UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di laurea triennale in:

Ingegneria Civile e Ambientale

Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche

STIMA DELLE EMISSIONI DI INQUINANTI AERIFORMI DALLA COMBUSTIONE DI BIOMASSE

ESTIMATED EMISSIONS OF AIR POLLUTANTS FROM BIOMASS COMBUSTION

Relatore:

Prof. Ing. Giorgio Passerini

Tesi di laurea di:

Laila Travaglini

Correlatore:

Ing. Simone Virgili

Anno Accademico 2018-2019

Sommario

INTRODUZIONE 4

CAPITOLO 1 5

1.1 INQUINAMENTO ATMOSFERICO 5

1.1.2 Inquinanti principali 5

1.1.3 Fonti antropogeniche di inquinamento dell'aria 7

1.1.4 Fonti naturali di inquinamento 8

1.1.5 Inquinanti primari e secondari 9

1.1.6 La diffusione degli inquinanti 9

1.1.7 Effetti dell'inquinamento 10

1.2 INQUINAMENTO DA COMBUSTIONE DI BIOMASSE 12

1.2.2 Qualità e tipo di essenza importanti ai fini dell'impatto 13

1.2.3 Le regole per il buon funzionamento dell'impianto 14

1.2.4 Condizioni per una buona combustione domestica 15

1.2.5 L'impatto sulla salute della combustione di legna 17

CAPITOLO 2 21

2.1 MACROSETTORI EMISSIVI 21

2.1.2 Macrosettore 02 21

2.2 INVENTARI DI EMISSIONE 22

2.2.2 Obiettivi degli inventari 23

2.2.3 Inventario emissioni aria (IN.EM.AR.) 23

2.2.4 Ispra 23

2.2.5 EMEP/EEA 24

2.3 FATTORI DI EMISSIONE 25

2.3.2 Calcolo dei fattori di emissione 25

2.4 APPLICAZIONI DOMESTICHE 27

2.5 CONSUMI ENERGETICI 36

2.6 INTRODUZIONE ALLA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI 40

2.5.2 Catalizzatori 41

2.5.3 Precipitatori elettrostatici 41
CAPITOLO 3 44
3.2 EMISSIONI DERIVANTI DALLA COMBUSTIONE DI BIOMASSE 49
3.2.2 Calcolo delle sostanze inquinanti dalla combustione di biomasse 50
3.3 EMISSIONI DA CONSUMO DI METANO 58
3.3.2 Calcolo delle emissioni dal consumo di metano 58
3.4 EMISSIONI DA CONSUMO DI G.P.L. 65
3.4.2 Calcolo delle emissioni dal consumo di GPL 65
3.5 EMISSIONI DA CONSUMO DI GASOLIO 71
3.5.2 Calcolo delle emissioni dal consumo di gasolio 72
3.6 DISPOSITIVI UTILI PER LA RIDUZIONE DELLE SOSTANZE INQUINANTI 79
3.6.2 Filtri dell'aria 80
3.6.3 Separatori di polvere 80
3.7 SISTEMI DI FILTRAZIONE PER IMPIANTI A BIOMASSA 80
3.7.2 Dispositivo R_ESP (Residential_ESP) 81
3.7.3 Dispositivo ESP Carola 82
3.7.4 Dispositivo ESP Zumikron 83
3.7.5 Dispositivo ESP OekoTube 84
3.7.6 Dispositivo ESP Bosch 85
3.7.7 Dispositivo ESP RuFF-Kat 85
3.7.8 Dispositivo ESP AL-Top Schrader 86
3.7.9 Dispositivo ESP SF20 87
3.7.10 Dispositivo ESP AirBox-Spartherm 88
3.7.11 Dispositivo ESP NasuRESP 89
3.7.12 Dispositivo ESP Kamin-Feinstabkiller 90
3.7.13 Flue gas condenser UEF 90
3.7.14 Flue gas condenser Oko-Carbonizer 90
3.7.14 Caldaia a pellet modello Pellematic Plus con condensatore integrato 91
3.7.15 Stufa a legna modello ECO plus (Hark) con filtro a ceramica 92
3.7.16 Filtro ceramico della Interfocos BV 92

3.7.17 Quadro riassuntivo dei dispositivi di abbattimento 93
3.7.18 Confronto tra dispositivi per rendimento, consumi e costi 94
3.8 RIDUZIONE DELLE EMISSIONI 97
CAPITOLO 4 106
4.1 CONFRONTO DELLE EMISSIONI DI PM10 106
4.2 CONFRONTO DELLE EMISSIONI DI PM2,5 107
4.3 CONFRONTO DELLE EMISSIONI DI BLACK CARBON 108
CONCLUSIONE 109
Bibliografia 110

INTRODUZIONE

Il crescente utilizzo delle biomasse per il risaldamento domestico esige una riflessione non banale sugli aspetti ambientali. La crisi economica che ha segnato la società, ha spostato le abitudini degli italiani in merito al riscaldamento domestico, il basso costo della legna rispetto al costo del metano ha determinato una rapida diffusione della legna come fonte primaria di riscaldamento.

I dati dei consumi di biomassa a uso domestico vengono utilizzati per compilare gli inventari delle emissioni che hanno evidenziato un incremento del peso di PM10, che oggi si configura come una delle più importanti fonti di emissioni in atmosfera, in particolare nelle regioni con una quota rilevante del territorio situato in montagna.

Considerando l'entità delle emissioni connesse alla combustione domestica della legna, che nel periodo invernale possono costituire oltre il 60% delle emissioni primarie complessive di polveri sottili non vi è dubbio che appare necessario definire azioni specifiche per limitarne l'impatto sulla qualità dell'aria. Limitare l'uso della legna rappresenta una delle possibili soluzioni, a cui si aggiunge la difficoltà di effettuare controlli sul consumo domestico della legna, ma tale obiettivo non sembra sia raggiungibile nel breve periodo.

Nella prima parte del seguente elaborato sono stati presi in considerazione i fattori di emissione per ogni tipologia di apparecchio di combustione e, attraverso il numero di famiglie e il consumo di biomassa per ogni famiglia, si è giunti a valori di inquinanti in tonnellate per ogni comune della Regione Marche.

La scelta, la corretta installazione dell'impianto e la giusta manutenzione consentono di ottimizzare il rendimento e di ridurre le emissioni di inquinanti in atmosfera.

Nella seconda parte della tesi sono stati esaminati alcuni dispositivi di riduzione delle sostanze inquinanti, atti a minimizzare l'impatto sull'ambiente e sulla salute.

Diversi studi evidenziano un importante contributo negativo della combustione di biomasse per riscaldamento domestico sulla salute, per le emissioni di PM2,5 e black carbon. Studi recenti suggeriscono che effetti a breve termine a livello cardiovascolare sono dovuti a esposizioni alla combustione con combustibili solidi per riscaldamento domestico.

CAPITOLO 1

1.1 INQUINAMENTO ATMOSFERICO

L'aria è composta da una miscela di gas i quali circondano la terra e formano l'atmosfera. L'atmosfera non ha un'altezza definita ma è stato fissato il suo limite a 1000 chilometri, oltre questa altezza vi è il vuoto interplanetario. L'atmosfera viene divisa in fasce ognuna delle quali ha temperature e caratteristiche differenti. Lo strato più vicino alla crosta terrestre è la troposfera, compresa tra 0-12 km da terra, dove avvengono i fenomeni meteorologici che conosciamo. Sopra si trova la stratosfera, compresa tra 12-50 km che comprende una fascia di ozono che protegge la Terra dalle radiazioni ultraviolette che provengono dal Sole. Più in alto abbiamo la mesosfera, compresa tra 50-90 km. Oltre la mesosfera si trova la termosfera compresa tra 90-500 km, un grande strato molto caldo. Infine la zona più esterna è l'esosfera compresa tra i 500 e i 1000 km da terra, oltre la quale inizia il vuoto interplanetario.
Si definisce inquinamento atmosferico l'immissione di sostanze di qualsiasi natura nell'aria in misura e condizioni tali da modificare la composizione dell'aria, alterare la salute dei cittadini e creare danno ai beni pubblici o privati.
Gli inquinanti sono generalmente distinti in due gruppi: inquinanti naturali e inquinanti antropici, cioè prodotti dall'uomo. Gli inquinanti atmosferici possono anche essere classificati in primari cioè liberati nell'ambiente come tali (biossido di zolfo e monossido di azoto) e secondari cioè che si formano in atmosfera attraverso reazioni chimiche come l'ozono. L'inquinamento causato da queste sostanze in ambienti aperti viene definito esterno mentre l'inquinamento negli edifici viene chiamato inquinamento interno. (APAT, 2006)

1.1.2 Inquinanti principali

L'aria che respiriamo può essere contaminata da sostanze inquinanti provenienti da industrie, veicoli, centrali elettriche e molte altre fonti. Queste sostanze inquinanti hanno effetti dannosi per la salute e per l'ambiente. Il loro impatto dipende dalla concentrazione, dal tempo di esposizione e dalla tossicità dell'inquinante.
I principali inquinanti dell'aria sono:

- *monossido di carbonio*
- *ossidi di zolfo*
- *ossidi di azoto*
- *l'ozono*
- *il particolato*

- *il benzene*

Monossido di carbonio

Il monossido di carbonio è un gas incolore, inodore, infiammabile e molto tossico. La sua formazione si ha durante le combustioni delle sostanze organiche. Il monossido di carbonio è estremamente diffuso specialmente nelle aree urbane a causa dell'inquinamento prodotto dagli scarichi dei veicoli. Gli effetti sull'ambiente sono trascurabili mentre quelli sull'uomo sono molto pericolosi.

Ossidi di zolfo

Gli ossidi di zolfo presenti in atmosfera sono l'anidride solforosa (SO_2) e l'anidride solforica (SO_3). Elevate concentrazioni di anidride solforosa possono determinare le cosiddette "piogge acide".
L'anidride solforosa è un gas incolore, non infiammabile e dall'odore pungente. Poiché è più pesante dell'aria tende a stratificarsi nelle zone più basse. L'origine naturale deriva essenzialmente dalle eruzioni vulcaniche mentre quella antropica deriva dalla combustione domestica degli impianti non metanizzati e dall'uso di combustibili nelle centrali termoelettriche.

Ossidi di azoto

Per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria si fa riferimento al termine NO_x che sta ad indicare la somma del monossido di azoto (NO) e del biossido di azoto (NO_2).
Il monossido di azoto è un gas incolore, inodore e insapore. Viene prodotto nel corso dei processi di combustione ad alta temperatura. Viene poi ossidato in atmosfera dall'ossigeno e dall'ozono producendo biossido di azoto. La tossicità del monossido di azoto è limitata al contrario del biossido di azoto che risulta essere molto tossico, dall'odore forte e con grande potere irritante.

Ozono

L'ozono è un gas tossico di colore bluastro costituito da molecole formate da tre atomi di ossigeno. Esso è presente per più del 90% nella stratosfera dove viene prodotto dall'ossigeno per azione dei raggi ultravioletti solari. In stratosfera costituisce uno schermo protettivo per le radiazioni UV generate dal Sole. Per effetto della circolazione atmosferica viene trasportato anche negli strati più bassi dell'atmosfera nei quali si forma anche per effetto di scariche elettriche durante i temporali. Viene prodotto anche nel corso di varie reazioni chimiche in presenza della luce del sole a partire da inquinanti primari. Le più alte concentrazioni di ozono si rilevano nei mesi più caldi dell'anno.

Particolato

Il particolato atmosferico è l'insieme di particelle atmosferiche solide e liquide con diametro compreso tra 0.1 e 100μm. Le particelle più grandi raggiungono il suolo in tempi piuttosto brevi e causano fenomeni di inquinamento ristretti. Sia le particelle antropiche che quelle naturali possono

dar luogo a particolato primario, emesso direttamente nell'atmosfera, o secondario ovvero formato in atmosfera attraverso reazioni chimiche. Il particolato atmosferico può diffondere la luce del Sole assorbendola e rimettendola in tutte le direzioni; il risultato è che una quantità minore di luce raggiunge la superficie terrestre. Questo fenomeno può determinare effetti locali (temporanea diminuzione della visibilità) e globali con possibili influenze sul clima. Molto pericoloso per la salute dell'uomo è il PM10, contrazione delle parole Particulate Matter; il 10 indica che il diametro delle particelle è minore di 10 micron. Le dimensioni delle particelle sono tali da penetrare fino al tratto toracico dell'apparato respiratorio. Circa il 60% dei PM10 è composto da particelle più piccole dette PM 2.5 che possono arrivare fino agli alveoli polmonari.

Benzene

Il benzene è un idrocarburo aromatico strutturato ad anello esagonale ed è costituito da 6 atomi di carbonio e 6 atomi di idrogeno. Il benzene a temperatura ambiente si presente come un liquido incolore che evapora all'aria molto velocemente. È una sostanza altamente infiammabile e altamente nociva per la salute dell'uomo. Nonostante ciò, è una sostanza insostituibile perché molte industrie la utilizzano per la produzione di gomme, solventi, detergenti e pesticidi. (APAT, 2006)

1.1.3 Fonti antropogeniche di inquinamento dell'aria

L'inquinamento atmosferico maggiore è quello che l'uomo produce per soddisfare le proprie necessità. I vari processi di combustione utilizzati per cuocere cibi, per riscaldarsi, per alimentare veicoli e macchinari producono gli inquinanti più diffusi. L'inquinamento dell'aria di origine antropica arriva dalle grandi sorgenti (industrie), da piccole sorgenti (impianti per il riscaldamento domestico), e da sorgenti mobili (il traffico veicolare). L'uso di combustibili fossili per il riscaldamento domestico, in particolare di oli pesanti, di biomassa e di carbone è una fonte significativa di inquinamento ambientale da polveri e biossido di zolfo. Anche il traffico contribuisce in gran parte alle emissioni di inquinanti nelle città con grande congestione veicolare. Per quanto riguarda gli altri inquinanti principali è da sottolineare che nell'emissione di ozono e di composti organici volatili le sorgenti antropiche hanno ruolo fondamentale tanto quanto quelle naturali. Le combustioni in genere rappresentano la causa principale delle emissioni di ossido di azoto; i motori dei mezzi di trasporto rappresentano la causa principale delle emissioni di monossido di carbonio. (APAT, 2006)

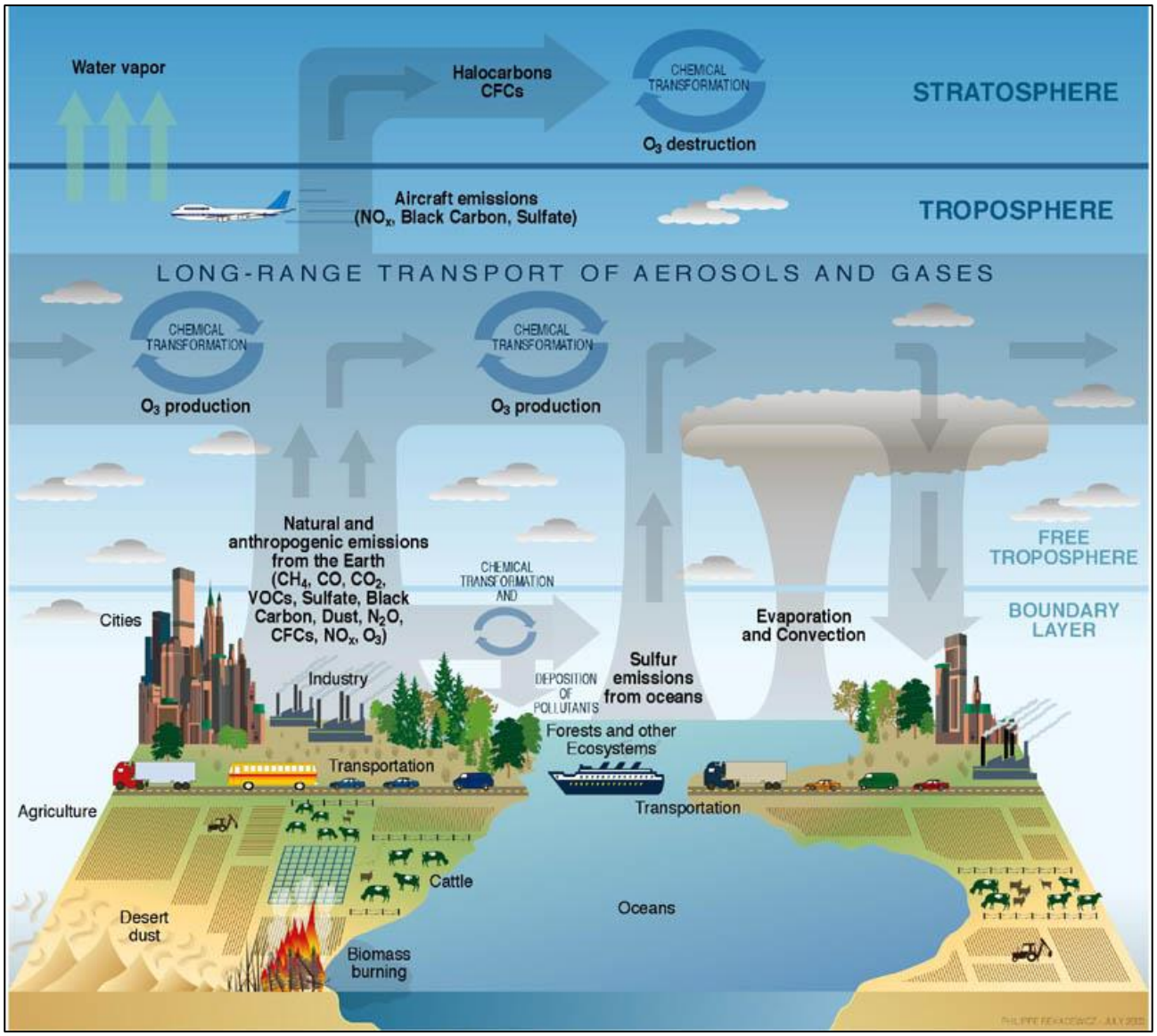

Figura 1 Inquinamento atmosferico antropico (Martucci, 2012)

1.1.4 Fonti naturali di inquinamento

Le polveri e i vari gas emessi dai vulcani, dagli incendi e dalla decomposizione dei composti organici entrano in atmosfera e causano effetti drammatici per il clima. In ogni caso gli inquinanti naturali sono meno pericolosi di quelli prodotti dall'uomo e non si concentrano sulle grandi città; quindi non rappresentano un serio problema. Le sorgenti naturali di ossidi di azoto comprendono i vulcani, gli oceani, le decomposizioni organiche e l'azione dei fulmini. L'importanza delle sorgenti naturali di particolato (i vulcani e le tempeste di sabbia) è minore di quelle antropiche dato che generano particelle di dimensioni tali da non poter arrecare danni all'apparato respiratorio.

Dato che l'uomo può fare poco per quanto concerne l'inquinamento naturale, bisogna preoccuparsi di ridurre l'inquinamento antropico. (APAT, 2006)

1.1.5 Inquinanti primari e secondari

Gli inquinanti vengono distinti in primari e secondari. Primari sono gli inquinanti che vengono immessi direttamente nell'ambiente in seguito al processo che li ha prodotti. I principali inquinanti primari sono quelli emessi nel corso dei processi di combustione di qualunque natura: il monossido di carbonio; il biossido di carbonio; il monossido di azoto; le polveri; nel caso in cui i combustibili contengano anche zolfo, si ha inoltre emissione di anidride solforosa.
Gli inquinanti secondari sono invece quelle sostanze che si formano dagli inquinanti primari in seguito a modificazioni di varia natura generate da reazioni che, spesso, coinvolgono l'ossigeno atmosferico e la luce. Dopo la loro emissione in atmosfera, gli inquinanti primari sono soggetti a processi di diffusione e trasporto che determinano la dispersione dei contaminanti in atmosfera. Subiscono inoltre dei processi di trasformazione chimico-fisica che possono portare alla formazione degli inquinanti secondari che spesso risultano più tossici. La rimozione degli inquinanti è determinata dai vari processi di deposizione. Sia la dispersione che la rimozione sono strettamente dipendenti dai vari processi meteorologici che regolano il comportamento delle masse d'aria nella troposfera.
Studiare il comportamento degli inquinanti primari è necessario sia per conoscere il profilo qualitativo, quantitativo e temporale delle emissioni, sia per avere informazioni sui processi meteorologici che interessano le aree soggette alla presenza dei vari inquinanti. (APAT, 2006)

1.1.6 La diffusione degli inquinanti

La concentrazione degli inquinanti nell'aria è determinata da numerosi fattori:

- la quantità dei contaminanti presenti nelle emissioni;
- il numero e la concentrazione delle sorgenti inquinanti;
- la distanza dai punti di emissione;
- le trasformazioni chimico-fisiche alle quali sono sottoposte le sostanze emesse;
- la eventuale velocità di ricaduta al suolo;
- la situazione morfologica delle aree interessate all'inquinamento;
- le condizioni meteorologiche locali e su grande scala.

L'intensità del vento è il fattore che più influenza il trasporto e la diffusione atmosferica degli inquinanti; inoltre le precipitazioni atmosferiche svolgono un ruolo notevole in quanto contribuiscono a dilavare l'aria dai contaminanti presenti. Generalmente le zone urbane ed industriali sono le più soggette ai fenomeni di inquinamento, specialmente se sono collocate in aree dove vi sono dei naturali impedimenti alla circolazione dell'aria: ad esempio le valli chiuse da montagne, che

presentano sempre problemi di ristagno per la ridotta ventilazione atmosferica; oppure allo stesso modo le aree localizzate in avvallamenti o depressioni del terreno.
Di solito le concentrazioni dei contaminanti dell'aria sono minori quando il vento è moderato e l'atmosfera è instabile nei bassi strati. Al contrario, le concentrazioni degli inquinanti sono elevate in presenza di nebbia persistente oppure in assenza di vento o quando si è in presenza di inversioni termiche. Le inversioni termiche sono dei fenomeni atmosferici che impediscono il normale rimescolamento delle masse d'aria: in genere, la temperatura dell'aria decresce man mano che aumenta l'altezza e questo fa sì che le masse d'aria più calde, essendo meno dense, salgano e si sostituiscano all'aria più fredda che scende. Dal momento che quest'aria calda è anche quella più inquinata perché si trova nella zona delle maggiori emissioni inquinanti, ne risulta un rimescolamento dei vari strati della troposfera che porta ad una diminuzione della concentrazione dei contaminanti atmosferici. In alcuni casi, però, a causa dell'inversione termica, si possono formare degli strati d'aria più calda a qualche decina o centinaia di metri d'altezza per cui lo strato sottostante non sale e ristagna al suolo; tale processo comporta inevitabili processi di accumulo delle sostanze inquinanti. Le inversioni termiche si formano solitamente nelle notti limpide subito dopo il tramonto, a causa del rapido raffreddamento del terreno (che a sua volta provoca un rapido raffreddamento dell'aria con cui è a contatto). Questo fenomeno è detto inversione termica di tipo radioattivo e in genere termina col riscaldamento mattutino della superficie terrestre; se questo non avviene gli inquinanti si possono accumulare anche per più giorni consecutivi, con tutti i problemi che ciò comporta. (APAT, 2006)

1.1.7 Effetti dell'inquinamento

L'inquinamento peggiora notevolmente la qualità dell'aria. La minaccia riguarda tutto il pianeta, perché le correnti dell'aria e del mare diffondono le sostanze pericolose per tutto il globo. Per quanto concerne la troposfera (regione atmosferica più bassa) le sostanze inquinanti in genere vengono scisse o assimilate dall'umidità per alcuni mesi, mentre nella stratosfera possono rimanere in sospensione anche per anni. Nel caso in cui si verificano particolari condizioni meteorologiche, nebbia e gas inquinanti si fondono nello smog, che oscura il cielo dei grandi centri abitati. L'inquinamento può seguire diversi processi. I fumi delle industrie si mescolano con il vapore delle nubi, le cui piogge, ricadendo acide sulla terra, distruggono piante e contaminano mari, fiumi e laghi. I gas di scarico emessi da industrie e automobili determinano l'aumento della quantità di anidride solforosa e carbonica. Quest'ultima è ulteriormente pericolosa perché se arriva a livelli esageratamente elevati può alterare il delicato equilibrio dell'effetto serra. Come conseguenza si potrebbe verificare un graduale aumento della temperatura media sulla Terra, che potrebbe completamente sconvolgere gli equilibri della biosfera.
L'inquinamento atmosferico comporta spesso numerose conseguenze a carico della salute, soprattutto in situazioni in cui si verifichi l'innalzamento delle concentrazioni dei comuni contaminanti

dell'aria (inquinamento acuto). In questi casi, l'aumentata esposizione a vari irritanti atmosferici provoca conseguenze negative per la salute umana, tra cui: la riduzione della funzionalità polmonare, l'aumento delle malattie respiratorie nei bambini, gli attacchi acuti di bronchite e l'aggravamento dei quadri di asma; il tutto comporta un forte incremento nel numero dei decessi fra le persone maggiormente sensibili a determinate sostanze inquinanti, come gli anziani o le persone affette da malattie respiratorie e cardiovascolari. L'effetto dell'inquinamento a bassi livelli e per lungo tempo è più difficile da individuare. Si presume che provochi a breve termine disagio, irritazione, tossicità specifica, affezioni respiratorie acute e soprattutto fra gli anziani affetti da patologie croniche cardiovascolari o respiratorie. Gli effetti a lungo termine causati da una esposizione ad inquinanti presenti a concentrazioni relativamente basse non sono ancora completamente chiari; in ogni caso si ritiene che fra i vari effetti vi sia la comparsa di malattie polmonari croniche (come la bronchite cronica, l'asma e l'enfisema), la formazione di varie neoplasie maligne (cancro polmonare, leucemie) ed un aumento della mortalità per malattie cardiovascolari e respiratorie.

Il declino del patrimonio animale, forestale ed agricolo, la degradazione degli ecosistemi, i danni provocati alle strutture metalliche, alle opere d'arte, alle pitture, ai fabbricati, ai materiali tessili ed in genere ai diversi materiali usati dall'uomo e per finire la riduzione della visibilità, sono tutti aspetti del complesso problema generato dall'inquinamento operato dall'uomo. Il meccanismo di aggressione operato dagli inquinanti può essere estremamente rapido o prolungato nel tempo, in base al gran numero di fattori che possono essere implicati nel fenomeno. Gli inquinanti possono agire a livello locale magari distruggendo un'area boschiva relativamente piccola, oppure possono agire a livello globale, interessando tutte le popolazioni della terra. (APAT, 2006)

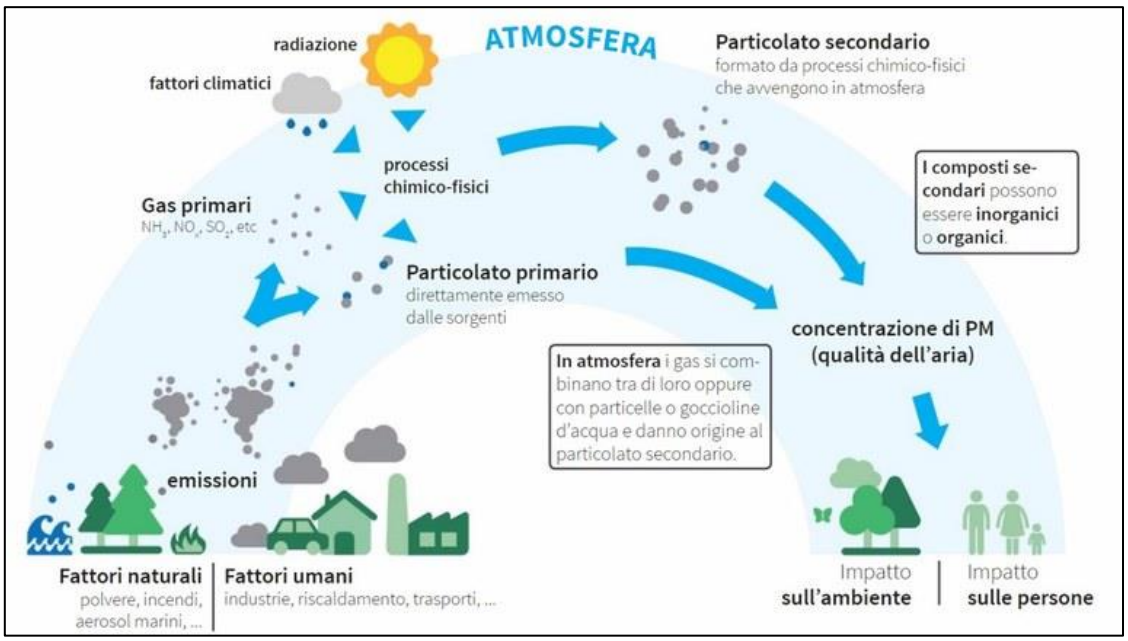

Figura 2 Effetti dell'inquinamento

1.2 INQUINAMENTO DA COMBUSTIONE DI BIOMASSE

Quando si parla di biomassa si intende qualunque tipo di sostanza organica derivata, direttamente o indirettamente, dall'attività fotosintetica delle piante. Questa definizione permette una prima classificazione delle biomasse:

- Biomassa vegetale, che insieme all'ossigeno costituisce il prodotto della fotosintesi clorofilliana delle piante e, pertanto, rappresenta la biomassa che deriva direttamente da questo processo;
- Biomassa animale, che rappresenta la quota di biomassa la quale, attraverso le catene alimentari degli animali, passa dal mondo vegetale al mondo animale, costituendo la biomassa derivante indirettamente dalla reazione di fotosintesi clorofilliana.

L'origine della biomassa, quindi, sia essa vegetale o animale, è strettamente correlata con il ciclo biologico del carbonio, che costituisce uno degli elementi base per il metabolismo e l'anabolismo di tutti gli organismi viventi. Tale elemento entra nel ciclo sotto forma di anidride carbonica (CO_2) e, grazie alle piante e alla loro attività fotosintetica, viene fissato in composti più complessi di natura organica che fungono da sostentamento per la loro crescita. Esse utilizzano l'energia solare per elaborare, partendo da CO_2, acqua e sali minerali, sostanze quali la lignina, la cellulosa, le emicellulose, gli amidi, gli zuccheri, etc. che costituiscono proprio la biomassa vegetale. (APAT, Le Biomasse Legnose, 2003)

L'utilizzo delle biomasse determina un peggioramento della qualità dell'aria sia per l'emissione di inquinanti derivati dalla combustione, sia per le emissioni legate al trasporto della biomassa se i tragitti di approvvigionamento della materia prima sono relativamente lunghi.
Il quadro generale si è complicato nel corso degli ultimi anni, quando il consumo di biomasse ai fini del riscaldamento domestico ha assunto un ruolo tutt'altro che marginale. La crisi economica che ha contraddistinto l'ultimo quinquennio ha spostato le abitudini degli italiani in merito al riscaldamento domestico, il basso costo della legna rispetto agli incrementi economici registrati per il metano ha determinato una rapida diffusione della legna, anche in aree di pianura e aree urbane, come fonte primaria di riscaldamento. Se da un lato questo inatteso consumo della legna può apparire come un ulteriore contributo alla riduzione di CO_2 prodotta da combustibili fossili, la combustione della legna in caminetti o stufe, che a differenza di impianti industriali non presentano sistemi di abbattimento degli inquinanti, rappresenta una fonte rilevante di emissioni di polveri sottili e composti indesiderati. Limitare l'uso della legna rappresenta una delle possibili soluzioni, ma in una società che ha visto progressivamente incrementare il ceto povero e ha attuato la riduzione dei consumi come elemento

di sopravvivenza, a cui si aggiunge la difficoltà di effettuare controlli sul consumo domestico della legna, non sembra tale obiettivo sia perseguibile nel breve periodo. (C. Saccani)

Le biomasse che vengono usate come combustibile provocano l'immissione nell'ambiente di quantità non trascurabili di polveri e idrocarburi policiclici aromatici (Ipa), con effetti potenzialmente pericolosi per la salute della popolazione esposta. Gli Ipa sono infatti una classe di composti con documentata attività tossica, cancerogena e mutagena. Le polveri sono costituite da diversi composti chimici e tra questi è presente anche una frazione carboniosa che si distingue in carbonio organico (C.O.) e in carbonio elementare (C.E.), altamente tossico il primo, ad alto potere climalterante il secondo.

I dati dei consumi di biomassa a uso domestico vengono utilizzati per compilare gli inventari delle emissioni, che hanno evidenziato un incremento del peso delle emissioni di PM10 primario da parte del settore emissivo legato al riscaldamento degli ambienti, che oggi si configura come una delle più importanti fonti di emissioni in atmosfera, in particolare nelle regioni con una quota rilevante del territorio situato in montagna. (Arpa Lombardia, 2014)

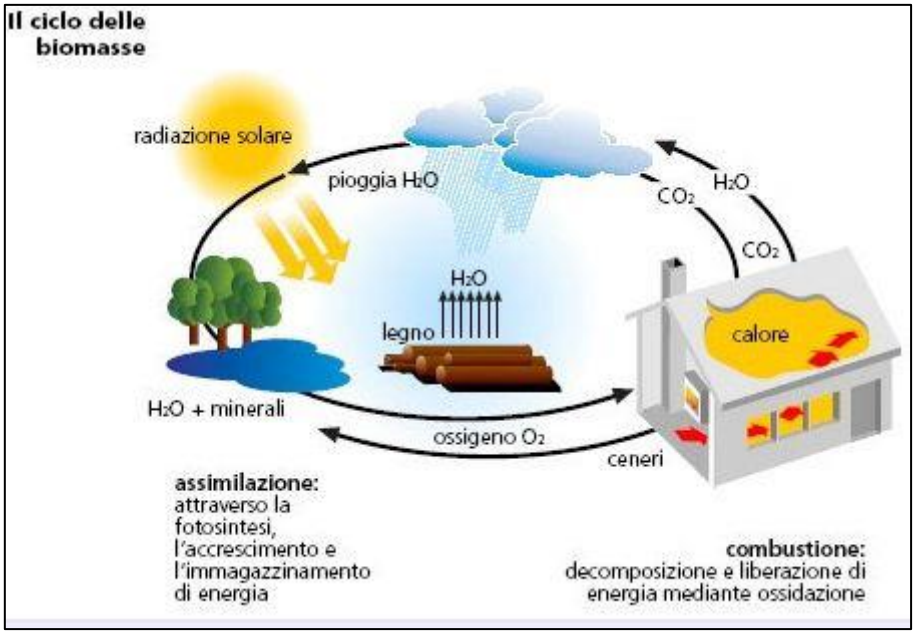

Figura 3 Il ciclo delle biomasse

1.2.2 Qualità e tipo di essenza importanti ai fini dell'impatto

Per quanto riguarda la legna da ardere, ma anche per le altre tipologie di biocombustibili, l'aspetto qualitativo di maggior rilievo in grado di consentire o meno un elevato rendimento energetico e una buona combustione è rappresentato dal contenuto in acqua. Passare infatti dal 50% del contenuto

in acqua, valore di una biomassa non stagionata, al 20% raggiungibile dopo adeguata stagionatura o adeguato trattamento di essicazione, ne comporta più del raddoppio del potere calorifico.
Per raggiungere questo livello di umidità sono necessari tre anni di stagionatura.
Se, per quanto riguarda la legna da ardere, è relativamente semplice poterne avere garanzia circa l'assenza di sostanze inquinanti o comunque estranee al legno, in presenza di biomasse lavorate o semi-lavorate come le bricchette, il pellet e parzialmente il cippato, è essenziale poterne verificare la loro produzione da legna pulita e in alcun modo trattata se non in modo "fisico".
La presenza di composti chimici estranei (es. riconducibili a legno trattato con colle o vernici) o di additivi e leganti chimici in pellet di scarsa qualità, oltre a produrre emissioni inquinanti di varia natura, possono infatti provocare anche danni e malfunzionamenti all'impianto e al camino.
La presenza di questi additivi inquinanti può talvolta essere facilmente individuata da odori ben diversi da quelli del legno che si sviluppano nella fase di combustione, ma per escludere in maniera certa questo tipo di problema è altresì necessario accertarsi preliminarmente che quanto acquistato sia certificato dalle apposite norme indicate sui contenitori dai codici quali il DIN 51731 o O-NORM M7135 o DIN PLUS.
Dal punto di vista qualitativo, altro aspetto che può incidere in maniera anche significativa sulla scelta, utilizzo e resa della biomassa legnosa è quello che riguarda l'essenza. In questo ambito risultano infatti farsi normalmente preferire le essenze di legno classificate come "dure" e generalmente riconducibili alle latifoglie (faggio, rovere, acero), piuttosto che quelle definite "dolci" e perlopiù riconducibili alle conifere (abete e pino).
Le differenze, in qualche caso rappresentate anche da un apprezzabile diverso potere calorifico, sono però per lo più riconducibili a una diversa modalità di combustione che può essere anche sfruttata in positivo a seconda dell'utilizzo (combustioni più o meno vivaci, più o meno durature, diversa lunghezza della fiamma, diversa velocità e facilità di accensione). (APPA, 2015)

1.2.3 Le regole per il buon funzionamento dell'impianto

La prima regola essenziale per il buon funzionamento dell'apparecchio di riscaldamento domestico a biomasse è l'installazione a regola d'arte. Il dimensionamento dell'impianto, il suo posizionamento nello spazio domestico, la geometria e l'altezza della canna fumaria, sono elementi fondamentali per il funzionamento ottimale. In secondo luogo, la manutenzione periodica regolare sia ordinaria (pulizia della camera di combustione, rimozione delle ceneri, controllo speditivo del tiraggio), sia straordinaria (pulizia della canna fumaria a opera di tecnici qualificati), giocano un ruolo fondamentale per il buon funzionamento dell'impianto e quindi la riduzione delle emissioni di inquinanti in atmosfera.
È fondamentale ottimizzare e avere il controllo delle condizioni di combustione degli impianti a biomasse, per ridurre al minimo le quantità di idrocarburi policiclici aromatici e particolato emessi in

atmosfera. In particolare, si deve focalizzare l'attenzione sul miglioramento delle caratteristiche tecniche dell'impianto e sull'attuazione delle pratiche di conduzione e di manutenzione degli impianti domestici.
Nel ciclo di funzionamento dell'apparecchio le fasi di accensione e spegnimento (i cosiddetti transitori) sono quelle in cui si formano elevate quantità di inquinanti nei fumi, non essendo state ancora raggiunte le condizioni ottimali di combustione. Nell'ottica di un utilizzo sistematico delle biomasse per il riscaldamento e la produzione dell'acqua sanitaria, andrebbero limitati il più possibile i transitori. Se da un lato la tecnologia e il funzionamento degli impianti a biomasse di nuova generazione ha migliorato di molto le condizioni di combustione e di conseguenza anche la resa in termini di calore prodotto, dall'altro è importantissimo ricordare che esistono una serie di norme di buona installazione e conduzione dell'impianto che possono fare la differenza in tutti gli apparecchi presenti nelle case.

L'installazione di un impianto e la verifica del corretto esercizio prevedono una sequenza precisa di operazioni che iniziano con la verifica dell'idoneità del locale di installazione, del sistema di evacuazione fumi e delle prese d'aria esterna. Successivamente ha luogo la fase di installazione vera e propria con la realizzazione della ventilazione, il collegamento alle prese d'aria esterne e al sistema di evacuazione fumi, il montaggio e la posa in opera e, infine, l'esecuzione della prova di accensione e di funzionalità. Prima dell'installazione dell'impianto è necessario verificare anche l'assenza di ostruzioni lungo tutto il camino, lo sviluppo prevalentemente verticale del camino, l'esistenza e l'idoneità del comignolo e l'assenza di altri allacciamenti al camino. (ARPA, 2015)

1.2.4 Condizioni per una buona combustione domestica

Bruciare bene la legna non è facile. Le ragioni di questa complicazione risiedono in primo luogo nella difficoltà a mescolare un combustibile solido (il legno) con un comburente gassoso (l'ossigeno). Un altro aspetto molto delicato nella combustione della legna è rappresentato dalla grande varietà di composti che formano ciò che comunemente chiamiamo "legno", ognuno dei quali caratterizzato da una propria temperatura di infiammabilità. Tra i composti che formano il legno vi è inoltre l'acqua, la quale, pur non bruciando, contribuisce a sottrarre energia alla combustione con il passaggio di fase. Anche se bruciare bene il legno è molto difficile, esistono dei semplici accorgimenti che ci aiutano a non bruciarlo male, evitando di inquinare l'aria che respiriamo e risparmiando un bel po' di soldi utilizzando al meglio l'energia contenuta nel legno.
Prima di arrivare alle buone pratiche, è utile vedere un po' più da vicino cosa accade quando bruciamo un pezzo di legno. La combustione di un solido, infatti, si può distinguere in tre fasi, tutte con caratteristiche emissive ed energetiche ben distinte.

La prima fase della combustione di un pezzo di legno è quella della “gassificazione”. In questo passaggio il legno viene scaldato, assorbendo energia e rilasciando le sostanze che lo compongono maggiormente volatili. Questa fase è in assoluto la più energeticamente inefficiente e la più inquinante. È il momento nel quale il legno emette una grande varietà di sostanze, alcune modificate dalle alte temperature a cui sono esposte.
La seconda fase è quella dell’ossidazione dei composti organici rilasciati dal legno che sta “gassificando”. In questo passaggio, i composti rilasciati dal legno si mescolano con l’ossigeno presente nell’aria e, in virtù delle alte temperature, si ossidano liberando energia (e vapore acqueo). Questa è la fase più caratteristica e indubbiamente “bella” della combustione della legna, grazie alla presenza della fiamma, solitamente di colore arancione, molto mobile e quasi “viva”. Il colore giallo della fiamma è dovuto a minuscole particelle che si staccano dal legno e che, assorbendo energia, si comportano come piccoli corpi neri, irradiando nel visibile.
La terza fase è quella dell’ossidazione del carbonio elementare rimasto dopo la fase di gassificazione e ossidazione dei composti volatili (la brace). Questo è il momento energeticamente più efficiente della combustione del legno e, nel complesso, anche quello più pulito. In questa fase l’ossidazione avviene in parte sulla superficie della brace (molecole di ossigeno vengono adsorbite e molecole di monossido di carbonio vengono riemesse), in parte in aria (grazie alle alte temperature il monossido di carbonio si ossida a sua volta originando anidride carbonica).

Per quanto sopra riportato, è evidente l’importanza di ridurre al minimo il processo di pura gassificazione (prima fase), cercando di ossidare quanto più rapidamente possibile i composti organici rilasciati (seconda fase). Questo può essere fatto agevolmente preparando nella camera di combustione una pira di legna con i pezzi più piccoli in cima e quelli più grossi alla base, avendo cura di lasciare molti e grossi interstizi, in modo da agevolare il ricircolo dell’aria.
Accendendo la pira dall’alto, magari con degli starter ecologici, riusciremo a “bruciare” i composti volatili prima che essi escano dalla camera di combustione, estraendo più energia e riducendo le emissioni di fumo. Nella fase di combustione dei composti volatili, inoltre la stufa deve sempre avere “l’aria” aperta al massimo, in modo da favorire l’apporto di ossigeno. Per lo stesso motivo è opportuno che la pira all’interno della camera di combustione non occupi mai tutto lo spazio disponibile. Troppa legna equivale a bruciare male, facendo scappare grandi quantità di composti volatili, cioè potenziale energia termica, e inquinando l’aria. I produttori di stufe, su questo punto, possono dare utili consigli, ma una regola basata sul buon senso potrebbe già essere quella di lasciare la camera di combustione almeno per metà libera. Poiché la fase più inquinante, e in generale delicata dal punto di vista termodinamico, è quella della gassificazione e della combustione dei composti volatili, grande attenzione deve essere posta anche alla ricarica della camera di combustione una volta che il fuoco sia stato acceso. Bisognerà infatti evitare di “mettere legna su legna”, cercando di aggiungere i nuovi ciocchi sulle braci, avendo sempre cura di non riempire troppo

la camera di combustione e, potendo, di separare tra di loro i ciocchi aggiunti, in modo da esporre al calore quanta più superficie possibile. Un ultimo aspetto da non trascurare è quello della pulizia del raccordo fumi e della canna fumaria. Le stufe lavorano per depressione, quindi dobbiamo aiutarle a mantenere entro il loro regime di funzionamento la differenza tra la pressione interna ed esterna. In questo subentra la pulizia della canna fumaria che, se parzialmente ostruita dalla fuliggine, oltre a essere pericolosa, non riesce a scaricare l'aria esausta all'esterno, riducendo la quantità di ossigeno nella camera di combustione, sporcandosi in questo modo ancora di più. Campagne sperimentali hanno mostrato che un deposito di fuliggine spesso un millimetro riduce l'efficienza della combustione di circa il 5%. (ARPA, 2015)

1.2.5 L'impatto sulla salute della combustione di legna

L'Organizzazione mondiale della sanità ha stimato che, nel 2012, 3.7 milioni di morti premature erano dovute all'esposizione al particolato esterno, di cui 482.000 in Europa. Studi recenti suggeriscono che effetti a breve termine a livello cardiovascolare sono dovuti a esposizioni alla combustione per riscaldamento domestico. Almeno 28 inquinanti presenti nel fumo di combustibili solidi si sono dimostrati tossici per gli animali, e tra questi 14 cancerogeni e 4 pro-cancerogeni. (Unece, 2014)
Più in generale, il particolato, è stato definito cancerogeno certo in relazione al tumore al polmone.

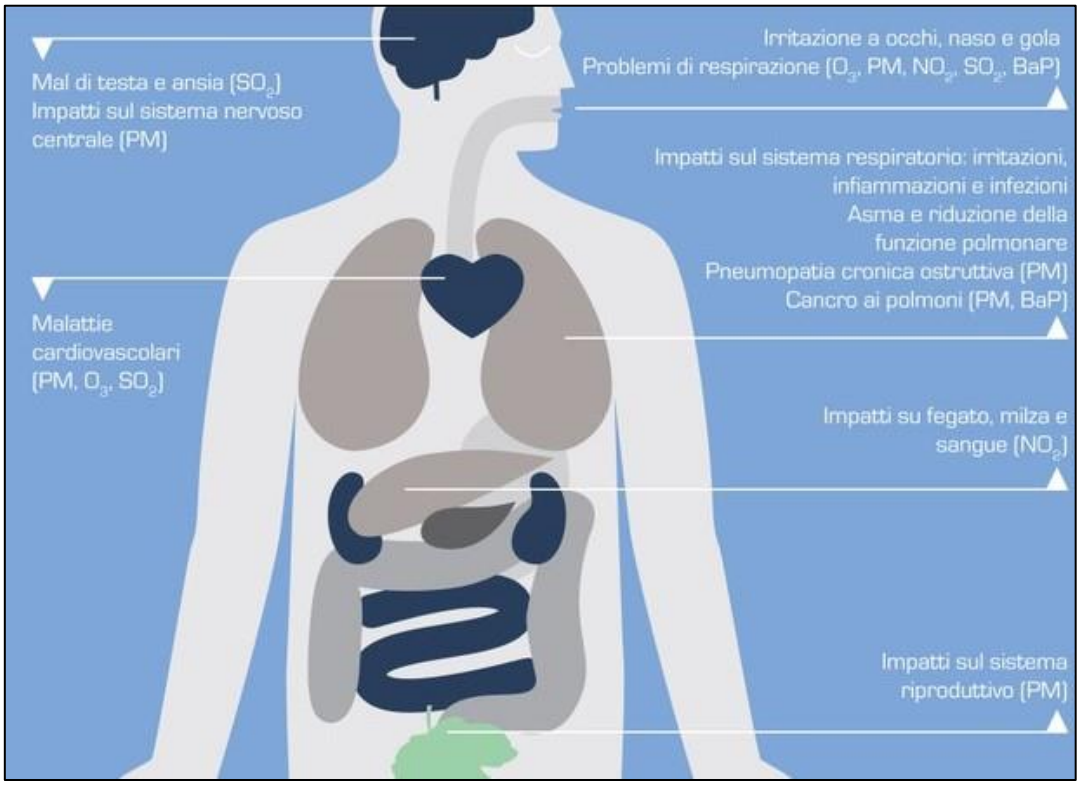

Figura 4 Impatti dell'inquinamento atmosferico sulla salute (Agenzia Europea, 2017).

Ai fini di questo studio si focalizzerà l'attenzione sugli effetti di:

- PM10

PM10 è un acronimo che significa Particulate Matter ≤ 10 μm, ovvero materiale particolato con dimensione inferiore o uguale a 10 micrometri; con la stessa origine ma dimensione ancora inferiore, viene considerato un potente inquinante anche il PM2,5. Si tratta in entrambi i casi di materiale allo stato solido o liquido, disperso finemente nella bassa atmosfera e particolarmente stanziale in condizioni meteorologiche simili a quelle attuali.

L'origine di tale particolato può essere naturale: ne fanno parte, per esempio, il particolato espulso durante le eruzioni di vulcani, oppure i prodotti della combustione del legno sviluppati durante gli incendi, oppure ancora i pollini vegetali dispersi nell'aria in primavera. Non sono queste cause naturali, però, a destare preoccupazione in questi giorni invernali: la preoccupazione deve infatti provocarla il nostro forte legame con i combustibili fossili per l'autotrazione e il riscaldamento.

Nonostante si inizino a muovere passi decisi verso una maggiore sostenibilità ambientale, i combustibili fossili hanno ancora un ruolo innegabile nella nostra economia e per il nostro sistema energetico, benché il loro consumo sia in calo nei paesi occidentali. Proprio alla combustione di gasolio, kerosene e benzine dobbiamo la maggior parte del particolato in sospensione nell'aria. (Report, 2015)

Vari studi epidemiologici sugli effetti sanitari dell'inquinamento atmosferico da particelle, hanno evidenziato associazioni tra le concentrazioni in massa del PM10 e un incremento sia di mortalità che di ricoveri ospedalieri per malattie cardiache e respiratorie nella popolazione generale.

I soggetti ritenuti maggiormente sensibili a tali effetti sono in particolare, gli anziani, i bambini, le persone con malattie cardiopolmonari croniche e affette da influenza o asma; su di essi si concentrano incrementi di mortalità e seri effetti patologici a seguito di esposizioni acute a breve termine. Ulteriori evidenze sono emerse considerando gli effetti sanitari a lungo termine conseguenti all'esposizione a basse concentrazioni di PM10. Tali effetti riguardano la mortalità ed altre patologie croniche come la bronchite e la riduzione della funzione polmonare.

Anche l'incremento di tumore polmonare è stato associato recentemente all'inquinamento ambientale, ed in particolare alla frazione fine dell'aerosol: il materiale particolato è stato inserito dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) tra i cancerogeni di gruppo 1 (agenti sicuramente cancerogeni per l'uomo). La direttiva 2008/50/CE e il D.lgs. 155/2010 stabiliscono per il PM10, ai fini della protezione della salute umana, un valore limite annuale di 40 μg/m³ e un valore limite giornaliero di 50 μg/m³ da non superare più di 35 volte in un anno. (Cattani, 2017)

INQUINANTE	PERIODO	LIMITE
PM 10	24 ore	50µg/m³
	annuale	40µg/m³

Figura 5 Limiti dei livelli di concentrazione stabiliti dal D.lgs. 155/2010, PM10.

- PM 2.5

Il termine PM2,5 identifica le particelle di diametro aerodinamico inferiore o uguale ai 2,5 µm, una frazione di dimensioni aerodinamiche minori del PM10 e in esso contenuta. Il particolato PM2,5 è detto anche 'particolato fine', denominazione contrapposta a 'particolato grossolano'. Sorgenti del particolato fine sono un po' tutti i tipi di combustione, inclusi quelli dei motori di auto e motoveicoli, degli impianti per la produzione di energia, della legna per il riscaldamento domestico, degli incendi boschivi e di molti altri processi industriali. Come per il PM10, queste particelle sono caratterizzate da lunghi tempi di permanenza in atmosfera e, rispetto alle particelle grossolane, sono in grado di penetrare più in profondità nell'albero respiratorio umano. L'indicatore particolato PM2,5 si basa sui valori di concentrazione di PM2,5 in atmosfera, misurati nelle stazioni di monitoraggio sul territorio nazionale e raccolti dall'ISPRA nell'ambito delle procedure sullo scambio di informazioni previste dalle Decisioni 97/101/CE e 2001/752/CE. L'obiettivo della normativa sull'EoI è quello di fornire un quadro conoscitivo e rappresentativo dello stato della qualità dell'aria attraverso i dati di concentrazione di PM2,5 in atmosfera, consentendo il confronto tra i Paesi membri della Comunità Europea. L'obiettivo del D.lgs. 155/2010 è quello di consentire, a regioni e provincie autonome, la valutazione e la gestione della qualità dell'aria ambiente. (ISPRA, 2010)
Il D.lgs. 155/2010 stabilisce per il PM2.5, ai fini della protezione della salute umana, un valore limite annuale di 20 µg/m³ e 25 µg/m³ e un valore limite giornaliero di 35 µg/m³.

INQUINANTE	PERIODO	LIMITE
PM 2.5	annuale	25µg/m³
	annuale	20µg/m³
	24 ore	35 µg/m³

Figura 6 Limiti dei livelli di concentrazione stabiliti dal D.lgs. 155/2010, PM2,5.

- BLACK CARBON

La fuliggine generata dalla combustione chiamata "black carbon" (BC) contribuisce al riscaldamento in due maniere. Per primo le particelle carboniose nere in aria assorbono la radiazione del Sole e riscaldano l'aria. Poi tali particelle scure cadendo sulle nevi e sui ghiacciai trasformano tali superfici

da riflettenti in assorbenti, cioè la fuliggine diminuisce l'albedo. Conseguentemente il deposito di black carbon aumenta la velocità di scioglimento delle nevi e dei ghiacci, ivi compresi i ghiacciai delle zone artiche.Il black carbon in altre parole è un fattore che rappresenta una forzante climatica. Sul breve termine costituisce un contributo importante al riscaldamento, quindi riducendone la presenza si avrebbero benefici immediati e si potrebbe rallentare il riscaldamento dei prossimi 40 anni, forse di una entità di 0.1-0.2 °C a scala globale. Riducendo il deposito delle particelle carboniose nell'artico si potrebbe rallentare il processo di scioglimento delle nevi e dei ghiacci.(Carmichael, 2008) Ma il Black carbon non si accumula nell'atmosfera come fa la CO_2. Per cui ridurre il BC potrebbe avere un effetto immediato ma non di lungo periodo sul riscaldamento globale. La CO_2 costituisce la manopola di controllo principale del Clima, e il cambiamento climatico non può essere impedito se non si riducono le emissioni di tale gas. Riduzioni di BC, CO_2, Metano e Ozono saranno indispensabili per mantenere l'aumento di temperatura sotto i 2°C. Le principali fonti di BC sono prodotte dalle combustioni incomplete delle biomasse vegetali e dalle emissioni dei motori diesel. Delle riduzioni notevoli potrebbero ottenersi sostituendo nei Paesi in via di sviluppo le stufe per cucinare e riscaldarsi con stufe che bruciano in modo pulito delle biomasse o con l'uso di combustibili alternativi. (Lacis, 2010)

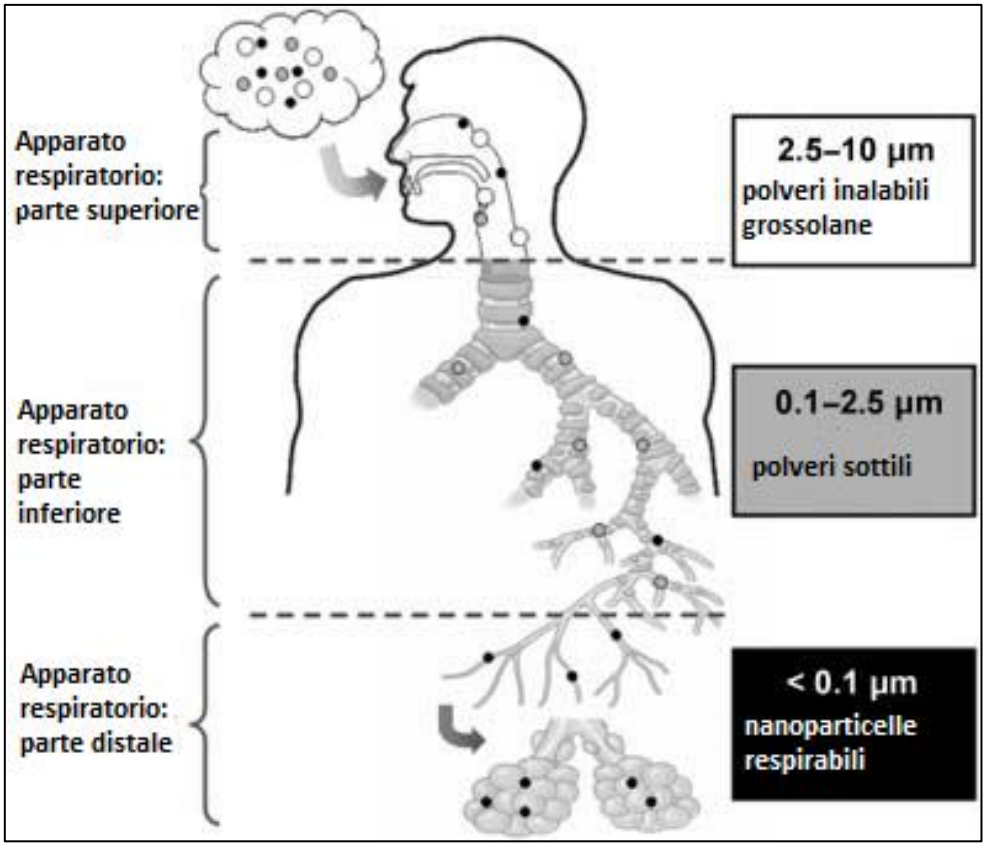

Figura 7 Rappresentazione della distribuzione delle particelle in base alla dimensione nel sistema respiratorio umano (K., 2007)

CAPITOLO 2

2.1 MACROSETTORI EMISSIVI

Le attività responsabili della formazione di emissioni contribuiscono alla pressione emissiva in modi differenti a seconda delle caratteristiche socioeconomiche e geografico-territoriali del sito.
La varietà e la numerosità di tali attività hanno portato alla necessità di elaborare una classificazione univoca nell'ambito della predisposizione degli inventari.
La nomenclatura utilizzata a livello europeo è quella EMEP-CORINAIR che classifica le attività secondo la SNAP (*Selected Nomenclature for Air Pollution)*. Tale classificazione si basa sulla ripartizione delle attività antropiche e naturali in una struttura fortemente gerarchica che comprende, nella versione'97 (detta appunto SNAP 97), 11 macrosettori, 56 settori e 360 categorie (o attività).
I macrosettori sono i seguenti:

- Macrosettore 01: Combustione - Energia e industria di trasformazione
- Macrosettore 02: Combustione - Non industriale
- Macrosettore 03: Combustione - Industria
- Macrosettore 04: Processi Produttivi
- Macrosettore 05: Estrazione, distribuzione combustibili fossili/geotermico
- Macrosettore 06: Uso di solventi
- Macrosettore 07: Trasporti Stradali
- Macrosettore 08: Altre Sorgenti Mobili
- Macrosettore 09: Trattamento e Smaltimento Rifiuti
- Macrosettore 10: Agricoltura
- Macrosettore 11: Altre sorgenti di Emissione ed Assorbimenti

Questa classificazione consente l'elaborazione di inventari attraverso la stima e la valutazione delle emissioni riferite ad un numero sempre maggiore di attività emissive definite e codificate in modo univoco ed al massimo livello di dettaglio. (Arpa Puglia)

2.1.2 Macrosettore 02

Il secondo macrosettore comprende i processi di combustione analoghi a quelli del macrosettore 01, ma non di tipo industriale. Vengono considerati, quindi, gli impianti commerciali ed istituzionali, quelli residenziali (riscaldamento e processi di combustione domestici quali camini, stufe, ecc.) e quelli agricoli stazionari (riscaldamento, turbine a gas, motori stazionari ed altro).
La classificazione completa è la seguente:

- 020100 Impianti commerciali ed istituzionali
- 020101 Caldaie con potenza termica>= 300MW
- 020102 Caldaie con potenza termica>= 50 e < 300MW
- 020103 Caldaie con potenza termica< 50MW
- 020104 Turbine a gas
- 020105 Motori a combustione interna
- 020106 Altri sistemi (condizionatori, ecc.)
- 020200 Impianti residenziali
- 020201 Caldaie con potenza termica>= 50 MW
- 020202 Caldaie con potenza termica< 50MW
- 020203 Turbine a gas
- 020204 Motori a combustione interna
- 020205 Altri sistemi (stufe, caminetti, cucine, ecc.)
- 020300 Impianti in agricoltura, silvicoltura e acquacoltura
- 020301 Caldaie con potenza termica>= 50 MW
- 020302 Caldaie con potenza termica< 50MW
- 020303 Turbine a gas
- 020304 Motori a combustione interna
- 020305 Altri sistemi (condizionatori, ecc.)

2.2 INVENTARI DI EMISSIONE

L'individuazione e la conoscenza delle fonti emissive, nonché la disponibilità dei dati, sono la base per la valutazione delle azioni per la tutela dell'ambiente e della salute umana.
La valutazione delle emissioni inquinanti mediante monitoraggio continuo e diretto della fonte di emissione è realizzabile soltanto per alcune categorie di sorgenti.
Nella maggior parte dei casi è necessario adottare metodologie alternative di stima statistica delle emissioni. In questo contesto, gli inventari delle emissioni si propongono come uno strumento per organizzare i dati relativi agli aspetti tecnologici, economici e territoriali.
L'inventario delle emissioni è per definizione "una serie organizzata di dati relativi alla quantità degli inquinanti introdotti in atmosfera da attività antropiche e sorgenti naturali". Tale strumento è di fondamentale importanza per la gestione della qualità dell'aria, in quanto permette di individuare i settori maggiormente sensibili su cui indirizzare gli interventi per la riduzione delle emissioni inquinanti.
Il D.lgs. 155/2010 indica nella versione più aggiornata del manuale EMEP-CORINAIR, pubblicato sul sito dell'Agenzia Europea dell'Ambiente e nei documenti dell'ISPRA, il riferimento per la realizzazione di un inventario delle emissioni. (Arpa Puglia)

2.2.2 Obiettivi degli inventari

L'inventario è uno strumento conoscitivo di fondamentale importanza in quanto permette di:
- stimare le emissioni in atmosfera;
- individuare i settori maggiormente sensibili su cui intervenire;
- alimentare i modelli diffusionali che predicono i valori di concentrazione attesi al suolo;
- costruire gli scenari emissivi corrispondenti ad azioni e politiche di risanamento;
- fornire un supporto all'analisi della qualità dell'aria.

2.2.3 Inventario emissioni aria (IN.EM.AR.)

IN.EM.AR. è un database progettato per realizzare l'inventario delle emissioni in atmosfera, ovvero stimare le emissioni a livello comunale dei diversi inquinanti per ogni attività della classificazione Corinair e tipo di combustibile.
Le informazioni raccolte nel sistema IN.EM.AR. sono le variabili necessarie per la stima delle emissioni: indicatori di attività, fattori di emissione, dati statistici necessari per la disaggregazione spaziale e temporale delle emissioni. (Arpa Puglia)
IN.EM.AR. si presenta come uno degli inventari più funzionali e ricchi di dati, utilizzato da diversi soggetti pubblici; i risultati sono utilizzati da operatori tecnico-scientifici per studi e ricerche.
Esso inoltre costituisce una banca dati essenziale per l'attuazione del decreto legislativo 4 agosto 1999 per quanto concerne la valutazione e la gestione dell'aria e si riferisce a 8 regioni italiane: Lombardia, Piemonte, Emilia-Romagna, Veneto, Trentino-Alto Adige, Friuli-Venezia Giulia, Puglia e Marche. (Arpa Lombardia, 2014)

2.2.4 Ispra

ISPRA è l'acronimo di Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, esso è ente pubblico, dotato di personalità giuridica di diritto pubblico, autonomia tecnica, scientifica, organizzativa, finanziaria, gestionale, amministrativa, patrimoniale e contabile.
ISPRA, in qualità di National Reference Centre dell'Agenzia europea per l'ambiente, realizza l'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera che viene utilizzato per verificare il rispetto degli impegni che l'Italia ha assunto a livello internazionale sulla protezione dell'atmosfera.
ISPRA realizza ogni cinque anni la disaggregazione provinciale dell'inventario nazionale in modo da produrre una rappresentazione uniforme delle principali fonti di emissione nelle province italiane, ottenendo risultati confrontabili tra loro. Per quanto riguarda singole e particolari realtà locali è preferibile far riferimento a inventari locali, indubbiamente più dettagliati. (ISPRA, 2010)

Le principali attività svolte da questo ente sono:

- Emissioni. L'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera consente di individuare le principali fonti di emissione a livello nazionale e descriverne gli andamenti nel tempo.
- Qualità dell'aria. ISPRA organizza e rende disponibili i dati nazionali di qualità dell'aria che raccoglie nell'ambito dello scambio europeo di informazioni (Exchange of Information, EoI).
- Piani per la qualità dell'aria e Impatto dell'inquinamento atmosferico su beni culturali e carichi critici.

2.2.5 EMEP/EEA

La metodologia, denominata EMEP-CORINAIR fino al 2007, dal 2009 EMEP/EEA, contiene i metodi di stima per quantificare le emissioni associate a ciascuna attività antropica o naturale, catalogata (fino al 2007) secondo la nomenclatura SNAP97 (Selected Nomenclature for Air Pollution 97). Le versioni successive al 2007 del manuale EMEP-EEA classificano le emissioni secondo la nomenclatura NFR (Nomenclature For Reporting), che non è stata ancora utilizzata per esprimere i risultati dell'inventario regionale veneto, per il quale è stata mantenuta la precedente nomenclatura SNAP97.
La metodologia EMEP-EEA prefigura due possibili procedure di stima delle emissioni in atmosfera: top-down ("dall'alto verso il basso") e bottom-up ("dal basso verso l'alto").
L'approccio top-down parte dalla scala spaziale più ampia (es. nazionale) e discende a livelli inferiori (regioni/province/comuni), utilizzando alcune variabili surrogato scelte tra gli indicatori statistici a disposizione per la scala spaziale di interesse, che devono essere quanto più possibile correlate al processo emissivo considerato (ad es. per le attività del macrosettore Combustione - Energia e industria di trasformazione, si utilizza generalmente come variabile surrogato il consumo di combustibili).
L'approccio bottom-up parte invece dall'analisi della realtà produttiva locale per passare a quella relativa a livelli di aggregazione maggiori. In questo secondo caso, ad esempio, l'emissione prodotta in un distretto industriale viene ricostruita per tutti i camini e le altre sorgenti diffuse relative a ciascun impianto produttivo.
È subito evidente come il secondo approccio sia potenzialmente più preciso, ma richieda un grosso impegno di risorse ed energie per il recupero di un elevato numero di informazioni utili a descrivere ciascuna sorgente emissiva. (Arpa Veneto, 2017)
La strategia adottata più frequentemente è quella di utilizzare entrambi gli approcci in parallelo: bottom-up per le principali sorgenti puntuali (centrali termoelettriche, inceneritori, grossi cementifici, principali arterie stradali, principali centrali di teleriscaldamento, ecc.) e di considerare la rimanente porzione di rilasci come top-down.

2.3 FATTORI DI EMISSIONE

Il fattore di emissione rappresenta l'emissione riferita all'unità di attività della sorgente, espressa ad esempio come quantità di inquinante emesso per unità di prodotto processato, o come quantità di inquinante emesso per unità di combustibile consumato, ecc.
La scelta dei fattori di emissione costituisce un aspetto particolarmente critico e presenta non pochi problemi di affidabilità.
I fattori di emissione devono essere scelti in base alle caratteristiche dell'impianto, ricavando i dati dalla letteratura tecnico-scientifica del settore, e adattando i dati bibliografici alla particolare situazione applicativa.
I dati sono generalmente disponibili in funzione del tipo di processo, del tipo di combustione e/o delle tecnologie di depurazione dei fumi; derivano di norma da campagne di misure su fonti rappresentative: se non specificato si intendono a monte di ogni sistema di depurazione. Se specificato, i fattori di emissione possono essere riferiti all'emissione in uscita al camino, cioè già comprensivi degli effetti di eventuali sistemi di depurazione.

2.3.2 Calcolo dei fattori di emissione

I fattori di emissione (FE) possono essere calcolati tramite la media delle concentrazioni nei fumi della sostanza emessa e la media della portata volumetrica dei fumi in relazione alla quantità di combustibile utilizzato (g/kg combustibile), o in relazione all'energia in ingresso al processo (g/MJ).
La prima metodologia funziona bene per combustioni stabili con una portata volumetrica costante; per combustioni irregolari come quelle ottenute in apparecchi manuali, in cui la combustione varia nelle diverse fasi, si possono avere deviazioni rispetto alla media. In questo caso i fattori di emissione possono essere calcolati istante per istante basandosi sui valori di concentrazioni osservati pesati sul volume specifico dei fumi prodotti, secondo la relazione:

$$FE = \frac{1}{n}\sum_{i} c_i \times V_{spec,i} \times PCI^{-1} \times 10^3$$

dove:
FE = fattore di emissione (g/GJ),
c_i = concentrazione di inquinante osservata (g/m³) all'istante i di n osservazioni,
$V_{spec,i}$ = volume di gas secco prodotto per kg di combustibile secco (m³/kg combustibile),
PCI = potere calorifico inferiore (MJ/kg combustibile).
Se il contenuto di CO_2 nei fumi è noto, il volume di gas secco prodotto per kg di combustibile secco può essere calcolato con l'equazione:

$$V_{spec,i} = \frac{X_C \times V_{mol}}{M_C \times CO_{2i}}$$

dove:

X_C = contenuto di carbonio nel combustibile (kg C/kg combustibile),

V_{mol}= volume molare del gas

M_C = peso atomico del carbonio (12 g/mol)

CO_{2i} = concentrazione di CO2 nei fumi all'istante i

Per il PM il fattore di emissione è stato determinato in accordo con la norma NS 3058-2, che definisce il metodo del tunnel di diluizione. Il particolato, campionato a temperatura ambiente, viene determinato per via gravimetrica e riproporzionato ai m³ campionati e alla portata dei fumi utilizzando la seguente relazione semi empirica che quantifica il valore in g/h:

$$E_{ad} = 1{,}82 \times \left(\frac{m_n}{1000 \times V_m} \times Q_{ad}\right)^{0.83}$$

dove:

E_{ad} = emissione di PM in g/h;

m_n = quantità di PM raccolta (mg)

V_m = volume di gas campionato su base secca (dm³ in condizioni standard, 760 mmHg e 273 K)

Q_{ad} = portata media de fumi nel tunnel di diluizione (dm³/h in condizioni standard, 760 mmHg e 273 K)

Per ottenere il fattore di emissione in g G/J si è utilizzato il PCI e la portata di combustibile misurata, secondo la formula:

$$FE = \frac{E_{ad}}{PCI \times Q_{comb}} \times 1000$$

dove:

Q_{comb} = portata del combustibile (kg/h). (DIIAR, 2012)

Attraverso gli studi di (Watson, 2001) (Environment, 2005) (Alves, 2011) (Goncalves, 2011) (Fernandes, 2011) (Bølling, 2009) (Fine, 2002) (Klimont, 2004) (Gon, 2015) (Schmidl et al., 2011) (Hildemann, 1981) sono stati presi in considerazione i seguenti fattori di emissione:

FATTORI EMISSIONE							
F.E.	**LEGNA in camino aperto**	**LEGNA in stufa tradizionale**	**LEGNA in stufa ad alta efficienza**	**stufe a PELLET**	**METANO**	**G.P.L.**	**GASOLIO**
PM10 [g/GJ]	860	860	380	76	0,5	0,2	5
PM 2,5 [g/GJ]	820	740	370	60	0,2	0,2	1,5
BC [%PM2,5]	7	10	16	15	5,4	5,4	3,9
BC [g/GJ]	57,4	74	59,2	9	0,0108	0,0108	0,0585

Tabella 1 Fattori di emissione

È possibile notare che i fattori di emissione sono l'uno più piccolo dell'altro essendo il Black Carbon una quota del PM2,5 e quest'ultimo una quota del PM10.

2.4 APPLICAZIONI DOMESTICHE

Nei piccoli impianti domestici la qualità della combustione e le caratteristiche quantitative e qualitative delle emissioni inquinanti risultano fortemente influenzate dal tipo di apparecchio utilizzato. Gli apparecchi maggiormente diffusi possono essere distinti nelle seguenti tipologie:

- caminetto aperto: consiste in una camera di combustione, dotata di una larga apertura per l'accesso al letto di combustione e direttamente connessa al camino. L'energia viene trasmessa ai locali generalmente per radiazione. Questa tipologia di apparecchio si caratterizza per un eccesso d'aria molto elevato, con la conseguente perdita della maggior parte del calore attraverso il camino. Il processo di combustione ha quindi bassa efficienza termica, ed elevate emissioni di sostanze incombuste a causa delle condizioni non ottimali di combustione. Il caminetto aperto è rappresentativo della bassa efficienza dei camini di vecchia generazione, ha una potenza nominale di 8 kW e rendimento termico (dichiarato) del 51%;

Figura 8 Legna in camino aperto

- caminetto chiuso: è un apparecchio installato come struttura a sé stante, oppure collocato all'interno di un camino aperto preesistente. È dotato di una porta frontale che riduce l'afflusso dell'aria, con il conseguente aumento della temperatura di combustione e dell'efficienza termica. Sono inoltre presenti dispositivi per la regolazione dell'aria, che negli apparecchi più moderni sono almeno parzialmente automatici Il caminetto chiuso ha una potenza nominale di 11 kW e un rendimento termico (dichiarato) di 82%;

Figura 9 Legna in camino chiuso

- stufe a legna: sono apparecchi a focolare chiuso che, a differenza dei camini, possiedono superfici per lo scambio termico, che quindi viene trasmesso all'unità abitativa sia per radiazione che per convezione. Ne esistono in commercio molte tipologie, che si differenziano soprattutto per le modalità di trasmissione del calore e per il principio di combustione, che può essere del tipo up-draught (alimentazione dell'aria al di sotto del letto di combustione) o down-draught (alimentazione dall'alto). Le stufe tradizionali sono generalmente del tipo up-draught, con la conseguente minore qualità della combustione e maggiore presenza di emissioni inquinanti. Si distinguono:

  -stufa tradizionale: il suo scopo primario è quello del riscaldamento domestico, ma viene usata anche per cuocere i cibi, in quanto alcuni modelli sono dotati di forno e/o pianale per la cottura;

  -stufa ad alta efficienza: la stufa avanzata dotata di controllo manuale sia dell'aria primaria che secondaria ha una potenza nominale di 8 kW e un rendimento dichiarato del 75%.

Figura 10 Stufa a legna tradizionale

Figura 11 Stufa a legna ad alta efficienza

- stufe a pellet: sono apparecchi ad alimentazione automatica, generalmente dotati anche di dispositivi per la regolazione automatica dell'aria. Le caratteristiche di piccola pezzatura ed omogeneità del combustibile e le opportunità di controllo del processo la rendono una delle tecnologie per le quali si sono raggiunti gli standard di emissione migliori. La stufa a pellet ha una potenza termica tra 2,6 e 9 kW e un'efficienza del 91% è provvista di un serbatoio di alimentazione della capacità di 18 kg, la camera di combustione è alimentata tramite una coclea che si attiva periodicamente. La stufa è inoltre provvista di una ventilazione forzata dell'aria calda che regola simultaneamente l'ingresso dell'aria di combustione;

Figura 12 Stufa a pellet

- caldaie: ve ne sono diverse tipologie, alimentate a legna o a pellet, generalmente di potenze superiori a quelle delle stufe e utilizzate per produrre sia calore che acqua calda sanitaria e per il riscaldamento degli edifici. Le caldaie a ciocchi di legna sono generalmente ad alimentazione manuale; anche in questo caso si differenziano per i diversi principi di combustione applicati. Le tipologie più tradizionali prevedono l'alimentazione del combustibile dall'alto, sopra il letto di combustione, e si caratterizzano per condizioni di combustione generalmente non ottimali. (Caserini S., 2008)

Per le caldaie vi è un ulteriore approfondimento:

- Caldaie a Gas Metano:

Le caldaie alimentate con gas metano sono tra le più economiche sia per riscaldamento ambienti sia per la produzione di acqua calda sanitaria.

Il gas metano viene capillarmente distribuito su quasi tutto il territorio nazionale e quindi negli impianti di riscaldamento con caldaie a metano non c'è bisogno di cisterne per stoccare il combustibile.

Il metano viene trasportato, nei condotti del gas, in forma liquida, poi viene rigassificato dai rigassificatori e infine bruciato per produrre calore.

Dal punto di vista tecnico per funzionare le caldaie a metano devono essere provviste dei seguenti attacchi: a) uno per il gas; b) uno per l'uscita dell'acqua calda sanitaria; c) uno per l'entrata dell'acqua fredda sanitaria; d) uno per la mandata della tubazione del riscaldamento; e) uno per l'uscita della tubazione del riscaldamento.

Le caldaie a metano possono essere costruite con tecnologia a camera aperta o a camera stagna e tiraggio forzato che sono ancora più sicure perché non prelevano aria dall'ambiente in cui sono installate, per funzionare. Il blocco bruciatore di una caldaia a metano è formato da bruciatori di gas aspirati a tappeto e per ottenere un miglior rendimento sono provviste del sistema di modulazione di fiamma, sono cioè in grado di modulare la potenza erogata grazie ad un sistema di controllo elettronico automatico, gestito da un microprocessore che opera anche in base ai parametri impostati dall'utente, in funzione delle sue esigenze di riscaldamento e della zona climatica in cui vive. Le caldaie a metano inoltre che implementano un bruciatore capace di miscelare aria e gas nelle giuste proporzioni prima che si inneschi la combustione, permettono di ottenere un rendimento più elevato, una maggior tutela dell'ambiente e un maggior risparmio nelle spese di riscaldamento.

Vantaggi:

-Sono tra le più diffuse come caldaie sia singole sia centralizzate

-Alimentazione a metano che è un gas naturale

-Ingombri ridotti

-Piuttosto silenziose

-Economiche

Figura 13 Caldaia a Gas Metano

- Caldaie a Gasolio:

Le caldaie a gasolio vengono solitamente progettate in due tipologie basilari:
a) caldaie a gasolio con bollitore separato;
b) caldaie a gasolio con bollitore incorporato.
I modelli con bollitore incorporato sono generalmente per uso familiare e si differenziano da quelli con bollitore separato soprattutto per una maggior compattezza di dimensioni dato che il bollitore è inserito nel mantello del generatore di calore. Il bruciatore di queste caldaie è quasi sempre ad aria soffiata: il gasolio, per mezzo di una piccola pompa, viene prelevato da una cisterna, generalmente interrata o comunque in un locale apposito, e viene nebulizzato con l'aria comburente prelevata dal locale in cui si trova il generatore; successivamente l'aria viene spinta nella camera di combustione della caldaia in cui avviene la combustione vera e propria.
Le caldaie a gasolio necessitano di un serbatoio o cisterna per lo stoccaggio del combustibile stesso in attesa dell'utilizzo. Il combustibile per le caldaie a gasolio può essere o il gasolio o la nafta.
Poiché sia gasolio che nafta contengono impurità e sostanze pesanti ne risulta che non si riesce ad ottenere una combustione pulita e per questo le caldaie a gasolio hanno bisogno di una manutenzione più frequente rispetto alle altre tipologie di caldaie. Per contro però, risultano essere meno pericolose delle caldaie a gas. Il mercato degli ultimi anni però si è più sviluppato verso gli impianti a gas, sia a causa dell'aumento dei prezzi dei prodotti petroliferi, tra cui gasolio e nafta, sia per le severe normative antiinquinamento. Le caldaie a gasolio inoltre, avendo anche la cisterna, sono complessivamente sempre le più ingombranti e necessitano di spazi più grandi.

Figura 14 Caldaie a gasolio

- Caldaie a G.P.L.:

Le caldaie alimentate a GPL devono avere un bombolone per lo stoccaggio del gas GPL e devono essere installate con delle tubazioni grandi per permettere al GPL, che è stoccato allo stato liquido, di gassificare bene. Le tubature non vanno isolate perché si rischierebbe il formarsi di ghiaccio, ma per un buon funzionamento di una caldaia a GPL, il freddo si deve disperdere verso l'interno delle tubature che per questo motivo vanno sovradimensionate. Il GPL è un gas pulito, quindi una caldaia a GPL non inquina, rispetta l'ambiente.

Queste caldaie possono essere progettate per uso famigliare o condominiale, a seconda della potenza e generalmente possono (con cambio ugelli o kit) essere alimentate anche a metano. Provviste di sistema di combustione Aria/Gas e di un ventilatore modulante, riescono a mantenere la miscela di aria e gas ottimale e costante su tutto il range di potenza mantenendo sempre elevato il rendimento.

La regolazione climatica della temperatura confortevole è gestita direttamente dalla centralina elettronica a microprocessore della caldaia che grazie a una sonda esterna sente la temperatura esterna e di conseguenza modula la regolazione della temperatura dell'impianto di riscaldamento alle condizioni climatiche esterne.

Le emissioni sono state stimate partendo dalla volumetria riscaldata, dai gradi giorno, dai giorni di riscaldamento e quindi dalla stagionalità e della durata giornaliera del riscaldamento attraverso dei coefficienti inseriti nel calcolo dell'energia consumata e quindi del fabbisogno energetico.

2.5 CONSUMI ENERGETICI

La principale fonte energetica di alimentazione degli impianti di riscaldamento dell'abitazione e dell'acqua è il metano, utilizzato da oltre il 70% delle famiglie. Nel 2013 le famiglie hanno complessivamente speso per consumi energetici oltre 42 miliardi di euro con una spesa media per famiglia pari a 1635 euro. La spesa è il più elevata al Nord e più contenuta nel Sud. Gli impianti di riscaldamento delle abitazioni restano accesi tutti i giorni durante l'inverno per l'87% delle famiglie.

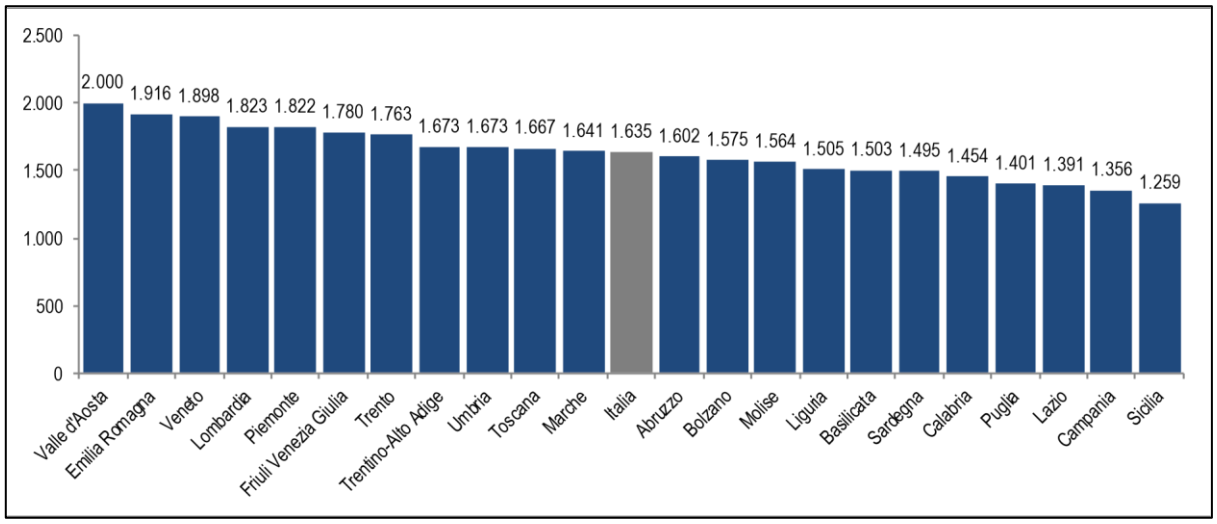

Figura 15 Spesa media per consumi energetici delle famiglie per regione (ISTAT, 2014)

La spesa media annuale varia nelle diverse zone in relazione alle condizioni climatiche e al conseguente utilizzo dell'impianto di riscaldamento. Sono da considerare, inoltre, sia il costo del mercato dei diversi prodotti energetici, sia la variabilità di tale costo rispetto al territorio.

Regione	Energia elettrica	Metano	Gasolio	GPL	Legna o pellets	Spesa media per consumi energetici
Piemonte	27,9	57,6	5,4	5,2	3,9	1.822
Valle d'Aosta	26,1	20,7	29,1	15,9	8,2	2.000
Lombardia	29,6	62,9	3,8	1,5	2,3	1.823
Trentino-Alto Adige	30,9	38,5	18,5	4,9	7,2	1.673
Bolzano	33,9	33,1	20,9	3,2	8,8	1.575
Trento	28,3	43,0	16,5	6,4	5,8	1.763
Veneto	32,5	50,3	6,3	5,4	5,5	1.898
Friuli-Venezia Giulia	29,5	50,3	7,8	5,6	6,8	1.780
Liguria	30,3	56,9	4,6	4,9	3,3	1.505
Emilia-Romagna	30,9	61,4	1,3	4,0	2,4	1.916
Toscana	34,5	50,4	4,6	4,9	5,7	1.667
Umbria	34,8	41,3	3,6	8,4	11,8	1.673
Marche	33,8	52,4	1,9	7,0	4,8	1.641
Lazio	39,8	47,1	2,7	6,0	4,5	1.391
Abruzzo	34,4	50,8	0,3	4,8	9,8	1.602
Molise	35,5	51,1	0,5	2,9	10,1	1.564
Campania	45,9	33,3	1,3	11,0	8,5	1.356
Puglia	42,2	47,9	2,4	4,5	3,1	1.401
Basilicata	34,3	45,1	2,1	5,8	12,8	1.503
Calabria	43,9	32,0	0,9	10,9	12,3	1.454
Sicilia	53,2	35,0	0,8	8,4	2,5	1.259
Sardegna	49,3	-	15,4	24,5	10,8	1.495
Italia	**35,5**	**49,8**	**4,0**	**5,8**	**4,9**	**1.635**

Tabella 2 Spesa media delle famiglie per regione (ISTAT, 2014)

Valori di spesa nettamente al di sopra della media nazionale si osservano in Valle d'Aosta, con 2.000 euro l'anno, Emilia-Romagna e Veneto (circa 1.900), Lombardia e Piemonte (oltre 1.800 euro). Viceversa, la spesa in assoluto più contenuta si registra in Sicilia, dove una famiglia spende in media 1.260 euro l'anno; seguono la Campania (1.350 circa), il Lazio e la Puglia (intorno ai 1.400) e la Calabria (poco più di 1.450 euro).

La spesa media per consumi energetici è connessa alla dimensione familiare; aumenta progressivamente da 1.358 euro di una famiglia monocomponente a 2.102 euro dei nuclei con 5 o più componenti. La presenza di "economie di scala" si manifesta in un incremento delle spese non proporzionale rispetto al numero di componenti. Così, una famiglia composta da 5 membri spende in media annualmente solo il 55% in più rispetto a una famiglia monocomponente. (ISTAT, 2014)

Lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili rappresenta un obiettivo di importanza primaria delle politiche energetiche e ambientali nazionali ed europee, in particolar modo della Strategia europea per la promozione di una crescita economica sostenibile. Tra le varie fonti rinnovabili, un ruolo rilevante, soprattutto per il settore residenziale, è assunto dal consumo di energia coperto da biomasse. In Italia, il 21,4% delle famiglie fa uso di legna a fini energetici.

Complessivamente si consumano 17,7 milioni di tonnellate, pari a un consumo medio familiare di 3,2 tonnellate. I pellets, nonostante la considerevole crescita degli ultimi anni, sono ancora poco diffusi. Le famiglie che li utilizzano sono il 4,1%, il consumo totale è pari a poco meno di 1 milione e mezzo di tonnellate, quello medio per famiglia è di 1,4 tonnellate.

La diversa propensione all'utilizzo delle due fonti energetiche, unita ai differenti livelli di consumo medio a famiglia, fa sì che sia rappresentato dalla legna ben il 92% dei 20 milioni di tonnellate di pellets e legna consumati annualmente. Il ricorso alla legna risulta particolarmente elevato nel Nord-est (25% di famiglie), soprattutto nella provincia di Trento (47,4% di famiglie) e al Centro (24,4%), in particolare in Umbria (47,7%) e Abruzzo (38,4%). Nel Mezzogiorno utilizzano legna 22,5 famiglie su 100, con quote più elevate in Sardegna (39,2 su 100), Basilicata e Calabria (35 per entrambe).

Assai più marginale, invece, il ricorso a questo tipo di combustibile nel Nord-Ovest (15,2%), con l'eccezione della Valle d'Aosta (33,7%). Il consumo di pellets è più diffuso nelle ripartizioni settentrionali – soprattutto in Valle d'Aosta, Friuli-Venezia Giulia e Trentino - rispetto al Centro e al Mezzogiorno, con l'eccezione di Sardegna (11,5%) e Umbria (11,1%). (ISTAT, 2014)

	LEGNA			PELLETS		
	Famiglie utilizzatrici (per 100 famiglie)	Consumi (in tonnellate)	Consumi medi (in tonnellate) per famiglia	Famiglie utilizzatrici (per 100 famiglie)	Consumi (in tonnellate)	Consumi medi (in tonnellate) per famiglia
RIPARTIZIONE TERRITORIALE						
Marche	25,4	509532	3,1	5,0	43569	1,4
TIPOLOGIA COMUNALE						
Comune centro dell'area metropolitana	2,2	87691	0,9	0,1	2544	0,7
Comuni della periferia dell'area metropolitana	11,8	704959	2,0	3,1	97348	1,0
Comuni con più di 50.000 abitanti	11	1169295	2,4	1,4	55580	0,9
Comuni di montagna con n. abitanti fino a 50.000	40,8	10652672	3,8	7,4	819999	1,6
Comuni di non di montagna con n. abitanti fino a 50.000	24,6	5109733	2,8	5,3	492875	1,3
Italia	**21,4**	**17724350**	**3,2**	**4,1**	**1468345**	**1,4**

Tabella 3 Famiglie utilizzatrici (a) di legna e pellets (per 100 famiglie) e quantità medie e totali (tonnellate) utilizzate per ripartizione e regione

La diffusione delle biomasse è legata a tradizioni di consumo specifiche di alcune zone. Ne sono un esempio i comuni di montagna, dove il 40,8% delle famiglie usa la legna e il 7,4% i pellets. Il ricorso ai combustibili solidi di fonte vegetale risulta nel complesso crescente all'aumentare della dimensione demografica del comune di residenza; rappresenta una fonte energetica piuttosto marginale nei grandi centri metropolitani e comunque assai meno diffusa della media nei comuni periferia delle aree metropolitane e nei comuni con più di 50 mila abitanti.

Nonostante la crescente espansione di impianti innovativi per il consumo di biomasse, gli apparecchi più utilizzati nel settore residenziale restano i camini e le stufe tradizionali, in cui vengono consumati legna da 87.5% famiglie su 100 e pellets da 72.8%. Seguono, con valori assai inferiori, camini o stufe innovativi (11.6 per la legna). (ISTAT, 2014)

	LEGNA				PELLETS	
	Camini o stufe tradizionali	Camini o stufe innovativi	Altri apparecchi		Camini o stufe tradizionali	Altri apparecchi
RIPARTIZIONE TERRITORIALE						
Marche	87,5	11,6	..		72,8	32,7
valori ripartiti in base al tipo di apparecchio della regione Marche (tonn/famiglia)						
	Camini o stufe tradizionali	Camini o stufe innovativi	Camini o stufe tradizionali	Altri apparecchi		
Consumi medi LEGNA (in tonnellate) per famiglia	**2,7125**	**0,3596**				
Consumi medi PELLETS (in tonnellate) per famiglia			**1,0192**	**0,4578**		

Tabella 4 Famiglie per tipologia di dotazione per l 'utilizzo di legna e pellets per ripartizione e regione per 100 famiglie che utilizzano legna e pellets

2.6 INTRODUZIONE ALLA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI

Il decreto legislativo 81/2018, in materia di riduzione delle emissioni nazionali di determinati inquinanti atmosferici, è entrato in vigore il 17 luglio 2018 e attua la Direttiva UE 2016/2284 (Direttiva NEC).

Il provvedimento entrato in vigore lo scorso 17 luglio 2018 rappresenta l'attuazione della Direttiva (UE) 2016/2284 (Direttiva NEC) e tende a promuovere il raggiungimento di livelli di qualità dell'aria che non causino impatti negativi e rischi significativi per la salute umana e l'ambiente attraverso diverse azioni:

- impegni nazionali di riduzione delle emissioni di origine antropica,
- elaborazione, adozione e attuazione di programmi nazionali di controllo dell'inquinamento atmosferico,
- obblighi di monitoraggio delle emissioni delle sostanze inquinanti e degli impatti dell'inquinamento atmosferico sugli ecosistemi,
- obblighi di comunicazione degli atti e delle informazioni connesse agli adempimenti sopra elencati,
- una più efficace informazione rivolta ai cittadini. (ARPAT, 2018) (Bavazzano, 2018)

I sistemi di abbattimento tecnicamente ed economicamente applicabili ai piccoli impianti del settore residenziale sono costituiti dai catalizzatori e dai precipitatori elettrostatici. Nel seguito verranno descritte brevemente le tecnologie applicate ed i dati disponibili per valutarne l'efficacia.

2.5.2 Catalizzatori

Il principio di funzionamento dei catalizzatori consiste nell'ossidazione dei composti organici presenti nei fumi. In assenza di dispositivi specifici, l'ossidazione richiede una temperatura di almeno 540 °C; temperature così alte sono difficili da raggiungere all'esterno della camera di combustione. Per ridurre la temperatura di ignizione dei fumi, gli apparecchi possono essere dotati di un catalizzatore a valle della camera di combustione. I dispositivi sono realizzati solitamente con un supporto ceramico estruso in una configurazione a celle o ad alveare. La superficie è poi ricoperta con un sottile strato di catalizzatore (p.es.: platino, rodio o palladio). In termini operativi, possono prodursi danni al catalizzatore dovuti ad una temperatura eccessiva, e può esserci la necessità di periodiche operazioni di pulizia. I catalizzatori sono dispositivi estremamente diffusi soprattutto negli Stati Uniti; recentemente si è avuto il lancio di qualche prodotto anche sul mercato europeo ed italiano, ma non sono ancora disponibili dati di letteratura sufficienti ad accertarne l'efficacia e la durabilità nel tempo.

2.5.3 Precipitatori elettrostatici

Nei precipitatori elettrostatici ad uso domestico, l'elettrodo è solitamente posizionato al centro della canna fumaria, ma esistono anche conformazioni diverse (con elettrodi piatti). La tensione prodotta provoca la ionizzazione delle particelle, che si depositano di solito lungo il camino. La rimozione delle particelle depositate può avvenire a seconda dei casi:

- durante le normali operazioni di pulizia del camino (previa rimozione dell'elettrodo);
- tramite un sistema di rimozione periodica dei residui dalla canna fumaria, mediante vibrazione, rimozione meccanica (spazzole rotanti) o insufflazione di aria.

Il sistema può inoltre avere necessità di una presa d'aria per il raffreddamento dell'elettrodo, e di una sonda di regolazione che attiva l'elettrofiltro a seconda della temperatura.

Una ulteriore tipologia da considerare è costituita dagli scambiatori di calore: si tratta di dispositivi dedicati al recupero di calore, la cui configurazione viene ottimizzata con lo scopo di favorire anche la precipitazione del particolato.

Molti dispositivi sono in fase di sviluppo, e non sempre esiste documentazione scientifica attendibile riguardo alla loro efficacia. (Langenbruck, 2006)

Uno studio effettuato in Svizzera ha testato in campo l'efficacia di un elettrofiltro, verificando sugli impianti a carica manuale rendimenti del 76% nella fase centrale del processo di combustione. Più critiche sono invece la fase iniziale (rendimento 40-60%) e finale (58%). Un altro lavoro realizzato presso l'Università di Trento (Baggio et al., 2008), ha testato l'efficienza dell'elettrofiltro Zumikron,

uno dei primi dispositivi ad essere immesso sul mercato europeo. Le conclusioni dello studio certificano percentuali di abbattimento intorno all'80%, ma ottenute in fase di combustione stazionaria; un limite degli elettrofiltri, come si è già visto, è tuttavia proprio la 2difficoltà di funzionamento in condizioni di combustione non ottimale. (Nussbaumer, 2010)

La rassegna più completa sui dispositivi di abbattimento delle polveri applicati agli impianti residenziali a biomasse è presentata in (Bioenergy, 2011), che ha descritto i principali dispositivi di abbattimento in commercio o prossimi alla commercializzazione, e li ha anche sottoposti a prove di laboratorio per verificarne l'efficacia. Complessivamente sono stati sottoposti a test 19 apparecchiature, per la maggior parte costituite da precipitatori elettrostatici (ESP). Come sottolineato nello studio, le misure di efficienza riportate richiederebbero di riferirsi a standard di misura comuni. Infatti, diverse circostanze possono influenzarne il valore:

- non è chiara l'influenza delle particelle cariche sui dispositivi di misura a valle del filtro;
- alcuni filtri sono posizionati sul tetto: il conseguente raffreddamento dei fumi ha influenza sull'efficienza, e pertanto le prove di laboratorio dovrebbero svolgersi quanto più possibile in condizioni simili a quelle in campo;
- la presenza di flussi d'aria per la pulizia degli elettrodi può raffreddare i fumi e produrre quindi ulteriore particolato per adsorbimento dei composti organici sul PM: questo potrebbe nel caso peggiore produrre efficienze negative.

Risulta inoltre importante definire le condizioni di combustione in fase di test; in particolare va chiarita l'influenza delle particelle appiccicose, che si generano in fase di combustione incompleta.

Lo studio evidenzia come le migliori performance siano correlate a filtri di tipo elettrostatico, che possono raggiungere efficienze tra il 50 e l'85%. I dispositivi catalitici danno risultati promettenti, ma non sono operativi in fase di combustione iniziale, in quanto necessitano di alte temperature; fa eccezione uno dei dispositivi censiti, che è collocato all'interno della camera di combustione. Per i filtri ceramici installati nella parte superiore della camera di combustione l'efficienza non può essere testata, perché è impossibile il prelievo a monte del filtro.

Le stufe che li montano, tuttavia, hanno emissioni paragonabili a quelle degli altri impianti di pari tecnologia, e quindi l'efficienza non parrebbe essere elevata. L'impiego di scambiatori di calore come dispositivi di abbattimento del particolato è teoricamente promettente, ma richiede ulteriore sviluppo.

L'EPA danese ha recentemente finanziato la valutazione di nove dispositivi (tra cui un catalizzatore e numerosi elettrofiltri) per la rimozione del particolato da impianti a biomassa. (Schleicher, 2011)

I risultati dello studio hanno evidenziato, per quanto riguarda gli elettrofiltri:

- riduzioni delle emissioni molto limitate per le diossine; i composti aromatici in alcuni casi risultano addirittura aumentati;
- il particolato risulta ridotto per quanto riguarda le emissioni in massa, ma con un aumento delle granulometrie più fini.

Lo studio ha inoltre evidenziato alcuni problemi pratici (necessità di una canna fumaria in metallo, rumorosità dell'apparecchio) che limitano l'applicabilità nei casi reali. Per quanto riguarda il catalizzatore, si evidenzia che le prestazioni elevate sono accompagnate da frequenti necessità di pulizia (circa ogni 8 ore di funzionamento) e difficile applicabilità per problemi di pressione – sono necessari almeno 7-10 m di canna fumaria perché si raggiungano i valori necessari. Un ulteriore punto critico è la possibilità che il catalizzatore possa bloccare il flusso di gas nella canna fumaria, con conseguenti problemi di sicurezza.

Dal punto di vista economico, in vista anche delle maggiori necessità di manutenzione dell'impianto, per gli apparecchi di piccola taglia si considera complessivamente più conveniente comprare un nuovo e più efficiente apparecchio di combustione piuttosto che un dispositivo di abbattimento a valle.

Essenzialmente, questi sistemi di abbattimento sono particolarmente interessanti per gli apparecchi ad alimentazione manuale, dove le possibilità di ottimizzazione del processo di combustione sono limitate; tuttavia è proprio in condizioni di cattiva combustione che i filtri mostrano le maggiori limitazioni di impiego.

CAPITOLO 3

Nel mio lavoro di tesi sono stati calcolati i principali inquinanti derivanti dalla combustione di biomasse nella Regione Marche. La regione è suddivisa in cinque province: Pesaro-Urbino, Ancona, Macerata, Ascoli Piceno, Fermo. Per ogni provincia è stata fatta una distinzione tra i comuni montani e non montani. Si definiscono comuni montani i comuni che hanno un'altitudine maggiore di 600 m s.l.m. In questa tabella è possibile visualizzare i comuni di ogni provincia della Regione Marche distinti fra quelli maggiori di 50000 abitanti e minori di 50000 abitanti ed inoltre suddivisi per altitudine.

Provincia di Pesaro-Urbino		
	Comuni	*m s.l.m.*
>50000 AB	Fano	12
	PESARO	11
<50000 AB	Montecopiolo	915
	Carpegna	748
	Pietrarubbia	572
	Monte Grimano Terme	536
	Serra Sant'Abbondio	536
	Peglio	534
	Monte Cerignone	528
	Frontino	519
	Apecchio	493
	Urbino	485
	Borgo Pace	469
	Sassofeltrio	466
	Mercatello sul Metauro	429
	Tavoleto	426
	Fratte Rosa	419
	Frontone	412
	Monteciccardo	384
	Cantiano	360
	Sant'Angelo in Vado	359
	Montecalvo in Foglia	345
	Belforte all'Isauro	344
	Piobbico	339
	Petriano	327
	Sassocorvaro Auditore	326
	Macerata Feltria	321
	Mombaroccio	321
	Piandimeleto	319
	Lunano	297
	Mondavio	280
	Vallefoglia	280

	Cagli	276
	Mercatino Conca	275
	Urbania	273
	Pergola	265
	Terre Roveresche	264
	Montefelcino	260
	Sant'Ippolito	246
	Cartoceto	235
	Isola del Piano	210
	San Lorenzo in Campo	209
	Acqualagna	204
	Fermignano	200
	Tavullia	170
	San Costanzo	150
	Mondolfo	144
	Gradara	142
	Fossombrone	118
	Monte Porzio	105
	Colli al Metauro	66
	Montelabbate	65
	Gabicce Mare	11
Provincia di Ancona		
	Comuni	*m s.l.m.*
>50000 AB	ANCONA	16
<50000 AB	Arcevia	535
	Cupramontana	505
	Staffolo	441
	Maiolati Spontini	405
	Sassoferrato	386
	Poggio San Marcello	385
	Rosora	385
	Montecarotto	380
	Mergo	368
	Monte Roberto	348
	Fabriano	325
	Genga	322
	Offagna	306
	Castelplanio	305
	Serra San Quirico	300
	Filottrano	270
	Osimo	265
	Cerreto d'Esi	264
	Castelbellino	261
	Belvedere Ostrense	251
	Ostra Vetere	250

	Santa Maria Nuova	249
	Camerano	231
	San Marcello	231
	San Paolo di Jesi	224
	Barbara	219
	Serra de' Conti	216
	Castelleone di Suasa	206
	Corinaldo	203
	Agugliano	203
	Morro d'Alba	199
	Castelfidardo	199
	Monsano	191
	Trecastelli	143
	Polverigi	140
	Monte San Vito	135
	Loreto	127
	Camerata Picena	125
	Sirolo	125
	Ostra	118
	Jesi	97
	Montemarciano	92
	Numana	56
	Chiaravalle	22
	Falconara Marittima	5
	Senigallia	5
Provincia di Macerata		
	Comuni	*m s.l.m.*
>50000 AB	MACERATA	315
<50000 AB	Bolognola	1.070
	Castelsantangelo SN	780
	Ussita	744
	Fiastra	732
	San Ginesio	680
	Camerino	661
	Gualdo	652
	Monte Cavallo	648
	Serravalle di Chienti	647
	Cingoli	631
	Penna San Giovanni	630
	Visso	607
	Monte San Martino	603
	Sarnano	539
	Apiro	516
	Poggio San Vicino	509
	Sefro	497

	Serrapetrona	490
	Gagliole	484
	Fiuminata	479
	Sant'Angelo in Pontano	473
	Pieve Torina	470
	Muccia	454
	Esanatoglia	446
	Valfornace	441
	Pioraco	441
	Loro Piceno	436
	Cessapalombo	434
	Ripe San Ginesio	430
	Colmurano	414
	Matelica	354
	Belforte del Chienti	347
	Treia	342
	Pollenza	341
	Camporotondo di F.	335
	Caldarola	314
	Mogliano	313
	Urbisaglia	310
	Castelraimondo	307
	Recanati	293
	Montelupone	272
	Petriolo	271
	Corridonia	255
	Montecosaro	252
	Morrovalle	245
	Montefano	242
	Potenza Picena	237
	Monte San Giusto	236
	San Severino Marche	235
	Tolentino	228
	Montecassiano	215
	Appignano	199
	Porto Recanati	6
	Civitanova Marche	3
Provincia di Ascoli Piceno		
	Comuni	*m s.l.m.*
>50000 AB	ASCOLI PICENO	154
<50000 AB	Montemonaco	988
	Montegallo	870
	Arquata del Tronto	777
	Force	689
	Montedinove	561

	Palmiano	550
	Montalto delle Marche	513
	Ripatransone	494
	Castignano	475
	Comunanza	448
	Venarotta	421
	Montefiore dell'Aso	412
	Cossignano	400
	Rotella	395
	Acquasanta Terme	392
	Carassai	365
	Acquaviva Picena	359
	Folignano	319
	Maltignano	307
	Roccafluvione	299
	Offida	293
	Castorano	280
	Monteprandone	273
	Massignano	254
	Castel di Lama	201
	Appignano del Tronto	194
	Spinetoli	177
	Colli del Tronto	168
	Monsampolo del Tronto	158
	San Benedetto del T.	4
	Cupra Marittima	4
	Grottammare	4
Provincia di Fermo		
	Comuni	*m s.l.m.*
>50000 AB	FERMO	319
<50000 AB	Smerillo	806
	Montefalcone Appennino	757
	Santa Vittoria in M.	625
	Montefortino	612
	Montelparo	588
	Amandola	500
	Monte Rinaldo	475
	Monterubbiano	463
	Falerone	432
	Monte Vidon Corrado	429
	Monteleone di Fermo	427
	Montegiorgio	411
	Moresco	405
	Monte Vidon Combatte	393

	Montappone	370
	Petritoli	358
	Massa Fermana	340
	Monte Giberto	322
	Rapagnano	316
	Belmonte Piceno	312
	Ortezzano	301
	Magliano di Tenna	293
	Monsampietro Morico	289
	Montegranaro	279
	Montottone	277
	Lapedona	263
	Sant'Elpidio a Mare	251
	Ponzano di Fermo	248
	Monte Urano	247
	Monte San Pietrangeli	241
	Francavilla d'Ete	231
	Grottazzolina	227
	Torre San Patrizio	224
	Altidona	224
	Servigliano	215
	Campofilone	202
	Pedaso	4
	Porto San Giorgio	4
	Porto Sant'Elpidio	4

Tabella 5 Comuni in ordine di altitudine

3.2 EMISSIONI DERIVANTI DALLA COMBUSTIONE DI BIOMASSE

Dalla combustione di biomasse vi è la produzione di sostanze inquinanti come le polveri sottili.

L'*Organizzazione Mondiale della Sanità*, ha stimato che le polveri sottili siano responsabili di circa 2 milioni di morti nel mondo, ogni anno.

Il PM10 è un insieme di sostanze inquinanti costituito da polveri, fumo e altre sostanze liquide che in gergo tecnico sono chiamate *"aerosol"*. Queste sostanze, disperse nell'aria, riescono a raggiungere diverse parti dell'apparato respiratorio causando seri danni.

La sigla PM10, significa letteralmente Particulate Matter o Materia Particolata. Il "10" corrisponde a un diametro aerodinamico, cioè il diametro di un'ipotetica materia dalla forma sferica e dalla densità uguale a 1 g/cm³. Quindi con PM10 si vanno a identificare tutte quelle polveri sottili dal diametro uguale o inferiore ai 10 millesimi di millimetro, ovvero 10 µm.

La pericolosità delle polveri sottili è direttamente proporzionale alla dimensione: più piccole sono le particelle e più in profondità potranno permeare in nostro apparato respiratorio.

Il PM2.5 è l'insieme delle sostanze inquinanti di polveri sottili particolarmente fini, con diametro inferiore a 2,5 micron. Per la loro dimensione possono insinuarsi nell'apparato respiratorio e raggiungere i polmoni, provocando disagi che vanno da irritazione, tosse, bruciore di gola fino ad asma, malattie polmonari e problemi cardiaci.
Tra le tante particelle che formano il PM10, ce n'è una che sta richiamando l'attenzione di scienziati, medici e politici. Si chiama black carbon per via del suo colore scuro e per il fatto di essere formata principalmente da carbonio: deriva dalla combustione incompleta di combustibili fossili e di biomasse, dai motori diesel e dai vecchi fornelli domestici, molto diffusi nei Paesi in via di sviluppo. Si tratta di un "composto clima-alterante a vita breve" (Short-Lived Climate Forcers): rimane sospeso nell'atmosfera solo per alcuni giorni (e non per decenni, come il biossido di carbonio), per poi depositarsi sul suolo.
Alti livelli di black carbon possono contribuire a innalzare anche di due gradi la temperatura locale, ma non solo. Sebbene sia prodotto nelle aree più densamente popolate, le correnti atmosferiche possono trasportarlo molto lontano, fin sui ghiacciai. E dal momento che il colore scuro assorbe l'energia dei raggi solari molto più del bianco (che li riflette), l'effetto del black carbon è quello di scaldare la superficie, velocizzando la fusione del ghiaccio. (Moriconi, 2016)

3.2.2 Calcolo delle sostanze inquinanti dalla combustione di biomasse

Facendo riferimento alla tabella 3 del capitolo 2, sono state calcolate le famiglie utilizzatrici di legna e pellets. Rispetto al numero di famiglie si ha che il 25% delle famiglie utilizzano legna, con una correzione dell'11% per i capoluoghi e 41% per i comuni montani, e il 5% delle famiglie utilizzano pellets, con una correzione dell'1,4% per i capoluoghi e 7,4% per i comuni montani.
Facendo riferimento alla tabella 4 del capitolo 2, sono state calcolate le famiglie per tipologia di dotazione per l'utilizzo di legna e pellets tramite i consumi medi in tonnellate per famiglia.
Tenendo conto del numero di famiglie, dei consumi energetici per famiglia e dei fattori di emissione già presentati nel capitolo precedente è possibile calcolare le quantità di sostanze emissive del PM10, del PM2,5 e del Black Carbon, utilizzando il fattore di conversione 1tonn=10.46GJ.

F.E.	LEGNA in camino aperto	LEGNA in stufa tradizionale	LEGNA in stufa ad alta efficienza	stufe a PELLET
PM10 [g/GJ]	860	860	380	76
PM 2,5 [g/GJ]	820	740	370	60
BC [%PM2,5]	7	10	16	15
BC [g/GJ]	57,4	74	59,2	9

Tabella 6 Fattori di emissione

Provincia di Pesaro-Urbino												
	comune	m s.l.m.	numero di famiglie	25% famiglie (consumano legna)	5% famiglie (consumano pellets)	Camini o stufe tradizionali LEGNA	Camini o stufe innovativi LEGNA	Camini o stufe tradizionali PELLETS	Altri apparecchi PELLETS	**PM10 (tonn.)**	**PM2,5 (tonn.)**	**BC (tonn.)**
>50000 AB	Fano	12	26700	2937	373,8	7966,61	1056,15	380,98	171,13	76,30	72,77	5,49
	PESARO	11	39184	4310,24	548,576	11691,53	1549,96	559,11	251,14	111,98	106,79	8,06
<50000 AB	Montecopiolo	915	545	223,45	40,33	606,11	80,35	41,10	18,46	5,82	5,55	0,42
	Carpegna	748	719	294,79	53,206	799,62	106,01	54,23	24,36	7,68	7,32	0,55
	Pietrarubbia	572	287	71,75	14,35	194,62	25,80	14,63	6,57	1,87	1,78	0,13
	Monte Grimano Terme	536	549	137,25	27,45	372,29	49,36	27,98	12,57	3,58	3,41	0,26
	Serra Sant'Abbondio	536	498	124,5	24,9	337,71	44,77	25,38	11,40	3,25	3,09	0,23
	Peglio	534	280	70	14	189,88	25,17	14,27	6,41	1,82	1,74	0,13
	Monte Cerignone	528	274	68,5	13,7	185,81	24,63	13,96	6,27	1,79	1,70	0,13
	Frontino	519	135	33,75	6,75	91,55	12,14	6,88	3,09	0,88	0,84	0,06
	Apecchio	493	887	221,75	44,35	601,50	79,74	45,20	20,30	5,78	5,51	0,42
	Urbino	485	6695	1673,75	334,75	4540,05	601,88	341,18	153,25	43,63	41,58	3,15
	Borgo Pace	469	310	77,5	15,5	210,22	27,87	15,80	7,10	2,02	1,93	0,15
	Sassofeltrio	466	593	148,25	29,65	402,13	53,31	30,22	13,57	3,86	3,68	0,28
	Mercatello sul Metauro	429	603	150,75	30,15	408,91	54,21	30,73	13,80	3,93	3,75	0,28
	Tavoleto	426	371	92,75	18,55	251,58	33,35	18,91	8,49	2,42	2,30	0,17
	Fratte Rosa	419	398	99,5	19,9	269,89	35,78	20,28	9,11	2,59	2,47	0,19
	Frontone	412	609	152,25	30,45	412,98	54,75	31,03	13,94	3,97	3,78	0,29
	Montecicardo	384	634	158,5	31,7	429,93	57,00	32,31	14,51	4,13	3,94	0,30
	Auditore	373	621	155,25	31,05	421,12	55,83	31,65	14,21	4,05	3,86	0,29
	Cantiano	360	1133	283,25	56,65	768,32	101,86	57,74	25,93	7,38	7,04	0,53
	Sant'Angelo in Vado	359	1520	380	76	1030,75	136,65	77,46	34,79	9,90	9,44	0,71
	Montecalvo in Foglia	345	1038	259,5	51,9	703,89	93,32	52,90	23,76	6,76	6,45	0,49
	Belforte all'Isauro	344	307	76,75	15,35	208,18	27,60	15,64	7,03	2,00	1,91	0,14
	Piobbico	339	862	215,5	43,1	584,54	77,49	43,93	19,73	5,62	5,35	0,40
	Petriano	327	1027	256,75	51,35	696,43	92,33	52,34	23,51	6,69	6,38	0,48
	Sassocorvaro	326	1396	349	69,8	946,66	125,50	71,14	31,95	9,10	8,67	0,66
	Macerata Feltria	321	907	226,75	45,35	615,06	81,54	46,22	20,76	5,91	5,63	0,43
	Mombaroccio	321	936	234	46,8	634,73	84,15	47,70	21,43	6,10	5,81	0,44
	Piandimeleto	319	833	208,25	41,65	564,88	74,89	42,45	19,07	5,43	5,17	0,39
	Lunano	297	538	134,5	26,9	364,83	48,37	27,42	12,31	3,51	3,34	0,25
	Mondavio	280	1565	391,25	78,25	1061,27	140,69	79,75	35,82	10,20	9,72	0,74
	Vallefoglia	280	5652	1413	282,6	3832,76	508,11	288,03	129,37	36,83	35,10	2,66
	Cagli	276	3818	954,5	190,9	2589,08	343,24	194,57	87,39	24,88	23,71	1,79
	Mercatino Conca	275	474	118,5	23,7	321,43	42,61	24,16	10,85	3,09	2,94	0,22
	Urbania	273	2777	694,25	138,85	1883,15	249,65	141,52	63,57	18,10	17,25	1,30
	Pergola	265	2951	737,75	147,55	2001,15	265,29	150,38	67,55	19,23	18,33	1,39
	Terre Roveresche	264	2160	540	108	1464,75	194,18	110,07	49,44	14,07	13,42	1,01
	Montefelcino	260	1074	268,5	53,7	728,31	96,55	54,73	24,58	7,00	6,67	0,50
	Sant'Ippolito	246	609	152,25	30,45	412,98	54,75	31,03	13,94	3,97	3,78	0,29
	Cartoceto	235	3034	758,5	151,7	2057,43	272,76	154,61	69,45	19,77	18,84	1,43
	Isola del Piano	210	266	66,5	13,3	180,38	23,91	13,56	6,09	1,73	1,65	0,12

	San Lorenzo in Campo	209	1456	364	72,8	987,35	130,89	74,20	33,33	9,49	9,04	0,68
	Acqualagna	204	1694	423,5	84,7	1148,74	152,29	86,33	38,78	11,04	10,52	0,80
	Fermignano	200	3278	819,5	163,9	2222,89	294,69	167,05	75,03	21,36	20,36	1,54
	Tavullia	170	2822	705,5	141,1	1913,67	253,70	143,81	64,60	18,39	17,53	1,33
	San Costanzo	150	1851	462,75	92,55	1255,21	166,40	94,33	42,37	12,06	11,50	0,87
	Mondolfo	144	4571	1142,75	228,55	3099,71	410,93	232,94	104,63	29,79	28,39	2,15
	Gradara	142	1915	478,75	95,75	1298,61	172,16	97,59	43,83	12,48	11,89	0,90
	Fossombrone	118	3884	971	194,2	2633,84	349,17	197,93	88,90	25,31	24,12	1,82
	Monte Porzio	105	1063	265,75	53,15	720,85	95,56	54,17	24,33	6,93	6,60	0,50
	Colli al Metauro	66	4783	1195,75	239,15	3243,47	429,99	243,74	109,48	31,17	29,71	2,25
	Montelabbate	65	2373	593,25	118,65	1609,19	213,33	120,93	54,32	15,46	14,74	1,11
	Gabicce Mare	11	2619	654,75	130,95	1776,01	235,45	133,46	59,95	17,07	16,27	1,23
										729,13	695,05	52,54
Provincia di Ancona												
		m s.l.m.	numero di famiglie	25% famiglie (consumano legna)	5% famiglie (consumano pellets)	Camini o stufe tradizionali LEGNA	Camini o stufe innovativi LEGNA	Camini o stufe tradizionali PELLETS	Altri apparecchi PELLETS	**PM10 (tonn.)**	**PM2,5 (tonn.)**	**BC (tonn.)**
>50000 AB	ANCONA	16	46667	5133,37	653,34	13924,27	1845,96	665,88	299,10	133,36	127,18	9,59
<50000 AB	Arcevia	535	2115	528,75	105,75	1434,23	190,14	107,78	48,41	13,78	13,14	0,99
	Cupramontana	505	2034	508,50	101,70	1379,31	182,86	103,65	46,56	13,25	12,63	0,96
	Staffolo	441	948	237,00	47,40	642,86	85,23	48,31	21,70	6,18	5,89	0,45
	Maiolati Spontini	405	2415	603,75	120,75	1637,67	217,11	123,07	55,28	15,74	15,00	1,13
	Sassoferrato	386	3237	809,25	161,85	2195,09	291,01	164,96	74,09	21,09	20,10	1,52
	Poggio San Marcello	385	330	82,50	16,50	223,78	29,67	16,82	7,55	2,15	2,05	0,16
	Rosora	385	761	190,25	38,05	516,05	68,41	38,78	17,42	4,96	4,73	0,36
	Montecarotto	380	882	220,50	44,10	598,11	79,29	44,95	20,19	5,75	5,48	0,41
	Mergo	368	425	106,25	21,25	288,20	38,21	21,66	9,73	2,77	2,64	0,20
	Monte Roberto	348	1114	278,50	55,70	755,43	100,15	56,77	25,50	7,26	6,92	0,52
	Fabriano	325	13328	3332,00	666,40	9038,05	1198,19	679,19	305,08	86,85	82,78	6,26
	Genga	322	808	202,00	40,40	547,93	72,64	41,18	18,50	5,27	5,02	0,38
	Offagna	306	713	178,25	35,65	483,50	64,10	36,33	16,32	4,65	4,43	0,33
	Castelplanio	305	1409	352,25	70,45	955,48	126,67	71,80	32,25	9,18	8,75	0,66
	Serra San Quirico	300	1274	318,50	63,70	863,93	114,53	64,92	29,16	8,30	7,91	0,60
	Filottrano	270	3606	901,50	180,30	2445,32	324,18	183,76	82,54	23,50	22,40	1,69
	Osimo	265	13011	3252,75	650,55	8823,08	1169,69	663,04	297,82	84,78	80,81	6,11
	Cerreto d'Esi	264	1539	384,75	76,95	1043,63	138,36	78,43	35,23	10,03	9,56	0,72
	Castelbellino	261	1791	447,75	89,55	1214,52	161,01	91,27	41,00	11,67	11,12	0,84
	Belvedere Ostrense	251	848	212,00	42,40	575,05	76,24	43,21	19,41	5,53	5,27	0,40
	Ostra Vetere	250	1269	317,25	63,45	860,54	114,08	64,67	29,05	8,27	7,88	0,60
	Santa Maria Nuova	249	1568	392,00	78,40	1063,30	140,96	79,91	35,89	10,22	9,74	0,74
	Camerano	231	2682	670,50	134,10	1818,73	241,11	136,67	61,39	17,48	16,66	1,26
	San Marcello	231	775	193,75	38,75	525,55	69,67	39,49	17,74	5,05	4,81	0,36
	San Paolo di Jesi	224	363	90,75	18,15	246,16	32,63	18,50	8,31	2,37	2,25	0,17
	Barbara	219	585	146,25	29,25	396,70	52,59	29,81	13,39	3,81	3,63	0,27
	Serra de' Conti	216	1464	366,00	73,20	992,78	131,61	74,61	33,51	9,54	9,09	0,69
	Castelleone di Suasa	206	653	163,25	32,65	442,82	58,70	33,28	14,95	4,26	4,06	0,31

	Corinaldo	203	2017	504,25	100,85	1367,78	181,33	102,79	46,17	13,14	12,53	0,95
	Agugliano	203	1780	445,00	89,00	1207,06	160,02	90,71	40,74	11,60	11,06	0,84
	Morro d'Alba	199	751	187,75	37,55	509,27	67,51	38,27	17,19	4,89	4,66	0,35
	Castelfidardo	199	7107	1776,75	355,35	4819,43	638,92	362,17	162,68	46,31	44,14	3,34
	Monsano	191	1209	302,25	60,45	819,85	108,69	61,61	27,67	7,88	7,51	0,57
	Trecastelli	143	3096	774,00	154,80	2099,48	278,33	157,77	70,87	20,17	19,23	1,45
	Polverigi	140	1487	371,75	74,35	1008,37	133,68	75,78	34,04	9,69	9,24	0,70
	Monte San Vito	135	2576	644,00	128,80	1746,85	231,58	131,27	58,96	16,79	16,00	1,21
	Loreto	127	4553	1138,25	227,65	3087,50	409,31	232,02	104,22	29,67	28,28	2,14
	Camerata Picena	125	837	209,25	41,85	567,59	75,25	42,65	19,16	5,45	5,20	0,39
	Sirolo	125	1640	410,00	82,00	1112,13	147,44	83,57	37,54	10,69	10,19	0,77
	Ostra	118	2510	627,50	125,50	1702,09	225,65	127,91	57,45	16,36	15,59	1,18
	Jesi	97	16661	4165,25	833,05	11298,24	1497,82	849,04	381,37	108,57	103,48	7,83
	Montemarciano	92	4133	1033,25	206,65	2802,69	371,56	210,62	94,60	26,93	25,67	1,94
	Numana	56	2062	515,50	103,10	1398,29	185,37	105,08	47,20	13,44	12,81	0,97
	Chiaravalle	22	6263	1565,75	313,15	4247,10	563,04	319,16	143,36	40,81	38,90	2,94
	Falconara Marittima	5	11887	2971,75	594,35	8060,87	1068,64	605,76	272,09	77,46	73,83	5,58
	Senigallia	5	19010	4752,50	950,50	12891,16	1709,00	968,75	435,14	123,87	118,07	8,93
										1120,73	1068,26	80,78
Provincia di Macerata												
	comune	m s.l.m.	numero di famiglie	25% famiglie (consumano legna)	5% famiglie (consumano pellets)	Camini o stufe tradizionali LEGNA	Camini o stufe innovativi LEGNA	Camini o stufe tradizionali PELLETS	Altri apparecchi PELLETS	**PM10 (tonn.)**	**PM2,5 (tonn.)**	**BC (tonn.)**
>50000 AB	MACERATA	315	18988	2088,68	265,83	5665,54	751,09	270,94	121,70	54,26	51,75	3,90
<50000 AB	Bolognola	1.070	81	33,21	5,99	90,08	11,94	6,11	2,74	0,86	0,82	0,06
	Castelsantangelo SN	780	182	74,62	13,47	202,41	26,83	13,73	6,17	1,94	1,85	0,14
	Ussita	744	232	95,12	17,17	258,01	34,21	17,50	7,86	2,48	2,36	0,18
	Fiastra	732	290	118,9	21,46	322,52	42,76	21,87	9,82	3,10	2,95	0,22
	San Ginesio	680	1536	629,76	113,66	1708,22	226,46	115,85	52,04	16,40	15,63	1,18
	Camerino	661	3158	1294,78	233,69	3512,09	465,60	238,18	106,98	33,72	32,14	2,43
	Gualdo	652	363	148,83	26,86	403,70	53,52	27,38	12,30	3,88	3,69	0,28
	Monte Cavallo	648	80	20	5,92	54,25	7,19	6,03	2,71	0,52	0,50	0,04
	Serravalle di Chienti	647	559	229,19	41,37	621,68	82,42	42,16	18,94	5,97	5,69	0,43
	Cingoli	631	4035	1654,35	298,59	4487,42	594,90	304,32	136,69	43,08	41,07	3,10
	Penna San Giovanni	630	494	202,54	36,56	549,39	72,83	37,26	16,74	5,27	5,03	0,38
	Visso	607	575	235,75	42,55	639,47	84,78	43,37	19,48	6,14	5,85	0,44
	Monte San Martino	603	276	113,16	20,42	306,95	40,69	20,82	9,35	2,95	2,81	0,21
	Sarnano	539	1526	381,5	76,30	1034,82	137,19	77,76	34,93	9,94	9,48	0,72
	Apiro	516	928	232	46,40	629,30	83,43	47,29	21,24	6,05	5,76	0,44
	Poggio San Vicino	509	132	33	6,60	89,51	11,87	6,73	3,02	0,86	0,82	0,06
	Sefro	497	212	53	10,60	143,76	19,06	10,80	4,85	1,38	1,32	0,10
	Serrapetrona	490	387	96,75	19,35	262,43	34,79	19,72	8,86	2,52	2,40	0,18
	Gagliole	484	270	67,5	13,50	183,09	24,27	13,76	6,18	1,76	1,68	0,13
	Fiuminata	479	721	180,25	36,05	488,93	64,82	36,74	16,50	4,70	4,48	0,34
	Sant'Angelo in Pontano	473	581	145,25	29,05	393,99	52,23	29,61	13,30	3,79	3,61	0,27
	Pieve Torina	470	631	157,75	31,55	427,90	56,73	32,16	14,44	4,11	3,92	0,30

	Muccia	454	388	97	19,40	263,11	34,88	19,77	8,88	2,53	2,41	0,18
	Esanatoglia	446	857	214,25	42,85	581,15	77,04	43,67	19,62	5,58	5,32	0,40
	Valfornace	441	506	126,5	25,30	343,13	45,49	25,79	11,58	3,30	3,14	0,24
	Pioraco	441	602	150,5	30,10	408,23	54,12	30,68	13,78	3,92	3,74	0,28
	Loro Piceno	436	966	241,5	48,30	655,07	86,84	49,23	22,11	6,29	6,00	0,45
	Cessapalombo	434	215	53,75	10,75	145,80	19,33	10,96	4,92	1,40	1,34	0,10
	Ripe San Ginesio	430	349	87,25	17,45	236,67	31,38	17,79	7,99	2,27	2,17	0,16
	Colmurano	414	485	121,25	24,25	328,89	43,60	24,72	11,10	3,16	3,01	0,23
	Matelica	354	4155	1038,75	207,75	2817,61	373,53	211,74	95,11	27,07	25,81	1,95
	Belforte del Chienti	347	676	169	33,80	458,41	60,77	34,45	15,47	4,40	4,20	0,32
	Treia	342	3474	868,5	173,70	2355,81	312,31	177,04	79,52	22,64	21,58	1,63
	Pollenza	341	2319	579,75	115,95	1572,57	208,48	118,18	53,08	15,11	14,40	1,09
	Camporotondo di F.	335	213	53,25	10,65	144,44	19,15	10,85	4,88	1,39	1,32	0,10
	Caldarola	314	704	176	35,20	477,40	63,29	35,88	16,11	4,59	4,37	0,33
	Mogliano	313	1716	429	85,80	1163,66	154,27	87,45	39,28	11,18	10,66	0,81
	Urbisaglia	310	1055	263,75	52,75	715,42	94,84	53,76	24,15	6,87	6,55	0,50
	Castelraimondo	307	2037	509,25	101,85	1381,34	183,13	103,81	46,63	13,27	12,65	0,96
	Recanati	293	8019	2004,75	400,95	5437,88	720,91	408,65	183,55	52,25	49,80	3,77
	Montelupone	272	1258	314,5	62,90	853,08	113,09	64,11	28,80	8,20	7,81	0,59
	Petriolo	271	784	196	39,20	531,65	70,48	39,95	17,95	5,11	4,87	0,37
	Corridonia	255	5417	1354,25	270,85	3673,40	486,99	276,05	124,00	35,30	33,64	2,54
	Montecosaro	252	2188	547	109,40	1483,74	196,70	111,50	50,08	14,26	13,59	1,03
	Morrovalle	245	3472	868	173,60	2354,45	312,13	176,93	79,47	22,62	21,56	1,63
	Montefano	242	1340	335	67,00	908,69	120,47	68,29	30,67	8,73	8,32	0,63
	Potenza Picena	237	5991	1497,75	299,55	4062,65	538,59	305,30	137,13	39,04	37,21	2,81
	Monte San Giusto	236	2742	685,5	137,10	1859,42	246,51	139,73	62,76	17,87	17,03	1,29
	San Severino Marche	235	5384	1346	269,20	3651,03	484,02	274,37	123,24	35,08	33,44	2,53
	Tolentino	228	8013	2003,25	400,65	5433,82	720,37	408,34	183,42	52,21	49,77	3,76
	Montecassiano	215	2511	627,75	125,55	1702,77	225,74	127,96	57,48	16,36	15,60	1,18
	Appignano	199	1583	395,75	79,15	1073,47	142,31	80,67	36,23	10,32	9,83	0,74
	Porto Recanati	6	4995	1248,75	249,75	3387,23	449,05	254,55	114,34	32,55	31,02	2,35
	Civitanova Marche	3	16209	4052,25	810,45	10991,73	1457,19	826,01	371,02	105,62	100,67	7,61
										806,20	768,45	58,11
Provincia di Ascoli Piceno												
	comune	m s.l.m.	numero di famiglie	25% famiglie (consumano legna)	5% famiglie (consumano pellets)	Camini o stufe tradizionali LEGNA	Camini o stufe innovativi LEGNA	Camini o stufe tradizionali PELLETS	Altri apparecchi PELLETS	**PM10 (tonn.)**	**PM2,5 (tonn.)**	**BC (tonn.)**
>50000 AB	ASCOLI PICENO	154	21482	2363,02	300,75	6409,69	849,74	306,52	137,68	61,39	58,54	4,42
<50000 AB	Montemonaco	988	303	124,23	22,42	336,97	44,67	22,85	10,26	3,24	3,08	0,23
	Montegallo	870	347	142,27	25,68	385,91	51,16	26,17	11,76	3,70	3,53	0,27
	Arquata del Tronto	777	662	271,42	48,99	736,23	97,60	49,93	22,43	7,07	6,74	0,51
	Force	689	544	223,04	40,26	605,00	80,21	41,03	18,43	5,81	5,54	0,42
	Montedinove	561	244	61	12,20	165,46	21,94	12,43	5,59	1,59	1,52	0,11
	Palmiano	550	79	19,75	3,95	53,57	7,10	4,03	1,81	0,51	0,49	0,04
	Montalto delle Marche	513	889	222,25	44,45	602,85	79,92	45,30	20,35	5,79	5,52	0,42
	Ripatransone	494	1616	404	80,80	1095,85	145,28	82,35	36,99	10,53	10,04	0,76

	Castignano	475	1136	284	56,80	770,35	102,13	57,89	26,00	7,40	7,06	0,53
	Comunanza	448	1291	322,75	64,55	875,46	116,06	65,79	29,55	8,41	8,02	0,61
	Venarotta	421	849	212,25	42,45	575,73	76,33	43,27	19,43	5,53	5,27	0,40
	Montefiore dell'Aso	412	838	209,5	41,90	568,27	75,34	42,70	19,18	5,46	5,20	0,39
	Cossignano	400	391	97,75	19,55	265,15	35,15	19,93	8,95	2,55	2,43	0,18
	Rotella	395	370	92,5	18,50	250,91	33,26	18,86	8,47	2,41	2,30	0,17
	Acquasanta Terme	392	1132	283	56,60	767,64	101,77	57,69	25,91	7,38	7,03	0,53
	Carassai	365	469	117,25	23,45	318,04	42,16	23,90	10,74	3,06	2,91	0,22
	Acquaviva Picena	359	1406	351,5	70,30	953,44	126,40	71,65	32,18	9,16	8,73	0,66
	Folignano	319	3265	816,25	163,25	2214,08	293,52	166,38	74,74	21,28	20,28	1,53
	Maltignano	307	911	227,75	45,55	617,77	81,90	46,42	20,85	5,94	5,66	0,43
	Roccafluvione	299	875	218,75	43,75	593,36	78,66	44,59	20,03	5,70	5,43	0,41
	Offida	293	2052	513	102,60	1391,51	184,47	104,57	46,97	13,37	12,74	0,96
	Castorano	280	873	218,25	43,65	592,00	78,48	44,49	19,98	5,69	5,42	0,41
	Monteprandone	273	3825	956,25	191,25	2593,83	343,87	194,92	87,55	24,92	23,76	1,80
	Massignano	254	591	147,75	29,55	400,77	53,13	30,12	13,53	3,85	3,67	0,28
	Castel di Lama	201	3001	750,25	150,05	2035,05	269,79	152,93	68,69	19,56	18,64	1,41
	Appignano del Tronto	194	693	173,25	34,65	469,94	62,30	35,32	15,86	4,52	4,30	0,33
	Spinetoli	177	2626	656,5	131,30	1780,76	236,08	133,82	60,11	17,11	16,31	1,23
	Colli del Tronto	168	1311	327,75	65,55	889,02	117,86	66,81	30,01	8,54	8,14	0,62
	Monsampolo del Tronto	158	1590	397,5	79,50	1078,22	142,94	81,03	36,40	10,36	9,88	0,75
	San Benedetto del T.	4	19331	4832,75	966,55	13108,83	1737,86	985,11	442,49	125,96	120,06	9,08
	Cupra Marittima	4	2096	524	104,80	1421,35	188,43	106,81	47,98	13,66	13,02	0,98
	Grottammare	4	6048	1512	302,40	4101,30	543,72	308,21	138,44	39,41	37,56	2,84
										470,86	448,82	33,94
Provincia di Fermo												
	comune	m s.l.m.	numero di famiglie	25% famiglie (consumano legna)	5% famiglie (consumano pellets)	Camini o stufe tradizionali LEGNA	Camini o stufe innovativi LEGNA	Camini o stufe tradizionali PELLETS	Altri apparecchi PELLETS	**PM10 (tonn.)**	**PM2,5 (tonn.)**	**BC (tonn.)**
>50000 AB	FERMO	319	15319	1685,09	214,47	4570,81	605,96	218,58	98,18	43,78	41,75	3,15
<50000 AB	Smerillo	806	170	69,7	12,58	189,06	25,06	12,82	5,76	1,82	1,73	0,13
	Montefalcone Appennino	757	227	93,07	16,80	252,45	33,47	17,12	7,69	2,42	2,31	0,17
	Santa Vittoria in M.	625	588	241,08	43,51	653,93	86,69	44,35	19,92	6,28	5,98	0,45
	Montefortino	612	547	224,27	40,48	608,33	80,65	41,26	18,53	5,84	5,57	0,42
	Montelparo	588	355	88,75	17,75	240,73	31,91	18,09	8,13	2,31	2,20	0,17
	Amandola	500	1481	370,25	74,05	1004,30	133,14	75,47	33,90	9,65	9,20	0,70
	Monte Rinaldo	475	146	36,5	7,30	99,01	13,13	7,44	3,34	0,95	0,91	0,07
	Monterubbiano	463	886	221,5	44,30	600,82	79,65	45,15	20,28	5,77	5,50	0,42
	Falerone	432	1383	345,75	69,15	937,85	124,33	70,48	31,66	9,01	8,59	0,65
	Monte Vidon Corrado	429	310	77,5	15,50	210,22	27,87	15,80	7,10	2,02	1,93	0,15
	Monteleone di Fermo	427	188	47	9,40	127,49	16,90	9,58	4,30	1,23	1,17	0,09
	Montegiorgio	411	2475	618,75	123,75	1678,36	222,50	126,13	56,65	16,13	15,37	1,16
	Moresco	405	247	61,75	12,35	167,50	22,21	12,59	5,65	1,61	1,53	0,12
	Monte Vidon Combatte	393	191	47,75	9,55	129,52	17,17	9,73	4,37	1,24	1,19	0,09
	Montappone	370	663	165,75	33,15	449,60	59,60	33,79	15,18	4,32	4,12	0,31
	Petritoli	358	964	241	48,20	653,71	86,66	49,13	22,07	6,28	5,99	0,45

	Massa Fermana	340	378	94,5	18,90	256,33	33,98	19,26	8,65	2,46	2,35	0,18
	Monte Giberto	322	314	78,5	15,70	212,93	28,23	16,00	7,19	2,05	1,95	0,15
	Rapagnano	316	723	180,75	36,15	490,28	65,00	36,84	16,55	4,71	4,49	0,34
	Belmonte Piceno	312	248	62	12,40	168,18	22,30	12,64	5,68	1,62	1,54	0,12
	Ortezzano	301	341	85,25	17,05	231,24	30,66	17,38	7,81	2,22	2,12	0,16
	Magliano di Tenna	293	510	127,5	25,50	345,84	45,85	25,99	11,67	3,32	3,17	0,24
	Monsampietro Morico	289	277	69,25	13,85	187,84	24,90	14,12	6,34	1,80	1,72	0,13
	Montegranaro	279	4794	1198,5	239,70	3250,93	430,98	244,30	109,73	31,24	29,77	2,25
	Montottone	277	384	96	19,20	260,40	34,52	19,57	8,79	2,50	2,38	0,18
	Lapedona	263	451	112,75	22,55	305,83	40,54	22,98	10,32	2,94	2,80	0,21
	Sant'Elpidio a Mare	251	6088	1522	304,40	4128,43	547,31	310,24	139,35	39,67	37,81	2,86
	Ponzano di Fermo	248	594	148,5	29,70	402,81	53,40	30,27	13,60	3,87	3,69	0,28
	Monte Urano	247	2946	736,5	147,30	1997,76	264,85	150,13	67,43	19,20	18,30	1,38
	Monte San Pietrangeli	241	934	233,5	46,70	633,37	83,97	47,60	21,38	6,09	5,80	0,44
	Francavilla d'Ete	231	379	94,75	18,95	257,01	34,07	19,31	8,68	2,47	2,35	0,18
	Grottazzolina	227	1226	306,5	61,30	831,38	110,22	62,48	28,06	7,99	7,61	0,58
	Torre San Patrizio	224	793	198,25	39,65	537,75	71,29	40,41	18,15	5,17	4,93	0,37
	Altidona	224	1273	318,25	63,65	863,25	114,44	64,87	29,14	8,30	7,91	0,60
	Servigliano	215	896	224	44,80	607,60	80,55	45,66	20,51	5,84	5,56	0,42
	Campofilone	202	714	178,5	35,70	484,18	64,19	36,39	16,34	4,65	4,43	0,34
	Pedaso	4	1032	258	51,60	699,83	92,78	52,59	23,62	6,72	6,41	0,48
	Porto San Giorgio	4	6643	1660,75	332,15	4504,78	597,21	338,53	152,06	43,29	41,26	3,12
	Porto Sant'Elpidio	4	9789	2447,25	489,45	6638,17	880,03	498,85	224,07	63,79	60,80	4,60
										392,56	374,19	28,29

Tabella 7 Emissioni prodotte dal consumo di legna e pellets

	PM10 [tonn]	PM2,5 [tonn]	BC [tonn]
TOTALE REGIONE MARCHE	3519,49	3354,77	253,65

Tabella 8 Emissioni totali prodotte dalle biomasse nella Regione Marche

I grafici che vengono rappresentati nel seguito descrivono la diffusione delle sostanze inquinanti quali PM10, PM2,5 e Black Carbon nella regione Marche e viene fatta una distinzione per le province per mostrare quale tra le cinque è la più esposta all'impatto ambientale dovuto dal riscaldamento domestico.

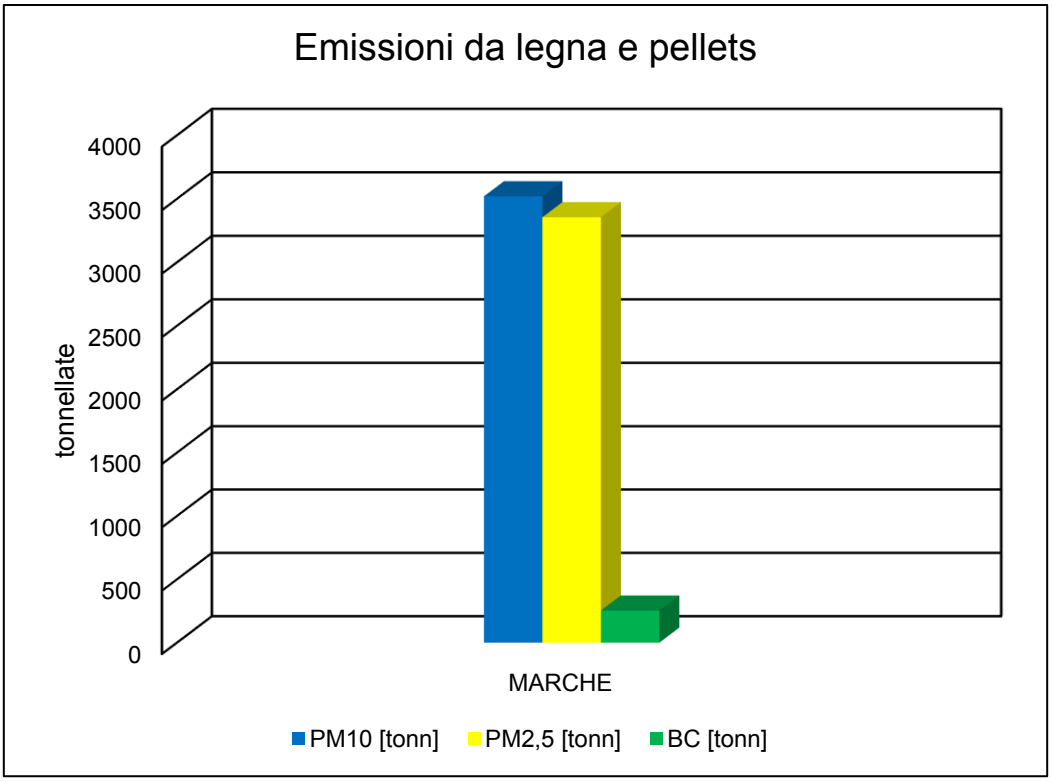

Figura 16 Emissioni da legna e pellets Regione Marche

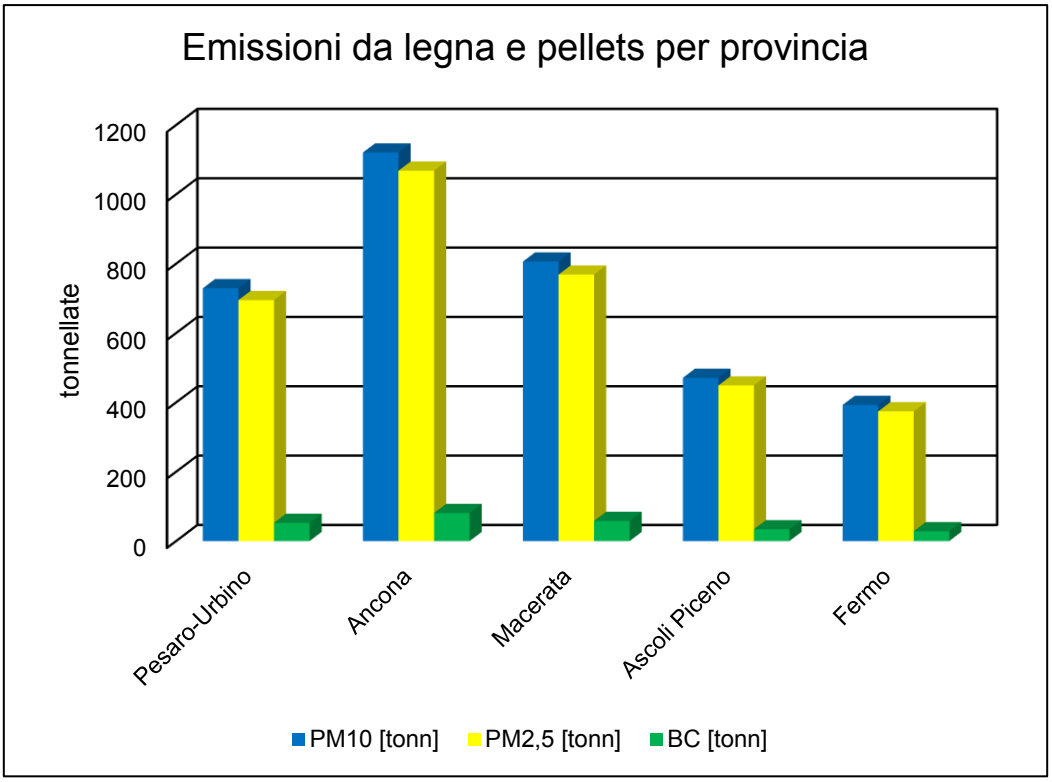

Figura 17 Emissioni da legna e pellets per provincia

I grafici rappresentati mostrano notevoli valori delle sostanze inquinanti. Nella regione Marche si ha una produzione di PM10 di circa 3500 tonnellate di cui quasi la metà è prodotta nella provincia di Ancona.

3.3 EMISSIONI DA CONSUMO DI METANO

Il metano, scoperto nel 1778 da Volta, che lo chiamò gas di palude, è un gas che si forma per decomposizione delle sostanze organiche. È il più semplice degli idrocarburi saturi, di formula CH4, con forma tetraedrica. È un gas insapore, incolore e atossico, che liquefa a –161° C e solidifica a –184° C. È utilizzato principalmente come combustibile, sia a livello industriale sia a livello domestico, per il suo alto potere calorifico (fino a 12.000 Kcal/m3) e la possibilità di trasporto abbastanza economica dai pozzi di raccolta ai centri di consumo, attraverso una fitta rete di metanodotti.
Oltre ad essere utilizzato come combustibile, è utilizzato come carburante per autotrazione, compresso in bombole a circa 200 atm.
Altri suoi impieghi riguardano l'industria chimica per la produzione di acido cianidrico, mentre per ossidazione, fornisce metanolo, aldeide formica, acetilene, etilene.

3.3.2 Calcolo delle emissioni dal consumo di metano

Considerando lo studio riportato nell'articolo dell'EMEP 2010, i fattori di emissione delle sostanze inquinanti, per quanto concerne il consumo di metano per il riscaldamento domestico, sono riportati in tabella:

F.E.	METANO
PM10 [g/GJ]	0,5
PM 2,5 [g/GJ]	0,2
BC [%PM2,5]	5,4
BC [g/GJ]	0,0108

Tabella 9 Fattori di emissione del metano (EMEP, 2010)

Come mostra la tabella i fattori di emissioni sono numeri piuttosto piccoli, quindi ci si aspetta un impatto ambientale minimo. Nella prossima tabella sono riportati i calcoli delle sostanze inquinanti quali PM10, PM2,5 e BC dovuti dai consumi in m³ per ogni comune. I comuni sono riportati in ordine alfabetico, ma raggruppati per provincia.

PROV.	COMUNI	CONSUMI (m^3)	CONVERSIONE (GJ)	PM10 (tonn.)	PM2,5 (tonn.)	BC (tonn.)
AN	AGUGLIANO	2.853.691	98.569,34	0,0493	0,02	0,00
AN	ANCONA	76.670.899	2.648.289,52	1,3241	0,53	0,03
AN	ARCEVIA	1.662.352	57.419,30	0,0287	0,01	0,00
AN	BARBARA	414.354	14.312,20	0,0072	0,00	0,00
AN	BELVEDERE OSTRENSE	886.540	30.621,98	0,0153	0,01	0,00
AN	CAMERANO	4.951.308	171.023,13	0,0855	0,03	0,00
AN	CAMERATA PICENA	1.159.990	40.067,21	0,0200	0,01	0,00

AN	CASTELBELLINO	1.892.640	65.373,68	0,0327	0,01	0,00
AN	CASTELFIDARDO	15.476.495	534.573,61	0,2673	0,11	0,01
AN	CASTELLEONE DI SUASA	587.163	20.281,20	0,0101	0,00	0,00
AN	CASTELPLANIO	6.441.071	222.481,03	0,1112	0,04	0,00
AN	CERRETO D'ESI	1.766.610	61.020,48	0,0305	0,01	0,00
AN	CHIARAVALLE	6.949.483	240.042,09	0,1200	0,05	0,00
AN	CORINALDO	2.826.517	97.630,72	0,0488	0,02	0,00
AN	CUPRAMONTANA	1.778.352	61.426,06	0,0307	0,01	0,00
AN	FABRIANO	17.368.131	599.912,61	0,3000	0,12	0,01
AN	FALCONARA MARITTIMA	14.963.376	516.849,97	0,2584	0,10	0,01
AN	FILOTTRANO	5.062.488	174.863,40	0,0874	0,03	0,00
AN	GENGA	1.800.000	62.173,80	0,0311	0,01	0,00
AN	JESI	27.000.545	932.625,82	0,4663	0,19	0,01
AN	LORETO	11.098.492	383.353,02	0,1917	0,08	0,00
AN	MAIOLATI SPONTINI	3.798.476	131.203,16	0,0656	0,03	0,00
AN	MERGO	2.105.509	72.726,39	0,0364	0,01	0,00
AN	MONSANO	2.546.263	87.950,47	0,0440	0,02	0,00
AN	MONTE ROBERTO	1.453.608	50.209,07	0,0251	0,01	0,00
AN	MONTE SAN VITO	2.803.786	96.845,57	0,0484	0,02	0,00
AN	MONTECAROTTO	1.124.990	38.858,28	0,0194	0,01	0,00
AN	MONTEMARCIANO	4.314.516	149.027,70	0,0745	0,03	0,00
AN	MORRO D’ALBA	768.784	26.554,57	0,0133	0,01	0,00
AN	NUMANA	2.323.538	80.257,31	0,0401	0,02	0,00
AN	OFFAGNA	782.982	27.044,98	0,0135	0,01	0,00
AN	OSIMO	24.033.773	830.150,55	0,4151	0,17	0,01
AN	OSTRA	2.360.082	81.519,59	0,0408	0,02	0,00
AN	OSTRA VETERE	1.758.007	60.723,32	0,0304	0,01	0,00
AN	POGGIO SAN MARCELLO	264.171	9.124,73	0,0046	0,00	0,00
AN	POLVERIGI	2.754.000	95.125,91	0,0476	0,02	0,00
AN	ROSORA	790.164	27.293,05	0,0136	0,01	0,00
AN	SAN MARCELLO	913.182	31.542,22	0,0158	0,01	0,00
AN	SAN PAOLO DI JESI	571.044	19.724,43	0,0099	0,00	0,00
AN	SANTA MARIA NUOVA	2.526.327	87.261,86	0,0436	0,02	0,00
AN	SASSOFERRATO	7.600.000	262.511,60	0,1313	0,05	0,00
AN	SENIGALLIA	28.991.032	1.001.379,24	0,5007	0,20	0,01
AN	SERRA DE' CONTI	3.089.073	106.699,67	0,0533	0,02	0,00
AN	SERRA SAN QUIRICO	1.528.183	52.784,97	0,0264	0,01	0,00
AN	SIROLO	2.323.538	80.257,31	0,0401	0,02	0,00
AN	STAFFOLO	774.332	26.746,20	0,0134	0,01	0,00
AN	TRECASTELLI	3.369.345	116.380,55	0,0582	0,02	0,00
AP	ACQUASANTA TERME	741.330	25.606,28	0,0128	0,01	0,00
AP	ACQUAVIVA PICENA	1.400.308	48.368,05	0,0242	0,01	0,00
AP	APPIGNANO DEL TRONTO	445.532	15.389,11	0,0077	0,00	0,00
AP	ARQUATA DEL TRONTO	682.000	23.556,96	0,0118	0,00	0,00
AP	ASCOLI PICENO	29.318.000	1.012.673,04	0,5063	0,20	0,01

AP	CARASSAI	270.467	9.342,19	0,0047	0,00	0,00
AP	CASTEL DI LAMA	2.863.683	98.914,48	0,0495	0,02	0,00
AP	CASTIGNANO	1.552.487	53.624,44	0,0268	0,01	0,00
AP	CASTORANO	872.768	30.146,28	0,0151	0,01	0,00
AP	COLLI DEL TRONTO	1.642.413	56.730,59	0,0284	0,01	0,00
AP	COMUNANZA	2.438.379	84.224,06	0,0421	0,02	0,00
AP	COSSIGNANO	218.372	7.542,78	0,0038	0,00	0,00
AP	CUPRA MARITTIMA	2.061.248	71.197,57	0,0356	0,01	0,00
AP	FOLIGNANO	2.798.955	96.678,69	0,0483	0,02	0,00
AP	FORCE	316.891	10.945,72	0,0055	0,00	0,00
AP	GROTTAMMARE	7.499.265	259.032,11	0,1295	0,05	0,00
AP	MALTIGNANO	752.873	26.004,99	0,0130	0,01	0,00
AP	MASSIGNANO	374.886	12.948,95	0,0065	0,00	0,00
AP	MONSAMPOLO DEL TRONTO	1.903.130	65.736,01	0,0329	0,01	0,00
AP	MONTALTO DELLE MARCHE	1.200.000	41.449,20	0,0207	0,01	0,00
AP	MONTEDINOVE	28.330	978,56	0,0005	0,00	0,00
AP	MONTEFIORE DELL'ASO	545.115	18.828,80	0,0094	0,00	0,00
AP	MONTEGALLO	304.000	10.500,46	0,0053	0,00	0,00
AP	MONTEMONACO	342.600	11.833,75	0,0059	0,00	0,00
AP	MONTEPRANDONE	4.869.498	168.197,33	0,0841	0,03	0,00
AP	OFFIDA	2.966.016	102.449,16	0,0512	0,02	0,00
AP	PALMIANO	110.400	3.813,33	0,0019	0,00	0,00
AP	RIPATRANSONE	1.226.058	42.349,28	0,0212	0,01	0,00
AP	ROCCAFLUVIONE	1.200.000	41.449,20	0,0207	0,01	0,00
AP	ROTELLA	1.675.833	57.884,95	0,0289	0,01	0,00
AP	SAN BENEDETTO DEL TRONTO	29.050.852	1.003.445,47	0,5017	0,20	0,01
AP	SPINETOLI	3.226.856	111.458,83	0,0557	0,02	0,00
AP	VENAROTTA	1.200.000	41.449,20	0,0207	0,01	0,00
FM	BELMONTE PICENO	172.527	5.959,24	0,0030	0,00	0,00
FM	CAMPOFILONE	679.157	23.458,76	0,0117	0,00	0,00
FM	FALERONE	1.655.093	57.168,57	0,0286	0,01	0,00
FM	FERMO	22.341.000	771.680,48	0,3858	0,15	0,01
FM	FRANCAVILLA D'ETE	326.301	11.270,76	0,0056	0,00	0,00
FM	GROTTAZZOLINA	1.889.657	65.270,63	0,0326	0,01	0,00
FM	LAPEDONA	289.231	9.990,33	0,0050	0,00	0,00
FM	MAGLIANO DI TENNA	641.873	22.170,93	0,0111	0,00	0,00
FM	MASSA FERMANA	377.009	13.022,27	0,0065	0,00	0,00
FM	MONSAMPIETRO MORICO	176.259	6.088,17	0,0030	0,00	0,00
FM	MONTAPPONE	772.529	26.683,91	0,0133	0,01	0,00
FM	MONTE GIBERTO	286.487	9.895,53	0,0049	0,00	0,00
FM	MONTE RINALDO	215.400	7.440,13	0,0037	0,00	0,00
FM	MONTE SAN PIETRANGELI	1.629.500	56.284,56	0,0281	0,01	0,00
FM	MONTE URANO	3.560.663	122.988,86	0,0615	0,02	0,00
FM	MONTE VIDON COMBATTE	262.000	9.049,74	0,0045	0,00	0,00
FM	MONTE VIDON CORRADO	325.548	11.244,76	0,0056	0,00	0,00

FM	MONTEFALCONE APPENNINO	248.400	8.579,98	0,0043	0,00	0,00
FM	MONTEFORTINO	670.200	23.149,38	0,0116	0,00	0,00
FM	MONTEGIORGIO	3.770.766	130.246,02	0,0651	0,03	0,00
FM	MONTEGRANARO	5.587.211	192.987,86	0,0965	0,04	0,00
FM	MONTELEONE DI FERMO	106.397	3.675,07	0,0018	0,00	0,00
FM	MONTELPARO	19.985	690,30	0,0003	0,00	0,00
FM	MONTERUBBIANO	851.614	29.415,58	0,0147	0,01	0,00
FM	MONTOTTONE	312.166	10.782,53	0,0054	0,00	0,00
FM	MORESCO	94.759	3.273,08	0,0016	0,00	0,00
FM	ORTEZZANO	459.000	15.854,32	0,0079	0,00	0,00
FM	PEDASO	1.166.178	40.280,94	0,0201	0,01	0,00
FM	PETRITOLI	890.472	30.757,80	0,0154	0,01	0,00
FM	PONZANO DI FERMO	583.580	20.157,43	0,0101	0,00	0,00
FM	PORTO SAN GIORGIO	8.885.963	306.930,05	0,1535	0,06	0,00
FM	PORTO SANT'ELPIDIO	14.103.560	487.151,05	0,2436	0,10	0,01
FM	RAPAGNANO	707.806	24.448,31	0,0122	0,00	0,00
FM	SANTA VITTORIA IN MATENANO	399.056	13.783,81	0,0069	0,00	0,00
FM	SANT'ELPIDIO A MARE	7.234.439	249.884,75	0,1249	0,05	0,00
FM	SERVIGLIANO	877.473	30.308,78	0,0152	0,01	0,00
FM	SMERILLO	219.600	7.585,20	0,0038	0,00	0,00
FM	TORRE SAN PATRIZIO	730.830	25.243,60	0,0126	0,01	0,00
MC	APIRO	734.895	25.384,01	0,0127	0,01	0,00
MC	APPIGNANO	2.136.182	73.785,86	0,0369	0,01	0,00
MC	BELFORTE DEL CHIENTI	830.873	28.699,18	0,0143	0,01	0,00
MC	BOLOGNOLA	82.800	2.859,99	0,0014	0,00	0,00
MC	CALDAROLA	1.130.063	39.033,51	0,0195	0,01	0,00
MC	CAMERINO	5.146.409	177.762,11	0,0889	0,04	0,00
MC	CAMPOROTONDO DI FIASTRONE	145.708	5.032,90	0,0025	0,00	0,00
MC	CASTELRAIMONDO	1.875.445	64.779,75	0,0324	0,01	0,00
MC	CASTELSANTANGELO SUL NERA	337.906	11.671,61	0,0058	0,00	0,00
MC	CESSAPALOMBO	163.303	5.640,65	0,0028	0,00	0,00
MC	CINGOLI	6.414.956	221.579,00	0,1108	0,04	0,00
MC	CIVITANOVA MARCHE	25.440.000	878.723,04	0,4394	0,18	0,01
MC	COLMURANO	2.336.702	80.712,02	0,0404	0,02	0,00
MC	CORRIDONIA	7.082.183	244.625,68	0,1223	0,05	0,00
MC	ESANATOGLIA	1.472.250	50.852,99	0,0254	0,01	0,00
MC	FIASTRA	690.000	23.833,29	0,0119	0,00	0,00
MC	FIUMINATA	445.046	15.372,33	0,0077	0,00	0,00
MC	GAGLIOLE	172.607	5.962,02	0,0030	0,00	0,00
MC	GUALDO	167.895	5.799,26	0,0029	0,00	0,00
MC	LORO PICENO	495.832	17.126,53	0,0086	0,00	0,00
MC	MACERATA	28.078.598	969.862,85	0,4849	0,19	0,01
MC	MATELICA	5.286.395	182.597,37	0,0913	0,04	0,00

MC	MOGLIANO	2.748.360	94.931,10	0,0475	0,02	0,00
MC	MONTE CAVALLO	78.000	2.694,20	0,0013	0,00	0,00
MC	MONTE SAN GIUSTO	2.820.467	97.421,75	0,0487	0,02	0,00
MC	MONTE SAN MARTINO	191.294	6.607,49	0,0033	0,00	0,00
MC	MONTECASSIANO	3.667.871	126.691,93	0,0633	0,03	0,00
MC	MONTECOSARO	2.339.324	80.802,59	0,0404	0,02	0,00
MC	MONTEFANO	1.916.501	66.197,86	0,0331	0,01	0,00
MC	MONTELUPONE	1.495.372	51.651,64	0,0258	0,01	0,00
MC	MORROVALLE	3.563.693	123.093,52	0,0615	0,02	0,00
MC	MUCCIA	940.000	32.468,54	0,0162	0,01	0,00
MC	PENNA SAN GIOVANNI	367.827	12.705,11	0,0064	0,00	0,00
MC	PETRIOLO	813.825	28.110,33	0,0141	0,01	0,00
MC	PIEVE TORINA	30.065	1.038,48	0,0005	0,00	0,00
MC	PIORACO	528.762	18.263,97	0,0091	0,00	0,00
MC	POGGIO SAN VICINO	70.832	2.446,61	0,0012	0,00	0,00
MC	POLLENZA	1.934.525	66.820,43	0,0334	0,01	0,00
MC	PORTO RECANATI	5.625.079	194.295,84	0,0971	0,04	0,00
MC	POTENZA PICENA	7.684.979	265.446,85	0,1327	0,05	0,00
MC	RECANATI	12.852.676	443.944,28	0,2220	0,09	0,00
MC	RIPE SAN GINESIO	200.074	6.910,76	0,0035	0,00	0,00
MC	SAN GINESIO	1.176.879	40.650,58	0,0203	0,01	0,00
MC	SAN SEVERINO MARCHE	6.118.286	211.331,72	0,1057	0,04	0,00
MC	SANT'ANGELO IN PONTANO	420.497	14.524,39	0,0073	0,00	0,00
MC	SARNANO	1.278.495	44.160,48	0,0221	0,01	0,00
MC	SEFRO	267.600	9.243,17	0,0046	0,00	0,00
MC	SERRAPETRONA	212.848	7.351,97	0,0037	0,00	0,00
MC	SERRAVALLE DI CHIENTI	1.100.000	37.995,10	0,0190	0,01	0,00
MC	TOLENTINO	10.713.436	370.052,79	0,1850	0,07	0,00
MC	TREIA	2.694.451	93.069,04	0,0465	0,02	0,00
MC	URBISAGLIA	1.404.133	48.500,15	0,0243	0,01	0,00
MC	USSITA	807.866	27.904,50	0,0140	0,01	0,00
MC	VALFORNACE	1.100.000	37.995,10	0,0190	0,01	0,00
MC	VISSO	504.816	17.436,85	0,0087	0,00	0,00
PU	AUDITORE	929.400	32.102,41	0,0161	0,01	0,00
PU	BELFORTE ALL'ISAURO	441.000	15.232,58	0,0076	0,00	0,00
PU	BORGO PACE	360.000	12.434,76	0,0062	0,00	0,00
PU	CAGLI	5.127.600	177.112,43	0,0886	0,04	0,00
PU	CANTIANO	1.336.200	46.153,68	0,0231	0,01	0,00
PU	CARPEGNA	1.001.782	34.602,56	0,0173	0,01	0,00
PU	CARTOCETO	208.753	7.210,54	0,0036	0,00	0,00
PU	COLLI AL METAURO	5.442.102	187.975,65	0,0940	0,04	0,00
PU	FANO	35.413.234	1.223.208,52	0,6116	0,24	0,01
PU	FERMIGNANO	5.086.200	175.682,43	0,0878	0,04	0,00
PU	FOSSOMBRONE	5.672.400	195.930,37	0,0980	0,04	0,00
PU	FRATTE ROSA	573.600	19.812,72	0,0099	0,00	0,00

PU	FRONTINO	169.800	5.865,06	0,0029	0,00	0,00
PU	FRONTONE	772.800	26.693,28	0,0133	0,01	0,00
PU	GABICCE MARE	4.133.421	142.772,48	0,0714	0,03	0,00
PU	GRADARA	2.405.518	83.088,98	0,0415	0,02	0,00
PU	ISOLA DEL PIANO	354.600	12.248,24	0,0061	0,00	0,00
PU	LUNANO	908.400	31.377,04	0,0157	0,01	0,00
PU	MACERATA FELTRIA	957.869	33.085,76	0,0165	0,01	0,00
PU	MERCATELLO SUL METAURO	819.600	28.309,80	0,0142	0,01	0,00
PU	MERCATINO CONCA	578.613	19.985,86	0,0100	0,00	0,00
PU	MOMBAROCCIO	1.257.600	43.438,76	0,0217	0,01	0,00
PU	MONDAVIO	254.695	8.797,42	0,0044	0,00	0,00
PU	MONDOLFO	8.358.021	288.694,40	0,1443	0,06	0,00
PU	MONTE CERIGNONE	427.936	14.781,34	0,0074	0,00	0,00
PU	MONTE GRIMANO TERME	616.513	21.294,96	0,0106	0,00	0,00
PU	MONTE PORZIO	1.223.609	42.264,68	0,0211	0,01	0,00
PU	MONTECALVO IN FOGLIA	1.648.200	56.930,48	0,0285	0,01	0,00
PU	MONTECICCARDO	984.600	34.009,07	0,0170	0,01	0,00
PU	MONTECOPIOLO	466.739	16.121,63	0,0081	0,00	0,00
PU	MONTEFELCINO	1.575.000	54.402,08	0,0272	0,01	0,00
PU	MONTELABBATE	4.158.800	143.649,11	0,0718	0,03	0,00
PU	PEGLIO	442.800	15.294,75	0,0076	0,00	0,00
PU	PERGOLA	3.762.000	129.943,24	0,0650	0,03	0,00
PU	PESARO	56.974.800	1.967.966,57	0,9840	0,39	0,02
PU	PETRIANO	1.704.600	58.878,59	0,0294	0,01	0,00
PU	PIANDIMELETO	1.297.800	44.827,31	0,0224	0,01	0,00
PU	PIETRARUBBIA	303.058	10.467,94	0,0052	0,00	0,00
PU	PIOBBICO	1.217.400	42.050,21	0,0210	0,01	0,00
PU	SAN COSTANZO	1.554.845	53.705,90	0,0269	0,01	0,00
PU	SAN LORENZO IN CAMPO	2.032.200	70.194,22	0,0351	0,01	0,00
PU	SANT'ANGELO IN VADO	2.493.000	86.110,71	0,0431	0,02	0,00
PU	SANT'IPPOLITO	961.200	33.200,81	0,0166	0,01	0,00
PU	SASSOCORVARO	2.084.400	71.997,26	0,0360	0,01	0,00
PU	SASSOFELTRIO	634.939	21.931,43	0,0110	0,00	0,00
PU	SERRA SANT'ABBONDIO	607.200	20.973,30	0,0105	0,00	0,00
PU	TAVOLETO	519.000	17.926,78	0,0090	0,00	0,00
PU	TAVULLIA	4.800.600	165.817,52	0,0829	0,03	0,00
PU	TERRE ROVERESCHE	3.156.000	109.011,40	0,0545	0,02	0,00
PU	URBANIA	4.245.600	146.647,27	0,0733	0,03	0,00
PU	URBINO	8.871.600	306.433,94	0,1532	0,06	0,00
PU	VALLEFOGLIA	9.001.800	310.931,17	0,1555	0,06	0,00

Tabella 10 Emissioni prodotte dal consumo di metano

I grafici che seguono mostrano un quadro riassuntivo di tonnellate di inquinanti nella regione Marche ed in ogni provincia di essa. Dall'utilizzo di metano per il riscaldamento domestico abbiamo un totale di circa 15 tonnellate per la produzione di PM10, circa 6 tonnellate di PM2,5 e un valore esiguo di black carbon. Il maggior inquinante si ha nella provincia di Ancona con circa 6 tonnellate per il PM10.

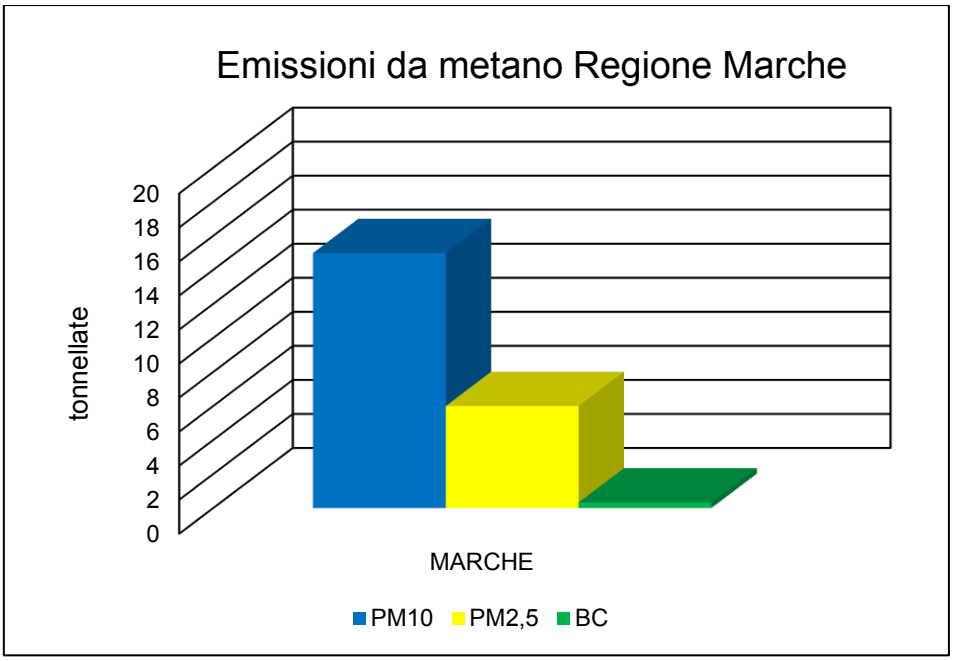

Figura 18 Emissioni da metano nella Regione Marche

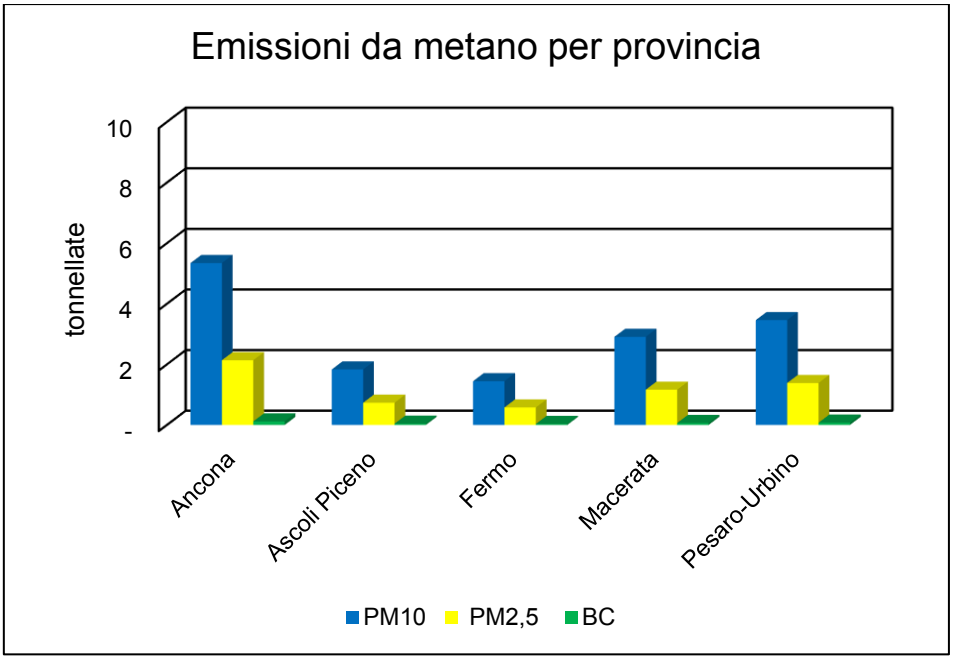

Figura 19 Emissioni da metano per provincia

3.4 EMISSIONI DA CONSUMO DI G.P.L.

Per tutte le abitazioni non collegate alla rete di distribuzione nazionale, il GPL rappresenta la principale alternativa al gas metano, comoda e competitiva. Nelle zone rurali e nei piccoli centri urbani non raggiunti dai gasdotti del metano, il GPL è il combustibile più comune per cucinare e riscaldare.

In Italia sono oltre 7 milioni le famiglie che impiegano il GPL ad uso residenziale per il riscaldamento, cottura e acqua calda sanitaria. Tuttavia queste rappresentano il 5% delle famiglie italiane che utilizzano il GPL per cucinare e per riscaldare la loro casa mentre quasi l'80% è collegato alla rete di distribuzione del gas e utilizza il metano.

Il fabbisogno di GPL ad uso combustione nel 2015 è stato pari a 1,6 milioni di tonnellate. (AEEGSI, 2016)

3.4.2 Calcolo delle emissioni dal consumo di GPL

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) ha fornito i fattori di emissione prodotti dal consumo di GPL. I valori del PM10 e del PM2,5 sono gli stessi, questo significa che il PM10 è composto interamente dal PM2,5.

F.E.	GPL
PM10 [g/GJ]	0,2
PM 2,5 [g/GJ]	0,2
BC [%PM2,5]	5,4
BC [g/GJ]	0,0108

Tabella 11 Fattori di emissione del GPL (ISPRA, 2011).

Nella tabella che segue vengono riportati i calcoli del PM10, PM2,5 e BC per ogni comune della Regione Marche a partire dal numero di abitanti e dai consumi di GPL convertiti in GJ.

Si osserva, in modo particolare, che i risultati di questi calcoli hanno dei valori piuttosto piccoli, significanti alla quarta cifra decimale circa.

COMUNI	ABITANTI	PROXY	CONSUMI (m^3)	CONVERSIONE (GJ)	PM10 (tonn.)	PM2,5 (tonn.)	BC (tonn.)
Acqualagna	4.412	0,003	71,29	3283,09	0,0007	0,0007	0,0000
Acquasanta Terme	2.785	0,002	45,00	2072,39	0,0004	0,0004	0,0000
Acquaviva Picena	3.799	0,002	61,38	2826,94	0,0006	0,0006	0,0000
Agugliano	4.799	0,003	77,54	3571,06	0,0007	0,0007	0,0000
Altidona	3.452	0,002	55,78	2568,72	0,0005	0,0005	0,0000
Amandola	3.569	0,002	57,67	2655,79	0,0005	0,0005	0,0000
Ancona	100.924	0,066	1630,66	75100,21	0,0150	0,0150	0,0008

Apecchio	1.819	0,001	29,39	1353,57	0,0003	0,0003	0,0000
Apiro	2.234	0,001	36,10	1662,38	0,0003	0,0003	0,0000
Appignano	4.195	0,003	67,78	3121,61	0,0006	0,0006	0,0000
Appignano del Tronto	1.767	0,001	28,55	1314,87	0,0003	0,0003	0,0000
Arcevia	4.496	0,003	72,64	3345,59	0,0007	0,0007	0,0000
Arquata del Tronto	1.115	0,001	18,02	829,70	0,0002	0,0002	0,0000
Ascoli Piceno	48.773	0,032	788,04	36293,27	0,0073	0,0073	0,0004
Auditore	1.543	0,001	24,93	1148,19	0,0002	0,0002	0,0000
Barbara	1.335	0,001	21,57	993,41	0,0002	0,0002	0,0000
Belforte all'Isauro	744	0,000	12,02	553,63	0,0001	0,0001	0,0000
Belforte del Chienti	1.913	0,001	30,91	1423,51	0,0003	0,0003	0,0000
Belmonte Piceno	624	0,000	10,08	464,33	0,0001	0,0001	0,0000
Belvedere Ostrense	2.203	0,001	35,59	1639,31	0,0003	0,0003	0,0000
Bolognola	136	0,000	2,20	101,20	0,0000	0,0000	0,0000
Borgo Pace	613	0,000	9,90	456,15	0,0001	0,0001	0,0000
Cagli	8.546	0,006	138,08	6359,30	0,0013	0,0013	0,0001
Caldarola	1.758	0,001	28,40	1308,17	0,0003	0,0003	0,0000
Camerano	7.218	0,005	116,62	5371,10	0,0011	0,0011	0,0001
Camerata Picena	2.552	0,002	41,23	1899,01	0,0004	0,0004	0,0000
Camerino	6.956	0,005	112,39	5176,14	0,0010	0,0010	0,0001
Campofilone	1.918	0,001	30,99	1427,23	0,0003	0,0003	0,0000
Camporotondo di Fiastrone	533	0,000	8,61	396,62	0,0001	0,0001	0,0000
Cantiano	2.206	0,001	35,64	1641,54	0,0003	0,0003	0,0000
Carassai	1.055	0,001	17,05	785,05	0,0002	0,0002	0,0000
Carpegna	1.689	0,001	27,29	1256,83	0,0003	0,0003	0,0000
Cartoceto	7.936	0,005	128,22	5905,39	0,0012	0,0012	0,0001
Castel di Lama	8.614	0,006	139,18	6409,90	0,0013	0,0013	0,0001
Castelbellino	5.009	0,003	80,93	3727,33	0,0007	0,0007	0,0000
Castelfidardo	18.601	0,012	300,54	13841,49	0,0028	0,0028	0,0001
Castelleone di Suasa	1.605	0,001	25,93	1194,32	0,0002	0,0002	0,0000
Castelplanio	3.524	0,002	56,94	2622,30	0,0005	0,0005	0,0000
Castelraimondo	4.510	0,003	72,87	3356,01	0,0007	0,0007	0,0000
Castelsantangelo sul Nera	260	0,000	4,20	193,47	0,0000	0,0000	0,0000
Castignano	2.737	0,002	44,22	2036,67	0,0004	0,0004	0,0000
Castorano	2.344	0,002	37,87	1744,23	0,0003	0,0003	0,0000
Cerreto d'Esi	3.700	0,002	59,78	2753,27	0,0006	0,0006	0,0000
Cessapalombo	491	0,000	7,93	365,37	0,0001	0,0001	0,0000
Chiaravalle	14.733	0,010	238,05	10963,21	0,0022	0,0022	0,0001
Cingoli	10.119	0,007	163,50	7529,81	0,0015	0,0015	0,0001
Civitanova Marche	42.353	0,028	684,31	31515,98	0,0063	0,0063	0,0003
Colli al Metauro	12.369	0,008	199,85	9204,10	0,0018	0,0018	0,0001
Colli del Tronto	3.696	0,002	59,72	2750,29	0,0006	0,0006	0,0000
Colmurano	1.244	0,001	20,10	925,69	0,0002	0,0002	0,0000
Comunanza	3.081	0,002	49,78	2292,65	0,0005	0,0005	0,0000

Corinaldo	4.949	0,003	79,96	3682,68	0,0007	0,0007	0,0000
Corridonia	15.362	0,010	248,21	11431,27	0,0023	0,0023	0,0001
Cossignano	952	0,001	15,38	708,41	0,0001	0,0001	0,0000
Cupra Marittima	5.358	0,003	86,57	3987,03	0,0008	0,0008	0,0000
Cupramontana	4.616	0,003	74,58	3434,89	0,0007	0,0007	0,0000
Esanatoglia	1.963	0,001	31,72	1460,72	0,0003	0,0003	0,0000
Fabriano	30.809	0,020	497,79	22925,79	0,0046	0,0046	0,0002
Falconara Marittima	26.063	0,017	421,11	19394,17	0,0039	0,0039	0,0002
Falerone	3.330	0,002	53,80	2477,94	0,0005	0,0005	0,0000
Fano	60.978	0,040	985,24	45375,34	0,0091	0,0091	0,0005
Fermignano	8.482	0,006	137,05	6311,68	0,0013	0,0013	0,0001
Fermo	37.238	0,024	601,67	27709,78	0,0055	0,0055	0,0003
Fiastra	656	0,000	10,60	488,15	0,0001	0,0001	0,0000
Filottrano	9.332	0,006	150,78	6944,19	0,0014	0,0014	0,0001
Fiuminata	1.332	0,001	21,52	991,18	0,0002	0,0002	0,0000
Folignano	9.182	0,006	148,36	6832,57	0,0014	0,0014	0,0001
Force	1.278	0,001	20,65	950,99	0,0002	0,0002	0,0000
Fossombrone	9.454	0,006	152,75	7034,97	0,0014	0,0014	0,0001
Francavilla d'Ete	945	0,001	15,27	703,20	0,0001	0,0001	0,0000
Fratte Rosa	954	0,001	15,41	709,90	0,0001	0,0001	0,0000
Frontino	279	0,000	4,51	207,61	0,0000	0,0000	0,0000
Frontone	1.293	0,001	20,89	962,16	0,0002	0,0002	0,0000
Gabicce Mare	5.713	0,004	92,31	4251,19	0,0009	0,0009	0,0000
Gagliole	597	0,000	9,65	444,24	0,0001	0,0001	0,0000
Genga	1.748	0,001	28,24	1300,73	0,0003	0,0003	0,0000
Gradara	4.888	0,003	78,98	3637,29	0,0007	0,0007	0,0000
Grottammare	16.166	0,011	261,20	12029,55	0,0024	0,0024	0,0001
Grottazzolina	3.333	0,002	53,85	2480,17	0,0005	0,0005	0,0000
Gualdo	786	0,001	12,70	584,88	0,0001	0,0001	0,0000
Isola del Piano	600	0,000	9,69	446,48	0,0001	0,0001	0,0000
Jesi	40.210	0,026	649,69	29921,32	0,0060	0,0060	0,0003
Lapedona	1.189	0,001	19,21	884,77	0,0002	0,0002	0,0000
Loreto	12.802	0,008	206,85	9526,31	0,0019	0,0019	0,0001
Loro Piceno	2.357	0,002	38,08	1753,91	0,0004	0,0004	0,0000
Lunano	1.513	0,001	24,45	1125,86	0,0002	0,0002	0,0000
Macerata	41.776	0,027	674,99	31086,62	0,0062	0,0062	0,0003
Macerata Feltria	2.031	0,001	32,82	1511,32	0,0003	0,0003	0,0000
Magliano di Tenna	1.480	0,001	23,91	1101,31	0,0002	0,0002	0,0000
Maiolati Spontini	6.187	0,004	99,97	4603,91	0,0009	0,0009	0,0000
Maltignano	2.361	0,002	38,15	1756,88	0,0004	0,0004	0,0000
Massa Fermana	918	0,001	14,83	683,11	0,0001	0,0001	0,0000
Massignano	1.640	0,001	26,50	1220,37	0,0002	0,0002	0,0000
Matelica	9.665	0,006	156,16	7191,98	0,0014	0,0014	0,0001
Mercatello sul Metauro	1.361	0,001	21,99	1012,76	0,0002	0,0002	0,0000
Mercatino Conca	1.038	0,001	16,77	772,40	0,0002	0,0002	0,0000

Mergo	1.008	0,001	16,29	750,08	0,0002	0,0002	0,0000
Mogliano	4.576	0,003	73,94	3405,12	0,0007	0,0007	0,0000
Mombaroccio	2.100	0,001	33,93	1562,67	0,0003	0,0003	0,0000
Mondavio	3.830	0,003	61,88	2850,00	0,0006	0,0006	0,0000
Mondolfo	14.265	0,009	230,48	10614,96	0,0021	0,0021	0,0001
Monsampietro Morico	637	0,000	10,29	474,01	0,0001	0,0001	0,0000
Monsampolo del Tronto	4.547	0,003	73,47	3383,54	0,0007	0,0007	0,0000
Monsano	3.375	0,002	54,53	2511,43	0,0005	0,0005	0,0000
Montalto delle Marche	2.078	0,001	33,57	1546,29	0,0003	0,0003	0,0000
Montappone	1.682	0,001	27,18	1251,62	0,0003	0,0003	0,0000
Monte Cavallo	129	0,000	2,08	95,99	0,0000	0,0000	0,0000
Monte Cerignone	656	0,000	10,60	488,15	0,0001	0,0001	0,0000
Monte Giberto	785	0,001	12,68	584,14	0,0001	0,0001	0,0000
Monte Grimano Terme	1.119	0,001	18,08	832,68	0,0002	0,0002	0,0000
Monte Porzio	2.843	0,002	45,94	2115,55	0,0004	0,0004	0,0000
Monte Rinaldo	359	0,000	5,80	267,14	0,0001	0,0001	0,0000
Monte Roberto	3.088	0,002	49,89	2297,86	0,0005	0,0005	0,0000
Monte San Giusto	7.984	0,005	129,00	5941,10	0,0012	0,0012	0,0001
Monte San Martino	745	0,000	12,04	554,37	0,0001	0,0001	0,0000
Monte San Pietrangeli	2.408	0,002	38,91	1791,86	0,0004	0,0004	0,0000
Monte San Vito	6.787	0,004	109,66	5050,39	0,0010	0,0010	0,0001
Monte Urano	8.218	0,005	132,78	6115,23	0,0012	0,0012	0,0001
Monte Vidon Combatte	434	0,000	7,01	322,95	0,0001	0,0001	0,0000
Monte Vidon Corrado	700	0,000	11,31	520,89	0,0001	0,0001	0,0000
Montecalvo in Foglia	2.750	0,002	44,43	2046,35	0,0004	0,0004	0,0000
Montecarotto	1.920	0,001	31,02	1428,72	0,0003	0,0003	0,0000
Montecassiano	7.080	0,005	114,39	5268,41	0,0011	0,0011	0,0001
Montecicardo	1.643	0,001	26,55	1222,60	0,0002	0,0002	0,0000
Montecopiolo	1.101	0,001	17,79	819,28	0,0002	0,0002	0,0000
Montecosaro	7.206	0,005	116,43	5362,17	0,0011	0,0011	0,0001
Montedinove	498	0,000	8,05	370,57	0,0001	0,0001	0,0000
Montefalcone Appennino	415	0,000	6,71	308,81	0,0001	0,0001	0,0000
Montefano	3.458	0,002	55,87	2573,19	0,0005	0,0005	0,0000
Montefelcino	2.627	0,002	42,45	1954,82	0,0004	0,0004	0,0000
Montefiore dell'Aso	2.053	0,001	33,17	1527,69	0,0003	0,0003	0,0000
Montefortino	1.117	0,001	18,05	831,19	0,0002	0,0002	0,0000
Montegallo	504	0,000	8,14	375,04	0,0001	0,0001	0,0000
Montegiorgio	6.723	0,004	108,63	5002,76	0,0010	0,0010	0,0001
Montegranaro	12.876	0,008	208,04	9581,37	0,0019	0,0019	0,0001
Montelabbate	6.915	0,005	111,73	5145,63	0,0010	0,0010	0,0001
Monteleone di Fermo	381	0,000	6,16	283,51	0,0001	0,0001	0,0000
Montelparo	758	0,000	12,25	564,05	0,0001	0,0001	0,0000
Montelupone	3.575	0,002	57,76	2660,25	0,0005	0,0005	0,0000
Montemarciano	9.872	0,006	159,51	7346,02	0,0015	0,0015	0,0001
Montemonaco	568	0,000	9,18	422,66	0,0001	0,0001	0,0000

Monteprandone	12.678	0,008	204,84	9434,03	0,0019	0,0019	0,0001
Monterubbiano	2.164	0,001	34,96	1610,29	0,0003	0,0003	0,0000
Montottone	950	0,001	15,35	706,92	0,0001	0,0001	0,0000
Moresco	576	0,000	9,31	428,62	0,0001	0,0001	0,0000
Morro d'Alba	1.873	0,001	30,26	1393,75	0,0003	0,0003	0,0000
Morrovalle	10.056	0,007	162,48	7482,93	0,0015	0,0015	0,0001
Muccia	899	0,001	14,53	668,97	0,0001	0,0001	0,0000
Numana	3.763	0,002	60,80	2800,15	0,0006	0,0006	0,0000
Offagna	1.992	0,001	32,19	1482,30	0,0003	0,0003	0,0000
Offida	4.962	0,003	80,17	3692,35	0,0007	0,0007	0,0000
Ortezzano	765	0,000	12,36	569,26	0,0001	0,0001	0,0000
Osimo	35.071	0,023	566,65	26097,26	0,0052	0,0052	0,0003
Ostra	6.746	0,004	109,00	5019,88	0,0010	0,0010	0,0001
Ostra Vetere	3.274	0,002	52,90	2436,27	0,0005	0,0005	0,0000
Palmiano	184	0,000	2,97	136,92	0,0000	0,0000	0,0000
Pedaso	2.817	0,002	45,52	2096,20	0,0004	0,0004	0,0000
Peglio	729	0,000	11,78	542,47	0,0001	0,0001	0,0000
Penna San Giovanni	1.065	0,001	17,21	792,49	0,0002	0,0002	0,0000
Pergola	6.200	0,004	100,18	4613,58	0,0009	0,0009	0,0000
Pesaro	94.958	0,062	1534,27	70660,75	0,0141	0,0141	0,0008
Petriano	2.781	0,002	44,93	2069,42	0,0004	0,0004	0,0000
Petriolo	1.957	0,001	31,62	1456,26	0,0003	0,0003	0,0000
Petritoli	2.297	0,001	37,11	1709,26	0,0003	0,0003	0,0000
Piandimeleto	2.137	0,001	34,53	1590,20	0,0003	0,0003	0,0000
Pietrarubbia	668	0,000	10,79	497,08	0,0001	0,0001	0,0000
Pieve Torina	1.389	0,001	22,44	1033,59	0,0002	0,0002	0,0000
Piobbico	1.997	0,001	32,27	1486,02	0,0003	0,0003	0,0000
Pioraco	1.106	0,001	17,87	823,00	0,0002	0,0002	0,0000
Poggio San Marcello	681	0,000	11,00	506,75	0,0001	0,0001	0,0000
Poggio San Vicino	244	0,000	3,94	181,57	0,0000	0,0000	0,0000
Pollenza	6.549	0,004	105,81	4873,28	0,0010	0,0010	0,0001
Polverigi	4.565	0,003	73,76	3396,94	0,0007	0,0007	0,0000
Ponzano di Fermo	1.652	0,001	26,69	1229,30	0,0002	0,0002	0,0000
Porto Recanati	12.609	0,008	203,73	9382,69	0,0019	0,0019	0,0001
Porto San Giorgio	16.068	0,010	259,62	11956,62	0,0024	0,0024	0,0001
Porto Sant'Elpidio	26.408	0,017	426,68	19650,89	0,0039	0,0039	0,0002
Potenza Picena	15.827	0,010	255,72	11777,29	0,0024	0,0024	0,0001
Rapagnano	2.077	0,001	33,56	1545,55	0,0003	0,0003	0,0000
Recanati	21.186	0,014	342,31	15765,06	0,0032	0,0032	0,0002
Ripatransone	4.232	0,003	68,38	3149,14	0,0006	0,0006	0,0000
Ripe San Ginesio	848	0,001	13,70	631,02	0,0001	0,0001	0,0000
Roccafluvione	1.987	0,001	32,10	1478,58	0,0003	0,0003	0,0000
Rosora	1.956	0,001	31,60	1455,51	0,0003	0,0003	0,0000
Rotella	870	0,001	14,06	647,39	0,0001	0,0001	0,0000
San Benedetto del Tronto	47.351	0,031	765,07	35235,13	0,0070	0,0070	0,0004

San Costanzo	4.772	0,003	77,10	3550,97	0,0007	0,0007	0,0000
San Ginesio	3.376	0,002	54,55	2512,17	0,0005	0,0005	0,0000
San Lorenzo in Campo	3.358	0,002	54,26	2498,78	0,0005	0,0005	0,0000
San Marcello	2.036	0,001	32,90	1515,04	0,0003	0,0003	0,0000
San Paolo di Jesi	910	0,001	14,70	677,15	0,0001	0,0001	0,0000
San Severino Marche	12.456	0,008	201,26	9268,84	0,0019	0,0019	0,0001
Santa Maria Nuova	4.146	0,003	66,99	3085,15	0,0006	0,0006	0,0000
Santa Vittoria in Matenano	1.322	0,001	21,36	983,74	0,0002	0,0002	0,0000
Sant'Angelo in Pontano	1.377	0,001	22,25	1024,66	0,0002	0,0002	0,0000
Sant'Angelo in Vado	4.073	0,003	65,81	3030,83	0,0006	0,0006	0,0000
Sant'Elpidio a Mare	17.144	0,011	277,00	12757,30	0,0026	0,0026	0,0001
Sant'Ippolito	1.519	0,001	24,54	1130,33	0,0002	0,0002	0,0000
Sarnano	3.220	0,002	52,03	2396,09	0,0005	0,0005	0,0000
Sassocorvaro	3.437	0,002	55,53	2557,56	0,0005	0,0005	0,0000
Sassofeltrio	1.418	0,001	22,91	1055,17	0,0002	0,0002	0,0000
Sassoferrato	7.104	0,005	114,78	5286,27	0,0011	0,0011	0,0001
Sefro	407	0,000	6,58	302,86	0,0001	0,0001	0,0000
Senigallia	44.616	0,029	720,88	33199,94	0,0066	0,0066	0,0004
Serra de' Conti	3.769	0,002	60,90	2804,61	0,0006	0,0006	0,0000
Serra San Quirico	2.744	0,002	44,34	2041,88	0,0004	0,0004	0,0000
Serra Sant'Abbondio	1.001	0,001	16,17	744,87	0,0001	0,0001	0,0000
Serrapetrona	929	0,001	15,01	691,29	0,0001	0,0001	0,0000
Serravalle di Chienti	1.056	0,001	17,06	785,80	0,0002	0,0002	0,0000
Servigliano	2.267	0,001	36,63	1686,93	0,0003	0,0003	0,0000
Sirolo	4.078	0,003	65,89	3034,55	0,0006	0,0006	0,0000
Smerillo	355	0,000	5,74	264,16	0,0001	0,0001	0,0000
Spinetoli	7.132	0,005	115,23	5307,11	0,0011	0,0011	0,0001
Staffolo	2.247	0,001	36,31	1672,05	0,0003	0,0003	0,0000
Tavoleto	871	0,001	14,07	648,13	0,0001	0,0001	0,0000
Tavullia	7.961	0,005	128,63	5923,99	0,0012	0,0012	0,0001
Terre Roveresche	5.260	0,003	84,99	3914,10	0,0008	0,0008	0,0000
Tolentino	19.409	0,013	313,60	14442,75	0,0029	0,0029	0,0002
Torre San Patrizio	1.987	0,001	32,10	1478,58	0,0003	0,0003	0,0000
Trecastelli	7.567	0,005	122,26	5630,80	0,0011	0,0011	0,0001
Treia	9.309	0,006	150,41	6927,07	0,0014	0,0014	0,0001
Urbania	7.076	0,005	114,33	5265,44	0,0011	0,0011	0,0001
Urbino	14.558	0,010	235,22	10832,99	0,0022	0,0022	0,0001
Urbisaglia	2.577	0,002	41,64	1917,61	0,0004	0,0004	0,0000
Ussita	419	0,000	6,77	311,79	0,0001	0,0001	0,0000
Valfornace	1.015	0,001	16,40	755,29	0,0002	0,0002	0,0000
Vallefoglia	15.041	0,010	243,02	11192,40	0,0022	0,0022	0,0001
Venarotta	2.030	0,001	32,80	1510,58	0,0003	0,0003	0,0000
Visso	1.076	0,001	17,39	800,68	0,0002	0,0002	0,0000

Tabella 12 Emissioni prodotte dal consumo di GPL

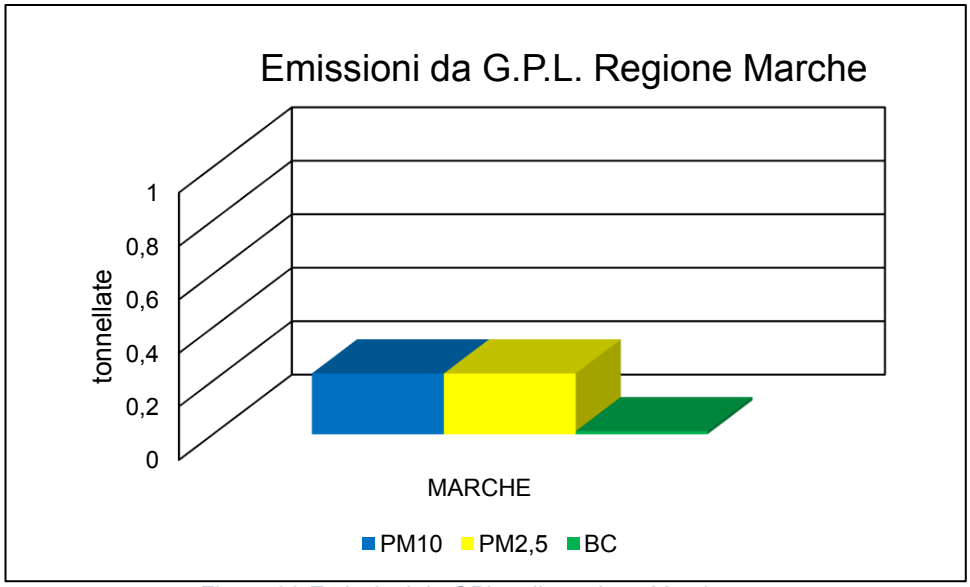

Figura 20 Emissioni da GPL nella regione Marche

Nonostante i fattori di emissione siano simili a quelli del consumo di metano, il grafico mostra una produzione di GPL in tonnellate molto minore di quella del metano. La differenza si ha nei consumi. Nella Regione Marche il GPL viene consumato in maniera molto minore rispetto al metano. Ciò è dovuto da un minor costo e ad una maggior praticità del metano.

3.5 EMISSIONI DA CONSUMO DI GASOLIO

Il gasolio è una miscela di idrocarburi liquidi, ottenuta mediante distillazione frazionata del petrolio greggio e utilizzata come combustibile per motori Diesel, per riscaldamento o per la produzione di energia elettrica.

Una caldaia alimentata a gasolio ha bisogno di una manutenzione più frequente rispetto ad una caldaia a GPL. Il motivo di ciò è che il gasolio è un combustibile più "sporco" che contiene impurità e sostanze pesanti.

Il prezzo medio nazionale del gasolio per riscaldamento rilevato nel 2017 è pari a 1,17 € al litro. (economico, 2019)

A provocare le maggiori emissioni in atmosfera, in particolare, non sono gli impianti a metano, ma quelli a gasolio, che in alcune città sono ancora molto diffusi. A parlare del "peso" del riscaldamento sullo smog in città è Nerio Negrini, presidente dell'Associazione Italiana Tecnica del Gas che riunisce tutte le organizzazioni del settore.

Il traffico, afferma Negrini, è sicuramente il principale responsabile dell'allarme inquinamento di questi giorni. Non vanno però sottovalutate le emissioni degli impianti di riscaldamento. Se gli impianti a metano presentano emissioni pressoché pari allo zero, quelli a gasolio, invece, producono non pochi inquinanti. Il gasolio, sottolinea Negrini, è uno degli attori principali dell'inquinamento da riscaldamento in città, data la sua notevole diffusione. (Negrini, 2002)

3.5.2 Calcolo delle emissioni dal consumo di gasolio

I fattori di emissione delle sostanze inquinanti prodotte dal consumo di gasolio sono presentati negli articoli dell'ISPRA e la tabella che segue ne mostra i valori.

F.E.	GASOLIO
PM10 [g/GJ]	5
PM 2,5 [g/GJ]	1,5
BC [%PM2,5]	3,9
BC [g/GJ]	0,0585

Tabella 13 Fattori di emissione del gasolio (ISPRA, 2011)

Il calcolo delle emissioni di PM10, PM2,5 e BC è rappresentato nella tabella nel seguito. Essi sono stati determinati a partire dai consumi di gasolio in Mg convertiti in GJ, per ogni comune della Regione Marche.

COMUNE	ABITANTI	PROXY	CONSUMI (Mg)	CONVERSIONE (GJ)	PM10 (tonn.)	PM2,5 (tonn.)	BC (tonn.)
Acqualagna	4.412	0,012	29,67	1268,51	0,0063	0,0019	7,42E-05
Acquasanta Terme	2.785	0,013	11,64	497,66	0,0025	0,0007	2,91E-05
Acquaviva Picena	3.799	0,018	15,88	678,85	0,0034	0,0010	3,97E-05
Agugliano	4.799	0,010	24,99	1068,50	0,0053	0,0016	6,25E-05
Altidona	3.452	0,020	0,02	0,86	0,0000	0,0000	5,05E-08
Amandola	3.569	0,021	0,02	0,89	0,0000	0,0000	5,22E-08
Ancona	100.924	0,217	525,63	22470,78	0,1124	0,0337	1,31E-03
Apecchio	1.819	0,005	12,23	522,99	0,0026	0,0008	3,06E-05
Apiro	2.234	0,007	9,20	393,41	0,0020	0,0006	2,30E-05
Appignano	4.195	0,013	17,28	738,75	0,0037	0,0011	4,32E-05
Appignano del Tronto	1.767	0,008	7,39	315,75	0,0016	0,0005	1,85E-05
Arcevia	4.496	0,010	23,42	1001,04	0,0050	0,0015	5,86E-05
Arquata del Tronto	1.115	0,005	4,66	199,24	0,0010	0,0003	1,17E-05
Ascoli Piceno	48.773	0,234	203,87	8715,33	0,0436	0,0131	5,10E-04
Auditore	1.543	0,004	10,38	443,63	0,0022	0,0007	2,60E-05
Barbara	1.335	0,003	6,95	297,24	0,0015	0,0004	1,74E-05
Belforte all'Isauro	744	0,002	5,00	213,91	0,0011	0,0003	1,25E-05
Belforte del Chienti	1.913	0,006	7,88	336,89	0,0017	0,0005	1,97E-05
Belmonte Piceno	624	0,004	0,00	0,16	0,0000	0,0000	9,13E-09

Belvedere Ostrense	2.203	0,005	11,47	490,50	0,0025	0,0007	2,87E-05
Bolognola	136	0,000	0,56	23,95	0,0001	0,0000	1,40E-06
Borgo Pace	613	0,002	4,12	176,25	0,0009	0,0003	1,03E-05
Cagli	8.546	0,024	57,48	2457,08	0,0123	0,0037	1,44E-04
Caldarola	1.758	0,006	7,24	309,59	0,0015	0,0005	1,81E-05
Camerano	7.218	0,016	37,59	1607,09	0,0080	0,0024	9,40E-05
Camerata Picena	2.552	0,005	13,29	568,20	0,0028	0,0009	3,32E-05
Camerino	6.956	0,022	28,65	1224,97	0,0061	0,0018	7,17E-05
Campofilone	1.918	0,011	0,01	0,48	0,0000	0,0000	2,81E-08
Camporotondo di Fiastrone	533	0,002	2,20	93,86	0,0005	0,0001	5,49E-06
Cantiano	2.206	0,006	14,84	634,25	0,0032	0,0010	3,71E-05
Carassai	1.055	0,005	4,41	188,52	0,0009	0,0003	1,10E-05
Carpegna	1.689	0,005	11,36	485,61	0,0024	0,0007	2,84E-05
Cartoceto	7.936	0,022	53,37	2281,70	0,0114	0,0034	1,33E-04
Castel di Lama	8.614	0,041	36,01	1539,25	0,0077	0,0023	9,00E-05
Castelbellino	5.009	0,011	26,09	1115,26	0,0056	0,0017	6,52E-05
Castelfidardo	18.601	0,040	96,88	4141,52	0,0207	0,0062	2,42E-04
Castelleone di Suasa	1.605	0,003	8,36	357,35	0,0018	0,0005	2,09E-05
Castelplanio	3.524	0,008	18,35	784,62	0,0039	0,0012	4,59E-05
Castelraimondo	4.510	0,014	18,58	794,23	0,0040	0,0012	4,65E-05
Castelsantangelo sul Nera	260	0,001	1,07	45,79	0,0002	0,0001	2,68E-06
Castignano	2.737	0,013	11,44	489,08	0,0024	0,0007	2,86E-05
Castorano	2.344	0,011	9,80	418,85	0,0021	0,0006	2,45E-05
Cerreto d'Esi	3.700	0,008	19,27	823,81	0,0041	0,0012	4,82E-05
Cessapalombo	491	0,002	2,02	86,47	0,0004	0,0001	5,06E-06
Chiaravalle	14.733	0,032	76,73	3280,31	0,0164	0,0049	1,92E-04
Cingoli	10.119	0,032	41,68	1781,99	0,0089	0,0027	1,04E-04
Civitanova Marche	42.353	0,134	174,47	7458,51	0,0373	0,0112	4,36E-04
Colli al Metauro	12.369	0,034	83,19	3556,24	0,0178	0,0053	2,08E-04
Colli del Tronto	3.696	0,018	15,45	660,44	0,0033	0,0010	3,86E-05
Colmurano	1.244	0,004	5,12	219,07	0,0011	0,0003	1,28E-05
Comunanza	3.081	0,015	12,88	550,55	0,0028	0,0008	3,22E-05
Corinaldo	4.949	0,011	25,78	1101,90	0,0055	0,0017	6,45E-05
Corridonia	15.362	0,049	63,28	2705,30	0,0135	0,0041	1,58E-04
Cossignano	952	0,005	3,98	170,11	0,0009	0,0003	9,95E-06
Cupra Marittima	5.358	0,026	22,40	957,43	0,0048	0,0014	5,60E-05

Cupramontana	4.616	0,010	24,04	1027,75	0,0051	0,0015	6,01E-05
Esanatoglia	1.963	0,006	8,09	345,69	0,0017	0,0005	2,02E-05
Fabriano	30.809	0,066	160,46	6859,64	0,0343	0,0103	4,01E-04
Falconara Marittima	26.063	0,056	135,74	5802,94	0,0290	0,0087	3,39E-04
Falerone	3.330	0,019	0,02	0,83	0,0000	0,0000	4,87E-08
Fano	60.978	0,169	410,10	17531,95	0,0877	0,0263	1,03E-03
Fermignano	8.482	0,024	57,05	2438,68	0,0122	0,0037	1,43E-04
Fermo	37.238	0,218	0,22	9,32	0,0000	0,0000	5,45E-07
Fiastra	656	0,002	2,70	115,52	0,0006	0,0002	6,76E-06
Filottrano	9.332	0,020	48,60	2077,77	0,0104	0,0031	1,22E-04
Fiuminata	1.332	0,004	5,49	234,57	0,0012	0,0004	1,37E-05
Folignano	9.182	0,044	38,38	1640,75	0,0082	0,0025	9,60E-05
Force	1.278	0,006	5,34	228,37	0,0011	0,0003	1,34E-05
Fossombrone	9.454	0,026	63,58	2718,14	0,0136	0,0041	1,59E-04
Francavilla d'Ete	945	0,006	0,01	0,24	0,0000	0,0000	1,38E-08
Fratte Rosa	954	0,003	6,42	274,29	0,0014	0,0004	1,60E-05
Frontino	279	0,001	1,88	80,22	0,0004	0,0001	4,69E-06
Frontone	1.293	0,004	8,70	371,75	0,0019	0,0006	2,17E-05
Gabicce Mare	5.713	0,016	38,42	1642,56	0,0082	0,0025	9,61E-05
Gagliole	597	0,002	2,46	105,13	0,0005	0,0002	6,15E-06
Genga	1.748	0,004	9,10	389,19	0,0019	0,0006	2,28E-05
Gradara	4.888	0,014	32,87	1405,36	0,0070	0,0021	8,22E-05
Grottammare	16.166	0,078	67,57	2888,73	0,0144	0,0043	1,69E-04
Grottazzolina	3.333	0,020	0,02	0,83	0,0000	0,0000	4,88E-08
Gualdo	786	0,002	3,24	138,42	0,0007	0,0002	8,10E-06
Isola del Piano	600	0,002	4,04	172,51	0,0009	0,0003	1,01E-05
Jesi	40.210	0,086	209,42	8952,78	0,0448	0,0134	5,24E-04
Lapedona	1.189	0,007	0,01	0,30	0,0000	0,0000	1,74E-08
Loreto	12.802	0,028	66,68	2850,37	0,0143	0,0043	1,67E-04
Loro Piceno	2.357	0,007	9,71	415,08	0,0021	0,0006	2,43E-05
Lunano	1.513	0,004	10,18	435,01	0,0022	0,0007	2,54E-05
Macerata	41.776	0,132	172,09	7356,89	0,0368	0,0110	4,30E-04
Macerata Feltria	2.031	0,006	13,66	583,94	0,0029	0,0009	3,42E-05
Magliano di Tenna	1.480	0,009	0,01	0,37	0,0000	0,0000	2,17E-08
Maiolati Spontini	6.187	0,013	32,22	1377,54	0,0069	0,0021	8,06E-05
Maltignano	2.361	0,011	9,87	421,89	0,0021	0,0006	2,47E-05

Massa Fermana	918	0,005	0,01	0,23	0,0000	0,0000	1,34E-08
Massignano	1.640	0,008	6,86	293,05	0,0015	0,0004	1,71E-05
Matelica	9.665	0,031	39,81	1702,04	0,0085	0,0026	9,96E-05
Mercatello sul Metauro	1.361	0,004	9,15	391,30	0,0020	0,0006	2,29E-05
Mercatino Conca	1.038	0,003	6,98	298,44	0,0015	0,0004	1,75E-05
Mergo	1.008	0,002	5,25	224,43	0,0011	0,0003	1,31E-05
Mogliano	4.576	0,014	18,85	805,85	0,0040	0,0012	4,71E-05
Mombaroccio	2.100	0,006	14,12	603,78	0,0030	0,0009	3,53E-05
Mondavio	3.830	0,011	25,76	1101,17	0,0055	0,0017	6,44E-05
Mondolfo	14.265	0,040	95,94	4101,37	0,0205	0,0062	2,40E-04
Monsampietro Morico	637	0,004	0,00	0,16	0,0000	0,0000	9,32E-09
Monsampolo del Tronto	4.547	0,022	19,01	812,51	0,0041	0,0012	4,75E-05
Monsano	3.375	0,007	17,58	751,45	0,0038	0,0011	4,40E-05
Montalto delle Marche	2.078	0,010	8,69	371,32	0,0019	0,0006	2,17E-05
Montappone	1.682	0,010	0,01	0,42	0,0000	0,0000	2,46E-08
Monte Cavallo	129	0,000	0,53	22,72	0,0001	0,0000	1,33E-06
Monte Cerignone	656	0,002	4,41	188,61	0,0009	0,0003	1,10E-05
Monte Giberto	785	0,005	0,00	0,20	0,0000	0,0000	1,15E-08
Monte Grimano Terme	1.119	0,003	7,53	321,73	0,0016	0,0005	1,88E-05
Monte Porzio	2.843	0,008	19,12	817,40	0,0041	0,0012	4,78E-05
Monte Rinaldo	359	0,002	0,00	0,09	0,0000	0,0000	5,25E-09
Monte Roberto	3.088	0,007	16,08	687,54	0,0034	0,0010	4,02E-05
Monte San Giusto	7.984	0,025	32,89	1406,01	0,0070	0,0021	8,23E-05
Monte San Martino	745	0,002	3,07	131,20	0,0007	0,0002	7,68E-06
Monte San Pietrangeli	2.408	0,014	0,01	0,60	0,0000	0,0000	3,52E-08
Monte San Vito	6.787	0,015	35,35	1511,13	0,0076	0,0023	8,84E-05
Monte Urano	8.218	0,048	0,05	2,06	0,0000	0,0000	1,20E-07
Monte Vidon Combatte	434	0,003	0,00	0,11	0,0000	0,0000	6,35E-09
Monte Vidon Corrado	700	0,004	0,00	0,18	0,0000	0,0000	1,02E-08
Montecalvo in Foglia	2.750	0,008	18,49	790,66	0,0040	0,0012	4,63E-05
Montecarotto	1.920	0,004	10,00	427,49	0,0021	0,0006	2,50E-05
Montecassiano	7.080	0,022	29,17	1246,81	0,0062	0,0019	7,29E-05
Montecicardo	1.643	0,005	11,05	472,38	0,0024	0,0007	2,76E-05
Montecopiolo	1.101	0,003	7,40	316,55	0,0016	0,0005	1,85E-05
Montecosaro	7.206	0,023	29,68	1269,00	0,0063	0,0019	7,42E-05
Montedinove	498	0,002	2,08	88,99	0,0004	0,0001	5,21E-06

Montefalcone Appennino	415	0,002	0,00	0,10	0,0000	0,0000	6,07E-09
Montefano	3.458	0,011	14,24	608,97	0,0030	0,0009	3,56E-05
Montefelcino	2.627	0,007	17,67	755,30	0,0038	0,0011	4,42E-05
Montefiore dell'Aso	2.053	0,010	8,58	366,85	0,0018	0,0006	2,15E-05
Montefortino	1.117	0,007	0,01	0,28	0,0000	0,0000	1,63E-08
Montegallo	504	0,002	2,11	90,06	0,0005	0,0001	5,27E-06
Montegiorgio	6.723	0,039	0,04	1,68	0,0000	0,0000	9,84E-08
Montegranaro	12.876	0,075	0,08	3,22	0,0000	0,0000	1,88E-07
Montelabbate	6.915	0,019	46,51	1988,15	0,0099	0,0030	1,16E-04
Monteleone di Fermo	381	0,002	0,00	0,10	0,0000	0,0000	5,58E-09
Montelparo	758	0,004	0,00	0,19	0,0000	0,0000	1,11E-08
Montelupone	3.575	0,011	14,73	629,57	0,0031	0,0009	3,68E-05
Montemarciano	9.872	0,021	51,42	2198,01	0,0110	0,0033	1,29E-04
Montemonaco	568	0,003	2,37	101,50	0,0005	0,0002	5,94E-06
Monteprandone	12.678	0,061	52,99	2265,45	0,0113	0,0034	1,33E-04
Monterubbiano	2.164	0,013	0,01	0,54	0,0000	0,0000	3,17E-08
Montottone	950	0,006	0,01	0,24	0,0000	0,0000	1,39E-08
Moresco	576	0,003	0,00	0,14	0,0000	0,0000	8,43E-09
Morro d'Alba	1.873	0,004	9,75	417,02	0,0021	0,0006	2,44E-05
Morrovalle	10.056	0,032	41,42	1770,90	0,0089	0,0027	1,04E-04
Muccia	899	0,003	3,70	158,32	0,0008	0,0002	9,26E-06
Numana	3.763	0,008	19,60	837,83	0,0042	0,0013	4,90E-05
Offagna	1.992	0,004	10,37	443,52	0,0022	0,0007	2,59E-05
Offida	4.962	0,024	20,74	886,67	0,0044	0,0013	5,19E-05
Ortezzano	765	0,004	0,00	0,19	0,0000	0,0000	1,12E-08
Osimo	35.071	0,075	182,66	7808,58	0,0390	0,0117	4,57E-04
Ostra	6.746	0,015	35,13	1502,00	0,0075	0,0023	8,79E-05
Ostra Vetere	3.274	0,007	17,05	728,96	0,0036	0,0011	4,26E-05
Palmiano	184	0,001	0,77	32,88	0,0002	0,0000	1,92E-06
Pedaso	2.817	0,016	0,02	0,70	0,0000	0,0000	4,12E-08
Peglio	729	0,002	4,90	209,60	0,0010	0,0003	1,23E-05
Penna San Giovanni	1.065	0,003	4,39	187,55	0,0009	0,0003	1,10E-05
Pergola	6.200	0,017	41,70	1782,58	0,0089	0,0027	1,04E-04
Pesaro	94.958	0,264	638,63	27301,63	0,1365	0,0410	1,60E-03
Petriano	2.781	0,008	18,70	799,57	0,0040	0,0012	4,68E-05
Petriolo	1.957	0,006	8,06	344,63	0,0017	0,0005	2,02E-05

Petritoli	2.297	0,013	0,01	0,57	0,0000	0,0000	3,36E-08
Piandimeleto	2.137	0,006	14,37	614,41	0,0031	0,0009	3,59E-05
Pietrarubbia	668	0,002	4,49	192,06	0,0010	0,0003	1,12E-05
Pieve Torina	1.389	0,004	5,72	244,61	0,0012	0,0004	1,43E-05
Piobbico	1.997	0,006	13,43	574,16	0,0029	0,0009	3,36E-05
Pioraco	1.106	0,003	4,56	194,77	0,0010	0,0003	1,14E-05
Poggio San Marcello	681	0,001	3,55	151,62	0,0008	0,0002	8,87E-06
Poggio San Vicino	244	0,001	1,01	42,97	0,0002	0,0001	2,51E-06
Pollenza	6.549	0,021	26,98	1153,30	0,0058	0,0017	6,75E-05
Polverigi	4.565	0,010	23,78	1016,40	0,0051	0,0015	5,95E-05
Ponzano di Fermo	1.652	0,010	0,01	0,41	0,0000	0,0000	2,42E-08
Porto Recanati	12.609	0,040	51,94	2220,49	0,0111	0,0033	1,30E-04
Porto San Giorgio	16.068	0,094	0,09	4,02	0,0000	0,0000	2,35E-07
Porto Sant'Elpidio	26.408	0,155	0,15	6,61	0,0000	0,0000	3,86E-07
Potenza Picena	15.827	0,050	65,20	2787,19	0,0139	0,0042	1,63E-04
Rapagnano	2.077	0,012	0,01	0,52	0,0000	0,0000	3,04E-08
Recanati	21.186	0,067	87,27	3730,93	0,0187	0,0056	2,18E-04
Ripatransone	4.232	0,020	17,69	756,22	0,0038	0,0011	4,42E-05
Ripe San Ginesio	848	0,003	3,49	149,34	0,0007	0,0002	8,74E-06
Roccafluvione	1.987	0,010	8,31	355,06	0,0018	0,0005	2,08E-05
Rosora	1.956	0,004	10,19	435,50	0,0022	0,0007	2,55E-05
Rotella	870	0,004	3,64	155,46	0,0008	0,0002	9,09E-06
San Benedetto del Tronto	47.351	0,227	197,92	8461,23	0,0423	0,0127	4,95E-04
San Costanzo	4.772	0,013	32,09	1372,01	0,0069	0,0021	8,03E-05
San Ginesio	3.376	0,011	13,91	594,52	0,0030	0,0009	3,48E-05
San Lorenzo in Campo	3.358	0,009	22,58	965,47	0,0048	0,0014	5,65E-05
San Marcello	2.036	0,004	10,60	453,32	0,0023	0,0007	2,65E-05
San Paolo di Jesi	910	0,002	4,74	202,61	0,0010	0,0003	1,19E-05
San Severino Marche	12.456	0,039	51,31	2193,54	0,0110	0,0033	1,28E-04
Santa Maria Nuova	4.146	0,009	21,59	923,11	0,0046	0,0014	5,40E-05
Santa Vittoria in Matenano	1.322	0,008	0,01	0,33	0,0000	0,0000	1,93E-08
Sant'Angelo in Pontano	1.377	0,004	5,67	242,49	0,0012	0,0004	1,42E-05
Sant'Angelo in Vado	4.073	0,011	27,39	1171,04	0,0059	0,0018	6,85E-05
Sant'Elpidio a Mare	17.144	0,100	0,10	4,29	0,0000	0,0000	2,51E-07
Sant'Ippolito	1.519	0,004	10,22	436,73	0,0022	0,0007	2,55E-05
Sarnano	3.220	0,010	13,26	567,05	0,0028	0,0009	3,32E-05

Sassocorvaro	3.437	0,010	23,12	988,18	0,0049	0,0015	5,78E-05
Sassofeltrio	1.418	0,004	9,54	407,69	0,0020	0,0006	2,39E-05
Sassoferrato	7.104	0,015	37,00	1581,71	0,0079	0,0024	9,25E-05
Sefro	407	0,001	1,68	71,67	0,0004	0,0001	4,19E-06
Senigallia	44.616	0,096	232,37	9933,77	0,0497	0,0149	5,81E-04
Serra de' Conti	3.769	0,008	19,63	839,17	0,0042	0,0013	4,91E-05
Serra San Quirico	2.744	0,006	14,29	610,95	0,0031	0,0009	3,57E-05
Serra Sant'Abbondio	1.001	0,003	6,73	287,80	0,0014	0,0004	1,68E-05
Serrapetrona	929	0,003	3,83	163,60	0,0008	0,0002	9,57E-06
Serravalle di Chienti	1.056	0,003	4,35	185,97	0,0009	0,0003	1,09E-05
Servigliano	2.267	0,013	0,01	0,57	0,0000	0,0000	3,32E-08
Sirolo	4.078	0,009	21,24	907,97	0,0045	0,0014	5,31E-05
Smerillo	355	0,002	0,00	0,09	0,0000	0,0000	5,20E-09
Spinetoli	7.132	0,034	29,81	1274,43	0,0064	0,0019	7,46E-05
Staffolo	2.247	0,005	11,70	500,30	0,0025	0,0008	2,93E-05
Tavoleto	871	0,002	5,86	250,42	0,0013	0,0004	1,46E-05
Tavullia	7.961	0,022	53,54	2288,89	0,0114	0,0034	1,34E-04
Terre Roveresche	5.260	0,015	35,38	1512,32	0,0076	0,0023	8,85E-05
Tolentino	19.409	0,061	79,95	3417,99	0,0171	0,0051	2,00E-04
Torre San Patrizio	1.987	0,012	0,01	0,50	0,0000	0,0000	2,91E-08
Trecastelli	7.567	0,016	39,41	1684,80	0,0084	0,0025	9,86E-05
Treia	9.309	0,029	38,35	1639,35	0,0082	0,0025	9,59E-05
Urbania	7.076	0,020	47,59	2034,44	0,0102	0,0031	1,19E-04
Urbino	14.558	0,040	97,91	4185,61	0,0209	0,0063	2,45E-04
Urbisaglia	2.577	0,008	10,62	453,82	0,0023	0,0007	2,65E-05
Ussita	419	0,001	1,73	73,79	0,0004	0,0001	4,32E-06
Valfornace	1.015	0,003	4,18	178,74	0,0009	0,0003	1,05E-05
Vallefoglia	15.041	0,042	101,16	4324,48	0,0216	0,0065	2,53E-04
Venarotta	2.030	0,010	8,49	362,74	0,0018	0,0005	2,12E-05
Visso	1.076	0,003	4,43	189,49	0,0009	0,0003	1,11E-05

Tabella 14 Emissioni prodotte dal consumo di gasolio

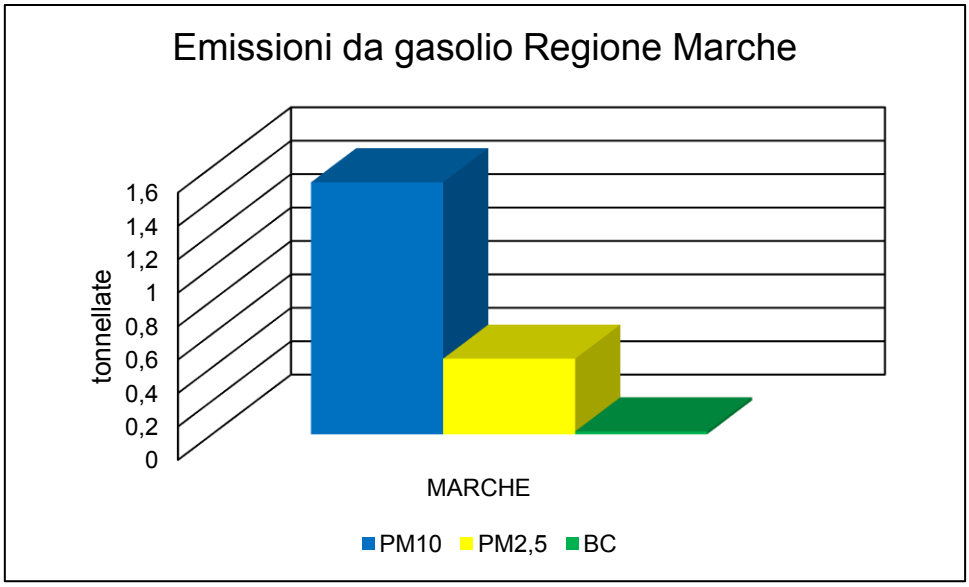

Figura 21 Emissioni da gasolio Regione Marche

Il grafico mostra i valori in tonnellate di PM10, PM2,5 e BC derivanti dal consumo di gasolio. Rispettivamente si hanno valori di 1,5, 0,45 e 0,017 tonnellate i quali mostrano una diffusione di inquinamento minima dovuta all'esiguo consumo del GPL per il riscaldamento domestico.

3.6 DISPOSITIVI UTILI PER LA RIDUZIONE DELLE SOSTANZE INQUINANTI

Nonostante la diffusione sempre maggiore di sistemi a biomassa, per produzione di energia elettrica che di energia termica, ci sono grandi preoccupazioni riguardo all'effetto potenzialmente negativo sulla salute umana che possono avere certi inquinanti emessi in atmosfera durante la combustione della stessa. In particolare, ci sono molte prove scientifiche che evidenziano come l'esposizione umana all'emissioni di polveri aerotrasportate ha effetti molto più gravi rispetto all'esposizioni ad altri tipi di inquinanti. È indispensabile, quindi, dati questi motivi riguardanti la salute umana ma anche altri che riguardano l'alterazione del clima, che l'aria venga sottoposta ad un processo di purificazione in maniera da garantire benefici agli esseri viventi e all'ambiente.

Diminuire il contenuto di polvere e particelle in sospensione presenti nell'aria è l'azione che chiameremo depurazione dell'aria.

I dispositivi che vengono attualmente utilizzati per diminuire il contenuto di polveri e particelle nell'aria, e quindi a depurarla, sono principalmente di due tipi:

-filtri d'aria;

-separatori di polvere.

3.6.2 Filtri dell’aria

Sono dispositivi progettati per ridurre la concentrazione delle particelle che si trovano in sospensione nell'aria e sono di vari tipi. Il tipo di filtro da utilizzare dipenderà dalla dimensione delle particelle da separare. In particolare, per la separazione di virus e particelle di dimensione molecolare vengono utilizzati filtri a carbone attivo, per separare la fuliggine e il fumo di tabacco sono necessari dei filtri elettrostatici mentre per separare la polvere bisogna utilizzare dei filtri umidi (o viscosi) o asciutti.
Un'altra caratteristica da considerare quando si desiderano utilizzare dei filtri è che la concentrazione di particelle nell'aria non deve essere eccessivamente elevata, altrimenti il filtro verrà otturato rapidamente e la manutenzione dell'impianto sarà più gravosa. Il limite superiore di concentrazione di polvere nell'aria per potere utilizzare dei filtri è di 35 m g/m ³.
Le altre caratteristiche da prendere in considerazione quando viene selezionato un filtro saranno: la perdita di carico del fluido che lo attraversa, il rendimento e l'aumento sperimentato dalla perdita man mano che aumenta il contenuto di polvere trattenuto nel filtro.

3.6.3 Separatori di polvere

I separatori di polvere possono essere qualificati nel seguente modo:

- Separatori per gravità: si usano quando le particelle sono di grandi dimensioni; i più tipici sono le camere di sedimentazione;
- Separatori per forza d’inerzia: in questo tipo di collettore si utilizza il principio secondo cui la massa effettiva delle 77 particelle può essere aumentata tramite l'applicazione della forza centrifuga. Il tipo più caratteristico è il ciclone;
- Separatori umidi: chiamati in inglese "scrubbers" in cui si utilizza l'acqua per evitare che le particelle tornino nella corrente d'aria.

3.7 SISTEMI DI FILTRAZIONE PER IMPIANTI A BIOMASSA

Il riscaldamento domestico è una delle cause principali di emissioni di PM10 in atmosfera. Come si può notare dalla normativa, infatti, gli impianti a biomassa di potenza inferiore ai 35 kW non sono soggette a nessun tipo di restrizione nelle emissioni. Questo è dovuto al fatto che le tecnologie per queste applicazioni non sono ancora mature; infatti, sistemi di filtraggio ad uso domestico sono ancora troppo costosi e ingombranti per essere commercializzati. Molti studi e molto sforzi si stanno, però, effettuando in questa direzione in modo da poter garantire nel breve periodo una regolazione adeguata anche di questo tipo di impianti.
La rassegna più completa sui dispositivi di abbattimento delle polveri applicati agli impianti residenziali a biomasse è presentata nello studio svolto da IEA Bioenergy nel 2011, che ha descritto

i principali dispositivi di abbattimento in commercio o prossimi alla commercializzazione, e li ha anche sottoposti a prove di laboratorio per verificarne l'efficacia. Complessivamente sono stati sottoposti a test 19 apparecchiature di cui: 12 precipitatori elettrostatici (ESP), 2 convertitori catalitici, 2 filtri ceramici e tre condensatori di fumi. (IEA Bioenergy, 2011)

3.7.2 Dispositivo R_ESP (Residential_ESP)

Nella figura viene mostrata una foto del dispositivo installato sulla cima di un comignolo. L'azienda costruttrice è la Applied Plasma Physics ASA (Norvegia).

Figura 22 Dispositivo R_ESP

Test effettuati:

- Test per 61 giorni con una vecchia stufa: η (efficienza rimozione PM) = 54-61% (National Institute of Technology – Norvegia);
- Test per 250 minuti (ciclo di combustione completo su una vecchia stufa): η =86 ± 4%. Per una caldaia funzionante a pellet di erba: η intorno all'85% (SP Technical Research Institute of Sweden);
- Test per 4.300 ore su 4 tipi diversi di stufe: η medio: 69%. Apparecchio molto rumoroso, si sono verificati guasti per l'eccessivo deposito sull'elettrodo; rottura di un elettrodo durante il test con necessità di sostituzione (TFZ Straubing, Germania).

L'esperienza ha mostrato che l'efficienza di separazione può variare dal 50% al 99% in base al tipo di combustibile, al tipo di apparecchio e alla potenza di utilizzo.
Il dispositivo si adatta sia a caldaie che a stufe e i test hanno mostrato facilità di installazione e di funzionamento. Si è riscontrata rumorosità, che potrebbe essere fastidiosa per i vicini. Il consumo di potenza è molto elevato (fino a 180 W) e il suo costo ad ora si aggira tra i 1000 e i 2000 euro. Ha bisogno di ulteriori miglioramenti per essere immesso sul mercato.

3.7.3 Dispositivo ESP Carola

In figura viene mostrato lo schema del dispositivo (a destra) e una foto del prototipo (a sinistra). È stato costruito in Germania all' Karlsruhe Institut für Technologie; coordinatore del progetto: Andrei Bologa.

Figura 23 Foto del dispositivo Carola

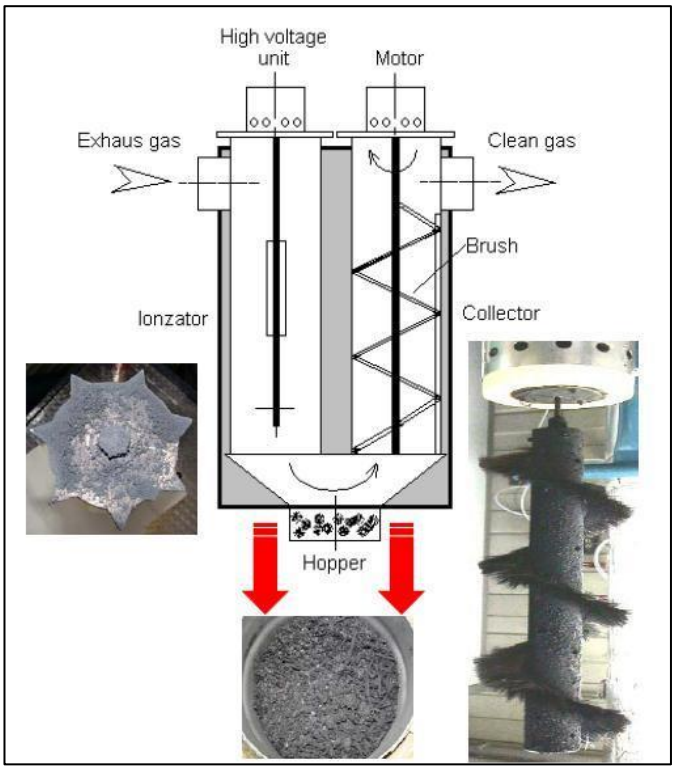

Figura 24 Schema di funzionamento del dispositivo Carola (Karlsruhe Institute of Technology)

È un dispositivo a due stadi (ionizzatore + collettore), deve essere installato tra l'impianto di combustione ed il camino (richiede uno spazio di 0.8x0.44x0.22 m). La ionizzazione avviene mediante elettrodo ad alto voltaggio mentre la raccolta delle polveri, nel secondo stadio, mediante tubo dotato di spazzola metallica.
Nei test di laboratorio, finora effettuati solo dal costruttore, si sono riscontrate efficienze del 87% per stufe a legna moderne e del 82% per stufe a pellet moderne. Le polveri vengono rimosse automaticamente ogni ora e raccolte in una tramoggia. Il costo si aggira attorno ai 1200 euro ma è ancora in fase di prototipo; il consumo è di circa 36 W. Questo sistema è adatto per temperature

dei fumi fino a 300°C circa. Lo spazio richiesto dal dispositivo è ancora molto grande per usi domestici. L'efficienza di precipitazione è sufficientemente alta e il sistema automatico di raccolta è sembrato efficace. Non è stato testato in sistemi di combustione di vecchia data, quindi si raccomandano test preliminari.

3.7.4 Dispositivo ESP Zumikron

In figura viene mostrato uno schema del dispositivo (sinistra) e una foto dello stesso montato su una stufa a legna (destra). L'azienda costruttrice è la Kutzen und Weber GmbH (Svizzera).

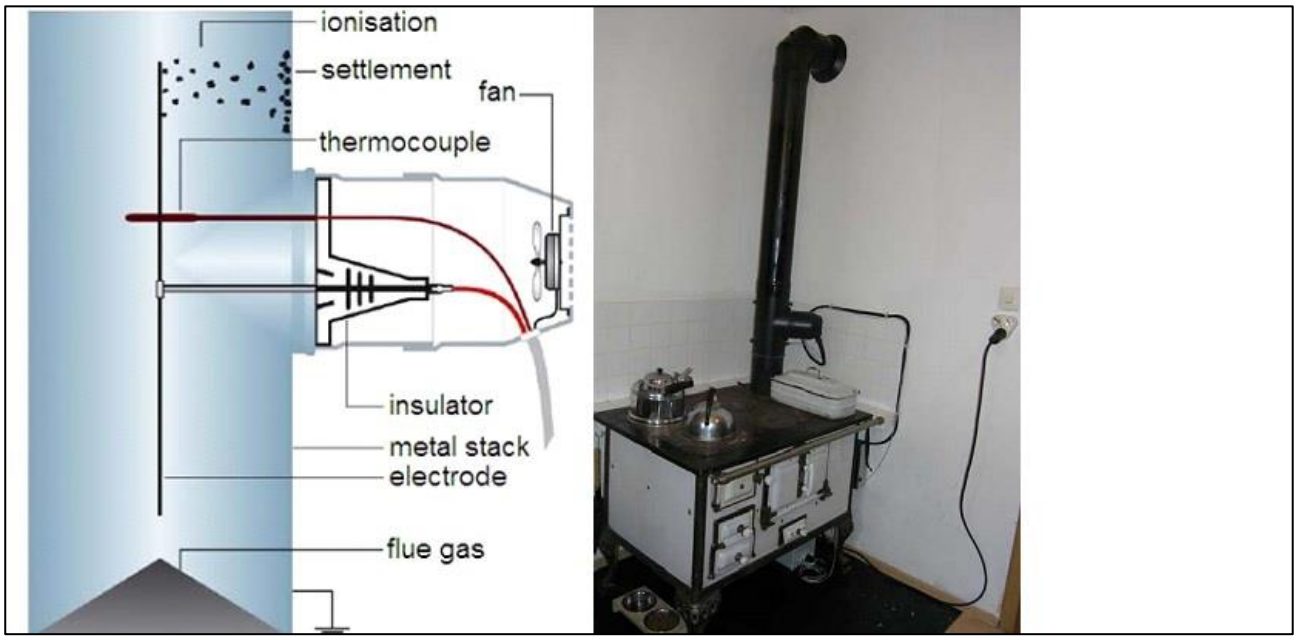

Figura 25 Schema del dispositivo Zumikron

È un precipitatore elettrostatico tubolare ad alto voltaggio dotato di un ventilatore per prevenire depositi sull'elettrodo; viene installato alla base del camino. Un test effettuato dalla Graz university of technology (Svizzera) su una vecchia stufa per 545 ore di funzionamento ha riscontrato un'efficienza media di cattura di polveri sottili PM1 del 53%. Per le polveri totali sospese (TSP) l'efficienza media di separazione è del 41%. Test di 3700 ore con tre tipi diversi di stufe effettuati dalla TFZ Straubing (Germania) hanno evidenziato un'efficienza media tra 11-17%. Si sono verificate rotture dell'elettrodo durante l'uso nei test. La rimozione delle polveri deve essere effettuata manualmente (spazzacamino) e si rende necessaria una periodica sostituzione dell'elettrodo causa corrosione. Il dispositivo è disponibile sul mercato dal 2007 ad un prezzo di circa 1500 euro; adatto per applicazioni di combustione a biomassa fino ai 35kW; ha un consumo tra i 5 e i 15 W. La temperatura dei gas di scarico non deve superare i 400°C per non causare danni al dispositivo. È un dispositivo rumoroso e l'affidabilità è limitata.

3.7.5 Dispositivo ESP OekoTube

Figura 26 Dispositivo montato sul camino (IEA Bioenergy, 2011)

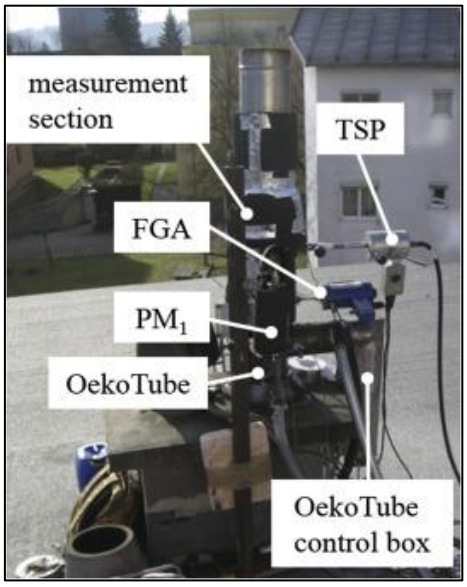

Figura 27 Schema di funzionamento del dispositivo

È un precipitatore elettrostatico tubolare installabile sulla cima del camino in impianti a combustione di biomasse legnose fino a 70kW. I test del costruttore e altri test sperimentali, effettuati su una moderna caldaia a pellet dalla Graz university of technology (Austria) evidenziano un'efficienza di questo dispositivo molto elevata. Il costo è ancora molto alto; tra costo apparecchio e costi di installazione siamo intorno ai 2500-3000 euro a cui vanno aggiunti il costo del consumo elettrico (la richiesta di potenza è tra i 20 e i 30 W) e i costi di manutenzione dovuti alla periodica pulizia del camino che deve essere effettuata manualmente (spazzacamino). Il dispositivo è disponibile sul

mercato dal 2008 e dai test effettuati sembra molto efficiente ed affidabile. Ulteriori test effettuati successivamente su una vecchia stufa e una vecchia caldaia entrambe a ceppi di legno hanno riscontrato efficienze di precipitazione medie minori rispetto a quella precedente. (I. Obernberger, 2012)

3.7.6 Dispositivo ESP Bosch

È un precipitatore elettrostatico tubolare da installare all'interno del camino (richiede una lunghezza del camino di almeno 1.25m). La pulizia viene effettuata tramite una molla all'interno del camino che deve essere attivata manualmente.

Un test effettuato del costruttore su una stufa a ceppi di legno ha dato questi risultati:

- 60% di efficienza per emissioni di PM nei gas di scarico >400 mg/Nm3;
- 80-90% di efficienza per emissioni di PM nei gas di scarico <100 mg/Nm3;
- 70% di efficienza dopo 860 ore di funzionamento con emissioni di PM nei gas di scarico della caldaia di circa 50mg/Nm3.

Il dispositivo è ancora in fase di prototipo. Test sul campo sono ancora da effettuare per una migliore valutazione in condizioni reali.

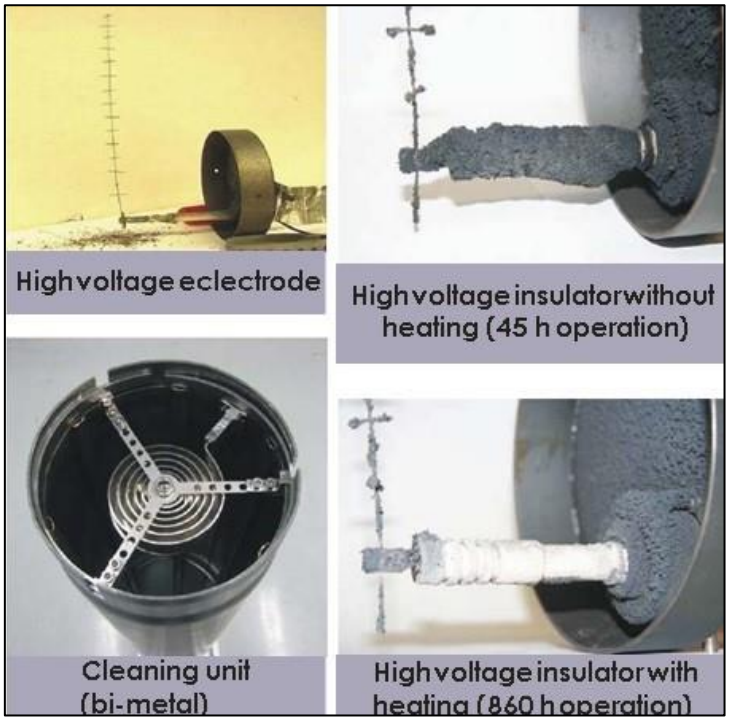

Figura 28 Schema di funzionamento ESP Bosch

3.7.7 Dispositivo ESP RuFF-Kat

Il costruttore è la RuFF-Kat GmbH (Germania). Nelle figure vengono presentati uno schema del dispositivo e un disegno di una tipica applicazione in una stufa.

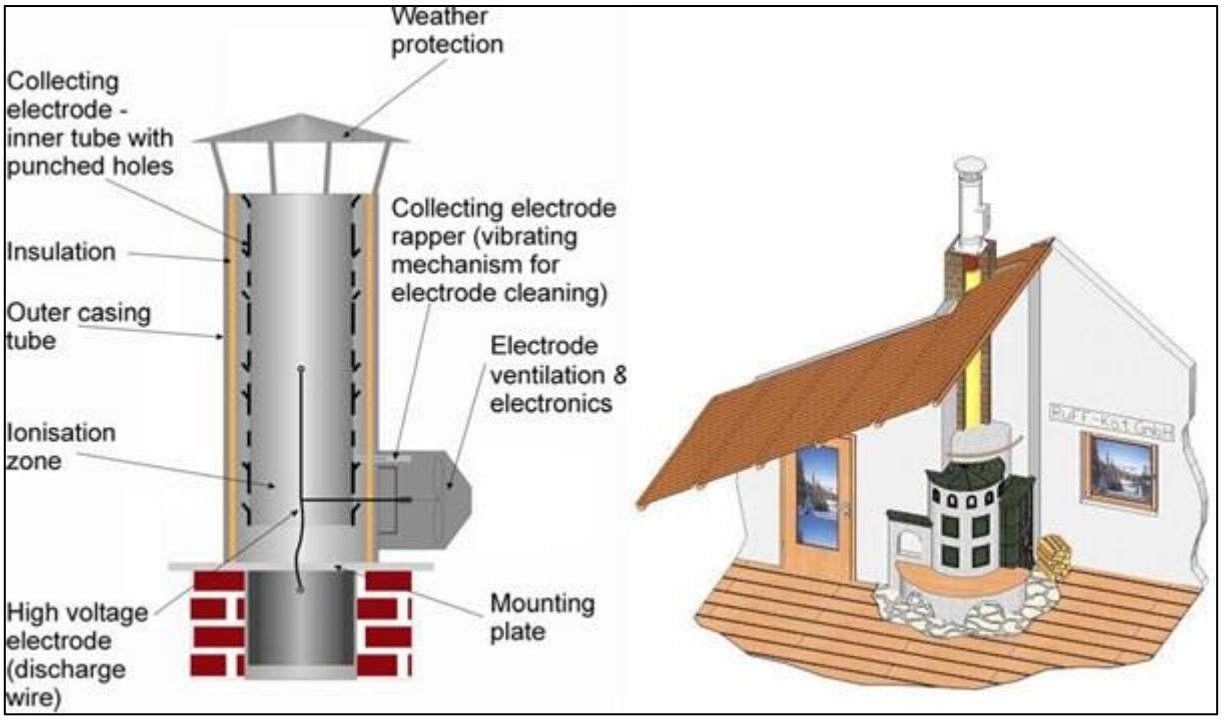

Figura 29 Schema di funzionamento del dispositivo RuFF-Kat (IEA Bioenergy, 2011)

È un precipitatore elettrostatico tubolare progettato per essere installato sul tetto alla fine del camino. È presente un sistema di ventilazione atto a ridurre depositi e condensazione sull'elettrodo e sulla canna fumaria. La pulizia viene effettuata automaticamente e periodicamente mediante un dispositivo magnetico vibrante che aziona una rete di molle collegate al tubo interno del dispositivo; è necessaria una periodica rimozione delle ceneri dalla base del camino. L'elettrodo, invece, deve essere pulito manualmente (spazzacamino). Sono stati effettuati test del filtro applicato ad una moderna caldaia a pellet da parte di TFZ Straubing (Germania) all'interno del progetto Ultra Low Dust. Questi test hanno evidenziato un'efficienza di precipitazione del particolato totale sospeso (TSP) > 70%. Il costo si aggira attorno ai 1500 euro a cui va aggiunto il costo di installazione. La potenza consumata è di circa 20W. La temperatura dei fumi deve essere inferiore ai 400°C per non danneggiare il sistema ESP. Il dispositivo è prossimo alla commercializzazione.

3.7.8 Dispositivo ESP AL-Top Schrader

In figura troviamo uno schema del dispositivo. L'azienda produttrice è Schrader Abgastechnologie (Germania).

Figura 30 Schema di funzionamento (Bohm T., 2011)

È un precipitatore elettrostatico equipaggiato con un letto filtrante metallico all'interno del quale vengono catturate le polveri sospese ionizzate dall'elettrodo ad alta tensione.
È installato come parte integrante della canna fumaria. Adatto per caldaie a pellet e a cippato di legno con potenza dai 15 ai 150 kW.
È dotato di sistema automatico di pulizia della maglia metallica che avviene tramite spruzzamento di acqua al raggiungimento di una perdita di carico dei fumi predefinita. Sono stati effettuate prove in laboratorio da parte di DBFZ Lipsia su vari tipi di sistemi di combustione a biomassa e si è riscontrata un'efficienza di precipitazione del particolato fino all' 82%.

3.7.9 Dispositivo ESP SF20

È un precipitatore elettrostatico tubolare dotato di una ventola per gestire la caduta di pressione dei fumi e di un'ulteriore ventola per evitare depositi di cenere.
Deve essere installato tra il combustore ed il camino e richiede uno spazio di circa 0,4x0,5x1m. Richiede una potenza di 30W durante il funzionamento. Installabile su sistemi di combustione a biomassa legnosa di potenza fino ai 35kW.
Test effettuati per 410 h su una caldaia a legna dalla Graz University of Technology (Austria) hanno evidenziato un'efficienza di separazione del TSP del 68% e un'efficienza media per il Pm del 60%. Il dispositivo automatico di pulizia è risultato inefficiente. Altri test sono stati effettuati da TFZ Straubing (Germania). Sono stati testati quattro dispositivi SF20 montati su una caldaia a pellet, una

a legna e una a cippato per un totale di 2.900 h di funzionamento; l'efficienza varia dal 25 al 94%. Prove su una vecchia caldaia a legna hanno evidenziato efficienze molto variabili (da 11 a 96%) ma la maggior parte sopra il 50%. È stato riscontrato un malfunzionamento del sensore di temperatura a causa di depositi su di esso che ritarda l'accensione dell'elettrofiltro. Il dispositivo, in fase di prototipo, è stato migliorato e sono in corso nuovi test per verificarne l'efficacia.

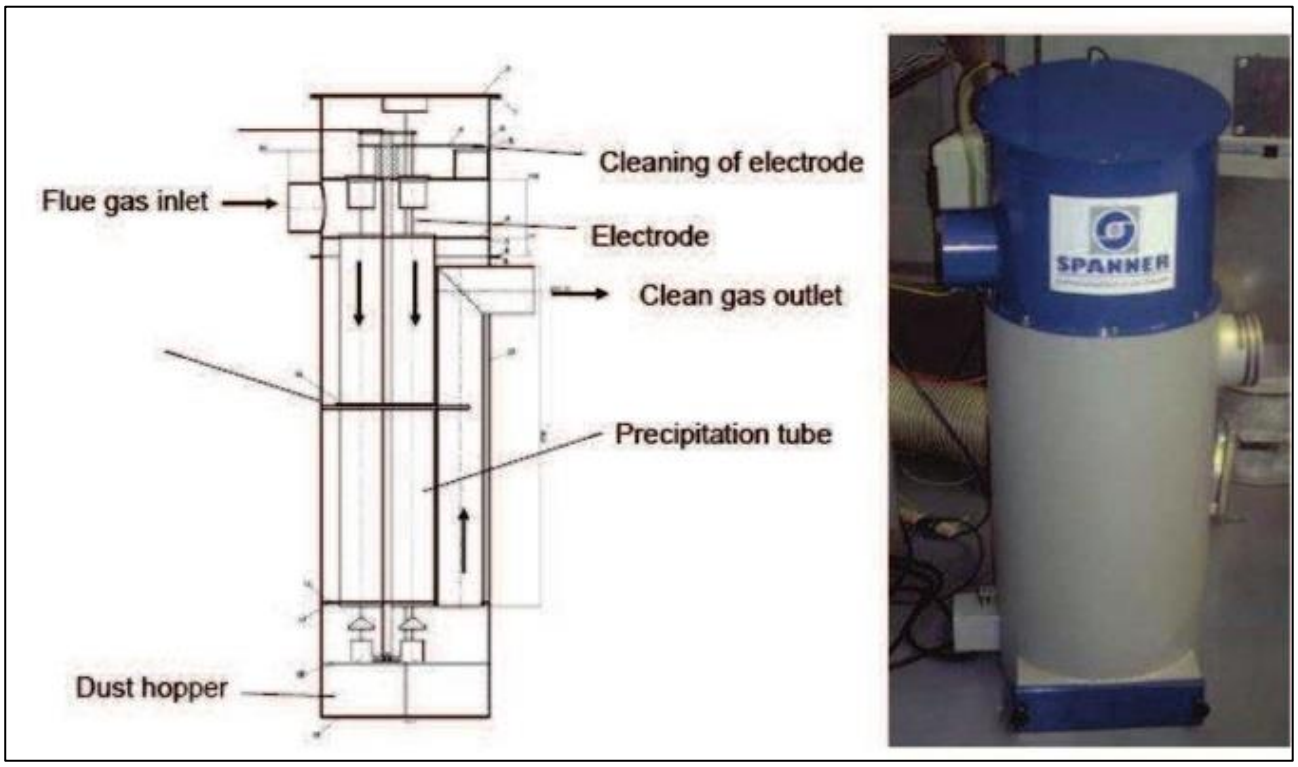

Figura 31 Schema di funzionamento ESP SF20

3.7.10 Dispositivo ESP AirBox-Spartherm

In figura vengono mostrate le foto del dispositivo progettato dalla Spartherm Feuerungstechnik GmbH (Germania) montato su una stufa a camino.
È un precipitatore elettrostatico a piastre orizzontali installabile, al momento, su stufe a camino della stessa azienda costruttrice fino a 20 kW di potenza.
Test effettuati dall'accreditato Rhein-Ruhr Feuerstatten Prufstelle (Germania) su vari tipi di stufe della casa costruttrice ha mostrato un'efficienza compresa tra 60-80%. La pulizia del filtro è molto problematica in quanto deve essere effettuata nella stanza in cui si trova il sistema stufa. Il dispositivo è disponibile sul mercato dal 2008 ma i costi sono ancora molto elevati (circa 1500 euro).

Figura 32 Dispositivo ESP Air-Box

3.7.11 Dispositivo ESP NasuRESP

Di questo tipo di precipitatore elettrostatico non sono disponibili foto e schemi in quanto è ancora in fase di progettazione e prototipazione presso l'azienda finlandese Tassu ESP. Il principio di funzionamento si basa sulla ionizzazione delle particelle presenti nei gas di scarico al di fuori del camino; l'aria e le particelle sospese ionizzate vengono successivamente introdotte nel condotto di scarico dei fumi tramite un compressore. È progettato per un'efficiente cattura delle particelle con diametro inferiore ai 2μm, quindi per sistemi che hanno una combustione il più possibile completa come caldaie a pellet o tutti i sistemi a biomasse operanti in regolazione continua. Le particelle che vengono rimosse grazie alle forze elettriche vengono raccolte, sotto forma di cenere, in una tramoggia che, in base ai dati del costruttore, deve essere svuotata una volta l'anno. Lo spazio richiesto da questo sistema è di circa 0.5x0.5x1.5m per caldaie a pellet di 20kW. Test effettuati in laboratorio dall'azienda costruttrice hanno evidenziato un'efficienza di precipitazione per PM intorno all'85-90%; è stato appurato, inoltre, che aumentando le dimensioni del dispositivo possono essere ottenute efficienze maggiori. Il costo è ancora molto alto e sono necessari ulteriori miglioramenti e test prima che possa essere pronto alla commercializzazione. Si sta sviluppando questa tecnologia anche per sistemi di combustione a regolazione discontinua; in queste applicazioni non è necessario equipaggiare l'ESP con un compressore. Quest'ultima soluzione sembra essere più promettente.

3.7.12 Dispositivo ESP Kamin-Feinstabkiller

L'azienda costruttrice è TH Alternativ Energie (Germania).
È un ESP tubolare e consiste nell'installazione di un elettrodo ad alto voltaggio all'interno di un camino in acciaio inossidabile (anche preesistente). Installabile su più tipi di combustori di biomassa. La pulizia è completamente automatica; viene effettuata ogni tre ore tramite un getto d'acqua dalla cima del camino. I liquami vengono raccolti in un contenitore apposito che deve essere svuotato periodicamente e manualmente. Vengono riportati di seguito i risultati dei test effettuati sul dispositivo in esame dall'azienda tedesca TFZ Straubing. I test sono stati effettuati equipaggiandolo ad un vecchio modello di caldaia a ceppi di legno per un totale di 30 ore di funzionamento. L'efficienza di precipitazione per il particolato totale sospeso (TSP) varia, per le nove misurazioni effettuate, dal 26% fino al 94% per un'efficienza media del 64%. Il consumo elettrico varia dai 40 W agli 80 W e il costo è di circa 1500 euro. È ancora in fase di prototipo ma sembra promettente per vecchi sistemi di combustione.

3.7.13 Flue gas condenser UEF

Si tratta di uno scambiatore a condensazione (condensatore) opportunamente dimensionato in modo da permettere che il flusso dei gas di scarico venga convogliato all'interno del condensatore Il vapor d'acqua presente nei fumi condensa, formando un film sulla superficie dei tubi del condensatore, e scorre verso il basso lungo i fasci fino ad un apposito contenitore per la raccolta. La rimozione del particolato si basa su fenomeni di termoforesi (migrazione delle particelle all'interno di un fluido dovuto al gradiente di temperatura) e di diffusioforesi (migrazione delle particelle in un fluido a causa del gradiente di pressione). Questo tipo di filtro è adatto per sistemi a combustione di biomassa che utilizzano combustibili piuttosto umidi e con una bassa concentrazione di elementi corrosivi, che danneggiano i materiali che costituiscono il dispositivo.
Sono state riscontrate un'efficienza di recupero termico dell'85% mentre un'efficienza di rimozione rispetto al PM variabile da 0 al 30%; l'efficienza di rimozione del numero di particelle si è riscontrata intorno al 25-40%. Effettuando test con una temperatura di ingresso dei fumi nel condensatore di 600°C è stata evidenziata un'efficienza di rimozione del particolato di 70.2%. Si può credere, quindi, che la tecnologia sia promettente ma, essendo ancora in fase di prototipo, sono richiesti ulteriori prove, sia in laboratorio che in campo. Il costo è di 5000 euro circa; impensabile quindi una sua commercializzazione su larga scala.

3.7.14 Flue gas condenser Oko-Carbonizer

In figura viene mostrato un esploso del dispositivo Oko-Carbonizer progettato dall'azienda tedesca Bschor GmbH.

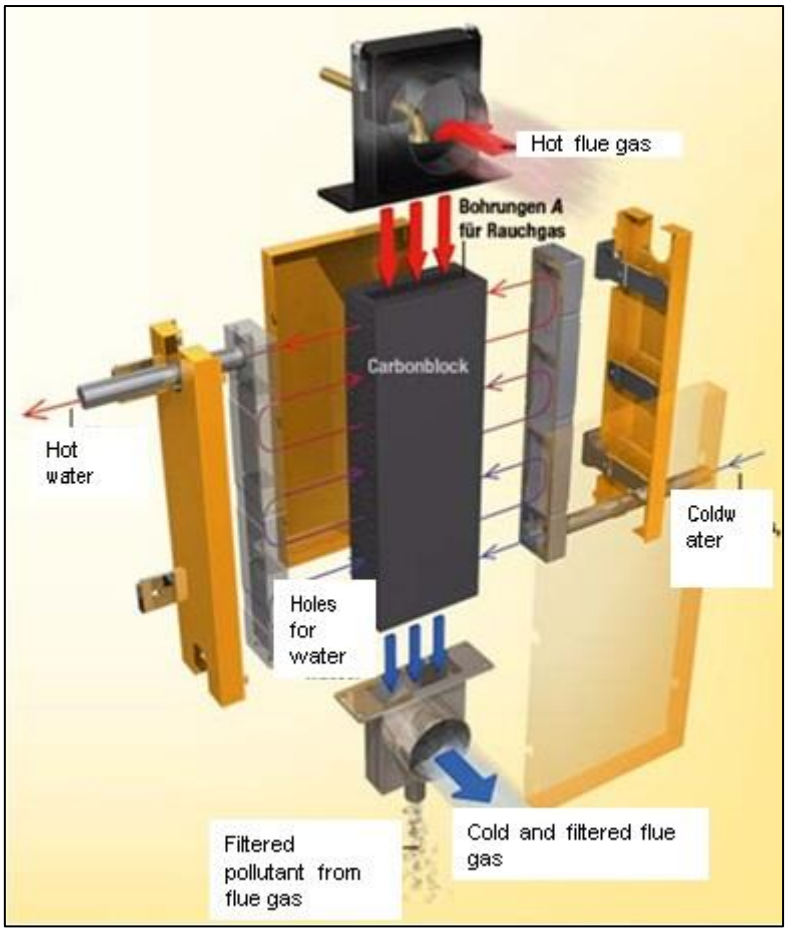

Figura 33 Dispositivo Flue Gas Condenser Oko

Lo scambiatore di calore consiste in un blocco in carbonio all'esterno del quale i fumi vengono condensati grazie all'azione del fluido refrigerante, in modo da far precipitare il particolato sospeso. Progettato per essere equipaggiato a caldaie a pellet, cippato o legna per potenze fino a 60kW.
Le prove su questo dispositivo sono state effettuate dall'azienda tedesca TFZ Straubing.
Primi test sono stati svolti equipaggiando il dispositivo ad una caldaia multi-combustibile modello Agroflamm Agro testando il comportamento par vari tipi di combustibile; questo perché, nelle tecnologie con scambiatori di calore per la condensazione dei fumi, il contenuto di umidità presente nel combustibile influenza la condensazione e, di conseguenza, l'efficienza di rimozione del particolato.
Si è riscontrata un'efficienza media di precipitazione del particolato totale sospeso (TSP) dell'11%.
L'efficienza di rimozione del particolato, quindi, è ancora molto bassa ma è in fase di prototipo. Per ora, più che per la rimozione delle polveri, può essere utilizzato per recuperare calore dai fumi.
Il costo per una unità applicabile ad una caldaia di 35kW si aggira intorno ai 1200 euro.

3.7.14 Caldaia a pellet modello Pellematic Plus con condensatore integrato

Lo scambiatore integrato è costruito in carbonio; la tecnologia è disponibile sul mercato solo per caldaie a pellet di potenze comprese tra 12kW e 32kW. Prove sul filtro a condensazione installato

su questa caldaia sono state effettuate da Austrian BioEnergie Centre; i risultati mostrano un'efficienza di rimozione del particolato totale sospeso poco maggiore al 10%, dati molto in contrasto con quelli forniti dal costruttore che garantisce una rimozione del 40%. L'efficienza, perciò, non è soddisfacente; il costo della sola unità filtro-recupero di calore è di 1200 euro.

3.7.15 Stufa a legna modello ECO plus (Hark) con filtro a ceramica

Per questo tipo di tecnologia non è stato possibile effettuare misurazioni sia prima che dopo il filtro a causa del posizionamento dello stesso appena sopra la camera di combustione. Prove effettuate dall'istituto tedesco Rhein Ruhr Feuerstatten Prufstelle hanno rilevato un livello di emissioni di PM a monte del filtro di 14 mg/MJ, simile a quello delle stufe moderne presenti sul mercato; per questo motivo l'efficienza non sembra essere molto elevata. I costi sono ancora molto elevati (2500-3500 euro).

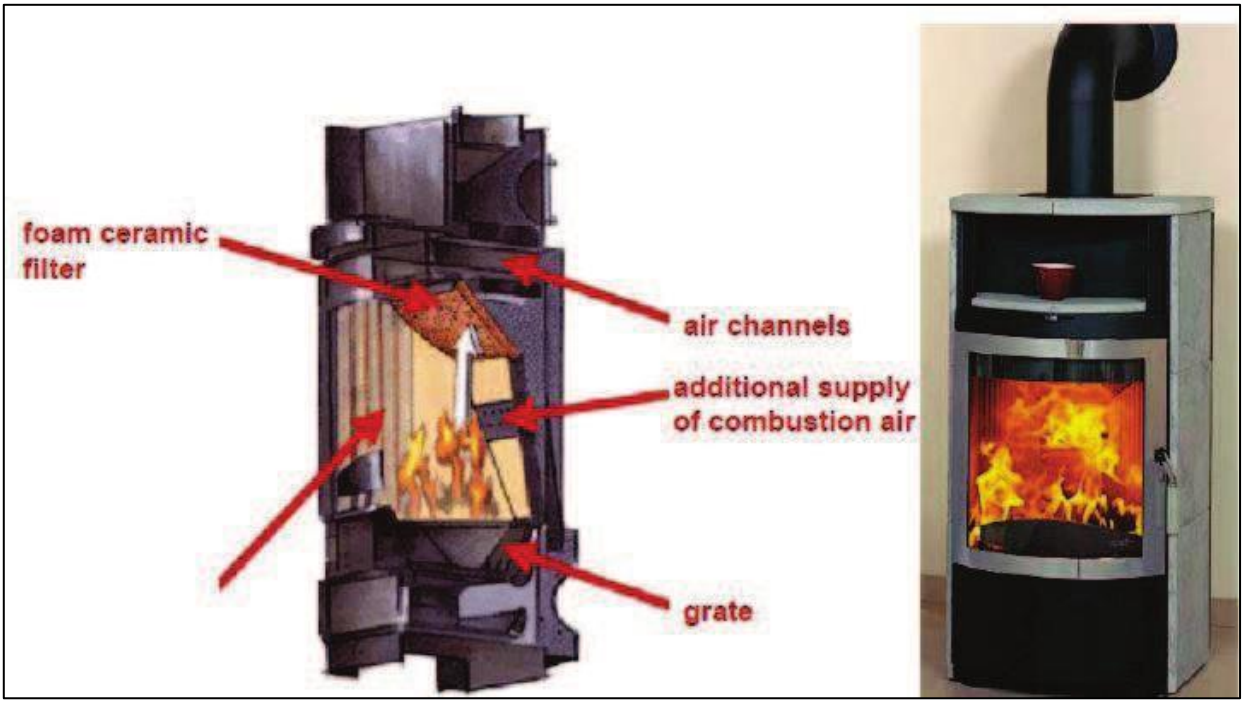

Figura 34 Dispositivo ECO plus

3.7.16 Filtro ceramico della Interfocos BV

È un filtro a schiuma ceramica prodotto dall'azienda olandese Interfocos BV. In figura viene presentata una foto del filtro (sinistra) e un'applicazione del filtro su di una stufa a legna.

Figura 35 Filtro ceramico della Interfocos BV (Interfocos BV, 2010)

L'immissione sul mercato di questo prodotto era prevista nel 2011 ma non è ancora stato commercializzato. Avendo un costo di approssimativamente 100 euro, può avere un grande impatto sulla riduzione delle emissioni delle stufe a legna. Prove effettuate dal costruttore hanno evidenziato efficienze di cattura del PM molto variabili, da meno del 10% a più del 70%. Questo perché l'efficienza dipende da vari fattori quali la posizione del filtro nella stufa e la dimensione dei pori della schiuma ceramica.

3.7.17 Quadro riassuntivo dei dispositivi di abbattimento

La tabella rappresenta in maniera sintetica le principali caratteristiche dei dispositivi di abbattimento elencati in maniera dettagliata precedentemente. In modo particolare vengono mostrati il campo di applicazione, i costi, i consumi, la manutenzione e i rendimenti medi.

Apparecchio	Campo di applicazione	Costi di investimento (euro) e consumi elettrici (W)	Manutenzione	Risultati dei test di laboratorio (rendimento medio)
R_ESP	Vecchie stufe.	1.000-2.000€ 180 W.	Pulizia manuale da parte dello spazzacamino: 1-2 volte l'anno	η =54/61%
Carola	Apparecchi moderni.	1.200 € 36 W.	Le polveri vengono rimosse automaticamente ogni ora e raccolte in una tramoggia.	87% per stufe a legna e 82% per stufe a pellet.
ESP Zumikron	Apparecchi a biomassa sino a 35 kW.	1.500 € + costi di installazione 15 W.	Rimozione polveri da parte dello spazzacamino.	Test su vecchia stufa η=53%
ESP Oekotube	Apparecchi a biomassa sino a 70 kW.	2000€+ installazione 20-30 W.	Pulizia da parte dello spazzacamino.	η = 96.7-97.5%.
ESP Bosch	Caldaie e stufe a pellet e legna.	1.300€. 34 W.	Pulizia con dispositivo a molla	η=70%

ESP RuFF-Kat	Caldaie e stufe a pellet e legna.	1.500 € + installazione. 20 W.	Pulizia automatica	η>70%
ESP AL-Top Schrader	Caldaie a pellet e trucioli di legna.	3000 €. 15-150 W.	Pulizia automatica	η sino all'82%
ESP SF20	Caldaie a pellet, legna e trucioli di legna.	1.200€ + installazione. 30 W.	Pulizia giornaliera con apparecchiatura automatica.	η = 68%
ESP AirBox Spartherm	Stufe a camino sino a 20 kW.	1.500€. 10-20 W.	Pulizia manuale dopo 100h.	η = 60%
NasuRESP – Tassu ESP	Apparecchi automatici.	Costo non definito. 10-20 W.	Le particelle vengono rimosse mediante carica elettrica.	η = 85-90%
ESP Kamin-Feinstabkiller TH-AE	Applicabile in camini metallici.	1.500€+ installazione. 40-80 W	Pulizia automatica	η = 64%
Flue gas condenser UEF	Apparecchi che usano combustibili poco corrosivi	Non specificato	Non specificato	η=0-30%
Flue gas condenser Oko Carbonizer	Caldaie a pellet o legna sino a 60 kW	circa 1200 € per unità da 35 kW	Il condensato pulisce automaticamente	η =11-23%
Pellematic Plus con condensatore integrato	Integrato nella caldaia.	Costo: circa 1200 €	Condensatore da pulire manualmente una volta all'anno.	η = poco sopra il 10%
ECO plus con filtro a ceramica Hark	Integrato nella stufa.	Nessun costo aggiuntivo	Pulizia manuale periodica.	Efficienza impossibile da specificare
Interfocos BV	Stufe a legna.	100 €.	Pulizia manuale periodica.	η variabile dal 10% al 70%

Tabella 15 Tabella riassuntiva dei dispositivi di abbattimento

3.7.18 Confronto tra dispositivi per rendimento, consumi e costi

Nel seguito vengono riportati tre grafici che rappresentano le principali caratteristiche dei dispositivi analizzati precedentemente.

Nel primo grafico si ha il rendimento medio ovvero la rimozione di materiale particolato espresso in percentuale per ogni dispositivo. Rendimenti molto alti sono possibili utilizzando i precipitatori elettrostatici OekoTube, NasuRESP, Carola e AL-Top Schrader.

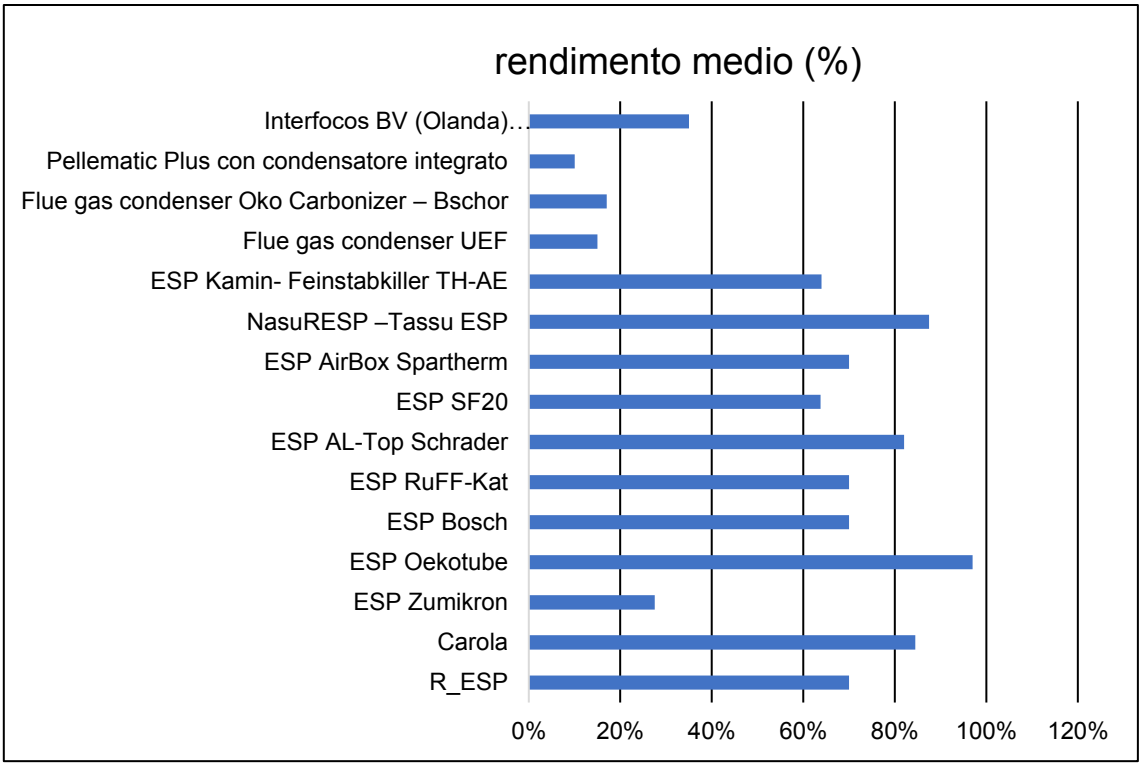

Figura 36 Rendimento medio dei dispositivi.

Nel secondo grafico è riportato il consumo e quindi la potenza espressa in watt. Si nota che il maggior consumo lo si ha nel precipitatore R_ESP; a seguire abbiamo dei consumi che vanno dai 60 agli 80 watt, mentre i restanti dispositivi presentano un consumo medio ed accettabile.

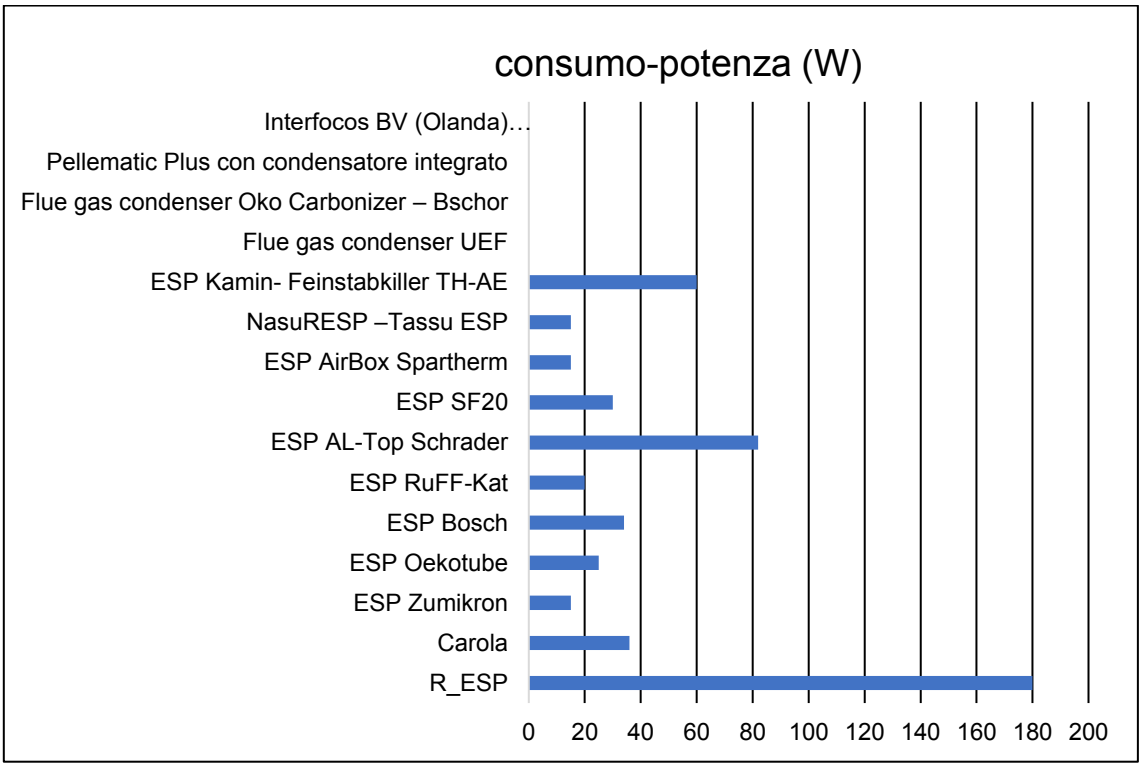

Figura 37 Consumi dei dispositivi.

L'ultimo grafico presenta i costi espressi in euro esclusi quelli di installazione. Un costo esagerato si ha nel dispositivo AL-Top Schrader, mentre gli altri costi sono compresi tra i 1000 e i 2000 euro.

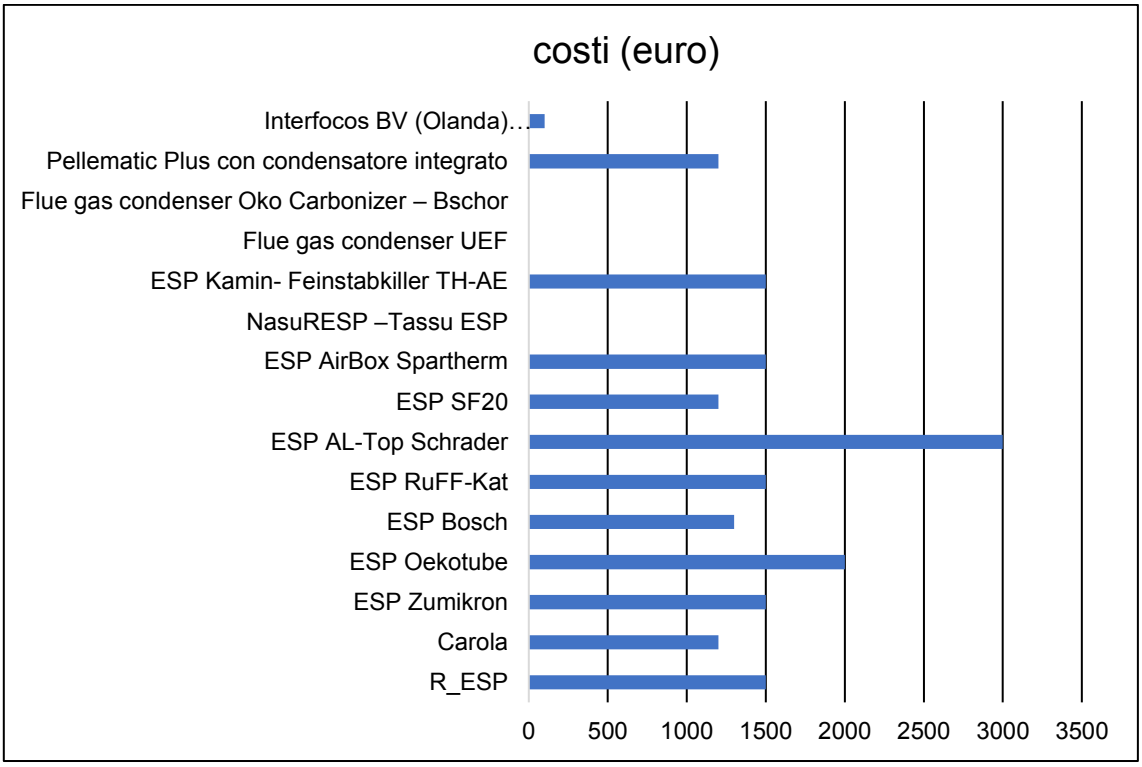

Figura 38 Costi dei dispositivi.

Tra i dispositivi analizzati i precipitatori elettrostatici sembrano essere i più promettenti come tecnologia per i piccoli sistemi di combustione delle biomasse legnose. Tra questi, tre sono già disponibili sul mercato:

· ZumikRon;

· Oekotube;

· Airbox.

Il seguente ESP, può essere immesso sul mercato in un futuro prossimo:

·RuFF-KAT.

Nel mio lavoro di tesi è stato preso in considerazione il dispositivo OEKOTUBE per quanto riguarda gli impianti a legna per i seguenti motivi:

- rendimento di circa il 97%, quindi un grande abbattimento di sostanze inquinanti;
- consumo di circa 25W e quindi accettabile;
- costo di circa 2000 euro.

Per quanto riguarda gli impianti a pellets è stato preso in considerazione il dispositivo RuFF-Kat dato che esso presenta un abbattimento del 70% delle emissioni, un consumo di circa 20W e un costo di 1500 euro.

3.8 RIDUZIONE DELLE EMISSIONI

Utilizzando i dispositivi descritti precedentemente per il grande rendimento, per il consumo esiguo e il costo medio si giunge a una riduzione delle sostanze inquinanti. In modo particolare si riducono gli inquinanti prodotti dalla legna del 97% (rendimento medio del dispositivo OekoTube) e gli inquinanti prodotti dal pellet del 70% (rendimento medio del dispositivo RuFF-Kat).

Provincia di Pesaro-Urbino							
	Comuni	**PM10 Legna**	**PM 2,5 Legna**	**BC Legna**	**PM10 Pellets**	**PM 2,5 Pellets**	**BC Pellets**
>50000 AB	Fano	2,276	2,173	0,163	0,132	0,104	0,016
	PESARO	3,340	3,188	0,239	0,193	0,153	0,023
<50000 AB	Montecopiolo	0,173	0,165	0,012	0,014	0,011	0,002
	Carpegna	0,228	0,218	0,016	0,019	0,015	0,002
	Pietrarubbia	0,056	0,053	0,004	0,005	0,004	0,001
	Monte Grimano Terme	0,106	0,102	0,008	0,010	0,008	0,001
	Serra Sant'Abbondio	0,096	0,092	0,007	0,009	0,007	0,001
	Peglio	0,054	0,052	0,004	0,005	0,004	0,001
	Monte Cerignone	0,053	0,051	0,004	0,005	0,004	0,001
	Frontino	0,026	0,025	0,002	0,002	0,002	0,000
	Apecchio	0,172	0,164	0,012	0,016	0,012	0,002
	Urbino	1,297	1,238	0,093	0,118	0,093	0,014
	Borgo Pace	0,060	0,057	0,004	0,005	0,004	0,001
	Sassofeltrio	0,115	0,110	0,008	0,010	0,008	0,001
	Mercatello sul Metauro	0,117	0,112	0,008	0,011	0,008	0,001
	Tavoleto	0,072	0,069	0,005	0,007	0,005	0,001
	Fratte Rosa	0,077	0,074	0,006	0,007	0,006	0,001
	Frontone	0,118	0,113	0,008	0,011	0,008	0,001
	Monteciccardo	0,123	0,117	0,009	0,011	0,009	0,001
	Auditore	0,120	0,115	0,009	0,011	0,009	0,001
	Cantiano	0,219	0,210	0,016	0,020	0,016	0,002
	Sant'Angelo in Vado	0,294	0,281	0,021	0,027	0,021	0,003

	Montecalvo in Foglia	0,201	0,192	0,014	0,018	0,014	0,002
	Belforte all'Isauro	0,059	0,057	0,004	0,005	0,004	0,001
	Piobbico	0,167	0,159	0,012	0,015	0,012	0,002
	Petriano	0,199	0,190	0,014	0,018	0,014	0,002
	Sassocorvaro	0,270	0,258	0,019	0,025	0,019	0,003
	Macerata Feltria	0,176	0,168	0,013	0,016	0,013	0,002
	Mombaroccio	0,181	0,173	0,013	0,016	0,013	0,002
	Piandimeleto	0,161	0,154	0,012	0,015	0,012	0,002
	Lunano	0,104	0,099	0,007	0,009	0,007	0,001
	Mondavio	0,303	0,289	0,022	0,028	0,022	0,003
	Vallefoglia	1,095	1,045	0,078	0,100	0,079	0,012
	Cagli	0,740	0,706	0,053	0,067	0,053	0,008
	Mercatino Conca	0,092	0,088	0,007	0,008	0,007	0,001
	Urbania	0,538	0,514	0,039	0,049	0,039	0,006
	Pergola	0,572	0,546	0,041	0,052	0,041	0,006
	Terre Roveresche	0,418	0,399	0,030	0,038	0,030	0,005
	Montefelcino	0,208	0,199	0,015	0,019	0,015	0,002
	Sant'Ippolito	0,118	0,113	0,008	0,011	0,008	0,001
	Cartoceto	0,588	0,561	0,042	0,053	0,042	0,006
	Isola del Piano	0,052	0,049	0,004	0,005	0,004	0,001
	San Lorenzo in Campo	0,282	0,269	0,020	0,026	0,020	0,003
	Acqualagna	0,328	0,313	0,024	0,030	0,024	0,004
	Fermignano	0,635	0,606	0,046	0,058	0,046	0,007
	Tavullia	0,547	0,522	0,039	0,050	0,039	0,006
	San Costanzo	0,359	0,342	0,026	0,033	0,026	0,004
	Mondolfo	0,886	0,845	0,063	0,081	0,064	0,010
	Gradara	0,371	0,354	0,027	0,034	0,027	0,004
	Fossombrone	0,752	0,718	0,054	0,068	0,054	0,008
	Monte Porzio	0,206	0,197	0,015	0,019	0,015	0,002
	Colli al Metauro	0,927	0,885	0,066	0,084	0,067	0,010
	Montelabbate	0,460	0,439	0,033	0,042	0,033	0,005
	Gabicce Mare	0,507	0,484	0,036	0,046	0,036	0,005

Provincia di Ancona							
		PM10 Legna	**PM 2,5 Legna**	**BC Legna**	**PM10 Pellets**	**PM 2,5 Pellets**	**BC Pellets**
>50000 AB	ANCONA	3,978	3,797	0,285	0,230	0,182	0,027
<50000 AB	Arcevia	0,410	0,391	0,029	0,037	0,029	0,004
	Cupramontana	0,394	0,376	0,028	0,036	0,028	0,004
	Staffolo	0,184	0,175	0,013	0,017	0,013	0,002
	Maiolati Spontini	0,468	0,447	0,034	0,043	0,034	0,005
	Sassoferrato	0,627	0,599	0,045	0,057	0,045	0,007
	Poggio San Marcello	0,064	0,061	0,005	0,006	0,005	0,001
	Rosora	0,147	0,141	0,011	0,013	0,011	0,002
	Montecarotto	0,171	0,163	0,012	0,016	0,012	0,002
	Mergo	0,082	0,079	0,006	0,007	0,006	0,001
	Monte Roberto	0,216	0,206	0,015	0,020	0,015	0,002
	Fabriano	2,582	2,465	0,185	0,235	0,185	0,028
	Genga	0,157	0,149	0,011	0,014	0,011	0,002
	Offagna	0,138	0,132	0,010	0,013	0,010	0,001
	Castelplanio	0,273	0,261	0,020	0,025	0,020	0,003
	Serra San Quirico	0,247	0,236	0,018	0,022	0,018	0,003
	Filottrano	0,699	0,667	0,050	0,064	0,050	0,008
	Osimo	2,521	2,406	0,181	0,229	0,181	0,027
	Cerreto d'Esi	0,298	0,285	0,021	0,027	0,021	0,003
	Castelbellino	0,347	0,331	0,025	0,032	0,025	0,004
	Belvedere Ostrense	0,164	0,157	0,012	0,015	0,012	0,002
	Ostra Vetere	0,246	0,235	0,018	0,022	0,018	0,003
	Santa Maria Nuova	0,304	0,290	0,022	0,028	0,022	0,003
	Camerano	0,520	0,496	0,037	0,047	0,037	0,006
	San Marcello	0,150	0,143	0,011	0,014	0,011	0,002
	San Paolo di Jesi	0,070	0,067	0,005	0,006	0,005	0,001
	Barbara	0,113	0,108	0,008	0,010	0,008	0,001
	Serra de' Conti	0,284	0,271	0,020	0,026	0,020	0,003

	Castelleone di Suasa	0,127	0,121	0,009	0,012	0,009	0,001
	Corinaldo	0,391	0,373	0,028	0,036	0,028	0,004
	Agugliano	0,345	0,329	0,025	0,031	0,025	0,004
	Morro d'Alba	0,145	0,139	0,010	0,013	0,010	0,002
	Castelfidardo	1,377	1,314	0,099	0,125	0,099	0,015
	Monsano	0,234	0,224	0,017	0,021	0,017	0,003
	Trecastelli	0,600	0,573	0,043	0,055	0,043	0,006
	Polverigi	0,288	0,275	0,021	0,026	0,021	0,003
	Monte San Vito	0,499	0,476	0,036	0,045	0,036	0,005
	Loreto	0,882	0,842	0,063	0,080	0,063	0,009
	Camerata Picena	0,162	0,155	0,012	0,015	0,012	0,002
	Sirolo	0,318	0,303	0,023	0,029	0,023	0,003
	Ostra	0,486	0,464	0,035	0,044	0,035	0,005
	Jesi	3,228	3,081	0,231	0,293	0,232	0,035
	Montemarciano	0,801	0,764	0,057	0,073	0,057	0,009
	Numana	0,399	0,381	0,029	0,036	0,029	0,004
	Chiaravalle	1,213	1,158	0,087	0,110	0,087	0,013
	Falconara Marittima	2,303	2,198	0,165	0,209	0,165	0,025
	Senigallia	3,683	3,516	0,264	0,335	0,264	0,040
Provincia di Macerata							
		PM10 Legna	**PM 2,5 Legna**	**BC Legna**	**PM10 Pellets**	**PM 2,5 Pellets**	**BC Pellets**
>50000 AB	MACERATA	1,619	1,545	0,116	0,094	0,074	0,011
<50000 AB	Bolognola	0,026	0,025	0,002	0,002	0,002	0,000
	Castelsantangelo SN	0,058	0,055	0,004	0,005	0,004	0,001
	Ussita	0,074	0,070	0,005	0,006	0,005	0,001
	Fiastra	0,092	0,088	0,007	0,008	0,006	0,001
	San Ginesio	0,488	0,466	0,035	0,040	0,032	0,005
	Camerino	1,003	0,958	0,072	0,082	0,065	0,010
	Gualdo	0,115	0,110	0,008	0,009	0,007	0,001
	Monte Cavallo	0,015	0,015	0,001	0,002	0,002	0,000

	Serravalle di Chienti	0,178	0,170	0,013	0,015	0,012	0,002
	Cingoli	1,282	1,224	0,092	0,105	0,083	0,012
	Penna San Giovanni	0,157	0,150	0,011	0,013	0,010	0,002
	Visso	0,183	0,174	0,013	0,015	0,012	0,002
	Monte San Martino	0,088	0,084	0,006	0,007	0,006	0,001
	Sarnano	0,296	0,282	0,021	0,027	0,021	0,003
	Apiro	0,180	0,172	0,013	0,016	0,013	0,002
	Poggio San Vicino	0,026	0,024	0,002	0,002	0,002	0,000
	Sefro	0,041	0,039	0,003	0,004	0,003	0,000
	Serrapetrona	0,075	0,072	0,005	0,007	0,005	0,001
	Gagliole	0,052	0,050	0,004	0,005	0,004	0,001
	Fiuminata	0,140	0,133	0,010	0,013	0,010	0,002
	Sant'Angelo in Pontano	0,113	0,107	0,008	0,010	0,008	0,001
	Pieve Torina	0,122	0,117	0,009	0,011	0,009	0,001
	Muccia	0,075	0,072	0,005	0,007	0,005	0,001
	Esanatoglia	0,166	0,158	0,012	0,015	0,012	0,002
	Valfornace	0,098	0,094	0,007	0,009	0,007	0,001
	Pioraco	0,117	0,111	0,008	0,011	0,008	0,001
	Loro Piceno	0,187	0,179	0,013	0,017	0,013	0,002
	Cessapalombo	0,042	0,040	0,003	0,004	0,003	0,000
	Ripe San Ginesio	0,068	0,065	0,005	0,006	0,005	0,001
	Colmurano	0,094	0,090	0,007	0,009	0,007	0,001
	Matelica	0,805	0,768	0,058	0,073	0,058	0,009
	Belforte del Chienti	0,131	0,125	0,009	0,012	0,009	0,001
	Treia	0,673	0,642	0,048	0,061	0,048	0,007
	Pollenza	0,449	0,429	0,032	0,041	0,032	0,005
	Camporotondo di F.	0,041	0,039	0,003	0,004	0,003	0,000
	Caldarola	0,136	0,130	0,010	0,012	0,010	0,001
	Mogliano	0,332	0,317	0,024	0,030	0,024	0,004
	Urbisaglia	0,204	0,195	0,015	0,019	0,015	0,002
	Castelraimondo	0,395	0,377	0,028	0,036	0,028	0,004
	Recanati	1,553	1,483	0,111	0,141	0,112	0,017

	Montelupone	0,244	0,233	0,017	0,022	0,017	0,003
	Petriolo	0,152	0,145	0,011	0,014	0,011	0,002
	Corridonia	1,049	1,002	0,075	0,095	0,075	0,011
	Montecosaro	0,424	0,405	0,030	0,039	0,030	0,005
	Morrovalle	0,673	0,642	0,048	0,061	0,048	0,007
	Montefano	0,260	0,248	0,019	0,024	0,019	0,003
	Potenza Picena	1,161	1,108	0,083	0,106	0,083	0,012
	Monte San Giusto	0,531	0,507	0,038	0,048	0,038	0,006
	San Severino Marche	1,043	0,996	0,075	0,095	0,075	0,011
	Tolentino	1,552	1,482	0,111	0,141	0,111	0,017
	Montecassiano	0,486	0,464	0,035	0,044	0,035	0,005
	Appignano	0,307	0,293	0,022	0,028	0,022	0,003
	Porto Recanati	0,968	0,924	0,069	0,088	0,069	0,010
	Civitanova Marche	3,140	2,998	0,225	0,285	0,225	0,034
Provincia di Ascoli Piceno							
		PM10 Legna	**PM 2,5 Legna**	**BC Legna**	**PM10 Pellets**	**PM 2,5 Pellets**	**BC Pellets**
>50000 AB	ASCOLI PICENO	1,831	1,748	0,131	0,106	0,084	0,013
<50000 AB	Montemonaco	0,096	0,092	0,007	0,008	0,006	0,001
	Montegallo	0,110	0,105	0,008	0,009	0,007	0,001
	Arquata del Tronto	0,210	0,201	0,015	0,017	0,014	0,002
	Force	0,173	0,165	0,012	0,014	0,011	0,002
	Montedinove	0,047	0,045	0,003	0,004	0,003	0,001
	Palmiano	0,015	0,015	0,001	0,001	0,001	0,000
	Montalto delle Marche	0,172	0,164	0,012	0,016	0,012	0,002
	Ripatransone	0,313	0,299	0,022	0,028	0,022	0,003
	Castignano	0,220	0,210	0,016	0,020	0,016	0,002
	Comunanza	0,250	0,239	0,018	0,023	0,018	0,003
	Venarotta	0,164	0,157	0,012	0,015	0,012	0,002
	Montefiore dell'Aso	0,162	0,155	0,012	0,015	0,012	0,002
	Cossignano	0,076	0,072	0,005	0,007	0,005	0,001
	Rotella	0,072	0,068	0,005	0,007	0,005	0,001

	Acquasanta Terme	0,219	0,209	0,016	0,020	0,016	0,002
	Carassai	0,091	0,087	0,007	0,008	0,007	0,001
	Acquaviva Picena	0,272	0,260	0,020	0,025	0,020	0,003
	Folignano	0,633	0,604	0,045	0,058	0,045	0,007
	Maltignano	0,176	0,168	0,013	0,016	0,013	0,002
	Roccafluvione	0,170	0,162	0,012	0,015	0,012	0,002
	Offida	0,398	0,379	0,028	0,036	0,029	0,004
	Castorano	0,169	0,161	0,012	0,015	0,012	0,002
	Monteprandone	0,741	0,707	0,053	0,067	0,053	0,008
	Massignano	0,114	0,109	0,008	0,010	0,008	0,001
	Castel di Lama	0,581	0,555	0,042	0,053	0,042	0,006
	Appignano del Tronto	0,134	0,128	0,010	0,012	0,010	0,001
	Spinetoli	0,509	0,486	0,036	0,046	0,037	0,005
	Colli del Tronto	0,254	0,242	0,018	0,023	0,018	0,003
	Monsampolo del Tronto	0,308	0,294	0,022	0,028	0,022	0,003
	San Benedetto del T.	3,745	3,575	0,268	0,340	0,269	0,040
	Cupra Marittima	0,406	0,388	0,029	0,037	0,029	0,004
	Grottammare	1,172	1,118	0,084	0,107	0,084	0,013
Provincia di Fermo							
		PM10 Legna	**PM 2,5 Legna**	**BC Legna**	**PM10 Pellets**	**PM 2,5 Pellets**	**BC Pellets**
>50000 AB	FERMO	1,306	1,246	0,094	0,076	0,060	0,009
<50000 AB	Smerillo	0,054	0,052	0,004	0,004	0,003	0,001
	Montefalcone Appennino	0,072	0,069	0,005	0,006	0,005	0,001
	Santa Vittoria in M.	0,187	0,178	0,013	0,015	0,012	0,002
	Montefortino	0,174	0,166	0,012	0,014	0,011	0,002
	Montelparo	0,069	0,066	0,005	0,006	0,005	0,001
	Amandola	0,287	0,274	0,021	0,026	0,021	0,003
	Monte Rinaldo	0,028	0,027	0,002	0,003	0,002	0,000
	Monterubbiano	0,172	0,164	0,012	0,016	0,012	0,002
	Falerone	0,268	0,256	0,019	0,024	0,019	0,003
	Monte Vidon Corrado	0,060	0,057	0,004	0,005	0,004	0,001

	Monteleone di Fermo	0,036	0,035	0,003	0,003	0,003	0,000
	Montegiorgio	0,479	0,458	0,034	0,044	0,034	0,005
	Moresco	0,048	0,046	0,003	0,004	0,003	0,001
	Monte Vidon Combatte	0,037	0,035	0,003	0,003	0,003	0,000
	Montappone	0,128	0,123	0,009	0,012	0,009	0,001
	Petritoli	0,187	0,178	0,013	0,017	0,013	0,002
	Massa Fermana	0,073	0,070	0,005	0,007	0,005	0,001
	Monte Giberto	0,061	0,058	0,004	0,006	0,004	0,001
	Rapagnano	0,140	0,134	0,010	0,013	0,010	0,002
	Belmonte Piceno	0,048	0,046	0,003	0,004	0,003	0,001
	Ortezzano	0,066	0,063	0,005	0,006	0,005	0,001
	Magliano di Tenna	0,099	0,094	0,007	0,009	0,007	0,001
	Monsampietro Morico	0,054	0,051	0,004	0,005	0,004	0,001
	Montegranaro	0,929	0,887	0,067	0,084	0,067	0,010
	Montottone	0,074	0,071	0,005	0,007	0,005	0,001
	Lapedona	0,087	0,083	0,006	0,008	0,006	0,001
	Sant'Elpidio a Mare	1,179	1,126	0,085	0,107	0,085	0,013
	Ponzano di Fermo	0,115	0,110	0,008	0,010	0,008	0,001
	Monte Urano	0,571	0,545	0,041	0,052	0,041	0,006
	Monte San Pietrangeli	0,181	0,173	0,013	0,016	0,013	0,002
	Francavilla d'Ete	0,073	0,070	0,005	0,007	0,005	0,001
	Grottazzolina	0,238	0,227	0,017	0,022	0,017	0,003
	Torre San Patrizio	0,154	0,147	0,011	0,014	0,011	0,002
	Altidona	0,247	0,235	0,018	0,022	0,018	0,003
	Servigliano	0,174	0,166	0,012	0,016	0,012	0,002
	Campofilone	0,138	0,132	0,010	0,013	0,010	0,001
	Pedaso	0,200	0,191	0,014	0,018	0,014	0,002
	Porto San Giorgio	1,287	1,228	0,092	0,117	0,092	0,014
	Porto Sant'Elpidio	1,896	1,810	0,136	0,172	0,136	0,020

Tabella 16 Emissioni ridotte

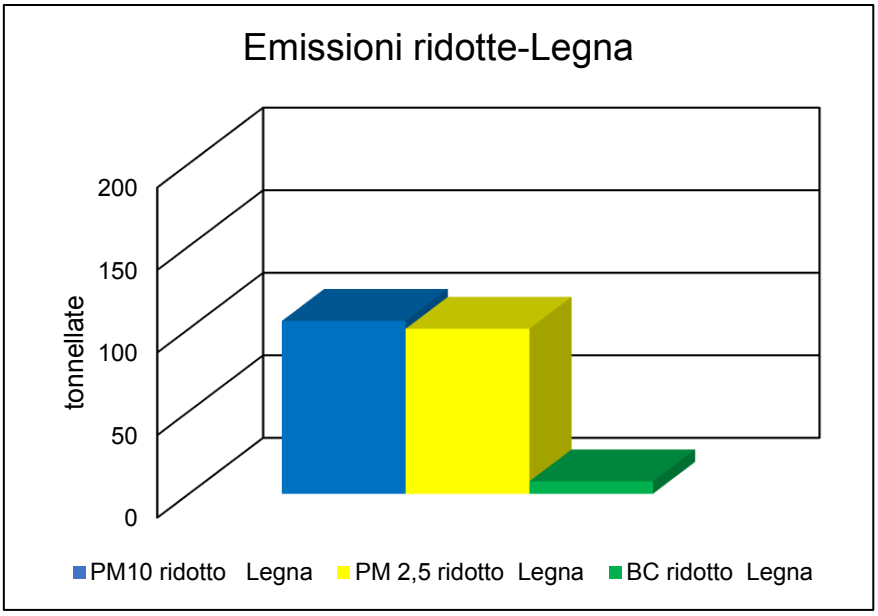

Figura 39 Emissioni ridotte-Legna

Attraverso l'utilizzo del dispositivo OekoTube si ha una evidente riduzione delle emissioni degli inquinanti per gli impianti a legna. Il grafico mostra circa 105 tonnellate di PM10 di cui circa 100 tonnellate di PM2,5.

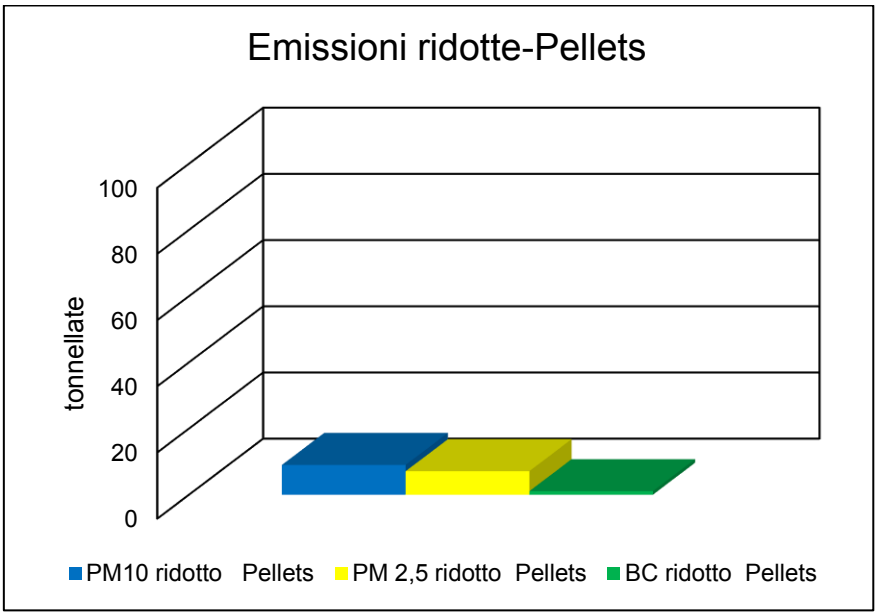

Figura 40 Emissioni ridotte-Pellets

Attraverso l'utilizzo del dispositivo RuFF-Kat per gli impianti a pellets si ha una diminuzione dei PM10 che, come mostra il grafico, è di circa 10 tonnellate nella Regione Marche.

CAPITOLO 4

In questo capitolo sono messe a confronto due situazioni: la situazione che si ha quando vengono bruciate legna e pellets e quindi gli inquinanti che si formano e la situazione in cui, attraverso i dispositivi prima esaminati, si ha una grande diminuzione delle sostanze inquinanti.
Con gli ESP si possono ottenere efficienze di precipitazione totale delle polveri comprese tra il 50 e il 97%. L'efficienza di precipitazione delle particelle dipende fortemente dal combustibile utilizzato e dalla tecnologia di combustione (vecchio/nuovo sistema). L'ESP è installato nel tubo del gas di combustione tra il forno e il camino o è montato sulla parte superiore del camino. La maggior parte degli ESP sono dotati di un sistema di pulizia automatico. La pulizia dell'ESP si ottiene con le vibrazioni, con una spazzola o con acqua nebulizzata. Alcuni ESP devono essere puliti manualmente dal cliente o il camino spazzare in visite regolari. La manutenzione deve essere effettuata dal cliente o dallo spazzacamino. Di solito, la cenere del filtro deve essere rimossa manualmente. La frequenza delle operazioni di pulizia e manutenzione dipende dal tempo di funzionamento e dal tipo di forno collegato. Il consumo di energia degli ESP varia da 10 a 100 W (per lo più da 10 a 30 W). I costi di investimento si aggirano tra i 1000 e i 3000 euro, esclusi quelli di installazione. I costi di esercizio annuali dipendono dal tempo di funzionamento dell'ESP e dai prezzi locali dell'elettricità. I costi annuali di manutenzione dipendono dalle tariffe locali spazzacamino ancora.
Nel seguito si avrà il confronto del PM10, del PM2,5 e del Black Carbon per le due situazioni, senza e con dispositivi di abbattimento delle sostanze inquinanti.

4.1 CONFRONTO DELLE EMISSIONI DI PM10

Attraverso i calcoli effettuati nel terzo capitolo si ha che nella Regione Marche, attraverso la combustione domestica di legna e pellets, si produce una quantità eccessiva di PM10, circa di 3500 tonnellate. Utilizzando i dispositivi prima esaminati quali OekoTube per gli impianti a legna e RuFF-Kat per gli impianti a pellets si ha una diminuzione significativa di PM10.
Il grafico rappresentato nel seguito mostra le differenze complessive di PM10 prodotto dall'utilizzo di legna e pellets e quello prodotto con i dispositivi di abbattimento. Nel primo caso si ha un totale di circa 3500 tonnellate, nel secondo caso circa 110 tonnellate.

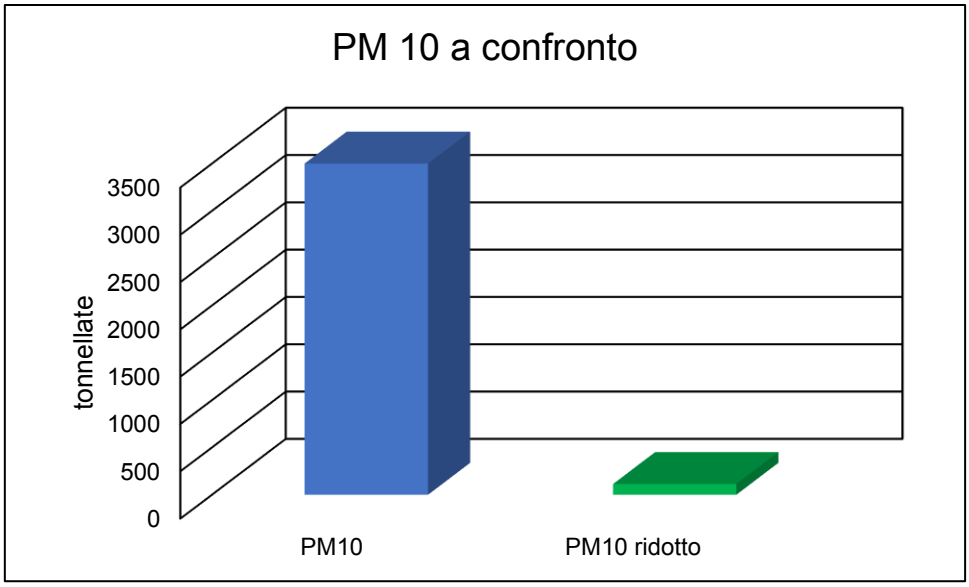

Figura 41 Confronto PM10 Regione Marche

4.2 CONFRONTO DELLE EMISSIONI DI PM2,5

Nel capitolo 3 è stato calcolato un valore di PM2,5 per legna e pellets di circa 3354 tonnellate per la Regione Marche. Con il dispositivo Oekotube avrò una diminuzione del PM2,5 relativa agli impianti a legna del 97%. Per quanto riguarda gli impianti alimentati a pellets, la riduzione è minore come lo è anche il consumo e l'impatto ambientale. Il grafico mostra la differenza di PM2,5 prodotto senza l'aiuto di dispositivi e PM2,5 ridotto con l'ausilio dei dispositivi di abbattimento. Rispettivamente si hanno circa 3354 e 107 tonnellate, i quali sono valori minori di quelli del PM10 in quanto il PM2,5 è una quota del PM10.

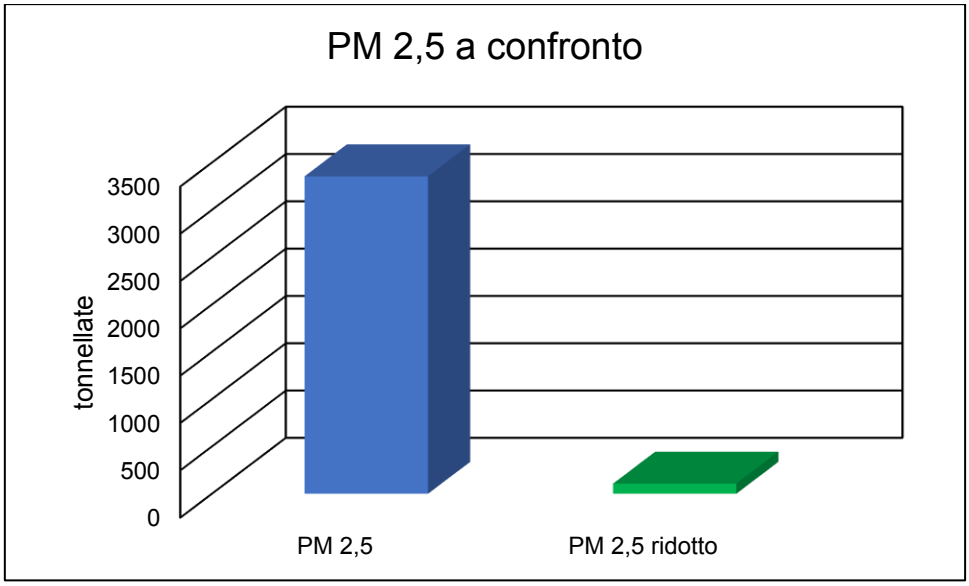

Figura 42 Confronto PM2,5 Regione Marche

4.3 CONFRONTO DELLE EMISSIONI DI BLACK CARBON

Il grafico riportato nel seguito mostra le differenze tra il black carbon che si produce durante la combustione di biomasse senza l'ausilio di dispositivi e il black carbon ridotto attraverso l'utilizzo dei dispositivi di abbattimento. La sostanza inquinante totale della Regione Marche durante il processo di combustione, senza i dispositivi atti alla riduzione degli inquinanti, ha un valore di circa 250 tonnellate. Utilizzando i dispositivi OekoTube e RuFF-Kat si avrà una diminuzione dell'inquinante.
Il grafico mostra i valori complessivi di black carbon senza e con i dispositivi di abbattimento.
Precisamente si ha un valore di circa 250 tonnellate per la produzione di black carbon senza l'ausilio di dispositivi di abbattimento e un valore di circa 9 tonnellate di black carbon attraverso l'utilizzo dei dispositivi OekoTube e RuFF-Kat.

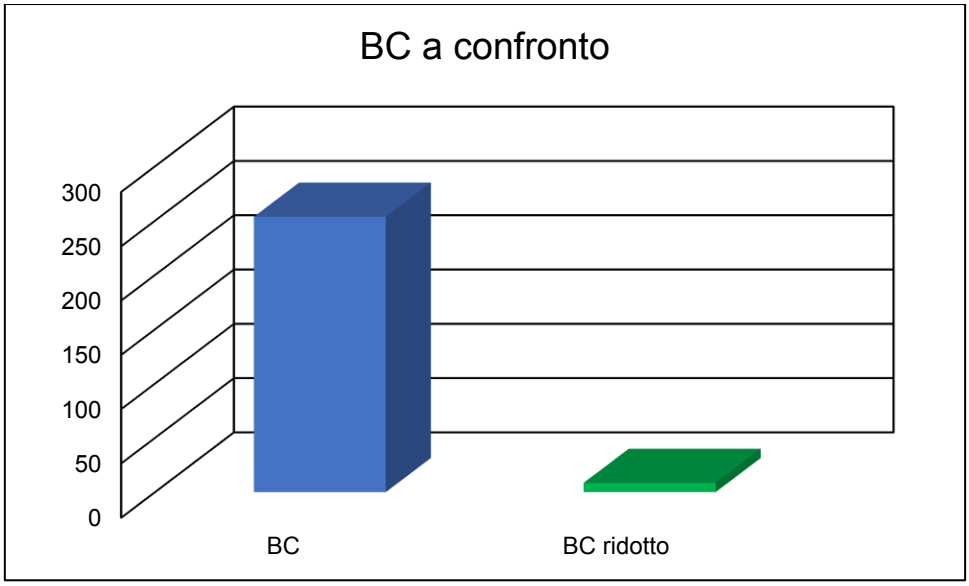

Figura 43 Confronto BC Regione Marche

CONCLUSIONE

In questo lavoro di tesi la combustione di biomasse risulta una delle maggiori cause dell'inquinamento atmosferico. A tal proposito si è cercato di analizzare l'entità della combustione di biomasse per ogni comune della Regione Marche e di studiarne l'impatto ambientale attraverso il calcolo diretto delle emissioni di PM10, PM2,5 e Black Carbon. Ne è risultato che in tutta la Regione il maggior inquinamento si ha nella provincia di Ancona.

La tecnologia dei precipitatori elettrostatici (ESP) sembra essere l'approccio più promettente per la riduzione delle sostanze inquinanti. Con gli ESP si possono ottenere efficienze di precipitazione totale delle polveri fino al 97%. L'efficienza di precipitazione dipende fortemente dal combustibile utilizzato e dalla tecnologia di combustione. L'ESP è installato nel tubo del camino o sulla cima del camino. La maggior parte dei dispositivi è dotata di un sistema di pulizia automatico, mentre alcuni devono essere puliti manualmente dal cliente.

Il consumo energetico dei dispositivi varia da 10 a 100 W. I costi di investimento per un precipitatore elettrostatico variano tra i 1000 e i 3000 euro.

Avendo individuato il contributo del riscaldamento domestico tramite piccoli sistemi a combustione di biomassa si è cercato di mettere a conoscenza i dispositivi, presenti sul mercato o in fase di sviluppo, atti alla riduzione degli inquinanti emessi in atmosfera.

Si può concludere, quindi, che i dispositivi trattati in questo elaborato, essendo misure secondarie di riduzione delle emissioni, sono particolarmente adatti per sistemi di combustione più datati dato che in essi sono stati riscontrati livelli di emissioni maggiori. Infine, affinché questi dispositivi abbiano una più vasta diffusione sul mercato, in modo da essere acquistati ed utilizzati per garantire una migliore qualità dell'aria che respiriamo, oltre al fondamentale sviluppo tecnologico, da parte della ricerca scientifica, si ritengono necessarie anche incentivi legali e finanziari da parte degli Stati.

Bibliografia

AEEGSI. (2016). Relazione annuale. *Assemblea annuale di Assogasliquidi*.

Agenzia Europea, d. (2017). Inquinamento atmosferico.

Alves. (2011). Organic compounds in PM2.5 emitted from fireplace and woodstove combustion of typical Portuguese wood species.

APAT. (2003). Le Biomasse Legnose. *Rapporto Apat*.

APAT. (2006). Servizio Educazione e Formazione Ambientale.

APPA. (2015). Ecoscienza.

ARPA. (2015). Dal legno al fuoco. *Buone pratiche per l'utilizzo domestico della legna*.

Arpa Lombardia. (2014). La combustione domestica delle biomasse legnose e qualità dell'aria.

Arpa Puglia. (s.d.). Servizio Ricerca e Sviluppo, Formazione e Informazione.

Arpa Veneto. (2017). Emissioni di inquinanti.

ARPAT. (2018). Riduzione delle emissioni.

Bavazzano, M. (2018). Normativa ambientale.

Bioenergy, I. (2011). Particle precipitation devices for residential biomass combustion with a nominal capacity up to 50 kW.

Bohm T. (2011). Partikelabscheider Schräder AL-Top.

Bølling. (2009). Health effects of residential wood smoke particles: the importance of combustion conditions and physicochemical particle properties.

C. Saccani, A. B. (s.d.). “biomasse: classificazione e caratterizzazione delle biomasse ai fini dell’utilizzo a scopo energetico”.

Carmichael, R. a. (2008). Global and regional climate changes due to black carbon. 221-227.

Caserini S., F. A. (2008). Riscaldamento a biomasse legnose. Consumi ed emissioni in Italia.

Cattani, G. (2017). Qualità dell'aria. *In qualità dell'ambiente urbano.*

DIIAR. (2012). Stima delle emissioni dalla combustione domestica della legna.

economico, M. d. (2019). Statistiche dell'energia.

EMEP. (2010).

Environment, I. M. (2005).

Fernandes. (2011).

Fine. (2002).

Gon, D. v. (2015). Modeling emissions for three-dimensional atmospheric chemistry transport models.

Goncalves. (2011).

Hildemann. (1981).

I. Obernberger, C. M. (2012). state-of-the-art and assessment of filter technologies for residential biomass combustion system.

IEA Bioenergy. (2011). Survey on the present state of particle precipitation devices for residential biomass combustion with a nominal capacity up to 50kW in IEA Bioenergy Task 32 member countries.

Interfocos BV. (2010).

ISPRA. (2010). Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio.

ISPRA. (2011).

ISTAT. (2014). Statistiche Report.

K., B. (2007). COMBUSTION-DERIVED NANOPARTICLES: MECHANISMS OF PULMONARY TOXICITY.

Karlsruhe Institute of Technology. (s.d.).

Klimont, K. &. (2004).

Lacis, e. (2010). Atmospheric CO2. *Principal Control Knob Governing Earth's Temperature*, 356-359.

Langenbruck, Ö. (2006). Staub und Partikelanalytil an Klein-Holzfeuerungen nit elektrostatischen Partikelabscheider .

Martucci, F. (2012). Inquinamento atsmosferico antropico.

Moriconi, T. (2016). Educazione Ambientale.

Negrini, N. (2002).

Nussbaumer, T. L. (2010). Formation mechanisms and physical properties of particles from wood combustion for design and operation of electrostatic precipitators.

Report. (2015). European Environment Agency Air quality in Europe.

Schleicher, O. (2011). Evaluation of small-scale precipitators in Denmark.

Schmidl et al. (2011).

Unece. (2014). Residential heating with wood and coal: health impacts and policy options in Europe and North America.

Watson, J. C. (2001). PM2.5 Chemical Source Profiles for Vehicle Exhaust, Vegetative Burning, Geological Material, and Coal Burning in Northwestern Colorado. 1141-1151.