



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in INGEGNERIA CIVILE AMBIENTALE

**PM10 e PM 2,5 nelle Marche: scenario emissivo da combustione
domestica di biomassa**

**PM10 and PM 2,5 in Marche Region: emission scenario due to
biomass household combustion**

Relatore:

Prof.ssa Maria Letizia Ruello

Correlatore:

Ing. Miriam Sileno

Tesi di Laurea di:

Martina Gambadori

A.A. 2019 /2020

SOMMARIO

<u>1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO</u>	<u>7</u>
<u>2. CHE COSA E' IL PM10</u>	<u>9</u>
2.1 L'INVENTARIO DELLE EMISSIONI	10
2.2 PM10 DA COMBUSTIONE DI BIOMASSA LEGNOSA	12
<u>3. STIMA DELLE EMISSIONI DI PARTICOLATO ATMOSFERICO NELLA REGIONE MARCHE</u>	<u>15</u>
3.1 IL METODO.....	15
3.2 I RISULTATI	15
3.3 ANALISI DEL MACROSETTORE 2.....	21
<u>4. PROVVEDIMENTI COMUNALI E CONDIZIONI PER UNA BUONA COMBUSTIONE DOMESTICA</u>	<u>27</u>
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	<u>29</u>

RINGRAZIAMENTI

Desidero innanzitutto ringraziare la Prof.ssa Maria Letizia Ruello per avermi dato la possibilità di approfondire un tema così attuale e interessante. Inoltre ringrazio sentitamente l'Ing. Miriam Sileno, e il Dott. Giorgio Catenacci, direttore tecnico scientifico dell'ARPAM, per tutti i consigli, l'aiuto e l'opportunità di svolgere il tirocinio formativo presso l'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale.

Infine ringrazio la mia famiglia, il mio fidanzato, e i miei amici più cari per avermi incoraggiato e supportato in questo percorso universitario, anche nei momenti più difficili.

INTRODUZIONE

Il lavoro svolto nasce dall'interesse e dal desiderio di comprendere lo scenario emissivo, e della qualità dell'aria nella regione Marche. Da una stima generale, ovvero riguardante tutti gli inquinanti che vengono emessi in atmosfera da fenomeni sia antropici che naturali, si è passati ad un'analisi più specifica, andando ad approfondire l'emissione di materia particolata (PM10, PM2.5), che viene considerato uno degli inquinanti più dannosi per la salute umana.

Lo studio parte da un'analisi della normativa vigente, dalla conseguente definizione di particolato, e dalla descrizione dell'inventario regionale e nazionale delle emissioni.

La seconda parte è stata dedicata alla stima delle emissioni annue di PM10, valutata sulla base dei dati forniti da ISPRA, con particolare attenzione al settore del riscaldamento domestico tramite la combustione di biomassa legnosa, che risulta essere uno dei maggiori contribuenti nella diffusione di particolato in atmosfera.

ABSTRACT:

This thesis stems from the interest and the desire to understand the emissive scenario, and the air quality in Marche Region. Taking as a starting point the estimates of all the pollutant emitted in the atmosphere by natural and man-induced phenomena, the study focuses on the emission of PM10 and PM2,5, that can be considered one of the most dangerous pollutant for human health.

The study starts from the analysis of the current legislation, the description of the Pollutant Emission Inventory.

The second part of the thesis is about the annual estimates of the PM10 and PM2,5 emissions in Marche Region, based on datas provided by ISPRA, focusing on domestic heating obtained by biomass, that can be considered one of the most influential sector in terms of emission.

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Va definito, innanzitutto il significato di inquinamento atmosferico: il termine esprime “lo stato della qualità conseguente all’immissione di sostanze di qualsiasi natura in misura e condizioni tali da alterarne la salubrità e da costituire pregiudizio diretto o indiretto per la salute dei cittadini o danno a beni pubblici e/o privati” (ex Art. 268 del D.lgs.152/2006).

A livello mondiale, si parte dal Protocollo di Kyoto, che rappresenta uno degli strumenti giuridici più importanti per combattere i cambiamenti climatici; contiene gli impegni che dovrebbero assolvere i paesi industrializzati per ridurre le emissioni atmosferiche.

Dopo il Protocollo di Kyoto, entrato in vigore nel 2005, è stato varato il Piano 20-20-20: il “pacchetto”, contenuto nella Direttiva Europea 2009/29/CE, recepito dalle Legislazioni Nazionali nel 2009, ed entrato in vigore nel 2013 con validità fino al 2020, pone come obiettivi oltre alla riduzione dell’emissione dei gas serra del 20% e di portare il risparmio energetico al 20%, anche quello di aumentare del 20% l’utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia, tra queste anche la biomassa legnosa. Da questo, hanno preso campo delle iniziative volontarie a livello europeo come il “Patto dei Sindaci”, in cui le municipalità europee possono impegnarsi per l’attuazione di obiettivi a livello locale, sempre secondo il Piano europeo.

Attenendosi alla combustione di biomassa legnosa, a livello europeo, sono stati emanati il pacchetto normativo UNI EN 14691 e il pacchetto normativo UNI EN 15234, i quali rappresentano le norme tecniche europee, alle quali si deve far riferimento anche in Italia. Entrambe contengono delle sotto-sezioni relative alle singole tipologie di prodotto: legna da ardere, pellet, cippato e bricchette; inoltre definiscono le procedure per rispettare i requisiti di qualità per la combustione domestica di fonti rinnovabili biodegradabili. Le normative si riferiscono esclusivamente ai prodotti destinati ad un utilizzo domestico.

A livello nazionale, sono state poi definiti diversi decreti tutti volti a migliorare lo scenario emissivo nazionale; tra questi:

- **DLGS n 155 del 13/08/2010:** Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa. Gli obiettivi di questo decreto sono diversi, tra i più importanti ricordiamo:
 1. Definire obiettivi di qualità dell’aria ambiente volta ad evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e per l’ambiente nel suo complesso;
 2. valutare la qualità dell’aria sulla base di metodi e criteri comuni su tutto il territorio nazionale;
 3. ottenere informazioni sulla qualità dell’aria come base per contrastare l’inquinamento ed i suoi effetti nocivi sulla salute umana e sull’ambiente e per monitorare le tendenze a lungo termine;
 4. mantenere la qualità dell’aria laddove buona e migliorare negli altri casi;
 5. garantire al pubblico le informazioni sulla qualità dell’aria;

- **DM n 186 del 7/11/2017:** Regolamento recante la disciplina dei requisiti, delle procedure e delle competenze per il rilascio di una certificazione dei generatori di calore alimentati a biomasse combustibili solide. Tale norma stabilisce i requisiti, le procedure e le competenze per il rilascio di una certificazione ambientale dei generatori di calore alimentati con legna da ardere, carbone di legna e biomasse combustibili. Individua, inoltre, le prestazioni emissive di riferimento per le diverse classi di qualità, i relativi metodi di prova e le verifiche da eseguire ai fini del rilascio della certificazione ambientale, nonché appositi adempimenti relativi alle indicazioni da fornire circa le corrette modalità di installazione e gestione dei generatori di calore che hanno ottenuto la certificazione ambientale.
- **Dir. 2009/28/CE:** stabilisce un quadro comune per la promozione dell'energia da fonti rinnovabili nei tre settori principali: elettrico, riscaldamento/raffreddamento e trasporti. Uno degli obiettivi principali mira a soddisfare con fonti rinnovabili il 20% del consumo comunitario di energia negli usi finali.
- **DLGS n 28 del 3/03/2011:** Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili. Il decreto definisce gli strumenti, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico, necessari per il raggiungimento degli obiettivi fino al 2020 in materia di quota complessiva di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia. L'Italia ha notificato alla Commissione Europea il proprio Piano di azione nazionale sulle energie rinnovabili (PAN), in cui l'obiettivo nazionale al 2020 del 17% di energia da fonti rinnovabili sugli usi finali viene ripartito tra i settori dei trasporti, dell'elettricità, del riscaldamento e raffreddamento tenendo conto sia degli effetti delle misure relative all'efficienza energetica che di quelli derivanti dall'introduzione di misure specifiche per lo sviluppo dei vari settori energetici.

2. CHE COSA E' IL PM10

PM (Particulate Matter) è la definizione generale che si attribuisce ad un mix di particelle solide e liquide (particolato) che si trovano in sospensione nell'aria. Con i termini PM10 e PM2,5 si indicano le particelle in grado di passare attraverso un orifizio con grado di efficienza di separazione pari al 50% delle particelle con un diametro aerodinamico pari rispettivamente a 10 e 2,5 µm. Tali sostanze possono avere origine sia da fenomeni naturali (processi di erosione al suolo, incendi boschivi, dispersione di pollini etc.) sia, in gran parte, da attività antropiche, in particolar modo da traffico veicolare e processi di combustione. Una parte rilevante di polveri, inoltre, si forma direttamente in atmosfera a seguito di reazioni chimiche che avvengono tra ossidi di azoto, di zolfo, ammoniaca e numerosi composti organici volatili.

Per quanto riguarda l'effetto del particolato atmosferico sulla salute umana, proprio a seguito delle sue ridotte dimensioni, penetra agevolmente nel sistema respiratorio e, nel caso del particolato più fine, passando attraverso i polmoni penetra anche nel sistema cardiocircolatorio. Le polveri possono pertanto agire sulla salute sia direttamente, mediante un'azione irritante ed infiammatoria, sia indirettamente come vettori di sostanze nocive che su di esse si depositano.

Proprio a causa della sua pericolosità, il particolato viene continuamente monitorato, prendendo come riferimento valori stabiliti dalla normativa Nazionale ed Europea (D Lgs 155/2010, attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa).

I valori di riferimento che non andrebbero mai superati sono:

	Periodo di mediazione	Valore Limite
1. Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	50µ/m ³ PM10 da non superare più di 35 volte per anno civile
2. Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40µ/m ³ PM10

Il monitoraggio del PM10 (e di tutti gli inquinanti) avviene attraverso l'installazione di centraline di tre tipi: di Traffico, di Fondo, Industriali. Le stazioni di traffico rilevano l'inquinamento locale dell'arteria nella quale sono installate, le stazioni di fondo non sono influenzate da emissioni dirette locali provenienti da fonti industriali o da strade

limitrofe, ma sono influenzate dal contributo integrato di tutte le fonti poste sopravvento rispetto la direzione dei venti dominanti nel sito; infine le stazioni industriali sono influenzate prevalentemente da singole fonti industriali o da aree produttive. Inoltre è possibile identificare tre tipi di sito fisso di campionamento, a seconda della posizione della centralina: zona urbana, zona suburbana, zona rurale: si considera una centralina posta in una zona urbana, se la sua ubicazione si trova un'area edificata in modo predominante, in zona suburbana se è posizionata in una zona largamente edificata ma con presenza di aree non urbanizzate, e in zona rurale se il sito fisso si trova ad una distanza notevole dalle fonte di emissione.

Un altro sistema per il controllo delle quantità di PM10 emesso in atmosfera, consiste nel redigere un inventario nazionale o regionale delle emissioni in atmosfera, con il quale è possibile individuare i settori maggiormente influenti nell'inquinamento dell'aria ambiente

2.1 L'INVENTARIO DELLE EMISSIONI

L'inventario delle emissioni in atmosfera è un sistema informativo in grado di fornire il livello di tutte le emissioni dei principali inquinanti nell'arco di un anno, introdotte nell'aria da attività naturali e antropiche. Gli obiettivi principali di questo sistema informativo sono: fornire una stima il più possibile dettagliata degli inquinanti emessi in atmosfera identificando tutte le possibili sorgenti, quantificare l'influenza di ogni settore, realizzare una completa banca dati. La metodologia seguita è quella proposta dalla Comunità Europea, e consiste nel suddividere le emissioni a seconda dei principali macrosettori di attività (undici macrosettori), in modo tale da poter applicare una politica ambientale, indirizzata al raggiungimento degli obiettivi di abbattimento delle emissioni.

Le sorgenti inquinanti presenti nel territorio nazionale sono distinte in:

- Puntuali (grandi impianti industriali)
- Lineari (principali direttrici stradali, autostrade)
- Diffuse (riscaldamento e traffico in aree urbane, zone industriali, etc. ...)

Per ogni inquinante sono definiti dei fattori di emissioni nazionali, e per identificare le diverse tipologie di sorgenti di emissione in modo univoco viene utilizzata la nomenclatura SNAP 97, che attribuisce ad ogni sorgente un codice formato da tre coppie di cifre:

- XX da 1 a 11: macrosettore di appartenenza
- YY da 1 a 75: settore di appartenenza
- ZZ da 1 a 430: attività specifica

Gli undici macrosettori individuati dalla nomenclatura SNAP 97 sono:

- Macrosettore 1: combustione- energia e industria di trasformazione
- Macrosettore 2: combustione- non industriale
- Macrosettore 3: combustione- industria
- Macrosettore 4: processi produttivi
- Macrosettore 5: estrazione, distribuzione combustibili fossili
- Macrosettore 6: uso di solventi
- Macrosettore 7: trasporti stradali
- Macrosettore 8: altre sorgenti mobili
- Macrosettore 9: trattamento e smaltimento di rifiuti
- Macrosettore 10: agricoltura
- Macrosettore 11: altre sorgenti di emissione e assorbimento

Gli inquinanti considerati nell'inventario delle emissioni sono:

- Metano (CH₄)
- Monossido di Carbonio (CO)
- Anidride Carbonica (CO₂)
- Protossido di Azoto (N₂O)
- Ammoniaca (NH₃)
- Ossidi di Azoto (NO_x)
- Anidride Solforosa (SO₂)
- Composti Organici Volatili (COV)
- Composti Organici Volatili non Metanici (COVNM)
- Polveri (PM₁₀)
- Benzene

La stima delle emissioni viene effettuata in modo diverso a seconda della tipologia di sorgente (areale, lineare, puntuale).

Per sorgenti puntuali, è possibile riportare direttamente il dato di emissione, ottenuto dalle dichiarazioni delle singole aziende, o dalle misurazioni effettuate.

Per le sorgenti areali e lineari, le emissioni sono stimate utilizzando la formula:

$$E/\text{anno} = A \times FE$$

E= emissioni

A= indicatore di attività scelto (derivanti da informazioni su: censimenti ISTAT, associazioni di categoria, etc..)

FE=fattore di emissione per unità di attività e per specifico inquinante.

Se per esempio si devono calcolare le emissioni annuali generate dal traffico veicolare in un'arteria stradale, l'espressione diventa:

$$\frac{E}{\text{anno}} = \frac{n^{\circ} \text{auto}}{\text{anno}} \times \frac{PM_{10}}{\text{auto}}$$

Dove il numero di auto annuali in quell'arteria stradale, e il PM10 emesso da ogni tipologia di vettura sono valori noti.

L'inventario delle emissioni viene redatto sia a livello regionale dalla Regione, con cadenza quinquennale, oppure a livello Nazionale, compilato dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale). I dati dell'inventario nazionale possono essere analizzati a livello regionale o provinciale tramite il metodo di disaggregazione, che permette un'analisi localizzata delle emissioni in atmosfera.

DISAGGREGAZIONE A LIVELLO PROVINCIALE DELL'INVENTARIO NAZIONALE

L'inventario nazionale delle emissioni è redatto dall'ISPRA, e per ottenere i dati a livello provinciale viene utilizzato il metodo della disaggregazione spaziale, che consente di ripartire a livello locale (comune, provincia) una stima effettuata a livello totale (nazione, regione), mediante delle variabili chiamate “variabili proxy” o “variabili surrogate”.

È quindi possibile utilizzare la formula:

$$V_k = \frac{S_k}{S_p} \times V_p$$

V_k= valore della variabile a livello locale k

V_p= valore della variabile a livello totale

S_k= valore della variabile surrogata a livello locale

S_p= totale della variabile surrogata

2.2 PM10 DA COMBUSTIONE DI BIOMASSA LEGNOSA

La combustione della legna, è un processo suddiviso in 3 fasi: (F. Stel, 2015)

1. Gassificazione: ovvero la fase in cui il legno viene scaldato, assorbendo energia e rilasciando le sostanze maggiormente volatili di cui è composto.
2. Ossidazione dei composti organici rilasciati dal legno nella fase precedente: i composti rilasciati dal legno si mescolano con l'ossigeno presente nell'aria, e ossidando liberano energia e vapore acqueo (è la fase della combustione in cui è possibile vedere la fiamma di colore arancione).
3. Ossidazione del carbonio elementare: avviene dopo che tutti i composti organici si sono ossidati. (formazione della brace). Questa è la fase che può essere definita energeticamente più efficiente.

Per quanto riguarda i tipi di impianto di combustione domestica, è possibile identificare 6 diversi apparecchi:

- 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. Si caratterizza per un eccesso d'aria molto elevato, che comporta grandi perdite di 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;
- caminetto chiuso: Sono dotati di porte frontali che riducono 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 parzialmente automatici.
- stufe a legna: sono apparecchi a focolare chiuso che, a differenza dei caminetti, possiedono superfici per lo scambio termico, che quindi viene trasmesso all'unità abitativa sia per radiazione che per convezione. In questa categoria rientrano anche i caminetti chiusi.
- 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 capacità di controllo del processo la rendono una delle tecnologie più efficienti e meno impattanti.
- caldaie: ne esistono di 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; le tipologie più tradizionali si caratterizzano per condizioni di combustione generalmente non ottimali;
- stufe in maiolica: la particolarità di questo apparecchio è che scalda per irraggiamento (a differenza delle altre stufe); il calore prodotto dal fuoco si accumula nel materiale refrattario di cui è costruita e rivestita la stufa. Per questo motivo le stufe ad accumulo non necessitano di continua alimentazione.

Ogni tipo di impianto presenterà efficienze energetiche differenti a seconda delle caratteristiche possedute, e di conseguenza un maggiore (o minore) impatto ambientale.

A prova di ciò, si può osservare in questa immagine, la differenza che sussiste tra le emissioni di PM10 prodotte da un caminetto aperto (8g/kg legna) ed una stufa tradizionale, ed una stufa a pellet.

Un'altra cosa che risulta da questa immagine, è l'elevata emissività degli impianti di riscaldamento alimentati a biomassa, rispetto a quelli alimentati ad altri combustibili, come per esempio il Gas Naturale.

Polveri sottili (PM10) a confronto

Quanti grammi di PM10 vengono emessi se si usa 1 kg di legna?



1m³ di gas naturale equivale a circa 2,5 kg di legna ed emette solo 0,006 g di PM10

Fonte: Dal legno al fuoco,
APRA Friuli Venezia Giulia

Ovviamente di parametri che influenzano lo svolgersi e la qualità della combustione, ne esistono altri; tra questi, tre fattori importanti sono: la temperatura, la turbolenza e il tempo di permanenza. Infatti, se i loro valori non sono ottimali, o in assenza di un adeguato eccesso d'aria (la quantità di aria contenente esattamente tanto ossigeno quanto necessario per bruciare in maniera completa una quantità stabilita di combustibile), si ha l'emissione di sostanze incombuste, come il noto monossido di carbonio (CO), composti organici volatili (COV) e la fuliggine (Particulate Matter).

3. STIMA DELLE EMISSIONI DI PARTICOLATO ATMOSFERICO NELLA REGIONE MARCHE

3.1 IL METODO

Il presente studio è stato svolto in sede ARPAM, dove sono stati messi a disposizione i dati per poter condurre una stima delle emissioni di PM10 nella Regione Marche.

Essendo una tesi di tipo compilativo, il lavoro si è concentrato sulla raccolta, elaborazione e verifica dei dati disponibili, con il fine di ottenere un quadro generale sulla situazione marchigiana. I dati elaborati sono quelli forniti da ISPRA, che esegue un inventario delle emissioni a livello nazionale ogni cinque anni. Gli inquinanti analizzati sono tanti (NO_x, SO_x, CO, CO₂, CH₄, etc..) ma in questa sede si terrà in considerazione solo il PM10 (e il PM2,5).

Il lavoro si è così articolato:

- Ricerca della normativa europea, nazionale e regionale riguardo il tema della qualità dell'aria, relativa alle emissioni in atmosfera, e riguardante la combustione di biomassa legnosa.
- Ricerca dei dati, e analisi degli stessi. I dati vengono forniti in Excel, e all'interno della documentazione ISPRA è possibile trovare una classificazione degli 11 macrosettori, dei vari sottosettori, e di tutte (o quasi) le province italiane.
- Attraverso l'utilizzo e l'applicazione di un adeguato filtro, di tabelle pivot e di un'accurata selezione dei dati è stato possibile ottenere una stima dei quantitativi (espressi in Mg/anno) degli inquinanti emessi in atmosfera. I dati disponibili per la stima delle emissioni partono dal 1990.
- Analizzate le tabelle ed i grafici ottenute, inizialmente su tutti gli inquinanti e relativi a tutti i macrosettori, è stato possibile approfondire il tema della combustione domestica, anche grazie all'utilizzo di tabelle riguardanti i fattori di emissione e studi riguardanti la combustione di biomassa legnosa, a sostegno della presente tesi.

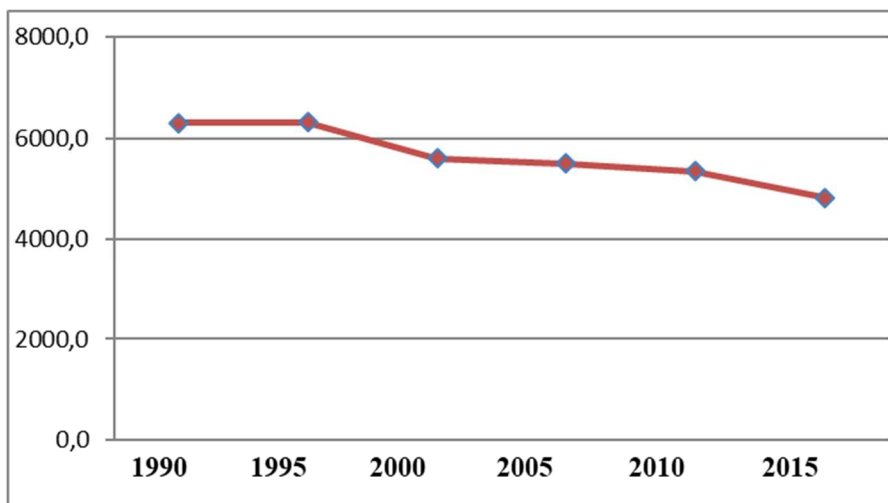
3.2 I RISULTATI

L'obiettivo che si pone questo studio è quello di esaminare le emissioni di PM10 e PM2,5 a livello regionale, e focalizzare l'attenzione sulle fonti principali.

Grazie alla disponibilità dei dati e al metodo della disaggregazione spaziale è possibile suddividere le emissioni di PM10 per provincia (5 provincie marchigiane).

Da una prima analisi, si può notare come nel corso dei 25 anni analizzati, la quantità di PM10 emesso (espresso in Mg/anno) nell'intera regione Marche sia diminuito sostanzialmente, mentre il PM2,5 è rimasto quasi costante.

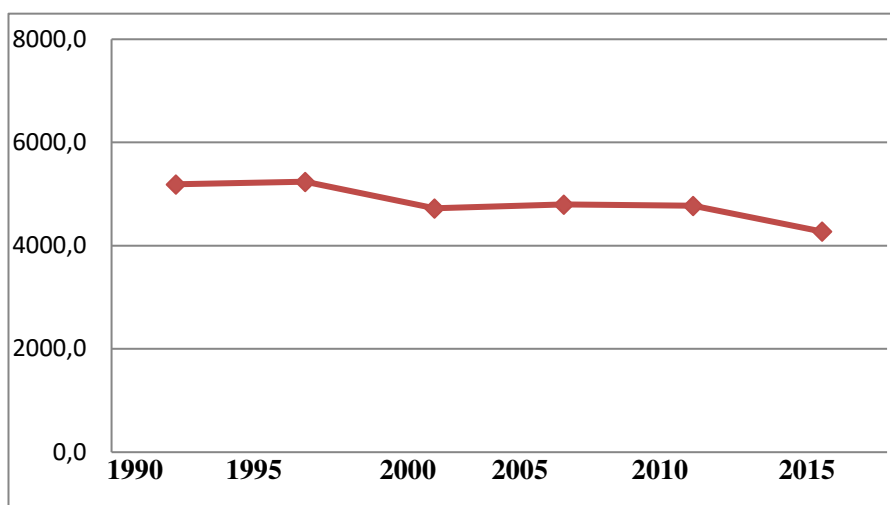
EMISSIONI PM10 [Mg]	anno 1990	anno 1995	anno 2000	anno 2005	anno 2010	anno 2015
Pesaro	1392,5	1400,9	1244,5	1270,5	1228,3	1049,6
Ancona	2062,5	2087,4	1795,1	1728,4	1701,2	1526,3
Macerata	1404,5	1388,2	1228,5	1164,4	1115,7	1023,7
Ascoli Piceno	1437,1	1438,2	1331,7	1337,5	705,6	697,8
Fermo					599,7	522,8
Totale	6296,5	6314,7	5599,9	5500,9	5350,5	4820,2



Andamento temporale del quantitativo di PM10 relativo alla regione Marche dal 1990 al 2015.

Fonte: dati ISPRA

EMISSIONI PM2,5 [Mg]	anno 1990	anno 1995	anno 2000	anno 2005	anno 2010	anno 2015
Pesaro	1203,6	1226,4	1088,7	1153,1	1123,9	977,7
Ancona	1689,0	1724,4	1502,9	1524,0	1506,9	1332,6
Macerata	1103,6	1087,3	1018,2	1001,4	995,9	921,9
Ascoli Piceno	1193,8	1201,2	1110,9	1120,8	638,7	583,5
Fermo					505,7	460,1
Totale	5190,0	5239,3	4720,8	4799,3	4771,2	4275,7



Andamento temporale del quantitativo di PM2,5 relativo alla regione Marche dal 1990 al 2015.

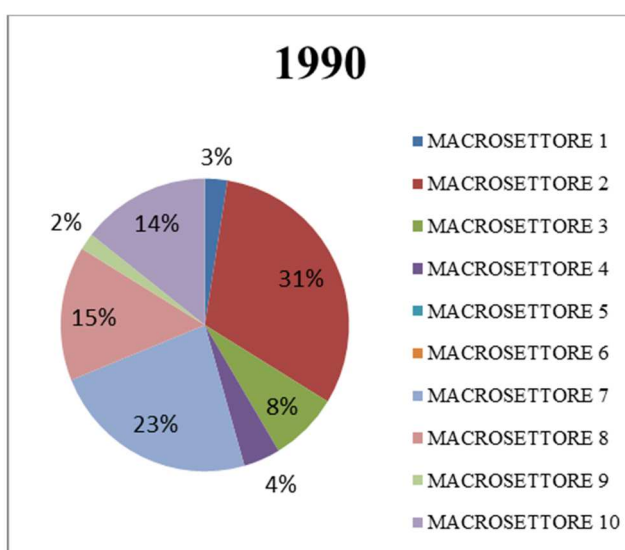
Fonte: dati ISPRA

Tenendo in considerazione che nella stima delle emissioni di PM10 viene considerato anche il PM2,5, si nota che la maggior parte di PM10 è in realtà costituito da particelle con diametro inferiore a 2,5µm.

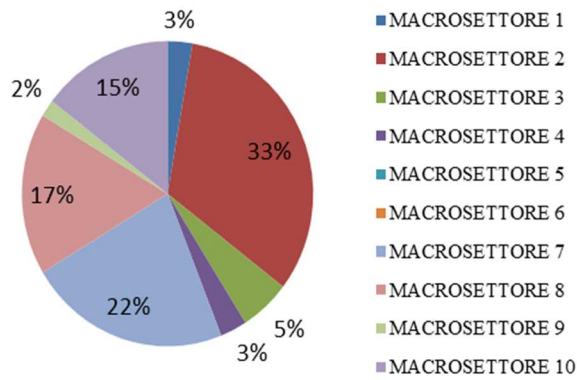
L'aspetto interessante di questo studio, però, non riguarda la diminuzione di particolato emesso in atmosfera, dovuta sostanzialmente alla maggiore attenzione rivolta alla questione dell'inquinamento atmosferico con conseguente miglioramento e controllo dei vari impianti o veicoli che producono PM10, bensì risulta importante notare come le fonti principali di emissioni di particolato siano cambiate nel tempo.

Infatti effettuando gli stessi calcoli, in funzione dei macrosettori individuati dalla normativa (11 macrosettori classificati per tipo di attività) si nota un netto aumento dell'influenza del macrosettore 2, che rappresenta la combustione non industriale, ovvero quella legata al riscaldamento di edifici residenziali, commerciali o istituzionali.

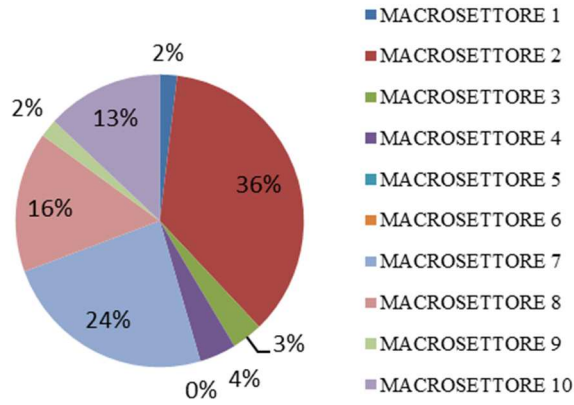
EMISSIONI PM10 [Mg]	anno 1990	anno 1995	anno 2000	anno 2005	anno 2010	anno 2015
MACROSETTORE 1	158,6	173,3	108,6	119,8	77,8	8,6
MACROSETTORE 2	1966,4	2063,6	2012,4	2392,6	3196,2	3194,0
MACROSETTORE 3	484,4	353,4	193,5	163,1	107,9	93,9
MACROSETTORE 4	259,5	187,7	229,9	204,3	125,8	93,3
MACROSETTORE 5	0,6	0,2	0,1	0,0	0,0	
MACROSETTORE 6	0,0					
MACROSETTORE 7	1466,5	1413,2	1340,0	1287,6	975,4	681,1
MACROSETTORE 8	936,5	1087,0	871,1	682,2	371,3	210,2
MACROSETTORE 9	116,9	114,3	112,3	111,6	71,8	80,8
MACROSETTORE 10	907,1	922,1	732,0	539,7	424,3	458,2
Totale	6296,5	6314,7	5599,9	5500,9	5350,5	4820,2



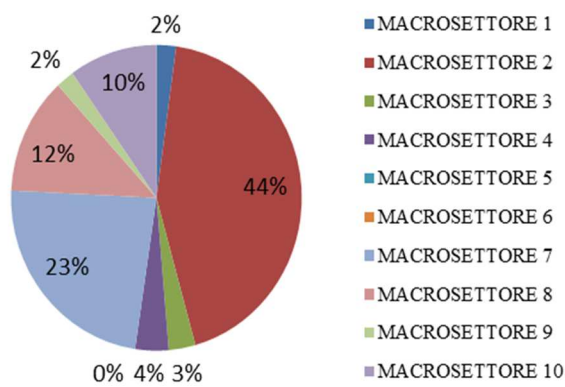
1995

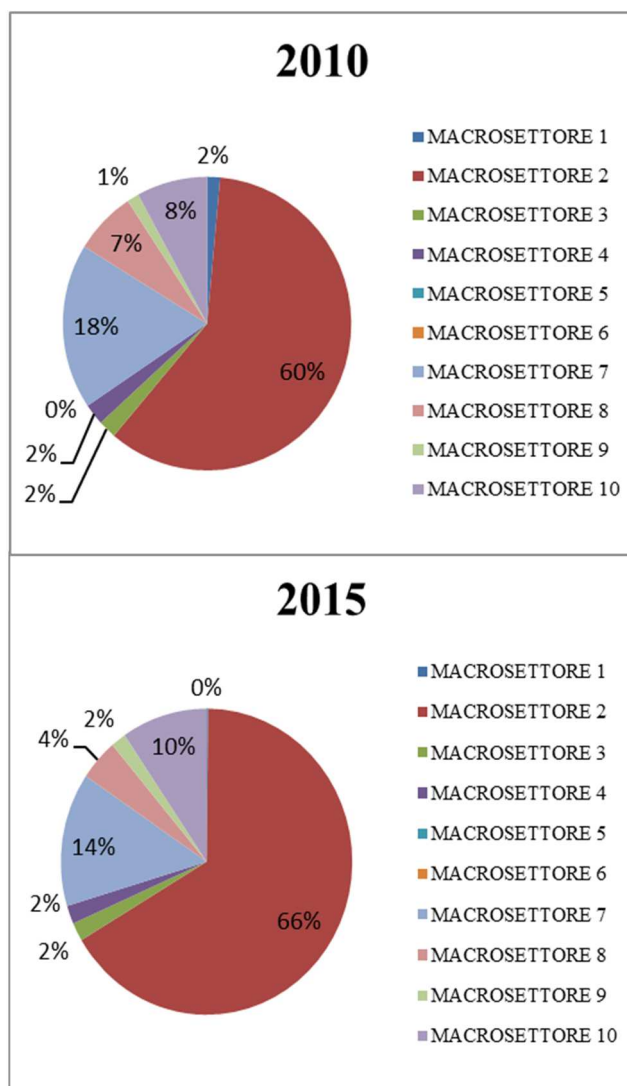


2000



2005





Dal 1990 al 2015 l'influenza del macrosettore 2 è quasi raddoppiata.

Il motivo risiede nel fatto che le utenze domestiche hanno cambiato modalità di riscaldamento, passando da un riscaldamento alimentato a combustibili fossili ad uno alimentato a biomassa. Il guadagno dal punto di vista economico risulta notevole, ma va considerato l'impatto negativo sulla qualità dell'aria, poiché la combustione di legna in camini o stufe, a differenza degli impianti industriali, avviene senza la presenza di sistemi di abbattimento degli inquinanti.

Va sottolineato che questi dati presentano un certo grado di incertezza dovuto principalmente a due fattori: gli indicatori di stima e i fattori di emissione. L'indicatore di stima prescinde dal consumo di combustibile; questi dati, però, si basano solo sulle vendite registrate dai canali ufficiali, non considerando il commercio nero di legname. Il risultato perciò risulta sottostimato. Per quanto riguarda i fattori di emissione, il grado di incertezza dipende dal tipo di combustore utilizzato, dalle caratteristiche del combustibile, che nel caso di legna può variare per dimensione, composizione e umidità.

Il secondo macrosettore più influente nell'emissione di PM10 nella regione Marche è il macrosettore 7, quello riferito al traffico veicolare. L'influenza di questo, negli anni, risulta diminuire in quanto i veicoli negli anni si sono evoluti, con l'obiettivo di ridurre l'inquinamento dell'aria.

In realtà, sempre legato alla combustione di biomassa, il macrosettore dei trasporti stradali influenza la quantità di polveri emesse in atmosfera; è sufficiente ragionare su come avviene il trasporto della legna: la maggior parte della biomassa legnosa viene trasportata su strada, e dai dati appena osservati il settore dei trasporti risulta il secondo per influenza. Quindi è possibile affermare che l'intero ciclo di combustione di biomassa, a partire dal taglio dell'albero, passando per il trasporto, fino alla combustione del pezzo di legno è dannoso per l'ambiente, per la salute umana e per l'intero ecosistema.

3.3 ANALISI DEL MACROSETTORE 2

Il macrosettore 2 include la “combustione non industriale” cioè le emissioni provenienti da impianti di riscaldamento.

Questi possono essere di tre tipi:

- istituzionali e commerciali
- residenziali
- in agricoltura, silvicoltura e acquacoltura

Per tutte le attività comprese in questo macrosettore l'indicatore utilizzato per il calcolo delle emissioni nazionali di gas inquinanti è il consumo annuale di combustibile.

La disaggregazione provinciale è stata effettuata a livello di settore, mantenendo la distinzione delle emissioni per tipo di combustibile impiegato.

La variabile proxy utilizzata per effettuare la disaggregazione su base provinciale è stata la vendita provinciale del combustibile.

I combustibili considerati sono:

- Biomassa
- Rifiuti
- Gasolio
- Gas naturale
- GPL
- Altri

Per il gasolio da riscaldamento è stata utilizzata la distribuzione provinciale delle vendite, distinta per uso riscaldamento e agricolo.

Per il Gas di Petrolio Liquefatto (GPL) è stata utilizzata come variabile proxy, per tutte le attività e tutti gli anni oggetto di studio, la vendita provinciale di GPL extra-rete.

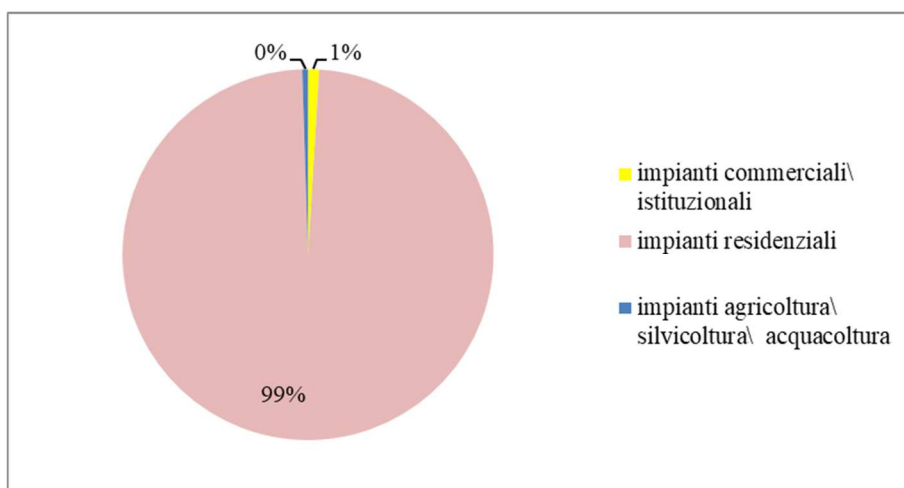
Per il gas naturale sono state utilizzate più fonti: per esempio le informazioni presenti nei vecchi inventari, i dati ottenuti dalle varie Province riguardanti la distribuzione di gas mediante le reti urbane, oppure dati ottenuti dal Ministero dello Sviluppo Economico.

Le emissioni di biomasse, per tutte le tipologie di impianto di riscaldamento, sono state disaggregate utilizzando, i dati dell'ENEA relativi all'indagine sul riscaldamento e il rapporto realizzato dall'ARPA Lombardia sul consumo di legna residenziale. In entrambi gli studi, sono state fornite le percentuali regionali di consumo dei combustibili vegetali. I dati regionali sono stati pesati con la popolazione residente provinciale (ISTAT, vari anni).

L'assegnazione su base provinciale delle emissioni attribuibili ai combustibili rimanenti (carbone da vapore, coke, olio combustibile, kerosene, gas di officina, biogas, benzina) è avvenuta, per ciascun inquinante, utilizzando le distribuzioni provinciali date dalla somma delle emissioni generate dalla combustione dei combustibili considerati (gas naturale, gasolio, GPL, rifiuti e biomasse), per inquinante, per anno e per settore (istituzionale, residenziale e agricolo).

Il risultato dell'analisi del macrosettore 2 è il seguente:

MACROSETTORE 2	impianti commerciali\ istituzionali	impianti residenziali	impianti agricoltura\ silvicoltura\ acquacoltura	TOTALE [Mg]
EMISSIONI PM10[Mg]	settore 0201	settore 0202	settore 0203	
Pesaro	7,0	737,1	3,7	747,9
Ancona	9,8	971,9	4,9	986,6
Macerata	6,2	652,7	3,3	662,2
Ascoli Piceno	4,2	428,3	2,2	434,7
Fermo	3,3	357,6	1,8	362,7
Totale [Mg]	30,5	3147,6	15,9	3194,0

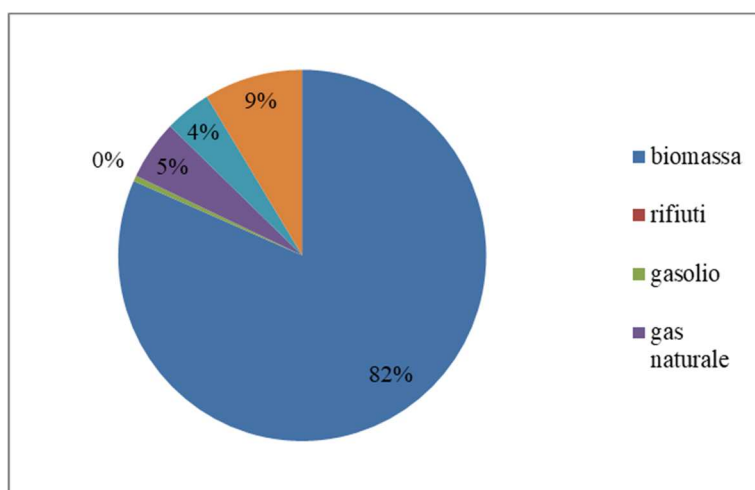


Andamento temporale del quantitativo di PM2,5 relativo alla regione Marche dal 1990 al 2015.

Fonte: dati ISPRA

Settore 0201: caldaie con potenza termica <50MW

impianti commerciali \ istituzionali	biomassa	rifiuti	gasolio	gas naturale	GPL	altri	TOTALE [Mg]
nomenclatura SNAP	02010001	02010002	02010003	02010004	02010005	02010006	
Pesaro	5,8		0,1	0,4	0,2	0,6	7,0
Ancona	7,7		0,1	0,6	0,6	0,9	9,8
Macerata	5,2		0,0	0,3	0,2	0,5	6,2
Ascoli Piceno	3,4		0,0	0,2	0,2	0,4	4,2
Fermo	2,8			0,1	0,0	0,3	3,3
Totale [Mg]	24,8		0,2	1,6	1,2	2,6	30,5



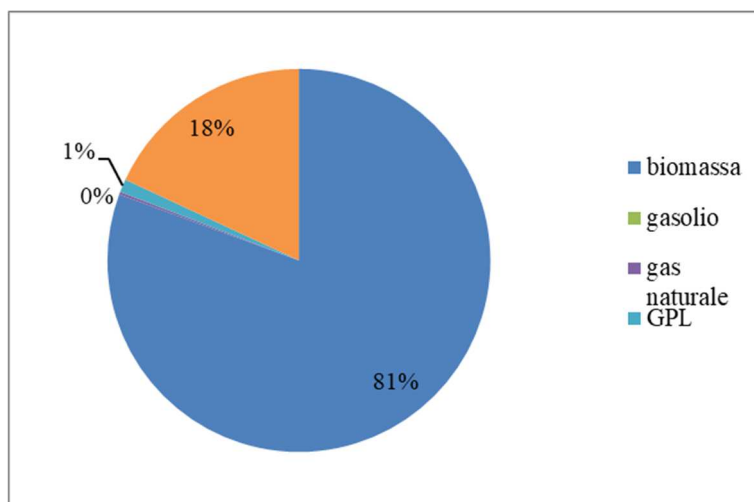
contributo emissivo di PM10 relativo al Settore 0201 (impianti commerciali e istituzionali, con caldaie con pot. termica < 50MW)

Settore 0202: caldaie con potenza termica <50MW

impianti residenziali	biomassa	gasolio	gas naturale	GPL	altri	TOTALE [Mg]
nomenclatura SNAP	02020001	02020003	02020004	02020005	02020006	
Pesaro	735,2	0,5	0,8	0,5	0,0	737,1
Ancona	968,3	0,4	1,4	1,6	0,0	971,9
Macerata	651,3	0,2	0,7	0,5	0,0	652,7
Ascoli Piceno	427,2	0,2	0,5	0,5	0,0	428,3
Fermo	357,1		0,3	0,1	0,0	357,6
Totale [Mg]	3139,2	1,3	3,8	3,3	0,1	3147,6

settore 0203: caldaie con potenza <50MW

agricoltura\ silvicoltura\ acquacoltura	biomassa	gasolio	gas naturale	GPL	altri	TOTALE [Mg]
nomenclatura SNAP	02030001	02030003	02030004	02030005	02030006	
Pesaro	3,0		0,0	0,0	0,7	3,7
Ancona	4,0		0,0	0,1	0,9	4,9
Macerata	2,7			0,0	0,6	3,3
Ascoli Piceno	1,7		0,0	0,0	0,4	2,2
Fermo	1,5			0,0	0,3	1,8
Totale [Mg]	12,9		0,0	0,2	2,9	15,9



contributo emissivo di PM10 relativo al Settore 0203 (agricoltura, silvicoltura, acquacoltura, con caldaie con pot. termica < 50MW)

Quello che si evince, è che il settore più influente per quanto riguarda l'emissione di PM10 è quello relativo agli impianti domestici, legato quindi al riscaldamento tramite combustione di biomassa, in quanto confrontando i valori dei tre diversi settori, le tonnellate annuali di PM10 emesse da impianti commerciali ed istituzionali e agricoli risultano pressoché nulle se confrontate con quelle emesse da impianti residenziali.

Analizzando la tabella riguardante il settore 0202 (impianti domestici), si nota come la combustione di biomassa legnosa possa essere considerata la sola responsabile dell'emissione di PM10 per il riscaldamento domestico.

Infatti, dai dati ISTAT risulta che il 25% delle famiglie marchigiane dispone di un camino e il 5% di stufe a pellet, e relazionando questo dato con i valori dei fattori di emissione stimati da INEMAR si ottiene una conferma dell'elevata emissività della combustione di biomassa per il riscaldamento domestico.

	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						
Nord - Ovest	15,2	3654661	3,3	4,4	448959	1,4
Nord - Est	25,2	3646448	2,9	4,7	384638	1,6
Centro	24,4	3993191	3,1	3,8	233920	1,1
Mezzogiorno	22,5	6430050	3,5	3,5	400829	1,4
REGIONE						
Piemonte	21,3	1759641	4,1	4,4	138203	1,5
Valle d'Aosta	33,7	74241	3,6	13,4	13368	1,6
Lombardia	12,9	1461341	2,6	4,5	250018	1,3
Trentino-Alto Adige	46,7	662976	3,2	6,4	53091	1,9
<i>Bolzano</i>	<i>45,9</i>	<i>312741</i>	<i>3,2</i>	<i>7,0</i>	<i>36185</i>	<i>2,4</i>
<i>Trento</i>	<i>47,4</i>	<i>350235</i>	<i>3,2</i>	<i>5,8</i>	<i>16906</i>	<i>1,3</i>
Veneto	27,1	1589578	2,9	5,4	192823	1,7
Friuli-Venezia Giulia	31,8	565285	3,2	6,8	53134	1,4
Liguria	10,9	359438	4,2	3,4	47370	1,7
Emilia-Romagna	16,7	828609	2,5	3,0	85589	1,4
Toscana	25,6	1294605	3,1	5,2	83833	1,0
Umbria	47,7	628659	3,4	11,1	63476	1,5
Marche	25,4	509532	3,1	5,0	43569	1,4
Lazio	20,0	1560395	3,0	1,6	43042	1,0
Abruzzo	38,4	949107	4,4	5,0	55236	2,0
Molise	33,5	229869	5,2	5,9	12030	1,5
Campania	21,8	1590542	3,4	4,0	127267	1,5
Puglia	17,4	763505	2,8	1,4	28870	1,3
Basilicata	35,2	440141	5,4	5,6	20724	1,6
Calabria	35,0	1318749	4,7	4,4	59526	1,7
Sicilia	10,1	402596	2,0	0,8	14822	0,9
Sardegna	39,2	735543	2,6	11,5	82354	1,0

F.E. [g/GJ] ¹	Camini o stufe tradizionali LEGNA	Camini o stufe innovativi LEGNA	Camini o stufe tradizionali PELLET	Altri apparecchi PELLET	METANO	G.P.L.	GASOLIO
PM10	860	380	76		0,5	0,2	5
CO	5000		150		25	10	20
COV	1000	300	15		10,5	2	3
NOX	100		100		57	50	50
SO2	13				0,5	0,22	5
CO2	101.300				55000	62440	73690

Fattori di emissione per biomasse (fonte: INEMAR)

Analizzando la precedente tabella è possibile osservare l'elevata dannosità della combustione di biomassa utilizzata come fonte di riscaldamento domestico: non solo PM10, ma anche altri inquinanti come CO₂, CO, COV (composti organici volatili) vengono emessi in atmosfera, in seguito a questo processo, in quantità piuttosto elevate.

Per esempio, mettendo a confronto una caldaia alimentata a metano e un camino tradizionale alimentato a legna, si osserva che per ottenere lo stesso contributo in termini di calore, la combustione di biomassa legnosa produce emissioni di PM10 da 100 a 1000 volte superiori rispetto a quelle di una caldaia alimentata a metano.

Le concentrazioni totali di polveri, ovviamente, risultano molto più alte nei periodi autunnali e invernali rispetto ai periodi estivi e primaverili, probabilmente anche a causa della sinergia tra gli aumenti delle concentrazioni antropiche da riscaldamento domestico di biomassa e le condizioni meteorologiche avverse alla diffusione delle sostanze inquinanti emesse. (Pietrogrande, 2014).

4. PROVVEDIMENTI COMUNALI E CONDIZIONI PER UNA BUONA COMBUSTIONE DOMESTICA

Il problema dell'emissione di polveri sottili dovute alla combustione di biomassa legnosa, risulta essere un problema piuttosto importante, e diviene necessario cercare delle strategie per limitare i possibili effetti negativi che comporta.

Come si comportano, dunque, le amministrazioni comunali di fronte a questo problema? Alcuni comuni, come per esempio il comune di Ancona, o il comune di Jesi, emettono annualmente (a partire dall'inverno 2009/2010) delle ordinanze che includono delle limitazioni sull'utilizzo di caminetti o stufe durante il periodo invernale come fonte di riscaldamento domestico.

Per quanto riguarda il Comune di Ancona, l'ordinanza più recente è la n°77 del 29/10/2019, con validità dal 1 Novembre al 15 Aprile dell'anno successivo, nella quale si impone ai cittadini residenti diverse norme da seguire. Per esempio:

- a) Attività produttive: quelle autorizzate alle emissioni in atmosfera, ai sensi del D.Lgs. 152/2006 o della normativa previgente, dovranno ridurre le emissioni di polveri totali e di ossidi di azoto in modo tale da attenersi a limiti inferiori del 10% rispetto ai limiti autorizzati, salvo quelle autorizzate con limiti uguali od inferiori al 45% dei limiti nazionali.
- b) Attività produttive di panificazione e ristorazione: è vietato utilizzare la combustione di biomasse legnose per la cottura dei cibi, in apparecchiature varie, salvo che tali apparecchiature siano dotate di idonei sistemi di abbattimento delle polveri sottili nei fumi, realizzati secondo le migliori tecnologie disponibili.
- c) Edifici pubblici e privati: quando nell'unità immobiliare è presente e funzionante un altro tipo di riscaldamento autonomo o centralizzato, vige il divieto di accensione degli impianti e dei singoli apparecchi termici a biomassa solida (legna, cippato, pellet, carbonella, etc.), inclusi i caminetti tradizionali aperti e quelli moderni chiusi, nonché di quelli a carbone fossile, utilizzati per il riscaldamento degli ambienti interni o solo per la produzione di acqua sanitaria, che abbiano una classe di qualità inferiore alla classe 3 stelle. La biomassa solida, può essere utilizzata solo per la cottura di cibi.

Altri accorgimenti, per ridurre le emissioni in atmosfera, possono essere osservati da tutti i cittadini.

Innanzitutto, al momento dell'acquisto, si dovrebbe scegliere un apparecchio per la combustione che disponga di un filtro per le polveri. Nonostante le particelle più piccole (di diametro inferiore a 2,5 μ m, o 1 μ m) siano difficili da filtrare, risulta comunque un vantaggio per l'atmosfera. Fortunatamente, negli ultimi anni i camini sono tutti provvisti di filtro. Ovviamente, il corretto funzionamento dell'apparecchio prescinde da un corretto dimensionamento, sia per quanto riguarda la posizione nello spazio domestico, sia per quanto riguarda la geometria e la lunghezza della canna fumaria. Come è stato osservato nel paragrafo 2.2, nel processo di combustione la fase meno efficiente e più inquinante è quella della gassificazione. Sarebbe opportuno, dunque,

ridurre al minimo questa fase, in modo tale da permettere l'ossidazione delle sostanze volatili nel minor tempo possibile (agevolando quindi anche la seconda fase). Nella vita quotidiana, questa strategia può essere applicata preparando nella camera di combustione una pira di legna con pezzi più grandi in basso e quelli più piccoli in alto; accendendo la pira dall'alto, sarà possibile "bruciare" i composti volatili prima che essi passino dalla canna fumaria per immettersi in atmosfera. Inoltre, la quantità d'aria fornita alla camera di combustione dovrebbe sempre essere tale da apportare il giusto quantitativo di ossigeno, necessario per l'ossidazione.

In ultimo, essendo il caminetto (o la stufa) un apparecchio che funziona per depressione, è importante la pulizia della canna fumaria, perché nel caso in cui essa fosse parzialmente ostruita di fuliggine, non riuscirebbe a scaricare l'aria esausta all'esterno, riducendo la quantità di ossigeno nella camera di combustione, ottenendo situazioni sempre più critiche.

1 BIBLIOGRAFIA

- 1) *Sito web ARPAE, “Combustione della legna e qualità dell’aria”, 2015*
- 2) *Sito web ENEA, Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l’energia e lo sviluppo ambientale*
- 3) *Sito Web ISPRA “Serie storiche delle emissioni”*
- 4) *ISTAT web “indagine sui consumi energetici delle famiglie italiane”, 2014*
- 5) *ISPRA “Italian Emission Inventory 1990-2015, informative inventory report 2017”, 2017*
- 6) *Comune di Ancona, “Ordinanza n.77 del 29/10/2019”, 2019,*
- 7) *Sito web INEMAR, “fattori di emissione*
- 8) *Regione Marche, “Piano Risanamento e Mantenimento dell’Aria Ambiente”, 2010*