando relativo al Programma degli investimenti sulla produzione di energia per le aree rurali ed istituzione commissione tecnico-scientifica*".

Il flusso di cassa o *cash flow*, nella terminologia anglosassone, è la ricostruzione dei flussi monetari (differenza tra tutte le entrate e le uscite monetarie) di una azienda (o progetto) nell'arco del periodo di analisi. Nel caso specifico, trattandosi di un investimento che comporta solo costi di investimento e di gestione, non è quindi corretto parlare di VAN, ma piuttosto di Valore Attuale dei Costi (VAC).

$$VAC = \sum_{i=0}^{n} \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

dove "*n*" rappresenta la durata dell'investimento, "C_i" i costi totali annui sostenuti all'anno *i*-esimo, ed "*r*" è il saggio di interesse, o tasso di sconto, che nel caso specifico è pari al 4,4% facendo riferimento al tasso fisso applicato attualmente dalla Cassa Depositi e Prestiti per investimenti di durata pari a quindici anni.
La durata dell'investimento è stata prudenzialmente ipotizzata pari a quindici anni, pur sapendo che, sulla base della bibliografia esistente, il periodo medio di vita di impianti termici alimentati a cippato di legna arriva a superare i 20 anni.

Nelle successive valutazioni relative ai vari impianti termici, le spese (nella colonna "*Costi attualizzati*") sostenute all'anno 0 sono rappresentate dal totale dei costi di realizzazione dello stesso (caldaia e accessori, costruzione vano centrale termica e stoccaggio del combustibile, rete di teleriscaldamento, installazione e servizi di ingegneria ed eventuale caldaia di *backup*); mentre dall'anno 1 al 15, sono rappresentate dalla somma dei costi di gestione annui (manutenzione ordinaria e straordinaria, acquisto del cippato, spese per l'energia elettrica ed interessi sul capitale di anticipazione).
Nella colonna relativa al flusso di cassa, nell'ipotesi di finanziamento al 50%, all'anno 0 troviamo invece la metà delle spese sostenute per la sola realizzazione dell'impianto termico a cippato[21]. I costi di gestione annui rimangono invece gli stessi dell'ipotesi senza finanziamento, ad eccezione della quota relativa agli interessi sul capitale anticipato.
Allo stesso modo, per l'investimento connesso alla realizzazione dell'impianto/i alimentati a combustibili fossili, avremo all'anno 0 i costi di realizzazione (caldaia e accessori, installazione e servizi di ingegneria), mentre dall'anno 1 al 15 avremo i costi di gestione (manutenzione ordinaria e straordinaria, spese per l'energia elettrica, spese per l'acquisto del combustibile e interessi sul capitale anticipato).

Per valutare quindi l'efficienza finanziaria dell'investimento legato alla realizzazione di un impianto termico alimentato con combustibili rinnovabili, dovremo quindi comparare i Valore Attuale dei Costi (VAC) connessi sia all'investimento in un impianto a rinnovabili, sia a quello in impainto termico a combustibili fossili. Solo in tal modo sarà possibile valutare la convenienza alla sostituzione dell'impianto.
Formalmente avremo:

$$\Delta VAC = VAC^R - VAC^F = \sum_{i=0}^{n} \frac{C_i^R}{(1+r)^i} - \sum_{i=0}^{n} \frac{C_i^F}{(1+r)^i}$$

dove "C^R_i" e "C^F_i" rappresentano rispettivamente i costi totali annui sostenuti all'anno *i*-esimo per l'impianto ad energie rinnovabili (R) e per l'impianto a combustibili fossili (F).

21 La caldaia di *backup* è ipotizzata non finanziata.

5.2.2.2 Il saggio di rendimento interno - SRI

La valutazione finanziaria ha previsto, oltre al calcolo del (ΔVAC) anche il calcolo del Saggio di Rendimento Interno (SRI).
Il Saggio di Rendimento Interno o IRR (Internal Rate of Return) in linguaggio anglosassone, si basa su una logica inversa rispetto al VAN. In questo caso, infatti, data una successione di flussi di cassa attesi attualizzati, viene posta uguale a zero la loro sommatoria dove l'SRI è il tasso di attualizzazione che realizza l'espressione. Pertanto, l'SRI è il tasso che rende pari a zero la formula del VAN.
Nel caso specifico, l'SRI sarà il tasso di attualizzazione che rende pari a zero la differenza dei costi attualizzati dei due investimenti, ovvero, che rende pari a zero il ΔVAC.
Qual'è il significato di tale parametro? Esso rappresenta il costo massimo del capitale, senza che venga meno la convenienza economica dell'investimento[22]. L'investimento ha, infatti, convenienza economica finché il suo rendimento annuo (in %), è maggiore rispetto al suo costo relativo. Come si interpreta quindi il risultato? Vi sono tre possibili interpretazioni, in relazione a chi è il detentore del capitale:

1. nel caso si faccia ricorso ad un finanziamento: allora, affinché l'investimento risulti conveniente, l'SRI che mi azzera il ΔVAC, dovrà essere necessariamente superiore al tasso che mi viene applicato dalla società finanziaria. In tal modo il costo del capitale investito sarà inferire rispetto ai risparmi conseguiti con la sostituzione dell'impianto termico tradizionale con quello alimentato a cippato di legno;
2. analogamente, l'SRI rappresenta anche il massimo costo del capitale investito, ovvero il massimo saggio applicabile dalla società finanziaria, che mi garantisce una convenienza economica dell'investimento;
3. nel caso in cui non si faccia ricorso ad un finanziamento, ma si impieghi capitale proprio, la la valutazione è riconducibile ad una scelta fra investimenti alternativi: allora, anche in questo caso sarà bene che l'SRI che mi azzera il ΔVAC sia superiore al saggio dell'investimento alternativo, ovvero sia superiore al rendimento annuo che tale capitale mi garantiva prima[23].

Da quanto appena esposto, si deduce che quanto maggiore è l'SRI e tanto maggiore è il rendimento annuo offerto dall'investimento.

5.2.2.3 Il Tempo di Ritorno (o Pay-back period)

L'analisi degli investimenti ha previsto anche la determinazione del tempo di ritorno dell'investimento, ovvero, il pay-back period. Si tratta di un indicatore molto usato per valutare la convenienza di un investimento. Il concetto del Pay-Back Period PBP è semplice ed intuitivo; esso risponde alla domanda: fra quanto tempo recupererò l'investimento iniziale?

---

[22] In altre parole, rappresenta il massimo interesse che posso pagare sul capitale anticipato (leggi prestito) senza che venga meno la convenienza economica dell'investimento.

[23] Ovviamente, i due investimenti alternativi per poter essere comparati devono avere stessa durata (nel nostro caso 15 anni), e stesso rischio.

Il pay-back period, infatti, non è altro che il numero di periodi (anni) necessari affinché i flussi di cassa netti cumulati, eguaglino l'investimento iniziale. Formalmente, nella sua versione più semplice, il Pay-Back Period (PBP) è dato da:

$$PBP_{(anni)} = \frac{C_0}{(R_{ma} - C_{ma})}$$

dove:
PBP = *Pay-back period*
C_0 = Investimento iniziale
R_{ma} = Ricavi medi annui
C_{ma} = Costi medi annui

Nel caso specifico, l'investimento iniziale C_0 è rappresentato dagli extracosti che è necessario sostenere per installare un impianto alimentato a combustibile legnoso, al posto di un impianto a combustibile fossile; mentre, i flussi di cassa netti che si verificano ogni anno ($R_{ma} - C_{ma}$), sono rappresentati dai risparmi netti che è possibile avere sui costi di gestione, grazie all'introduzione di un impianto alimentato con cippato di legna.
Come risulta evidente dall'esame dell'equazione precedente, nella sua formulazione tradizionale il PBP non tiene conto del valore finanziario del tempo, ovvero, non considera l'effetto finanziario legato alla distribuzione nel tempo dei flussi di cassa.
Nel caso specifico, il problema è stato risolto facendo coincidere il PBP con il momento in cui la somma cumulata dei ΔVAC era pari a zero, formalmente:

$$\Delta VAC = VAC^R - VAC^F = \sum_{i=0}^{\pi} \frac{C_i^R}{(1+r)^i} - \sum_{i=0}^{\pi} \frac{C_i^F}{(1+r)^i} = 0$$

dove:
π = numero di anni necessari per recuperare l'investimento iniziale

In altre parole, il PBP coincide con il momento π in cui il valore attuale dei costi dell'impianto ad energia rinnovabile (VAC^R) uguaglia il valore attuale dei costi dell'impianto a combustibili fossili (VAC^F). Poiché il PBP permette di valutare in quanto tempo (anni) saranno recuperati gli extracosti iniziali dell'investimento, per effetto dei risparmi conseguiti con l'installazione di un impianto alimentato a legno cippato, questo indicatore è classificabile come un indicatore di "rischio" e non di rendimento. E' quindi utile per impostare una strategia di investimento tesa alla minimizzazione dei rischi. In altre parole, quanto più tempo lasciamo il Capitale investito (C_0) in una certa attività, tanto più saremo esposti a eventuali rischi di fallimento; per cui più basso è il PBP, meglio è.
Di solito, ogni impresa definisce un limite temporale (*cutoff period*) entro il quale "deve rientrare dell'investimento". Il PBP, gli permette di capire se vale la pena investire in tale settore.
I difetti di questo indicatore sono essenzialmente riconducibili al fatto che non considera i flussi conseguiti nei periodo successivi al PBP ed al fatto che non considera l'entità del capitale investito.
Il PBP ha però il vantaggio di essere calcolabile con relativa semplicità e di poter essere facilmente interpretato anche dai non addetti ai lavori.

5.2.2.4 Il prezzo di Break Even Point (BEP) del legno cippato.

Il *Break Even Point* (BEP) o punto di pareggio o di indifferenza, rappresenta, in economia aziendale, un valore che indica la quantità, espressa in volumi di produzione o fatturato, di prodotto venduto necessaria per coprire i costi precedentemente sostenuti, al fine di chiudere il periodo di riferimento senza profitti né perdite.
Nel caso in esame, non essendo la tipologia di analisi riconducibile a quella di un'azienda produttrice, la valutazione del BEP assume connotazioni diverse.
In questo caso, la stima del BEP del prezzo delle biomasse (cippato) è rappresentata dal prezzo delle biomasse che consente di eguagliare il flusso dei costi annui attualizzati derivati dall'investimento in impianti termici alimentati a biomassa (legno cippato) con il flusso dei costi annui attualizzati derivati dall'investimento in impianti termici alimentati a combustibili fossili (gasolio o metano), considerando un determinato saggio di sconto[24].
In questo caso quindi, il BEP del prezzo delle biomasse rappresenta quel prezzo che consente di uguagliare il (VAC^R) con il (VAC^F).

$$\Delta VAC_{(p)} = VAC^{R}_{(p)} - VAC^{F} = 0$$

Con *p* prezzo del cippato legnoso di origine forestale.
Cosa significa e come si interpreta? Corrisponde al prezzo massimo, del combustibile legnoso, che l'utente può sostenere pur garantendo la convenienza economica dell'investimento nei quindici anni considerati.
L'analisi del B.E.P. del prezzo mi permette anche di verificare la sostenibilità economica della filiera. Infatti, se i costi di produzione unitari (€/t) del cippato superano il prezzo di B.E.P. del consumatore, significa che non esistono i presupposti economici per garantire la sostenibilità economica della filiera. Ciò perché il produttore non è in grado di vendere il cippato ad un prezzo inferiore al prezzo massimo sostenibile dal consumatore (B.E.P. del consumatore). Viceversa, se i costi di produzioni unitari del produttore sono molto inferiori rispetto al B.E.P. del consumatore, significa che esistono ampi margini di sicurezza e di convenienza economica sia per il produttore, che per il consumatore e che quindi la filiera è strutturabile. Gli imprenditori forestali possono quindi investire nel nuovo settore perché esistono un gran numero di utenze (consumatori) che sono disposte ad acquistare il cippato di legno ai prezzi di mercato attuali con grandi margini di sicurezza sul prezzo al consumo[25].

---

[24] Nel nostro caso il saggio di sconto utilizzato è stato del 4,4% applicato dalla Cassa Depositi e Prestiti per investimenti di durata pari a quindici anni

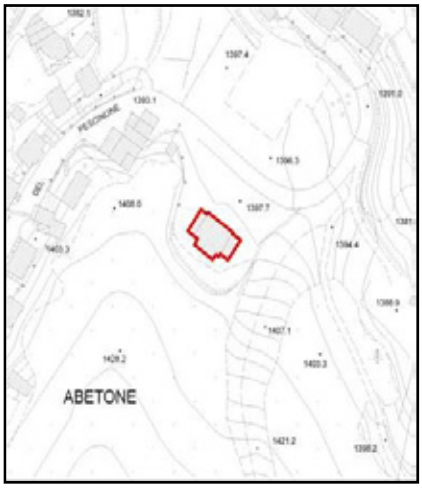
[25] Il margine di sicurezza del prezzo al consumo è dato dal rapporto $\frac{p_{BEP} - p_{mercato}}{p_{mercato}} \cdot 100$ e dice di quanto può aumentare il prezzo di mercato del cippato pur garantendo la convenienza economica dell'investimento per il consumatore.

5.3 Schedatura degli edifici ed analisi degli investimenti

5.3.1 Comune di Abetone:

5.3.1.1 schedatura degli edifici

- Palazzo municipale -



Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 1400 m s.l.m.

Zona altimetrica: F

Esposizione: Nord-Est

Tipologia: Pubblico

Destinazione d'uso: uffici amministrativi

Localizzazione della struttura: in centro abitato

Anno di costruzione: anni '30

Superficie utile: 812 mq

Superficie delle pareti esterne: 1047 mq

Volume lordo riscaldato: 3459 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

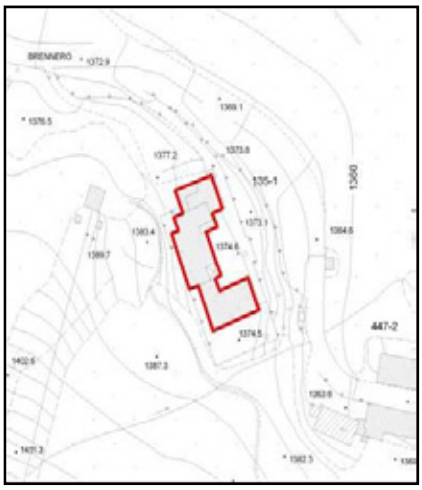
Tipo di combustibile: gasolio

Anno di installazione della caldaia: primi anni '90

Potenza caldaia attuale: dato non disponibile

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente sul territorio comunale

- Scuole pubbliche -



Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 1380 m s.l.m.

Zona altimetrica: F

Esposizione: Nord-Est

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: edificio scolastico

Localizzazione della struttura: in centro abitato

Anno di costruzione: edificio costruito negli anni '50 ed ampliato nel 1985

Superficie utile: 1102 mq

Superficie delle pareti esterne: 2156 mq

Volume lordo riscaldato: 5811 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

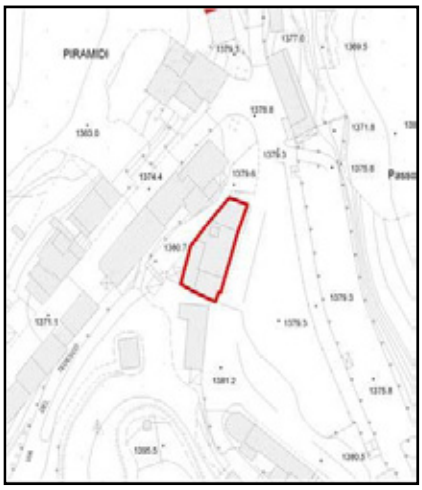
Tipo di combustibile: GPL

Anno di installazione della caldaia: 1994

Potenza caldaia attuale: dato non disponibile

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente sul territorio comunale

- Albergo Granduca -



Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 1380 m s.l.m.

Zona altimetrica: F

Esposizione: Sud-Est

Tipologia: privato

Destinazione d'uso: turistico - ricettivo

Localizzazione della struttura: in centro abitato

Anno di costruzione: 1972

Superficie utile: 2800 mq

Superficie delle pareti esterne: 2742 mq

Volume lordo riscaldato: 9581 mc

Tipo di copertura: Falde / Padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

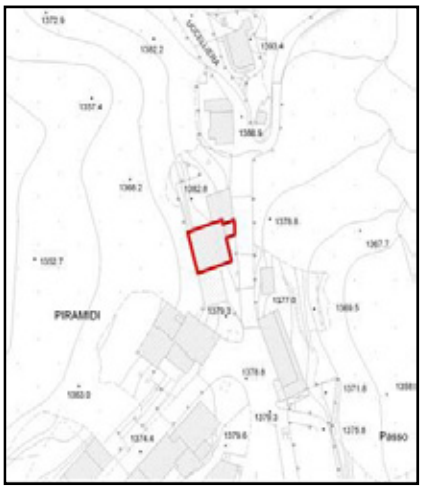
Tipo di combustibile: gasolio

Anno di installazione della caldaia: 1998

Potenza caldaia attuale: dato non disponibile

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente sul territorio comunale

- Albergo Regina -



Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 1380 m s.l.m.

Zona altimetrica: F

Esposizione: Sud-Ovest

Tipologia: privato

Destinazione d'uso: turistico - ricettivo

Localizzazione della struttura: in centro abitato

Anno di costruzione: edificio costruito nell'800

Superficie utile: 974 mq

Superficie delle pareti esterne: 1256 mq

Volume lordo riscaldato: 3581 mc

Tipo di copertura: Falde / Padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

Tipo di combustibile: gasolio

Anno di installazione della caldaia: 1995

Potenza caldaia attuale: dato non disponibile

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente sul territorio comunale

- Ambulatorio medico e Misericordia -

Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 1340 m s.l.m.

Zona altimetrica:F

Esposizione: Sud-Ovest

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: struttura sanitaria

Localizzazione della struttura: in piccolo agglomerato

Anno di costruzione: edificio ristrutturato nel 1971

Superficie utile: 323 mq

Superficie delle pareti esterne: 477 mq

Volume lordo riscaldato: 1685 mc

Tipo di copertura: Falde / Padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

Tipo di combustibile: gasolio

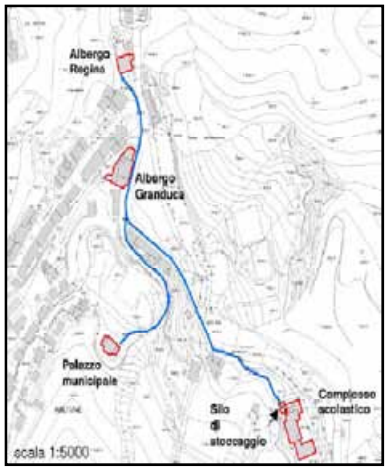
Anno di installazione della caldaia: primi anni '70

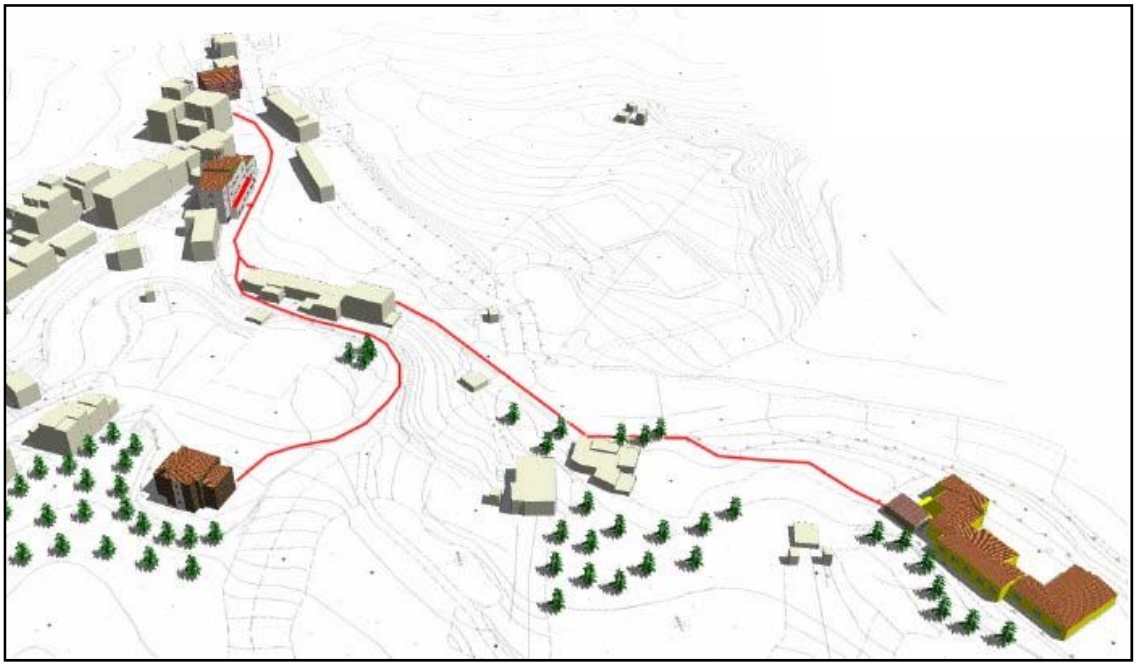
Potenza caldaia attuale: dato non disponibile

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente sul territorio comunale

5.3.1.2 Comune di Abetone: analisi degli investimenti

Il primo caso di studio prevede la realizzazione di un impianto di teleriscaldamento della potenza di 673 kW che alimenti il palazzo municipale e le scuole pubbliche, oltre a due edifici privati: gli alberghi Granduca e Regina.
La lunghezza complessiva della rete di teleriscaldamento è di 673 metri con una volumetria del silo di stoccaggio pari a circa 200 mc.





CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO A CIPPATO

Municipio, scuole comunali, alberghi Granduca e Regina	
Dimensionamento dell'impianto	
Volume riscaldato (mc)	22.432
Superficie utile dell'edificato (m^2)	5.688
Potenza della caldaia a cippato (kW)	673
Volume accumuli inerziali (mc)	12
Volume vano centrale termica (mc)	206
Volume vano di stoccaggio del cippato (mc)	199
Lunghezza rete di teleriscaldamento (m)	673
Potenza elettrica installata (kWel)	20
Potenza caldaia di backup (kW)	673
Fabbisogno energetico dell'impianto	
Ore di funzionamento annue dell'impianto (h)	2.113
Fabb. energetico dell'edificato (kWh/anno)	853.200
Rendimento dell'impianto a cippato (%)	60%
Fabbisogno di cippato (tonn/anno)	418
Rendimento impianti alternativi a gasolio (%)	85%
Gasolio sostituito (litri/anno)	101.390

Tabella 6. Caratteristiche dell'impianto a cippato: municipio, scuole comunali, alberghi Granduca e Regina (Comune di Abetone)

Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto			
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**	**Costi di realizzazione con finanz. 50% (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	159	107.106	53.553
Vano centrale term. e stocc. cippato (€/mc)	200	81.017	40.509
Rete di teleriscaldamento (€/m)	200	134.600	67.300
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	125	84.120	42.060
Caldaia backup (€/kW)	88	58.908	58.908
	TOTALE (€)	**465.752**	**262.330**

Costi unitari e totali di gestione			
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**	**Costi di gestione annui con finanz. 50% (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	4.90	3.298	3.298
Manutenzione straordinaria (€/kW)	1.00	673	673
Acquisto cippato (€/tonn)	60.00	25.094	25.094
Interessi su capitale (€/anno)	-	16.301	9.182
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	4.818	4.818
	TOTALE (€)	**50.184**	**43.064**

Tabella 7. Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato: municipio, scuole comunali, alberghi Granduca e Regina (Comune di Abetone)

Costi di installazione e gestione degli impianti alternativi a gasolio

Costi unitari e totali di realizzazione degli impianti		
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianti (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	88	58.908
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	69	46.266
	TOTALE (€)	**105.174**

Costi unitari e totali di gestione		
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	2.70	1.814
Manutenzione straordinaria (€/kW)	0.55	370
Acquisto del gasolio (€/litro)	1.07	108.488
Interessi su capitale (€/anno)	-	3.681
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	2.650
	TOTALE (€)	**117.002**

Tabella 8. Costi di installazione e gestione dell'impianto a combustibili fossili: municipio, scuole comunali, alberghi Granduca e Regina (Comune di Abetone)

VALUTAZIONE FINANZIARIA DELL'INVESTIMENTO

PARAMETRI TECNICO - ECONOMICI PER FINANZIAMENTO		
Parametro	**Valore impianto**	**Esempio di valore max. per finanz.**
Costo / potenza impianto (€/kW)	159	**330**
Lungh. rete telerisc. / potenza imp. (m/kW)	1.0	**3,3**
Potenza caldaia / volume riscaldato (W/mc)	30	**45**

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A CIPPATO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno	**Costi attualizzati (€)**	**Costi attualizzati con finanz. del 50% (€)**
0	-465751.71	-262330.06
1	-48068.63	-41248.94
2	-46042.75	-39510.48
3	-44102.25	-37845.29
4	-42243.54	-36250.27
5	-40463.16	-34722.49
6	-38757.81	-33259.09
7	-37124.34	-31857.36
8	-35559.71	-30514.71
9	-34061.03	-29228.65
10	-32625.51	-27996.79
11	-31250.49	-26816.85
12	-29933.42	-25686.64
13	-28671.85	-24604.06
14	-27463.46	-23567.11
15	-26306.00	-22573.86
	-1008425.66	**-728012.66**
	VAC	**VAC con finanziamento del 50%**

Tabella 9. Flusso di cassa relativo all'impianto a cippato: municipio, scuole comunali, alberghi Granduca e Regina (Comune di Abetone)

FLUSSO DI CASSA RELATIVO AGLI IMPIANTI A GASOLIO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno di riferimento	**Costi (€)**	**Costi attualizzati (€)**
0	-105.174	-105.174
1	-117.002	-112.071
2	-117.002	-107.348
3	-117.002	-102.824
4	-117.002	-98.490
5	-117.002	-94.339
6	-117.002	-90.363
7	-117.002	-86.555
8	-117.002	-82.907
9	-117.002	-79.413
10	-117.002	-76.066
11	-117.002	-72.860
12	-117.002	-69.789
13	-117.002	-66.848
14	-117.002	-64.031
15	-117.002	-61.332
		-1.370.409
		VAC

Tabella 10. Flusso di cassa relativo all'impianto a combustibili fossili: municipio, scuole comunali, alberghi Granduca e Regina (Comune di Abetone)

ΔVAC SENZA E CON FINANZIAMENTO		
Anno	***ΔVAC (€)***	***ΔVAC con finanz. del 50% (€)***
0	-360.577	-157.156
1	-296.575	-86.333
2	-235.270	-18.496
3	-176.548	46.482
4	-120.302	108.722
5	-66.426	168.339
6	-14.820	225.443
7	34.610	280.140
8	81.957	332.533
9	127.309	382.717
10	170.749	430.786
11	212.359	476.829
12	252.215	520.931
13	290.391	563.175
14	326.958	603.639
15	**361.984**	**642.397**

	INDICI DI EFFICIENZA FINANZIARIA	
	senza finanziamento iniziale	**con finanziamento del 50%**
Tempo di ritorno (anni)	**7**	**3**
ΔVAC (€)	**361.984**	**642.397**
Saggio di Rendimento Interno (%)	**16.7%**	**46.9%**
Prezzo di BEP del cippato (€/tonn)	**140.04**	**202.04**

Tabella 11. Indici di valutazione finanziaria dell'investimento: municipio, scuole comunali, alberghi Granduca e Regina (Comune di Abetone)

Il secondo caso di studio prevede la realizzazione di un impianto termosingolo della potenza di 51 kW che alimenti l'ambulatorio medico e la Misericordia.
La volumetria del silo di stoccaggio è pari a 11 mc.

CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO A CIPPATO

Ambulatorio medico e Misericordia	
Dimensionamento dell'impianto	
Volume riscaldato (mc)	1,685
Superficie utile dell'edificato (m^2)	323
Potenza della caldaia a cippato (kW)	51
Volume accumuli inerziali (mc)	1
Volume vano centrale termica (mc)	15
Volume vano di stoccaggio del cippato (mc)	11
Lunghezza rete di teleriscaldamento (m)	0
Potenza elettrica installata (kWel)	10
Potenza caldaia di backup (kW)	51
Fabbisogno energetico dell'impianto	
Ore di funzionamento annue dell'impianto (h)	1,597
Fabb. energetico dell'edificato (kWh/anno)	48,450
Rendimento dell'impianto a cippato (%)	60%
Fabbisogno di cippato (tonn/anno)	24
Rendimento impianto alternativo a gasolio (%)	85%
Gasolio sostituito (litri/anno)	5,758

Tabella 12. Caratteristiche dell'impianto a cippato: ambulatorio medico e Misericordia (Comune di Abetone)

Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto			
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**	**Costi di realizzazione con finanz. 50% (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	300	15.159	7.579
Vano centrale term. e stocc. cippato (€/mc)	200	5.356	2.678
Rete di teleriscaldamento (€/m)	0	0	0
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	125	6.319	3.159
Caldaia backup (€/kW)	165	8.337	8.337
	TOTALE (€)	**35.170**	**21.754**

Costi unitari e totali di gestione			
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**	**Costi di gestione annui con finanz. 50% (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	4.90	248	248
Manutenzione straordinaria (€/kW)	1.00	51	51
Acquisto cippato (€/tonn)	60.00	1.425	1.425
Interessi su capitale (€/anno)	-	1.231	761
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	1.821	1.821
	TOTALE (€)	**4.775**	**4.306**

Tabella 13. Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato: ambulatorio medico e Misericordia (Comune di Abetone)

Costi di installazione e gestione dell'impianto alternativo a gasolio

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto		
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	165	8.337
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	69	3.475
	TOTALE (€)	**11.813**

Costi unitari e totali di gestione		
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	2.70	136
Manutenzione straordinaria (€/kW)	0.55	28
Acquisto del gasolio (€/litro)	1.07	6.161
Interessi su capitale (€/anno)	-	413
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	1.002
	TOTALE (€)	**7.740**

Tabella 14. Costi di installazione e gestione dell'impianto a combustibili fossili: ambulatorio medico e Misericordia (Comune di Abetone)

VALUTAZIONE FINANZIARIA DELL'INVESTIMENTO

PARAMETRI TECNICO - ECONOMICI PER FINANZIAMENTO		
Parametro	**Valore impianto**	**Esempio di valore max. per finanz.**
Costo / potenza impianto (€/kW)	300	**330**
Lungh. rete telerisc. / potenza imp. (m/kW)	0.0	**3,3**
Potenza caldaia / volume riscaldato (W/mc)	30	**45**

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A CIPPATO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno	**Costi attualizzati (€)**	**Costi attualizzati con finanz. del 50% (€)**
0	-35170.32	-21753.81
1	-4574.02	-4124.23
2	-4381.24	-3950.41
3	-4196.59	-3783.92
4	-4019.73	-3624.44
5	-3850.31	-3471.69
6	-3688.04	-3325.37
7	-3532.60	-3185.22
8	-3383.72	-3050.98
9	-3241.11	-2922.40
10	-3104.51	-2799.23
11	-2973.67	-2681.25
12	-2848.34	-2568.25
13	-2728.30	-2460.01
14	-2613.31	-2356.33
15	-2503.17	-2257.02
	-86808.99	**-68314.57**
	VAC	**VAC con finanziamento del 50%**

Tabella 15. Flusso di cassa relativo all'impianto a cippato: ambulatorio medico e Misericordia (Comune di Abetone)

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A GASOLIO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno di riferimento	**Costi (€)**	**Costi attualizzati (€)**
0	-11.813	-11.813
1	-7.740	-7.413
2	-7.740	-7.101
3	-7.740	-6.802
4	-7.740	-6.515
5	-7.740	-6.241
6	-7.740	-5.977
7	-7.740	-5.726
8	-7.740	-5.484
9	-7.740	-5.253
10	-7.740	-5.032
11	-7.740	-4.820
12	-7.740	-4.617
13	-7.740	-4.422
14	-7.740	-4.236
15	-7.740	-4.057
		-95.508
		VAC

Tabella 16. Flusso di cassa relativo all'impianto a combustibili fossili: ambulatorio medico e Misericordia (Comune di Abetone)

ΔVAC SENZA E CON FINANZIAMENTO		
Anno	***ΔVAC (€)***	***ΔVAC con finanz. del 50% (€)***
0	-23.358	-9.941
1	-20.518	-6.652
2	-17.798	-3.501
3	-15.193	-484
4	-12.698	2.407
5	-10.308	5.176
6	-8.018	7.828
7	-5.825	10.368
8	-3.725	12.802
9	-1.713	15.132
10	214	17.365
11	2.060	19.503
12	3.829	21.552
13	5.522	23.514
14	7.145	25.393
15	**8.699**	**27.193**

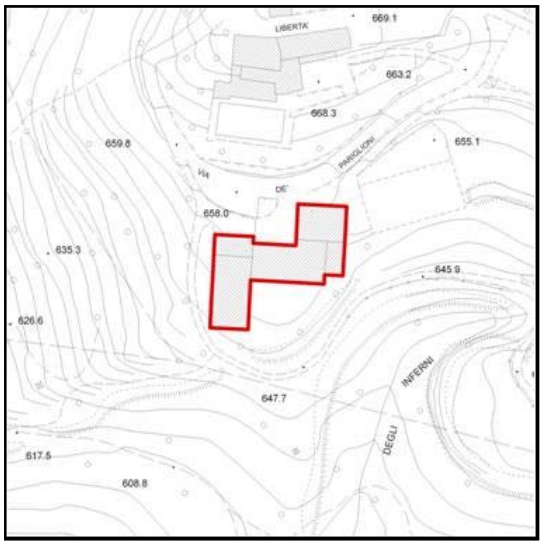
	INDICI DI EFFICIENZA FINANZIARIA	
	senza finanziamento iniziale	**con finanziamento del 50%**
Tempo di ritorno (anni)	**10**	**4**
ΔVAC (€)	**8.699**	**27.193**
Saggio di Rendimento Interno (%)	**9.4%**	**34.1%**
Prezzo di BEP del cippato (€/tonn)	**93.87**	**165.88**

Tabella 17. Indici di valutazione finanziaria dell'investimento: ambulatorio medico e Misericordia (Comune di Abetone)

5.3.2 Comune di Cutigliano

5.3.2.1 Schedatura degli edifici

- Scuola elementare, media e palestra -



Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 658 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Sud

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: edificio scolastico

Localizzazione della struttura: in centro abitato

Anno di costruzione: 1965

Superficie utile: 2570 mq

Superficie delle pareti esterne: 2555 mq

Volume lordo riscaldato: 9000 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

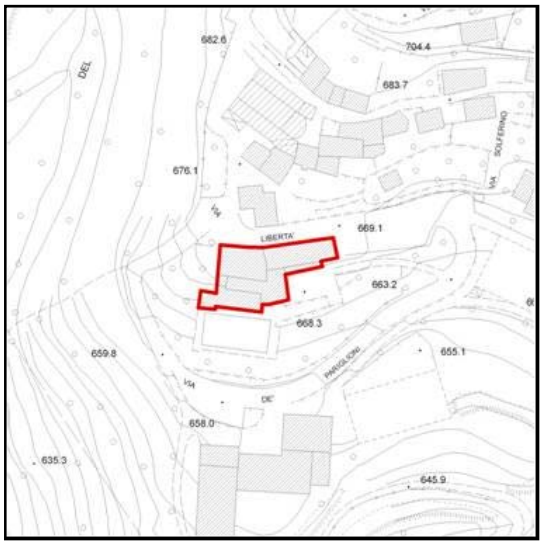
Tipo di combustibile: gasolio

Anno di installazione della caldaia: 1993

Potenza caldaia attuale: 2 X 115 kW

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente sul territorio comunale

- Complesso turistico – ricettivo Rondò Priscilla -



Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 678 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Sud-Ovest

Tipologia: privato

Destinazione d'uso: turistico - ricettivo

Localizzazione della struttura: in centro abitato

Anno di costruzione: edificio in ristrutturazione

Superficie utile: 700 mq

Superficie delle pareti esterne: 3457 mq

Volume lordo riscaldato: 2230 mc

Tipo di copertura: Falde / Padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

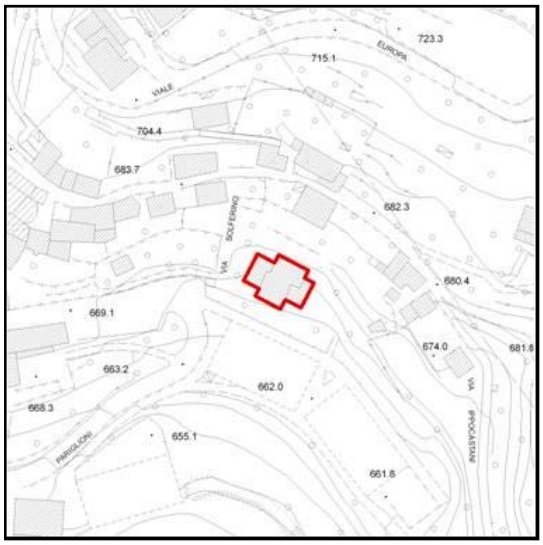
Tipo di combustibile: gasolio

Anno di installazione della caldaia: edificio in corso di ristrutturazione

Potenza caldaia attuale: -

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente sul territorio comunale

- Scuola materna -



Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 678 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Sud-Ovest

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: edificio scolastico

Localizzazione della struttura: in centro abitato

Anno di costruzione: 1965

Superficie utile: 730 mq

Superficie delle pareti esterne: 843 mq

Volume lordo riscaldato: 2500 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

Tipo di combustibile: gasolio

Anno di installazione della caldaia: dato non disponibile

Potenza caldaia attuale: dato non disponibile

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente sul territorio comunale

- Scuola materna ed elementare Pian degli Ontani -

Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 880 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Nord

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: edificio scolastico

Localizzazione della struttura: in centro abitato

Anno di costruzione: 1961

Superficie utile: 664 mq

Superficie delle pareti esterne: 1575 mq

Volume lordo riscaldato: 2440 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

Tipo di combustibile: gasolio

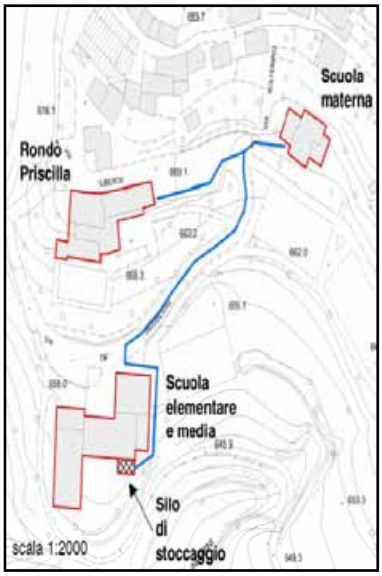
Anno di installazione della caldaia: dato non disponibile

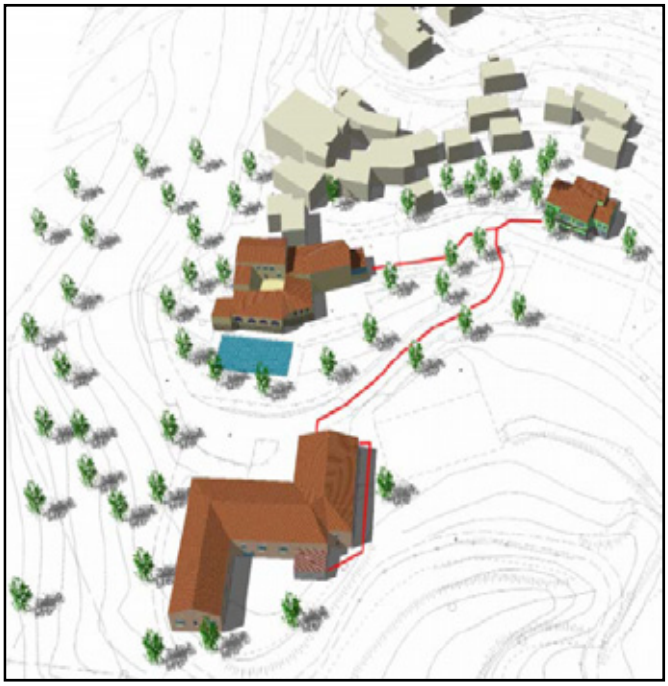
Potenza caldaia attuale: 116 kW

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente sul territorio comunale

5.3.2.2 Comune di Cutigliano: analisi degli investimenti

Il primo caso di studio prevede la realizzazione di un impianto di teleriscaldamento della potenza di 412 kW che alimenti le scuole pubbliche e la palestra comunale, oltre ad un edificio privato: il complesso turistico – ricettivo Rondò Priscilla.
La lunghezza complessiva della rete di teleriscaldamento è di 235 metri con una volumetria del silo di stoccaggio pari a 140 mc.





CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO A CIPPATO

Scuole materna, elementare, media, palestra e Rondò Priscilla	
Dimensionamento dell'impianto	
Volume riscaldato (mc)	13,730
Superficie utile dell'edificato (m^2)	4,000
Potenza della caldaia a cippato (kW)	412
Volume accumuli inerziali (mc)	7
Volume vano centrale termica (mc)	126
Volume vano di stoccaggio del cippato (mc)	140
Lunghezza rete di teleriscaldamento (m)	235
Potenza elettrica installata (kWel)	15
Potenza caldaia di backup (kW)	412
Fabbisogno energetico dell'impianto	
Ore di funzionamento annue dell'impianto (h)	2,428
Fabb. energetico dell'edificato (kWh/anno)	600,000
Rendimento dell'impianto a cippato (%)	60%
Fabbisogno di cippato (tonn/anno)	294
Rendimento impianti alternativi a gasolio (%)	85%
Gasolio sostituito (litri/anno)	71,301

Tabella 18. Caratteristiche dell'impianto a cippato: scuole, palestra e Rondò Priscilla (Comune di Cutigliano)

Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto			
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**	**Costi di realizzazione con finanz. 50% (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	218	89.868	44.934
Vano centrale term. e stocc. cippato (€/mc)	200	53.219	26.610
Rete di teleriscaldamento (€/m)	200	47.000	23.500
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	125	51.488	25.744
Caldaia backup (€/kW)	120	49.427	49.427
	TOTALE (€)	**291.002**	**170.215**

Costi unitari e totali di gestione			
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**	**Costi di gestione annui con finanz. 50% (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	4.90	2.018	2.018
Manutenzione straordinaria (€/kW)	1.00	412	412
Acquisto cippato (€/tonn)	60.00	17.647	17.647
Interessi su capitale (€/anno)	-	10.185	5.958
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	4.151	4.151
	TOTALE (€)	**34.414**	**30.186**

Tabella 19. Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato: scuole, palestra e Rondò Priscilla (Comune di Cutigliano)

Costi di installazione e gestione degli impianti alternativi a gasolio

Costi unitari e totali di realizzazione degli impianti		
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianti (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	120	49.427
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	69	28.318
	TOTALE (€)	**77.746**

Costi unitari e totali di gestione		
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	2.70	1.110
Manutenzione straordinaria (€/kW)	0.55	227
Acquisto del gasolio (€/litro)	1.07	76.292
Interessi su capitale (€/anno)	-	2.721
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	2.283
	TOTALE (€)	**82.633**

Tabella 20. Costi di installazione e gestione dell'impianto a combustibili fossili: scuole, palestra e Rondò Priscilla (Comune di Cutigliano)

VALUTAZIONE FINANZIARIA DELL'INVESTIMENTO

PARAMETRI TECNICO - ECONOMICI PER FINANZIAMENTO		
Parametro	**Valore impianto**	**Esempio di valore max. per finanz.**
Costo / potenza impianto (€/kW)	218	**330**
Lungh. rete telerisc. / potenza imp. (m/kW)	0.6	**3,3**
Potenza caldaia / volume riscaldato (W/mc)	30	**45**

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A CIPPATO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno	**Costi attualizzati (€)**	**Costi attualizzati con finanz. del 50% (€)**
0	-291002.36	-170214.88
1	-32963.45	-28914.06
2	-31574.19	-27695.46
3	-30243.48	-26528.22
4	-28968.85	-25410.17
5	-27747.94	-24339.25
6	-26578.48	-23313.46
7	-25458.32	-22330.90
8	-24385.36	-21389.75
9	-23357.63	-20488.26
10	-22373.21	-19624.77
11	-21430.27	-18797.68
12	-20527.08	-18005.44
13	-19661.96	-17246.59
14	-18833.29	-16519.72
15	-18039.55	-15823.49
	-663145.40	**-496642.08**
	VAC	**VAC con finanziamento del 50%**

Tabella 21. Flusso di cassa relativo all'impianto a cippato: scuole, palestra e Rondò Priscilla (Comune di Cutigliano)

FLUSSO DI CASSA RELATIVO AGLI IMPIANTI A GASOLIO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno di riferimento	**Costi (€)**	**Costi attualizzati (€)**
0	-77.746	-77.746
1	-82.633	-79.151
2	-82.633	-75.815
3	-82.633	-72.620
4	-82.633	-69.559
5	-82.633	-66.627
6	-82.633	-63.819
7	-82.633	-61.130
8	-82.633	-58.553
9	-82.633	-56.086
10	-82.633	-53.722
11	-82.633	-51.458
12	-82.633	-49.289
13	-82.633	-47.212
14	-82.633	-45.222
15	-82.633	-43.316
		-971.323
		VAC

Tabella 22. Flusso di cassa relativo all'impianto a combustibili fossili: scuole, palestra e Rondò Priscilla (Comune di Cutigliano)

ΔVAC SENZA E CON FINANZIAMENTO		
Anno	***ΔVAC (€)***	***ΔVAC con finanz. del 50% (€)***
0	-213.257	-92.469
1	-167.070	-42.233
2	-122.829	5.887
3	-80.453	51.978
4	-39.863	96.127
5	-983	138.415
6	36.258	178.921
7	71.929	217.720
8	106.097	254.883
9	138.825	290.481
10	170.174	324.578
11	200.201	357.238
12	228.963	388.521
13	256.512	418.486
14	282.901	447.188
15	**308.177**	**474.681**

	INDICI DI EFFICIENZA FINANZIARIA	
	senza finanziamento iniziale	**con finanziamento del 50%**
Tempo di ritorno (anni)	**6**	**2**
ΔVAC (€)	**308.177**	**474.681**
Saggio di Rendimento Interno (%)	**21.4%**	**56.7%**
Prezzo di BEP del cippato (€/tonn)	**156.90**	**209.25**

Tabella 23. Indici di valutazione finanziaria dell'investimento: scuole, palestra e Rondò Priscilla (Comune di Cutigliano)

Il secondo caso di studio prevede la realizzazione di un impianto termosingolo della potenza di 73 kW che alimenti le scuole materna ed elementare di Pian degli Ontani.
La volumetria del silo di stoccaggio è pari a 23 mc.

CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO A CIPPATO

Scuola materna ed elementare di Pian degli Ontani	
Dimensionamento dell'impianto	
Volume riscaldato (mc)	2,440
Superficie utile dell'edificato (m^2)	664
Potenza della caldaia a cippato (kW)	73
Volume accumuli inerziali (mc)	1
Volume vano centrale termica (mc)	22
Volume vano di stoccaggio del cippato (mc)	23
Lunghezza rete di teleriscaldamento (m)	0
Potenza elettrica installata (kWel)	10
Potenza caldaia di backup (kW)	73
Fabbisogno energetico dell'impianto	
Ore di funzionamento annue dell'impianto (h)	2,268
Fabb. energetico dell'edificato (kWh/anno)	99,600
Rendimento dell'impianto a cippato (%)	60%
Fabbisogno di cippato (tonn/anno)	49
Rendimento impianto alternativo a gasolio (%)	85%
Gasolio sostituito (litri/anno)	11,836

Tabella 24. Caratteristiche dell'impianto a cippato: scuole di Pian degli Ontani (Comune di Cutigliano)

Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto			
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**	**Costi di realizzazione con finanz. 50% (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	295	21.576	10.788
Vano centrale term. e stocc. cippato (€/mc)	200	9.130	4.565
Rete di teleriscaldamento (€/m)	0	0	0
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	125	9.150	4.575
Caldaia backup (€/kW)	162	11.867	11.867
	TOTALE (€)	**51.723**	**31.795**

Costi unitari e totali di gestione			
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**	**Costi di gestione annui con finanz. 50% (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	4.90	359	359
Manutenzione straordinaria (€/kW)	1.00	73	73
Acquisto cippato (€/tonn)	60.00	2.929	2.929
Interessi su capitale (€/anno)	-	1.810	1.113
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	2.585	2.585
	TOTALE (€)	**7.757**	**7.059**

Tabella 25. Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato: scuole di Pian degli Ontani (Comune di Cutigliano)

Costi di installazione e gestione dell'impianto alternativo a gasolio

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto		
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	162	11.867
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	69	5.033
	TOTALE (€)	**16.899**

Costi unitari e totali di gestione		
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	2.70	197
Manutenzione straordinaria (€/kW)	0.55	40
Acquisto del gasolio (€/litro)	1.07	12.665
Interessi su capitale (€/anno)	-	591
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	1.422
	TOTALE (€)	**14.915**

Tabella 26. Costi di installazione e gestione dell'impianto a combustibili fossili: scuole di Pian degli Ontani (Comune di Cutigliano)

VALUTAZIONE FINANZIARIA DELL'INVESTIMENTO

PARAMETRI TECNICO - ECONOMICI PER FINANZIAMENTO		
Parametro	**Valore impianto**	**Esempio di valore max. per finanz.**
Costo / potenza impianto (€/kW)	295	**330**
Lungh. rete telerisc. / potenza imp. (m/kW)	0.0	**3,3**
Potenza caldaia / volume riscaldato (W/mc)	30	**45**

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A CIPPATO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno	**Costi attualizzati (€)**	**Costi attualizzati con finanz. del 50% (€)**
0	-51722.58	-31794.70
1	-7429.91	-6761.83
2	-7116.77	-6476.85
3	-6816.83	-6203.88
4	-6529.53	-5942.41
5	-6254.34	-5691.97
6	-5990.75	-5452.08
7	-5738.27	-5222.29
8	-5496.42	-5002.20
9	-5264.77	-4791.38
10	-5042.89	-4589.44
11	-4830.35	-4396.02
12	-4626.77	-4210.74
13	-4431.77	-4033.28
14	-4244.99	-3863.30
15	-4066.09	-3700.47
	-135603.05	**-108132.84**
	VAC	**VAC con finanziamento del 50%**

Tabella 27. Flusso di cassa relativo all'impianto a cippato: scuole di Pian degli Ontani (Comune di Cutigliano)

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A GASOLIO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno di riferimento	**Costi (€)**	**Costi attualizzati (€)**
0	-16,899	-16,899
1	-14,915	-14,287
2	-14,915	-13,685
3	-14,915	-13,108
4	-14,915	-12,555
5	-14,915	-12,026
6	-14,915	-11,519
7	-14,915	-11,034
8	-14,915	-10,569
9	-14,915	-10,124
10	-14,915	-9,697
11	-14,915	-9,288
12	-14,915	-8,897
13	-14,915	-8,522
14	-14,915	-8,163
15	-14,915	-7,819
		-178,191
		VAC

Tabella 28. Flusso di cassa relativo all'impianto a combustibili fossili: scuole di Pian degli Ontani (Comune di Cutigliano)

ΔVAC SENZA E CON FINANZIAMENTO		
Anno	***ΔVAC (€)***	***ΔVAC con finanz. del 50% (€)***
0	-34.823	-14.895
1	-27.966	-7.370
2	-21.398	-163
3	-15.107	6.741
4	-9.081	13.355
5	-3.309	19.689
6	2.219	25.756
7	7.515	31.568
8	12.588	37.135
9	17.446	42.467
10	22.100	47.574
11	26.558	52.466
12	30.828	57.152
13	34.918	61.641
14	38.836	65.940
15	**42.588**	**70.058**

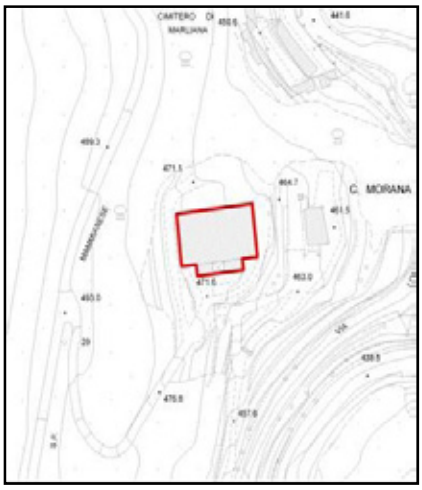
	INDICI DI EFFICIENZA FINANZIARIA	
	senza finanziamento iniziale	**con finanziamento del 50%**
Tempo di ritorno (anni)	**6**	**3**
ΔVAC (€)	**42.588**	**70.058**
Saggio di Rendimento Interno (%)	**19.1%**	**52.6%**
Prezzo di BEP del cippato (€/tonn)	**140.66**	**192.69**

Tabella 39. Indici di valutazione finanziaria dell'investimento: scuole di Pian degli Ontani (Comune di Cutigliano)

5.3.3 Comune di Marliana

5.3.3.1 schedatura degli edifici

- Palestra comunale -



Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 500 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Sud

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: palestra

Localizzazione della struttura: isolata

Anno di costruzione: 1970

Superficie utile: 943 mq

Superficie delle pareti esterne: 1280 mq

Volume lordo riscaldato: 9573 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

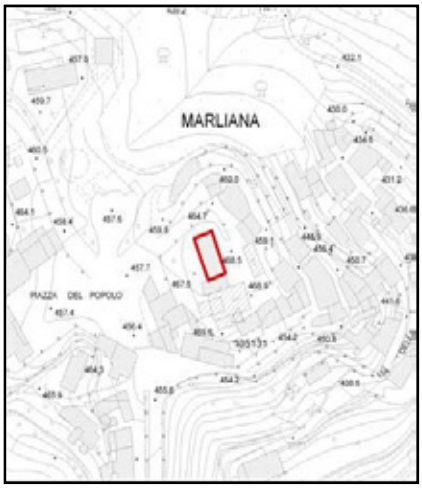
Tipo di combustibile: gasolio

Anno di installazione della caldaia: dato non disponibile

Potenza caldaia attuale: dato non disponibile

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente

- Palazzo municipale -



Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 480 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Est-Ovest

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: uffici amministrativi

Localizzazione della struttura: in centro abitato

Anno di costruzione: edificio costruito nell'800

Superficie utile: 344 mq

Superficie delle pareti esterne: 464 mq

Volume lordo riscaldato: 1598 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

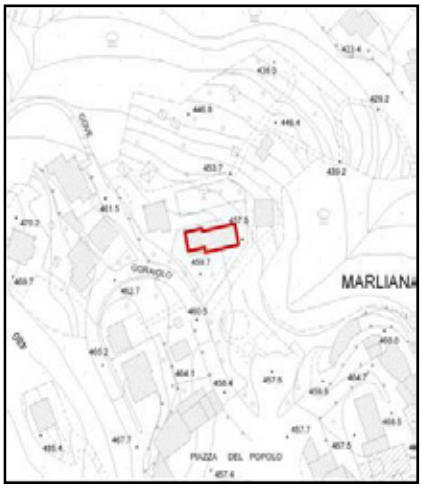
Tipo di combustibile: gasolio

Anno di installazione della caldaia: dato non disponibile

Potenza caldaia attuale: dato non disponibile

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente

- Scuola elementare –



Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 480 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Sud-Est

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: edificio scolastico

Localizzazione della struttura: in centro abitato

Anno di costruzione: anni '80

Superficie utile: 497 mq

Superficie delle pareti esterne: 690 mq

Volume lordo riscaldato: 1728 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

Tipo di combustibile: gasolio

Anno di installazione della caldaia: dato non disponibile

Potenza caldaia attuale: dato non disponibile

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente

5.3.3.2 Comune di Marliana: analisi degli investimenti

Il primo caso di studio prevede la realizzazione di un impianto termosingolo della potenza di 287 kW che alimenti la palestra comunale.
La volumetria del silo di stoccaggio è pari a 33 mc.

CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO A CIPPATO

Palestra comunale	
Dimensionamento dell'impianto	
Volume riscaldato (mc)	9,573
Superficie utile dell'edificato (m^2)	943
Potenza della caldaia a cippato (kW)	287
Volume accumuli inerziali (mc)	5
Volume vano centrale termica (mc)	88
Volume vano di stoccaggio del cippato (mc)	33
Lunghezza rete di teleriscaldamento (m)	0
Potenza elettrica installata (kWel)	15
Potenza caldaia di backup (kW)	287
Fabbisogno energetico dell'impianto	
Ore di funzionamento annue dell'impianto (h)	821
Fabb. energetico dell'edificato (kWh/anno)	141,450
Rendimento dell'impianto a cippato (%)	60%
Fabbisogno di cippato (tonn/anno)	69
Rendimento impianto alternativo a gasolio (%)	85%
Gasolio sostituito (litri/anno)	16,809

Tabella 30. Caratteristiche dell'impianto a cippato: palestra comunale (Comune di Marliana)

Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto			
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**	**Costi di realizzazione con finanz. 50% (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	246	70.756	35.378
Vano centrale term. e stocc. cippato (€/mc)	200	24.180	12.090
Rete di teleriscaldamento (€/m)	0	0	0
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	125	35.899	17.949
Caldaia backup (€/kW)	136	38.916	38.916
	TOTALE (€)	**169.751**	**104.333**

Costi unitari e totali di gestione			
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**	**Costi di gestione annui con finanz. 50% (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	4.90	1.407	1.407
Manutenzione straordinaria (€/kW)	1.00	287	287
Acquisto cippato (€/tonn)	60.00	4.160	4.160
Interessi su capitale (€/anno)	-	5.941	3.652
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	1.404	1.404
	TOTALE (€)	**13.200**	**10.910**

Tabella 31. Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato: palestra comunale (Comune di Marliana)

Costi di installazione e gestione dell'impianto alternativo a gasolio

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto		
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	136	38.916
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	69	19.744
	TOTALE (€)	**58.660**

Costi unitari e totali di gestione		
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	2.70	774
Manutenzione straordinaria (€/kW)	0.55	158
Acquisto del gasolio (€/litro)	1.07	17.986
Interessi su capitale (€/anno)	-	2.053
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	772
	TOTALE (€)	**21.743**

Tabella 32. Costi di installazione e gestione dell'impianto a combustibili fossili: palestra comunale (Comune di Marliana)

VALUTAZIONE FINANZIARIA DELL'INVESTIMENTO

PARAMETRI TECNICO - ECONOMICI PER FINANZIAMENTO		
Parametro	**Valore impianto**	**Esempio di valore max. per finanz.**
Costo / potenza impianto (€/kW)	246	**330**
Lungh. rete telerisc. / potenza imp. (m/kW)	0.0	**3,3**
Potenza caldaia / volume riscaldato (W/mc)	30	**45**

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A CIPPATO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno	**Costi attualizzati (€)**	**Costi attualizzati con finanz. del 50% (€)**
0	-169750.64	-104333.30
1	-12643.39	-10450.28
2	-12110.53	-10009.85
3	-11600.12	-9587.98
4	-11111.23	-9183.89
5	-10642.94	-8796.83
6	-10194.39	-8426.08
7	-9764.74	-8070.96
8	-9353.20	-7730.80
9	-8959.00	-7404.98
10	-8581.42	-7092.89
11	-8219.75	-6793.96
12	-7873.32	-6507.62
13	-7541.50	-6233.36
14	-7223.66	-5970.65
15	-6919.21	-5719.01
	-312489.04	**-222312.43**
	VAC	**VAC con finanziamento del 50%**

Tabella 33. Flusso di cassa relativo all'impianto a cippato: palestra comunale (Comune di Marliana)

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A GASOLIO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno di riferimento	**Costi (€)**	**Costi attualizzati (€)**
0	-58.660	-58.660
1	-21.743	-20.827
2	-21.743	-19.949
3	-21.743	-19.108
4	-21.743	-18.303
5	-21.743	-17.531
6	-21.743	-16.793
7	-21.743	-16.085
8	-21.743	-15.407
9	-21.743	-14.758
10	-21.743	-14.136
11	-21.743	-13.540
12	-21.743	-12.969
13	-21.743	-12.423
14	-21.743	-11.899
15	-21.743	-11.398
		-293.784
		VAC

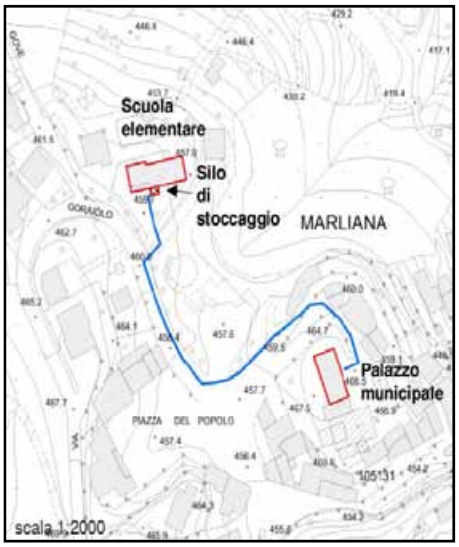
Tabella 34. Flusso di cassa relativo all'impianto a combustibili fossili: palestra comunale (Comune di Marliana)

ΔVAC SENZA E CON FINANZIAMENTO		
Anno	***ΔVAC (€)***	***ΔVAC con finanz. del 50% (€)***
0	-111.090	-45.673
1	-102.907	-35.297
2	-95.069	-25.358
3	-87.561	-15.838
4	-80.369	-6.719
5	-73.481	2.016
6	-66.883	10.382
7	-60.563	18.396
8	-54.509	26.072
9	-48.710	33.425
10	-43.156	40.468
11	-37.836	47.214
12	-32.740	53.675
13	-27.859	59.864
14	-23.184	65.793
15	**-18.705**	**71.471**

	INDICI DI EFFICIENZA FINANZIARIA	
	senza finanziamento iniziale	**con finanziamento del 50%**
Tempo di ritorno (anni)	***N.R.***	**5**
ΔVAC (€)	***-18.705***	**71.471**
Saggio di Rendimento Interno (%)	***1.8%***	**22.6%**
Prezzo di BEP del cippato (€/tonn)	***35.05***	**155.32**

Tabella 35. Indici di valutazione finanziaria dell'investimento: palestra comunale (Comune di Marliana)

Il secondo caso di studio prevede la realizzazione di un impianto di teleriscaldamento della potenza di 100 kW che alimenti il palazzo municipale e la scuola elementare.
La lunghezza complessiva della rete di teleriscaldamento è di 178 metri, mentre la volumetria del silo di stoccaggio risulta pari a 29 mc.



CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO A CIPPATO

Scuola elementare e municipio	
Dimensionamento dell'impianto	
Volume riscaldato (mc)	3,326
Superficie utile dell'edificato (m^2)	841
Potenza della caldaia a cippato (kW)	100
Volume accumuli inerziali (mc)	2
Volume vano centrale termica (mc)	31
Volume vano di stoccaggio del cippato (mc)	29
Lunghezza rete di teleriscaldamento (m)	178
Potenza elettrica installata (kWel)	10
Potenza caldaia di backup (kW)	100
Fabbisogno energetico dell'impianto	
Ore di funzionamento annue dell'impianto (h)	2,107
Fabb. energetico dell'edificato (kWh/anno)	126,150
Rendimento dell'impianto a cippato (%)	60%
Fabbisogno di cippato (tonn/anno)	62
Rendimento impianti alternativi a gasolio (%)	85%
Gasolio sostituito (litri/anno)	14,991

Tabella 36. Caratteristiche dell'impianto a cippato: scuola elementare e municipio (Comune di Marliana)

Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto			
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**	**Costi di realizzazione con finanz. 50% (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	289	28.811	14.406
Vano centrale term. e stocc. cippato (€/mc)	200	11.996	5.998
Rete di teleriscaldamento (€/m)	200	35.600	17.800
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	125	12.473	6.236
Caldaia backup (€/kW)	159	15.846	15.846
	TOTALE (€)	**104.725**	**60.286**

Costi unitari e totali di gestione			
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**	**Costi di gestione annui con finanz. 50% (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	4.90	489	489
Manutenzione straordinaria (€/kW)	1.00	100	100
Acquisto cippato (€/tonn)	60.00	3.710	3.710
Interessi su capitale (€/anno)	-	3.665	2.110
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	2.402	2.402
	TOTALE (€)	**10.367**	**8.811**

Tabella 37. Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato: scuola elementare e municipio (Comune di Marliana)

Costi di installazione e gestione degli impianti alternativi a gasolio

Costi unitari e totali di realizzazione degli impianti		
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianti (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	159	15.846
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	69	6.860
	TOTALE (€)	**22.706**

Costi unitari e totali di gestione		
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	2.70	269
Manutenzione straordinaria (€/kW)	0.55	55
Acquisto del gasolio (€/litro)	1.07	16.040
Interessi su capitale (€/anno)	-	795
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	1.321
	TOTALE (€)	**18.480**

Tabella 38. Costi di installazione e gestione dell'impianto a combustibili fossili: scuola elementare e municipio (Comune di Marliana)

VALUTAZIONE FINANZIARIA DELL'INVESTIMENTO

PARAMETRI TECNICO - ECONOMICI PER FINANZIAMENTO		
Parametro	**Valore impianto**	**Esempio di valore max. per finanz.**
Costo / potenza impianto (€/kW)	289	**330**
Lungh. rete telerisc. / potenza imp. (m/kW)	1.8	**3,3**
Potenza caldaia / volume riscaldato (W/mc)	30	**45**

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A CIPPATO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno	**Costi attualizzati (€)**	**Costi attualizzati con finanz. del 50% (€)**
0	-104725.47	-60285.76
1	-9929.62	-8439.78
2	-9511.13	-8084.08
3	-9110.28	-7743.37
4	-8726.32	-7417.02
5	-8358.54	-7104.43
6	-8006.27	-6805.01
7	-7668.84	-6518.21
8	-7345.63	-6243.49
9	-7036.04	-5980.36
10	-6739.51	-5728.31
11	-6455.47	-5486.89
12	-6183.40	-5255.64
13	-5922.79	-5034.14
14	-5673.17	-4821.97
15	-5434.07	-4618.75
	-216826.54	**-155567.23**
	VAC	**VAC con finanziamento del 50%**

Tabella 39. Flusso di cassa relativo all'impianto a cippato: scuola elementare e municipio (Comune di Marliana)

FLUSSO DI CASSA RELATIVO AGLI IMPIANTI A GASOLIO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno di riferimento	**Costi (€)**	**Costi attualizzati (€)**
0	-22.706	-22.706
1	-18.480	-17.701
2	-18.480	-16.955
3	-18.480	-16.241
4	-18.480	-15.556
5	-18.480	-14.901
6	-18.480	-14.273
7	-18.480	-13.671
8	-18.480	-13.095
9	-18.480	-12.543
10	-18.480	-12.014
11	-18.480	-11.508
12	-18.480	-11.023
13	-18.480	-10.558
14	-18.480	-10.113
15	-18.480	-9.687
		-222.546
		VAC

Tabella 40. Flusso di cassa relativo all'impianto a combustibili fossili: scuola elementare e municipio (Comune di Marliana)

ΔVAC SENZA E CON FINANZIAMENTO		
Anno	***ΔVAC (€)***	***ΔVAC con finanz. del 50% (€)***
0	-82.020	-37.580
1	-74.248	-28.318
2	-66.804	-19.447
3	-59.673	-10.950
4	-52.844	-2.811
5	-46.302	4.985
6	-40.035	12.453
7	-34.033	19.606
8	-28.284	26.457
9	-22.777	33.020
10	-17.502	39.306
11	-12.449	45.327
12	-7.610	51.094
13	-2.974	56.619
14	1.466	61.910
15	**5.719**	**66.978**

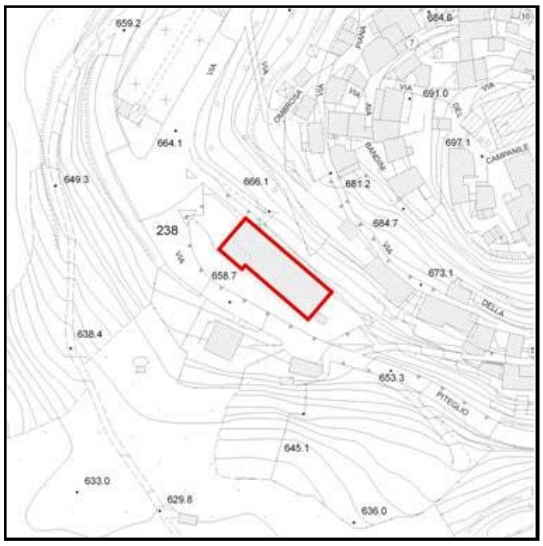
	INDICI DI EFFICIENZA FINANZIARIA	
	senza finanziamento iniziale	**con finanziamento del 50%**
Tempo di ritorno (anni)	**14**	**5**
ΔVAC (€)	**5.719**	**66.978**
Saggio di Rendimento Interno (%)	**5.4%**	**24.8%**
Prezzo di BEP del cippato (€/tonn)	**68.55**	**160.16**

Tabella 41. Indici di valutazione finanziaria dell'investimento: scuola elementare e municipio (Comune di Marliana)

5.3.4 Comune di Piteglio

5.3.4.1 Schedatura degli edifici

- Scuola materna e elementare -



Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 660 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Nord-Est / Sud-Ovest

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: edificio scolastico

Localizzazione della struttura: in centro abitato

Anno di costruzione: 1966, ristrutturato nel 2004

Superficie utile: 1095 mq

Superficie delle pareti esterne: 1617 mq

Volume lordo riscaldato: 4565 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

Tipo di combustibile: GPL

Anno di installazione della caldaia: 2005

Potenza caldaia attuale: 160 kW

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente

- Palestra comunale -

Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 653 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Nord-Est / Sud-Ovest

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: palestra

Localizzazione della struttura: in centro abitato

Anno di costruzione: 1981, ristrutturata nel 2003

Superficie utile: 613 mq

Superficie delle pareti esterne: 1366 mq

Volume lordo riscaldato: 4620 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

Tipo di combustibile: GPL

Anno di installazione della caldaia: 1997

Potenza caldaia attuale: 140 kW

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente

- Teatro comunale -

Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 510 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Est

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: pubblici spettacoli

Localizzazione della struttura: in centro abitato

Anno di costruzione: edificio costruito nell'800

Superficie utile: 595 mq

Superficie delle pareti esterne: 876 mq

Volume lordo riscaldato: 2211 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

Tipo di combustibile: gasolio

Anno di installazione della caldaia: dato non disponibile

Potenza caldaia attuale: dato non disponibile

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente

5.3.4.2 Comune di Piteglio: analisi degli investimenti

Il primo caso di studio prevede la realizzazione di un impianto termosingolo della potenza di 66 kW che alimenti il teatro comunale di Popiglio.
La volumetria del silo di stoccaggio è pari a 21 mc.

CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO A CIPPATO

Teatro comunale di Popiglio	
Dimensionamento dell'impianto	
Volume riscaldato (mc)	2,211
Superficie utile dell'edificato (m^2)	595
Potenza della caldaia a cippato (kW)	66
Volume accumuli inerziali (mc)	1
Volume vano centrale termica (mc)	20
Volume vano di stoccaggio del cippato (mc)	21
Lunghezza rete di teleriscaldamento (m)	0
Potenza elettrica installata (kWel)	10
Potenza caldaia di backup (kW)	66
Fabbisogno energetico dell'impianto	
Ore di funzionamento annue dell'impianto (h)	2,243
Fabb. energetico dell'edificato (kWh/anno)	89,250
Rendimento dell'impianto a cippato (%)	60%
Fabbisogno di cippato (tonn/anno)	44
Rendimento impianto alternativo a gasolio (%)	85%
Gasolio sostituito (litri/anno)	10,606

Tabella 42. Caratteristiche dell'impianto a cippato: teatro di Popiglio (Comune di Piteglio)

Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto			
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**	**Costi di realizzazione con finanz. 50% (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	296	19.654	9.827
Vano centrale term. e stocc. cippato (€/mc)	200	8.226	4.113
Rete di teleriscaldamento (€/m)	0	0	0
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	125	8.291	4.146
Caldaia backup (€/kW)	163	10.810	10.810
	TOTALE (€)	**46.981**	**28.895**

Costi unitari e totali di gestione			
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**	**Costi di gestione annui con finanz. 50% (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	4.90	325	325
Manutenzione straordinaria (€/kW)	1.00	66	66
Acquisto cippato (€/tonn)	60.00	2.625	2.625
Interessi su capitale (€/anno)	-	1.644	1.011
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	2.557	2.557
	TOTALE (€)	**7.217**	**6.584**

Tabella 43. Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato: teatro di Popiglio (Comune di Piteglio)

Costi di installazione e gestione dell'impianto alternativo a gasolio

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto		
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianti (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	163	10.810
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	69	4.560
	TOTALE (€)	**15.370**

Costi unitari e totali di gestione		
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	2.70	179
Manutenzione straordinaria (€/kW)	0.55	36
Acquisto del gasolio (€/litro)	1.07	11.348
Interessi su capitale (€/anno)	-	538
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	1.406
	TOTALE (€)	**13.508**

Tabella 44. Costi di installazione e gestione dell'impianto a combustibili fossili: teatro di Popiglio (Comune di Piteglio)

VALUTAZIONE FINANZIARIA DELL'INVESTIMENTO

PARAMETRI TECNICO - ECONOMICI PER FINANZIAMENTO		
Parametro	**Valore impianto**	**Esempio di valore max. per finanz.**
Costo / potenza impianto (€/kW)	296	**330**
Lungh. rete telerisc. / potenza imp. (m/kW)	0.0	**3,3**
Potenza caldaia / volume riscaldato (W/mc)	30	**45**

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A CIPPATO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno	**Costi attualizzati (€)**	**Costi attualizzati con finanz. del 50% (€)**
0	-46981.18	-28895.47
1	-6913.05	-6306.73
2	-6621.70	-6040.93
3	-6342.62	-5786.33
4	-6075.31	-5542.46
5	-5819.26	-5308.87
6	-5574.00	-5085.12
7	-5339.08	-4870.81
8	-5114.06	-4665.53
9	-4898.53	-4468.89
10	-4692.08	-4280.55
11	-4494.33	-4100.14
12	-4304.91	-3927.34
13	-4123.48	-3761.82
14	-3949.69	-3603.28
15	-3783.23	-3451.41
	-125026.51	**-100095.69**
	VAC	**VAC con finanziamento del 50%**

Tabella 45. Flusso di cassa relativo all'impianto a cippato: teatro di Popiglio (Comune di Piteglio)

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A GASOLIO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno di riferimento	**Costi (€)**	**Costi attualizzati (€)**
0	-15.370	-15.370
1	-13.508	-12.938
2	-13.508	-12.393
3	-13.508	-11.871
4	-13.508	-11.371
5	-13.508	-10.891
6	-13.508	-10.432
7	-13.508	-9.993
8	-13.508	-9.571
9	-13.508	-9.168
10	-13.508	-8.782
11	-13.508	-8.412
12	-13.508	-8.057
13	-13.508	-7.718
14	-13.508	-7.392
15	-13.508	-7.081
		-161.440
		VAC

Tabella 46. Flusso di cassa relativo all'impianto a combustibili fossili: teatro di Popiglio (Comune di Piteglio)

ΔVAC SENZA E CON FINANZIAMENTO		
Anno	***ΔVAC (€)***	***ΔVAC con finanz. del 50% (€)***
0	-31.611	-13.526
1	-25.586	-6.894
2	-19.814	-542
3	-14.286	5.543
4	-8.991	11.371
5	-3.919	16.954
6	940	22.301
7	5.593	27.423
8	10.051	32.329
9	14.320	37.028
10	18.410	41.529
11	22.327	45.840
12	26.079	49.970
13	29.673	53.926
14	33.116	57.715
15	**36.413**	**61.344**

	INDICI DI EFFICIENZA FINANZIARIA	
	senza finanziamento iniziale	**con finanziamento del 50%**
Tempo di ritorno (anni)	**6**	**3**
ΔVAC (€)	**36.413**	**61.344**
Saggio di Rendimento Interno (%)	**18.3%**	**51.1%**
Prezzo di BEP del cippato (€/tonn)	**136.97**	**189.66**

Tabella 47. Indici di valutazione finanziaria dell'investimento: teatro di Popiglio (Comune di Piteglio)

Il secondo caso di studio prevede la realizzazione di un impianto di teleriscaldamento della potenza di 276 kW che alimenti la scuola e la palestra comunale.
La lunghezza complessiva della rete di teleriscaldamento è di 268 metri, mentre la volumetria del silo di stoccaggio risulta pari a 60 mc.

CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO A CIPPATO

Scuola materna, elementare e palestra	
Dimensionamento dell'impianto	
Volume riscaldato (mc)	9.185
Superficie utile dell'edificato (m^2)	1.708
Potenza della caldaia a cippato (kW)	276
Volume accumuli inerziali (mc)	5
Volume vano centrale termica (mc)	84
Volume vano di stoccaggio del cippato (mc)	60
Lunghezza rete di teleriscaldamento (m)	268
Potenza elettrica installata (kWel)	15
Potenza caldaia di backup (kW)	276
Fabbisogno energetico dell'impianto	
Ore di funzionamento annue dell'impianto (h)	1.550
Fabb. energetico dell'edificato (kWh/anno)	256.200
Rendimento dell'impianto a cippato (%)	60%
Fabbisogno di cippato (tonn/anno)	126
Rendimento impianti alternativi a GPL (%)	85%
GPL sostituito (litri/anno)	43.059

Tabella 48. Caratteristiche dell'impianto a cippato: scuole e palestra (Comune di Piteglio)

Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto			
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**	**Costi di realizzazione con finanz. 50% (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	249	68.614	34.307
Vano centrale term. e stocc. cippato (€/mc)	200	28.824	14.412
Rete di teleriscaldamento (€/m)	200	53.600	26.800
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	125	34.444	17.222
Caldaia backup (€/kW)	125	34.307	34.307
	TOTALE (€)	**219.789**	**127.048**

Costi unitari e totali di gestione			
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**	**Costi di gestione annui con finanz. 50% (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	4.90	1.350	1.350
Manutenzione straordinaria (€/kW)	1.00	276	276
Acquisto cippato (€/tonn)	60.00	7.535	7.535
Interessi su capitale (€/anno)	-	7.693	4.447
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	2.650	2.650
	TOTALE (€)	**19.504**	**16.258**

Tabella 49. Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato: scuole e palestra (Comune di Piteglio)

Costi di installazione e gestione degli impianti alternativi a GPL

Costi unitari e totali di realizzazione degli impianti		
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianti (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	125	34.307
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	63	17.222
	TOTALE (€)	**51.529**

Costi unitari e totali di gestione		
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	2.45	675
Manutenzione straordinaria (€/kW)	0.50	138
Acquisto del GPL (€/litro)	0.93	40.045
Interessi su capitale (€/anno)	-	1.804
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	1.325
	TOTALE (€)	**43.986**

Tabella 50. Costi di installazione e gestione dell'impianto a combustibili fossili: scuole e palestra (Comune di Piteglio)

VALUTAZIONE FINANZIARIA DELL'INVESTIMENTO

PARAMETRI TECNICO - ECONOMICI PER FINANZIAMENTO		
Parametro	**Valore impianto**	**Esempio di valore max. per finanz.**
Costo / potenza impianto (€/kW)	249	**330**
Lungh. rete telerisc. / potenza imp. (m/kW)	1.0	**3,3**
Potenza caldaia / volume riscaldato (W/mc)	30	**45**

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A CIPPATO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno	**Costi attualizzati (€)**	**Costi attualizzati con finanz. del 50% (€)**
0	-219788.64	-127047.72
1	-18681.52	-15572.39
2	-17894.17	-14916.08
3	-17140.01	-14287.43
4	-16417.64	-13685.28
5	-15725.71	-13108.51
6	-15062.94	-12556.04
7	-14428.10	-12026.86
8	-13820.02	-11519.98
9	-13237.57	-11034.46
10	-12679.66	-10569.41
11	-12145.27	-10123.96
12	-11633.40	-9697.28
13	-11143.10	-9288.58
14	-10673.47	-8897.11
15	-10223.63	-8522.13
	-430694.85	**-302853.22**
	VAC	**VAC con finanziamento del 50%**

Tabella 51. Flusso di cassa relativo all'impianto a cippato: scuole e palestra (Comune di Piteglio)

FLUSSO DI CASSA RELATIVO AGLI IMPIANTI A GPL		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno di riferimento	**Costi (€)**	**Costi attualizzati (€)**
0	-51.529	-51.529
1	-43.986	-42.132
2	-43.986	-40.357
3	-43.986	-38.656
4	-43.986	-37.026
5	-43.986	-35.466
6	-43.986	-33.971
7	-43.986	-32.540
8	-43.986	-31.168
9	-43.986	-29.855
10	-43.986	-28.596
11	-43.986	-27.391
12	-43.986	-26.237
13	-43.986	-25.131
14	-43.986	-24.072
15	-43.986	-23.057
		-527.183
		VAC

Tabella 52. Flusso di cassa relativo all'impianto a combustibili fossili: scuole e palestra (Comune di Piteglio)

ΔVAC SENZA E CON FINANZIAMENTO		
Anno	***ΔVAC (€)***	***ΔVAC con finanz. del 50% (€)***
0	-168.260	-75.519
1	-144.809	-48.959
2	-122.347	-23.519
3	-100.831	849
4	-80.222	24.191
5	-60.482	46.548
6	-41.574	67.963
7	-23.462	88.476
8	-6.114	108.124
9	10.503	126.944
10	26.419	144.971
11	41.665	162.238
12	56.268	178.778
13	70.256	194.620
14	83.654	209.795
15	**96.488**	**224.330**

	INDICI DI EFFICIENZA FINANZIARIA	
	senza finanziamento iniziale	**con finanziamento del 50%**
Tempo di ritorno (anni)	**9**	**3**
ΔVAC (€)	**96.488**	**224.330**
Saggio di Rendimento Interno (%)	**11.8%**	**36.4%**
Prezzo di BEP del cippato (€/tonn)	**131.05**	**225.18**

Tabella 53. Indici di valutazione finanziaria dell'investimento: scuole e palestra (Comune di Piteglio)

5.3.5 Comune di Sambuca

5.3.5.1 Schedatura degli edifici

- Palazzo municipale -

Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 504 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Nord-Est

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: uffici amministrativi

Localizzazione della struttura: isolata

Anno di costruzione: 1934

Superficie utile: 1100 mq

Superficie delle pareti esterne: 1200 mq

Volume lordo riscaldato: 4200 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

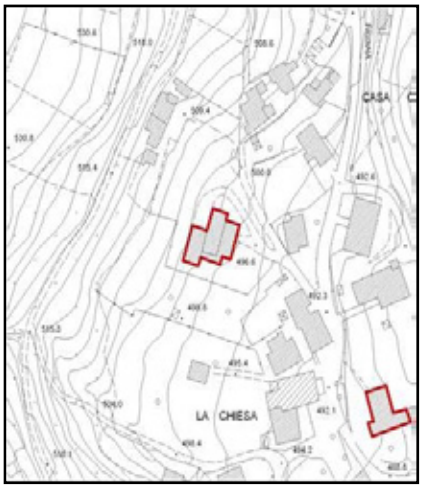
Tipo di combustibile: gasolio

Anno di installazione della caldaia: 1973

Potenza caldaia attuale: 103 kW

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente sul territorio comunale

- Scuola materna di Pavana -



Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 500 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Nord-Est

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: edificio scolastico

Localizzazione della struttura: isolata

Anno di costruzione: 1980

Superficie utile: 613 mq

Superficie delle pareti esterne: 500 mq

Volume lordo riscaldato: 2600 mc

Tipo di copertura: falde / piana

Alimentazione termica dell'edificio

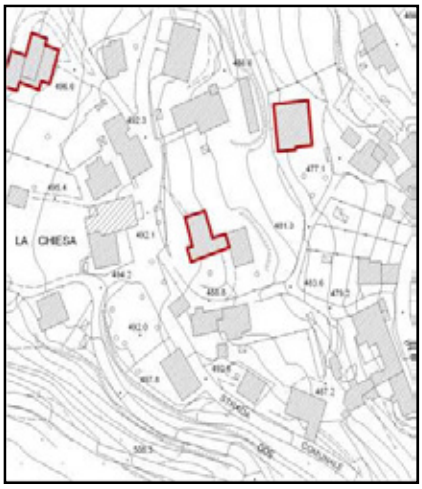
Tipo di combustibile: gasolio

Anno di installazione della caldaia: 1993

Potenza caldaia attuale: 85,50 kW

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente sul territorio comunale

- Scuola media di Pavana -



Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 492 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Est

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: edificio scolastico

Localizzazione della struttura: isolata

Anno di costruzione: 1954

Superficie utile: 444 mq

Superficie delle pareti esterne: 530 mq

Volume lordo riscaldato: 2300 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

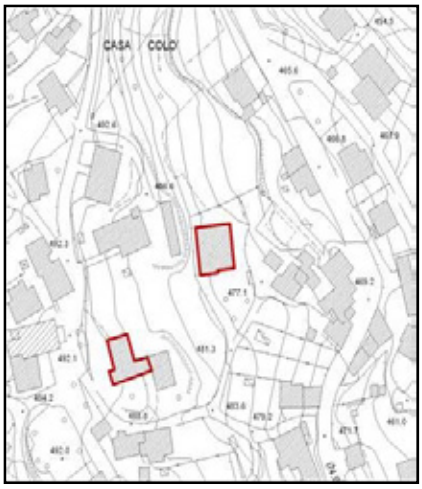
Tipo di combustibile: gasolio

Anno di installazione della caldaia: 1973

Potenza caldaia attuale: 103 kW

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente sul territorio comunale

- Scuola elementare di Pavana -



Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 481 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Est

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: edificio scolastico

Localizzazione della struttura: isolata

Anno di costruzione: 1966

Superficie utile: 343 mq

Superficie delle pareti esterne: 370 mq

Volume lordo riscaldato: 1700 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

Tipo di combustibile: gasolio

Anno di installazione della caldaia: 1995

Potenza caldaia attuale: 41 kW

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente sul territorio comunale

5.3.5.2 Comune di Sambuca: analisi degli investimenti

Il primo caso di studio prevede la realizzazione di un impianto termosingolo della potenza di 126 kW che alimenti il palazzo municipale di Sambuca in località Taviano.
La volumetria del silo di stoccaggio è pari a 39 mc.

CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO A CIPPATO

Municipio di Taviano	
Dimensionamento dell'impianto	
Volume riscaldato (mc)	4,200
Superficie utile dell'edificato (m^2)	1,100
Potenza della caldaia a cippato (kW)	126
Volume accumuli inerziali (mc)	2
Volume vano centrale termica (mc)	39
Volume vano di stoccaggio del cippato (mc)	39
Lunghezza rete di teleriscaldamento (m)	0
Potenza elettrica installata (kWel)	15
Potenza caldaia di backup (kW)	126
Fabbisogno energetico dell'impianto	
Ore di funzionamento annue dell'impianto (h)	2,183
Fabb. energetico dell'edificato (kWh/anno)	165,000
Rendimento dell'impianto a cippato (%)	60%
Fabbisogno di cippato (tonn/anno)	81
Rendimento impianto alternativo a gasolio (%)	85%
Gasolio sostituito (litri/anno)	19,608

Tabella 54. Caratteristiche dell'impianto a cippato: municipio di Taviano (Comune di Sambuca)

Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto			
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**	**Costi di realizzazione con finanz. 50% (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	283	35.635	17.817
Vano centrale term. e stocc. cippato (€/mc)	200	15.414	7.707
Rete di teleriscaldamento (€/m)	0	0	0
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	125	15.750	7.875
Caldaia backup (€/kW)	156	19.599	19.599
	TOTALE (€)	**86.399**	**52.999**

Costi unitari e totali di gestione			
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**	**Costi di gestione annui con finanz. 50% (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	4.90	617	617
Manutenzione straordinaria (€/kW)	1.00	126	126
Acquisto cippato (€/tonn)	60.00	4.853	4.853
Interessi su capitale (€/anno)	-	3.024	1.855
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	3.732	3.732
	TOTALE (€)	**12.352**	**11.183**

Tabella 55. Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato: municipio di Taviano (Comune di Sambuca)

Costi di installazione e gestione dell'impianto alternativo a gasolio

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto		
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	156	19.599
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	69	8.663
	TOTALE (€)	**28.262**

Costi unitari e totali di gestione		
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	2.70	340
Manutenzione straordinaria (€/kW)	0.55	69
Acquisto del gasolio (€/litro)	1.07	20.980
Interessi su capitale (€/anno)	-	989
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	2.053
	TOTALE (€)	**24.431**

Tabella 56. Costi di installazione e gestione dell'impianto a combustibili fossili: municipio di Taviano (Comune di Sambuca)

VALUTAZIONE FINANZIARIA DELL'INVESTIMENTO

PARAMETRI TECNICO - ECONOMICI PER FINANZIAMENTO		
Parametro	**Valore impianto**	**Esempio di valore max. per finanz.**
Costo / potenza impianto (€/kW)	283	**330**
Lungh. rete telerisc. / potenza imp. (m/kW)	0.0	**3,3**
Potenza caldaia / volume riscaldato (W/mc)	30	**45**

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A CIPPATO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno	**Costi attualizzati (€)**	**Costi attualizzati con finanz. del 50% (€)**
0	-86398.52	-52998.88
1	-11831.83	-10712.11
2	-11333.17	-10260.64
3	-10855.53	-9828.20
4	-10398.02	-9413.99
5	-9959.79	-9017.23
6	-9540.02	-8637.19
7	-9137.95	-8273.17
8	-8752.83	-7924.50
9	-8383.94	-7590.51
10	-8030.59	-7270.61
11	-7692.14	-6964.18
12	-7367.95	-6670.67
13	-7057.42	-6389.53
14	-6759.98	-6120.24
15	-6475.08	-5862.30
	-219974.75	**-173933.97**
	VAC	**VAC con finanziamento del 50%**

Tabella 57. Flusso di cassa relativo all'impianto a cippato: municipio di Taviano (Comune di Sambuca)

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A GASOLIO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno di riferimento	**Costi (€)**	**Costi attualizzati (€)**
0	-28.262	-28.262
1	-24.431	-23.401
2	-24.431	-22.415
3	-24.431	-21.470
4	-24.431	-20.566
5	-24.431	-19.699
6	-24.431	-18.869
7	-24.431	-18.073
8	-24.431	-17.312
9	-24.431	-16.582
10	-24.431	-15.883
11	-24.431	-15.214
12	-24.431	-14.573
13	-24.431	-13.958
14	-24.431	-13.370
15	-24.431	-12.807
		-292.454
		VAC

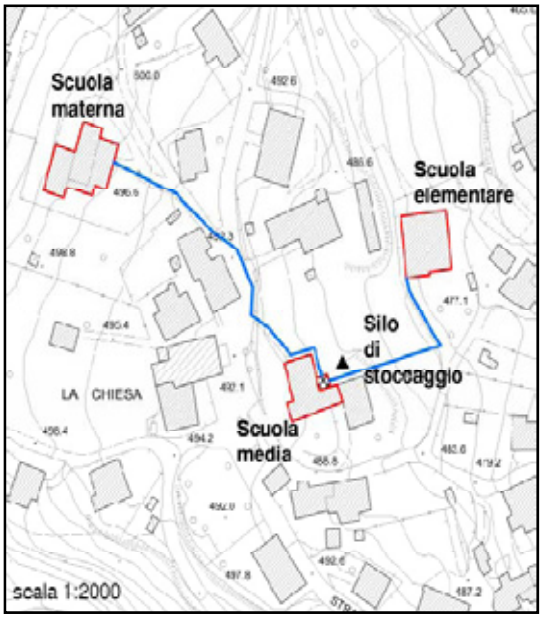
Tabella 58. Flusso di cassa relativo all'impianto a combustibili fossili: municipio di Taviano (Comune di Sambuca)

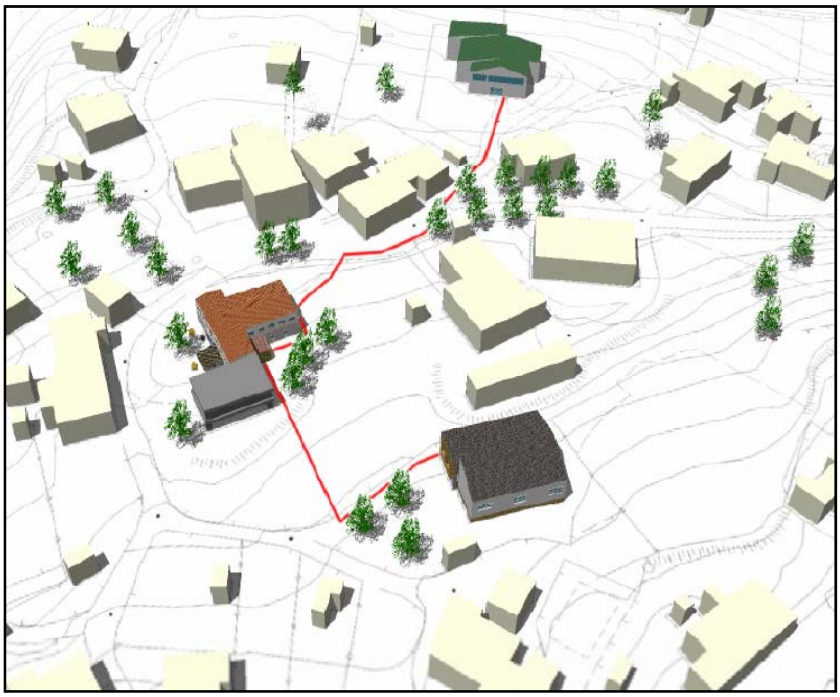
ΔVAC SENZA E CON FINANZIAMENTO		
Anno	***ΔVAC (€)***	***ΔVAC con finanz. del 50% (€)***
0	-58.137	-24.737
1	-46.567	-12.048
2	-35.485	107
3	-24.870	11.749
4	-14.703	22.901
5	-4.964	33.582
6	4.365	43.814
7	13.300	53.614
8	21.859	63.001
9	30.057	71.993
10	37.910	80.605
11	45.432	88.855
12	52.636	96.757
13	59.537	104.326
14	66.147	111.575
15	**72.479**	**118.520**

	INDICI DI EFFICIENZA FINANZIARIA	
	senza finanziamento iniziale	**con finanziamento del 50%**
Tempo di ritorno (anni)	**6**	**2**
ΔVAC (€)	**72.479**	**118.520**
Saggio di Rendimento Interno (%)	**19.3%**	**53.5%**
Prezzo di BEP del cippato (€/tonn)	**142.87**	**195.51**

Tabella 59. Indici di valutazione finanziaria dell'investimento: municipio di Taviano (Comune di Sambuca)

Il secondo caso di studio prevede la realizzazione di un impianto di teleriscaldamento della potenza di 198 kW che alimenti le scuole materna, elementare e media in località Pavana.
La lunghezza complessiva della rete di teleriscaldamento è di 180 metri, mentre la volumetria del silo di stoccaggio risulta pari a 49 mc.





CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO A CIPPATO

Scuole materna, elementare e media	
Dimensionamento dell'impianto	
Volume riscaldato (mc)	6,600
Superficie utile dell'edificato (m^2)	1,400
Potenza della caldaia a cippato (kW)	198
Volume accumuli inerziali (mc)	4
Volume vano centrale termica (mc)	61
Volume vano di stoccaggio del cippato (mc)	49
Lunghezza rete di teleriscaldamento (m)	180
Potenza elettrica installata (kWel)	15
Potenza caldaia di backup (kW)	198
Fabbisogno energetico dell'impianto	
Ore di funzionamento annue dell'impianto (h)	1,768
Fabb. energetico dell'edificato (kWh/anno)	210,000
Rendimento dell'impianto a cippato (%)	60%
Fabbisogno di cippato (tonn/anno)	103
Rendimento impianti alternativi a gasolio (%)	85%
Gasolio sostituito (litri/anno)	24,955

Tabella 4. Caratteristiche dell'impianto a cippato: scuole di Pavana (Comune di Sambuca)

Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto			
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**	**Costi di realizzazione con finanz. 50% (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	267	52.775	26.387
Vano centrale term. e stocc. cippato (€/mc)	200	21.922	10.961
Rete di teleriscaldamento (€/m)	250	45.000	22.500
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	125	24.750	12.375
Caldaia backup (€/kW)	147	29.026	29.026
	TOTALE (€)	**173.472**	**101.249**

Costi unitari e totali di gestione			
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**	**Costi di gestione annui con finanz. 50% (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	4.90	970	970
Manutenzione straordinaria (€/kW)	1.00	198	198
Acquisto cippato (€/tonn)	60.00	6.176	6.176
Interessi su capitale (€/anno)	-	6.072	3.544
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	3.023	3.023
	TOTALE (€)	**16.439**	**13.911**

Tabella 60. Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato: scuole di Pavana (Comune di Sambuca)

Costi di installazione e gestione degli impianti alternativi a gasolio

Costi unitari e totali di realizzazione degli impianti		
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianti (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	147	29.026
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	69	13.613
	TOTALE (€)	**42.639**

Costi unitari e totali di gestione		
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	2.70	534
Manutenzione straordinaria (€/kW)	0.55	109
Acquisto del gasolio (€/litro)	1.07	26.702
Interessi su capitale (€/anno)	-	1.492
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	1.663
	TOTALE (€)	**30.500**

Tabella 61. Costi di installazione e gestione dell'impianto a combustibili fossili: scuole di Pavana (Comune di Sambuca)

VALUTAZIONE FINANZIARIA DELL'INVESTIMENTO

PARAMETRI TECNICO - ECONOMICI PER FINANZIAMENTO		
Parametro	**Valore impianto**	**Esempio di valore max. per finanz.**
Costo / potenza impianto (€/kW)	267	**330**
Lungh. rete telerisc. / potenza imp. (m/kW)	0.9	**3,3**
Potenza caldaia / volume riscaldato (W/mc)	30	**45**

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A CIPPATO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno	**Costi attualizzati (€)**	**Costi attualizzati con finanz. del 50% (€)**
0	-173472.38	-101249.25
1	-15746.10	-13324.83
2	-15082.47	-12763.25
3	-14446.81	-12225.33
4	-13837.94	-11710.09
5	-13254.74	-11216.56
6	-12696.11	-10743.83
7	-12161.02	-10291.03
8	-11648.49	-9857.30
9	-11157.56	-9441.86
10	-10687.31	-9043.93
11	-10236.89	-8662.77
12	-9805.45	-8297.67
13	-9392.19	-7947.96
14	-8996.36	-7612.99
15	-8617.20	-7292.13
	-351239.03	**-251680.77**
	VAC	**VAC con finanziamento del 50%**

Tabella 62. Flusso di cassa relativo all'impianto a cippato: scuole di Pavana (Comune di Sambuca)

FLUSSO DI CASSA RELATIVO AGLI IMPIANTI A GASOLIO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno di riferimento	**Costi (€)**	**Costi attualizzati (€)**
0	-42.639	-42.639
1	-30.500	-29.214
2	-30.500	-27.983
3	-30.500	-26.804
4	-30.500	-25.674
5	-30.500	-24.592
6	-30.500	-23.555
7	-30.500	-22.563
8	-30.500	-21.612
9	-30.500	-20.701
10	-30.500	-19.829
11	-30.500	-18.993
12	-30.500	-18.192
13	-30.500	-17.426
14	-30.500	-16.691
15	-30.500	-15.988
		-372.455
		VAC

Tabella 63. Flusso di cassa relativo all'impianto a combustibili fossili: scuole di Pavana (Comune di Sambuca)

ΔVAC SENZA E CON FINANZIAMENTO		
Anno	***ΔVAC (€)***	***ΔVAC con finanz. del 50% (€)***
0	-130.834	-58.611
1	-117.366	-42.721
2	-104.465	-27.501
3	-92.108	-12.923
4	-80.272	1.041
5	-68.935	14.416
6	-58.076	27.228
7	-47.674	39.500
8	-37.711	51.254
9	-28.167	62.513
10	-19.026	73.298
11	-10.270	83.628
12	-1.883	93.522
13	6.150	103.000
14	13.845	112.078
15	**21.216**	**120.774**

	INDICI DI EFFICIENZA FINANZIARIA	
	senza finanziamento iniziale	**con finanziamento del 50%**
Tempo di ritorno (anni)	**13**	**4**
ΔVAC (€)	**21.216**	**120.774**
Saggio di Rendimento Interno (%)	**6.7%**	**27.6%**
Prezzo di BEP del cippato (€/tonn)	**79.06**	**168.49**

Tabella 64. Indici di valutazione finanziaria dell'investimento: scuole di Pavana (Comune di Sambuca)

5.3.6 Comune di San Marcello Pistoiese

5.3.6.1 Schedatura degli edifici

- Sede Comunità Montana -

Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 623 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Sud

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: uffici amministrativi

Localizzazione della struttura: in centro abitato

Anno di costruzione: primi del '900, edificio in ristrutturazione

Superficie utile: 1030 mq

Superficie delle pareti esterne: 1441 mq

Volume lordo riscaldato: 4678 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

Tipo di combustibile: gasolio

Anno di installazione della caldaia: primi anni '70

Potenza caldaia attuale: dato non disponibile

Distanza dalla rete metano: inferiore a 100 metri

- Complesso turistico - ricreativo: Casetta Pulledrai -

Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 1225 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Sud-Ovest

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: turistico - ricettivo

Localizzazione della struttura: in piccolo agglomerato

Anno di costruzione: edificio in ristrutturazione

Superficie utile: 772 mq

Superficie delle pareti esterne: 669 mq

Volume lordo riscaldato: 1711 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

Tipo di combustibile: GPL

Anno di installazione della caldaia: 2006

Potenza caldaia attuale: dato non disponibile

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente

- Complesso turistico - ricreativo: ex ARCI -

Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 1225 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Est-Ovest

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: turistico - ricettivo

Localizzazione della struttura: in piccolo agglomerato

Anno di costruzione: edificio in ristrutturazione

Superficie utile: 558 mq

Superficie delle pareti esterne: 727 mq

Volume lordo riscaldato: 1517 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

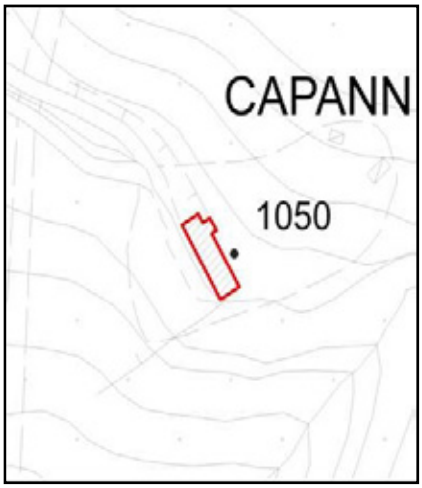
Tipo di combustibile: GPL

Anno di installazione della caldaia: 2006

Potenza caldaia attuale: dato non disponibile

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente

- Albergo Il Capannone -



Caratteristiche dell'edificio

Altitudine: 1055 m s.l.m.

Zona altimetrica:E

Esposizione: Sud-Ovest

Tipologia: pubblico

Destinazione d'uso: turistico - ricettivo

Localizzazione della struttura: isolata

Anno di costruzione: edificio in ristrutturazione

Superficie utile: 642 mq

Superficie delle pareti esterne: 812 mq

Volume lordo riscaldato: 1718 mc

Tipo di copertura: falde / padiglione

Alimentazione termica dell'edificio

Tipo di combustibile: GPL

Anno di installazione della caldaia: dato non disponibile

Potenza caldaia attuale: dato non disponibile

Distanza dalla rete metano: rete attualmente non presente

5.3.6.2 Comune di San Marcello Pistoiese: analisi degli investimenti

Il primo caso di studio prevede la realizzazione di un impianto termosingolo della potenza di 140 kW che alimenti la sede della Comunità Montana nell'abitato di San Marcello Pistoiese.
La volumetria del silo di stoccaggio è pari a 36 mc.

CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO A CIPPATO

Sede Comunità Montana	
Dimensionamento dell'impianto	
Volume riscaldato (mc)	4,678
Superficie utile dell'edificato (m^2)	1,030
Potenza della caldaia a cippato (kW)	140
Volume accumuli inerziali (mc)	3
Volume vano centrale termica (mc)	43
Volume vano di stoccaggio del cippato (mc)	36
Lunghezza rete di teleriscaldamento (m)	0
Potenza elettrica installata (kWel)	15
Potenza caldaia di backup (kW)	140
Fabbisogno energetico dell'impianto	
Ore di funzionamento annue dell'impianto (h)	1,835
Fabb. energetico dell'edificato (kWh/anno)	154,500
Rendimento dell'impianto a cippato (%)	60%
Fabbisogno di cippato (tonn/anno)	76
Rendimento impianto alternativo a gasolio (%)	85%
Gasolio sostituito (litri/anno)	18,360

Tabella 65. Caratteristiche dell'impianto a cippato: sede Comunità Montana (Comune di San Marcello P.se)

Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto			
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**	**Costi di realizzazione con finanz. 50% (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	280	39.236	19.618
Vano centrale term. e stocc. cippato (€/mc)	200	15.802	7.901
Rete di teleriscaldamento (€/m)	0	0	0
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	125	17.543	8.771
Caldaia backup (€/kW)	154	21.580	21.580
	TOTALE (€)	**94.159**	**57.869**

Costi unitari e totali di gestione			
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**	**Costi di gestione annui con finanz. 50% (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	4.90	688	688
Manutenzione straordinaria (€/kW)	1.00	140	140
Acquisto cippato (€/tonn)	60.00	4.544	4.544
Interessi su capitale (€/anno)	-	3.296	2.025
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	3.138	3.138
	TOTALE (€)	**11.805**	**10.535**

Tabella 66. Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato: sede Comunità Montana (Comune di San Marcello P.se)

Costi di installazione e gestione dell'impianto alternativo a gasolio

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto		
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	154	21.580
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	69	9.648
	TOTALE (€)	**31.228**

Costi unitari e totali di gestione		
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	2.70	378
Manutenzione straordinaria (€/kW)	0.55	77
Acquisto del gasolio (€/litro)	1.07	19.645
Interessi su capitale (€/anno)	-	1.093
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	1.726
	TOTALE (€)	**22.919**

Tabella 67. Costi di installazione e gestione dell'impianto a combustibili fossili: sede Comunità Montana (Comune di San Marcello P.se)

VALUTAZIONE FINANZIARIA DELL'INVESTIMENTO

PARAMETRI TECNICO - ECONOMICI PER FINANZIAMENTO		
Parametro	**Valore impianto**	**Esempio di valore max. per finanz.**
Costo / potenza impianto (€/kW)	280	**330**
Lungh. rete telerisc. / potenza imp. (m/kW)	0.0	**3,3**
Potenza caldaia / volume riscaldato (W/mc)	30	**45**

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A CIPPATO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno	**Costi attualizzati (€)**	**Costi attualizzati con finanz. del 50% (€)**
0	-94159.37	-57869.47
1	-11307.72	-10091.11
2	-10831.15	-9665.81
3	-10374.66	-9258.44
4	-9937.42	-8868.24
5	-9518.60	-8494.48
6	-9117.43	-8136.47
7	-8733.17	-7793.56
8	-8365.11	-7465.09
9	-8012.56	-7150.47
10	-7674.86	-6849.11
11	-7351.40	-6560.45
12	-7041.57	-6283.96
13	-6744.80	-6019.12
14	-6460.54	-5765.44
15	-6188.25	-5522.45
	-221818.62	**-171793.67**
	VAC	**VAC con finanziamento del 50%**

Tabella 68. Flusso di cassa relativo all'impianto a cippato: sede Comunità Montana (Comune di San Marcello P.se)

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A GASOLIO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno di riferimento	**Costi (€)**	**Costi attualizzati (€)**
0	-31.228	-31.228
1	-22.919	-21.953
2	-22.919	-21.028
3	-22.919	-20.142
4	-22.919	-19.293
5	-22.919	-18.480
6	-22.919	-17.701
7	-22.919	-16.955
8	-22.919	-16.240
9	-22.919	-15.556
10	-22.919	-14.900
11	-22.919	-14.272
12	-22.919	-13.671
13	-22.919	-13.095
14	-22.919	-12.543
15	-22.919	-12.014
		-279.072
		VAC

Tabella 69. Flusso di cassa relativo all'impianto a combustibili fossili: sede Comunità Montana (Comune di San Marcello P.se)

ΔVAC SENZA E CON FINANZIAMENTO		
Anno	***ΔVAC (€)***	***ΔVAC con finanz. del 50% (€)***
0	-62.931	-26.642
1	-52.286	-14.779
2	-42.089	-3.417
3	-32.322	7.467
4	-22.966	17.891
5	-14.005	27.877
6	-5.421	37.441
7	2.801	46.603
8	10.676	55.378
9	18.219	63.784
10	25.445	71.835
11	32.366	79.547
12	38.995	86.934
13	45.345	94.009
14	51.427	100.787
15	**57.253**	**107.278**

	INDICI DI EFFICIENZA FINANZIARIA	
	senza finanziamento iniziale	**con finanziamento del 50%**
Tempo di ritorno (anni)	**7**	**3**
ΔVAC (€)	**57.253**	**107.278**
Saggio di Rendimento Interno (%)	**15.7%**	**46.3%**
Prezzo di BEP del cippato (€/tonn)	**129.91**	**190.99**

Tabella 70. Indici di valutazione finanziaria dell'investimento: sede Comunità Montana (Comune di San Marcello P.se)

Il secondo caso di studio prevede la realizzazione di un impianto termosingolo della potenza di 52 kW che alimenti l'albergo Il Capannone, nella frazione di Maresca.
La volumetria del silo di stoccaggio è pari a 19 mc.

CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO A CIPPATO

Albergo Il Capannone	
Dimensionamento dell'impianto	
Volume riscaldato (mc)	1,718
Superficie utile dell'edificato (m^2)	554
Potenza della caldaia a cippato (kW)	52
Volume accumuli inerziali (mc)	1
Volume vano centrale termica (mc)	16
Volume vano di stoccaggio del cippato (mc)	19
Lunghezza rete di teleriscaldamento (m)	0
Potenza elettrica installata (kWel)	10
Potenza caldaia di backup (kW)	52
Fabbisogno energetico dell'impianto	
Ore di funzionamento annue dell'impianto (h)	2,687
Fabb. energetico dell'edificato (kWh/anno)	83,100
Rendimento dell'impianto a cippato (%)	60%
Fabbisogno di cippato (tonn/anno)	41
Rendimento impianto alternativo a GPL (%)	85%
GPL sostituito (litri/anno)	13,966

Tabella 71. Caratteristiche dell'impianto a cippato: albergo Il Capannone (Comune di San Marcello P.se)

Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto			
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**	**Costi di realizzazione con finanz. 50% (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	300	15.444	7.722
Vano centrale term. e stocc. cippato (€/mc)	200	7.034	3.517
Rete di teleriscaldamento (€/m)	0	0	0
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	125	6.443	3.221
Caldaia backup (€/kW)	150	7.722	7.722
	TOTALE (€)	**36.642**	**22.182**

Costi unitari e totali di gestione			
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**	**Costi di gestione annui con finanz. 50% (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	4.90	253	253
Manutenzione straordinaria (€/kW)	1.00	52	52
Acquisto cippato (€/tonn)	60.00	2.444	2.444
Interessi su capitale (€/anno)	-	1.282	776
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	3.063	3.063
	TOTALE (€)	**7.094**	**6.588**

Tabella 72. Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato: albergo Il Capannone (Comune di San Marcello P.se)

Costi di installazione e gestione dell'impianto alternativo a GPL

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto		
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	150	7.722
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	63	3.221
	TOTALE (€)	**10.943**

Costi unitari e totali di gestione		
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	2.45	126
Manutenzione straordinaria (€/kW)	0.50	26
Acquisto del GPL (€/litro)	0.93	12.989
Interessi su capitale (€/anno)	-	383
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	1.532
	TOTALE (€)	**15.056**

Tabella 73. Costi di installazione e gestione dell'impianto a combustibili fossili: albergo Il Capannone (Comune di San Marcello P.se)

VALUTAZIONE FINANZIARIA DELL'INVESTIMENTO

PARAMETRI TECNICO - ECONOMICI PER FINANZIAMENTO		
Parametro	**Valore impianto**	**Esempio di valore max. per finanz.**
Costo / potenza impianto (€/kW)	300	**330**
Lungh. rete telerisc. / potenza imp. (m/kW)	0.0	**3,3**
Potenza caldaia / volume riscaldato (W/mc)	30	**45**

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A CIPPATO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno	**Costi attualizzati (€)**	**Costi attualizzati con finanz. del 50% (€)**
0	-36642.38	-22182.21
1	-6795.15	-6310.37
2	-6508.76	-6044.42
3	-6234.45	-5789.67
4	-5971.69	-5545.66
5	-5720.01	-5311.94
6	-5478.94	-5088.06
7	-5248.02	-4873.62
8	-5026.84	-4668.22
9	-4814.98	-4471.48
10	-4612.05	-4283.02
11	-4417.68	-4102.51
12	-4231.49	-3929.61
13	-4053.15	-3763.99
14	-3882.33	-3605.36
15	-3718.71	-3453.41
	-113356.63	**-93423.54**
	VAC	**VAC con finanziamento del 50%**

Tabella 74. Flusso di cassa relativo all'impianto a cippato: albergo Il Capannone (Comune di San Marcello P.se)

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A GPL		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno di riferimento	**Costi (€)**	**Costi attualizzati (€)**
0	-10.943	-10.943
1	-15.056	-14.421
2	-15.056	-13.813
3	-15.056	-13.231
4	-15.056	-12.673
5	-15.056	-12.139
6	-15.056	-11.628
7	-15.056	-11.138
8	-15.056	-10.668
9	-15.056	-10.219
10	-15.056	-9.788
11	-15.056	-9.375
12	-15.056	-8.980
13	-15.056	-8.602
14	-15.056	-8.239
15	-15.056	-7.892
		-173.750
		VAC

Tabella 75. Flusso di cassa relativo all'impianto a combustibili fossili: albergo Il Capannone (Comune di San Marcello P.se)

ΔVAC SENZA E CON FINANZIAMENTO		
Anno	***ΔVAC (€)***	***ΔVAC con finanz. del 50% (€)***
0	-25.699	-11.239
1	-18.073	-3.128
2	-10.769	4.640
3	-3.772	12.082
4	2.930	19.210
5	9.349	26.037
6	15.498	32.577
7	21.387	38.841
8	27.029	44.841
9	32.432	50.588
10	37.608	56.093
11	42.566	61.366
12	47.315	66.416
13	51.863	71.254
14	56.220	75.888
15	**60.393**	**80.327**

	INDICI DI EFFICIENZA FINANZIARIA	
	senza finanziamento iniziale	**con finanziamento del 50%**
Tempo di ritorno (anni)	**4**	**2**
ΔVAC (€)	**60.393**	**80.327**
Saggio di Rendimento Interno (%)	**30.4%**	**75.3%**
Prezzo di BEP del cippato (€/tonn)	**197.10**	**242.35**

Tabella 76. Indici di valutazione finanziaria dell'investimento: albergo Il Capannone (Comune di San Marcello P.se)

Il terzo caso di studio prevede la realizzazione di un impianto di teleriscaldamento della potenza di 97 kW che alimenti i due edifici censiti nel complesso turistico di Casetta Pulledrai, nella frazione di Maresca, all'interno della Foresta del Teso.
La lunghezza complessiva della rete di teleriscaldamento è di 50 metri, mentre la volumetria del silo di stoccaggio risulta pari a 35 mc.

CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO A CIPPATO

Complesso turistico-ricettivo Casetta Pulledrai	
Dimensionamento dell'impianto	
Volume riscaldato (mc)	3,228
Superficie utile dell'edificato (m^2)	1,008
Potenza della caldaia a cippato (kW)	97
Volume accumuli inerziali (mc)	2
Volume vano centrale termica (mc)	30
Volume vano di stoccaggio del cippato (mc)	35
Lunghezza rete di teleriscaldamento (m)	50
Potenza elettrica installata (kWel)	10
Potenza caldaia di backup (kW)	97
Fabbisogno energetico dell'impianto	
Ore di funzionamento annue dell'impianto (h)	2,602
Fabb. energetico dell'edificato (kWh/anno)	151,200
Rendimento dell'impianto a cippato (%)	60%
Fabbisogno di cippato (tonn/anno)	74
Rendimento impianti alternativi a GPL (%)	85%
GPL sostituito (litri/anno)	25,412

Tabella 77. Caratteristiche dell'impianto a cippato: Casetta Pulledrai (Comune di San Marcello P.se)

Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato

Costi unitari e totali di realizzazione dell'impianto			
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianto (€)**	**Costi di realizzazione con finanz. 50% (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	289	28.026	14.013
Vano centrale term. e stocc. cippato (€/mc)	200	12.985	6.493
Rete di teleriscaldamento (€/m)	100	5.000	2.500
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	125	12.105	6.053
Caldaia backup (€/kW)	145	14.013	14.013
	TOTALE (€)	**72.130**	**43.072**

Costi unitari e totali di gestione			
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**	**Costi di gestione annui con finanz. 50% (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	4.90	475	475
Manutenzione straordinaria (€/kW)	1.00	97	97
Acquisto cippato (€/tonn)	60.00	4.447	4.447
Interessi su capitale (€/anno)	-	2.525	1.508
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	2.967	2.967
	TOTALE (€)	**10.510**	**9.492**

Tabella 78. Costi di installazione e gestione dell'impianto a cippato: Casetta Pulledrai (Comune di San Marcello P.se)

Costi di installazione e gestione degli impianti alternativi a GPL

Costi unitari e totali di realizzazione degli impianti		
Voce di costo	**Costi unitari impianto**	**Costi di realizzazione impianti (€)**
Caldaia e accessori impianto (€/kW)	145	14.013
Installazione e servizi di ingegneria (€/kW)	63	6.053
	TOTALE (€)	**20.066**

Costi unitari e totali di gestione		
Voce di costo	**Costi unitari gestione**	**Costi di gestione annui (€)**
Manutenzione ordinaria (€/kW)	2.45	237
Manutenzione straordinaria (€/kW)	0.50	48
Acquisto del GPL (€/litro)	0.93	23.633
Interessi su capitale (€/anno)	-	702
Costo dell'energia elettrica (€/kWhel)	0.19	1.483
	TOTALE (€)	**26.104**

Tabella 79. Costi di installazione e gestione dell'impianto a combustibili fossili: Casetta Pulledrai (Comune di San Marcello P.se)

VALUTAZIONE FINANZIARIA DELL'INVESTIMENTO

PARAMETRI TECNICO - ECONOMICI PER FINANZIAMENTO		
Parametro	**Valore impianto**	**Esempio di valore max. per finanz.**
Costo / potenza impianto (€/kW)	289	**330**
Lungh. rete telerisc. / potenza imp. (m/kW)	0.5	**3,3**
Potenza caldaia / volume riscaldato (W/mc)	30	**45**

FLUSSO DI CASSA RELATIVO ALL'IMPIANTO A CIPPATO		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno	**Costi attualizzati (€)**	**Costi attualizzati con finanz. del 50% (€)**
0	-72130.14	-43071.69
1	-10066.58	-9092.40
2	-9642.32	-8709.20
3	-9235.94	-8342.14
4	-8846.69	-7990.56
5	-8473.84	-7653.79
6	-8116.70	-7331.22
7	-7774.62	-7022.24
8	-7446.95	-6726.28
9	-7133.10	-6442.80
10	-6832.47	-6171.26
11	-6544.51	-5911.17
12	-6268.69	-5662.04
13	-6004.49	-5423.41
14	-5751.43	-5194.84
15	-5509.03	-4975.90
	-185777.48	**-145720.94**
	VAC	**VAC con finanziamento del 50%**

Tabella 80. Flusso di cassa relativo all'impianto a cippato: Casetta Pulledrai (Comune di San Marcello P.se)

FLUSSO DI CASSA RELATIVO AGLI IMPIANTI A GPL		
	Saggio d'interesse	**4.4%**
Anno di riferimento	**Costi (€)**	**Costi attualizzati (€)**
0	-20.066	-20.066
1	-26.104	-25.004
2	-26.104	-23.950
3	-26.104	-22.941
4	-26.104	-21.974
5	-26.104	-21.048
6	-26.104	-20.161
7	-26.104	-19.311
8	-26.104	-18.497
9	-26.104	-17.718
10	-26.104	-16.971
11	-26.104	-16.256
12	-26.104	-15.571
13	-26.104	-14.914
14	-26.104	-14.286
15	-26.104	-13.684
		-302.350
		VAC

Tabella 81. Flusso di cassa relativo all'impianto a combustibili fossili: Casetta Pulledrai (Comune di San Marcello P.se)

ΔVAC SENZA E CON FINANZIAMENTO		
Anno	***ΔVAC (€)***	***ΔVAC con finanz. del 50% (€)***
0	-52.064	-23.006
1	-37.127	-7.094
2	-22.819	8.147
3	-9.114	22.745
4	4.013	36.729
5	16.587	50.123
6	28.631	62.952
7	40.168	75.241
8	51.218	87.012
9	61.802	98.287
10	71.941	109.087
11	81.652	119.431
12	90.954	129.340
13	99.864	138.831
14	108.398	147.921
15	**116.573**	**156.629**

	INDICI DI EFFICIENZA FINANZIARIA	
	senza finanziamento iniziale	**con finanziamento del 50%**
Tempo di ritorno (anni)	**4**	**2**
ΔVAC (€)	**116.573**	**156.629**
Saggio di Rendimento Interno (%)	**29.3%**	**72.2%**
Prezzo di BEP del cippato (€/tonn)	**205.44**	**255.42**

Tabella 82. Indici di valutazione finanziaria dell'investimento: Casetta Pulledrai (Comune di San Marcello P.se)

5.4 Il calendario delle sostituzioni degli impianti termici

Il Piano di Conversione Energetica (PCE) dopo aver sviluppato una valutazione economica degli investimenti connessi alla installazione e gestione degli impianti termici alimentati a biomassa, è quindi passato alla definizione di un calendario delle sostituzioni degli impianti esaminati.
I parametri presi in considerazione per la definizione della successione "ottimale" degli interventi di sostituzione, oltre a quelli prettamente economici legati all'efficienza dell'investimento, sono legati a vincoli di natura tecnico-economica. In particolare, sono stati considerati i seguenti vincoli:

- la durata del Piano di Conversione Energetica è stata ipotizzata pari a quindici anni, ovvero, di durata analoga alla vita media presa in considerazione nelle valutazioni degli investimenti in impianti termici alimentati a cippato.
- Ipotizzando che gli interventi di conversione possano godere, nel periodo di durata del Piano, di eventuali finanziamenti resi disponibili sia a livello nazionale che regionale, è stato ipotizzato che le amministrazioni comunali non possano effettuare nuovi interventi di conversione fino a che non siano stati realizzati almeno un impianto in ciascun Comune. Ciò al fine di garantire una più equa distribuzione delle risorse economiche tra le diverse amministrazioni.
- La realizzazione di un ulteriore impianto termico a cippato in un Comune può essere realizzato solo quando il tempo di ritorno dell'investimento precedente sia stato coperto.
- L'intervento di sostituzione dell'impianto termico può essere effettuato solo quando la caldaia a combustibile fossile ha raggiunto un'età uguale o superiore a quindici anni.
- Se all'interno dello stesso Comune sono presenti due progetti preliminari di sostituzione di impianti termici che presentano lo stesso tempo di ritorno, viene data priorità a quello con "ΔVAC" più alto; ciò perché si favorisce l'impianto che presenta la maggiore efficienza economica dell'investimento, sia perché essendo il ΔVAC correlato anche alle dimensioni d'impianto, e quindi alla domanda di materia prima, significa che il progetto che presenta valori più elevati di ΔVAC determinerà anche maggiori effetti economici sull'indotto locale.

Come anticipato nei precedenti capitoli, il Piano di Conversione ha previsto la realizzazione di tredici impianti, sia di teleriscaldamento che termosingoli, a servizio di ventiquattro edifici (ventuno pubblici e tre privati.

Sulla base dei risultati emersi dall'analisi finanziaria ed in considerazione dei vincoli imposti, è emersa la seguente ipotesi di Calendario di Sostituzione. Le sostituzioni sono state proposte per classi triennali, onde evitare livelli di accuratezza che in fase esecutiva del Piano potrebbero creare solo problemi gestionali.

Interventi di sostituzione nel triennio 2008 – 2010
Comune di Cutigliano: scuole materna, elementare e media, palestra e complesso turistico Rondò Priscilla.
Comune di Sambuca: palazzo municipale.
Comune di San Marcello P.se: albergo Il Capannone.
Comune di Marliana: scuola elementare e palazzo municipale.

Interventi di sostituzione nel triennio 2011 – 2013
Comune di Abetone: palazzo municipale, scuole comunali, albergo Granduca ed albergo Regina.
Comune di Piteglio: teatro di Popiglio.

Interventi di sostituzione nel triennio 2014 – 2016
Comune di San Marcello P.se: sede Comunità Montana.
Comune di Cutigliano: scuole di Pian degli Ontani.

Interventi di sostituzione nel triennio 2017 – 2019
Comune di Abetone: ambulatorio medico e Misericordia.
Comune di Sambuca: scuole di Pavana.

Interventi di sostituzione nel triennio 2020 – 2022
Comune di Piteglio: scuole materna e elementare e palestra comunale.
Comune di San Marcello P.se: complesso turistico Casetta Pulledrai.
Comune di Marliana: palestra comunale[26].

Allo scopo di comparare la domanda energetica generata da questi impianti con l'offerta disponibile sul territorio, è stato calcolato anche il fabbisogno di biomassa cumulato ed il quantitativo di combustibili fossili sostituiti nel corso dei quindici anni considerati (tab. 83).

Triennio di riferimento	***Fabbisogno di biomassa cumulato (tonn)***
2008-2010	1433
2011-2013	2819
2014-2016	3192
2017-2019	3572
2020-2022	4380

Tabella 83. Fabbisogno cumulato di cippato nei quindici anni di riferimento

Dall'esame della tabella 78 e della figura 15, emerge che il fabbisogno di biomassa triennale passa dalle 1.433 tonnellate di cippato, alle 4.380 tonnellate. A tali entità “triennali”, corrispondono dei fabbisogni medi annui rispettivamente di 478 tonnellate e di 1460 tonnellate.

[26] L’analisi finanziaria degli investimenti evidenzia come, nell’ipotesi di assenza di finanziamento, l’intervento di realizzazione di un impianto a cippato per la palestra comunale di Marliana, non abbia un tempo di ritorno nei quindici anni considerati. Tale edificio è stato comunque considerato nel Piano di Conversione Energetica, poiché, nell’eventualità di contribuzione al 50% in conto capitale, i parametri di efficienza economica dell’intervento risultano positivi.

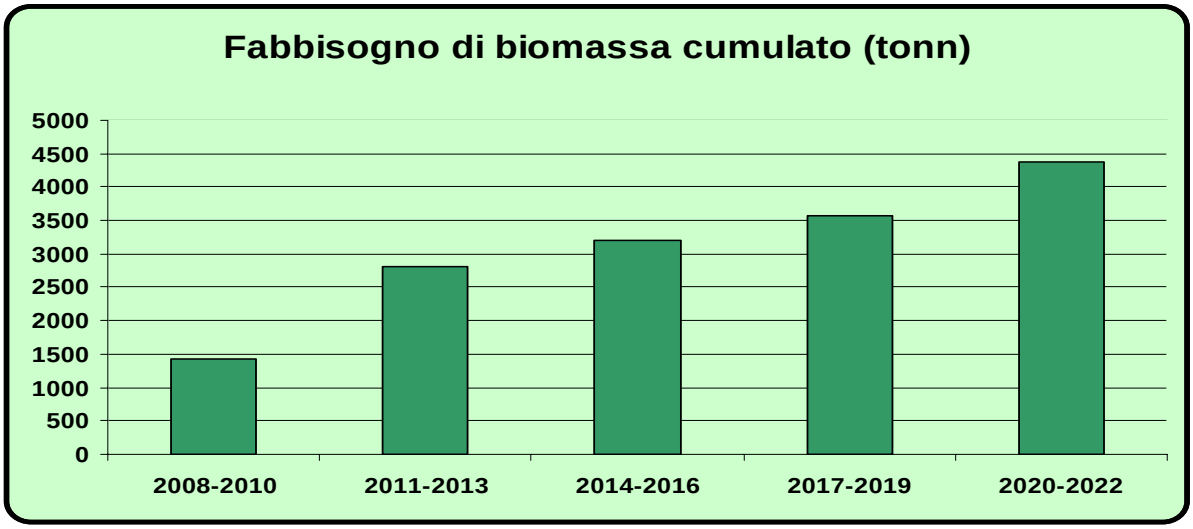


Figura 15: fabbisogno cumulato di biomasse

Se passiamo ad esaminare gli effetti ambientali connessi a tali interventi, possiamo constatare che l'impiego di biomasse forestali in sostituzione dei combustibili fossili tradizionali, determina una riduzione netta nei consumi di gasolio che arriva alle 887 tonnellate annue, cui si aggiungono 247 metri cubi di GPL ogni anno (tab. 84).

Triennio di riferimento	*Combustibile tradizionale sostituito (litri)*	
	Gasolio	**GPL**
2008-2010	317701	41899
2011-2013	653690	41899
2014-2016	744278	41899
2017-2019	836417	41899
2020-2022	886845	247311

Tabella 84. Quota cumulata dei combustibili fossili sostituti nei quindici anni di riferimanto

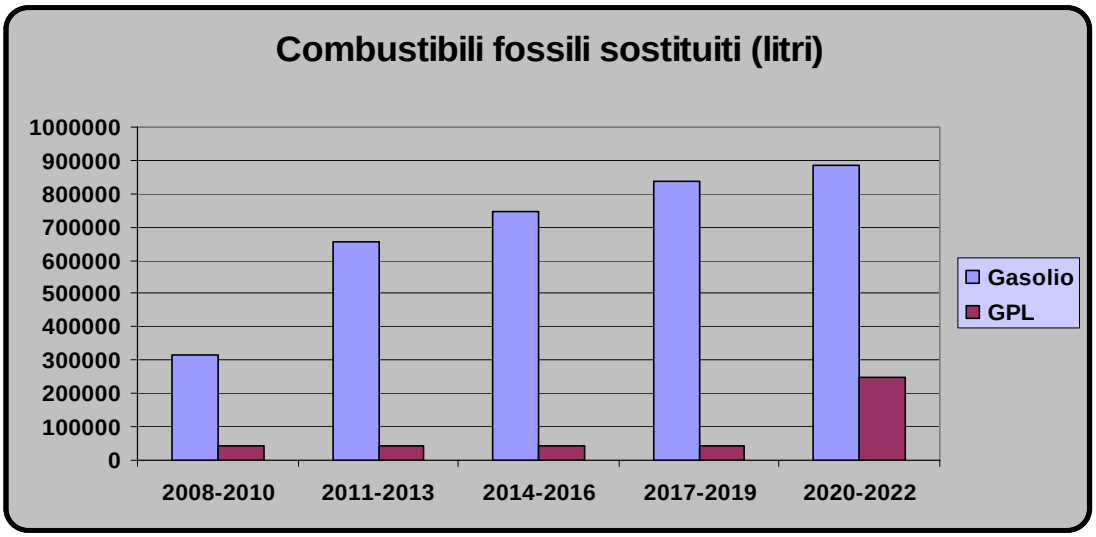


Figura 16. Entità annua dei combustibili fossili sostituti nel periodo di durata del Piano di Conversione

6 POSSIBILI MODELLI DI FILIERA LEGNO-ENERGIA BASATE SULL'IMPIEGO DI LEGNO CIPPATO E VINCOLI TECNICO-ORGANIZZATIVI

In questo capitolo illustriamo i punti critici ed i vincoli tecnico-organizzativi che possono ostacolare l'effettiva realizzazione di filiere legno-energia nel contesto territoriale della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese.

6.1 L'attivazione della filiera legno-energia nella Comunità Montana Appennino Pistoiese

Nel territorio della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese l'impiego di biomasse legnose per fini energetici rappresenta, di fatto, una consuetudine, poiché il mercato della legna da ardere risulta estremamente sviluppato e radicato nella realtà sociale dell'area. L'uso delle biomasse non è dunque una novità per il territorio, casomai la novità è legata alla tipologia di materia prima impiegata ed alla modalità con cui vengono utilizzate queste biomasse. Nel caso specifico, infatti, si tratta di impiegare legno sminuzzato (prevalentemente prodotto da cippatura dei diradamenti di conifere e dalle ramaglie prodotte con i tagli di maturità), in impianti termici centralizzati o in sistemi di teleriscaldamento.
L'attivazione di questa filiera energetica, complementare a quella tradizionale della legna da ardere, presenta però un problema rilevante legato soprattutto al circolo vizioso che si crea in seguito al fatto che l'operatore forestale non produce legno cippato perché al momento non vi è né domanda del prodotto, né garanzia di fornitura; mentre dall'altro lato, il consumatore non valuta la possibilità di installare impianti termici alimentati a cippato di legno, perché al momento non vi è disponibilità del prodotto e, soprattutto, non c'è garanzia di stabilità né dell'offerta, né di supporto tecnico per la gestione di questo tipo di tecnologie.
Alla luce di queste considerazioni, i due modelli di filiera che presentano le maggiori opportunità di sviluppo nella realtà locale possono essere ricondotte a:

1. vendita di legno cippato a terzi;
2. vendita di calore.

6.1.1 Vendita di legno cippato a terzi

L'impresa forestale che intende avviare l'attività "complementare" di produzione e vendita del biocombustibile (legno cippato) costituisce il primo anello della filiera foresta-legno-energia.
Nel territorio della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese, questo tipo di impresa ha bisogno di focalizzare la propria attività sulla gestione e manutenzione di boschi (prevalentemente cedui), trovando un giusto equilibrio tra gli usi tradizionali del legname: legna da ardere, paleria, ecc. e quelli di nuova generazione connessi alla produzione di cippato ed eventualmente pellet.
L'impresa di produzione e vendita di cippato deve quindi modificare la struttura dei propri cantieri e l'assetto logistico in relazione alla vendita di due o più prodotti.

Sulla base di esperienze già avviate in Toscana da imprese del settore forestale che operano in contesti e soprassuoli simili a quelli della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese (Consorzio Futa-Le-Ener, area del Mugello), emerge che la modalità operativa migliore è quella di organizzare piazzali di raccolta del legname presso i cantieri forestali, in modo da trasformare il prodotto in cippato direttamente "all'imposto", e caricarlo automaticamente sui camion per poi essere trasportato direttamente alle utenze energetiche.

I principali problemi legati a questa struttura imprenditoriale sono legati alla ricerca di un numero di utenze sufficiente a generare un livello di domanda di prodotto cippato tale da giustificare l'acquisto di tutte le attrezzature necessarie ad avviare la nuova linea produttiva; e secondariamente, al problema della corretta valutazione dei costi di produzione unitari nel caso di aziende forestali multiprodotto. Secondo alcune indagini condotte su imprese del settore forestale del Mugello, la massa critica minima per l'avvio della produzione è di almeno 4.000-5.000 tonnellate annue (Guidi, Cesano, 2006).

Tali entità sono state però stimate sulla base di prezzi di vendita del prodotto estremamente bassi, poiché le imprese collocano il prodotto ad un impianto termo-elettrici del Nord Italia, ovvero ad un utilizzatore che può offrire prezzi molto contenuti; inoltre, i costi di produzione sono stati calcolati considerando una distanza di trasporto piuttosto alta. A ciò si aggiunge il fatto che la valutazione non tiene conto del fatto che i prezzi del cippato saranno in progressiva crescita per effetto della crescita del prezzo petrolifero e che quindi anche le biomasse disponibili saranno molte di più rispetto a quelle attuali poiché sarà possibile raggiungere anche aree più remote che adesso presentano macchiatici negativi. E' quindi plausibili ipotizzare che la massa critica minima al di sopra della quale sia plausibile la realizzazione di una impresa di fornitura di di legno cippato, sia di circa 2.000-3.000 tonnellate annue (se non inferiore).

Ulteriore problema legato a questo tipo di imprese è quello di stimare in modo corretto i costi di produzioni unitari del cippato. Trattandosi di un'azienda multiprodotto si pone adesso il problema di imputare in modo corretto i costi di produzione indiretti. A tale scopo rimandiamo alla consultazione del testo di Bernetti e Fagarazzi, (a cura di) (2003) *BIOSIT: Una metodologia GIS per lo sfruttamento efficiente e sostenibile della "risorsa biomassa" a fini energetici*, 2003, per la definizione della corretta metodologia contabile utile a definire i costi di produzione di un azienda multiprodotto.

In conclusione, per questo tipo di impresa è dunque fondamentale stipulare un portafoglio di contratti di fornitura di durata pluriennale che permetta in tempi rapidi il raggiungimento della massa critica di prodotto. In questo ambito, assolvono un ruolo fondamentale gli Enti Locali soprattutto attraverso l'installazione presso le proprie strutture di impianti termici e termoelettrici alimentati a cippato di legno. La funzione didattico-dimostrativa assolta da tali impianti permetteranno una rapida diffusione di queste tecnologie anche presso le utenze private garantendo il raggiungimento della massa critica di produzione di cippato.

Va infine ricordato, che l'impresa di utilizzazione boschiva, dovrà produrre legno cippato e rifornire l'impianto, secondo modalità e parametri definiti all'atto di stipula del contratto di fornitura. In tal caso infatti, le caratteristiche qualitative e, in alcuni casi, di origine del combustibile, dovranno soddisfare determinati standard (umidità, pezzatura, prezzo, ecc.) al fine di garantire il funzionamento ottimale dell'impianto termico.

6.1.2 Vendita di calore

L'altro modello imprenditoriale proponibile per il contesto della Comunità Montana dell'Appennino è rappresentato dall'impresa integrata che effettua servizio calore.

Si tratta di un modelli molto interessante per redditività e potenzialità di sviluppo del mercato che, in una logica di integrazione di filiera, prevede di solito, la costituzione di forme consortili e/o "accordi di filiera", tra l'impresa di utilizzazioni, l'azienda forestale, il gestore del servizio energetico e l'installatore dei sistemi termici, allo scopo di coordinare i reciproci ruoli per offrire un servizio calore che parte dalla produzione di cippato sia di origine forestale che agricola. Per questo tipo di filiera è indispensabile uno stretto rapporto tra il produttore di biomassa ed il gestore del servizio calore al fine di garantire l'approvigionamento, la qualità del bio-combustibile e la stabilità del prezzo.

Questo mercato, ha visto la nascita delle prime imprese di servizio calore nella regione della Stiria (Austria), dove imprese agro-forestali hanno iniziato ad implementare l'attività di produzione e fornitura di cippato per l'alimentazione di impianti di teleriscaldamento, con la vendita diretta di calore alle utenze finali, secondo il modello definito *Holzenergie Contracting* (letteralmente "contratto legno – energia).

Si tratta di un modello che può essere facilmente replicato in molti contesti territoriali italiani. Esistono infatti diverse forme imprenditoriali e contrattuali su cui basare la filiera legno-servizio energia che possono soddisfare tutte le esigenze delle realtà locali e delle figure professionali coinvolte. Nel territorio dell'Appennino Pistoiese grazie alla sinergia e all'interesse dimostrato dai vari Enti; Comunità Montana, amministrazioni comunali, Associazioni Boscaioli Toscana e Pistoiese (ARBO e ABP), nonché da alcune realtà imprenditoriali legate al settore turistico (residence ed alberghi), si possono prevedere due modalità di vendita del calore:

- Contratto di Prestazione Energetica (ECP);
- Creazione di una E.S.Co. (*Energy Service Company*).

Nel primo caso (ECP) l'impianto di teleriscaldamento verrà realizzato dall'utente, che potrà essere un soggetto pubblico, come un'amministrazione comunale interessato a riscaldare edifici, scuole, palestre, ecc.; oppure un privato, come un albergo; mentre la gestione dell'impianto verrà invece affidata ad un'impresa agro-forestale, che, di conseguenza, non si limiterà a vendere cippato, ma dovrà occuparsi di tutte le operazioni necessarie alla fornitura diretta di calore.

Una E.S.Co. invece, consiste in una società che realizza l'impianto e vende calore all'utente. Essa fornisce quindi un servizio energetico e può avere un legame di fornitura del bio-combustibile con un'azienda forestale locale o anche trovarsi nelle condizioni di costituire una società consortile con il fornitore di cippato. Uno o più fornitori di tecnologia entrano in relazione con la E.S.Co. per l'offerta delle caldaie a biomassa e delle altre tecnologie da fornire e possono siglare con la stessa accordi per garantire anche servizi aggiuntivi di installazione e/o manutenzione.

Un aspetto molto importante da considerare è la capitalizzazione della società di servizio energetico in quanto essa deve fornire energia termica all'utenza locale assorbendo il costo dell'investimento iniziale. Di regola, se non pienamente dipendente dal capitale proprio, lo schema E.S.Co. può dunque coinvolgere anche una società finanziaria o una banca come fornitore di meccanismi di credito a medio-lungo periodo. Queste ultime devono poter rispondere ad eventuali fabbisogni di finanziamento anche per gli investimenti nella catena produttiva del cippato.

La presenza della Energy Service Company, risolve quindi il problema del costo dell'investimento iniziale alle utenze, ovvero risolve il problema di natura finanziaria. Non si tratta infatti di un problema di natura economica in quanto il risparmio ottenibile sui costi operativi (approvigionamento di combustibile) è per la maggior parte dei casi superiore al 70%.

Le principali tipologie di canone praticate dalla "ESCO" alle utenze per la fornitura del servizio energetico sono (Cesano, Guidi, 2006):

1. Canone con formula "risparmio condiviso", in cui la società ESCO e l'utenza si accordano per una contitolarità dei risparmi (ad esempio. 70 % del risparmio alla ESCO e 30 % all'utenza) e di conseguenza si definisce un equilibrio tra durata del contratto ed il periodo di ritorno dell'investimento.

2. Canone *First Out* (o a cessione globale limitata). per cui l'utenza riconosce alla ESCO il 100% del risparmio conseguito, ciò per un periodo limitato fino alla totale restituzione del capitale, incluso il valore degli oneri finanziari.
3. Canone a "risparmio garantito", in cui la società ESCO si impegna a garantire l'utenza che alla scadenza del contratto di servizio, i risparmio ottenuto dal cliente non sarà inferiore all'ammontare dell'investimento comprensivo degli oneri finanziari.

6.1.3 Esigenze e problemi tecnico - organizzativi

Dal punto di vista tecnico, logistico ed organizzativo i principali limiti e rischi che si possono riscontrare nella strutturazione operativa della filiera, sono riconducibili ai seguenti aspetti:

6.1.3.1 Per le ditte di utilizzazione boschiva e/o società di vendita di calore

- Emerge la necessità di un corretto dimensionamento del cantiere forestale e adeguamento della viabilità, dei macchinari e dei processi produttivi, ad esempio con l'acquisto di cippatrici e la definizione di siti intermedi di stoccaggio ed essiccazione del legno sminuzzato.
- L'eventuale assenza di Piani di Gestione Forestale e Piani dei Tagli, in aggiunta alla frammentazione della proprietà forestale, soprattutto a livello privato, possono rendere difficoltosa la pianificazione delle utilizzazioni e la determinazione del quantitativo annuo di legno cippato ottenibile dalle risorse locali.
- La variabilità delle condizioni di lavoro, dal punto di vista delle caratteristiche vegetazionali e morfologiche, può determinare rendimenti del parco macchine non ottimali.
- Nel caso di creazione di società di vendita di calore che realizzano e gestiscono l'impianto di teleriscaldamento, emerge l'esigenza di elevati investimenti iniziali e la necessità di affiancarsi a diverse figure professionali competenti; come società finanziarie e ditte di installazione e manutenzione degli impianti.
- Esistono inoltre rischi legati alla competizione di prodotti legnosi esteri (cippato di importazione) che, a causa dei bassi costi di produzione, posso trovare collocazione anche nell'area mediterranea a prezzi estremamente competitivi.
- Infine, vi è l'esigenza di un corretto dimensionamento della filiera, in modo da evitare eccessiva concorrenza sull'approvvigionamento delle risorse legnose di origine residuale, e tensioni sul mercato della legna da ardere.

6.1.3.2 Per le utenze finali

- Gli investimenti iniziali, risultano al momento piuttosto elevati e sussistono esigenze tecniche legate alla disponibilità di spazi adeguati per l'installazione delle caldaie, dei locali di stoccaggio e dei puffer.
- Sussistono rischi di malfunzionamento dell'impianto nel caso in cui il contratto di fornitura del combustibile cippato, non preveda delle specifiche tecniche relativamente alla qualità del cippato (pezzatura, umidità, residui, ecc.) per l'alimentazione dell'impianto. In tal caso la presenza di materiale legnoso con caratteristiche qualitative disomogenee, può determinare un malfunzionamento della caldaia e dei sistemi di alimentazione della stessa, con conseguente riduzione del rendimento complessivo e aumento delle spese di manutenzione.

- L’impianto a cippato occupa spazi decisamente più ampi rispetto ad uno a gasolio o a GPL: l’assenza di strutture ed aree idonee può essere quindi di ostacolo alla realizzazione dello stesso.
- La mancanza di informazioni precise e realistiche, relativamente al settore delle energie rinnovabili, porta ad una certa diffidenza da parte dell’utente finale verso questo settore innovativo.
- Al fine di eliminare eventuali elementi di incertezza circa le variazioni del prezzo del cippato o del costo del servizio di fornitura energetica, è opportuno che vengano redatti contratti di fornitura pluriennali che garantiscano una certa stabilità nei prezzi di fornitura.
- La presenza di iter autorizzativi complessi possono rendere difficoltosa la realizzazione di impianti alimentati a biomasse legnose.
- Nelle aree dove gli Enti Locali hanno un basso interesse ed uno scarso coinvolgimento in iniziative dirette a favorire lo sviluppo della filiera biomassa-energia, sono riscontrabili bassi livelli di diffusione dell'informazione ai cittadini e quindi scarsa propensione dell'opinione pubblica alla realizzazione di iniziative in tale settore.

6.1.3.3 Per gli aspetti gestionali della risorsa boschiva

Come già anticipato, nella strutturazione della filiera biomassa-energia, emerge l'esigenza di porre particolare attenzione agli aspetti di sostenibilità ambientale della filiera “locale”. In particolare, essendo, in linea di principio, una filiera basata su risorse legnose locali, il suo corretto dimensionamento risulta un aspetto rilevante in fase di progettazione. In caso di errato dimensionamento, possiamo avere le seguenti situazioni:

- nel caso di dimensionamento eccessivo degli impianti termici e assenza di adeguati Piani di Assestamento Forestale, si può verificare un prelievo delle risorse boschive che eccede il livello ecologicamente sostenibile, con conseguente danno ambientale alla componete forestale locale.
- Secondariamente, l'eccesso di domanda così originata, porta alla esigenza di:
- importare materia prima (legno cippato) da altre aree nazionali e/o dall'estero (senza sapere se la produzione è stata effettuata secondo criteri di sostenibilità ecologica);
- integrare le risorse legnose con residui provenienti dall’industria del legno (che possono contenere anche prodotti chimici dannosi per l'uomo e l'ambiente).

7 INCENTIVI FINANZIARI A FAVORE DELLA FILIERA LEGNO – ENERGIA

La realizzazione di impianti a biomassa per la produzione energetica presenta, al momento, elevati costi d'investimento iniziali che non sempre possono essere direttamente sostenuti da privati od enti pubblici. Per tale è sembrato utile presentare alle PP.AA. ed ai privati, destinatari del presente documento, alcuni strumenti normativi che possono essere utilizzati per il cofinanziamento di iniziative progettuali ed imprenditoriali legate alla filiera del legno cippato - energia termica.
Tali normative, sia di carattere europeo, che nazionale e regionale, sono state esaminate e raggruppate in relazione al comparto della filiera legno–energia interessato; partendo dalle risorse forestali fino ad arrivare alla produzione di calore.

NB: Nel presente capitolo, sono stati considerati esclusivamente gli aspetti normativi che riguardano la realizzazione di impianti di teleriscaldamento o di impianti termosingoli alimentati con biomasse legnose. Nel presente capitolo, non sono stati quindi esaminate le agevolazioni ed i finanziamenti, previsti dalla finanziaria 2008, per gli impianti di cogenerazione e per gli impianti di produzione di energia elettrica alimentati con biomasse.

7.1 Norme relative agli aspetti colturali

A livello europeo è stato introdotto con il regolamento CE 1782/2003 il regime degli aiuti per le colture energetiche[27]; la misura consiste in un aiuto di 45 €/ha a favore degli agricoltori che coltivano produzioni a ciclo annuale o pluriennale e destinano le materie prime raccolte per la produzione energetica (biocarburanti, energia termica ed elettrica). L'aiuto è subordinato alla sottoscrizione di un "contratto di filiera" con azienda energetica accreditata presso ARTEA (Agenzia Regionale Toscana per l'Erogazione in Agricoltura).
Il regime è compatibile con il pagamento unico aziendale (*disaccoppiamento*), ma non si applica alle superfici a riposo obbligatorio anche se esiste la possibilità di inserire colture no-food su terreni a set-aside obbligatorio[28].
La superficie massima nell'intero territorio UE ammessa ad aiuto è pari a 1,5 milioni di ettari (secondo le recenti modifiche apportate alla PAC, tale contribuzione sarà eliminata a partire dal 2010).

A livello regionale invece il Piano di Sviluppo Rurale (PSR) della Regione Toscana 2007-2013[29] determina i seguenti incentivi:

- ✓ Asse I – Miglioramento della competitività del settore agricolo e forestale: misura 122 – *Migliore valorizzazione economica delle foreste*.

Con questa misura si intende accrescere il valore economico delle foreste mediante la creazione o il miglioramento di infrastrutture di servizio alle stesse, il miglioramento delle

[27] Artt.88-92 Reg. CE 1782/2003

[28] Artt. 55 e 56 Reg. CE 1782/2003

[29] Approvato a Settembre 2007

condizioni delle superfici forestali, l'ottimizzazione della gestione delle risorse forestali e l'aumento dell'efficienza della filiera bosco – legno.

La misura, pertanto, è prioritariamente orientata al perseguimento dell'obiettivo di "*consolidare e sviluppare le aziende sul territorio e sui mercati mediante la promozione e la diffusione dell'innovazione e l'aumento della competitività*". La misura, inoltre, concorre anche al perseguimento dei seguenti obiettivi specifici:

- rafforzare le filiere produttive agricole e forestali;
- promuovere il risparmio energetico e le energie rinnovabili (consentendo l'acquisizione di sistemi per la produzione di energia rinnovabile).

Sono perciò previsti fondi per l'acquisto di macchinari da usare nel campo delle utilizzazioni forestali e per interventi di miglioramento e recupero di soprassuoli boschivi tra cui: ripuliture, sfolli, diradamenti, recupero di popolamenti abbandonati, rinfoltimenti, potature, tagli di preparazione.

La misura è rivolta a privati, singoli o associati, ad imprese forestali e ai Comuni; il finanziamento, in conto capitale, può coprire dal 50 al 60% della spesa sostenuta.

- ✓ Complementare a questa misura ritroviamo nell'Asse II relativo al "Miglioramento dell'ambiente e dello spazio rurale", la numero 227: "*Sostegno ad investimenti non produttivi*".

Vengono finanziati in questo caso, fino al 100% della spesa totale (per soggetti di tipo pubblico, 70% per privati), in conto capitale, interventi volti al miglioramento, alla tutela ed alla valorizzazione delle foreste, al fine di potenziare la biodiversità, la conservazione degli ecosistemi forestali anche di grande pregio e il consolidamento della funzione protettiva delle foreste. Inoltre, si vuole garantire la fruibilità del bosco da parte della compagine sociale esaltandone il valore ecologico, sociale, ricreativo, turistico e ambientale e salvaguardandone il valore paesaggistico.

Con le due misure precedenti del PSR si favoriscono, in altre parole, interventi solitamente a macchiatico negativo e potenzialmente fonte di assortimenti legnosi non impiegabili per usi tradizionali (legname da opera, legna da ardere ecc.) bensì come cippato per la produzione di energia termica.

7.2 Norme relative alle tecnologie per la produzione di energia e/o biocombustibili da fonti rinnovabili

La normativa nazionale, tramite la legge Finanziaria 2007 ha sancito l'istituzione di un Fondo Rotativo per il finanziamento delle misure finalizzate all'attuazione del Protocollo di Kyoto, destinato a soggetti pubblici o privati[30]; per il triennio 2007-2009 le misure di interesse finanziate sono le seguenti:

- ✓ installazione di impianti di piccola taglia per l'utilizzazione delle fonti rinnovabili per la generazione di elettricità e calore, in ambiti nei quali l'intera filiera biomassa - energia si chiude nel territorio comunale o della Comunità Montana (55 milioni di euro) ;
- ✓ progetti pilota di ricerca e sviluppo di nuove tecnologie e di nuove fonti di energia a basse emissioni o ad emissioni zero.

[30] Art. 1 comma 1110 L. 296/2006

Il Piano di Sviluppo Rurale della Toscana prevede:

- ✓ Asse I – misura 125 – *Miglioramento e sviluppo delle infrastrutture in parallelo con lo sviluppo e all'adeguamento dell'agricoltura e della silvicoltura*.

La misura sostiene gli interventi di realizzazione o miglioramento di infrastrutture a servizio delle aziende agricole e forestali, anche attraverso la realizzazione di opere interaziendali relative all'approvvigionamento energetico e all'aumento di potenza per fini produttivi; i beneficiari sono Consorzi o associazioni di privati, Comuni o altri enti pubblici o loro associazioni.

Il sostegno è concesso in forma di contributo a fondo perduto fino al 60% del costo totale ammissibile.

- ✓ Asse III – Qualità della vita nelle zone rurali e diversificazione dell'economia rurale: misura 311 – *Diversificazione verso attività non agricole*.

La misura prevede il sostegno ad investimenti finalizzati alla diversificazione delle attività aziendali verso attività non agricole, ferma restando la prevalenza delle attività agricole sulle altre. Nell'Azione A relativa alla *diversificazione dell'economia rurale* sono previsti, tra gli altri finanziamenti, interventi finalizzati all'installazione di sistemi per la produzione e vendita di energia da fonti rinnovabili, con una potenza massima di 1 MWt; i beneficiari risultano essere gli imprenditori agricoli professionali, singoli o associati.

Il sostegno è concesso in forma di contributo a fondo perduto pari al 40% del costo totale ammissibile, elevato fino al 50% qualora l'investimento sia realizzato in zone montane (Dir. 75/268 CEE). L'intensità dell'aiuto è elevata fino al 60% nel caso in cui più soggetti beneficiari intendano formulare un'offerta di beni e servizi integrata e finalizzata a qualificare il loro intervento nell'ambito territoriale di riferimento, attraverso un investimento complementare con quello relativo alla misura 311 Azione B (ambito agrituristico).

- ✓ Asse III: misura 321 – *Servizi essenziali per l'economia e la popolazione rurale*.

La sottomisura "c" sostiene gli interventi per la realizzazione o trasformazione di impianti di produzione energetica, con impiego di biomasse agro-forestali, quali caldaie e/o reti di teleriscaldamento di interesse collettivo finalizzate a ridurre i costi dell'energia a beneficio delle popolazioni rurali, nonché i costi esterni ambientali connessi all'approvvigionamento/trasporto delle materie prime tradizionali (combustibili fossili).

In particolare possono essere realizzati impianti di produzione di energia termica, frigorifera e di cogenerazione.

Destinatari dell'energia prodotta sono esclusivamente privati cittadini e strutture pubbliche di servizio, localizzati in zone rurali purché all'interno di centri abitati con popolazione residente non superiore a 5000 abitanti.

Sono ammissibili a finanziamento soggetti di diritto pubblico che realizzino impianti con una potenza non superiore ad 1 MWt.

Il sostegno è concesso in forma di contributo a fondo perduto fino al 50% del costo totale ammissibile.

L'A.R.S.I.A. (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo forestale) ha emanato un bando relativo alla realizzazione di impianti termici pilota dimostrativi finalizzati alla vendita di calore (*legno energia contracting*), pubblicato sul B.U.R.T. n. 49 del 5/12/2007 e relativo al territorio della Regione Toscana[31].
Tale finanziamento concesso in forma di contributo in conto capitale, per una quota pari al 40% delle spese totali di realizzazione ammissibili (fino ad un massimo di 45.000 euro per ciascun impianto), si rivolgeva ad imprese o cooperative agrarie e forestali, imprese di utilizzazione boschiva, in forma singola o associata, ATS (Associazione Temporanea di Scopo) o consorzi.

7.3 Norme relative all'energia termica prodotta

In base a quanto stabilito dalla legge Finanziaria 2007 la produzione e la cessione di energia elettrica e calorica da fonti rinnovabili agroforestali, nonché di prodotti agricoli provenienti prevalentemente dal fondo effettuate dagli imprenditori agricoli, costituiscono attività connesse ai sensi dell'articolo 2135, terzo comma, del codice civile e si considerano produttive di reddito agrario[32]; tutto questo ha un ulteriore riflesso fiscale, ovvero anche gli immobili utilizzati nel processo produttivo dell'energia, essendo qualificati fabbricati rurali, non saranno soggetti all'imposta comunale sugli immobili (ICI).
Secondo l'articolo 2135 del Codice Civile, sostituito dall'articolo 1, comma 1 del DL 18/05/2001, è imprenditore agricolo colui che esercita una delle seguenti attività: coltivazione del fondo, selvicoltura, allevamento di animali e attività connesse, intendendo per connesse le attività esercitate dal medesimo imprenditore, dirette alla manipolazione, trasformazione, conservazione, commercializzazione e valorizzazione che abbiano ad oggetto prodotti ottenuti prevalentemente dalla coltivazione del fondo o del bosco o dall'allevamento di animali, nonché attività dirette alla fornitura di beni o servizi mediante l'utilizzazione prevalente di attrezzature o risorse dell'azienda normalmente impiegate nell'attività agricola esercitata, ivi comprese le attività di valorizzazione del territorio e del patrimonio rurale e forestale, ovvero di ricezione ed ospitalità come definite dalla legge. L'art. 1, comma 2 dello stesso D.L. riporta: "*Si considerano imprenditori agricoli le cooperative di imprenditori agricoli ed i loro consorzi quando utilizzano per lo svolgimento delle attività di cui all'articolo 2135 del Codice Civile, come sostituito dal comma 1 del presente articolo, prevalentemente prodotti dei soci, ovvero forniscono prevalentemente ai soci beni e servizi diretti alla cura ed allo sviluppo del ciclo biologico*".
Tra le attività connesse, la produzione di energia da biomasse viene inclusa la fornitura di beni o servizi mediante l'utilizzazione prevalente di attrezzature o risorse dell'azienda. Ciò consente all'imprenditore agricolo la produzione di energia anche attraverso l'acquisizione di risorse provenienti dall'esterno, ma che subiscono almeno una trasformazione in azienda.
La stessa Finanziaria prevede che alla prestazione di servizi, alle apparecchiature ed ai materiali relativi alla fornitura di energia termica per uso domestico attraverso reti pubbliche di teleriscaldamento o nell'ambito del contratto servizio energia, derivante da fonti rinnovabili o da impianti di cogenerazione ad alto rendimento si applica un'aliquota IVA pari al 10%[33].
Infine, per l'anno 2007, con possibilità di proroga, è stata applicata alle reti di teleriscaldamento alimentate a biomassa, un'agevolazione fiscale pari a 2,58 c€ per ogni kWh prodotto[34].

---

31 Bando scaduto il 4/2/2008

32 Art. 1 comma 369 L. 296/2006

33 Art. 1 comma 384 L. 296/2006

34 Art. 1 comma 394 L. 296/2006.

7.4 Norme relative all'intera filiera legno – energia

Il PRAA (Piano Regionale di Azione Ambientale) della Regione Toscana riferito al periodo 2007-2010[35] prevede nell'ambito del Macrobiettivo A3 – "*Aumentare la percentuale di energia proveniente da fonti rinnovabili*", l'obiettivo specifico di incrementare del 4% questo tipo di utilizzo rispetto alla produzione totale. Nello specifico alcuni degli interventi previsti sono:

- ✓ Programma di incentivazione alla produzione di energia da fonti rinnovabili (POR 2007-2013).
- ✓ Incentivazione alla produzione di energia da fonti rinnovabili anche attraverso il ricorso a credito agevolato con il Fondo di Garanzia Regionale attivato con il sistema bancario in sinergia con FIDI Toscana, rivolto ad imprese, società, enti locali e cittadini, che permette un finanziamento fino all'80% dell'importo totale dell'investimento.

[35] Delibera del Consiglio Regionale della Regione Toscana n. 32 del 14 Marzo 2007.

8 INDICAZIONI NORMATIVE PER REGOLAMENTI URBANISTICI E REGOLAMENTI EDILIZI VOLTE AD INCENTIVARE LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTI A BIOMASSA

Il Regolamento Urbanistico (RU) è un atto di governo del territorio che disciplina l'attività urbanistica ed edilizia, definendo l'uso di un intero territorio comunale e le modalità di attuazione degli interventi su di esso, regolandone le trasformazioni e le utilizzazioni nel rispetto degli obiettivi e degli indirizzi fissati dal Piano Strutturale (PS).
Ai fini di un utilizzo razionale e sostenibile di fonti energetiche rinnovabili, Il RU può definire le disposizioni di carattere obbligatorio, come l'utilizzo di determinate tecnologie, secondo i vari casi di trasformazione e di intervento sull'edificato.
Dal punto di vista normativo il RU, fatte salve le disposizione riguardanti gli edifici sottoposti a vincolo, e le impossibilità di natura tecnica che il progettista è tenuto a dimostrare, può disporre che, per i nuovi interventi edilizi e le ristrutturazioni che riguardino almeno il 50% della Superficie lorda di pavimento, sia prevista l'installazione di impianti a biomassa che soddisfino una parte del fabbisogno complessivo di acqua calda per usi igienico – sanitari.
Per interventi privati il fabbisogno di acqua calda sanitaria dovrà essere soddisfatto, attraverso l'utilizzo di impianti a biomassa, in misura non inferiore al 50% del fabbisogno complessivo. Per interventi pubblici il fabbisogno di acqua calda sanitaria dovrà essere soddisfatto, attraverso l'utilizzo di impianti a biomassa, in misura non inferiore al 75% del fabbisogno complessivo.
Il RU, in applicazione dell'articolo 17 della LR 39/2005, stabilisce, inoltre, che l'installazione di impianti di produzione energetica da biomassa sia realizzata secondo le condizioni fissate dal PIER della Toscana (approvato il 10/03/2008) e dai provvedimenti attuativi dello stesso. Per potenze fino a 500 kW termici tale installazione è considerata attività libera laddove l'intervento non comporti una trasformazione urbanistica o edilizia, già soggetta, ai sensi dell'articolo 78 della LR 1/2005, a permesso a costruire.
Anche l'utilizzo di vani tecnici prefabbricati (*plug and play*), indicati per impianti di piccole dimensioni, è soggetto a permesso a costruire.
Per gli impianti di generazione di calore da biomassa senza alcuna produzione di energia elettrica, come indicato dal PIER, non è prevista specifica autorizzazione energetica.
Inoltre, al fine di ridurre le emissioni di pm_{10}, ai sensi del Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio n. 60/2002, è fatto obbligo che gli impianti a biomassa siano forniti di depolveratore a ciclone.
Detto ciò, la progettazione finalizzata al raggiungimento di tali livelli prestazionali dovrà rimanere comunque subordinata al rispetto degli aspetti architettonici, paesaggistici, ambientali e culturali dei contesti in cui si andrà ad intervenire.

Il Regolamento Edilizio (RE) disciplina l'uso del suolo e le iniziative edilizie che concorrono alla trasformazione fisica del territorio comunale, anche con riferimento alle caratteristiche morfologiche e ambientali dello spazio urbano, edificato e non edificato.
Il RE costituisce la norma più significativa per definire le modalità e le prassi con le quali realizzare costruzioni e ristrutturazioni degli edifici, oltre a determinare caratteristiche minime e massime degli edifici, stabilire le procedure burocratiche da seguire e, contestualmente, i costi e i tempi associati.

Il RE al fine di promuovere l'impiego di biomassa a scopi energetici può prevedere:

1) incentivi fiscali:

- mediante la riduzione degli oneri di urbanizzazione secondaria[36], in misura crescente secondo parametri di copertura del fabbisogno di acqua calda, fino ad un massimo del 70%, su gli interventi di nuova edificazione, di ristrutturazione urbanistica, di sostituzione e di ristrutturazione edilizia, compatibilmente con i caratteri storici ed architettonici degli edifici e dei luoghi, ai sensi dall'art. 146 comma 1 della LR 1/2005;
-

Copertura fabbisogno	Riduzione oneri urbanizzazione secondaria
50% (minimo obbligatorio)	10%
75%	40%
100%	70%

- mediante la riduzione, in misura crescente secondo parametri di copertura del fabbisogno di acqua calda, delle aliquote ICI fino ad un massimo del 15%, sugli interventi di nuova edificazione, di ristrutturazione urbanistica, di sostituzione e di ristrutturazione edilizia, compatibilmente con i caratteri storici ed architettonici degli edifici e dei luoghi;

Copertura fabbisogno	Riduzione ICI
50% (minimo obbligatorio)	5%
75%	10%
100%	15%

2) forme di cofinanziamenti attraverso bandi pubblici e di accordi con istituti di credito per finanziamenti a tassi agevolati;

3) incentivi di carattere urbanistico:

- mediante la previsione, negli strumenti urbanistici, di un incremento della superficie utile ammessa (senza tener conto degli eventuali nuovi vani tecnici), in misura crescente secondo parametri di copertura del fabbisogno di acqua calda, fino ad un massimo del 20%, per gli interventi di nuova edificazione, di ristrutturazione urbanistica, di sostituzione e di ristrutturazione edilizia, compatibilmente con i caratteri storici ed architettonici degli edifici e dei luoghi, ai sensi dall'art. 146 comma 3 della LR 1/2005.

Copertura fabbisogno	Incentivi volumetrici
50% (minimo obbligatorio)	5%
75%	12,5%
100%	20%

[36] Sono opere di urbanizzazione secondaria (articolo 37 LR 1/2005): asili nido e scuole materne, scuole dell'obbligo, mercati di quartiere, uffici comunali, chiese ed altri edifici per servizi religiosi, impianti sportivi di quartiere, centri sociali e attrezzature culturali, sanitarie e residenze per anziani, impianti di potabilizzazione, di depurazione e di smaltimento dei rifiuti solidi urbani, aree verdi di quartiere, strutture con funzioni di centri servizi avanzati alle imprese per l'innovazione e per la società dell'informazione, spazi per incubatori di imprese e laboratori di ricerca, in aree a destinazione produttiva.

9 STUDIO DI FATTIBILITÀ TECNICO – ECONOMICA DI UN IMPIANTO DI RISCALDAMENTO CON CENTRALE TERMICA ALIMENTATA A CIPPATO DI LEGNO

Completamento lottizzazione – Fase 2/b - Edificio H1H2CF
Proprietà: Val di Luce S.p.A.
Comune di Abetone

9.1 Localizzazione dell'impianto a cippato

L'impianto in progetto è situato in località Val di Luce nel comune di Abetone e prevede la generazione di calore per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria in una centrale termica che sfrutta come combustibile, il cippato di legno derivante prevalentemente da residui di lavorazioni forestali e pulizia dei boschi.
L'edificio oggetto di studio fa parte di un complesso turistico – ricettivo di nuova edificazione; l'area in esame presenta infatti una notevole importanza, dal punto di vista ricreativo, grazie alla presenza di impianti sciistici ed alla propria localizzazione in un'area appenninica dall'elevato valore paesaggistico.

9.2 Caratteristiche dell'impianto

9.2.1 Valutazione della potenza dell'impianto

L'edificio in oggetto dispone di un progetto esecutivo di una centrale termica posta in locale tecnico isolato alimentata a GPL; tale progetto prevede l'installazione di n.3 caldaie a condensazione, di potenza unitaria pari a 385 kW di cui una di funzionamento in soccorso. La valutazione della potenza della centrale termica è pertanto un dato già calcolato e quindi assunto valido anche per l'impianto a biomassa.

L'impianto proposto prevede la sostituzione delle n. 3 caldaie a condensazione alimentate a GPL previste dal progetto originario con l'installazione di n .2 caldaie alimentate a biomassa (cippato) di potenza pari a 400 kW/cad. ed una caldaia di soccorso alimentata a GPL di potenza pari a 400kW.

Il locale tecnico sarà ubicato nella stessa area prevista dall'attuale progetto esecutivo, mentre il silo di stoccaggio sarà interrato al suo fianco (si veda planimetria generale).

9.2.2 Valutazione dei volumi della centrale termica e del silo di stoccaggio

La centrale termica sarà ubicata in prossimità del complesso alberghiero in un'area facilmente accessibile per il rifornimento del combustibile. Al suo interno saranno collocate le caldaie, i serbatoi inerziali, i collettori di mandata e ritorno, le elettropompe di circolazione oltre alla regolazione ed a tutti gli accessori necessari al corretto funzionamento degli impianti.
Il silo di stoccaggio del cippato sarà interrato a fianco della centrale termica e provvederà all'alimentazione della caldaia in modo automatico tramite rastrelli pneumatici e coclee per l'adduzione del cippato direttamente in camera di combustione.

Il dimensionamento del volume di stoccaggio del combustibile è stato effettuato per garantire un'autonomia di circa venti giorni: il consumo di energia termica medio giornaliero è stimato in 10.500 kWh/gg che per i venti giorni indicati determina un totale pari a 210.000 kWh. Considerando un rendimento medio delle caldaie a biomassa di circa il 90%, il fabbisogno di energia primaria per un periodo di venti giorni risulta pari a circa 230.000 kWh.

Il P.C.I. del cippato al 30% di umidità si assume pari a 3,4 kWh/kg pertanto sono necessarie 68 tonnellate di combustibile per venti giorni di autonomia. Considerando un volume specifico del cippato pari a 230 kg/mc si determina il volume di stoccaggio pari a 300 mc. Il silo di stoccaggio pertanto avrà le seguenti dimensioni nette: LxPxh (altezza cippato) =12x12x2 m. Il silo al lordo delle pareti di contenimento e dell'area necessaria all'azionamento dei rastrelli pneumatici sarà indicativamente pari a: LxPxH 15x12,5x3 m.

Le dimensioni della centrale termica dovranno essere tali da contenere le n.2 caldaie a biomassa, la caldaia di soccorso a GPL, l'eventuale trattamento fumi, i serbatoi inerziali (circa 10 mc) ed i collettori di mandata e ritorno con le relative elettropompe del circuito primario. In pianta le dimensioni potrebbero essere pari a 15x10=150 mq in modo da affiancare il lato maggiore al volume di stoccaggio interrato.

9.2.3 Schema d'impianto

I circuiti di riscaldamento saranno suddivisi in primario e secondario in modo da ottenere la massima flessibilità sulla regolazione del generatore di calore e delle utenze servite. Il circuito secondario parte dal collettore di mandata dove saranno installate le elettropompe di alimentazione per le utenze. I circuiti secondari sono a temperatura scorrevole; la regolazione avviene tramite valvola a tre vie miscelatrice. Le elettropompe del circuito di riscaldamento potranno essere comandate da *inverter* per minimizzare i consumi elettrici.

Presso ogni utenza allacciata alla rete di distribuzione del calore sarà installata una sottocentrale di utenza; per utenza si intende una zona di edificio che ha la possibilità di regolare la temperatura interna e la produzione di acqua calda sanitaria (a.c.s.) indipendentemente dalle altre zone. La sottocentrale è dotata di scambiatore di calore dal quale l'energia del fluido termovettore circolante nella rete di teleriscaldamento viene ceduta all'acqua circolante nell'impianto dell'utenza.

La sottocentrale è dotata di misuratore dell'energia ceduta (contatore), di una valvola di regolazione e limitazione della portata nel circuito di teleriscaldamento, di valvole di intercettazione e di sicurezza e regolatore elettronico programmabile, per una regolazione continua della temperatura

dell'acqua nel circuito di mandata secondario in funzione della temperatura esterna dell'aria. L'energia potrà pertanto essere fatturata alle utenze in base alle letture dei contatori di calore, che forniscono l'esatta quantità di energia ceduta. È prevista anche la possibilità di programmare il funzionamento dell'impianto nei periodi di assenza sia estivi che invernali (funzionamento antigelo).

Tutte le sottocentrali sono in comunicazione diretta e continua con il sistema di telecontrollo e supervisione della centrale termica. Tale collegamento consente, in caso di necessità o a richiesta dell'utente, l'impostazione dei parametri del regolatore a distanza direttamente dalla centrale, la diagnosi a distanza di eventuali malfunzionamenti, le telemisure di temperature, pressioni e portate, nonché la telelettura del contatore di calore.

9.2.4 Caratteristiche della caldaia a biomassa

La caldaia a biomassa prevista ha un focolare a rotazione particolarmente adatto per bruciare automaticamente tutti i tipi di legno combustibile da secchi a umidi (trucioli, segatura, frammenti, pellet, bricchette, frammenti da taglio di legname) con contenuto massimo di acqua pari a: W = 35-40 %, corrisponde ad un'umidità del legno U tra il 54 ed il 66 %.
Il focolare a rotazione si distingue per l'elevato grado di rendimento con tutti i livelli di carico e per il funzionamento completamente automatico (rimozione automatica delle ceneri, accensione automatica). L'impianto a biomassa è essenzialmente costituito da:

9.2.4.1 DOSATORE A COCLEA

Il dosatore a coclea trasporta il materiale combustibile obliquamente dal basso nel focolare. La coclea nell'area del blocco focolare è fatta in acciaio al nichelcromo resistente al calore. Sul tubo di alimentazione si trovano i supporti per il sensore del ritorno di fiamma e la valvola termica di estinzione. Sopra la coclea c'è il serbatoio dosatore per la determinazione del livello dello strato di sbarramento del combustibile. La coclea è azionata da un motore a ingranaggi cilindrici che non richiede manutenzione; la trasmissione è a catena con copricatena a tenuta di polvere.

9.2.4.2 FOCOLARE CON GRIGLIA DI AVANZAMENTO E VENTOLA DI ACCENSIONE

Il materiale combustibile viene acceso automaticamente mediante una ventola ad aria; la gassificazione del combustibile avviene sulla griglia di avanzamento (mossa tramite motoriduttore della coclea). La cenere cade nei contenitori per cenere sottostanti.
Il focolare è rivestito con materiale isolante e costituito da elementi di calcestruzzo refrattario.

9.2.4.3 CALDAIA CON CAMERA DI COMBUSTIONE A ROTAZIONE

I gas di combustione che salgono dal focolare incontrano l'aria secondaria emessa dalla ventola di rotazione e vengono completamente ossidati nella camera di combustione circolare. Nello scambiatore di calore orizzontale l'energia termica dei gas di combustione viene trasmessa all'acqua della caldaia. La caldaia è accessibile attraverso la porta frontale.
Sul lato posteriore della caldaia si trova una flangia per l'eventuale bruciatore per combustibili liquidi normalmente chiusa mediante coperchio cieco isolante con vetro per ispezione.

POTENZE, CONSUMI E RENDIMENTI CALDAIA A BIOMASSA	400kW
Potere calorifico nominale minimo, frammenti taglio legname B1, pellet C secondo EN 303-5 [kW] 1)	100
Potere calorifico nominale massimo, frammenti taglio legname B1, pellet C secondo EN 303-5 [kW] 1)	400
Grado di rendimento della caldaia [%]	90-92
Campo regolazione del temperatura caldaia [°C]	70-95
Temperatura di ritorno minima regolabile [°C]	60
Collegamenti elettrici totali [kW] 2)	2,38
Potenza elettrica dell'apparecchio per l'accensione [kW]	1,6
Potenza nominale della ventola per gas di scarico /rotazione [kW]	1,1/0,12
Potenza nominale del dosatore a coclea /griglia di avanzamento [kW]	1,1/0,06
Consumo elettrico con potere calorifico nominale minimo [kW]	0,480
Consumo elettrico con potere calorifico nominale massimo [kW]	1,868
Contenuto max. ammissibile di acqua nel combustibile [%]	35-40
Massa di gas di scarico con potere calorifico nominale max. (O2 8% / W15%) [g/s]	254,9
Temperatura dei gas di scarico con potenza nominale massima [°C]	175-180
Temperatura dei gas di scarico con potenza nominale minima [°C]	95-110
Camino: tiraggio necessario richiesto [Pa]	+-0
Camino: depressione massima [Pa]	-10
Resistenza idraulica con potenza nominale massima ΔT 20°C [mbar]	2,6

1) Contenuto d'acqua W minore del 25 %; un maggiore contenuto d'acqua riduce il potere calorifico nominale max.
2) Tutte le utenze, escluso apparecchio per l'accensione.

CARATTERISTICHE TECNICHE CALDAIA A BIOMASSA	400kW
Pressione di prova [bar]	6,0
Pressione d'esercizio max. [bar]	3,0
Contenuto d'acqua [l]	1221
Contenuto di gas combustibile [l]	1340
Superficie di riscaldamento [m²]	28,76
Peso camera di combustione a rotazione in argilla refrattaria [kg]	683
Peso blocco focolare [kg]	723

Peso complessivo caldaia 1) [kg]	4600
Peso dosatore a coclea [kg]	139
Contenuto zona ceneri del focolare primario [l]	120
Barra di spostamento pezzo per Set	58
Peso per Set	214,6
Contenuto del contenitore di base [litri]	600
Peso apparecchio rimozione ceneri completo 2)[kg]	380

1) Senza dosatore a coclea, senza acqua, senza materiale.
2) Combustibile in aggiunta al peso caldaia complessivo.

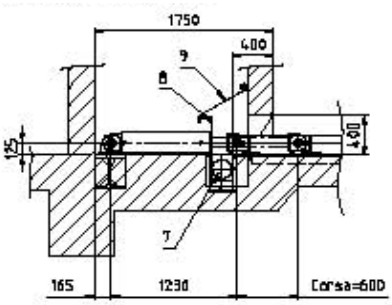
9.2.5 Sistema automatico di alimentazione

9.2.5.1 ESTRAZIONE IDRAULICA AD ASSE DI SPINTA

L'estrazione con l'asta di spinta doppia (due cilindri comprese aste una sull'altra) si adatta ai silo con pianta rettangolare o quadrata e quindi sia per l'estrazione del materiale verso l'impianto della caldaia, sia per il riempimento completo del vano in caso di riempimento a ingresso singolo. Il silo è suddiviso in una zona per la carica con l'asta superiore e in una zona estrazione con l'asta inferiore. L'estrazione del materiale avviene mediante le aste di spinta inferiori verso la coclea di trasporto interna od esterna con profili trasversali a cuneo che vengono spostati in avanti e all'indietro da un cilindro idraulico per ogni asta.

Fra i profili trasversali sul pavimento sono montati dei cunei di ritenuta fissi. Le aste di spinta superiori con i profili trasversali nella zona di carica trasporta il combustibile nella zona di estrazione dell'asta inferiore che, indipendentemente dall'asta superiore, esegue l'estrazione del combustibile. Questa soluzione offre il vantaggio che la zona di carico è sgombra fino al pavimento e di conseguenza è possibile utilizzare tutto il volume del silo. Tale soluzione permette di ridurre il costo di manutenzione, assistenza del personale addetto al riempimento oltre all'eliminazione di rumori e polveri.

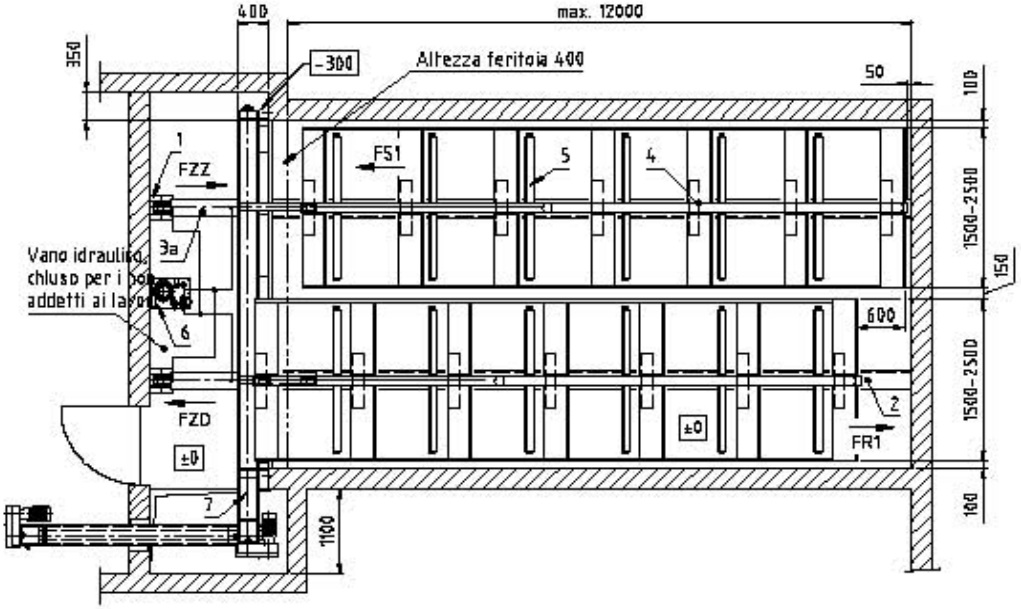
ESEMPI DI ESTRAZIONE IDRAULICA LATERALE O AL CENTRO (nel caso in esame il numero di estrattori risulta pari a n. 4.)



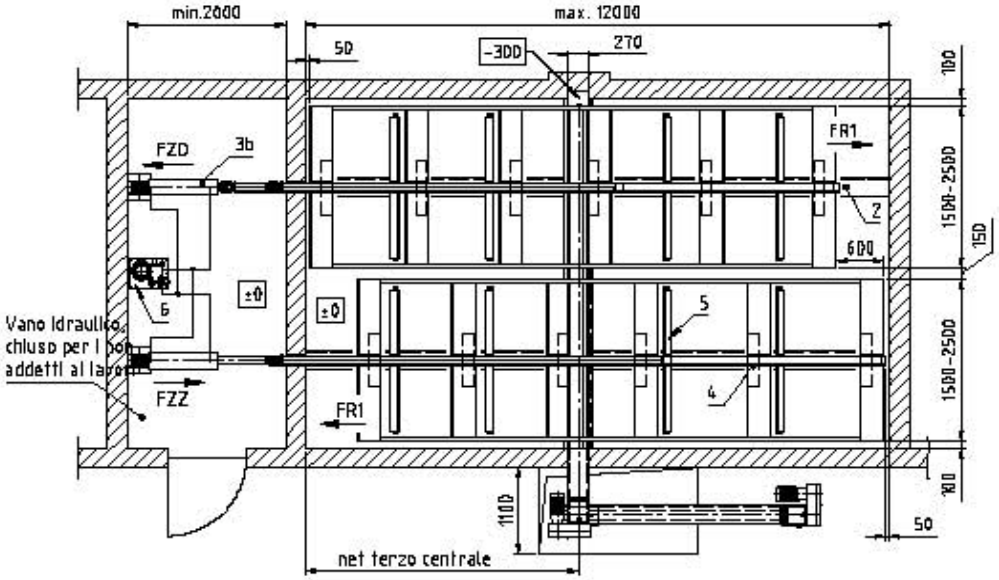
1. *Fondo a saldare cilindro idraulico*
2. *Fondo a saldare asta di spinta*

3a Cilindro idraulico L 1200mm.
3b Cilindro idraulico L 1080mm

4. *Asta di spinta*
5. *Cuneo di ritenuta*
6. *Azionamento idraulico*
7. *Coclea di trasporto trasversale [n. art.: M FS- ...]*
8. *Lamiera di limitazione verticale*
9. *Copertura con cerniera [n. art.: ASA-M FS]*

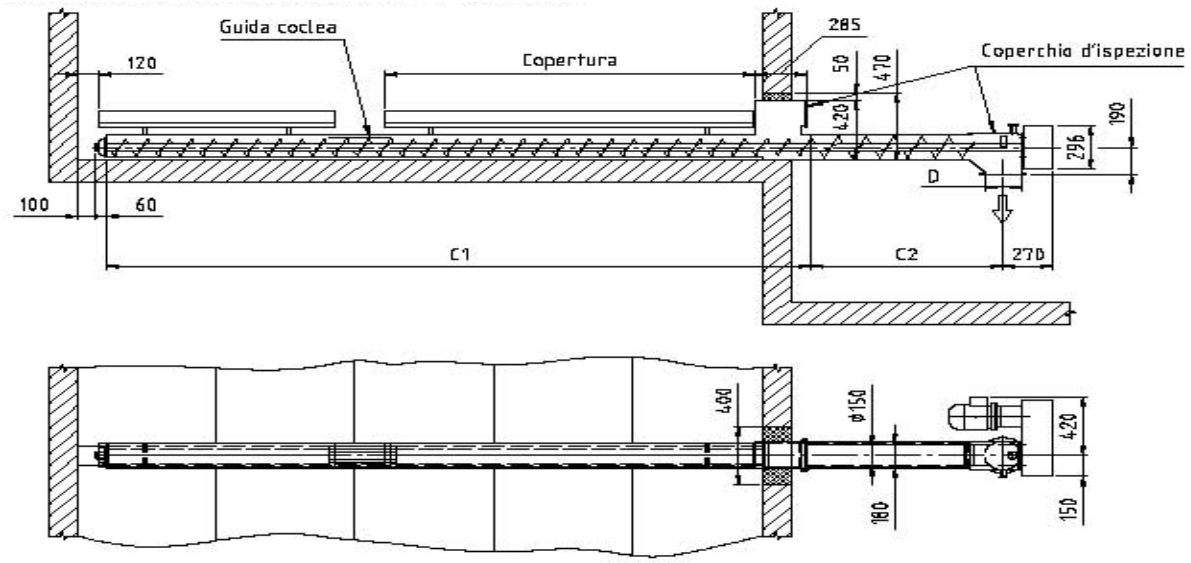


Estrazione al centro



9.2.5.2 COCLEA DI TRASPORTO

La coclea per l'estrazione del cippato da un vano rettangolare è schematicamente riportata in figura. Il combustibile cade da un apposito doppio fondo nella tramoggia della coclea coperta. L'azionamento avviene mediante un motoriduttore a ruote dentate cilindriche e una catena protetta contro la polvere.



9.2.6 Valutazione economica dell'impianto a biomassa

La valutazione economica dell'investimento relativo all'installazione e gestione dell'impianto alimentato a biomassa è calcolata tramite confronto con un impianto alternativo a GPL, secondo la metodologia definita nel capitolo relativo al *Piano di Conversione Energetica*.

I consumi energetici dell'edificio in oggetto sono i seguenti (dati disponibili dal progetto esecutivo attuale):

CONSUMO ENERGETICO RISCALDAMENTO	3.780.000 MJ/anno
CONSUMO ENERGETICO ACQUA SANITARIA	2.100.000 MJ/anno
CONSUMO ENERGETICO ARIA PRIMARIA	780.000 MJ/anno
CONSUMO RISCALDAMENTO PISCINA	260.000 MJ/anno
CONSUMO TOTALE DI ENERGIA TERMICA	6.920.000 MJ/anno

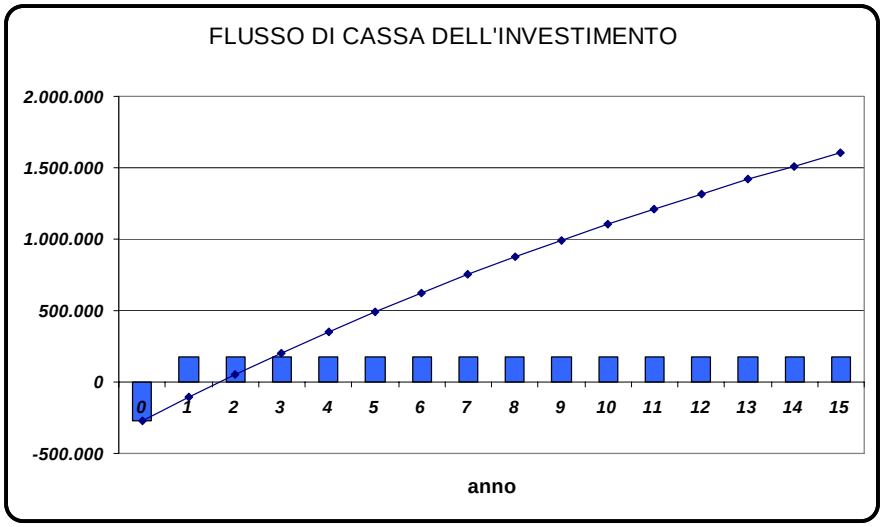
CENTRALE TERMICA ALIMENTATA A GPL

COSTO CENTRALE	88.000 €
POTERE CALORIFICO SUPERIORE DEL GPL	89.640 kJ/mc
CONSUMO GPL ANNUO	77.200 mc
COSTO GPL	2,90 €/mc
COSTO ANNUO DEL COMBUSTIBILE	223.900 €
SPESE VARIE (manutenzione, energia elettrica, interessi sul capitale, assicurazioni ecc.)	5.900 €
TOTALE COSTI ANNUI	229.800

CENTRALE TERMICA ALIMENTATA A BIOMASSA

COSTO CENTRALE (incluso opere civili)	363.000 €
POTERE CALORIFICO INFERIORE DEL CIPPATO	12.240 kJ/kg
CONSUMO CIPPATO ANNUO	628 t
COSTO CIPPATO	0,06 €/kg
COSTO ANNUO DEL COMBUSTIBILE	37.700 €
SPESE VARIE (manutenzione, energia elettrica, interessi sul capitale, assicurazioni ecc.)	18.350 €
TOTALE COSTI ANNUI	56.050 €

Sulla base del costo aggiuntivo dell'investimento e del risparmio annuo, utilizzando un tasso di sconto pari al 4,4% (tasso fisso applicato attualmente dalla Cassa Depositi e Prestiti per investimenti di uguale durata) si ottiene il seguente flusso di cassa (relativo al periodo di quindici anni):



Di seguito si riportano la differenza tra il Valore Attuale Costi (ΔVAC) relativo all'impianto a cippato e quello corrispondente all'impianto a combustibile fossile, il Tasso Interno di Rendimento (TIR) ed il prezzo di *Break Even Point* (BEP) del cippato per 10, 15 e 20 anni:

ΔVAC (10 anni) = 1.107.000 €
TIR (10 anni) = 62.7 %
BEP del cippato (10 anni) = 281.57 €/tonn

ΔVAC (15 anni) = 1.604.000 €
TIR (15 anni) = 63.1 %
BEP del cippato (15 anni) = 296.14 €/tonn

ΔVAC (20 anni) = 2.005.000 €
TIR (20 anni) = 63.2 %
BEP del cippato (20 anni) = 303.26 €/tonn

Il Tempo di Ritorno dell'investimento risulta pari a 2 anni.

ALLEGATI
Allegato II - Planimetria Generale
Allegato III - Schema Impianti Meccanici

10 CONCLUSIONI

Il presente studio prende spunto dalla considerazione che la disponibilità di risorse energetiche rappresenta un elemento strategico nei processi di sviluppo economico e sociale di un Paese. L'attuale bisogno di conciliare sviluppo economico con sostenibilità ecologica ed ambientale del processo di sviluppo, spinge le Nazioni alla ricerca di fonti energetiche in grado di soddisfare simultaneamente le esigenze di crescita economica, con quelle di riduzione delle emissioni di gas serra e di inquinanti dannosi per la salubrità dell'ambiente.

In questo ambito, la biomassa, come già evidenziato in molteplici studi, rappresenta una fonte energetica in grado di determinare una rara sinergia tra sviluppo economico e salvaguardia ambientale.

Sulla base di tali premesse, lo studio si è quindi posto l'obiettivo di promuovere l'uso della risorsa biomassa attraverso la strutturazione operativa di una filiera locale basate sull'uso energetico di residui forestali. In particolare, lo studio ha avuto quale principale obiettivo, l'individuazione e realizzazione di strumenti utili a favorire lo start-up della filiera bosco-legno-energia in uno specifico contesto territoriale: la Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese.

Per fare ciò, l'analisi si è articolata attraverso una stima dell'offerta di risorse legnose locali, quindi attraverso l'individuazione di due target principali: il primo, di lungo termine, diretto alla classificazione di tutto l'edificato esistente all'interno della Comunità Montana in ragione del diverso grado di vocazionalità alla conversione del proprio impianto termico; il secondo, di breve termine, legato alla realizzazione di un vero e proprio Piano di Conversione Energetica dell'edificato pubblico (ed in parte privato), capace di favorire lo start-up della filiera.

L'obiettivo di lungo periodo, sviluppato attraverso un'analisi territoriale su piattaforma GIS (Geographic Information System), ha portato alla identificazione del livello di produzione energetica massima sostenibile con l'impiego di biomasse residue di origine forestale prodotte in ambito locale, e conseguentemente, ha portato all'identificazione del massimo volume di edificato riscaldabile con l'impiego di tali fonti energetiche. E' opportuno sottolineare che la vocazionalità degli edifici è stata definita in relazione all'efficienza economica dell'investimento, ovvero, favorendo gli edifici che, a parità di caratteristiche tecniche, garantivano il minor dispendio di risorse economiche nel processo di conversione tecnologica degli impianti termici.

L'obiettivo di breve periodo è stato invece perseguito con la collaborazione delle amministrazioni locali, ed ha portato alla identificazione di una serie di strutture pubbliche e private (alcuni alberghi), che presentano un elevato grado di idoneità alla sostituzione degli attuali impianti alimentati a combustibili fossili, con altri alimentati a cippato di legno. In pratica, per la realizzazione del Piano di Conversione Energetica è stato sviluppato un progetto di massima per ciascun impianto esaminato, con relativo dimensionamento e successiva valutazione finanziaria degli investimenti connessi alla installazione e gestione degli impianto termico alimentato a biomassa. Ad esso è poi seguito un esame dei possibili limiti e vincoli che possono risultare ostativi allo sviluppo della filiera foresta-legno-energia.

Infine, è stata sviluppata una fase diretta a identificare le possibili azioni utili a promuovere l'uso delle biomasse nel contesto esaminato, ovvero, sono stati presi in considerazioni strumenti sia di carattere finanziario e fiscale, sia di carattere normativo, da applicare nei diversi regolamenti edilizi ed urbanistici con lo scopo di favorire l'uso di biomassa legnosa a livello di edilizia privata.

Il lavoro si è poi concluso con uno studio di fattibilità relativo ad un impianto di teleriscaldamento alimentato a cippato situato in località Val di Luce nel comune di Abetone, corredato di descrizione dell'impianto, analisi finanziaria dell'investimento ed allegati tecnici (planimetrie generali e schemi degli impianti meccanici), cui è seguita una disanima delle tecnologie attualmente disponibile sul mercato nazionale per la realizzazione di impianti termici di medie grandi dimensioni.

Relativamente ai risultati, è emerso che le circa 12.500 tonnellate di cippato ottenibili dai boschi del territorio, possono soddisfare il fabbisogno energetico di quasi 980.000 metri cubi di edificato, corrispondente al 17% degli edifici ad alta vocazione.
Le analisi sviluppate con il Piano di Conversione Energetica, evidenziano invece che un'oculata scelta delle strutture nelle quali realizzare impianti di riscaldamento alimentati a cippato, ed un corretto dimensionamento tecnico-logistico dell'impianto stesso, sono in grado di garantire vantaggi economici nel breve periodo sia per gli enti pubblici che per i privati.
Lo studio ha evidenziato la necessità di una corretta pianificazione delle operazioni a partire dai cantieri forestali, fino alla produzione di energia termica, al fine di garantire la sostenibilità economica degli investimenti iniziali ed una semplificazione delle procedure di compravendita del combustibile e nella gestione degli impianti. Tali scelte organizzative possono infatti portare al superamento dei molteplici rischi connessi allo sviluppo della filiera legno cippato-energia.

In questo contesto, la Pubblica Amministrazione assume un ruolo strategico nell'ambito della promozione di filiere legate alle biomasse forestali. Il fatto che le Amministrazioni Locali siano in grado di generare una domanda termica di dimensioni utili a garantire la realizzazione di impianti sul territorio della Comunità Montana dell'Appennino Pistoiese, gli attribuisce anche un ruolo di catalizzatore della domanda dispersa originata dalle singole utenze private che altrimenti non sarebbero in grado di proporre progetti tecnologici di dimensioni sufficienti.
Inoltre, l'Ente Pubblico facendosi portavoce delle nuove tematiche ambientali, grazie all'azione di diffusione delle informazioni circa la sostenibilità economica ed ecologica di tali iniziative, contribuirà alla costruzione di capacità (*capacity building*), ovvero, farà proprio il principio di "*apprendimento continuo e aperto*" sancito dalla conferenza di Rio del 1992 (Principio 9 della Dichiarazione di Rio) secondo cui "*Gli Stati*, ...e quindi gli enti territoriali da essi delegati,... *devono collaborare per rafforzare la loro capacità endogena di realizzare uno sviluppo sostenibile, migliorando il sapere scientifico attraverso scambi di conoscenze e favorendo lo sviluppo, l'adattamento, la diffusione e il trasferimento di tecnologie, comprese quelle più recenti ed innovative*".

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (2005) *Rapporto energia e ambiente.* ENEA

AA.VV. (2006) *Rapporto energia e ambiente.* ENEA

AA.VV. (2002) *Modello per lo studio di fattibilità e per la gestione di un distretto energetico basato sull'impiego di cippato*. Regione Piemonte

AA.VV. (2007-a) *Legno Energia Contracting. Servizio calore dagli agricoltori e dalle imprese boschive*. AIEL

AA.VV. (2007-b) *9° Rapporto sull'economia e le politiche rurali in Toscana*. ARSIA, IRPET, Regione Toscana

AA.VV., (2007-c). Tecniko e Pratiko, Sherwood n.31, n.34, n.39.

AA.VV. (2006) *Woodland energy. La filiera legno – energia come strumento di valorizzazione delle biomasse legnose agroforestali.* Programma PROBIO MiPAF, ARSIA

AA.VV. (2003) *Biocombustibili: specifiche e classificazioni.* Comitato Termotecnico Italiano – Energia e Ambiente

Bernetti I., Fagarazzi C., (a cura di) (2003) *BIOSIT: una metodologia GIS per lo sfruttamento efficiente e sostenibile della "risorsa biomassa" a fini energetici*. DE, DEART, ETA

Bernetti I., Romano S. (2007) *Economia delle risorse forestali.* Liguori editore, Napoli.

Castellazzi L., (2004) *Energia termica da biomasse: aspetti tecnici e ambientali*. ENEA

Cesano D., Guidi D., (2006) *Opportunità di sviluppo della filiera bosco – legno – energia nel territorio del Mugello*. Ecosoluzioni

Ciampi C., (2007) *Legno – energia: verso una filiera sostenibile per la Comunità Montana Appennino Pistoiese*. Tesi di Laurea, Università di Firenze

Gazzetta Ufficiale 14/10/1993 D.P.R. 412/93 *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia*

Fracastoro G.V., Barbero A.M., Baccon F. *Requisiti tecnici per impianti a cippato superiori a 350 kW*. Allegato al bando diretto alla concessione di contributi in conto capitale per la realizzazione di impianti alimentati a biomassa superiori a 350 kW - Provincia di Torino

Hellrigl B. (2001) *Numeri per la dendroenergetica.* Edizione provvisoria

Kotler P., Armstrong G., Saunders J., Wong V., (1996) *Principles of marketing*. European edition.

Magnani F., Cantoni L., (2005). *Biomasse forestali e produzione di energia: un caso di studio in Emilia Romagna*. Forest@ 2 (1): 7-11

Mezzalira G., Brocchi Colonna M., Veronese M. (2003) *Come produrre energia dal legno.* A cura di Nocentini G., Faini A. Quaderno ARSIA 3/2003, Firenze

Nocentini G., Francescato V., Stranieri S. (2007) *Le minireti di teleriscaldamento a cippato in Toscana. L'esperienza dei GAL toscani.* ARSIA, Firenze

Obernberger I., *Technical utilisation of sustainable resources.* Graz University of Technology

Porter M., (1997) *La strategia competitiva, analisi delle decisioni*. Editrice compositori, Bologna

Regione Piemonte (2002) *Sviluppo di distretti energetici per l'utilizzo di biomassa – Guida normativa per l'utilizzo di cippato di legno ad uso energetico*. Programma nazionale biocombustibili PROBIO. Torino

Regione Toscana (2007) *L.R. 70 del 27.12.2005. Integrazione ed approvazione bando relativo al Programma degli investimenti sulla produzione di energia per le aree rurali.* Direzione Generale Sviluppo Economico. Area di Coordinamento Politiche per lo Sviluppo Rurale. Settore Foreste e Patrimonio Agro-Forestale

Regione Toscana (2007) *Piano di Sviluppo Rurale della regione Toscana per il periodo 2007-2013*

Regione Toscana (2005), *Piano d'Indirizzo Energetico Regionale (PIER)*

Regione Toscana (2007) *Piano Regionale di Azione Ambientale (PRAA)*
Regione Toscana, ARSIA, Compagnia delle Foreste (2007) *Rapporto sullo stato delle foreste in Toscana 2006.* Litograf Editor, Perugia

Altri documenti consultati:

- Legge 296/2006 (Finanziaria 2007)
- Legge 244/2007 (Finanziaria 2008)
- Piano Strutturale del Comune di Cutigliano (PT)
- Piano Strutturale del Comune di Marliana (PT)
- Piano Strutturale del Comune di Montale (PT)
- Piano Strutturale del Comune di Piteglio (PT)
- Piano Strutturale del Comune di Sambuca Pistoiese (PT)
- Regolamento CE 1782/2003 del 29/11/2003 (riforma di medio termine della Politica Agricola Comunitaria – PAC)

Siti internet consultati:

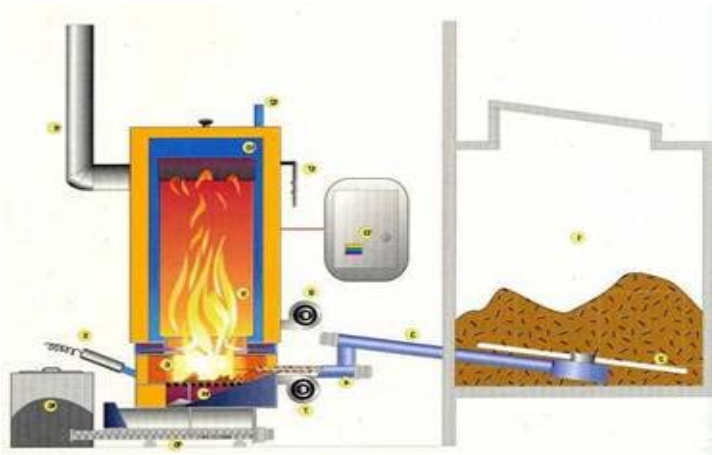
- www.aiel.cia.it
- www.buderus.it
- www.caldogonella.com
- www.ecoenergie.it
- www.eta-italia.it
- www.froeling.com
- www.fuocoelegna.it
- www.koeb-holzfeuerungen.com
    - www.holzenergie.ch
- www.istat.it
- www.ivalsa.cnr.it/ivalsa.htm
- www.ntaraschi.interfree.it/index.htm
    - www.pt.camcom.it
    - www.teleriscaldamento.valtline.it
    - www.turboden.it
- www.uniconfort.com
    - www.woodland.arsia.toscana.it

ALLEGATI

11 TECNOLOGIE IMPIEGABILI PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTI DI TELERISCALDAMENTO ALIMENTATI A LEGNO CIPPATO: ESEMPI DI COMPONENTISTICA E LOCALI TECNICI

12 CALDAIE A BIOMASSA

Le caldaie automatiche alimentate a legno cippato hanno, ad oggi, dei rendimenti che raggiungono ed in alcuni casi superano il 90%, con emissioni di sostanze inquinanti decisamente al di sotto dei limiti imposti dalla normativa vigente.
Esse si dividono principalmente in caldaie a griglia fissa e caldaie a griglia mobile. Le prime sono per lo più generatori di piccola e media potenza (indicativamente 10-500 kW) impiegate dalla scala domestica fino alle mini reti di teleriscaldamento; le seconde raggiungono potenze elevate (fino ad alcuni MW) e sono usate dalle piccole reti di teleriscaldamento fino a scala industriale. Esse sono adatte alla combustione di cippato con elevato tenore di umidità (fino al 60%) con caratteristiche dimensionali variabili ed elevato contenuto in cenere; ovviamente caratteristiche qualitative del combustibile, omogenee ed un'umidità nell'ordine del 30-40% permettono un miglior funzionamento dell'intero impianto.
Il sovradimensionamento di una caldaia a gas o gasolio, cosa molto frequente, non è causa di gravi problemi e costi; nelle caldaie a legna questa situazione invece, incide in modo più consistente in quanto, anche durante le fasi di *stand-by*, la caldaia deve rimanere in temperatura per essere in grado di riprendere il carico alla richiesta.
La scelta di una caldaia troppo grande potrebbe abbassare il rendimento annuo di qualche decina di punti percentuali e, con queste rese, lieviterebbero sensibilmente il consumo e il costo del combustibile, cosa affatto trascurabile per impianti di piccole dimensioni; questo senza tralasciare il fatto che in tutte le caldaie, durante le fasi di accensione, o di variazione di carico, i parametri di emissione si discostano sensibilmente da quelli nominali, per cui, avere una caldaia che funziona senza tante oscillazioni di potenza, significa contemporaneamente anche ridurre l'inquinamento. Un sistema, che risolve questi problemi, consiste nell' affiancare all'impianto a cippato un'altra caldaia a combustibile tradizionale, da utilizzare per integrare le punte di richiesta, per emergenza, o, eventualmente, durante le stagioni di basso carico, ad esempio nel caso si debba fornire una quantità di acqua sanitaria o di altri servizi in misura insufficiente per mantenere in marcia vantaggiosamente la caldaia a biomassa.
Si riporta di seguito un'elencazione di alcune tipologie di caldaie a biomassa, per la combustione di



Schematizzazione del generatore di calore con sistema di trasporto del combustibile dal silo di stoccaggio.

legno cippato, con le relative caratteristiche tecnologiche e dimensionali.

NB: le caratteristiche tecnico – dimensionali ed i costi di seguito riportati (per le caldaie e tutte le altre componenti e costruzioni), hanno valore puramente indicativo; per ogni informazione di maggior dettaglio si consiglia di contattare direttamente i singoli fornitori.

UNICONFORT

Modello BIOTEC

PRINCIPALI CARATTERISTICHE TECNICHE

• Possibilità di alimentazione dei combustibili con bruciatore meccanico a coclea FUOCOMATIC per combustibili con umidità fino al 50% base secco. Con griglia inclinata mobile per combustibili con umidità 80% base secco.
• Combustione a due stadi con gassificazione su griglia e pirolisi su camera secca con possibilità di ottimizzare la combustione attraverso la regolazione in automatico dell'aria di combustione primaria, secondaria e terziaria.
• Camera di combustione ad ampia sezione completamente secca a più giri di fumi per la decantazione ottimale delle polveri contenute nei fumi, con temperature in camera di combustione variabili da 900°C ÷ 1.100°C, provvista di sportelli per la periodica pulizia, camera di post-combustione con ingresso dei gas ad alta velocità turbolenta per effetto del particolare sistema di iniezione aria di combustione secondaria.
• Il rivestimento refrattario ad alto contenuto di allumina in mattoni opportunamente fissati con appositi collanti refrattari e gettata refrattaria ad alta densità isolante.
• Scambiatore di calore economizzatore a tubi di fumo orizzontale in acciaio di forte spessore di particolare geometria per garantire il massimo scambio termico e rendimento, provvisto di casse fumarie ispezionabili per la periodica pulizia e manutenzione.
• Struttura autoportante in lamiera di acciaio speciale di forte spessore ad alta resistenza meccanica rivestita esternamente in materiale antiradiante ad alta densità e pannellature di tamponamento, il tutto verniciato con vernici speciali.
• Bruciatore meccanico a coclea FUOCOMATIC costruito in acciaio di forte spessore completo di braciere con elementi in ghisa al cromo per la diffusione dell'aria primaria di combustione estraibili per la periodica pulizia e manutenzione.
• Motovariatore di portata trucioli completo di comando manuale di regolazione collegato alla coclea di alimentazione combustibile.

- Ventilatori di aria primaria e secondaria provvisti di serrande automatiche di regolazione, dispositivo antincendio ad azione positiva completo di sonda di rilevamento temperatura e regolatore, tramoggia di alimentazione combustibile con granulometria da 0 ÷ 25 mm completa di stella rompiponte e sportelli d'ispezione.

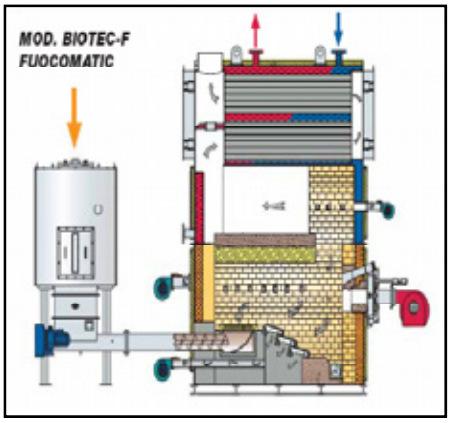
• Bruciatore a griglia mobile inclinata con elementi in ghisa al cromo per combustibili con umidità da 30 ÷ 80 % base secco con funzionamento orizzontale alternativo a mezzo di spintore meccanico per l'avanzamento controllato del combustibile sulla griglia.
• Estrazione automatica temporizzata della cenere a mezzo di raschiatore e rastrello e coclea motorizzata a tenuta pneumatica.

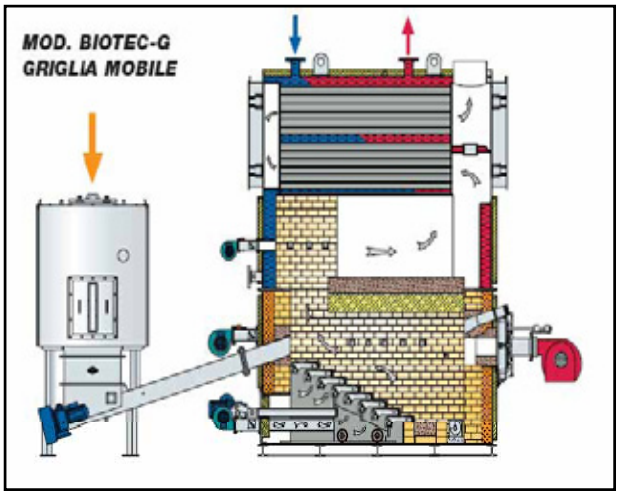
• Camere di ventilazione sottogriglia compartimentate per un razionale convogliamento dell'aria primaria, secondaria e terziaria.
• Le caldaie UNICONFORT modello BIOTEC possono essere dotate di alcuni accessori importanti a seconda del tipo di combustibile e tipo di funzionamento:
- Bruciatore pilota di prima accensione del combustibile con elevato contenuto di umidità.

- Bruciatore di potenza per il funzionamento della caldaia a combustibile liquido o gassoso in mancanza di combustibile solido.
- Quadro elettrico generale composto da organi di protezione elettrica, interuttori di comando, spie di funzionamento, apparecchiature termostatiche di controllo per un funzionamento ON-OFF.

-Quadro elettronico di potenza PLC per il controllo programmato e automatico della combustione con microprocessore composto da:
1) Base di comando e controllo alimentazione combustibile in relazione all'energia richiesta.
2) Controllo e regolazione dell'aria di combustione primaria e secondaria.
3) Controllo e regolazione aspirazione fumi.
4) Controllo totale della combustione con centralina di analisi CO.
5) Controllo di accensione e mantenimento con possibilità di riduzione della potenza termica bruciata in modulazione fino al 40% della potenza globale a mezzo di inverter.
- Alimentatore di trucioli da 1 a 150 mc in versione verticale e/o orizzontale a piano mobile.

SCHEMA FUNZIONALE





DATI TECNICI E DI INGOMBRO

Modello	30	35	40	45	50	60	70	80
Potenza resa(kW)	348	406	464	522	580	696	812	928
Potenza bruciata(kW)	396,8	487	557	626	696	835	974	1110
Altezza(mm)	3000	3150	3150	3250	3250	3600	3600	3750
Larghezza(mm)	2300	2400	2400	2400	2400	2700	2700	2800
Lunghezza tot.(mm)	5450	5800	5800	6450	6450	6900	6900	6700

Modello	100	120	140	160	200	250	300	400	500
Potenza resa(kW)	1160	1392	1624	1850	2320	2900	3480	4650	5800
Potenza bruciata(kW)	1390	1670	1880	2180	2730	3370	4080	5460	6820
Altezza(mm)	3750	4000	4000	4000	4350	4510	4510	5970	6220
Larghezza(mm)	2800	3200	3200	3200	3350	3500	3500	3620	3800
Lunghezza tot.(mm)	6700	7450	7450	7850	8200	8700	9200	10200	10800

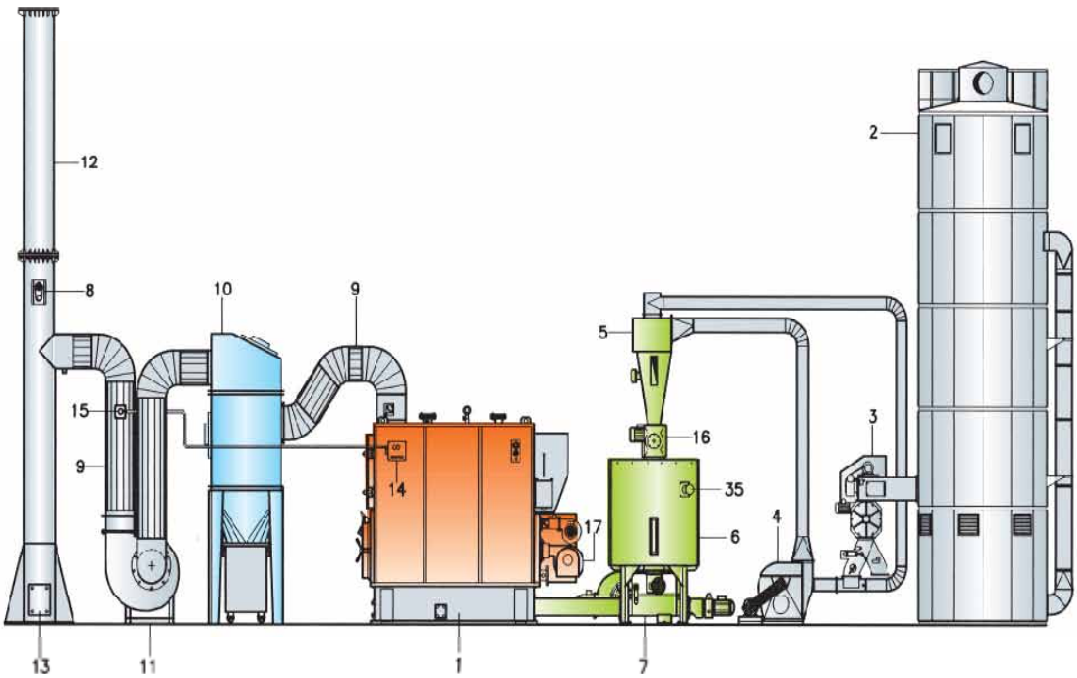
UNICONFORT

Serie DUAL CMT/F

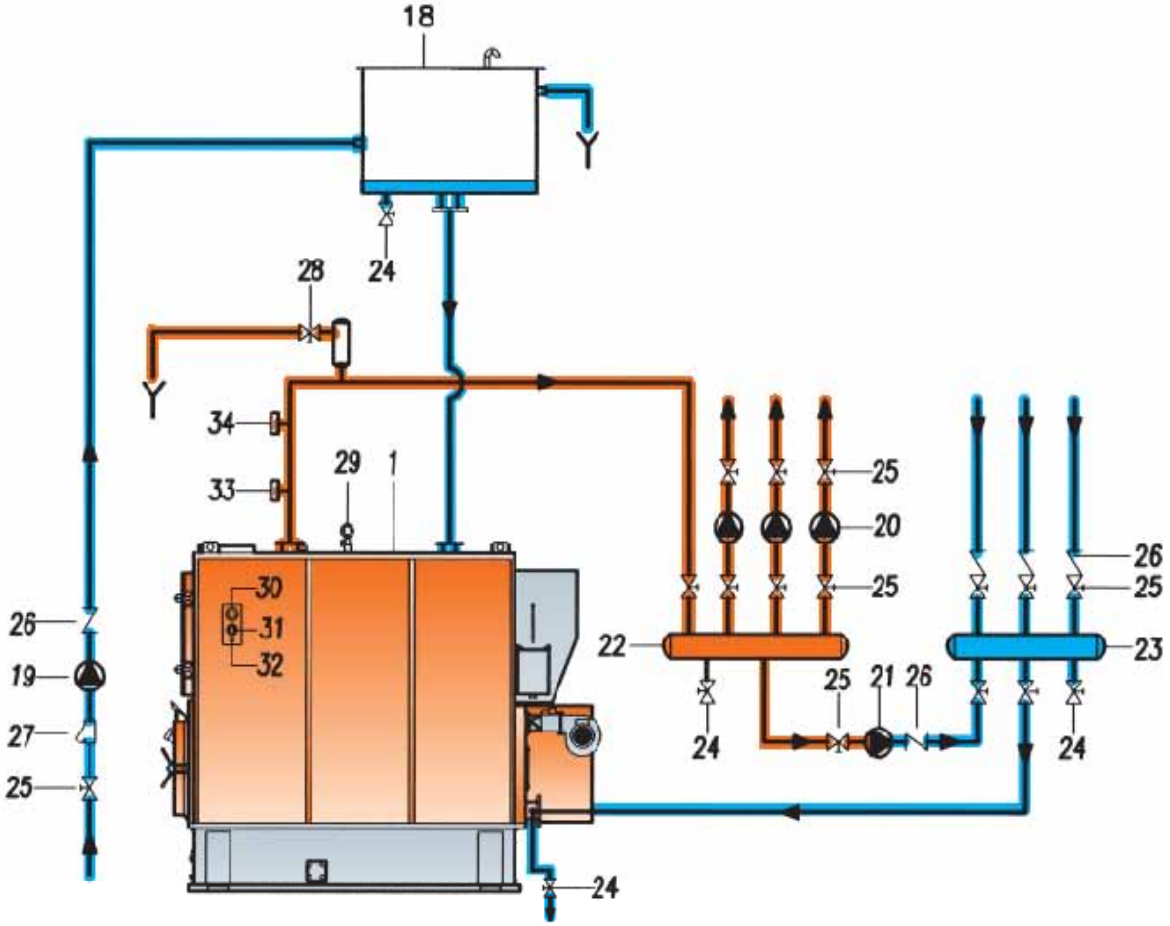
PRINCIPALI CARATTERISTICHE TECNICHE

- Caldaie in acciaio a 3/4 giri di fumo per la produzione di acqua calda, funzionanti a scarti di legno, trucioli, segatura, cippato, bricchetti, gasolio, gas, etc.
- Sportello antiscoppio a molla e di ispezione cassa fumaria.
- Dispositivo antincendio ad azione positiva con temperatura regolabile, completo di filtro acqua.
- Collettore di convogliamento aria di combustione primaria e secondaria con serrande di regolazione manuali e serranda automatica di chiusura totale.
- Dispositivo di protezione e consenso per bruciatore di gasolio e/o gas.
- Apparecchiature termostatiche regolazione e controllo funzionamento.
- Valvole di sicurezza antiscoppio nello scambiatore.
- Camera di combustione con rivestimento refrattario, focolare ad elementi in ghisa al cromo.

SCHEMA FUNZIONALE



SCHEMA IDRICO



1) Caldaia 2) Silos stoccaggio combustibile 3) Estrattore dosatore 4) Trasporto pneumatico o a coclea 5) Cicloncino di alimentazione 6) Contenitore alimentatore 7) Fuocomatic 8) Prelievo analisi fumi 9) Raccordi fumari in acciaio inox 10) Multiciclone o depuratore fumi 11) Camino inox o acciaio zincato 13) Sportello ispezione camino 14) Centralina rilevazione CO 15) Sonda prelievo controllo CO 16) Valvola rotativa dosatrice 17) Bruciatore pilota o di potenza 18) Vaso di espansione 19) Pompa di alimentazione 20) Pompa di mandata 21) Pompa di ricircolo 22) Collettore di mandata 23) Collettore di ritorno 24) Gruppo di scarico 25) Saracinesche di intercettazione 26) Valvole di ritegno 27) Filtro 28) Gruppo di sfiato 29) Manometro 30) Termometro 31) Termostato di servizio 32) Termostato di sicurezza 33) Presso stato di blocco 34) Flussostato di blocco 35) Indicatore di livello rotativo.

DATI TECNICI E DI INGOMBRO

Modello	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70
Potenza resa(kW)	93	116	174	232	290	348	406	464	522	580	696	812
Potenza bruciata(kW)	106	132	198	265	331	397	487	557	626	696	835	974
Altezza(mm)	1860	1860	2040	2040	2280	2280	2680	2680	2730	2730	2830	2830
Larghezza(mm)	900	900	1000	1000	1100	1100	1400	1400	1450	1450	1680	1680
Lunghezza tot.(mm)	4450	4450	4860	4860	5370	5370	6040	6040	6420	6420	6100	6100

Modello	80	100	120	140	160	200	250	300	350	400	500
Potenza resa(kW)	928	1160	1392	1624	1850	2320	2900	3480	4070	4650	5800
Potenza bruciata(kW)	1110	1390	1670	1880	2180	2730	3370	4080	4770	5460	6820
Altezza(mm)	2830	2830	2830	2830	2830	3090	3080	3150	3150	4470	4770
Larghezza(mm)	1950	1950	2130	2130	2130	2130	2130	2130	2130	2130	2300
Lunghezza tot.(mm)	6000	6000	6750	6750	7250	7510	7860	8410	8810	10460	11160

UNICONFORT

Modello GLOBAL

PRINCIPALI CARATTERISTICHE TECNICHE

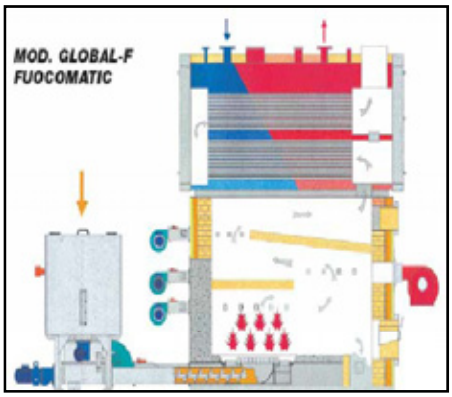
- Il modello GLOBAL F con bruciatore FUOCOMATIC permette l'utilizzo di legno solido con umidità sul secco che raggiunge il 60%; l'umidità del cippato può invece salire nel modello GLOBAL G, con bruciatore a griglia mobile, fino al 100%.

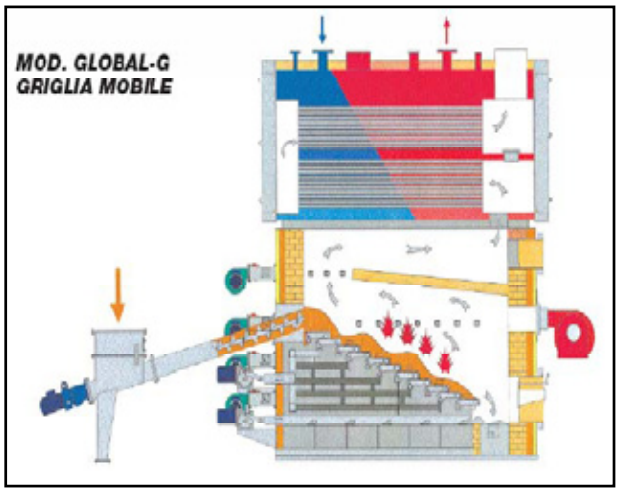
• Camera di combustione ad ampia sezione completamente secca a più giri di fumi per la decantazione ottimale delle polveri contenute nei fumi, con temperature in camera di combustione variabili da 900°C ÷ 1.100°C, provvista di sportelli per la periodica pulizia, camera di post-combustione con ingresso dei gas ad alta velocità turbolenta per effetto del particolare sistema di iniezione aria di combustione secondaria.

- Possibilità di impiego di alimentatore di trucioli da 1 a 200 mc in versione verticale e/o orizzontale a piano mobile.

Per le altre caratteristiche si veda la scheda tecnica del modello BIOTEC.

SCHEMA FUNZIONALE

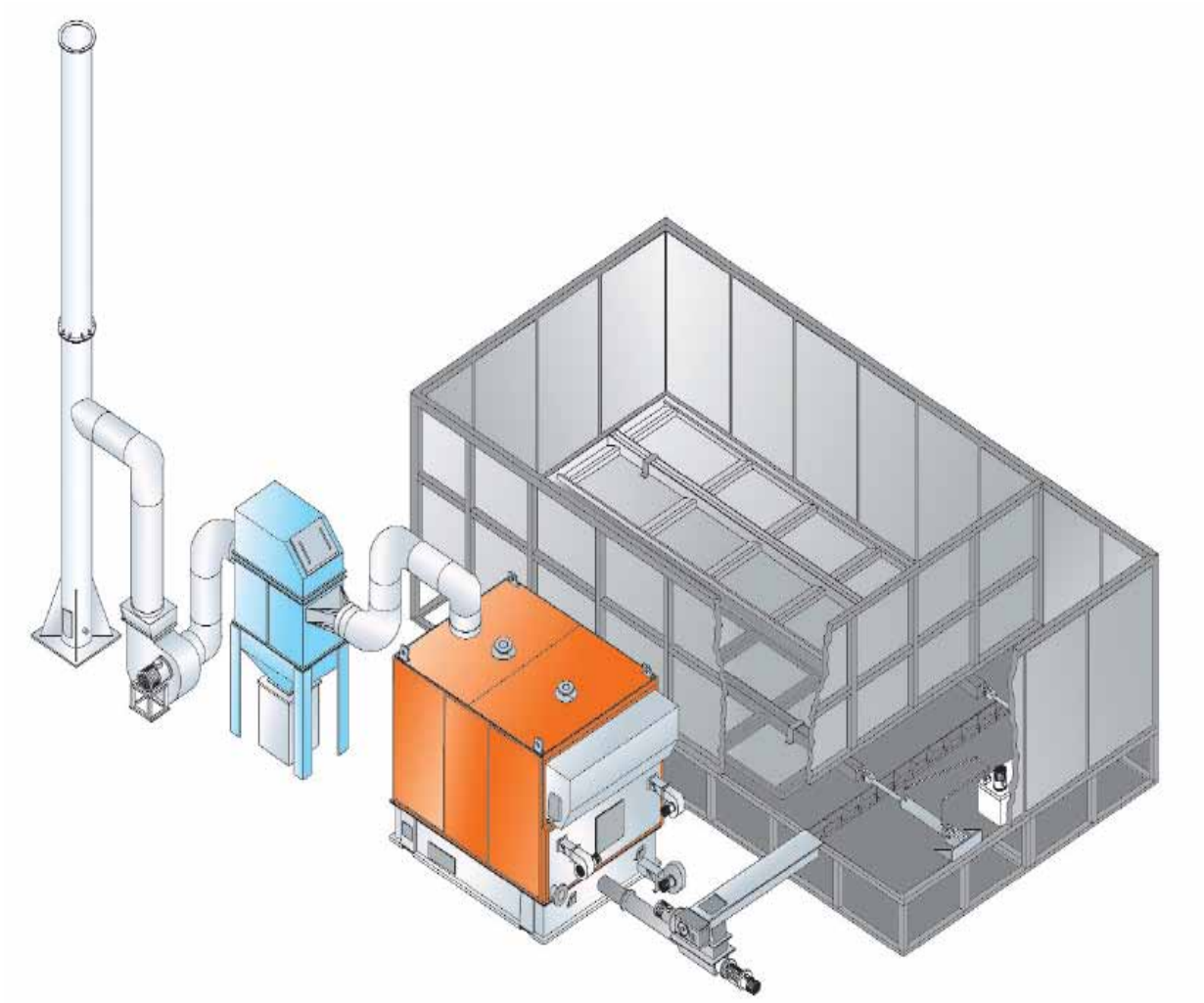




DATI TECNICI E DI INGOMBRO

Modelli GLOBAL per la produzione di acqua calda a 95 °C a 2 bar di pressione								
Modello	**30**	**60**	**90**	**120**	**150**	**180**	**240**	**300**
Potenza resa(kW)	348	696	1045	1392	1745	2090	2790	3480
Potenza bruciata(kW)	435	847	1276	1740	2145	2550	3364	4080
Altezza(mm)	3730	4110	4230	4230	4430	4430	4510	4510
Larghezza(mm)	3000	3100	3250	3250	3450	3450	3550	3550
Lunghezza tot.(mm)	6100	7300	7050	7750	7750	8250	8950	9450

SCHEMA FUNZIONALE



KOB

Modello KOB PYROT

PRINCIPALI CARATTERISTICHE TECNICHE

- Camera di combustione cilindrica con fiamma a rotazione per piccole e grandi strutture e per sistemi di fornitura combinata di calore.
- Combustibile impiegabile: scarti di lavorazione del legno (cippato, trucioli ecc.) e pellet.
- Possibilità di impiego in parallelo con altre caldaie.

DATI TECNICI E DI INGOMBRO

Modello	PYROT100	PYROT150	PYROT220	PYROT300	PYROT400	PYROT540
Potenza (kW)	80 - 100	120 - 150	180 - 220	250 - 300	340 - 400	460 - 540
Altezza(mm)	1765	1765	2013	2013	2270	2340
Larghezza(mm)	1050	1050	1330	1330	1590	1590
Lunghezza tot.(mm)	2194	2444	2444	2794	2850	3080
Peso(kg)	2143	2448	3344	3832	4878	6244

Modello KOB PYRTEC

PRINCIALI CARATTERISTICHE TECNICHE

- Griglia mobile
- Possibilità di impiego per tutti i combustibili legnosi, dal pellet secco (W10) fino al cippato di legno umido (W60).
- Alta regolabilità della potenza.
- Alta sicurezza nei confronti nell'eventualità di ritorno di fiamma.
- Rimozione ceneri e pulizia automatiche.
- La zona di combustione a conca, assieme alla griglia esterna inclinata e alla griglia di post-combustione mobile, sviluppano una combustione in tre fasi :

-1a fase:
zona di combustione a conca: essiccazione (combustibile umido);
griglia interna: degassificazione (combustibile secco);
ventola aria primaria 1: combustione ridotta (carica minima).
-2a fase:
griglia esterna in pendenza: regolazione del livello del combustibile in base al materiale ed alla potenza (sorveglianza tramite sensori);
ventola aria primaria 2: degassificazione principale (combustibile umido);
regolazione zona 2: (degassificazione con pre-riscaldamento dell'aria) degassificazione secondaria (combustibile secco).
-3a fase:
griglia ad avanzamento: rimozione dalla griglia esterna di combustione del carbonio, combustione finale delle ceneri, rimozione automatica delle ceneri.

- Altri dispositivi presenti:

–dispositivo del ricircolo dei fumi per combustibili secchi (W<20);
–pre-essiccatore per combustibili umidi (W>50).

DATI TECNICI E DI INGOMBRO

Modello	**PYRTEC 530**	**PYRTEC 720**	**PYRTEC 950**	**PYRTEC 1250**
Potenza (kW)	530	720	950	1250
Altezza(mm)	2702	2834	3035	3230
Larghezza(mm)	1380	1380	1612	1612
Lunghezza tot.(mm)	3237	3877	3835	4380
Peso(kg)	6575	8054	11013	13809

FRÖELING

Modelli TURBOMAT

PRINCIPALI CARATTERISTICHE TECNICHE

- La camera di combustione ad alta temperatura con griglia mobile permette:

-assenza di scorie;
-combustione ottimale anche in caso di materiale umido;
-emissioni di CO inferiori a 10 mg/MJ;
-rimozione automatica ceneri.

- Scambiatore di calore verticale con conseguenti:

-trasmissione ottimale del calore;
-pulizia automatica della superficie riscaldante;
-rendimento elevato;
-emissioni di polveri sottili ridotte.

- Regolazione Lambdatronic:

-regolazione ottimale della combustione fino al 25% della potenza nominale;
-adeguamento automatico alle diverse caratteristiche dei combustibili;
-possibilità di risparmio grazie alla teleassistenza su richiesta.

DATI TECNICI E DI INGOMBRO

Modello	28	35	48	55	85	100	110
Potenza nominale(kW)	28	35	48	55	85	100	110
Capacità caldaia (litri)	114	114	185	185	300	300	300
Lunghezza caldaia(mm)	1230	1230	1320	1320	1570	1570	1570
Larghezza caldaia (mm)	580	580	680	680	820	820	820
Larghezza sistema rimozione(mm)	310	310	310	310	330	330	330
Larghezza coclea estrazione(mm)	820	820	820	820	950	950	950
Altezza caldaia(mm)	1420	1420	1520	1520	1750	1750	1750
Peso caldaia(kg)	420	425	500	505	1000	1000	1000
Diametro tubo fumi(mm)	150	150	150	150	200	200	200

Modello	**150**	**220**
Potenza calorifica nominale (kW)	150	220
Diametro del tubo fumi (mm)	200	250
Profondità caldaia (mm)	3240	3390
Larghezza caldaia (mm)	1210	1490
Altezza caldaia (mm)	1870	1870
Altezza mandata/ritorno (mm)	1930/495	1930/495
Lunghezza caldaia (mm)	1710	1750
Lunghezza ventilatore a tiraggio indotto (mm)	600	710
Larghezza scambiatore di calore (mm)	870	870
Lunghezza carrello per rimozione ceneri da storta (mm)	930	930
Altezza/larghezza minima di montaggio (mm)	1950/1000	1950/1000

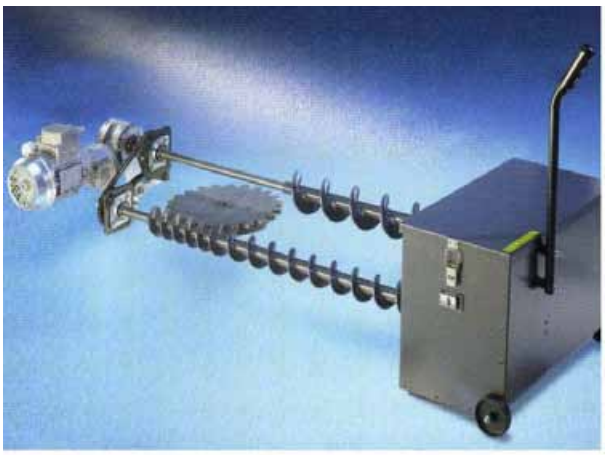
Modello	**320**	**500**
Potenza calorifica nominale (kW)	320	500
Diametro del tubo fumi (mm)	300	350
Lunghezza caldaia, coclea alimentazione inclusa (mm)	3250	3600
Larghezza caldaia, parti annesse incluse (mm)	2500	2980
Altezza caldaia (mm)	2440	2605
Diametro coclea di alimentazione (mm)	150	200
Superficie scambiatore di calore (m2)	19,04	32,73
Capacità caldaia (litri)	560	750
Peso caldaia (secco) (kg)	5070	6800
Altezza minima necessaria dal pavimento al soffitto (mm)	3000	3300

ETA

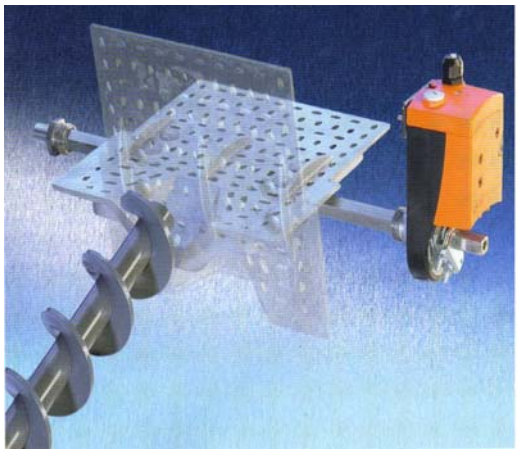
Modelli ETA HACK

PRINCIPALI CARATTERISTICHE TECNICHE

- Sonda Lambda per una regolazione ottimale della combustione in un *range* compreso tra il 30 ed il 100% della potenza nominale e pause di combustione automatiche in caso di bassa necessità di fabbisogno energetico.
- Protezione contro il ritorno di fiamma con la chiusura a palette monocamera.
- Azionamento in senso inverso delle coclee fino a tre volte, per far fronte ad eventuali inceppamenti.
- Tiraggio aspirato per una maggior sicurezza nei confronti delle piccole esplosioni.
- Sistemi automatici per la pulizia dello scambiatore di calore e la rimozione di ceneri volatili e di griglia.
- Trasporto del combustibile dal deposito per mezzo di bracci articolati.
- Lunghezza della coclea di alimentazione della caldaia modulabile fino ad 8 metri.
- Accensione automatica tramite soffiante ad aria calda con limitatore del tempo di accensione e ossigeno residuo con temperatura dei gas di scarico.



Sistema di estrazione delle ceneri



Particolare della griglia

DATI TECNICI E DI INGOMBRO

Modello	20	25	35	50	70	90
Fascia di potenza calorifica nominale (kW)	5,9-19,9	7,7-26	10,5-35	13,6-49,5	21-70	26-88
Rendimento carico nomin.-parziale	92,7-92,8	92,2-92,9	91,7-92,9	90,8-92,8	90,9-92,3	91-91,8
Dimensioni L x P x A (mm)	610 x 1100 x 1495				710 x 1175 x 1675	
Peso complessivo (kg)	735	735	736	737	909	911
Contenuto acqua di caldaia (litri)	117				190	
Volume recipiente cenere (litri)	35				44	
Potenza elettr. assorbita carico parz.-nomin.(W)	73-129	91-147	104-175	120-215	144-252	166-310
Massima temperatura di esercizio ammiss.	95°C					
Temperatura minima del ritorno	60°C					

BUDERUS

Modelli LOGANO SH

PRINCIPALI CARATTERISTICHE TECNICHE

- Sonda Lambda per una regolazione ottimale della combustione in un *range* compreso tra il 30 ed il 100% della potenza nominale e pause di combustione automatiche in caso di bassa necessità di fabbisogno energetico.
- Protezione contro il ritorno di fiamma con la chiusura a palette monocamera.
- Azionamento in senso inverso delle coclee, per far fronte ad eventuali inceppamenti.
- Tiraggio aspirato per una maggior sicurezza nei confronti delle piccole esplosioni.
- Sistemi automatici per la pulizia dello scambiatore di calore e la rimozione di ceneri volatili e di griglia.
- Trasporto del combustibile dal deposito per mezzo di bracci articolati.
- Lunghezza della coclea di alimentazione della caldaia modulabile fino ad 8 metri.
- Accensione automatica tramite soffiante ad aria calda con limitatore del tempo di accensione e ossigeno residuo con temperatura dei gas di scarico.

DATI TECNICI E DI INGOMBRO

Modello	**SH20**	**SH25**	**SH35**	**SH50**
Fascia di potenza nominale (kW)	5,9-19,9	7,5-25	10,5-35	14,9-49,5
Rendimento carico parz.-nominale	91,6-92,2	92,7-92,1	92,9-91,5	93,3-90,6
Dimensioni L x A x P (mm)	610 x 1466 x 110			
Peso complessivo (kg)	730	732	734	736
Contenuto acqua di caldaia (litri)	117			
Volume recipiente cenere (litri)	35			
Massima temperatura di mandata	95°C			
Temperatura minima del ritorno	60°C			

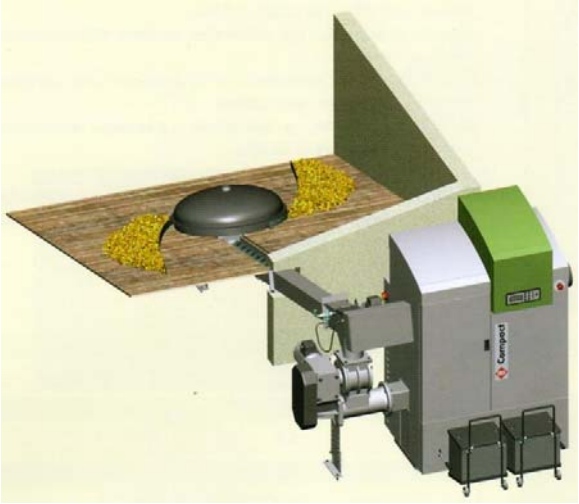
Modello	**SH70**	**SH90**	**SH130**
Fascia di potenza nominale (kW)	21-70	26,5-88,5	39-130
Rendimento carico parz.-nominale	92,5-90,8	91,8-91,0	-
Dimensioni L x A x P (mm)	710 x 1696 x 1249		930 x 1770 x 1520
Peso complessivo (kg)	909	911	1320
Contenuto acqua di caldaia (litri)	196		299
Volume recipiente cenere (litri)	44		
Massima temperatura di mandata	95°C		
Temperatura minima del ritorno	60°C		

HDG

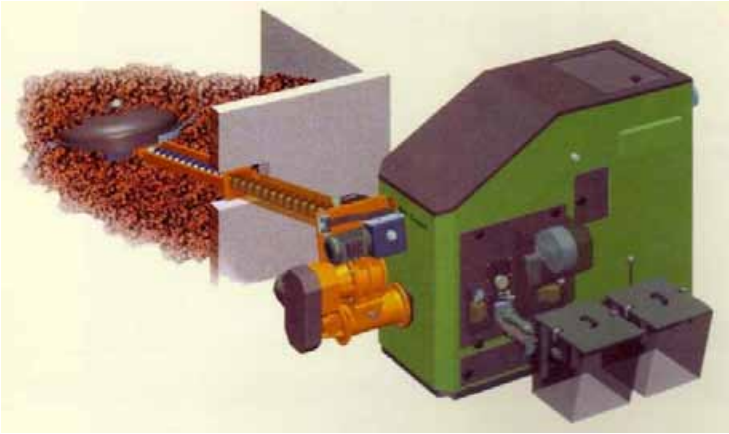
Modelli HDG Compact

PRINCIPALI CARATTERISTICHE TECNICHE

- Griglia fissa per i modelli Compact 30, 50, 65 con contenuto idrico del cippato ammissibile fino al 45%.
- Griglia mobile per i modelli Compact 100, 150, 200 con contenuto idrico del cippato ammissibile fino al 65%.
- Saracinesca stellare brevettata per evitare la combustione di ritorno.
- Sonda Lambda per la regolazione della potenza fino al 30% di quella nominale.
- Sistemi automatici per la pulizia dello scambiatore di calore e della rimozione delle ceneri di griglia.
- Esercizio di emergenza a legna pezzata per i modelli Compact 30, 50, 65.
- Possibilità di integrazione con caldaia a gasolio per i modelli Compact 100, 150, 200.
- Rendimenti maggiori del 90%.



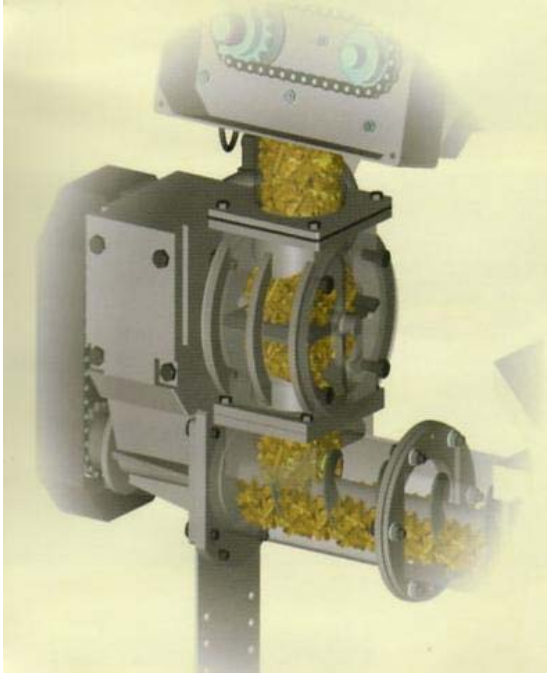
Modelli Compact 30, 50, 65



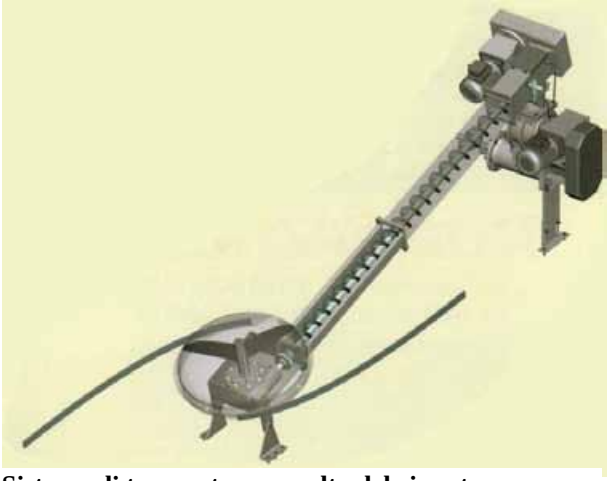
Modelli Compact 100, 150, 200

DATI TECNICI E DI INGOMBRO

Modello	Compact 35	Compact 50	Compact 65	Compact 100	Compact 150	Compact
Potenza di calore nominale (kW)	30	50	65	100	150	200
Ambito di regolazione (kW)	13-30	13-50	13-65	30-100	45-150	60-200
Contenuto d'acqua (litri)	180	180	180	210	450	450
Temperatura massima di mandata (°C)	95					
Peso caldaia (kg)	725			1480	2300	2400
Dimensioni L x A x P (mm)	1428 x 1278 x 1915			850 x 1700 x 2000	950 x 1700 x 2450	



Saracinesca stellare contro il ritorno di fiamma



Sistema di trasporto e raccolta del cippato

13 LOCALE CALDAIA E SISTEMI DI SICUREZZA

Il locale caldaia può essere costruito ex-novo, oppure si può sfruttare quello preesistente se presenta delle caratteristiche logistico - dimensionali idonee. Infatti in fase di progettazione dello stesso si deve tener conto della necessità di sufficienti spazi per le operazioni di montaggio e manutenzione ordinaria e straordinaria delle varie componenti tecnologiche dell'impianto.
I sistemi di alimentazione della caldaia sono composti in genere da una o più coclee (più raramente nastri trasportatori) che fanno avanzare il cippato dal silo fino al focolare della caldaia. Tra queste coclee, viene creata una separazione fisica del materiale in modo che non vi sia continuità tra il focolare e il deposito, per evidenti ragioni di sicurezza.
Questa separazione è attuata generalmente creando un dislivello dove il cippato cade per gravità ed è mantenuto ad un determinato livello massimo, controllato da fotocellule o altri sensori. In alcuni tipi di impianto, la separazione è aumentata da una ruota a palette che impedisce anche la continuità dell'aria (il ritorno del fumo e l'aspirazione di aria da parte della caldaia in depressione); inoltre vi possono essere ulteriori sicurezze attuate mediante serrande che si chiudono in caso di pericolo.
Oltre ai sistemi meccanici di separazione e di blocco del combustibile, sono necessari dispositivi di spegnimento che intervengano in caso di ritorno di fiamma. Generalmente, questi sono costituiti da spruzzatori di acqua comandati da sensori e temporizzati per evitare allagamenti; a volte è presente un ulteriore spruzzatore di sicurezza che entra in funzione anche senza la presenza di tensione, in quanto pilotato da una semplice valvola termostatica, il cui bulbo sensibile è posto a contatto con il canale di alimentazione del cippato.
La bontà e l'efficienza di tutti questi sistemi distinguono i diversi impianti e ne rappresentano, conseguentemente, una caratteristica importante. In Italia, non essendovi una normativa specifica e/o un controllo serio, accanto ad impianti dotati di tutti gli accorgimenti necessari, ne vengono proposti altri con vistose carenze in questi dispositivi di sicurezza.

14 SILO DI STOCCAGGIO DEL CIPPATO

Il silo di stoccaggio del cippato è costruito generalmente a pianta quadrata, in muratura; il combustibile è estratto per mezzo di bracci a balestra, articolati o tramite rastrelli (vedi pagine successive). Il sistema di estrazione incanala il cippato nella coclea di trasporto collegata, per mezzo di un pozzetto di sicurezza intermedio, alla coclea di caricamento che introduce il cippato nel focolare.
Il dimensionamento del deposito deve garantire un'autonomia invernale di almeno 15-20 giorni.
Per quanto riguarda la localizzazione si dovrebbero invece rispettare le seguenti regole:
la distanza tra il silo e la centrale termica dovrebbe essere il più breve possibile;

- il silo deve essere possibilmente inserito tra gli edifici progettati per non necessitare di un accesso supplementare;
- l'area circostante il silo dovrebbe essere sufficientemente ampia da permettere le manovre e lo scarico del cippato da parte degli automezzi.

Una caratteristica poco considerata, ma che ha un'influenza notevole sul prezzo finale del combustibile, è infatti la modalità di riempimento del silo stesso. Si dovrebbe prevedere, dove possibile, un caricamento effettuato per ribaltamento del cassone (del camion o del trattore) per velocizzare l'operazione stessa; depositi con aspetti logistici particolari, come una scarsa possibilità di raggiungimento, causano la necessità di impiegare tecnologie particolari, come vibratori e aspiratori, con un incremento di tempi e costi di approvvigionamento del cippato.
Tenuto conto che il sistema di rifornimento più normale è quello dello scarico diretto da autocarri o rimorchi, la soluzione del silo interrato, o comunque accessibile con portelloni dall'alto, è senz'altro la migliore, pur se costosa, anche per la necessaria impermeabilizzazione del locale.
Se il volume del silo supera il centinaio di metri cubi, occorre prevedere più bocche di carico se si vuole avere un buon grado di riempimento; con una sola bocca, allo scarico si forma un cono di materiale che, oltre a non riempire adeguatamente il deposito, impedisce lo scarico o fa traboccare il materiale fuori dai portelloni. Le misure ottimali delle bocche si aggirano intorno ai 2 x 3 m.
Per ovviare all'inconveniente della caduta di grandi masse di cippato, molto facile con il ribaltamento dei cassoni e con materiale umido, si dovrebbero usare mezzi con pianale scorrevole. Invece di costruire più bocche, per migliorare il grado di riempimento del silo, esiste la possibilità di montare un distributore interno al deposito stesso, ma è chiaramente un accessorio abbastanza costoso per il quale è meglio valutare la convenienza caso per caso.
Occorre anche ricordare la tendenza del cippato a formare dei ponti, sotto i quali il materiale non viene più rimosso dal sistema di estrazione, che funziona quindi a vuoto: questo fatto è legato sia all'umidità e al tipo di cippato, sia alla forma del silo. Ovviamente più il cippato è umido più tende a legarsi e, ugualmente, più il silo è alto più il peso tende a compattarlo e a formare dei ponti: per questo motivo l'altezza del deposito non dovrebbe mediamente superare 1,5 volte la sua larghezza.
Anche per queste evenienze, sono da prevedere porte di accesso al silo, situate in posizioni opportune; non si deve dimenticare inoltre la pericolosità di accesso nel deposito dove, in seguito alla fermentazione del legno, si potrebbe avere forte presenza di anidride carbonica e conseguente pericolo di asfissia; a questo scopo, si devono installare impianti di ventilazione che servono contemporaneamente ad allontanare l'umidità del cippato e ad aumentarne di conseguenza la resa.

Riempimento del silo per ribaltamento del cassone.

SISTEMI DI ESTRAZIONE DEL COMBUSTIBILE DAL SILO DI STOCCAGGIO

(fonte: www.froeling.com)

Estrazione industriale a braccio snodato

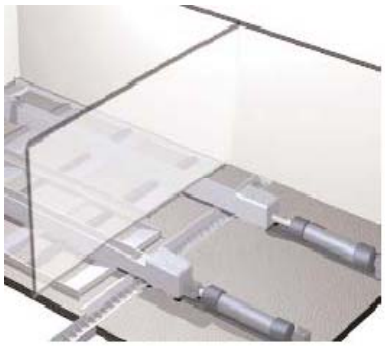
Consente un funzionamento completamente automatico senza formazione di polveri. I costi energetici e di manutenzione sono, in tal caso, piuttosto ridotti. Il canale di estrazione trapezoidale evita intasamenti e richiede un minimo dispendio di energie.

Estrazione obliqua a coclea

Utilizzata principalmente come coclea di estrazione da silo nell'industria di lavorazione del legno. Assicura uno scarico uniforme del combustibile.

Estrazione orizzontale a coclea

Struttura massiccia in grado di sopportare pesi specifici apparenti estremi tipici dei sistemi di estrazione da silo a torre. Trova particolare applicazione nei trucioli umidi e nei silo di grosso diametro.



Estrazione ad aste di spinta

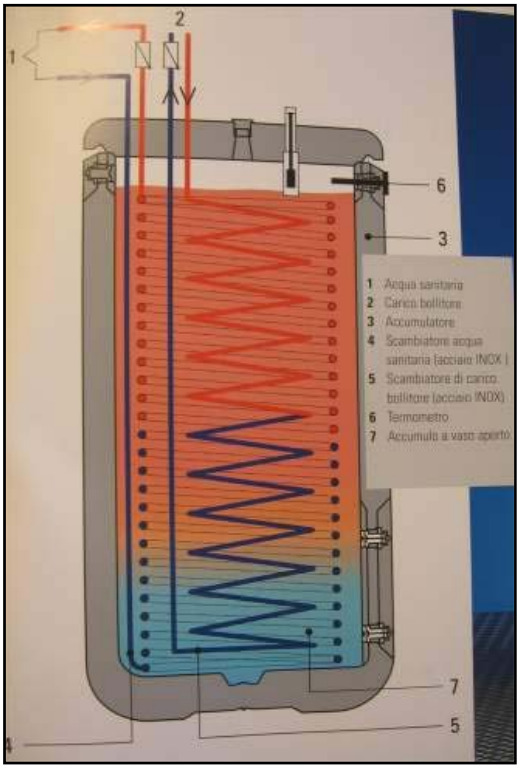
Variante per depositi rettangolari. Adatta a tutti i materiali. L'estrazione ad aste di spinta si è particolarmente affermata nell'estrazione di materiali difficili e non particolarmente omogenei.

15 SERBATOI DI ACCUMULO

Il serbatoio di accumulo è necessario quando si ha a che fare con impianti di riscaldamento a combustibile solido come la legna oppure con impianti solari, perché non è possibile con una caldaia a legna oppure con un impianto a pannelli solari scaldare l'acqua in modo istantaneo come invece si può fare con una caldaia a gas o a gasolio. Si tratta quindi di installare in questi casi, un accumulatore termico pronto ad erogare acqua calda quando necessario.

Accorgimenti di progettazione

Quando si progetta un accumulatore inerziale occorre tenere presente alcuni accorgimenti. L'ingresso di acqua fredda non deve provocare turbolenze nella massa d'acqua presente nel boiler, lasciando possibilmente inalterata la stratificazione del liquido, più caldo in alto e più freddo in basso. Quindi il tubo di ingresso dell'acqua fredda è bene sia posto verso il fondo del boiler, mentre il tubo di prelievo dell'acqua calda deve essere posto in alto. La temperatura all'interno del serbatoio deve essere mantenuta intono ai 60 gradi centigradi per cui all'interno del serbatoio ci vuole una sonda termostatica che azioni la pompa del riscaldamento quando la temperatura dell'acqua scende sotto i 55°C, per poterla riportare a temperatura di regime. Nel caso di serbatoi in cui più fonti termiche contribuiscono alla formazione dell'acqua calda come caldaia a legna, a gas, impianto solare, ecc, si preferiranno sistemi basati sulla stratificazione dell'acqua dovuta alla variazione di densità con l'aumentare della temperatura e sullo scambio termico collocato in opportune posizioni. La soluzione più semplice consiste nell'adozione di un serbatoio scaldacqua con due scambiatori: quello più in basso destinato allo scambio con un fonte energetica di tipo alternativo (es. caldaia a cippato), quello superiore alimentato da una caldaia, in genere a gas o a gasolio o da una resistenza elettrica.



Accumulatore inerziale in sezione.

16 RETE DI TELERISCALDAMENTO

Il calore prodotto dalla caldaia viene trasferito alle utenze per mezzo di una rete di teleriscaldamento costituita da una coppia di tubi (mandata e ritorno) interrati e coibentati (la perdita di temperatura è minima nell'ordine di 1-2°C al chilometro).
Il passaggio di calore tra rete e utente può avvenire in modo diretto (senza scambiatore di calore) o indiretto (con scambiatore); per motivi di costo il primo è preferibile ma applicabile soltanto in piccoli impianti.
Il vettore di calore che scorre all'interno dei tubi è l'acqua; essa circola a circa 75-85°C nella mandata e cede l'energia termica all'utenza finale.
La distribuzione del calore può essere contabilizzata e gestita in telecontrollo; in tal caso ciascuna utenza paga solamente i consumi effettivi.
Il costo della rete dipende dalle condizioni di messa in opera e varia approssimativamente dagli 80 ai 300 euro / metro.

Messa in opera della rete di teleriscaldamento

Esempio di impianto:
il modello BIOCOMPACT

Il modello Biocompact è formato da un vano tecnico, costituente la centrale termica completa e preassemblata, e un adiacente vano deposito del cippato e/o pellets.
La forma, i materiali usati e le caratteristiche tecniche, lo rendono idoneo agli usi più svariati ad esempio nel comparto orto – floro – vivaistico per il riscaldamento di serre, in quello avicolo per il riscaldamento di capannoni, nell'uso civile per piccoli condomini o gruppi di case, nella piccola industria, ecc.
Essenziale per il suo funzionamento, sono gli allacciamenti sia idraulici che elettrici. In pratica, si tratta di portare dal luogo dell'installazione del Biocompact, alla sottocentrale, alla vecchia centrale termica o all'edificio da riscaldare, all'interno di uno scavo nel terreno, una tubazione preisolata (A+R) per l'acqua calda, un tubo con acqua in pressione per l'alimentazione del sistema di emergenza/caricamento impianto, una linea elettrica di potenza e di eventuale segnalazione.
La base su cui appoggia può essere una soletta in calcestruzzo o più semplicemente una porzione di pietrisco spianato e rullato, su cui appoggiare la struttura.
Il vano caldaia è costituito da un locale delle dimensioni di 2,5 x 3 x 2,6 m contenente la caldaia a cippato con potenze variabili da 40 a 150 kW e quindi adatta, ad esempio, nel caso di zone climatiche E, a scaldare volumetrie fino a 6000 mc circa. In questo locale si trova il dispositivo di caricamento del combustibile, un accumulo termico funzionante da serbatoio tampone e compensatore idraulico, tutta l'impiantistica idraulica, la pompa primaria, il sistema anticondensa, il sistema di sicurezza e di espansione, l'impiantistica elettrica ed elettronica, fino ad arrivare al sistema di supervisione via modem (optional).

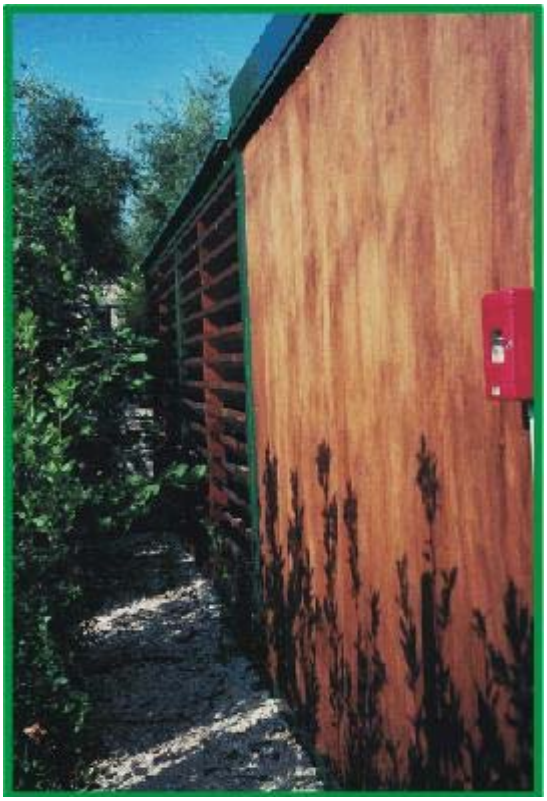
Caratteristiche della caldaia

- Processo di combustione con alte rese e basse emissioni.
- Combustione priva di fumi.
- Modulazione della potenza in funzione del carico termico richiesto.
- Spegnimenti e riaccensioni automatizzate e veloci.
- Possibilità di adeguare e modificare con facilità i parametri di combustione in funzione del tipo di combustibile.
- Pulizia ed estrazione della cenere automatizzata.
- Possibilità di telecontrollo del sistema, differenziata per appartamento e numero di accumuli inerziali.
- Certificazioni europee (EN 303-5) sulla costruzione, sul rendimento e sulle emissioni.

Vano deposito

Il vano di stoccaggio del combustibile legnoso ha una dimensione di 2,5 x 5,5 x 2,6 m, è costruito in legno di larice, massiccio e trattato, montato su un'intelaiatura d'acciaio trattato e verniciato per resistere agli agenti atmosferici con una copertura con telone in pvc rinforzato e impermeabile scorrevole su binari e guide con cuscinetti.
La forma e la modalità costruttiva favoriscono l'aerazione del cippato, mentre l'estrazione a pavimento ne consente il completo svuotamento e perciò l'utilizzo della quasi totalità della volumetria geometrica del deposito, circa 28-30 mc. Detto deposito, riferito ad una caldaia della potenza di 100 kW, ad un normale uso di riscaldamento (14 h giornaliere) e nel periodo invernale più rigido, consente un'autonomia di circa 20-30 giorni.
A richiesta si può avere una volumetria più ampia del deposito.
Esiste inoltre la possibilità di aggiungere un ulteriore modulo delle dimensioni di 2,5 x 2,5 x 2,6 m, per la produzione d'acqua refrigerata ad uso condizionamento estivo.

Vista frontale con ingresso



Vista laterale

Accumulo inerziale

Modalità di riempimento del silo di stoccaggio

Rotore singolo per estrazione del cippato

Parete di compartimentazione tra il vano silo e la centrale termica

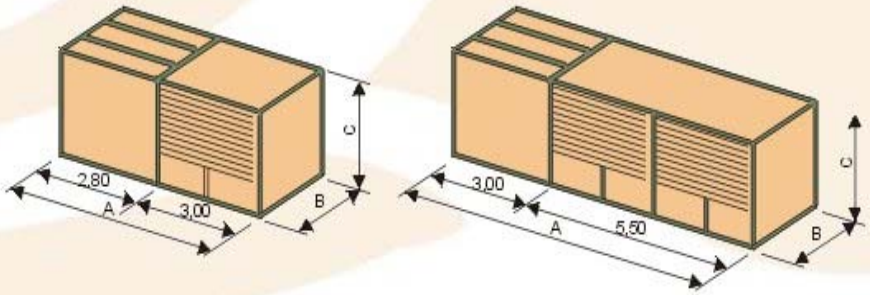
Le opportunità del sistema Biocompact possono essere così riassunte:

- Il costo è adeguato all'offerta del sistema completo (circa 350-300 €/kW dalla minima alla massima potenza) tenendo conto dei costi evitati della progettazione di centrale, della struttura edilizia, dell'impiantistica idraulica ed elettrica, dell'organizzazione del cantiere, ecc.
- Una struttura mobile non vincolante, quindi adatta per essere spostata per adeguarsi a nuove costruzioni a venire.
- Con semplici operazioni meccaniche, il sistema Biocompact, si può adeguare a nuove esigenze, incrementando la potenza, cambiando il deposito o la localizzazione, anche in seguito al montaggio.
- Ancor di più il sistema può essere acquistato da due committenti diversi per essere usato, nell'arco temporale di un anno in periodi diversi. Ad esempio l'uso per i sette mesi invernali, per il riscaldamento di un edificio scolastico e per i restanti cinque per la produzione di acqua calda sanitaria per un campeggio estivo, o una piscina, ecc. Può essere inoltre aggiunto il modulo "COOL" , per la produzione d'acqua refrigerata per il condizionamento estivo di edifici, diventando così un sistema tipo "*power sharing*".
- La possibilità di realizzare piccole reti di teleriscaldamento collegabili a edifici, mettendo anche assieme più moduli (due Biocompact da 150 kW per una volumetria di circa 10.000 m3) e permettendo sia di essere inseriti in tempi diversi (in funzione degli ampliamenti degli edifici), sia con la possibilità di adeguare il carico in maniera più efficiente (modulazione in cascata), sia avendo inoltre una certa di sicurezza di funzionamento (due caldaie anziché una) .
- Il poter usare questo modulo in quelle situazioni d'emergenza, come protezione civile ed usi occasionali e/o di breve periodo.

Vista completa del modello Biocompact

Caratteristiche tecniche del BIOCOMPACT

	BIO30	BIO50	BIO65	BIO80	BIO100	BIO150
Potenza nominale kW	30	50	65	80	99/110	150
Volume deposito cippato (m³)	14	14	14	28	28	42
Contenuto pellets (kg)	7.150	7.150	7.150	15.000	15.000	24.000
Lunghezza (A) (m)	5.80	5.80	5.80	8.50	8.50	9.5 (3.0+6.5)
Larghezza (B) (m)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	3.00
Altezza (C) (m)	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Peso (kg)						



Stampato presso il
Centro Editoriale Toscano sas
Firenze - novembre 2008