



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE FORESTALI E AMBIENTALI

ASPETTI AMBIENTALI DELLA PRODUZIONE DI  
ENERGIA DA IMPIANTI DI TELERISCALDAMENTO  
A BIOCOMBUSTIBILI SOLIDI

ENVIRONMENTAL ASPECTS RELATED TO THE  
PRODUCTION OF ENERGY FROM DISTRICT  
HEATING PLANTS USING SOLID BIOFUELS

TIPO TESI: Sperimentale

Studente:  
FRANCESCO D'APOLITO

Relatore:  
PROF. GIUSEPPE TOSCANO

ANNO ACCADEMICO 2018-2019

Ai miei tre angeli lassù,  
per essermi sempre stati vicino  
e per avermi sempre guidato  
in questo percorso

# SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE.....	5
ELENCO DELLE FIGURE .....	6
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI .....	7
CAPITOLO 1 EMISSIONE DI INQUINANTI NEI SISTEMI A COMBUSTIONE.....	9
1.1 La combustione e i combustibili .....	9
1.2 Gli inquinanti .....	10
1.2.1 Monossido di carbonio (CO) .....	10
1.2.2 Ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> ).....	11
1.2.3 Ossidi di zolfo (SO <sub>x</sub> ).....	11
1.2.4 Composti organici volatili (COV) .....	12
1.2.5 Particolato (PM <sub>10</sub> ; PM <sub>2.5</sub> ).....	12
1.2.6 Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) .....	13
1.3 Inquinanti emessi a seconda della tipologia dell'impianto .....	14
1.3.1 Inquinanti emessi da impianti alimentati a biomassa.....	14
1.3.2 Inquinanti emessi da impianti alimentati a combustibili fossili.....	15
1.3.3 Fattori di emissione da impianti domestici in letteratura .....	17
CAPITOLO 2 IL TELERISCALDAMENTO.....	21
2.1 Introduzione .....	21
2.2 La cogenerazione .....	23
2.3 Vantaggi del teleriscaldamento.....	25
2.3.1 Aspetti energetici e ambientali.....	25
2.3.2 Benefici per gli utenti .....	26
2.4 Perché promuovere il teleriscaldamento .....	28
2.5 Teleriscaldamento a biomasse .....	29
2.5.1 Utilizzo del cippato in impianti a teleriscaldamento.....	30
2.5.2 Vantaggi dell'utilizzo di biomasse legnose a fini energetici .....	31
CAPITOLO 3 MATERIALI E METODI .....	32

3.1 Introduzione .....	32
3.2 Valutazione dei fabbisogni energetici.....	33
3.2.1 Casi di studio .....	36
3.3 Impianto di riscaldamento.....	36
3.3.1 Casi di studio .....	37
3.4 Calcolo degli impatti.....	38
3.4.1 Casi di studio .....	38
3.5 Calcolo delle quantità di combustibile.....	39
3.5.1 Casi di studio .....	39
CAPITOLO 4 RISULTATI.....	40
4.1 Risultati quartiere a Mattinata.....	40
4.1.1 Fabbisogni energetici .....	40
4.1.2 Impianti.....	41
4.1.3 Consumi.....	42
4.1.4 Emissioni .....	44
4.2 Risultati quartiere a Monte Sant'Angelo .....	46
4.2.1 Fabbisogni energetici.....	46
4.2.2 Impianti.....	47
4.2.3 Consumi.....	49
4.2.4 Emissioni .....	51
CONCLUSIONI .....	53
BIBLIOGRAFIA .....	55

## ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1-1: Fattori di emissione per il monossido di carbonio (CO).....	17
Tabella 1-2: Fattori di emissione per gli ossidi di azoto (NOx).....	18
Tabella 1-3: Fattori di emissione per gli ossidi di zolfo (SOx).....	18
Tabella 1-4: Fattori di emissione per i composti organici volatili (COV) .....	18
Tabella 1-5: Fattori di emissione per il particolato (PM2.5).....	19
Tabella 1-6: Fattori di emissione per il particolato (PM10).....	19
Tabella 1-7: Fattori di emissione per gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA).....	20
Tabella 3-1: Periodo convenzionale annuale di riscaldamento .....	35
Tabella 3-2 Parametri per il calcolo dei fabbisogni energetici.....	36
Tabella 3-3: Valori di rendimento dell'impianto .....	38
Tabella 3-4: Potere calorifico dei vari combustibili.....	39
Tabella 4-1: Fabbisogni energetici mensili utenze.....	40
Tabella 4-2: Fabbisogni energetici mensili Hotel .....	41
Tabella 4-3: Fabbisogni energetici annuali .....	41
Tabella 4-4: Energie consumate dalle utenze.....	42
Tabella 4-5: Energie consumate dall'Hotel.....	42
Tabella 4-6: Energie consumate.....	42
Tabella 4-7: Quantità di combustibile consumate.....	43
Tabella 4-8: Emissioni dei vari impianti .....	45
Tabella 4-9: Fabbisogni energetici mensili utenze.....	46
Tabella 4-10: Fabbisogni energetici mensili Hotel .....	47
Tabella 4-11: Fabbisogni energetici annuali .....	47
Tabella 4-12: Energie consumate dalle utenze.....	48
Tabella 4-13: Energie consumate dall'Hotel.....	48
Tabella 4-14: Energie consumate.....	48
Tabella 4-15: Quantità di combustibile consumate.....	50
Tabella 4-16: Emissioni dei vari impianti.....	52

## ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1-1: Stufa alimentata a pellet .....	15
Figura 1-2: Caldaia alimentata a metano .....	16
Figura 2-1: Rappresentazione di un sistema di teleriscaldamento .....	22
Figura 2-2: Possibili vantaggi della cogenerazione rispetto alla produzione separata.....	24
Figura 2-3: Confronto degli impatti ambientali tra i sistemi a caldaiette e i sistemi a cogenerazione.....	26
Figura 2-4: Centrale di teleriscaldamento alimentata a cippato .....	31
Figura 3-1: Bilancio tra le perdite e gli apporti di calore .....	33

## INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

L'obiettivo di questa tesi è valutare i possibili benefici a livello di impatto ambientale derivanti dall'introduzione di sistemi di teleriscaldamento a biomasse in alternativa a impianti tradizionali domestici a combustibili fossili.

Il riscaldamento a biomasse negli ultimi anni, sebbene abbia raggiunto livelli importanti e sia diffuso in molte parti del territorio, è spesso criticato in seguito agli impatti ambientali che soprattutto i piccoli impianti (come i camini a legno e le stufe) generano attraverso inquinanti emessi a camino. Gli impianti di teleriscaldamento, a differenza dei piccoli sistemi domestici, presentano sistemi di combustione di maggiore potenza e con prestazioni ambientali migliori. Data la loro dimensione, è tecnicamente ed economicamente possibile implementare soluzioni tecniche che gestiscono meglio i processi termochimici e che riducono gli inquinanti direttamente in canna fumaria. Rimane sempre necessario l'utilizzo di biocombustibile compatibile con le specifiche dell'impianto. Esempi di questo tipo di soluzioni energetiche a biomasse sono diffuse da decenni nell'arco alpino e nell'appennino toscano. In questi luoghi è tradizionalmente diffusa la gestione ed utilizzo della legna residuale come risorsa utile per generare energia. Si tratta di realtà che fanno ampio uso dei residui della manutenzione forestale, delle potature e degli sfalci, per alimentare le centrali di teleriscaldamento.

Occorre ricordare come queste iniziative siano di grande interesse anche per temi non prettamente energetici. Lo sviluppo di reti di teleriscaldamento presenta delle forti potenzialità di generare benefici sul territorio avviando nuove attività o stabilizzando quelle in essere e favorendo quindi le economie locali attraverso la strutturazione di filiere corte.

Il documento della tesi è strutturato in una prima parte di ricerca bibliografica in cui sono riportate una serie di informazioni sui fattori di emissione delle varie tipologie d'impianto desunte da una serie di importanti archivi di riferimento, in particolare EEA (Agenzia Europea dell'Ambiente) e INEMAR (INventario EMissioni ARia).

Successivamente vengono forniti alcuni elementi di base sul teleriscaldamento a biomasse e sugli impatti che queste soluzioni presentano sul territorio.

Nella seconda parte del lavoro viene presentato il piano di lavoro basato sull'ipotesi dell'introduzione di impianti di teleriscaldamento presso Mattinata e Monte Sant'Angelo, due comuni del Sud Italia con caratteristiche climatiche diverse. In particolare, gli impianti introdotti si immaginano sostituire sistemi a combustione con combustibili tradizionali a servizio di abitazioni e hotel. Attraverso il confronto degli scenari di emissione delle diverse soluzioni adottate è stato valutato il potenziale beneficio.



# Capitolo 1

## EMMISSIONE DI INQUINANTI NEI SISTEMI A COMBUSTIONE

### 1.1 La combustione e i combustibili

La combustione è un processo fisico-chimico che prevede una serie di reazioni complesse che portano alla rapida ossidazione di un combustibile, nel caso in questione una biomassa. La reazione è accompagnata da quel fenomeno fisico visibile che è denominato “fiamma” e dalla produzione di quella energia che è denominata “calore”.

Il carbonio si combina con l’ossigeno per formare anidride carbonica liberando calore, analogamente l’idrogeno si combina con l’ossigeno per formare vapore d’acqua, con conseguente produzione di calore.

Generalmente l’intero processo può essere diviso in diverse fasi: l’essiccazione, la pirolisi, la gassificazione e la combustione vera e propria. Questa serie di passaggi può essere continuo oppure si può svolgere in diversi step. La quantità di ossigeno presente nell’aria che partecipa alla combustione modifica notevolmente il risultato finale della reazione e va ad influire sui rapporti stechiometrici andando ad influenzare la quantità dei prodotti emessi. Per avere una reazione in condizioni perfettamente stechiometriche il combustibile e l’ossigeno devono essere miscelati in condizioni ben definite in modo da avere una completa ossidazione del materiale.

Si parla di combustione “povera” quando c’è un eccesso di aria mentre la combustione è “ricca” quando vi è una carenza di ossigeno o un eccesso di combustibile, in questo ultimo caso la combustione è incompleta o riducente e porta alla formazione di composti che possono rappresentare una fonte di rischio per l’ambiente oltre che una perdita di combustibile.

Quando una biomassa viene gradualmente scaldata ad elevata temperatura, dopo una prima fase di essiccamento, rilascia una serie di composti volatili. Queste specie si formano a causa di trasformazioni chimiche che avvengono all’interno della struttura del materiale con la rottura di legami chimici presenti. È questa la fase di devolatilizzazione o pirolisi. I gas rilasciati incontrano quindi l’ossigeno dell’ambiente circostante e la combustione avviene, almeno inizialmente, in fase gassosa. Contestualmente durante le trasformazioni chimiche

della biomassa, si ha la formazione di un residuo carbonioso estremamente deidrogenato, usualmente definito “char”. Il char non è più in grado di rilasciare composti volatili, ma il suo consumo avviene per ossidazione eterogenea prodotta dall’ossigeno che diffondendo all’interno della matrice porosa della biomassa reagisce con il carbonio residuo. Questa ossidazione eterogenea risulta favorita dalla prima fase di volatilizzazione, in quanto il rilascio dei gas incrementa la porosità del sistema e aumenta contestualmente la superficie per unità di volume, migliorando in tal modo lo scambio tra gas e solido.

L’essiccazione, la pirolisi e la gassificazione sono sempre le prime fasi nella combustione di materiali solidi, la loro importanza e soprattutto la loro durata all’interno della reazione variano notevolmente in base alle tecnologie e al combustibile utilizzato.

## 1.2 Gli inquinanti

Gli impianti a combustione sia alimentati a biomassa che a combustibili fossili lavorano per soddisfare il fabbisogno termico di un’utenza domestica, civili o industriale. Tutti gli impianti di combustione emettono vari inquinanti. La quantità e tipologia di composti inquinanti emessi a camino dipende dalla tecnologia dell’impianto, dal tipo di combustibile utilizzato e dalla sua qualità. Segue un elenco dei principali inquinanti prodotti dagli impianti termici, ciascuno corredato di una breve nota tecnica.

### 1.2.1 *Monossido di carbonio (CO)*

Si tratta di un gas incolore, inodore, infiammabile e tossico. L’elevata tossicità di questo gas è dovuta alla sua affinità con l’emoglobina, che risulta essere circa di 200 volte maggiore di quella dell’ossigeno. Questa caratteristica lo rende facilmente assorbibile dal sangue e ne ostacola l’ossigenazione dei tessuti poiché forma un composto fisiologicamente inattivo chiamato carbossiemoglobina. Quest’ultima impedisce la corretta ossigenazione degli organi, soprattutto cuore e cervello, causando una morte paragonabile a quella per asfissia.

Il monossido di carbonio non esiste libero in natura, in genere si produce per difetto del rapporto aria-combustibile rendendo incomplete le reazioni di ossidazione. Tuttavia, anche l’eccesso di aria porta ad un aumento della concentrazione di monossido di carbonio, a causa del raffreddamento della camera di combustione ed alla conseguente diminuzione delle reazioni di ossidazione.

### 1.2.2 Ossidi di azoto ( $NO_x$ )

Sono prodotti in tutti i processi di combustione che utilizzano aria: camini, stufe, motori, centrali termo-elettriche. Le quantità di  $NO_x$  dipendono dal tipo di combustibile (sua concentrazione in azoto) e dalle condizioni di combustione. L'origine degli  $NO_x$  è legata all'ossidazione dell'azoto contenuto nei combustibili stessi a temperature comprese tra  $800^\circ C$  e  $1.200^\circ C$ . In atmosfera gli ossidi di azoto si trovano in diverse combinazioni, ma solamente due sono di interesse dal punto di vista dell'inquinamento dell'aria: l'ossido di azoto (NO) e il biossido di azoto ( $NO_2$ ). L' $NO_2$  è circa quattro volte più tossico dell'NO. L'inalazione del biossido di azoto determina forte irritazione delle vie aeree. Gli ossidi di azoto sono inoltre causa della produzione di inquinanti secondari reagendo con combustibili organici volatili a quote elevate dell'atmosfera. Esistono tre tipologie di formazione degli ossidi di azoto durante la combustione:

- Thermal  $NO_x$ : con una reazione fra azoto atmosferico e ossigeno a temperature superiori ai  $1300^\circ C$ . La quantità prodotta aumenta all'aumentare della temperatura.
- Prompt  $NO_x$ : si forma con l'azoto atmosferico sopra i  $1300^\circ C$  con basso tenore ossigeno e in presenza di idrocarburi.
- $NO_x$  che si forma per ossidazione dell'azoto contenuto nel combustibile: aumenta all'aumentare dell'azoto contenuto nella biomassa ed è il principale meccanismo di formazione degli ossidi di azoto nei biocombustibili, dato che la temperatura di combustione si aggira attorno agli  $800-1200^\circ C$ .

### 1.2.3 Ossidi di zolfo ( $SO_x$ )

Sono presenti in atmosfera sotto forma di anidride solforosa ( $SO_2$ ) e anidride solforica ( $SO_3$ ). L'anidride solforosa deriva sia da processi naturali (emissioni vulcaniche, decomposizione di materia organica, incendi forestali e azione dei fulmini) sia da processi antropogenici (combustione di combustibili fossili o di rifiuti). Si tratta dell'inquinante atmosferico per eccellenza poiché è un gas molto irritante e dall'odore pungente. A causa del suo elevato peso tende a stratificarsi nelle zone prossime al suolo.

L'elevata solubilità in acqua favorisce il suo assorbimento nei corpi idrici, inoltre, dall'ossidazione dell'anidride solforosa, si origina l'anidride solforica che reagendo con l'acqua porta alla produzione di acido solforico, tra i maggiori responsabili del fenomeno delle piogge acide che hanno effetti devastanti sui monumenti ma anche sulle colture agrarie.

Le biomasse solide, come cippato legna da ardere e residui agricoli, contengono naturalmente zolfo, soprattutto nella parte corticale. Nella fase di combustione della biomassa si genera

quindi SO<sub>2</sub> che per effetto della progressiva riduzione della temperatura nella caldaia, si condensa sugli scambiatori di calore e sulle particelle volatili di cenere. Le biomasse sono in genere povere di zolfo e quindi non producono quantità rilevanti di gas a base di zolfo. Tuttavia, contaminazioni chimiche delle biomasse, dovute ad esempio a colle, vernici, additivi e coloranti, possono innalzare la concentrazione di zolfo delle emissioni.

#### 1.2.4 *Composti organici volatili (COV)*

Sono idrocarburi prodotti durante il processo di ossidazione del carbonio e dell'idrogeno contenuti nel combustibile. Si tratta composti caratterizzati da un'elevata volatilità, comunemente classificati in:

- metano (CH<sub>4</sub>), prodotto intermedio nel processo di ossidazione del carbonio, la cui concentrazione in atmosfera assume notevole importanza poiché rappresenta un gas con effetto serra 25 volte superiore rispetto alla CO<sub>2</sub>.
- composti organici volatili non metanici (NMCOV): tutti gli idrocarburi volatili ad esclusione del metano.

Si tratta di idrocarburi che hanno rilevanti effetti sulla salute umana in quanto alcuni di essi sono classificati come sostanze cancerogene. Questi composti sono generati in processi di combustione incompleta, ovvero caratterizzate da temperature troppo basse, ridotti tempi di permanenza nella camera di combustione o carenza di ossigeno. Essendo generati in condizioni di combustione incompleta, così come la CO, esiste una stretta correlazione tra i due composti, di conseguenza, la rilevazione diretta delle emissioni di CO è un ottimo indicatore dei livelli di emissione di COV (elevati livelli di emissione di CO indicano una combustione incompleta e quindi la probabile emissione di elevati livelli di COV).

#### 1.2.5 *Particolato (PM<sub>10</sub>; PM<sub>2.5</sub>)*

Il particolato (PM) rappresenta la componente solida dei fumi ed è caratterizzato da aggregati spugnosi estremamente fini sospesi in aria e costituiti da particelle sferiche a base di carbonio, ceneri, sostanze organiche e solfati inorganici.

Sono considerate polveri sottili tutte le particelle con diametro compreso tra 0,005 e 100µm. In relazione alla loro origine sono classificabili in:

- aerosol urbani di piccolo diametro, originati da attività antropica (combustione);
- aerosol naturali di grande diametro (pollini, polveri naturali).

Il diametro delle particelle rappresenta il parametro più importante per caratterizzare il comportamento fisico del particolato atmosferico indipendentemente dalla sua composizione chimica. La stessa normativa ne fissa i limiti di concentrazione, espressa in massa di polveri

per unità di volume di aria ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in relazione alla classe diametrica. Per questo sono considerate le polveri sottili (PM) le particelle con diametro  $< 10 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) e polveri sottilissime quelle con diametro  $< 2.5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ).

Le particelle più fini restano più a lungo in atmosfera (da alcuni giorni fino a una settimana) e possono essere trasportate per lunghe distanze (oltre 1.000 km). Le particelle più fini ( $< 1 \mu\text{m}$ ) si originano generalmente da combustioni ad elevate temperature oppure da processi di formazione secondaria. Le particelle più grossolane si generano da processi meccanici come l'erosione, la corrosione e l'abrasione di materiali.

Dal punto di vista sanitario le particelle  $\text{PM}_{10}$  rappresentano polveri inalabili e possono raggiungere la parte superiore dei polmoni, mentre i  $\text{PM}_{2.5}$  possono raggiungere la regione alveolare (polveri respirabili) causando gravi danni al sistema respiratorio.

La produzione di polveri è legata alla cattiva combustione della parte organica, come già visto per il COV ed il CO, dove le molecole organiche intermedie della combustione condensano fuori camino e producono particelle solide. Le polveri possono anche dipendere dalla presenza di elementi minerali (ceneri) che volatilizzano in camera di combustione e condensano fuori camino formando particelle di piccolo diametro. La volatilizzazione della parte minerale della biomassa o dei combustibili in generale (es. carbone, lignite, ecc.) è anche legata alle caratteristiche chimiche di questa frazione.

#### 1.2.6 *Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)*

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono tradizionalmente trattati come classe di idrocarburi a parte a causa della loro elevata tossicità. Si tratta di composti presenti in atmosfera originati dalla combustione incompleta di materiale organico, gas fossile e carbone. L'origine è principalmente riconducibile al traffico veicolare, alle emissioni di impianti termici, di centrali termoelettriche e da inceneritori. Fonti secondarie sono rappresentate anche dalla evaporazione da serbatoi di combustibili fossili e dalla rete di distribuzione.

Gli IPA si caratterizzano per la presenza di due o più anelli benzenici uniti tra loro e sono classificati in relazione al peso molecolare ed al numero di atomi, per cui si identificano IPA leggeri (2-3 anelli condensati) e IPA pesanti (4-6 anelli). Si tratta di composti che si generano durante la combustione incompleta di materiale organico attraverso un meccanismo alquanto complesso che parte dalla ripolimerizzazione di frammenti di idrocarburo generatosi nella fase di cracking (frammentazione delle lunghe molecole di cellulosa a contatto con il fuoco). In condizioni di carenza di ossigeno, ovvero in condizioni di combustione imperfetta, si verifica la ripolimerizzazione. La produzione di IPA aumenta con il diminuire del rapporto

ossigeno/combustibile. Come per il CO e per i COV, anche per gli IPA l'aumento della temperatura di combustione ne riduce l'emissione.

Tra gli IPA più pericolosi per la salute possiamo identificare: l'acenaftene, l'acenaftilene, l'antracene, il benzoantracene, il dibenzoantracene, il crisene, il pirene, il benzopirene, l'indenopirene, il fenantrene, il fluorantene, il benzofluorantene, il benzoperilene e il fluorene.

### 1.3 Inquinanti emessi a seconda della tipologia dell'impianto

Il rilascio in atmosfera di sostanze dovute alla combustione, le cosiddette emissioni inquinanti, è un processo complicato che tiene in conto parecchi fattori, tra i quali possiamo evidenziare:

- il tipo di combustibile evidenziato;
- la tipologia di focolare utilizzato;
- i sistemi di abbattimento impiegati;
- le procedure di gestione impiegate.

Le sostanze che vengono utilizzate come combustibile sono numerose, e le principali sono:

- di origine fossile, tra cui derivati del petrolio, gasoli, benzine, gas propano liquido, gas metano;

- di origine biogenica, tra cui carbone di legna, legna in diversi formati (tronchetti, cippato, pellet e brichette), biomassa lignocellulosica residuale o meno e in formato cippato o triturato).

La differenza tra queste due famiglie deriva dal fatto che la prima provoca un aumento della CO<sub>2</sub> in atmosfera perché utilizza nel processo di combustione carbonio che risultava sequestrato nel sottosuolo, mentre la seconda utilizza carbonio derivante direttamente dal processo fotosintetico, e che quindi, al netto degli impatti della filiera per produrre ed utilizzare il combustibile, non altera il contenuto di CO<sub>2</sub> totale in atmosfera.

#### 1.3.1 *Inquinanti emessi da impianti alimentati a biomassa*

Gli impianti a biomassa possono produrre emissioni solide (particolato e idrocarburi incombusti), liquide e gassose. Le emissioni di particolato sono in genere le più rilevanti, mentre riguardo altri inquinanti i livelli dipendono dal tipo di combustibile usato dall'impianto e dal modo in cui la biomassa viene bruciata.

Gli inquinanti emessi sono quelli tipici di ogni processo di combustione:

- monossido di carbonio (CO);
- composti organici volatili (COV);

- ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>);
- ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>);
- particolato (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>);
- idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

La composizione del particolato è in larga parte determinata dall'efficienza della combustione e dalla tipologia di biomassa impiegata. Per i composti organici volatili si verificano emissioni inferiori nei sistemi di combustione più innovativi, a conferma della riduzione delle emissioni di COV all'aumentare dell'efficienza di combustione.

I quantitativi di sostanze emessi in aria dipendono da diversi fattori fra cui:

- il tipo di caldaia e le sue caratteristiche energetiche ed emissive;
- la sua frequenza di manutenzione;
- la tipologia di biomassa legnosa utilizzata.



*Figura 1-1: Stufa alimentata a pellet*

### 1.3.2 Inquinanti emessi da impianti alimentati a combustibili fossili

Sono combustibili fossili:

- Petrolio e suoi derivati;
- Carbone;
- Gas naturale.

Vengono ampiamente utilizzati poiché hanno un costo molto meno elevato rispetto alle fonti di energia rinnovabile e sono in grado di sprigionare quantità maggiori di energia.

I principali inquinanti sono:

- Gli ossidi di azoto, responsabili dello smog fotochimico e di formazione di nitrati che si combinano con l'acqua formando acido nitrico responsabile delle piogge acide.
- Gli ossidi di carbonio come il monossido CO e la CO<sub>2</sub>. Il primo se inalato in concentrazioni eccessive può dare gravi problemi respiratori. Il secondo è responsabile dell'effetto serra (trattiene il calore irraggiato dalla terra) con aumento della temperatura del pianeta ed i disastri ad esso correlati (variazioni climatiche, innalzamento del livello dei mari);
- Il particolato, polveri sottili prodotte dalla combustione costituite da particelle incombuste aventi un diametro tale da sfuggire ad i filtri. Particolarmente insidiose sono le nano particelle (diametro inferiore ai 2.5 micron) che sfuggono al filtraggio e si annidano negli alveoli polmonari generando patologie respiratorie e carcinomi.



*Figura 1-2: Caldaia alimentata a metano*



### 1.3.3 Fattori di emissione da impianti domestici in letteratura

Di seguito sono riportati, in apposite tabelle, i valori per ciascun fattore di emissione.

Le tabelle sono così strutturate:

- tipologia d'impianto;
- valore minimo: valore più basso registrato per ciascuna tipologia d'impianto;
- valore massimo: valore più alto registrato per ciascuna tipologia d'impianto;
- valore medio: valore di riferimento calcolato facendo la media tra più valori per ciascuna tipologia d'impianto;
- n° di dati: quantità di valori impiegati nel calcolo del valore medio;

I dati utilizzati per la costruzione delle tabelle sono stati presi da:

- Caserini et al. (2014) "Fattori di emissione dalla combustione di legna e pellet in piccoli apparecchi domestici";
- INEMAR (2012) "Inventario emissioni";
- EEA (2016) "Agenzia Europea per l'ambiente".

**Tabella 1-1: Fattori di emissione per il monossido di carbonio (CO)**

<b>Tipologia d'impianto</b>	<b>Min (g/GJ)</b>	<b>Max (g/GJ)</b>	<b>Media (g/GJ)</b>	<b>N° dati</b>
Camino aperto	5037	7900	5906,5	6
Camino chiuso	4471	7500	5491,8	5
Stufa a legna	3253	7681	5674,5	6
Stufa a pellet	88	990	516,2	5
Caldaia a pellet	43	561	363,5	4
Caldaia a metano	30	50	40	2
Caldaia a gasolio	46	100	73	2
Caldaia a GPL	40	100	70	2

**Tabella 1-2: Fattori di emissione per gli ossidi di azoto (NOx)**

<b>Tipologia d'impianto</b>	<b>Min (g/GJ)</b>	<b>Max (g/GJ)</b>	<b>Media (g/GJ)</b>	<b>N° dati</b>
Camino aperto	50	134	94,6	3
Camino chiuso	70	120	96,6	3
Stufa a legna	50	132	96,3	6
Stufa a pellet	60	100	81,2	4
Caldaia a pellet	60	146	92,2	5
Caldaia a metano	34,2	70	52,1	2
Caldaia a gasolio	50	70	60	2
Caldaia a GPL	40	60	50	2

**Tabella 1-3: Fattori di emissione per gli ossidi di zolfo (SOx)**

<b>Tipologia d'impianto</b>	<b>Min (g/GJ)</b>	<b>Max (g/GJ)</b>	<b>Media (g/GJ)</b>	<b>N° dati</b>
Camino aperto	10	13	11,5	2
Camino chiuso	13	20	16,5	2
Stufa a legna	10	20	14,3	3
Stufa a pellet	13	20	16,5	2
Caldaia a pellet	13	20	16,5	2
Caldaia a metano	0,5	0,5	0,5	2
Caldaia a gasolio	46	140	93	2
Caldaia a GPL	140	150	145	2

**Tabella 1-4: Fattori di emissione per i composti organici volatili (COV)**

<b>Tipologia d'impianto</b>	<b>Min (g/GJ)</b>	<b>Max (g/GJ)</b>	<b>Media (g/GJ)</b>	<b>N° dati</b>
Camino aperto	1000	2800	1603,6	3
Camino chiuso	450	1100	699,3	3
Stufa a legna	243	1200	527,2	4
Stufa a pellet	9	110	44,6	3
Caldaia a pellet	0,4	6	2,4	3
Caldaia a metano	5	10,5	7,7	2
Caldaia a gasolio	3	15,5	9,2	2
Caldaia a GPL	2	15,5	8,7	2

I valori degli inquinanti gassosi (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e COV) emessi da apparecchi a carica manuale (camino aperto, camino chiuso, stufa a legna) sono altamente variabili durante il funzionamento, con picchi di emissioni di prodotti di combustione incompleta in corrispondenza della ricarica di combustibile. Per gli NO<sub>x</sub> la tipologia di apparecchio ha un effetto minore. Si può notare come, nelle caldaie a gasolio e a GPL, i valori di SO<sub>x</sub> sono di gran lunga superiori a quelli degli altri apparecchi alimentati a biomassa poiché le biomasse sono in genere povere di zolfo e quindi non producono quantità rilevanti di gas a base di zolfo.

**Tabella 1-5: Fattori di emissione per il particolato (PM2.5)**

<b>Tipologia d'impianto</b>	<b>Min (g/GJ)</b>	<b>Max (g/GJ)</b>	<b>Media (g/GJ)</b>	<b>N° dati</b>
Camino aperto	488	712	559,6	3
Camino chiuso	183	637	395	4
Stufa a legna	127	810	371	6
Stufa a pellet	29	105	65	3
Caldaia a pellet	42	46	44	2
Caldaia a metano	0,2	0,9	0,5	2
Caldaia a gasolio	3,7	10	6,8	2
Caldaia a GPL	0,2	10	5,1	2

**Tabella 1-6: Fattori di emissione per il particolato (PM10)**

<b>Tipologia d'impianto</b>	<b>Min (g/GJ)</b>	<b>Max (g/GJ)</b>	<b>Media (g/GJ)</b>	<b>N° dati</b>
Camino aperto	500	860	628,4	5
Camino chiuso	189	689	412,4	5
Stufa a legna	136	810	431,6	6
Stufa a pellet	30	107	65,2	5
Caldaia a pellet	14	53	33,5	2
Caldaia a metano	0,2	0,9	0,5	2
Caldaia a gasolio	3,7	10	6,8	2
Caldaia a GPL	0,2	10	5,1	2

I valori più elevati di PM (2.5 e 10 g/GJ) sono stati rilevati nel camino aperto. Valori di gran lunga più bassi sono stati invece rilevati negli apparecchi a pellet dove si ha minore emissione di materiale particolato

**Tabella 1-7: Fattori di emissione per gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA)**

<b>Tipologia d'impianto</b>	<b>Min (g/GJ)</b>	<b>Max (g/GJ)</b>	<b>Media (g/GJ)</b>	<b>N° dati</b>
Camino aperto	65,5	600	332,7	2
Camino chiuso	58,2	630	326	3
Stufa a legna	483	820	615,6	3
Stufa a pellet	7,4	8,1	7,7	2
Caldaia a pellet	0,2	1,5	0,8	2
Caldaia a metano	0,003	0,003	0,003	2
Caldaia a gasolio	0,008	0,008	0,008	2
Caldaia a GPL	36	36	36	2

Valori elevati sono rilevati negli apparecchi alimentati a legna dove si ha una combustione incompleta. Al contrario, negli apparecchi alimentati a pellet, i valori si riducono notevolmente.

## Capitolo 2

# IL TELERISCALDAMENTO

### 2.1 Introduzione

Per teleriscaldamento si intende un sistema di riscaldamento a distanza di una serie di utenze (quartiere, frazioni, impianti civili e industriali ecc.) che utilizza il calore generato da una centrale termica, da un impianto di cogenerazione o da una sorgente geotermica.

In un sistema di teleriscaldamento il calore viene distribuito alle utenze mediante una rete di tubazioni in cui passano l'acqua calda o il vapore.

Il teleriscaldamento offre una soluzione alternativa per la produzione di acqua igienico-sanitaria e per il riscaldamento degli edifici residenziali, terziari e commerciali.

Diverse pubblicazioni evidenziano i numerosi vantaggi in termini di impatti ambientali, sicurezza e risparmio economico, conseguenti all'accentramento in un unico polo di produzione energetica di una serie di elementi tecnici e di costi.

Il termine "teleriscaldamento" evidenzia una peculiarità del servizio, cioè la distanza che intercorre tra il punto di produzione e i punti di utilizzo del calore: il cuore del sistema è composto da una o più centrali che possono servire utenze situata anche ad alcuni chilometri di distanza collegati tramite una rete (dipende dalla potenza del sistema).



*Figura 2-1: Rappresentazione di un sistema di teleriscaldamento*

Il sistema di teleriscaldamento è normalmente composto da:

- una centrale termica, dove viene prodotto il calore;
- una rete di trasporto e distribuzione, costituita da speciali condotte sotterranee;
- un insieme di sottocentrali, situate nei singoli edifici da servire.

Le sottocentrali sono formate da scambiatori di calore, che permettono di realizzare lo scambio termico tra il fluido della rete di teleriscaldamento (circuito primario) ed il fluido del circuito del cliente (circuito secondario), senza che i due fluidi si mescolino.

La centrale termica riscalda quindi il fluido che in seguito verrà distribuito ai diversi edifici mediante una rete di distribuzione. Una volta arrivato allo scambiatore, il fluido della rete trasferisce al fluido dell'impianto di distribuzione interno dell'edificio il calore necessario per riscaldare gli ambienti e per la produzione di acqua calda sanitaria. Alla fine di questo processo, il fluido, ormai raffreddato, ritorna in centrale dove verrà nuovamente riscaldato.

L'impianto di distribuzione situato all'interno degli edifici allacciati alla rete rimane inalterato e lo scambiatore di calore va a sostituire la caldaia convenzionale. Nel caso in cui allo scambiatore vengano agganciate più utenze, presso ciascuna di esse è installata una apposita apparecchiatura che consente di gestire in maniera autonoma le temperature dei locali e di misurare i relativi consumi energetici.

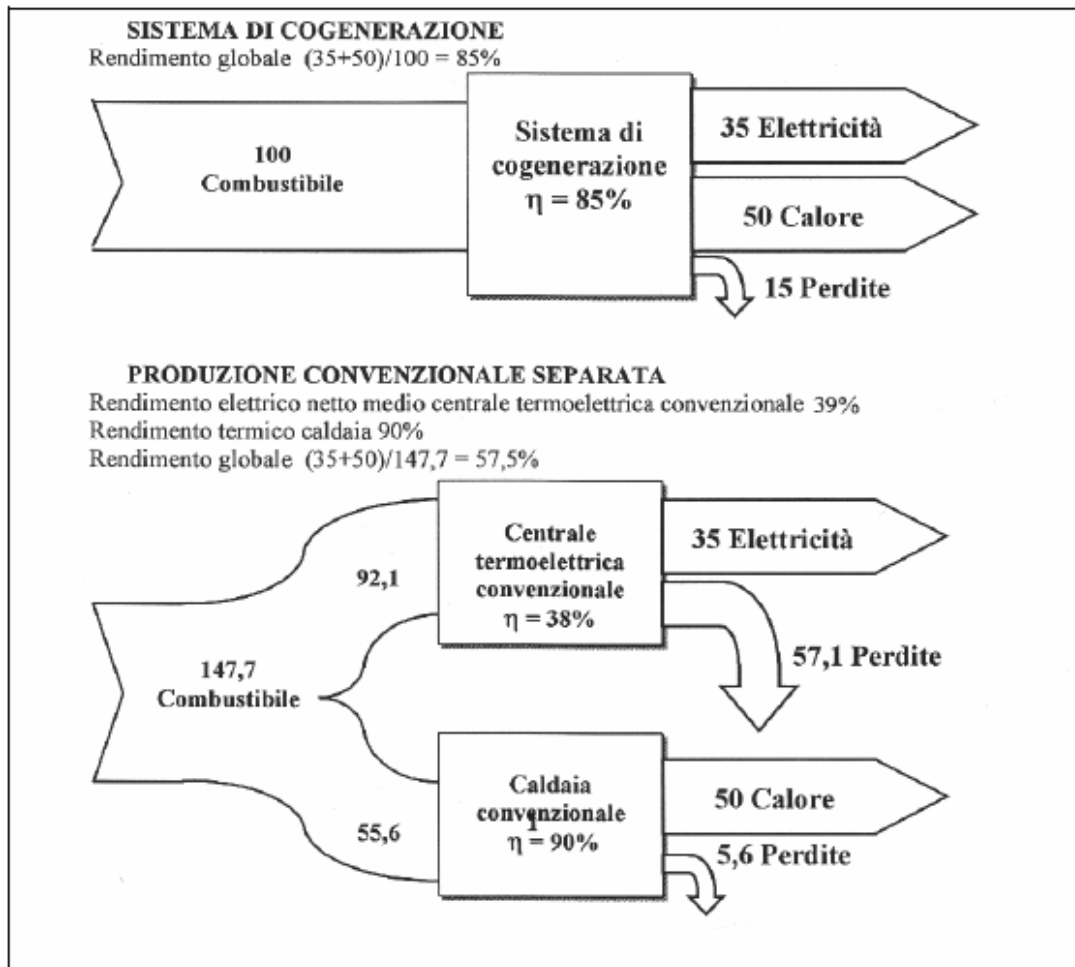
Il teleriscaldamento garantisce un'elevata affidabilità ed è possibile applicare il sistema ad intere aree urbane affinché diventi un vero e proprio servizio pubblico, come l'acquedotto o la rete elettrica cittadina.

Allo scopo di garantire l'efficacia del teleriscaldamento, è necessario tuttavia indicare un'utenza situata in un'area ben definita, come un quartiere, un'area commerciale o industriale. La definizione in inglese del teleriscaldamento ("district heating") richiama proprio questa caratteristica di riscaldamento "distrettuale". Non è perciò consigliabile una rete di teleriscaldamento che colleghi utenze troppo lontane fra loro.

## 2.2 La cogenerazione

Per disporre di un sistema di teleriscaldamento efficiente dal punto di vista energetico è necessario che, per la generazione del calore, venga utilizzato un sistema combinato che produca contemporaneamente elettricità e calore. La produzione combinata di elettricità e calore prende il nome di cogenerazione, e si dice sistema cogenerativo un impianto che sfrutti tale principio. I sistemi di teleriscaldamento che utilizzano centrali a cogenerazione permettono di raggiungere una maggior efficienza energetica globale. Con questa tecnologia, infatti, la centrale produce energia elettrica e contemporaneamente consente di recuperare l'energia termica sprigionata durante il processo termodinamico, al contrario di ciò che avviene nelle centrali elettriche convenzionali dove questa viene dispersa in atmosfera come "scarto".

Dunque, a parità di energia utile prodotta, la produzione combinata di energia elettrica e termica (cogenerazione) permette un minor consumo di combustibile e un maggiore sfruttamento delle risorse immesse.



**Figura 2-2: Possibili vantaggi della cogenerazione rispetto alla produzione separata**

La figura 2-2 (presa dal sito “Forlì ambiente”) indica come per ottenere la stessa quantità di energia utile finale (35 unità di energia elettrica e 50 di calore) sia necessaria una quantità di energia primaria pari quasi a 150 nel caso di produzione separata (con rendimento elettrico medio delle centrali termoelettriche pari al 38% e rendimento medio di generazione di calore con una caldaia pari all'87%), mentre nel caso della cogenerazione sia invece sufficiente una quantità di energia primaria pari a 100 (rendimento totale 85%, di cui 31% come rendimento elettrico e 59% come rendimento termico).

Un ulteriore sviluppo del servizio di teleriscaldamento è rappresentato dal raffrescamento estivo; questo sistema produce contemporaneamente energia elettrica e calore in inverno, ed energia elettrica e prevalentemente freddo in estate; viene chiamato “sistema a trigenerazione”.



## 2.3 Vantaggi del teleriscaldamento

L'elemento fondamentale da cogliere sui sistemi di teleriscaldamento è rappresentato dall'importante opportunità di utilizzo razionale delle risorse energetiche e di controllo dell'inquinamento locale, nonché dal sistema di contenimento della spesa energetica sia per la collettività che per i singoli utenti.

I vantaggi ottenibili dal teleriscaldamento, rispetto alle forme tradizionali di produzione di energia termica, possono essere sostanzialmente ricondotti a:

- risparmio energetico e benefici ambientali (benefici collettivi);
- vantaggi economici e semplicità d'uso per gli utenti (benefici individuali).

### 2.3.1 *Aspetti energetici e ambientali*

Il teleriscaldamento permette di sfruttare tutte le fonti energetiche disponibili, integrandole efficacemente; infatti le centrali termiche si progettano sui combustibili a seconda della maggiore convenienza economica del momento e della disponibilità sul mercato. È possibile anche impiegare il calore di recupero da vari processi industriali, da forni inceneritori di rifiuti, o da altre fonti energetiche rinnovabili, come le biomasse o le falde geotermiche.

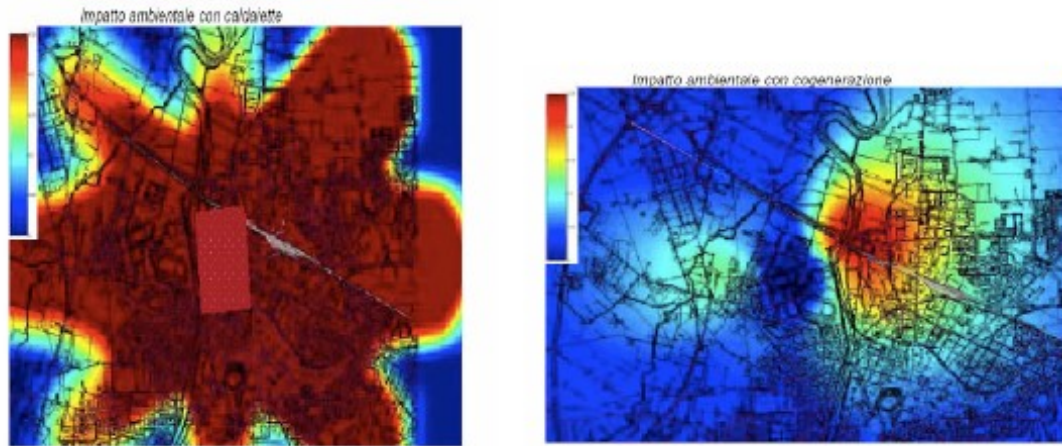
Anche nel caso in cui vengano utilizzati combustibili fossili, il teleriscaldamento, utilizzando centrali a cogenerazione, produce energia elettrica e calore, consentendo di utilizzare una frazione rilevante dell'energia primaria contenuta nel combustibile, di gran lunga superiore a quella concessa dalle produzioni separate, come già visto in precedenza.

Il teleriscaldamento, quindi, consente di ridurre i consumi e utilizzare nel miglior modo possibile il combustibile: un solo impianto, ad elevato rendimento, sostituisce un grande numero di singole caldaie relativamente poco efficienti dal punto di vista energetico e ad elevato impatto ambientale.

In un impianto ben progettato, il camino della centrale di teleriscaldamento ha un impatto inferiore a quello prodotto dai camini delle singole case nella città essendo possibile su questo investimenti importanti per tecnologie di abbattimento costose.

Nel caso di centrali di teleriscaldamento è necessaria la presenza di apparecchiature di controllo e monitoraggio continuo della composizione dei fumi, con analisi e controllo semestrale dei fumi e del rendimento. Negli impianti condominiali centralizzati, invece, le verifiche vengono svolte mediamente ogni anno e in quelli autonomi solo ogni due anni o addirittura ogni quattro. Inoltre, una sola fonte di emissioni è meglio monitorabile dal personale interno e dalle agenzie addette (Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente, ARPA).

Infine, nei sistemi di teleriscaldamento alimentati con centrale a cogenerazione, la produzione contemporanea di energia elettrica in prossimità dei centri di utilizzo incide positivamente sul sistema di trasporto e distribuzione, diminuendo la necessità di costruire nuovi elettrodotti ad alta e altissima tensione, che impattano notevolmente sull'ambiente.



**Figura 2-3: Confronto degli impatti ambientali tra i sistemi a caldaie e i sistemi a cogenerazione**

Nella Figura 2-3 sono riportati i risultati di uno studio condotto per la Valutazione di Impatto Ambientale effettuata per un impianto realizzato nel comune di Cesena (FC). Le immagini, ottenute con un modello di simulazione, confrontano la concentrazione delle emissioni in atmosfera, nei due casi: impianti autonomi e teleriscaldamento con centrale a cogenerazione. Nel caso delle caldaie (figura a sinistra) si può notare come le emissioni di inquinanti si estendano su tutta l'area abitata e siano caratterizzate da elevati valori rappresentati da un colore più scuro. La centrale di cogenerazione mostra invece un'emissione condensata nei pressi della centrale, ma di entità notevolmente inferiore, come si può notare dal colore più chiaro, grazie all'altezza del camino ed ai più efficienti sistemi filtranti.

### 2.3.2 Benefici per gli utenti

Il servizio di teleriscaldamento per l'utente finale è semplice da utilizzare, sicuro ed economico.

La semplicità d'uso e la sicurezza sono assicurate dal fatto che si distribuisce direttamente acqua calda, per cui non occorre più installare presso l'abitazione o il condominio la centrale

termica e tutte le infrastrutture legate al suo funzionamento, come canne fumarie, locali appositi, scarichi di sicurezza o cisterne.

Con l'eliminazione della centrale termica presso l'utenza, vengono eliminati anche i rischi di incendi, esplosione ed intossicazione da fumi, eventi che continuano a ripetersi, purtroppo, durante i periodi invernali, dal momento che le prescrizioni di legge sulle verifiche di sicurezza e di efficienza energetica delle caldaie non sempre vengono osservate, ed è impossibile effettuare controlli a tappeto su un numero così elevato di impianti.

Il teleriscaldamento, per questi motivi, permette inoltre all'utente finale di eliminare i costi relativi alla manutenzione e sostituzione degli impianti; le apparecchiature della sottocentrale, infatti, sono semplici e le spese di manutenzione minime.

L'utente paga solamente il calore utilizzato ad una tariffa normalmente inferiore a quella del calore prodotto tramite combustione in una caldaia individuale alimentata a gas naturale.

Dal punto di vista della gestione energetica, gli impianti "autonomi" hanno indotto gli utenti a ridurre gli sprechi, dal momento che si paga solo quello che realmente si consuma. Proprio per questo, tutti i moderni impianti di teleriscaldamento prevedono sistemi di contabilizzazione per ogni singolo alloggio, abbinati a sistemi di controllo dei tempi di funzionamento e delle temperature. Così facendo l'impianto di teleriscaldamento può essere gestito, in termini di temperature, periodi di funzionamento e consumi, esattamente come un impianto autonomo, assicurando in più rendimenti energetici globali superiori e maggiore sicurezza.

Si può dunque affermare che la diffusione del teleriscaldamento, per questi motivi, garantisce all'utente:

- più convenienza rispetto al gasolio o al GPL, poichè il costo del teleriscaldamento è ancorato a quello del gas naturale, definito secondo i parametri stabiliti dall'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas;
- maggiore convenienza anche per coloro che già utilizzano il gas naturale: l'assenza della caldaia e il fatto di non necessitare della canna fumaria consentono una diminuzione dei costi di gestione e di manutenzione della centrale termica;
- nessun costo di sostituzione di caldaia e bruciatore;
- abbattimento dei costi per la manutenzione ed il controllo periodico obbligatorio della caldaia e del bruciatore, inclusa la pulizia e la verifica dei condotti dei fumi, previste per gli impianti di riscaldamento tradizionali, sia a metano che a gasolio;
- risparmio dello spazio solitamente dedicato al locale caldaia negli edifici di nuova costruzione;

- realizzazione e/o riconversione di alcune delle superfici calpestabili presenti sul tetto degli edifici grazie all'eliminazione delle canne fumarie;
- eliminazione della necessità del “terzo responsabile” (soggetto al quale è possibile delegare la responsabilità relativa all'esercizio e alla manutenzione dell'impianto termico) per le attività direttamente connesse a caldaia e bruciatore.

## 2.4 Perché promuovere il teleriscaldamento

La scarsa diffusione dei sistemi di teleriscaldamento non è di certo dovuta agli aspetti tecnologici o ambientali, ma agli aspetti finanziari, normativi e culturali. Da un punto di vista “culturale”, il teleriscaldamento è piuttosto sconosciuto ed è spesso confuso con i vecchi sistemi centralizzati di riscaldamento, che, a causa della mancanza dei sistemi di contabilizzazione separata del calore, non godono certo di buona fama. Inoltre, il mercato immobiliare ha promosso negli ultimi decenni unicamente i vantaggi del riscaldamento autonomo, e pertanto oggi è ancora difficile sensibilizzare gli utenti a forme di riscaldamento che si distacchino dalla cosiddetta “caldaietta singola”.

Da un punto di vista finanziario, invece, l'unico ostacolo è dato dai costi iniziali per la realizzazione della rete di distribuzione, che garantiscono un ritorno economico dell'investimento solo nel medio-lungo periodo per cui non sempre sono ritenuti vantaggiosi dagli investitori privati.

Le Amministrazioni locali hanno l'opportunità di promuovere la realizzazione del sistema di teleriscaldamento da parte dei privati all'interno delle iniziative di carattere immobiliare. Il coinvolgimento di questi operatori privati non ha ancora un percorso metodologico istituzionalizzato, e dipende quindi dalla sensibilità della singola Amministrazione.

Da un punto di vista normativo, invece, da un lato esiste un'attenzione della legislazione fiscale, che permette di utilizzare l'accisa industriale (più bassa) anziché quella civile nei teleriscaldamenti alimentati da cogenerazione; dall'altro lato, la legislazione civile non permette alle Amministrazioni di obbligare i cittadini, residenti in edifici già esistenti, a collegarsi al servizio, anche se esso arriva davanti alla loro utenza.

Ciò che serve è un intervento della pianificazione regionale o provinciale che dia chiare indicazioni ai Comuni su come comportarsi riguardo all'opzione di pianificare urbanisticamente reti di teleriscaldamento.

Alcune volte viene messo in discussione, riguardo al sistema di teleriscaldamento, il vantaggio in termini di sostenibilità ambientale. Se infatti è certa la riduzione globale di emissioni di

CO<sub>2</sub>, si obietta che l'impatto dovuto alla produzione combinata anche di energia elettrica, aumentando il consumo di biomassa, induca un peggioramento della qualità dell'aria locale. Per evitare queste obiezioni (sollevate soprattutto da chi abita nelle aree più vicine alla centrale), è necessario che nella progettazione siano osservate alcune importanti condizioni:

- l'altezza del camino deve essere superiore a quella degli edifici circostanti;
- il sistema di filtrazione deve comprendere catalizzatori;
- deve essere effettuato lo studio della ricaduta dei gas inquinanti mediante modelli di simulazione della colonna dei fumi nelle diverse condizioni locali di vento;
- deve essere effettuata la valutazione dei livelli di inquinanti nell'aria a diverse distanze dalla centrale, che devono restare abbondantemente al di sotto dei limiti di legge.

Quando tutte queste condizioni sono soddisfatte, si può raggiungere un livello di emissioni locali di inquinanti di sicuro inferiore a quello della somma delle caldaie convenzionali che il sistema di teleriscaldamento va a sostituire.

L'impatto sonoro, infine, non rappresenta più un problema, con l'adozione dei moderni sistemi insonorizzanti.

## **2.5 Teleriscaldamento a biomasse**

All'inizio degli anni novanta si cominciò a parlare di impianti di teleriscaldamento abbinati all'impiego di biomasse legnose (legna da ardere, cippato, pellet ecc.) al fine di rendere sostenibile la gestione del territorio, attraverso l'impiego di biomassa legnosa derivante dalla gestione e manutenzione boschiva.

L'utilizzo della biomassa per fini energetici è una delle strategie promosse da molti paesi per ridurre le emissioni di gas serra in atmosfera. La biomassa vegetale è infatti considerata un'energia rinnovabile, creata da un processo chimico naturale basato sull'utilizzo di energia solare, la fotosintesi. Nel caso della biomassa, il concetto è basato sull'ipotesi che il carbonio rilasciato durante la combustione non contribuisca ad aumentare la concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera, ma venga riassorbito con la crescita della vegetazione. Questo riassorbimento non accade nel caso di combustibili fossili, dato che i tempi per la loro formazione sono molto più lunghi.

Si è però osservato che i tempi di riassorbimento, nel caso delle biomasse, del carbonio rilasciato con la combustione non sono immediati, specialmente nel caso di alcuni tipi di biomassa legnosa forestale. A differenza delle colture legnose dedicate a fini energetici che,

solitamente, sono messe a nuova dimora e vanno a costituire nuove riserve di carbonio, l'estrazione del legno proveniente dalle foreste va a toccare carbonio stoccato in riserve già esistenti. Le riserve esistenti, fossili e non, fanno parte dello scenario che determina i livelli presenti di CO<sub>2</sub> in atmosfera. Un'alterazione degli scambi di carbonio tra foreste e atmosfera, come un improvviso aumento dei regimi dei tagli, può avere ripercussioni come un incremento di carbonio atmosferico.

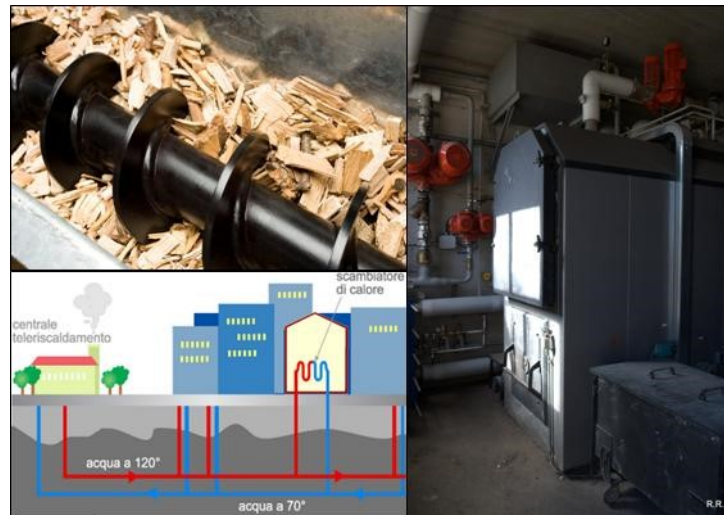
Dato che l'obiettivo delle politiche climatiche è di evitare ulteriori aumenti di CO<sub>2</sub> in atmosfera nei prossimi decenni, è importante cercare di individuare i tipi di biomassa che contribuiscono maggiormente alla riduzione delle emissioni nel breve periodo.

### *2.5.1 Utilizzo del cippato in impianti a teleriscaldamento*

Si definisce comunemente "cippato", il legno sminuzzato derivato da un trattamento meccanico (cippatura).

Le caratteristiche tecniche di questo materiale (umidità e contenuto in ceneri) variano in funzione della sua. Il gestore dell'impianto in base all'analisi dei costi logistici decide quando e dove cippare il materiale. Attualmente, nel 90% dei casi, la fase di cippatura viene effettuata direttamente in bosco o in ambito agricolo dalle aziende e/o consorzi forestali/agricoli.

Le centrali di teleriscaldamento acquistano nella maggior parte dei casi il cippato. Ciò nonostante è opportuno segnalare che negli ultimi anni diversi gestori di impianti a teleriscaldamento hanno investito nell'acquisto di cippatrici. Dotarsi di una cippatrice all'interno del sito produttivo, permette al gestore di diversificare il rischio nell'approvvigionamento, attraverso scorte di tronchi derivanti dalla manutenzione forestale, più facilmente gestibili nel lungo periodo e non soggetti a autocombustione. Si tenga presente che trattandosi di un prodotto a basso valore intrinseco, il costo di trasporto incide in maniera preponderante sull'analisi dei costi. L'impiego del cippato in centrale consente l'alimentazione automatica degli impianti termici mediante coclee o altri dispositivi meccanici.



**Figura 2-4: Centrale di teleriscaldamento alimentata a cippato**

### 2.5.2 Vantaggi dell'utilizzo di biomasse legnose a fini energetici

I benefici derivanti dall'uso di biomasse legnose negli impianti di teleriscaldamento sono numerosi:

- valorizzazione economica dei servizi resi dall'ambiente forestale e dalle coltivazioni dedicate;
- impiego di ammendanti/concimi agricoli organici derivanti dai sottoprodotti della filiera biomassa- energia;
- promozione di miscele di sottoprodotti di origine agro-forestale;
- disponibilità di strumenti di pianificazione delle aree boscate;
- crescita della domanda di cippato per impiego a fini energetici;
- conversione di aree svantaggiate in bacini produttivi.

# Capitolo 3

## MATERIALI E METODI

### 3.1 Introduzione

In questo capitolo vengono esposti i materiali e le metodologie utilizzate al fine di analizzare gli impatti delle differenti tipologie di impianti utilizzati per il riscaldamento e alimentati con combustibili diversi.

Ai fini delle valutazioni di impatto di questa tesi sono state sviluppate delle elaborazioni in un'area così composta:

- 90 utenze che alloggiano in 15 palazzine aventi ognuna tre piani fuori terra e due appartamenti per ogni piano. Tutti gli appartamenti hanno una superficie, al netto dei muri perimetrali e dei divisori interni, di 90 metri quadrati;
- un albergo, disposto su tre livelli fuori terra, avente 20 camere disposte rispettivamente 10 al primo piano e 10 al secondo piano. Inoltre, al piano terra dello stesso albergo, trovano posto l'hall, il bar, il ristorante e la cucina con i relativi servizi.

Lo stesso quartiere è stato analizzato sia nel Comune di Mattinata, situato a 75 mt s.l.m. e classificato come zona climatica “D” con 1404 gradi giorno, e sia nel Comune di Monte Sant'Angelo, situato a 800 mt s.l.m. e classificato come zona climatica “E” con 2400 gradi giorno.

Il lavoro è stato organizzato nel seguente modo:

- calcolo dei fabbisogni energetici mensili e annuali con programma ‘DOCET’;
- calcolo delle energie consumate dagli impianti in base al rendimento dell'impianto stesso. Il valore del rendimento dell'impianto è stato fornito dal programma ‘DOCET’;
- calcolo delle emissioni dei vari impianti utilizzando le energie consumate precedentemente calcolate e moltiplicandole per i vari fattori di emissione;
- calcolo delle quantità di combustibile consumate a seconda dell'impianto considerato.

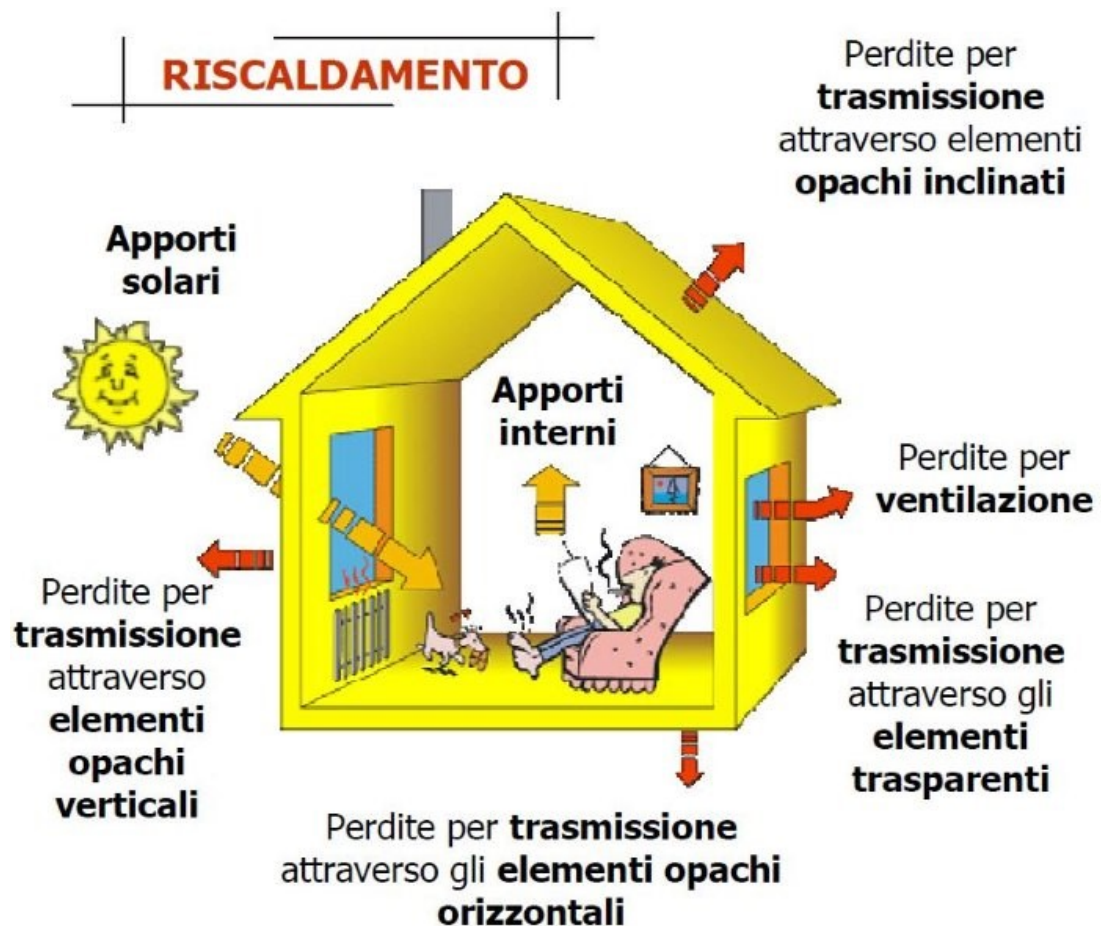
DOCET è uno strumento di simulazione a bilanci mensili utile per la certificazione energetica degli edifici residenziali esistenti.



Esso, nasce dalla ricerca di approcci semplificati per facilitare l'inserimento dei dati da parte di utenti anche senza specifiche competenze, definendo un'interfaccia che consente di qualificare dal punto di vista energetico edifici esistenti, in modo semplice e riproducibile. Lo strumento infatti si contraddistingue per l'elevata semplificazione dei dati in input e la riproducibilità delle analisi, senza tuttavia rinunciare all'accuratezza del risultato.

### 3.2 Valutazione dei fabbisogni energetici

Il fabbisogno termico di un edificio è la differenza tra le perdite di calore durante il periodo di riscaldamento e gli apporti termici gratuiti (solari e quelli da fonti interne) nello stesso periodo.



*Figura 3-1: Bilancio tra le perdite e gli apporti di calore*

I parametri coinvolti nell'analisi dei fabbisogni energetici sono i seguenti:

- Gradi giorno (GG): rappresentano il fabbisogno energetico utile a riscaldare un edificio per una stagione, i valori sono propri per ogni comune e trascurano la posizione geografica o l'appartenenza regionale, ma dipendono unicamente dalle caratteristiche climatiche della zona in cui è situato, ciascun Comune pertanto è caratterizzato da un valore univoco di gradi giorno.

Nel calcolo matematico, i gradi giorno sono la sommatoria estesa a tutti i giorni del periodo di riscaldamento convenzionale annuale, delle differenze positive tra la temperatura ambiente di confort (per convenzione fissata a 20°C), e la media delle temperature esterne giornaliere. In pratica per ogni Comune si stabilisce la "quantità di calore stagionale" necessaria a riscaldare un'abitazione per un anno, pari alla somma dei gradi giorno necessari a mantenere la temperatura di confort, cumulata per tutti i giorni del periodo di riscaldamento convenzionale di quella determinata zona climatica.

La quantità di gradi giorno, ovvero il fabbisogno energetico necessario a riscaldarsi, aumenta quindi al diminuire della temperatura esterna, se ne deduce che località più fredde sono caratterizzate da valori di gradi giorno più elevati, mentre località più temperate hanno valori di gradi giorno più contenuti.

Essendo i gradi giorno dipendenti unicamente dalla temperatura esterna del posto, paesi, anche vicini, possono avere valori di gradi giorno anche molto diversi se, ad esempio, situati in altura o nella valle, esposti ai venti dominanti o protetti, siti vicino al mare o nell'entroterra, soleggiati o coperti dai monti.

- Zone climatiche: sono state introdotte per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi energetici.

Il territorio nazionale è diviso in 6 zone climatiche identificate dalle lettere alfabetiche A, B, C, D, E, F, ciascuna assegnata in funzione dei valori assunti dai GG (gradi giorno) grandezza nata al fine di definire le necessità energetiche per il riscaldamento di ogni singola area geografica.

- Orari di accensione dei riscaldamenti: l'accensione degli impianti termici di riscaldamento è regolato per legge, ma non è uguale per tutti. Periodo e ore di accensione giornaliere massime permesse infatti, sono determinate per ciascun paese in base alla zona climatica di appartenenza.

Deroghe possono essere decise solo dai Sindaci dei Comuni che, a fronte di comprovate esigenze, possono ampliare il periodo di esercizio e la durata giornaliera di accensione dei riscaldamenti, dandone notizia alla popolazione.

**Tabella 3-1: Periodo convenzionale annuale di riscaldamento**

<b>Zona climatica</b>	<b>Periodo di accensione</b>
A	1° Dicembre – 15 Marzo
B	1° Dicembre – 31 Marzo
C	15 Novembre – 31 Marzo
D	1° Novembre – 15 Aprile
E	15 Ottobre – 15 Aprile
F	Nessuna limitazione

- Energia termica per il riscaldamento: l'impianto di riscaldamento serve a produrre l'energia termica necessaria a bilanciare le dispersioni di calore di un edificio per mantenerlo in condizioni idonee a consentire lo svolgimento delle normali attività umane. Contributi "gratuiti" all'apporto di calore dell'edificio sono dati dalla radiazione solare esterna e dalla presenza all'interno di persone, luci, elettrodomestici, cucina, forni, ecc., in quanto sviluppano calore che riduce il fabbisogno richiesto alla caldaia, quest'ultimi tuttavia, data la loro variabilità, si fissano in genere in modo forfettario, adottando per compensarli una temperatura di riferimento leggermente minore di quella di set-point.

Il bilancio termico dell'edificio dipende quindi dalla differenza di temperatura tra l'ambiente interno e quello esterno.

- Stima dei consumi: la conoscenza dei gradi giorno definiti per un luogo, e la classe d'isolamento dell'immobile, permette di calcolare i consumi medi annuali necessari al riscaldamento invernale. Il risultato (espresso in kWh/m<sup>2</sup>) moltiplicato per la superficie dello stabile e per il costo dell'energia applicato dal proprio gestore, consente di risalire alla spesa annua tipica necessaria. Naturalmente, anni con un clima più mite faranno risparmiare rispetto all'anno "tipico", ed anni con clima più freddo faranno consumare di più, ma nel lungo periodo la spesa reale e quella calcolata tenderanno a coincidere.

### 3.2.1 Casi di studio

Per la valutazione dei fabbisogni energetici è stato considerato un quartiere contenente 2 tipologie di edifici. Lo stesso quartiere è stato poi considerato in 2 diverse località.

I dati sono stati riassunti nella seguente tabella:

**Tabella 3-2 Parametri per il calcolo dei fabbisogni energetici**

<b>Località</b>	<b>Altitudine</b>	<b>Tipo di edificio</b>	<b>Numero piani</b>	<b>Gradi giorno</b>	<b>Zona climatica</b>
Mattinata (FG)	75 mt s.l.m.	Palazzina	3	1404	D
Mattinata (FG)	75 mt s.l.m.	Hotel	3	1404	D
Monte Sant'Angelo (FG)	800 mt s.l.m.	Palazzina	3	2400	E
Monte Sant'Angelo (FG)	800 mt s.l.m.	Hotel	3	2400	E

Una volta trovato il fabbisogno energetico annuale per la singola utenza (espresso in kWh) quest'ultimo è stato moltiplicato per il totale delle utenze (90) e successivamente sommato al fabbisogno energetico dell'hotel. Dalla somma dei fabbisogni energetici delle 90 utenze e dell'hotel otteniamo il fabbisogno energetico annuale dell'intero quartiere.

### 3.3 Impianto di riscaldamento

Un impianto di riscaldamento è un impianto termico per la produzione e la distribuzione di calore. La caratteristica di un impianto di riscaldamento è di generare il calore in un punto e trasferirlo ad altre zone.

Gli impianti di riscaldamento si classificano per:

- combustibile o fonte di energia usato: carbone, gasolio, gas, legna, energia geotermica, solare o elettrica, teleriscaldamento;
- tipologia e dimensioni: impianti autonomi (una unità abitativa), impianti centralizzati;
- tecniche e mezzi e temperature di immagazzinamento e trasferimento del calore: convezione, irraggiamento, aria, acqua (vapore), ferro, alluminio, inerti (piastrelle, calcestruzzo).

- efficienza e compatibilità con l'ambiente: valutate per emissioni CO<sub>2</sub>, costo totale, efficienza.

Il metodo più diffuso per generare il calore è di bruciare un combustibile fossile in una caldaia. Il calore viene usato per riscaldare l'aria, l'acqua o il vapore e questi vengono convogliati verso il locale di destinazione attraverso opportuni condotti. Solitamente l'impianto di riscaldamento è abbinato all'impianto di produzione di acqua calda sanitaria e ha la caldaia in comune.

Le differenze tra i sistemi usati dipendono da fattori quali:

- la disponibilità o economicità del combustibile o della fonte primaria di energia. Ad esempio, dove c'è abbondanza di legna, gli altri combustibili hanno poca giustificazione. Dove è molto sviluppata la rete di distribuzione del gas (alcune regioni italiane ad esempio) fanno preferire il gas della rete a combustibili che richiedono stoccaggio e trasporto (es. gasolio o carbone). Dove è possibile il teleriscaldamento, sarà preferibile alla costruzione e manutenzione di nuovi impianti autonomi;
- la dimensione e il numero degli ambienti da scaldare. Per trasferimenti di distanze brevi può essere sufficiente usare l'aria calda, ma per grossi impianti è più efficiente l'acqua calda o il vapore;
- leggi e sistemi economici: dove sono in vigore normative che prediligono fonti di energia rinnovabile, alcuni combustibili fossili tenderanno a sparire (es. carbone, gasolio), a favore di energia solare, gas, o legna.

### 3.3.1 *Casi di studio*

Per il riscaldamento del quartiere sono stati presi in considerazione tre tipologie di impianti:

- un impianto tradizionale a caldaie singole alimentate a metano;
- un impianto tradizionale a caldaie singole alimentate a gasolio;
- un impianto di teleriscaldamento alimentato a biomasse (cippato).

Utilizzando il programma DOCET è stato possibile risalire alle energie consumate dai vari tipi di impianto che verranno successivamente inserite nel calcolo delle emissioni.

I valori di rendimento dell'impianto utilizzati per il calcolo dell'energia consumata sono inseriti nella tabella che segue. Il rendimento termico indica il rapporto tra la potenza utile ottenuta e la quantità di energia termica fornita all'impianto.

**Tabella 3-3: Valori di rendimento dell'impianto**

<b>Tipologia di edificio</b>	<b>Tipologia d'impianto</b>	<b>Rendimento</b>
Utenza	Caldaia a metano	0,77
Utenza	Caldaia a gasolio	0,70
Utenza	Teleriscaldamento a cippato	0,74
Hotel	Caldaia a metano	0,79
Hotel	Caldaia a gasolio	0,71
Hotel	Teleriscaldamento a cippato	0,74

I seguenti valori di rendimento sono stati moltiplicati per i fabbisogni energetici delle diverse tipologie di edificio calcolando così l'energia consumata dalle varie tipologie d'impianto nei vari edifici.

### **3.4 Calcolo degli impatti**

Tutti gli impianti di riscaldamento con potenzialità nominale superiore a 35 kW, alimentati con combustibili gassosi (metano o GPL), liquidi (gasolio) o solidi (legna), ogni anno devono essere sottoposti ad un controllo fumi effettuato da uno spazzacamino abilitato.

Il conduttore della caldaia è pertanto tenuto a rivolgersi ad uno spazzacamino abilitato per far eseguire il controllo dei fumi emessi dal camino.

Gli impianti di riscaldamento sono una delle tre principali fonti di inquinamento atmosferico a livello locale insieme agli impianti industriali ed al traffico.

Un impianto termico controllato e gestito correttamente consente di ridurre le emissioni d'inquinanti e di risparmiare sulle spese di riscaldamento.

Gli impianti di riscaldamento con potenzialità inferiore a 35 kW (ad esempio le caldaie murali a servizio di singoli appartamenti) non sono soggetti al controllo delle emissioni da parte degli spazzacamini. Per tali impianti è necessario far eseguire la manutenzione ordinaria dall'installatore/manutentore di fiducia ai sensi della normativa vigente in materia di prevenzione incendi.

#### **3.4.1 Casi di studio**

Sono stati calcolati i quantitativi di sostanze inquinanti (esprese in g) emessi dai 3 tipi di impianti di riscaldamento considerati. Per il calcolo sono state moltiplicate le quantità di energia consumata dall'impianto di riscaldamento (esprese in GJ) per i fattori di emissione (espressi in g/GJ).

I fattori di emissione considerati sono i seguenti:

- Monossido di carbonio (CO);
- Ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>);
- Ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>);
- Composti organici volatili (COV);
- Particolato (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>);
- Idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

Per i fattori di emissione delle caldaie a metano e a gasolio sono stati considerati i valori inseriti nelle tabelle del Capitolo 1.

Per i fattori di emissione del teleriscaldamento a metano sono stati presi i valori pubblicati sul sito dell'ARPA Lombardia (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente).

### 3.5 Calcolo delle quantità di combustibile

Una caratteristica importante per valutare i combustibili è il potere calorifico, che indica la quantità di calore che si ottiene bruciando un'unità di massa (o di volume) del combustibile. Il potere calorifico dipende dalla struttura e dalla composizione chimica del combustibile stesso. Il potere calorifico è rilevante poiché rappresenta la resa del combustibile: per ottenere la stessa quantità di calore se il potere calorifico è più basso servirà più quantità di combustibile.

#### 3.5.1 *Casi di studio*

Per il calcolo delle quantità di combustibile (espresse in kg) sono state moltiplicate le energie consumate dai vari tipi di impianto di riscaldamento (espresse in kWh) per i poteri calorifici dei vari combustibili (espresi in kWh/kg).

Sono stati considerati i seguenti poteri calorifici:

**Tabella 3-4: Potere calorifico dei vari combustibili**

Combustibile	Potere calorifico (kWh/kg)
Metano	15,4
Gasolio	13,1
Cippato	4

## Capitolo 4

### RISULTATI

#### 4.1 Risultati quartiere a Mattinata

##### 4.1.1 Fabbisogni energetici

Nelle tabelle che seguono vengono mostrati i risultati del calcolo del fabbisogno energetico delle utenze definite nel lavoro di tesi. I dati si riferiscono alla località di Mattinata. I valori dei fabbisogni sono anche disaggregati per appartamento e palazzina, nel caso del condominio, e per piano nel caso dell'hotel. Il fabbisogno energetico complessivo stimato (Tabella 4-3) è di circa 525 MWh e, su questo valore, sono stimati i consumi di combustibile ed i relativi impatti.

*Tabella 4-1: Fabbisogni energetici mensili utenze*

Mese	Fabbisogno appartamento(kWh)	Fabbisogno palazzina con 6 appartamenti (kWh)	Fabbisogno utenze (15 palazzine) (kWh)
Gennaio	1221	7326	109890
Febbraio	1173	7038	105570
Marzo	809	4854	72810
Aprile	235	1410	21150
Maggio	0	0	0
Giugno	0	0	0
Luglio	0	0	0
Agosto	0	0	0
Settembre	0	0	0
Ottobre	0	0	0
Novembre	634	3804	57060
Dicembre	1343	8058	120870



**Tabella 4-2: Fabbisogni energetici mensili Hotel**

Mese	Fabbisogno per piano Hotel(kWh)	Fabbisogno Hotel (kWh)
Gennaio	2934	8802
Febbraio	2707	8121
Marzo	1717	5151
Aprile	410	1230
Maggio	0	0
Giugno	0	0
Luglio	0	0
Agosto	0	0
Settembre	0	0
Ottobre	0	0
Novembre	1610	4830
Dicembre	3255	9765

**Tabella 4-3: Fabbisogni energetici annuali**

Tipologia	Fabbisogno annuale (kWh)
Utenze	487350
Hotel	37899
Utenze + Hotel	525249

#### 4.1.2 Impianti

Nelle Tabelle 4-4 e 4-5 sono riportate le energie consumate dalle utenze, rispettivamente il condominio e l'hotel, ipotizzando l'uso di diverse tipologie di impianto termico. Il più efficiente impianto a metano è caratterizzato da valori leggermente inferiori rispetto alle altre due tipologie di sistemi termici. L'analisi è stata svolta moltiplicando il fabbisogno energetico, sia del condominio che dell'hotel, per i rendimenti degli impianti (indicati nel Capitolo 3).

**Tabella 4-4: Energie consumate dalle utenze**

Tipo di impianto	Energia annuale consumata da un appartamento (kWh)	Energia annuale consumata da una palazzina (6 appartamenti) (kWh)	Energia annuale consumata da 15 palazzine (kWh)
Impianto a metano	7032,5	42194,8	632922,1
Impianto a gasolio	7735,7	46414,3	696214,3
Teleriscaldamento a cippato	7317,6	43905,4	658581,1

**Tabella 4-5: Energie consumate dall'Hotel**

Tipo di impianto	Energia annuale consumata da un piano dell'hotel (kWh)	Energia annuale consumata dall'hotel (3 piani) (kWh)
Impianto a metano	15991,1	47973,4
Impianto a gasolio	17793,0	53378,9
Teleriscaldamento a cippato	17071,6	51214,9

**Tabella 4-6: Energie consumate**

Tipo di impianto	Utenze (90 appartamenti) (kWh)	Hotel (kWh)	Utenze + Hotel (kWh) (kWh)
Impianto a metano	632922,1	47973,4	680895,5
Impianto a gasolio	696214,3	53378,9	749593,2
Teleriscaldamento a cippato	658581,1	51214,9	709795,9

#### 4.1.3 Consumi

Nella tabella 4-7 sono inserite le quantità di combustibile consumate da ciascuna tipologia di impianto termico. I valori sono stati ottenuti dividendo l'energia consumata dall'impianto per il potere calorifico del combustibile considerato.

Si può notare come la quantità di cippato consumata sia notevolmente maggiore rispetto alle quantità di metano e gasolio, questo è dovuto ad un basso potere calorifico del cippato.

**Tabella 4-7: Quantità di combustibile consumate**

Mese	Energia consumata (metano) (kWh)	Energia consumata (gasolio) (kWh)	Energia consumata (cippato) (kWh)	Potere calorifico (metano) (kWh/kg)	Potere calorifico (gasolio) (kWh/kg)	Potere calorifico (cippato) (kWh/kg)	Quantità consumata (metano) (kg)	Quantità consumata (gasolio) (kg)	Quantità consumata (cippato) (kg)
Uienze (90 appartamenti)	63292,1	696214,3	658581,1	15,4	13,1	4	41098,8	53146,1	166645,3
Hotel (3 piani)	47973,4	53378,9	51214,9	15,4	13,1	4	3115,2	4074,7	12803,7
Uienze + Hotel	680895,5	749593,2	709795,9	15,4	13,1	4	44214,0	57220,9	177449,0

#### 4.1.4 Emissioni

Nella Tabella 4-8 sono elencati i principali fattori di emissione per ciascun impianto e i relativi livelli di emissione. Il teleriscaldamento a cippato presenta valori di CO e COV notevolmente inferiori rispetto agli impianti a metano e gasolio. Risultano invece maggiori le emissioni di PM (poiché le molecole organiche intermedie della combustione condensano fuori camino producendo particelle solide) e NO<sub>x</sub> (l'azoto è maggiormente presente all'interno delle biomasse rispetto al metano e al gasolio).

**Tabella 4-8: Emissioni dei vari impianti**

Tipo d'impianto	Tipo di inquinante	fattori di emissione (g/gj)	Energia consumata (Gj)	Emissione inquinanti (g)	Emissione inquinanti (Kg)
CALDAIA A METANO	CO	40	2451,2	98048,0	98,048
	NOx	52,1	2451,2	127707,5	127,708
	SOx	0,5	2451,2	1225,6	1,226
	COV	7,7	2451,2	18874,2	18,874
	PM10	0,5	2451,2	1225,6	1,226
	PM2.5	0,5	2451,2	1225,6	1,226
	IPA	0,003	2451,2	7,4	0,007
	CO	73	2698,5	196990,5	196,9905
	NOx	60	2698,5	161910	161,91
	SOx	93	2698,5	250960,5	250,9605
CALDAIA A GASOLIO	COV	9,2	2698,5	24826,2	24,8262
	PM10	6,8	2698,5	18349,8	18,3498
	PM2.5	6,8	2698,5	18349,8	18,3498
	IPA	0,008	2698,5	21,588	0,021588
	CO	18	2555,2	45993,6	45,9936
	NOx	101	2555,2	258075,2	258,0752
	SOx	11	2555,2	28107,2	28,1072
	COV	1	2555,2	2555,2	2,5552
	PM10	25	2555,2	63880	63,88
	PM2.5	12	2555,2	30662,4	30,6624
TELERISCALDAMENTO A CIPPATO	IPA	7,7	2555,2	19675,04	19,67504

## 4.2 Risultati quartiere a Monte Sant'Angelo

### 4.2.1 Fabbisogni energetici

Nelle tabelle che seguono vengono mostrati i risultati del calcolo del fabbisogno energetico delle utenze definite nel lavoro di tesi. I dati si riferiscono alla località di Monte Sant'Angelo. I valori dei fabbisogni sono anche disaggregati per appartamento e palazzina, nel caso del condominio, e per piano nel caso dell'hotel. Il fabbisogno energetico complessivo stimato (Tabella 4-11) è di circa 880 MWh e, su questo valore, sono stimati i consumi di combustibile ed i relativi impatti.

Il maggiore fabbisogno energetico è legato alla località che si trova ad un'altitudine più elevata e quindi necessita di maggiore energia per il riscaldamento.

**Tabella 4-9: Fabbisogni energetici mensili utenze**

Mese	Fabbisogno appartamento(kWh)	Fabbisogno palazzina con 6 appartamenti (kWh)	Fabbisogno utenze (15 palazzine) (kWh)
Gennaio	1821	10926	163890
Febbraio	1714	10284	154260
Marzo	1407	8442	126630
Aprile	522	3132	46980
Maggio	0	0	0
Giugno	0	0	0
Luglio	0	0	0
Agosto	0	0	0
Settembre	0	0	0
Ottobre	467	2802	42030
Novembre	1213	7278	109170
Dicembre	1942	11652	174780

**Tabella 4-10: Fabbisogni energetici mensili Hotel**

Mese	Fabbisogno per piano Hotel(kWh)	Fabbisogno Hotel (kWh)
Gennaio	4286	12858
Febbraio	3927	11781
Marzo	3059	9177
Aprile	1034	3102
Maggio	0	0
Giugno	0	0
Luglio	0	0
Agosto	0	0
Settembre	0	0
Ottobre	1067	3201
Novembre	2917	8751
Dicembre	4607	13821

**Tabella 4-11: Fabbisogni energetici annuali**

Tipologia	Fabbisogno annuale (kWh)
Utenze	817740
Hotel	62691
Utenze + Hotel	880431

#### 4.2.2 Impianti

Nelle Tabelle 4-12 e 4-13 sono riportate le energie consumate dalle utenze, rispettivamente il condominio e l'hotel, ipotizzando l'uso di diverse tipologie di impianto termico. Il più efficiente impianto a metano è caratterizzato da valori leggermente inferiori rispetto alle altre due tipologie di sistemi termici. L'analisi è stata svolta moltiplicando il fabbisogno energetico, sia del condominio che dell'hotel, per i rendimenti degli impianti (indicati nel Capitolo 3). I valori sono superiori rispetto a Mattinata poiché sono maggiori i fabbisogni energetici.

**Tabella 4-12: Energie consumate dalle utenze**

Tipo di impianto	Energia annuale consumata da un appartamento (kWh)	Energia annuale consumata da una palazzina (6 appartamenti) (kWh)	Energia annuale consumata da 15 palazzine (kWh)
Impianto a metano	11800,0	70800,0	1062000,0
Impianto a gasolio	12980,0	77880,0	1168200,0
Teleriscaldamento a cippato	12278,4	73670,3	1105054,1

**Tabella 4-13: Energie consumate dall'Hotel**

Tipo di impianto	Energia annuale consumata da un piano dell'hotel (kWh)	Energia annuale consumata dall'hotel (3 piani) (kWh)
Impianto a metano	26451,9	79355,7
Impianto a gasolio	29432,4	88297,2
Teleriscaldamento a cippato	28239,2	84717,6

**Tabella 4-14: Energie consumate**

Tipo di impianto	Utenze (90 appartamenti) (kWh)	Hotel (kWh)	Utenze + Hotel (kWh) (kWh)
Impianto a metano	1062000,0	79355,7	1141355,7
Impianto a gasolio	1168200,0	88297,2	1256497,2
Teleriscaldamento a cippato	1105054,1	84717,6	1189771,6



#### 4.2.3 *Consumi*

Nella tabella 4-15 sono inserite le quantità di combustibile consumate da ciascuna tipologia di impianto termico. I valori sono stati ottenuti dividendo l'energia consumata dall'impianto per il potere calorifico del combustibile considerato.

Si può notare come la quantità di cippato consumata sia notevolmente maggiore rispetto alle quantità di metano e gasolio, questo è dovuto ad un basso potere calorifico del cippato.

**Tabella 4-15: Quantità di combustibile consumate**

Mese	Energia consumata (metano) (kWh)	Energia consumata (gasolio) (kWh)	Energia consumata (diprpto) (kWh)	Potere calorifico (metano) (kWh/kg)	Potere calorifico (gasolio) (kWh/kg)	Potere calorifico (diprpto) (kWh/kg)	Quantità consumata (metano) (kg)	Quantità consumata (gasolio) (kg)	Quantità consumata (diprpto) (kg)
Uienze (90 appartamenti)	1062000,0	1168200,0	1105054,1	15,4	13,1	4	68961,0	89175,6	276263,5
Hotel (3 piani)	79355,7	88297,2	84717,6	15,4	13,1	4	5153,0	6740,2	21179,4
Uienze + Hotel	1141355,7	1256497,2	1189771,6	15,4	13,1	4	74114,0	95915,8	297442,9

#### 4.2.4 Emissioni

Nella Tabella 4-16 sono elencati i principali fattori di emissione per ciascun impianto e i relativi livelli di emissione. Il teleriscaldamento a cippato presenta valori di CO e COV notevolmente inferiori rispetto agli impianti a metano e gasolio. Risultano invece maggiori le emissioni di PM (poiché le molecole organiche intermedie della combustione condensano fuori camino producendo particelle solide) e NOx (l'azoto è maggiormente presente all'interno delle biomasse rispetto al metano e al gasolio).

**Tabella 4-16: Emissioni dei vari impianti**

Tipo d'impianto	Tipo di inquinante	fattori di emissione (g/GJ)	Energia consumata (GJ)	Emissione inquinanti (g)	Emissione inquinanti (kg)
CALDAIA A METANO	CO	40,0	4108,8	164352,0	164,4
	NOx	52,1	4108,8	214068,5	214,1
	SOx	0,5	4108,8	2054,4	2,1
	COV	7,7	4108,8	31637,8	31,6
	PM10	0,5	4108,8	2054,4	2,1
	PM2,5	0,5	4108,8	2054,4	2,1
	IPA	0,0	4108,8	12,3	0,0
	CO	73,0	4523,4	330208,2	330,2
	NOx	60,0	4523,4	271404,0	271,4
	SOx	93,0	4523,4	420676,2	420,7
CALDAIA A GASOLIO	COV	9,2	4523,4	41615,3	41,6
	PM10	6,8	4523,4	30759,1	30,8
	PM2,5	6,8	4523,4	30759,1	30,8
	IPA	0,0	4523,4	36,2	0,0
	CO	18,0	4283,2	77097,2	77,1
	NOx	101,0	4283,2	432601,2	432,6
	SOx	11,0	4283,2	47115,0	47,1
	COV	1,0	4283,2	4283,2	4,3
	PM10	25,0	4283,2	107079,5	107,1
	PM2,5	12,0	4283,2	51398,2	51,4
TELERISCALDAMENTO A CIPPATO	IPA	7,7	4283,2	32980,5	33,0

## CONCLUSIONI

Nell'ambito di questa tesi emerge che la scelta di impiegare sistemi di teleriscaldamento a biomasse può determinare importanti benefici di carattere ambientale rispetto ai piccoli apparecchi di riscaldamento domestici tradizionali alimentati a gasolio o metano. I risultati dello studio applicato presso due comuni della Puglia differenti come caratteristiche climatiche, in cui si ipotizza il riscaldamento di una struttura alberghiera ed un condominio di sei appartamenti mostrano minori emissioni di diversi gas inquinanti. L'impianto a biomasse considerato è alimentato a cippato di legno e garantisce un livello di combustione ottimale. È inoltre dotato di sistemi antinquinamento che riducono notevolmente i livelli di emissioni. Le emissioni di CO risultano essere inferiori al 50% nel sistema a cippato e di quasi il 90% in meno per ciò che concerne i COV. I livelli di PM sono invece più elevati nell'impianto a cippato poiché si ha una maggiore produzione di materiale particolato rispetto ai combustibili fossili. Su questo punto la soluzione che al momento il settore mette a disposizione sono i filtri a maniche che in un impianto di una certa potenza possono essere compatibili in termini economici e da un punto di vista tecnico.

Queste valutazioni sono il frutto di dati relativi ai fattori di emissione degli impianti ottenute da banche dati quali ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale), EEA (Agenzia Europea dell'Ambiente) e INEMAR (INventario EMissioni ARia).

La centralizzazione del riscaldamento, va ricordato, rimuove le singole canne fumarie, causa dell'inquinamento diffuso. In questo modo, un unico camino di un solo impianto, specie se posizionato in un'area favorevole alla dispersione degli inquinanti, dovrebbe migliorare le condizioni locali.

Non vanno dimenticati i benefici legati alla sostenibilità ambientale legati al risparmio di CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq). Nel caso specifico se si considerano le indicazioni della Direttiva CE/28/2009 che stabilisce in 87 gCO<sub>2</sub>eq/MJ di energia termica prodotta l'impatto della fonte fossile e di 3,6 gCO<sub>2</sub>eq/MJ quella da produzione di energia termica da cippato si stima una riduzione di gas serra di oltre il 90% considerando una filiera con distanze inferiori ai 200 km (al netto del rendimento della caldaia).

Riferendosi agli aspetti di filiera locale, è anche evidente che oltre agli aspetti ambientali è necessario anche considerare elementi di carattere economico e sociale. Sistemi energetici di questo tipo, e diffusi a livello locale, possono favorire lo sviluppo di produzione sul territorio del biocombustibile. Si può pensare a del residuo di qualità dal bosco o da segherie o, studiando soluzioni particolari, sistemi alimentati ad agripellet (es. potature di olivo e di vite). Nonostante questi aspetti positivi bisogna precisare che lo sviluppo del teleriscaldamento a biomasse non sta prendendo lo spazio che meriterebbe in relazione ad una serie di benefici economici, ambientali e sociali. Uno dei motivi presumibilmente è da imputare alle questioni amministrative (es. ritardi dei rimborsi dei crediti d'imposta) che scoraggia gli investitori. Inoltre, parte dell'opinione ritiene gli impianti a biomasse responsabili di inquinamento. Tuttavia, l'approfondimento di questa tesi propone degli elementi che dovrebbero suggerire qualcosa di diverso.

## BIBLIOGRAFIA

- Caserini et al., 2014. “Fattori di emissione dalla combustione di legna e pellet in piccoli apparecchi domestici”;
- INEMAR, 2012, “Inventario emissioni”;
- EEA, 2016 “Agenzia Europea per l’ambiente”
- ARPA, “Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente”
- Claudio Fagarazzi e Alessandro Tirinnanzi, 2016, “Strumenti per lo sviluppo di filiere biomassa energia di qualità”
- FIPER, 2015, “Biomasse legnose: Petrolio verde per il teleriscaldamento italiano”