



DIPARTIMENTO SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE FORESTALI E AMBIENTALI

I FATTORI DI EMISSIONE DEGLI IMPIANTI
TERMICI ALIMENTATI A BIOCOMBUSTIBILI
SOLIDI

EMISSION FACTORS OF THERMAL PLANTS
POWERED BY SOLID BIOFUELS

TIPO DI TESI: Compilativa

Studente:
SIMONE CIARROCCI

Relatore:
PROF. GIUSEPPE TOSCANO

Correlatore:
PROF. DANIELE DUCA

Anno Accademico 2018-2019

SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE.....	4
ELENCO DELLE FIGURE.....	5
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI.....	6
CAPITOLO 1 LA BIOMASSA.....	7
1.1 Biocombustibili solidi.....	7
1.2 Normativa tecnica.....	8
1.3 I Biocombustibili solidi e le relative normative.....	9
1.3.1 Pellet.....	9
1.3.2 Bricchette.....	10
1.3.3 Cippato di legno.....	11
1.3.4 Legna da ardere.....	13
CAPITOLO 2 TECNOLOGIE DI COMBUSTIONE.....	15
2.1 Impianto termico.....	15
2.1.1 Impianti domestici e civili.....	15
2.1.2 Impianti industriali.....	19
2.2 Il teleriscaldamento.....	20
CAPITOLO 3 FATTORI INQUINANTI.....	23
3.1 Monossido di carbonio.....	23
3.2 Ossido di azoto.....	24
3.3 Ossido di zolfo.....	25
3.4 Particolato PM10 e PM2,5.....	25

3.5 Composti organici volatili (COV).....	26
3.6 Idrocarburi policiclici aromatici (IPA).....	27
CAPITOLO 4 ANALISI DEI DATI RACCOLTI.....	29
CAPITOLO 5 CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI.....	35
BIBLIOGRAFIA.....	40

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 4.1: Sintesi dei fattori di emissioni relativi al monossido di carbonio.....	29
Tabella 4.2: Sintesi dei fattori di emissioni relativi all'ossido di azoto.....	30
Tabella 4.3: Sintesi dei fattori di emissioni relativi all'ossido di zolfo.....	31
Tabella 4.4: Sintesi dei fattori di emissioni relativi alle polveri sottili PM 2,5.....	31
Tabella 4.5: Sintesi dei fattori di emissioni relativi alle polveri sottili PM 10.....	32
Tabella 4.6: Sintesi dei fattori di emissioni relativi ai composti organici volatili.....	33
Tabella 4.7: Sintesi dei fattori di emissioni relativi agli idrocarburi policiclici aromatici.....	33
Tabella 5.1: Tipologie di impianti con relative potenze.....	35
Tabella 5.2: Emissioni totali dei camini semplici.....	37
Tabella 5.3: Emissioni totali delle stufe a pellet.....	37
Tabella 5.4: Emissioni totali della caldaia a pellet.....	38
Tabella 5.5: Variazioni in percentuale degli inquinanti.....	39

ELENCO FIGURE

Figura 2.1: Camino semplice.....	16
Figura 2.2: Termocamino.....	17
Figura 2.3: Stufa a pellet.....	18
Figura 2.4: Stufa a cippato.....	18
Figura 2.5: Caldaia a cippato.....	19
Figura 2.6: Caldaia a pellet.....	20
Figura 5.1: Gradi giorno e relative zone climatiche.....	36

INTRODUZIONE

Il tema dell'inquinamento atmosferico è da diversi anni al centro delle discussioni e dei dibattiti sulle scelte dei sistemi energetici, delle produzioni e dei trasporti. L'uso dei biocombustibili per la produzione di energia contribuisce a questo problema. Tuttavia, l'opinione pubblica e, soprattutto, i media accumulano le responsabilità senza discriminare realtà virtuose da quelle impattanti. La tecnologia degli impianti a biomasse si è evoluta molto in questi anni ed è pensabile in un ulteriore sviluppo delle tecnologie impiantistiche oltre che nell'adozione di corrette soluzioni, nei diversi casi, di generazione di energia.

L'obiettivo di questa tesi è mettere a confronto diverse tipologie di impianti termici alimentati a biomassa solida, valutando i fattori inquinanti emessi dalle combustioni.

Gli impianti a biomasse, seppur in continua crescita negli ultimi anni, sono spesso criticati per quanto riguarda il loro impatto ambientale, dovuto alle cattive combustioni negli impianti definiti tradizionali, ovvero camini, quindi alimentati con semplice legna da ardere. Questi impianti infatti, pur essendo i più diffusi causa la loro economicità e semplicità dell'impianto, sono soggetti a combustioni incomplete, ovvero scarse rese in termini percentuali (spesso inferiori al 60%), dovute principalmente a squilibri nei rapporti ossigeno/combustibile e fasi critiche che corrispondono principalmente alle operazioni di carico del legname.

Gli impianti di nuova generazione, a differenza dei precedenti, sono automatizzati e controllati da speciali centraline che ne gestiscono in modo diretto la combustione, portando le rese a valori maggiori del 90%, con inoltre un secondo, e non ultimo vantaggio, ovvero l'abbattimento degli inquinanti nei fumi di scarico.

Dopo una panoramica sulle attuali tecnologie di combustione dei biocombustibili e degli inquinanti emessi da tali sistemi, verrà proposto un esempio di scenario di utilizzo di diverse tipologie di impianto, confrontando gli inquinanti emessi da ciascuno questi.

Il documento di tesi riporta anche alcuni fattori di emissione desunti da fonti bibliografiche tecniche e scientifiche. Sebbene si tratti di una semplificazione in quanto la misura di questi parametri è complessa e condizionata da molti fattori, riesce comunque a fornire un ordine di grandezza degli effetti di scelte impiantistiche sull'impatto ambientale.

Capitolo 1

LA BIOMASSA

Si definisce biomassa qualsiasi prodotto derivante dalle coltivazioni agricole e forestali, qualsiasi residuo dell'industria del legno e della carta, tutti i prodotti organici derivanti dall'attività biologica degli animali e dell'uomo, come ad esempio i rifiuti solidi urbani (RSU). Si definisce quindi biomassa, qualsiasi sostanza di origine organica, vegetale o animale, destinata ai fini energetici. La biomassa, e in questa tesi ci si riferisce a quella solida, è alla base della produzione di biocombustibili, cioè prodotti energetici standardizzati utilizzabili in appositi impianti termici. Per diventare biocombustibile la biomassa deve essere trasformata mediante processi più o meno semplificati. Di seguito si approfondiscono gli aspetti relativi ai biocombustibili solidi.

1.1 Biocombustibili solidi

I biocombustibili solidi sono caratterizzati principalmente da legno in pezzi, pellet, cippato, briquettes ecc. derivano da colture dedicate o dal recupero di residui legno-cellulositici (agricoli, forestali, agroindustriali) e sono utilizzati in alimentazione ad impianti termici per diversi fini:

- Per il riscaldamento domestico o di impianti tecnologici agro-alimentari (es. serre, capannoni industriali e non, ecc.)
- Possibile raffrescamento (ancora poco esplorato per le biomasse)
- Per calore ad uso nei processi industriali (es. produzione vapore e acqua sanitaria)
- Per il teleriscaldamento (anche di tipo urbano)
- In generale, per generazione di energia elettrica, cogenerazione e trigenerazione

I vari tipi di biocombustibili solidi sono definiti da precise caratteristiche merceologiche e assoggettati a specifiche normative tecniche nazionali ed internazionali che li classificano come

veri e propri “combustibili” associandone dei livelli di qualità (classi di qualità) a seconda delle loro proprietà.

1.2 Normativa tecnica

In Italia, l’attività normativa nel campo dei biocombustibili è demandata all’UNI e supportata dal “Comitato Termotecnico Italiano” (CTI), ente federato dell’UNI.

Le norme e documenti CTI e UNI-CTI non hanno valore cogente a livello giuridico, ma rappresentano un criterio di riferimento per i settori interessati. Possono diventare cogenti se richiamati da disposti legislativi o da rapporti commerciali tra privati. Le norme sui biocombustibili sono prevalentemente recepiti da enti internazionali quali EN e ISO.

Nel campo dei biocombustibili solidi, la norma UNI EN ISO 17225-1 determina le specifiche e la classificazione per biocombustibili solidi costituiti da materiale naturale e trattato derivante da:

- a) Silvicoltura e colture arboree
- b) Agricoltura e orticoltura
- c) Acquacoltura

Tale norma introduce un pacchetto più ampio di norme che caratterizzano i diversi biocombustibili e che nel seguito verrà discusso.

1.3 I biocombustibili solidi e le relative normative

1.3.1 Pellet

Il termine pellet è riferito ad una forma specifica, più opportunamente si tratta di “biocombustibile addensato in genere di forma cilindrica ottenuto comprimendo della biomassa sminuzzata finemente con o senza l’ausilio di additivi di pressatura”. Quindi la composizione del pellet, cioè la biomassa polverizzata, può essere la più varia e ovviamente tale variabilità influisce anche marcatamente sulle caratteristiche del biocombustibile finale.

Caratteristiche fisiche:

- Cilindri di diametro variabile tra 6-10 mm; lunghezza tra 10-50 mm
- Prodotti da “farina di legna” pressata a 100 bar
- Densità 600/700 kg/m³

VANTAGGI:

- ✓ Alimentazione caldaia automatizzata
- ✓ Alto potere calorifico per unità di peso
- ✓ Elevata densità apparente
- ✓ Basso contenuto di umidità
- ✓ Omogeneità fisica e energetica del materiale
- ✓ Processo di produzione complesso ma flessibile
- ✓ Possibilità di valorizzazione del pellet di qualità

SVANTAGGI:

- ✓ Complessa organizzazione della filiera
- ✓ Aumento del costo unitario dell’energia primaria rispetto agli altri combustibili legnosi

La UNI EN ISO 17225-2 determina le specifiche e la classificazione del pellet di legno per uso industriale e non. La norma si riferisce solo al pellet ottenuto dalle seguenti materie prime:

- 1) Bosco, piantagione e altro legno vergine;
- 2) Prodotti e residui dell’industria di lavorazione del legno;
- 3) Legno da recupero.

Non è incluso il legno derivante da demolizioni di edifici o di impianti di ingegneria civile, né quello trattato termicamente mediante il sistema di torrefazione, consistente in un blando pretrattamento della biomassa ad una temperatura compresa tra 200 °C e 300 °C.

1.3.2 Bricchette

I tronchetti o bricchetti sono prodotti con la pressatura della segatura e di altri residui della lavorazione, come paglia, pula di riso, gusci di noci o di caffè. La pressione attiva la forza legante della lignina per cui non occorre aggiungere additivi di qualsiasi tipo. Hanno una forma cilindrica con, a volte, un foro centrale per facilitarne la combustione. In commercio si trovano anche bricchetti a forma di mattone. Quelli cilindrici hanno un diametro intorno ai 10 cm ed una lunghezza intorno ai 25 cm.

Di solito vengono venduti in confezioni tra i 10 e i 20 kg, imballati in scatole di cartone o con una pellicola PE riciclabile, che ne preserva l'umidità, la quale non va oltre il 15%.

VANTAGGI:

- ✓ Facilità di stoccaggio
- ✓ Facilità di approvvigionamento
- ✓ Elevata automazione
- ✓ Valorizzazione di biomasse residuali
- ✓ Possibilità di utilizzo di biomasse residuali a bassa densità energetica in caldaie di piccole dimensioni

SVANTAGGI:

- ✓ Difficoltà sulla garanzia di origine dei componenti
- ✓ Dispendi di energie di realizzazione
- ✓ Prezzi più elevati

La UNI EN ISO 17225-3 determina le specifiche e la classificazione delle bricchette di legno per uso industriale e non. La norma si riferisce solo alle bricchette ottenute dalle seguenti materie prime:

- 1) Bosco, piantagione e altro legno vergine;
- 2) Prodotti e residui dell'industria di lavorazione del legno;
- 3) Legno da recupero.

Non è incluso il legno derivante da demolizioni di edifici o di impianti di ingegneria civile, né quello trattato termicamente mediante il sistema di torrefazione, consistente in un blando pretrattamento della biomassa ad una temperatura compresa tra 200 °C e 300 °C.

1.3.3 Cippato di legno

Il cippato è legno ridotto in scaglie con dimensioni variabili da alcuni millimetri a qualche centimetro. Viene prodotto a partire da tronchi e ramaglia attraverso una cippatrice.

Ha avuto una notevole diffusione nel corso degli ultimi anni grazie alla possibilità di rendere automatizzata l'alimentazione delle caldaie per effetto della riduzione di legna in pezzi di piccole dimensioni.

Per mezzo della cippatura si ha un migliore sfruttamento della biomassa disponibile, dato che si può cippare anche quel materiale che non potrebbe essere trasformato in alcun assortimento convenzionale poiché piccolo o difettoso.

Difatti la cippatura consente di recuperare un 15-20% di biomassa che altrimenti sarebbe abbandonata in bosco come residuo. Cippare anche questo materiale non solo aumenta la resa ad ettaro, ma risolve lo spinoso problema dei residui di utilizzazione, che le misure di prevenzione degli incendi boschivi impongono di asportare o eliminare.

La cippatura consente di ridurre il volume apparente degli scarti forestali, agevolandone la movimentazione e il trasporto. Una tonnellata di cippato fresco occupa circa 3 metri cubi, contro i 10 necessari per contenere la stessa quantità di ramaglia tal quale.

Il cippato per essere tale deve derivare da una operazione di taglio e non di sfibratura, in tal senso le macchine "sfibratrici" nate per sminuzzare il legno, secondo superfici irregolari per aumentare l'area per l'attacco microbico, ed avviarlo a processi di compostaggio non sono

adatte a produrre un cippato idoneo ad essere veicolato, in coclee ad esempio, in impianti automatizzati.

Un aspetto importante è l'umidità del cippato che è bene non sia superiore al 30%.

La bassa umidità è un fattore fortemente limitante per i microrganismi xilofagi, che ne compromettono la sanità del prodotto. Infatti, lo stoccaggio dovrebbe avvenire in ambienti aperti, ventilati (meglio se coperti da tettoie), in cumuli non molto grandi per garantire un rapido passaggio di aria.

VANTAGGI

- ✓ Alimentazione automatica della caldaia
- ✓ Costi più bassi rispetto agli altri assortimenti legnosi
- ✓ Opportunità di utilizzare ulteriori porzioni di bosco, altrimenti lasciate ingestite
- ✓ Basso costo dell'energia primaria

SVANTAGGI

- ✓ Complessa organizzazione di filiera
- ✓ Costi di acquisto dedicati a sistemi di stoccaggio e alimentazione, ancora relativamente elevata
- ✓ Pericoli di fermentazione con valori di umidità >30%

La UNI EN ISO 17225-4 determina le specifiche e la classificazione del cippato di legno. La norma si riferisce solo al cippato di legno ottenuto dalle seguenti materie prime:

- 1) Bosco, piantagione e altro legno vergine
- 2) Prodotti e residui dell'industria di lavorazione del legno
- 3) Legno da recupero non trattato chimicamente

1.3.4 Legna da ardere

La legna da ardere rappresenta ancora oggi il principale combustibile di uso domestico per circa 1/3 della popolazione mondiale. L'ottenimento della legna in pezzi necessita di una serie di operazioni più o meno complesse in funzione della collocazione degli alberi da cui essa deriva.

In linea generale comprende le seguenti fasi:

- abbattimento
- allestimento
- concentramento
- esbosco

Normalmente la legna da ardere viene ridotta in pezzi di diametro compreso tra 5 e 30 cm e lunghi circa 1 m.

Tale pezzatura (1 m) può essere utilizzata in alcune caldaie specifiche o forni, ma più comunemente questa viene divisa in due o tre parti per l'utilizzo domestico in caminetti o stufe.

Un'ulteriore lavorazione della legna a pezzi è la sua spaccatura in senso longitudinale che viene applicata alle pezzature con diametri maggiori che viene fatta meccanicamente con spaccatrici o con "taglia-spacca" combinate.

Spesso alla legna a pezzi si accompagna la stagionatura che può durare circa 1 anno, portando l'umidità della legna a circa il 25%; nel caso di stagionature più prolungate (2 anni) l'umidità si può ridurre fino al 15%.

L'utilizzo di questo combustibile per riscaldamento è prevalente in ambito rurale o montano, a livello domestico e più raramente in qualche caldaia con alimentazione di tipo manuale e con relativamente bassa efficienza energetica (50-60%).

VANTAGGI

- ✓ Facilità di reperimento sul mercato
- ✓ Facilità di accatastamento e stoccaggio
- ✓ Minori costi rispetto ai combustibili legnosi densificati
- ✓ Basso costo dell'energia primaria

SVANTAGGI

- ✓ Difficoltà di automatizzazione del caricamento della caldaia
- ✓ Basso rendimento energetico degli apparecchi termici predisposti per questa tipologia di combustibile
- ✓ Continua necessità di rimozione delle ceneri

La UNI EN ISO 17225-5 determina le specifiche e la classificazione della legna da ardere. La norma si riferisce solo alla legna da ardere ottenuta dalle seguenti materie prime:

- 1) Interi alberi senza le radici
- 2) Residui di legno non trattati chimicamente
- 3) Tronchi
- 4) Residui di potatura (grossi rami, cime, ecc...)

Esistono varie tipologie di impianti a biomassa civili e industriali, differenziati sia dalla quantità di energia prodotta, sia dal sistema di alimentazione della materia prima che può essere manuale o a caricamento autonomo e costante. In genere, le caldaie a biomassa autonome vengono impiegate per impianti di teleriscaldamento di interi quartieri o paesi.

Capitolo 2

TECNOLOGIE DI COMBUSTIONE

La combustione è un processo chimico-fisico che comporta l'ossidazione di un combustibile da parte di un comburente, con sviluppo di energia sotto forma di calore. Nella reazione il carbonio si combina con l'ossigeno per formare l'anidride carbonica liberando calore, mentre l'idrogeno si combina con l'ossigeno liberando vapore acqueo. Di fatto l'ossigeno è il comburente della reazione che deve essere in proporzioni adeguate al combustibile perché la combustione abbia luogo.

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 è alta la probabilità di formare composti che possono rappresentare una fonte di rischio per l'ambiente oltre che una perdita di combustibile. La qualità dell'apparecchio termico, la dimensione, la tecnologia implementata in esso e le caratteristiche del biocombustibile sono di fondamentale importanza in questi processi. Seguono alcune brevi caratteristiche dei sistemi di combustione a biomasse.

2.1 Impianto termico

L'impianto termico è un impianto tecnologico destinato alla produzione di acqua calda per riscaldamento, per usi sanitari, o entrambi. L'impianto comprende sistemi di produzione, distribuzione e di diffusione del calore. In base alle potenze (kW) vengono distinti in impianti domestici-civili e in impianti industriali.

2.1.1 Impianti domestici e civili

Sono normalmente impianti di piccole e medie potenze, destinati prevalentemente al riscaldamento di singole abitazioni o fabbricati. Sono impianti semplici e non soggetti ad

obblighi in materia di controllo in continuo delle emissioni. Possono essere – in alcuni casi – svolte delle verifiche in fase di autorizzazione.

A. CAMINO A LEGNA: è il sistema più semplice e allo stesso tempo il più diffuso, è costituito da un braciere e da una canna fumaria collegata con l'esterno. L'alimentazione avviene tramite semplice legna da ardere. È presente in diverse varianti, dai più semplici ai più complessi ed efficienti sistemi. Si distinguono in:

- CAMINO SEMPLICE: il più semplice e il meno efficiente, costituito da un braciere aperto e la fiamma diffonde liberamente il calore nella stanza tramite irraggiamento (Figura 2.1). Presenta una cattiva combustione in quanto il rapporto combustibile-aria non può essere regolato, quindi è soggetto a combustione “povera”, ovvero eccesso di ossigeno.



(Figura 2.1) – Camino semplice

- **TERMOCAMINO:** è un sistema più evoluto e caratterizzato da un braciere non a diretto contatto con l'ambiente, ma diviso da un vetro resistente alle alte temperature, qui il calore viene ceduto in parte per irraggiamento e in parte per conduzione, perché nel camino viene scaldata l'acqua che poi verrà immessa in impianti appositi dediti alla distribuzione e al riscaldamento (Figura 2.2).



(Figura 2.2) - Termocamino

B. **STUFA A PELLETT:** è un apparecchio simile alla stufa a legna, adibita al riscaldamento di ogni tipo di ambiente, che utilizza come combustibile solido il pellet. È considerato un prodotto ecologico – nonostante derivi da un processo industriale - poiché per ottenere pellet vengono di norma utilizzati gli scarti di lavorazione del legno. Necessita di un collegamento alla rete elettrica come un comune elettrodomestico (Figura 2.3). Funziona in maniera automatica, accendendosi tramite una resistenza elettrica e ha un'autonomia di funzionamento in base alla capacità del proprio serbatoio di pellet. Ha una canna fumaria di misure ridotte (80 – 100 mm). Non ha fuoriuscite di fumo nell'abitazione in quanto la camera di combustione è ermetica e l'aria ha una circolazione forzata. Può essere collegata ad un impianto di riscaldamento ed è in grado di produrre acqua calda sanitaria.



(Figura 2.3) – Stufa a pellet

C. STUFA A CIPPATO: nel caso di apparecchi di piccole e medie potenze, assume l'aspetto di una stufa a pellet, tant'è che in commercio la si trova con la doppia alimentazione ossia pellet/cippato (Figura 2.4). È caratterizzata, come per il pellet, da un'alimentazione autonoma del combustibile nella camera di combustione per mezzo di una coclea, quindi anch'essa necessita di un collegamento ad una rete elettrica. Ha un ottimo rendimento che si aggira attorno all'86%, dato appunto dalla regolazione elettronica dell'immissione di ossigeno, che permette una buona combustione e quindi un alto rilascio di calorie.



(Figura 2.4) – Stufa a cippato

2.1.2 Impianti industriali

Sono impianti di medie e grandi potenze, destinati prevalentemente al riscaldamento di più unità abitative, capannoni, serre o fabbriche, con produzione di elevate potenze. Sono impianti complessi e automatizzati, soggetti ad obblighi in materia di controllo elettronico e al trattamento dei gas di scarico inquinanti.

- A. CALDAIA A CIPPATO (Figura 2.5): sebbene non sia di moderna invenzione, ha compiuto passi da gigante a partire dagli anni '80, soprattutto nell'ambito delle caldaie: in un primo momento, infatti, questo combustibile era in grado di garantire performance che si aggiravano intorno al 50% o 60%, mentre oggi, le prestazioni delle caldaie a cippato si spingono oltre, fino a giungere un'attività al 90%, divenendo così pari a quelle tradizionali, funzionanti a gas. Le potenze dei modelli industriali sono spesso sopra i 500 kW per raggiungere valori dell'ordine di decine di MW.



(Figura 2.5) – Caldaia a cippato

B. CALDAIA A PELLETT (Figura 2.6): L'autonomia del carico e la funzionalità dell'intero impianto della caldaia a pellet sono garantiti dal sistema con modulazione lineare della potenza, gestito da una centralina a microprocessore. Il particolare sistema di produzione del calore permette di utilizzare solo il combustibile necessario al riscaldamento in maniera omogenea e senza eccessi con una resa termica che si aggira intorno all'85-90%. La caldaia presenta un recipiente contenente acqua o un altro fluido, che viene riscaldato e, collegata a un sistema di tubi, l'acqua viene riscaldata grazie alla temperatura elevata dei fumi durante la combustione che cedono il loro calore allo scambiatore termico.



(Figura 2.6) – Caldaia a pellet

2.2 Il teleriscaldamento

Per teleriscaldamento si intende un sistema di unità di riscaldamento a distanza. Attraverso una rete di condutture, trasporta il calore generato da grandi centrali di cogenerazione (anch'esse gestite "da remoto") alle singole strutture abitative. In questi tipi di impianti vengono impiegate caldaie che generano elevate potenze, dimensionate in relazione alle esigenze della rete, del tipo di utenze e di eventuali altre esigenze (es. produzione di calore industriale, produzione di energia elettrica).

Il teleriscaldamento riduce gli sprechi energetici e ha un minor impatto ambientale rispetto ai tradizionali metodi di riscaldamento a caldaia singola. Infatti, l'impatto di un singolo camino

collegato ad una caldaia ottimizzata e con sistemi di controllo delle emissioni è inferiore rispetto a quello di tanti piccoli camini collegati a impianti domestici di piccola utenza e di tecnologia inferiore. Inoltre, vengono ridotti i costi di trasporto e di manutenzione rispetto alla caldaia per ogni appartamento. Risultano evidenti le economie di scala che si instaurano concentrando la funzione di riscaldamento in un unico impianto per diverse unità abitative. Se adeguatamente realizzate, le centrali di cogenerazione garantiscono livelli di inquinamento estremamente contenuti.

Una centrale di cogenerazione o teleriscaldamento è un grande impianto che produce calore ed energia elettrica e lo distribuisce all'area urbana circostante. Dalla centrale, il calore viene trasmesso al fluido termovettore (non obbligatoriamente acqua). Questo viene poi distribuito attraverso una rete di condotte verso le utenze finali tramite tubazioni primarie e secondarie.

Ad un certo punto la rete di tubazioni primaria incontra quella secondaria degli utenti e avviene lo scambio di calore attraverso le sotto-centrali installate presso i diversi edifici. Il calore viene trasferito nell'acqua delle tubazioni secondarie degli utenti e può essere utilizzato per riscaldare gli ambienti o per costituire acqua calda sanitaria.

Infine, il fluido termovettore, che ha ormai perso il suo calore, torna verso la centrale di teleriscaldamento. Qui potrà essere nuovamente riscaldato e ridistribuito.

Esistono diversi vantaggi dati da un impianto di teleriscaldamento, di seguito ne sono elencati i principali:

- il controllo dei fumi emessi dai camini delle centrali di cogenerazione è più rigido e frequente rispetto a quello degli impianti condominiali e indipendenti.
- la scelta del combustibile di alimentazione. Viene effettuata a seconda della convenienza economica del momento e della sua disponibilità sul mercato. Non solo, è possibile tenere conto delle risorse peculiari delle aree dove il calore viene generato.
- costi specifici di manutenzione ridotti. Elimina problematiche dovute per esempio al necessario spazio da destinare all'accumulo di biomassa e problemi dovuti alla manutenzione periodica delle caldaie.

- Infine, consente anche un risparmio pro-capite decisamente elevato, considerando l'elevata efficienza degli impianti moderni.

Capitolo 3

FATTORI INQUINANTI

Gli impianti a biomassa, anche se considerati sostenibili dal punto di vista ambientale, rispetto ai combustibili fossili producono degli inquinanti tossici e cancerogeni in quantità variabile in base alle dimensioni dell'impianto e al tipo di combustibile usato. Ogni impianto termico, per essere considerato conforme alla legge, ha un limite massimo di valore riguardo la concentrazione di ogni singolo inquinante, utilizzando come unità di misura standardizzata "mg/Nm³", che esprime i milligrammi di inquinanti presenti in un volume noto di gas a condizioni standardizzate, ovvero a pressione atmosferica e alla temperatura di 0°C. Di seguito sono elencati i principali inquinanti prodotti dagli impianti termici, descritti da una breve nota tecnica.

3.1 Monossido di carbonio (CO)

Il monossido di carbonio è un gas velenoso che è particolarmente pericoloso perché è inodore e insapore. Pertanto, è praticamente impossibile capire che si sta respirando monossido di carbonio e questo lo caratterizza per pericolosità. È composto da un atomo di carbonio e uno di ossigeno uniti da doppio legame. Questo gas è noto per essere generato da impianti termici malfunzionanti e che spesso lavorano in difetto di aria. La produzione di CO è comunque diffusa in altri contesti. Tra questi gli incendi di boschi e foreste, ma anche di eruzioni vulcaniche.

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 diminuendo, di conseguenza, le reazioni di ossidazione.

A provocare lo stato di incoscienza fino alla morte è la combinazione tra questo gas e l'emoglobina, la mioglobina e la citocromo-c ossidasi e la diminuzione di ossigeno a

disposizione: insomma, il monossido di carbonio impedisce al nostro corpo di disporre di ossigeno di cui ha bisogno per sopravvivere.

3.2 Ossido di azoto (NO_x)

Il biossido d'azoto, un tipico inquinante dell'aria esterna, originato prevalentemente dal traffico veicolare - è anche tra gli inquinanti più comuni dell'aria indoor. In questi ultimi ambienti, l'esposizione a questo composto può risultare, in assenza di adeguata ventilazione, anche superiore a quella dell'aria esterna.

Le quantità di NO_x dipendono dal tipo di combustibile 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°C e 1200°C. In atmosfera si trovano in diverse combinazioni ma solo due interessano l'inquinamento dell'aria, ovvero l'ossido di azoto (NO) e il biossido di azoto (NO₂).

Si forma a partire dall'azoto presente in atmosfera in presenza di elevate temperature e di una grossa quantità di ossigeno. Va precisato che, in caso di combustione ideale, tra i prodotti della stessa non ci sarebbero gli ossidi di azoto, visto che quest'ultimo, come noto, è inerte a temperature contenute. Pertanto è proprio a causa delle elevate temperature raggiunte durante le fasi intermedie della combustione che le molecole di azoto (N₂) si dissociano in azoto atomico che risulta invece estremamente reattivo a contatto con ossigeno, a sua volta atomicamente dissociato, portando alla formazione di NO. Il successivo drastico abbassamento di temperatura, riscontrabile nella fase terminale della combustione nei motori alternativi o lontano dalla fiamma nei bruciatori di caldaie, congela la reazione sopra descritta impedendo la riassociazione dell'azoto e dell'ossigeno, scaricando quindi a valle il sottoprodotto NO.

Nelle abitazioni si riscontrano generalmente concentrazioni inferiori a 0,1 mg/m³, tuttavia si possono verificare livelli più elevati (superiori a 0,2 mg/m³), soprattutto durante la cottura di cibi con stufe a gas o durante l'uso di stufe a cherosene.

Il biossido di azoto ha un odore pungente e può provocare irritazione oculare, nasale o a carico della gola e tosse. Alterazioni della funzionalità respiratoria si possono verificare in soggetti sensibili, quali bambini, persone asmatiche o affette da bronchite cronica. Una sintomatologia

precoce a carico delle prime vie aeree in soggetti con patologia polmonare può manifestarsi a partire da concentrazioni pari a 0,2 mg/m³.

3.3 Ossido di zolfo (SO_x)

Incolore, irritante, non infiammabile, molto solubile in acqua e dall'odore pungente, l'SO₂ per giunta, essendo più pesante dell'aria, tende a stratificarsi nelle zone più basse, quindi più a rischio di contatto con le persone. Ad oggi, è uno degli inquinanti atmosferici più diffusi, è considerato dagli esperti uno dei più aggressivi e pericolosi. Essendo spesso emesso da sorgenti antropogeniche è chiaro che ci si chiede e ci si deve continuare a chiedere come è possibile far decrescere la sua concentrazione in atmosfera.

È necessario agire sui processi di combustione delle sostanze che contengono questo elemento perché è in essi che viene prodotto, anche come impurezza, oppure come costituente fondamentale.

Le biomasse solide, come cippato, legna da ardere e residui agricoli, contengono naturalmente piccole quantità di zolfo, soprattutto nella parte corticale. Nella fase di combustione della biomassa si genera SO₂, che per effetto della progressiva riduzione della temperatura della caldaia, si condensa sugli scambiatori di calore e sulle particelle volatili di cenere. La concentrazione dello zolfo nelle emissioni può essere innalzata dalla presenza di colle e vernici. L'SO₃ ha origine dall'ossidazione dell'anidride solforosa. Detta anche anidride solforica o triossido di zolfo, essa reagendo con l'acqua, anche sotto forma di vapore, produce rapidamente acido solforico che è poi il "colpevole" quando si osserva il fenomeno delle piogge acide.

3.4 Particolato PM₁₀ e PM_{2,5}

L'aria contiene in sospensione del pulviscolo che può essere innocuo, se d'origine naturale e presente in piccole quantità, o dannoso, se abbondante ed inalabile. Le fonti possono essere di origine naturale o antropica quali fuliggine e processi di combustione. La composizione risulta

pertanto molto varia sia organica che inorganica (metalli pesanti, solfati, nitrati, ammonio, carbonio organico, idrocarburi policiclici aromatici). Possono essere classificate due classi principali di particolato, suddivise sia per dimensioni, sia per composizione: particolato grossolano e particolato fine. Il particolato grossolano è costituito da particelle, compresi pollini e spore, con diametro superiore a 10 µm (micron). Sono in genere trattenuti dalla parte superiore dell'apparato respiratorio (naso, laringe). Vengono definite polveri fini le particelle di polvere con un diametro aerodinamico inferiore a 10 µm (PM10), in grado di penetrare nel tratto respiratorio superiore (naso, faringe e trachea) e le particelle con diametro inferiore a 2,5 micrometri (PM2,5), particolato fine in grado di penetrare profondamente nei polmoni.

La produzione di polveri è legata alla cattiva combustione della parte organica, dove le molecole organiche intermedie della combustione condensano fuori camino e producono particelle solide.

Il particolato aerodisperso è in grado di adsorbire gas e vapori tossici sulla superficie delle particelle. Tale fenomeno contribuisce ad aumentare le concentrazioni degli inquinanti gassosi che raggiungono le zone più profonde del polmone, trasportati dalle particelle PM10 e PM2.5. Numerosi studi hanno evidenziato una correlazione tra esposizione acuta a particolato aerodisperso e sintomi respiratori, alterazioni della funzionalità respiratoria, ricoveri in ospedale e mortalità per malattie respiratorie. Inoltre, l'esposizione prolungata nel tempo a particolato, già a partire da basse dosi, è associata all'incremento di mortalità per malattie respiratorie e di patologie quali bronchiti croniche, asma e riduzione della funzionalità respiratoria. L'esposizione cronica, inoltre, è verosimilmente associata ad un incremento di rischio di tumore delle vie respiratorie. Il cancro è stato associato in particolare con l'esposizione a particolato di combustione (particolato più fine).

3.5 Composti organici volatili (COV)

Con la dicitura composti organici volatili (COV), si intendono tutta quella serie di composti organici, prodotti dalle attività umane o naturali, che si trovano allo stato di gas alle condizioni di temperatura e pressione esistenti a livello troposferico.

Possono essere semplici idrocarburi saturi o insaturi a molecola lineare e non, composte esclusivamente da carbonio e idrogeno, o molecole più complesse in cui, tra i più diffusi, sono presenti atomi di azoto, cloro e ossigeno (chetoni, aldeidi, alcoli, acidi ed esteri). In particolare, di maggiore interesse in campo atmosferico, a causa del loro importante ruolo nella formazione di specie ossidanti, è la classe degli alcheni, fra cui l'isoprene e i monoterpeni, composti particolarmente reattivi emessi naturalmente dalle piante.

Su scala globale, le emissioni naturali ed antropogeniche dei COV sono dello stesso ordine di grandezza.

Questo è giustificabile con l'elevato numero di processi di decomposizione biologica della materia organica dalle biomasse, quantità più modeste sono invece attribuibili ad attività geotermiche, dai giacimenti fossili, di gas naturale, e di petrolio e nei processi di combustione. 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 da una combustione incompleta, hanno una stretta correlazione con la CO, quindi elevati livelli di CO indicano una combustione incompleta e di conseguenza elevati livelli di COV.

3.6 Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) costituiscono una vasta classe di composti organici la cui caratteristica strutturale è la presenza di due o più anelli benzenici uniti tra loro. Sono usualmente suddivisi in funzione del peso molecolare e del numero d'atomi che comprendono in IPA leggeri (2-3 anelli condensati) e IPA pesanti (4-6 anelli). In particolare, con il nome di IPA si individuano quei composti contenenti solo atomi di carbonio e idrogeno (vale a dire gli IPA non sostituiti e i loro derivati alchil-sostituiti), mentre con il nome più generale di "composti policiclici aromatici" s'intendono anche i derivati funzionali (es. i nitro-IPA) e gli analoghi eterociclici (es. gli aza-areni). A temperatura ambiente tutti gli IPA sono comunque allo stato solido. Presentano un alto punto di fusione e d'ebollizione, una bassa pressione di vapore e una scarsissima solubilità in acqua; in genere la solubilità in acqua diminuisce con

l'aumentare del peso molecolare. Gli IPA sono solubili nella maggioranza dei solventi organici. La pressione di vapore generalmente tende a diminuire con l'aumentare del peso molecolare e questa circostanza influenza le differenti percentuali con cui i singoli IPA sono assorbiti sul particolato atmosferico. Composti a basso peso molecolare sono quasi totalmente presenti nella fase gassosa, mentre composti con 5 o più anelli sono per lo più assorbiti sul particolato atmosferico. Gli IPA sono chimicamente piuttosto stabili, anche se in seguito a fotodecomposizione in presenza d'aria e luce danno luogo a molti prodotti d'ossidazione, soprattutto chinoni. Studi sperimentali hanno evidenziato la capacità degli IPA di reagire anche con ossidi d'azoto e acido nitrico per formare nitroderivati, nonché con ossidi di zolfo e acido solforico per formare i relativi acidi solfinici e solfonici. Gli IPA si formano durante la combustione incompleta o la pirolisi di materiale organico contenente carbonio, come carbone, legno, prodotti petroliferi e rifiuti. Il meccanismo di formazione degli IPA durante il processo di combustione è alquanto complesso; consiste principalmente nella ripolimerizzazione di frammenti d'idrocarburo, che si formano durante il processo noto come cracking (la frammentazione in numerose parti delle molecole più grosse del combustibile a contatto con il fuoco). La reazione di ripolimerizzazione avviene soprattutto in condizioni di mancanza d'ossigeno e, conseguentemente, la velocità di formazione degli IPA aumenta con il diminuire del rapporto ossigeno/combustibile.

Capitolo 4

ANALISI DEI DATI RACCOLTI

Nelle tabelle di seguito sono riportati i fattori di emissioni reperiti dalla letteratura scientifica, corrispondenti ai principali impianti alimentati a biomassa solida. Per semplificare la lettura della tabella sono riportati i valori minimi, massimi e medi indicati dalle diverse fonti analizzate; il numero di dati raccolti (che corrisponde al numero di analisi per tipologia di impianto), la potenza termica del sistema energetico (kW), il rendimento dell'impianto. Questa modalità di riportare i dati si estende a tutte le tabelle, ciascuna relativa ad un diverso parametro inquinante oggetto di questa ricerca.

		CO (mg/MJ)			N° DATI	POTENZA	RENDIMENTO
		MIN	MAX	MEDIO			
IMPIANTI TERMICI	CAMINO SEMPLICE/APERTO	5037	7900	5906	6	8 kW	51%
	TERMOCAMINO	4471	7500	5491	5	11 kW	82%
	STUFA A PELLETT	88	990	516	5	9 kW	91%
	CALDAIA A PELLETT	43	561	363	4	25 kW	93%
	CALDAIA A CIPPATO	168	182	175	1	80 kW & 570 kW	>91%

Tabella 4.1 – Sintesi dei fattori di emissioni relativi al monossido di carbonio.

I dati della Tabella 4.1 evidenziano fattori di emissione del monossido di carbonio compresi tra 175 mg/MJ e 5906 mg/MJ evidenziati tra le tecnologie più semplificate (il camino aperto) e quelle più innovative e rispondenti a standard tecnologici moderni (caldaie a cippato) e di potenza più elevata. Le prestazioni degli impianti automatizzati sono molto migliori rispetto ai sistemi a carico manuale che si confermano particolarmente inquinanti. È interessante osservare come nel caso della caldaia a cippato i valori minimi e massimi del fattore di emissione sono

vicini al valore medio. Ciò denota anche una stabilità di funzionamento del sistema che mantiene quindi relativamente costante la prestazione emissiva. Soprattutto negli impianti a carico manuale le concentrazioni di CO sono caratterizzate da valori di picco molto elevati, che possono essere collegati alle varie fasi di avvio della combustione nel periodo successivo a ciascuna ricarica di combustibile o alla fase di spegnimento del sistema. In questi casi si assiste ad una riduzione dell'ossigeno o ad un abbassamento della temperatura del sistema riducendo la cinetica del sistema.

		NOx (mg/MJ)			N° DATI	POTENZA	RENDIMENTO
		MIN	MAX	MEDIO			
IMPIANTI TERMICI	CAMINO SEMPLICE/APERTO	11	540	45	9	<50 kW	51%
	TERMOCAMINO	88	88	88	5	<50 kW	82%
	STUFA A PELLETT	44	282	84	39	<50 kW	91%
	CALDAIA A PELLETT	60	146	92,2	78	25 kW	93%
	CALDAIA A CIPPATO	/	/	124	1	2050 kW	>90%

Tabella 4.2 – Sintesi dei fattori di emissioni relativi all'ossido di azoto.

I dati della Tabella 4.2 relativi alle emissioni di ossidi di azoto derivanti dalla combustione evidenziano valori non superiori ai 124 mg/MJ, dato rappresentato dalla caldaia a cippato presa in prova. Questa è impiegata in un sistema di teleriscaldamento e quindi caratterizzata da elevate potenze, riuscendo a sviluppare a pieno regime fino a 2050 Kw. Le concentrazioni di NOx quindi, non variano da impianti tradizionali con carica manuale a quelli automatizzati, infatti le quantità emesse dipendono soprattutto dal tipo di combustibile (sua concentrazione di azoto) e dalle condizioni di combustione.

		SOx (mg/MJ)			N° DATI	POTENZA	RENDIMENTO
		MIN	MAX	MEDIO			
IMPIANTI TERMICI	CAMINO SEMPLICE/APERTO	10	13	11,5	2	8 kW	51%
	TERMOCAMINO	13	20	16,5	2	11 kW	82%
	STUFA A PELLETT	13	20	16,5	2	9 kW	91%
	CALDAIA A PELLETT	13	20	16,5	2	25 kW	93%
	CALDAIA A CIPPATO	/	/	/	/	/	/

Tabella 4.3 – Sintesi dei fattori di emissioni relativi all’ossido di zolfo.

Dalla Tabella 4.3 rappresentante i valori registrati di ossidi di zolfo nei vari impianti, si nota subito la presenza di dati molto bassi, dovute al fatto che le biomasse legnose solide sono in genere povere di zolfo. In tutte le tipologie di impianto i valori massimi di SOx non superano i 20 mg/MJ, con una media attorno ai 16,5 mg/MJ, non dipendente dal tipo di alimentazione. Tuttavia ci possono essere contaminazioni dovute ad esempio a colle, vernici o additivi. Nel caso del cippato l’S_Ox non viene preso in considerazione e quindi non analizzato.

		PM _{2,5} (mg/MJ)			N° DATI	POTENZA	RENDIMENTO
		MIN	MAX	MEDIO			
IMPIANTI TERMICI	CAMINO SEMPLICE/APERTO	488	712	600	3	8 kW	51%
	TERMOCAMINO	127	810	468,5	4	11 kW	82%
	STUFA A PELLETT	29	105	67	3	9 kW	91%
	CALDAIA A PELLETT	42	46	44	2	25 kW	93%
	CALDAIA A CIPPATO	13	15	14	/	80 kW & 570 kW	>91%

Tabella 4.4 – Sintesi dei fattori di emissioni relative alle polveri sottili PM 2,5.

Nella Tabella 4.4, sono rappresentati i valori riguardanti le polveri sottili PM 2,5. I valori massimi di PM 2,5 sono stati riscontrati negli impianti a carica manuale, con picchi massimi fino a 810 mg/MJ e una media dieci volte più alta rispetto alle medie dei sistemi automatizzati. La presenza di tali polveri è legata alla cattiva combustione della parte organica delle biomasse, ovvero alla “combustione incompleta”, dove il rapporto ossigeno/combustibile non è ottimale.

		PM10 (mg/MJ)			N° DATI	POTENZA	RENDIMENTO
		MIN	MAX	MEDIO			
IMPIANTI TERMICI	CAMINO SEMPLICE/APERTO	500	860	628	5	8 kW	51%
	TERMOCAMINO	189	689	412	5	11 kW	82%
	STUFA A PELLETT	30	107	65	5	9 kW	91%
	CALDAIA A PELLETT	14	53	33	2	25 kW	93%
	CALDAIA A CIPPATO	11	2101	270	/	80 kW & 570 kW	>91%

Tabella 4.5 – Sintesi dei fattori di emissioni relativi alle polveri sottili PM 10.

La Tabella 4.5 riporta, in ordine, i valori minimi, massimi e medi delle quantità di polveri sottili PM 10 raccolti dalle analisi dei vari impianti. I valori medi più bassi dati da 33 mg/MJ si riscontrano negli impianti ad alimentazione e regolazione automatica, a differenza del valore più alto riscontrato nel camino aperto, 628 mg/MJ, ovvero in un sistema semplice a caricamento manuale, con valori minimi acquisiti di gran lunga superiori ai valori massimi registrati nel pellet. Nel caso della caldaia a cippato, pur essendo un sistema automatizzato, con apporto controllato di ossigeno e combustibile, si sono riscontrati valori medi più elevati, attorno ai 270 mg/MJ, con picchi massimi che hanno raggiunto i 2101 mg/MJ. Questo risultato probabilmente è riconducibile all'elevata potenza della centrale di teleriscaldamento presa in esame, che

sviluppa a pieno regime 570 kW. Alcuni impianti possono essere dotati di speciali filtri che abbattano in modo consistente la quantità di polveri nei fumi di scarico.

		COV (mg/MJ)			N° DATI	POTENZA	RENDIMENTO
		MIN	MAX	MEDIO			
IMPIANTI TERMICI	CAMINO SEMPLICE/APERTO	1000	2800	1603	3	8 kW	51%
	TERMOCAMINO	450	1100	699	3	11 kW	82%
	STUFA A PELLETT	9	110	44,6	3	9 kW	91%
	CALDAIA A PELLETT	0,4	6	2,4	3	25 kW	93%
	CALDAIA A CIPPATO	/	/	21	1	80 kW & 570 kW	>91%

Tabella 4.6 – Sintesi dei fattori di emissioni relativi ai composti organici volatili.

La Tabella 4.6 riporta i risultati delle analisi riguardo i COV (composti organici volatili). Dai risultati si notano valori molto elevati negli impianti a carica manuale, con picchi di valori massimi di 2800 mg/MJ nel camino semplice. Negli impianti automatici si riscontrano valori inferiori ai 45 mg/MJ per tutte e 3 le tipologie di impianto, con il dato più basso nella caldaia a pellet, dove il quantitativo di COV si aggira attorno a 2,4 mg/MJ. Negli apparecchi alimentati manualmente si ha una combustione incompleta. Nella caldaia a pellet e cippato abbiamo valori notevolmente bassi, dati da una combustione di gran lunga più efficiente.

		IPA (mg/MJ) benzo(a)pirene			N° DATI	POTENZA	RENDIMENTO
		MIN	MAX	MEDIO			
IMPIANTI TERMICI	CAMINO SEMPLICE/APERTO	130	300	180	1	8 kW	51%
	TERMOCAMINO	12	150	100	1	11 kW	82%
	STUFA A PELLETT	7,4	8,1	7,7	2	9 kW	91%
	CALDAIA A PELLETT	0,2	1,5	0,8	2	25 kW	93%
	CALDAIA A CIPPATO	/	/	/	/	80 kW & 570 kW	>91%

Tabella 4.7 – Sintesi dei fattori di emissioni relativi agli idrocarburi policiclici aromatici.

La Tabella 4.7 riporta i dati raccolti dalle analisi degli IPA (idrocarburi policiclici aromatici) presenti nei fumi di scarico. Valori molto bassi, al di sotto dei 10 mg/MJ sono stati appresi dalle analisi degli impianti alimentati a pellet, in particolare nella caldaia, con valori minimi di 0,2 mg/MJ e medi attorno ai 0,8 mg/MJ. I valori più alti, attorno ai 300 mg/MJ, sono stati riscontrati dalle analisi dei camini aperti, quindi sistemi semplici ad alimentazione manuale e quindi a combustione incompleta. Infatti la produzione di IPA aumenta con in 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.

Capitolo 5

CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI

Per rendere più chiaro il confronto tra impianti tradizionali e di nuova generazione, è stato fatto un esempio, prendendo in considerazione tre situazioni differenti, ognuna con una tipologia di impianto diversa, con caratteristiche riportate nella Tabella 5.1, testate in 8 abitazioni medie di circa 100 mq l'una, situate in una fascia climatica media contrassegnate da 1100 h/annue di utilizzo.

ORE FUNZIONAMENTO (hr)	TIPOLOGIA IMPIANTO	POTENZA kW	NUMERO IMPIANTI	MJ ANNUI
1100	TERMOCAMINO	15	8	36667
	STUFA A PELLETT	15	8	36667
	CALDAIA A PELLETT	120	1	36667

(Tabella 5.1) – Tipologie di impianti con relative potenze

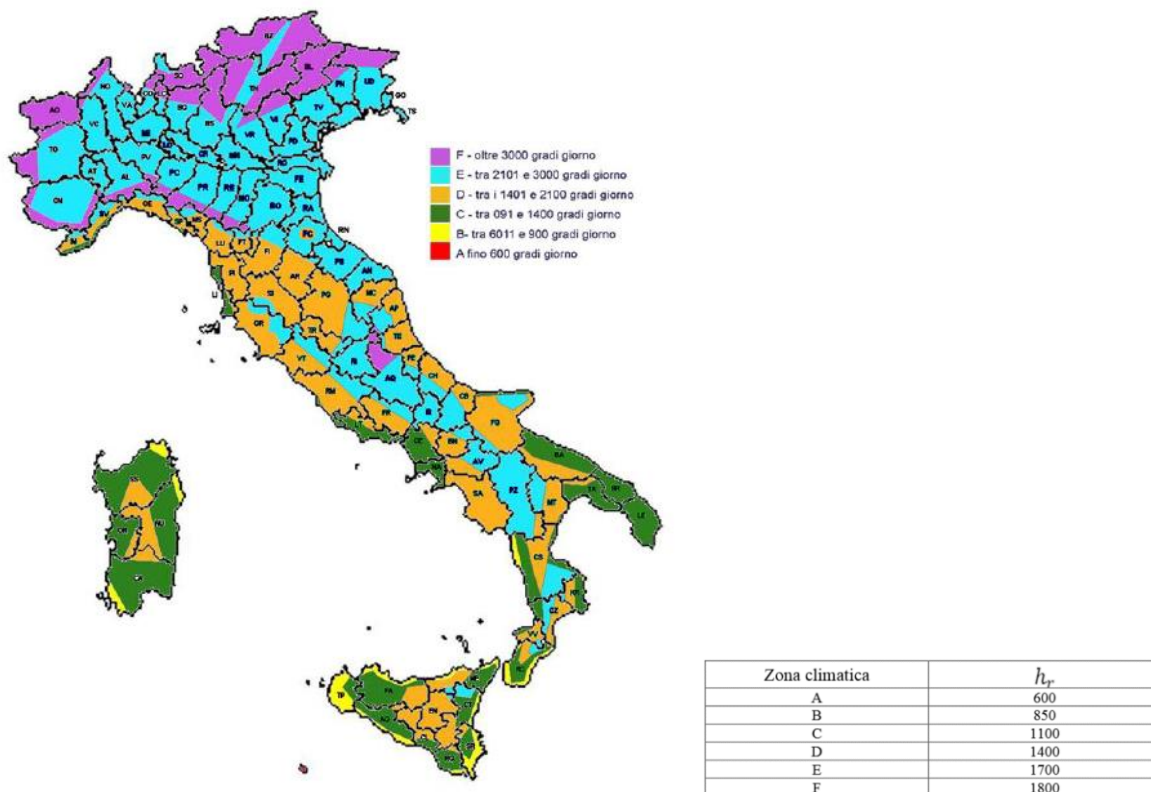
I dati medi relativi alle ore annue di utilizzo vengono calcolate in base ai gradi giorno delle diverse località.

I gradi giorno (GG) sono un parametro che, per ogni località, indica il fabbisogno termico necessario mediamente per mantenere un clima confortevole nell'abitazione; essi corrispondono alla somma, estesa a tutti i giorni dell'anno, della differenza (solo quella positiva) tra la temperatura dell'ambiente interno e la temperatura media esterna giornaliera. La temperatura dell'ambiente interno è stata fissata a 20 °C per convenzione.

I gradi giorno quindi, rappresentano un indice del clima e più sono elevati, più la temperatura in quel luogo è rigida (significa che per tanti giorni la temperatura è stata inferiore a 20 °C).

In Figura 5.1 sono riportate le zone climatiche della penisola italiana. Il funzionamento dell'impianto termico deve essere impostato per garantire una temperatura nelle abitazioni di 20°C con una tolleranza di 2°C (18/22°C).

La materia è regolata dal DPR 26/08/1993 n. 412 e successive modificazioni e integrazioni.



(Figura 5.1) – Gradi giorno e relative zone climatiche

Nel primo esempio l’impianto termico è dato da un camino semplice aperto, ovvero il sistema più tradizionale, caratterizzato da una resa molto bassa che si aggira attorno al 51% e una potenza di 15 kW, presente all’interno di ogni abitazione.

In esso si sono riscontrati, come si evince dalla Tabella 5.2, alti valori di CO, assieme alle polveri sottili PM2.5 e PM10, COV e IPA.

Concentrazioni elevate di detti composti si riscontrano in impianti soggetti a una combustione incompleta che, a differenza della “completa”, libera monossido di carbonio anziché anidride carbonica, a causa di difetto dell’aria.

EMISSIONI (kg) CAMINO APERTO SEMPLICE						
CO	NO _x	SO _x	PM 2,5	PM 10	COV	IPA
201,34	3,23	0,61	17,18	15,11	25,63	3,67

(Tabella 5.2) – Emissioni totali dei camini semplici

Nel secondo esempio sono state analizzate 8 stufe a pellet da 15 kW l'una, quindi sistemi di nuova generazione, con rese energetiche del 91%, situate all'interno delle 8 abitazioni.

I test hanno portato a valori fermamente inferiori rispetto al test precedente, consultabili nella Tabella 5.3, riscontrando combustioni molto più efficienti e complete, date appunto da una regolazione automatica dell'immissione nella camera di combustione sia di ossigeno che di combustibile.

EMISSIONI (kg) STUFA A PELLETT						
CO	NO _x	SO _x	PM 2,5	PM 10	COV	IPA
18,92	3,08	0,61	2,46	2,38	1,64	0,28

(Tabella 5.3) – Emissioni totali delle stufe a pellet

Nel terzo caso, è stato ipotizzato un sistema unificato, quindi un teleriscaldamento rivolto alle 8 abitazioni con una caldaia a pellet, con una potenza nominale di 120 kW con una resa maggiore del 91%.

Le analisi dei fumi, riassunte nella Tabella 5.4, hanno portato a valori di gran lunga inferiori di CO e PM rispetto agli impianti semplici tradizionali, tutto ciò dovuto alle elevate temperature nella camera di combustione, che ne riduce in modo considerevole le ceneri e le particelle incombuste nei fumi di scarico. Per quanto riguarda i COV e gli IPA sono stati riscontrati valori prossimi allo zero.

EMISSIONI (kg) CALDAIA A PELLETT						
CO	NO _x	SO _x	PM 2,5	PM 10	COV	IPA
13,31	3,38	0,61	1,61	1,21	0,09	0,03

(Tabella 5.4) – Emissioni della caldaia a pellet

Nei tre impianti non sono state rilevate variazioni considerevoli riguardo gli NO_x, con un valore di circa 3 kg ciascuno. Anche l'SO_x ha dato valori costanti e molto bassi 0,61 kg, caratterizzati appunto dalle basse concentrazioni di zolfo nelle biomasse.

Dai tre esempi si evince che negli impianti alimentati a pellet si raggiungono valori molto bassi, o trascurabili, di particelle inquinanti e gas tossici. Questo a testimonianza del fatto che la tecnologia, oltre all'aumento delle rese energetiche con meno perdite di calore dai sistemi energetici, ha portato ad un abbattimento massiccio delle emissioni dei fattori inquinanti. Tuttavia, una parte dell'opinione pubblica è indotta a colpevolizzare gli impianti alimentati a biomassa, ritenendoli responsabili di buona parte dell'inquinamento. I numeri di questo documento di tesi dimostrano che la scelta delle tecnologie e soluzioni adeguate ai diversi contesti consente una significativa riduzione delle emissioni inquinanti in atmosfera. Infatti, confrontando le soluzioni tradizionali meno efficienti con gli impianti di nuova tecnologia maggiormente efficienti si osserva che, a parità di potenza emessa, c'è una riduzione importante degli inquinanti maggiormente pericolosi e impattanti, con percentuali di diminuzione superiori al 90% (Tabella 5.5).

	CO	NO_x	SO_x	PM 2,5	PM 10	COV	IPA
IMPIANTO TRADIZIONALE	201,34	3,23	0,61	17,18	15,11	25,63	3,67
IMPIANTO MODERNO	13,3	3,38	0,61	1,61	1,21	0,09	0,03
DIFFERENZE (%)	- 93,4%	+ 5%	/	- 90,6%	- 92%	- 99,6%	- 99,2%

(Tabella 5.5) – Variazioni in percentuale degli inquinanti

Nello specifico, il confronto delle emissioni dei sistemi a diverso livello tecnologico evidenzia riduzioni superiori al 90% per CO, PM, COV e IPA. Si evidenzia un piccolo aumento, ma riconducibile ad appena il 5%, dei valori riguardante gli NO_x. Restano invece invariati i dati dell'SO_x.

Adottando sistemi innovativi ad alta tecnologia, come impianti di teleriscaldamento alimentati a biomassa solida, si traggono vantaggi non solo in materia ambientale e di risparmio economico, ma anche sotto il punto di vista sociale. L'uso di tecnologie più importanti favorisce l'intervento da parte di operatori specializzati e di stimola le aziende impiantistiche del settore a proporre sistemi performanti, generando capacità di lavoro. Sistemi di teleriscaldamento alimentati da filiere locali o da pellet, preferibilmente di origine territoriale, richiamano una serie di operatori sul territorio, specie quello rurale montano che necessita del mantenimento di determinate professionalità.

BIBLIOGRAFIA

- Caserini et al 2014 “Fattori di emissione della combustione di legna e pellet in piccoli apparecchi domestici”
- Fattori di emissione AEIG
- INEMAR, 2012, “Inventario emissioni”
- ARPAM, “Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente Marche”

RINGRAZIAMENTI

A conclusione di questo lavoro di tesi, è doveroso porre i miei più sentiti ringraziamenti alle persone che ho avuto modo di conoscere in questo importante periodo della mia vita e che mi hanno aiutato a crescere sia dal punto di vista professionale che umano.

Un sentito grazie al mio relatore Toscano Giuseppe, per la sua infinita disponibilità e tempestività ad ogni mia richiesta. Grazie per avermi fornito ogni materiale utile alla stesura dell'elaborato.

Alla mia famiglia, con il loro dolce e instancabile sostegno, mi hanno permesso di arrivare fin qui davanti a voi oggi, contribuendo alla mia formazione professionale.

A Alessia, per essermi stata accanto in questo periodo intenso e per gioire, insieme a me, dei traguardi raggiunti. Grazie per esserci sempre stata soprattutto nei momenti di sconforto.

Tutti i miei amici hanno avuto un peso determinante nel conseguimento di questo risultato, punto di arrivo e contemporaneamente di partenza della mia vita. Grazie per aver condiviso con me, in questi tre anni, le esperienze più importanti, vi voglio bene.