



Università Politecnica delle Marche
Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale

*La speciazione chimica dei composti organici volatili non metanici emessi da
combustione non industriale nella regione Marche*

*Chemical speciation of non-methane volatile organic compounds emissions
deriving from non-industrial combustion plants in Marche region*

Relatore:

Prof. Ing. Giorgio Passerini

Studente:

Silvia Di Nisio

Correlatore:

Dr. Enrico Mancinelli

Anno accademico 2019/2020

INDICE

1. Introduzione	5
1.1 Inventario emissioni regionale	5
1.1.1 Macrosettore 2 – Combustione non industriale	8
1.2 Speciazione Composti Organici Volatili (COV)	10
1.2.1 Definizione, fonti e tipi di Composti Organici Volatili	10
1.2.1.1 Metano e composti organici volatili non metanici (COVNM).....	11
1.2.1.2 Etanolo	12
1.2.1.3 Aldeidi: Formaldeide e Acetaldeide.....	12
1.2.1.4 Acetone	13
1.2.1.5 Benzene.....	13
1.2.1.6 Benzo(a)pirene (BaP) e altri Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA).....	14
1.2.2 Speciazione	15
1.3 Scopo della tesi.....	15
2. Materiali e metodi	16
2.1 Tabelle emissioni COV Macrosettore 2 della regione Marche.....	16
2.2 Il database Speciate.....	16
2.3 Le tecnologie e i combustibili considerati	18
2.3.1 Camini e stufe a legna tradizionali e innovativi	18
2.3.2 Camini o stufe tradizionali pellet	19
2.3.3 Altri apparecchi pellet.....	22
2.3.4 Impianti metano.....	24
2.3.5 Impianti gasolio.....	25
2.3.6 Impianti GPL.....	28
3. Risultati	29
3.1 Profilo di speciazione medio	29
3.2 Metano e composti organici non volatili COVNM.....	30
3.3 Etanolo.....	32
3.4 Aldeidi: acetaldeide e formaldeide	34
3.5 Acetone	36
3.6 Benzene	38
3.7 Benzo(a)pirene e altri idrocarburi policiclici aromatici (IPA)	40

3.8 Alcani	42
3.9 Alcheni	44
3.10 Alchini	46
4. Conclusioni.....	48
5. Bibliografia e Sitografia.....	51

1. Introduzione

1.1 Inventario emissioni regionale

Periodicamente le emissioni totali annue dei principali inquinanti dovute ad attività antropiche e a sorgenti naturali sono raccolte in un inventario con la finalità di rispettare le politiche ambientali perseguite dal Piano Regionale Ambientale.

Gli inventari sono realizzati secondo procedure e metodologie verificabili e aggiornabili, raccogliendo informazioni e dati tecnologici, economici, territoriali con lo scopo di indicare le fonti di inquinamento, la loro localizzazione con disaggregazione provinciale e comunale, la quantità e la tipologia di inquinanti emessi.

Le sorgenti inquinanti presenti sul territorio sono classificabili sulla base di più criteri:

- la modalità di funzionamento;
- la dislocazione spaziale sul territorio;
- la loro forma per una trattazione a fini modellistici.

In base alle modalità di funzionamento le sorgenti si possono distinguere in:

- continue, se le emissioni sono caratterizzabili da una certa regolarità, continuità o periodicità;
- discontinue, se le emissioni sono rilasciate in modo intermittente e senza alcuna periodicità.

Secondo il criterio di dislocazione spaziale, le fonti di emissione sono suddivise in sorgenti:

- fisse, quando la loro posizione è costante nel tempo;
- mobili, quando la loro posizione è variabile nel tempo.

La terza classificazione invece, che è quella più utilizzata nella pratica, comporta l'individuazione di opportuni valori di soglia delle emissioni in base ai quali differenziare tra fonti che devono essere considerate singolarmente quando le emissioni superano la soglia stabilita, oppure, in caso contrario, più fonti che possono essere raggruppate per tipologia di inquinante e processo. Sulla base di queste considerazioni le sorgenti vengono ripartite in:

- puntuali quando le sorgenti costituite da singoli impianti emettono quantità di inquinanti superiori a determinate soglie. Per censire le sorgenti puntuali di emissione è opportuno predisporre una serie di schede di rilevamento da inviare ai gestori degli impianti in modo tale da raccogliere dati precisi e aggiornati;
- lineari quando una sorgente è approssimabile ad una linea e le sue emissioni possono essere espresse in funzione della lunghezza del tratto, come nel caso di strade, ferrovie, rotte navali o aeree;
- areali quando le sorgenti emettono inquinanti in misura inferiore alle soglie stabilite per la definizione di sorgente puntuale. Le emissioni da sorgenti areali vanno necessariamente stimate statisticamente sulla base del dato di attività riferito a tutta l'area considerata, e del fattore di emissioni[1].

La metodologia più diffusa per la stima delle emissioni è quella elaborata nell'ambito del progetto *CoORdination Information AIR* (CORINAIR) e messa a punto dalla *European Environment Agency* (EEA). Il progetto CORINAIR costituisce la parte relativa alla raccolta e all'organizzazione delle informazioni sulle emissioni nell'atmosfera nell'ambito del progetto CORINE, che ha l'obiettivo di armonizzare la raccolta e l'organizzazione delle informazioni sullo stato dell'ambiente e delle risorse naturali dell'Unione Europea[2].

La stima delle emissioni è effettuata sulla base di un indicatore che caratterizza l'attività della sorgente e di un fattore di emissione, specifico del tipo di processo e della tecnologia di depurazione adottata. Questo metodo si basa dunque su una relazione lineare fra l'attività della sorgente e l'emissione, secondo una relazione che a livello generale può essere ricondotta alla seguente formula:

$$E_i = A \cdot FE_i$$

dove: E_i = emissione dell'inquinante i (g anno⁻¹); A = indicatore dell'attività, ad es. quantità prodotta, consumo di combustibile (t anno⁻¹); FE_i = fattore di emissione dell'inquinante i (g t⁻¹ di prodotto)[3].

Esistono diverse tipologie di inventario in base alla metodologia di compilazione: i due principali approcci sono bottom-up e top-down. Nella metodologia bottom-up le informazioni accedono direttamente dalla realtà produttiva locale a livelli di aggregazione maggiori, infatti l'indagine viene condotta attraverso l'analisi delle singole sorgenti con l'acquisizione di informazioni sugli indicatori di attività, sui processi e le tecnologie e sulle emissioni. La procedura top-down realizza un flusso di

informazioni che partono dalla scala spaziale più grande (es. nazionale) e discendono a livelli inferiori (regioni, province, comuni) utilizzando specifiche variabili di disaggregazione spaziale denominate “variabili proxy”. Questa metodologia viene applicata quando i dati sulle emissioni riguardano generalmente porzioni di territorio più vaste di quello che è l’obiettivo dell’inventario.

Per esigenze di modellazione può essere necessario disporre anche di un profilo temporale medio. La disaggregazione temporale è infatti una procedura per ripartire le emissioni annuali in emissioni mensili, giornaliere e orarie mediante l’uso di profili di disaggregazione (proxy)[1].

L'Inventario della regione Marche è stato realizzato secondo la metodologia CORINAIR e fornisce la stima delle emissioni totali annue di macro e microinquinanti, disaggregate per attività emissiva ai vari livelli di classificazione *Selected Nomenclature for Air Pollution* (SNAP) e ripartite spazialmente su scala comunale.

La classificazione SNAP attribuisce alle attività responsabili delle emissioni inquinanti in atmosfera un codice formato da tre coppie di cifre:

- le prime due cifre individuano il macrosettore di appartenenza;
- la seconda coppia di cifre indica uno dei 75 settori;
- le ultime due cifre specificano l’attività.

Gli undici macrosettori individuati dalla nomenclatura SNAP 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 / geotermico

Macrosettore 6: Uso di solventi

Macrosettore 7: Trasporti Stradali

Macrosettore 8: Altre Sorgenti Mobili

Macrosettore 9: Trattamento e Smaltimento Rifiuti

Macrosettore 10: Agricoltura

Macrosettore 11: Altre sorgenti di Emissione ed Assorbimenti [2]

1.1.1 Macrosettore 2 – Combustione non industriale

Il secondo macrosettore comprende i processi di combustione degli impianti commerciali ed istituzionali, quelli residenziali e quelli agricoli stazionari.

020100 Impianti commerciali ed istituzionali

020101 Caldaie con potenza termica $\geq 300\text{MW}$

020102 Caldaie con potenza termica ≥ 50 e $< 300\text{MW}$

020103 Caldaie con potenza termica $< 50\text{MW}$

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 $< 50\text{MW}$

020203 Turbine a gas

020204 Motori a combustione interna

020205 Altri sistemi (stufe, caminetti, cucine, ecc.)

020206 Camino aperto tradizionale

020207 Stufa tradizionale a legna

020208 Camino chiuso o inserto

020209 Stufa o caldaia innovativa

020210 Stufa automatica a pellet o cippato o BAT legna

020300 Impianti in agricoltura, silvicoltura e acquacoltura

020301 Caldaie con potenza termica ≥ 50 MW

020302 Caldaie con potenza termica $< 50\text{MW}$

020303 Turbine a gas

020304 Motori a combustione interna

020305 Altri sistemi (condizionatori, ecc.)

Il presente elaborato fa riferimento alle attività di impianti residenziali per la combustione di legna, pellet, metano, gasolio e GPL.

L'indicatore di attività di riferimento è il consumo di combustibile. Nel caso del gas, la **Società Nazionale Metanodotti** fornisce informazioni riguardo la quantità di gas erogato a livello di provincia suddivisa per usi civili, industriali, chimica di sintesi, auto trazione. Inoltre, elenca l'indirizzo delle aziende erogatrici di gas nelle reti cittadine (in genere non più di una per comune) alle quali è possibile rivolgersi per ottenere informazioni sul gas venduto a livello comunale. Altre fonti di informazioni riguardo la quantità di gas venduto sono gli Uffici Tributi regionali.

Per quanto riguarda i consumi di combustibili liquidi, può essere improponibile ottenere informazioni a livello comunale a causa del numero di rivenditori in genere elevato. Risulta quindi necessario calcolare le emissioni a livello provinciale o regionale e disaggregare con procedimento top-down a livello comunale. La fonte ufficiale di informazioni sulle quantità di combustibili liquidi vendute è il Bollettino Petrolifero del Ministero dell'Industria, che fornisce le quantità vendute mensilmente a livello provinciale e regionale.

Gli impianti di riscaldamento ad olio combustibile possono essere direttamente censibili in quanto sottoposti ad autorizzazione regionale.

Per il Macrosettore 2 la disaggregazione spaziale ha come possibili variabili:

- la popolazione;
- il volume riscaldato degli edifici;
- il fabbisogno termico degli edifici stessi.

Una tipica fonte di dati su cui lavorare per calcolare il fabbisogno termico è il censimento decennale della popolazione eseguito dall'ISTAT che raccoglie informazioni riguardanti anche la superficie delle abitazioni, le caratteristiche dell'edificio e del numero di gradi giorno della località.

La disaggregazione temporale può manifestarsi come:

- profilo di disaggregazione mensile: è possibile calcolare la differenza di temperatura degli ambienti riscaldati e la temperatura media esterna dei mesi in oggetto. Si moltiplica poi tale differenza per il numero di giorni di funzionamento degli impianti di riscaldamento. Si dividono i 12 valori così ottenuti per la loro somma, in modo da ottenere un profilo di disaggregazione normalizzato.
- Profilo di disaggregazione settimanale: per quanto riguarda il riscaldamento residenziale si può ipotizzare una ripartizione uniforme delle emissioni nell'arco della settimana.

- Profilo di disaggregazione giornaliero: la curva distributiva media può essere ottenuta a partire dalla differenza oraria media tra la temperatura interna e quella esterna moltiplicata per il valore 1 o 0 se l'attività viene o non viene svolta a quell'ora, anche se, per tener conto del maggior contributo alle emissioni nella fase di accensione dell'impianto, conviene attribuire un peso maggiore alle prime ore di funzionamento. Infine si normalizza a 1 l'insieme dei 24 valori [1].

1.2 Speciazione Composti Organici Volatili (COV)

1.2.1 Definizione, fonti e tipi di Composti Organici Volatili

I composti organici volatili (COV) sono tutti quei composti di carbonio (escludendo il monossido di carbonio (CO), l'anidride carbonica (CO₂), acido carbonico (H₂CO₃), i carburi metallici e il carbonato d'ammonio ((NH₄)₂CO₃)) che si trovano in forma gassosa alle condizioni di temperatura e pressioni esistenti a livello troposferico, ovvero che hanno ad una temperatura di 293,15 K e una pressione di vapore di 0,01 kPa o superiore.

I COV sono tra i responsabili dell'inquinamento atmosferico, infatti il gruppo di reazioni in cui sono maggiormente implicati sono i processi fotochimici che interferiscono nel ciclo di formazione/distruzione dell'ozono nella troposfera. L'ozono si genera in presenza di radiazioni solari dalla reazione chimica tra alcuni COV e le molecole di ossigeno degli ossidi di azoto (NO_x) e del monossido di carbonio (CO).

Le emissioni dei composti organici volatili hanno sia origine naturale che antropica. La produzione di COV attribuita a processi naturali comprende l'emissione diretta della vegetazione e la decomposizione biologica della materia organica dalle biomasse. Le emissioni antropogeniche sono principalmente dovute alla combustione incompleta degli idrocarburi, all'evaporazione di solventi e carburanti e alle industrie di trasformazione.

I COV possono essere semplici idrocarburi saturi o insaturi a molecola lineare e non, composte esclusivamente da carbonio e idrogeno, o molecole più complesse in cui, tra i più diffusi, sono presenti atomi di azoto, cloro e ossigeno (chetoni, aldeidi, alcoli, acidi ed esteri). In particolare, di maggior interesse in campo atmosferico, a causa del loro importante ruolo nella formazione di

specie ossidanti, è la classe degli alcheni, che comprende l'isoprene e i monoterpeni, composti particolarmente reattivi.

Molti COV sono pericolosi per la salute umana: in base al composto, al tempo e all'intensità dell'esposizione, possono essere causa di disagio sensoriale, nausea e danni al sistema nervoso, ai reni e al fegato.

Tra i COV dotati di elevate tossicità e potenzialità cancerogena, e pertanto oggetto di campagne di monitoraggio finalizzate, sono da considerare gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e il benzene.

Tabella 1 - Composti organici volatili (COV) di maggiore rilevanza

Gruppi di composti	Principali Sostanze
Idrocarburi alifatici saturi - Alcani	Metano Propano Butano Etano
Idrocarburi alifatici insaturi - Alcheni	Etilene Propilene
Idrocarburi alifatici insaturi - Alchini	Acetilene (o etino)
Idrocarburi aromatici	Benzene Toluene Xylene
Alcoli	Etanolo
Aldeidi	Formaldeide Acetaldeide
Chetoni	Acetone
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)	Benzo(a)pirene

1.2.1.1 Metano e composti organici volatili non metanici (COVNM)

Il metano è un idrocarburo semplice classificato come alcano, in quanto costituito solo da atomi di carbonio e idrogeno. In condizioni normali di temperatura e pressione, il metano si presenta come un gas infiammabile incolore e inodore.

In atmosfera il metano è presente come gas serra a basse concentrazioni. Esso può avere origine antropogenica o naturale. Il metano è un gas naturale che si è originato sottoterra per compressione di materiale organico naturale a pressioni e temperature elevate nell'arco di milioni di anni. Il metano si genera anche per processi biologici, come la decomposizione chimica di materiale

organico effettuata da microorganismi nei pressi della superficie terrestre comportando così emissioni nell'atmosfera. Altra fonte naturale è dato dal processo digestivo degli animali ruminanti. Le emissioni antropiche sono dovute alle discariche, alla combustione della biomassa e alla produzione, al trasporto e all'utilizzo di combustibili fossili.

Il metano non è una sostanza tossica ed è fotochimicamente inerte, ovvero non partecipa ai cicli di reazioni radicaliche collegate nei fenomeni di formazione dello smog fotochimico[4]; ed è per questo che, nel contesto dell'inquinamento atmosferico, spesso il metano non viene considerato insieme agli altri composti organici volatili. Infatti, sono definiti **composti organici volatili non metanici (COVNM)** tutti i composti organici, diversi dal metano, che possono produrre ossidanti fotochimici per reazione con gli ossidi di azoto in presenza di radiazioni solari.

1.2.1.2 Etanolo

L'etanolo (o alcol etilico) è un alcol a catena alchilica lineare, con un gruppo ossidrile(-OH) legato ad un atomo di carbonio.

L'uso di solventi ed aerosol è la maggiore fonte antropica di emissioni di etanolo. L'etanolo è presente nei rivestimenti superficiali delle strutture, è prodotto dalla combustione di combustibili fossili ed è rilasciato dai siti di discarica.

Biologicamente l'etanolo è emesso da una serie processi microbiologici ed eventualmente anche da alcune piante.

L'etanolo rilasciato in ambiente ossida rapidamente in pochi giorni, con anidride carbonica e acqua come prodotti finale, e può agire da precursore nella formazione di smog fotochimico[5].

1.2.1.3 Aldeidi: Formaldeide e Acetaldeide

L'acetaldeide e la formaldeide sono aldeidi, ovvero composti organici la cui struttura contiene un gruppo funzionale formile (-CHO).

L'acetaldeide e la formaldeide sono molto utilizzate in campo industriale, quindi molte emissioni in aria e in acqua sono legate alla loro produzione. Altre fonti sono la combustione di carburante di motori e le centrali elettriche che bruciano combustibili fossili, legna o rifiuti. La principale fonte di acetaldeide e formaldeide nell'atmosfera è l'ossidazione fotochimica di altri composti.

Nell'atmosfera l'acetaldeide si degrada in poche ore a causa di ossidazione fotochimica e reazione con radicali ossidrilici, mentre la formaldeide si decompone entro le 24 ore per formare acido formico e monossido di carbonio.

Sono sostanze considerate cancerogene e il loro assorbimento tramite inalazione causa danni al sistema respiratorio[6][7].

1.2.1.4 Acetone

L'acetone è il composto più semplice dei chetoni, che sono dei composti carbonilici dove il gruppo carbonile è legato a due gruppi R idrocarburici.

Le emissioni atmosferiche di acetone di natura antropica hanno origine prevalentemente da processi industriali. Altra fonte è la combustione di combustibili solidi per il riscaldamento domestico e per gli inceneritori. Inoltre, è presente nel fumo di tabacco e nelle discariche.

Fonti naturali sono invece incendi boschivi e la scomposizione del grasso corporeo.

L'acetone evapora velocemente se emesso in fase liquida, per poi degradarsi con le radiazioni solari formando altri composti chimici. Non si lega al suolo e non si bioaccumula negli animali.

L'acetone non è considerato cancerogeno, ma può comunque, per un'esposizione ad alte concentrazioni, irritare il sistema respiratorio e causare danni alla vista e alla pelle[8].

1.2.1.5 Benzene

Il benzene è un idrocarburo aromatico semplice, costituito da un unico anello a sei atomi di carbonio. È abbastanza stabile, infatti è relativamente inerte nell'atmosfera, dove ha un tempo di vita medio di quattro giorni, non partecipando ai processi di inquinamento secondario. Reagisce con i radicali OH, producendo fenoli e aldeidi che sono facilmente rimossi dalle piogge. Può inoltre dare origine a reazioni di addizione e sostituzione con formazione di alogenuri, nitrati, solfonati e alchil derivati. A temperatura ambiente volatilizza facilmente ed è scarsamente solubile in acqua, ma miscibile con composti organici come alcool, cloroformio e tetracloruro di carbonio.

L'emissione di benzene nell'atmosfera è principalmente dovuta ai processi combustivi per la produzione di energia (inclusi i veicoli a motore) e per il riscaldamento domestico. Il benzene, prodotto commercialmente da petrolio, gas naturale e carbone, viene utilizzato anche come solvente e come intermedio nella produzione di composti chimici.

Date la sua stabilità in atmosfera e la prevalente natura antropica delle sue sorgenti, il benzene può essere utilizzato come tracciante dell'andamento temporale degli inquinanti primari al livello del suolo.

La IARC (*International Agency for Research on Cancer*) nel 1982 ha classificato il benzene in Classe 1, una classe che comprende le sostanze cancerogene per l'uomo. Non essendo possibile stabilire un limite di sicurezza, il *World Health Organization (WHO/OMS)* considera che qualunque livello di esposizione al benzene possa determinare un rischio aggiuntivo di tumore.

A causa della notevole volatilità, la principale via di esposizione del benzene per l'uomo è rappresentata dalla sua inalazione, di cui il 50% viene assorbito dal corpo umano. Un'altra fonte di esposizione è l'ingestione, poiché il benzene è presente nel cibo e nell'acqua a causa di una contaminazione riconducibile all'inquinamento dell'aria. Infatti, il benzene presente nell'aria, mediante le precipitazioni secche e umide, contamina i prodotti agricoli e, attraverso il trasferimento lungo la catena alimentare, anche le carni e tutti i prodotti di origine animale.

Il benzene viene assorbito in piccole quantità anche attraverso la pelle. L'intossicazione sistemica per assorbimento cutaneo è impossibile, ma il contatto ripetuto può causare effetti locali quali eritema, desquamazione secca, papule vescicolari e, in caso di esposizioni prolungate, lesioni simili a bruciature di primo e secondo grado[9].

1.2.1.6 Benzo(a)pirene (BaP) e altri Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono idrocarburi con struttura ad anelli aromatici condensati. A temperatura ambiente sono sostanze solide, degradabili in presenza di radiazione ultravioletta.

Le emissioni di IPA hanno principalmente origine antropica, prodotti dalla combustione incompleta di materiale organico. Le fonti di natura antropica sono gli impianti di produzione di alluminio, ferro e acciaio, gli impianti di riscaldamento, il traffico autoveicolare, gli inceneritori e il fumo di tabacco. Gli IPA possono anche derivare da sorgenti naturali (alghe, microrganismi, piante, incendi delle foreste).

Gli idrocarburi policiclici aromatici vengono emessi in atmosfera in fase vapore e, a causa della bassa tensione di vapore, condensano rapidamente e si assorbono sulle particelle carboniose

(particolato). Data la stabilità della loro struttura, risultano inerti e perciò la proporzione dei vari IPA dipende dalla sorgente di emissione.

Lo IARC (*International Agency for Research on Cancer*) ha inserito gli IPA con 4-6 anelli condensati nelle classi 2A o 2B, ad indicazione delle loro possibilità e probabilità di essere cancerogeni per l'uomo.

Il composto più studiato e rilevato è il **Benzo(a)pirene**, che ha una struttura con cinque anelli condensati, in quanto è considerato il più potente cancerogeno tra gli idrocarburi policiclici aromatici non sostituiti. Le norme vigenti sul territorio nazionale indicano per il benzo(a)pirene un valore limite di 1 mg/m³ (media annuale) di concentrazione nell'aria[9].

1.2.2 Speciazione

Le emissioni di composti organici volatili sono riportati prevalentemente negli inventari delle emissioni come un unico valore, che è la somma delle singole specie appartenenti ai COV rilasciate da una determinata fonte. Molti modelli di trasporto chimico, d'altra parte, richiedono informazioni più dettagliate riguardo ai tipi di COV emessi. Di conseguenza, un importante compito dei sistemi di processamento delle emissioni è quello di separare ciascun valore di emissione di COV nella serie di valori di emissione delle sue componenti chimiche. Se le emissioni di COV sono riportate in base al processo, allora questo compito è solitamente raggiunto attraverso l'uso di profili di speciazione dei COV caratteristici del processo.

1.3 Scopo della tesi

Nell'ambito di uno studio sulle emissioni in atmosfera nella regione Marche effettuato dal Gruppo di Ricerca Analisi Ambientali in Aria del Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche, sono state valutate le emissioni di COV relativi al Macrosettore 2 con dettaglio comunale.

Questo studio era stato effettuato senza tener conto della speciazione chimica dei COV, pertanto nella presente tesi mi occupo di analizzare questo aspetto.

2. Materiali e metodi

2.1 Tabelle emissioni COV Macrosettore 2 della regione Marche

Il Gruppo di Ricerca Analisi Ambientali in Aria del Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche ha stimato le emissioni di COV della regione Marche appartenenti al Macrosettore 2. Le emissioni di COV sono state valutate in relazione all'impianto e/o combustibile utilizzato: camini o stufe tradizionali a legna, camini o stufe innovative a legna, camini o stufe tradizionali a pellet, altri apparecchi a pellet, impianti a metano, impianti a GPL e impianti a gasolio. Inoltre, le emissioni di COV sono state suddivise su base comunale, in funzione della popolazione.

2.2 Il database Speciate

SPECIATE è un database realizzato dall'EPA (Agenzia di Protezione Ambientale statunitense) che raccoglie i profili di speciazione delle emissioni correlate a delle categorie di fonti. I profili riportano la percentuale in peso delle specie chimiche appartenenti ai COV e ai PM.

SPECIATE è stato informatizzato nel 1988 e la prima versione elettronica è stata distribuita alla comunità di utenti nel 1993. SPECIATE, la cui ultima versione è la 5.0, è accessibile tramite un database Microsoft Access® oppure direttamente attraverso uno strumento browser per consentire agli utenti di navigare e scaricare le informazioni del profilo senza la necessità di utilizzare il software di Microsoft®.

Periodicamente l'EPA rilascia una versione aggiornata di SPECIATE che aggiunge dati alle versioni precedenti. Lo sviluppo e l'aggiornamento di SPECIATE è realizzato da un gruppo di lavoro multi-ufficio dell'EPA (*Speciate Workgroup, SWG*), le cui mansioni consistono nella selezione dei dati, assicurando la qualità di essi e dei profili, e nel coordinamento degli aggiornamenti della struttura del database e dei campi dei metadati.

I dati utilizzati per creare i profili di speciazione provengono da una varietà di fonti tra cui articoli di riviste sottoposte a revisione paritaria e test condotti principalmente dall'EPA. La fonte originale dei dati utilizzati in ciascun profilo è documentata nel database SPECIATE (nella sezione REF_DOCUMENTS)[10].

SPECIATE presenta una tabella che include il numero di identificazione della specie chimica (SPECIES_ID), il codice del profilo associato alla specie (PROFILE_CODE), la percentuale delle specie

nel profilo (WEIGHT_PERCENT), l'incertezza associata al valore percentuale (UNCERTAINTY), il metodo utilizzato per determinare l'incertezza (UNCERTAINTY_METHOD) e una descrizione del metodo di analisi utilizzato per determinare la percentuale di specie nel profilo (ANALYTICAL_METHOD).

La tabella KEYWORD_REFERENCE include parole chiave e informazioni che caratterizzano i documenti di riferimento associati ai profili, incluso se un riferimento particolare è o meno il riferimento principale (consentendo così riferimenti multipli e illimitati per qualsiasi profilo). Questa tabella include parole chiave descrittive dei profili, utili per le ricerche dei profili di interesse.

La tabella SPECIES_PROPERTIES include i numeri identificativi associati ai composti che sono specie nel database, nonché altre informazioni caratteristiche come il peso molecolare.

Su SPECIATE sono riportati anche tre campi di categorizzazione dei profili nella tabella PROFILES per fornire metadati facilmente ricercabili sulla fonte di emissione coperta dal profilo. I campi descrivono la fonte di emissione in termini di meccanismo di generazione delle emissioni (livello 1), settore e/o attrezzatura (livello 2) e carburante e/o prodotto (livello 3). Questi campi di categorizzazione sono presenti per aiutare gli utenti a cercare, identificare e raggruppare profili per fonti simili.

L'attuale versione di SPECIATE contiene un totale di 6654 profili[11].

Una delle applicazioni più importanti dei profili di speciazioni indicate nel database è quella per condurre studi di modellizzazione della qualità dell'aria per ozono e PM. Per queste applicazioni, il database è utilizzato insieme a un inventario di COV e PM, come l'inventario nazionale delle emissioni (*National Emissions Inventory*, NEI) al fine di fornire stime delle emissioni spaziali, temporali e riconducibili alla fonte dei singoli COV, dei componenti PM e altre specie modellate.

Le emissioni delle specie chimiche appartenenti ai COV sono calcolate moltiplicando il valore dell'emissione di COV riferita a una sorgente per la percentuale in peso delle specie chimiche che compongono i COV rilasciati da quella stessa sorgente.

$$E_{i,j} = E_{TOG,j} X_{i,j}$$

Dove E è l'emissione di massa del composto i da una sorgente di tipo j e X è la frazione in peso del composto i rispetto al totale TOG rilasciato dalla fonte j .

Molte specie chimiche appartenenti ai COV sono interessanti anche perché l'EPA le classifica nella SEZIONE 112 (b) del *Clean Air Act* come inquinanti atmosferici pericolosi (*hazardous air pollutant*, HAP). Il *Clean Air Act* ha identificato 187 composti espliciti come HAP perché sono noti o sospettati di provocare il cancro o gravi effetti sulla salute[10].

2.3 Le tecnologie e i combustibili considerati

A rappresentazione del Macrosettore 2 sono stati presi in considerazione i più comuni impianti di riscaldamento residenziale nella regione Marche differenziati per tipologie e combustibili utilizzati.

2.3.1 Camini e stufe a legna tradizionali e innovativi

Il profilo di speciazione realizzato dall'EPA non specifica la tipologia di impianto per la combustione del legno. Il Dipartimento per l'Ambiente, dell'Alimentazione e gli Affari Rurali (*Department for Environment, Food and Rural Affairs*, DEFRA) del Regno Unito nel programma di ricerca *Emission Factors and Cost Curves for Air Pollutants* ha implementato questo profilo aggiungendo Idrocarburi Policiclici Aromatici a 2-3 anelli aromatici ritenendo che possano rappresentare una porzione significativa delle emissioni rilasciate dalla combustione del legno.

Il profilo scelto da SPECIATE è il seguente:

Codice profilo	1084
Nome profilo	<i>Residential Wood Combustion (C-1 C-6)</i>
Metodo del test	Cinque campioni sono stati raccolti in un bulbo sottovuoto di vetro da 3 litri. Quattro prove erano con un catalizzatore in uso, l'altra non lo era. I campioni sono stati analizzati usando una combinazione di spettrometria di massa e gascromatografia in traccia.

Tabella 2 - Speciazione COV combustione residenziale legna				
Gruppo di appartenenza specie chimica (macrocategoria)	Gruppo di appartenenza specie chimica (microcategoria)	HAP(*)	Specie chimiche	Percentuale peso
Idrocarburi alifatici insaturi	Alcheni	No	1-butene	0,47
		No	Ethylene (or ethene)	15,74

		No	Propylene (or Propene; 1-Propene)	1,92
Idrocarburi alifatici saturi	Alcani	No	Ethane	5
		No	Isobutane (or 2-Methylpropane)	0,09
		No	Methane	38,4
		No	Propane	1,32
Idrocarburi aromatici	Benzene	Sì	Benzene	18,18
	IPA	Sì	Naphthalene	1,03
		Sì	Acenaphthene	0,04
		Sì	Acenaphthylene	0,89
		Sì	Anthracene	0,07
		Sì	Fluorene	0,09
Sì	Phenanthrene	0,28		
	Alcoli	No	Ethyl alcohol (ethanol)	15,83
Indefinito		No	Unspeciated	0,65

(*) HAP: *hazardous air pollutant* (inquinante atmosferico pericoloso)

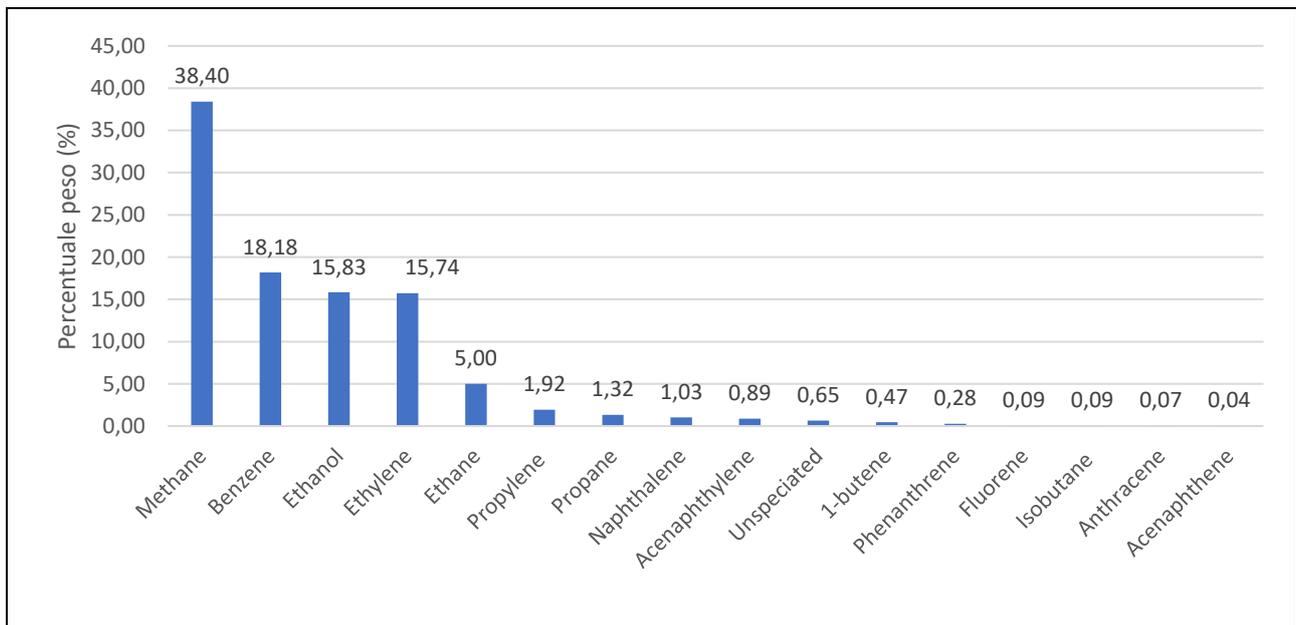


Figura 1 - Profilo specazione COV combustione residenziale legna

2.3.2 Camini o stufe tradizionali pellet

Per tradizionali è stato impiegato un profilo di specazione che rappresenta una classica stufa nord-americana che realizza la combustione a basso carico.

Codice profilo	95132
Nome profilo	<i>Residential Wood Combustion – Pellet Stove</i>
Metodo del test	Gli esperimenti sono stati progettati utilizzando variazioni sistematiche del tiraggio del camino, del carico di combustibile e del diametro del pellet, secondo un disegno fattoriale completo con 8 esperimenti "angolari" e 3 repliche centrali 3 x 3 (rispettivamente, pellet da 6 e 8 mm) per ogni stufa. Tutte le misurazioni delle emissioni sono state eseguite in un tunnel di diluizione a flusso pieno che consente il campionamento costante del volume. La temperatura di campionamento e il rapporto di diluizione durante i diversi esperimenti variavano rispettivamente da 45 a 75 ° C e da 1,5 a 4,3 volte.

Tabella 3 - Speciazione COV combustione pellet impianti tradizionali residenziali				
Gruppo di appartenenza specie chimica (macrocategoria)	Gruppo di appartenenza specie chimica (microcategoria)	HAP	Specie chimiche	Percentuale peso
Idrocarburi alifatici insaturi	Alcadieni	Sì	1,3-butadiene	0,494966
	Alchini	No	Acetylene (or ethyne)	9,899313
	Alcheni	No	Ethylene (or ethene)	10,99924
		No	Propylene (or Propene; 1-Propene)	2,089855
Idrocarburi alifatici saturi	Alcani	No	Ethane	2,639817
		No	Methane	62,69565
		Sì	N-hexane	8,80E-02
		No	N-nonane	1,979863
		No	N-octane	1,429901
		No	N-pentane	0,395973
Idrocarburi aromatici	Benzene	Sì	Benzene	4,17971
	Alchilbenzeni	Sì	Ethylbenzene	0,219985
		Sì	M & p-xylene	1,319908
		Sì	Toluene	1,209916
	IPA	Sì	Anthracene	1,32E-02
		Sì	Benz(a)anthracene	7,59E-03
		Sì	Benzo[a]pyrene BaP	8,25E-03

		Sì	Benzo[e]pyrene (BeP)	4,18E-03
		Sì	Benzo(ghi)perylene	9,46E-03
		Sì	Benzo(c)phenanthrene	1,65E-03
		Sì	Chrysene	6,82E-03
		Sì	Coronene	2,53E-02
		Sì	3,6-dimethylphenanthrene	2,20E-04
		Sì	Fluoranthene	3,30E-02
		Sì	Fluorene	7,59E-03
		Sì	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	8,91E-03
		Sì	1-methylphenanthrene	7,48E-03
		Sì	1-Methylpyrene	2,09E-03
		Sì	2-methylphenanthrene	6,60E-03
		Sì	4-methylpyrene	2,31E-03
		Sì	9-methylanthracene	1,76E-03
		Sì	2-phenylnaphthalene	6,60E-03
		Sì	Perylene	9,68E-04
		Sì	Phenanthrene	9,24E-02
		Sì	Pyrene	3,08E-02
		No	Retene	6,82E-03
		No	2-methylfluorene	1,03E-03
		Sì	Benzo[ghi]fluoranthene	6,38E-03
		Sì	Cyclopenta[cd]pyrene	0,029698
		No	Benzo(b+j+k)fluoranthene	1,21E-02
		No	3-methylphenanthrene	4,29E-03
		Sì	2-methylanthracene	2,42E-03
		No	9-methylphenanthrene	3,63E-03
		Sì	Indeno[1,2,3-cd]fluoranthene	2,53E-04
		Sì	Dibenz[a,h]anthracene	8,14E-04
		Sì	Benzo[a]fluorene	4,29E-03
		Sì	3-methylchrysene	1,09E-03
		Sì	1-Methyl chrysene	5,17E-04
		No	3,9-dimethylphenanthrene	5,06E-04
		Sì	2-Methylpyrene	5,72E-03
		Sì	2-methylchrysene	4,62E-04
		Sì	6-Methylchrysene	1,98E-04
	Composto organosulfurico	No	Dibenzothiophene	5,39E-04

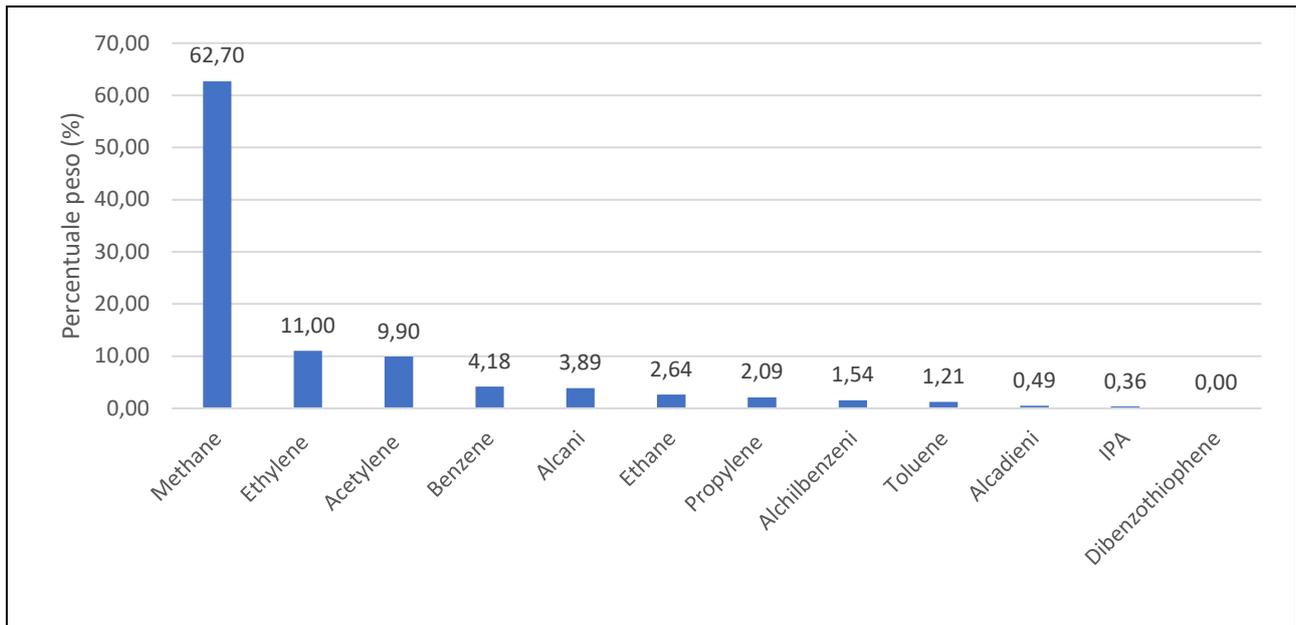


Figura 2 - Profilo speciazione COV combustione pellet impianti tradizionali residenziali

2.3.3 Altri apparecchi pellet

Con questa denominazione il profilo di speciazione adottato è quello riferito a una classica stufa nord-americana che esegue la combustione ad alto carico.

Codice profilo	95131
Nome profilo	<i>Residential Wood Combustion – Pellet Stove</i>
Metodo del test	Gli esperimenti sono stati progettati utilizzando variazioni sistematiche del tiraggio del camino, del carico di combustibile e del diametro del pellet, secondo un disegno fattoriale completo con 8 esperimenti "angolari" e 3 repliche centrali 3 x 3 (rispettivamente, pellet da 6 e 8 mm) per ogni stufa. Tutte le misurazioni delle emissioni sono state eseguite in un tunnel di diluizione a flusso pieno che consente il campionamento costante del volume. La temperatura di campionamento e il rapporto di diluizione durante i diversi esperimenti variavano rispettivamente da 45 a 75 ° C e da 1,5 a 4,3 volte.

Tabella 4 - Specazione COV combustione pellet altri impianti residenziali				
Gruppo di appartenenza specie chimica (macrocategoria)	Gruppo di appartenenza specie chimica (microcategoria)	HAP	Specie chimiche	Percentuale peso
Idrocarburi alifatici insaturi	Alcadieni	Sì	1,3-butadiene	0,392552
Idrocarburi alifatici saturi	Alcani	No	Methane	88,32421
		Sì	N-hexane	9,81E-02
		No	N-nonane	3,532968
		No	N-octane	1,373932
		No	N-pentane	0,647711
Idrocarburi aromatici	Benzene	Sì	Benzene	2,355312
	Alchilbenzeni	Sì	M & p-xylene	2,355312
		Sì	Toluene	0,785104
	IPA	Sì	Anthracene	6,08E-03
		Sì	Benz(a)anthracene	0,001413
		Sì	Benzo[a]pyrene BaP	6,87E-04
		Sì	Benzo[e]pyrene (BeP)	9,22E-04
		Sì	Benzo(ghi)perylene	9,22E-04
		Sì	Benzo(c)phenanthrene	5,89E-04
		Sì	Chrysene	2,55E-03
		Sì	Coronene	3,93E-04
		Sì	3,6-dimethylphenanthrene	5,89E-05
		Sì	Fluoranthene	0,01845
		Sì	Fluorene	3,53E-04
		Sì	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	7,65E-04
		Sì	1-methylphenanthrene	4,91E-03
		Sì	1-Methylpyrene	3,73E-04
		Sì	2-methylphenanthrene	0,002748
		Sì	4-methylpyrene	2,94E-04
		Sì	9-methylanthracene	0,000157
		Sì	2-phenylnaphthalene	0,002748
		Sì	Perylene	4,51E-05
		Sì	Phenanthrene	4,91E-02
		Sì	Pyrene	0,018842
		No	Retene	9,22E-03
		Sì	Benzo[ghi]fluoranthene	2,55E-03
		Sì	Cyclopenta[cd]pyrene	0,002748
		No	Benzo(b+j+k)fluoranthene	0,002748
		No	3-methylphenanthrene	1,39E-03
		Sì	2-methylanthracene	4,32E-04
		No	9-methylphenanthrene	1,63E-03
		Sì	Dibenz[a,h]anthracene	6,28E-05
		Sì	Benzo[a]fluorene	3,34E-04

		Sì	3-methylchrysene	6,28E-05
		Sì	1-Methyl chrysene	4,12E-05
		No	3,9-dimethylphenanthrene	2,16E-04
		Sì	2-Methylpyrene	5,30E-04
		Sì	2-methylchrysene	3,73E-05
	Composto organosulfurico	No	Dibenzothiophene	3,73E-04

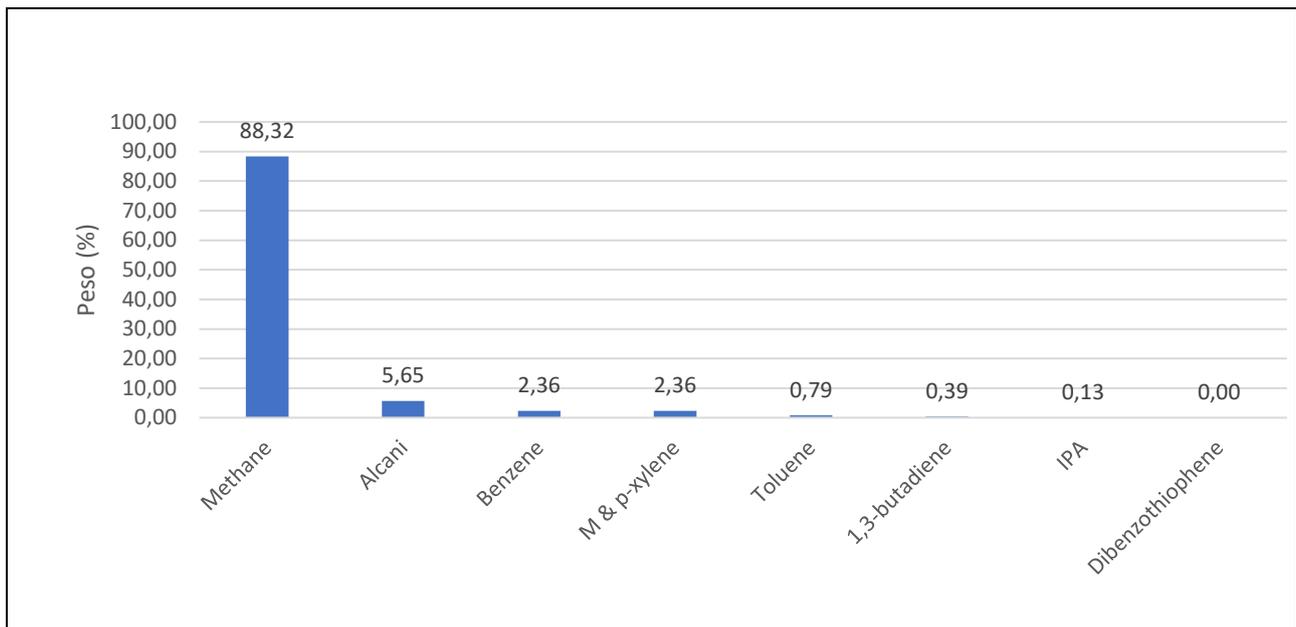


Figura 3 - Profilo speciazione COV combustione pellet altri impianti residenziali

2.3.4 Impianti metano

Codice profilo	0195
Nome profilo	<i>Combustion Residential Natural Gas</i>
Metodo del test	Informazioni basate su dati compositi di rilevamento e sulle analisi di gascromatografia e spettrometria di massa del campione rilevato.

Gruppo di appartenenza specie chimica (macrocategoria)	Gruppo di appartenenza specie chimica (microcategoria)	HAP	Specie chimiche	Percentuale peso
Idrocarburi alifatici saturi	Alcani	No	Methane	100

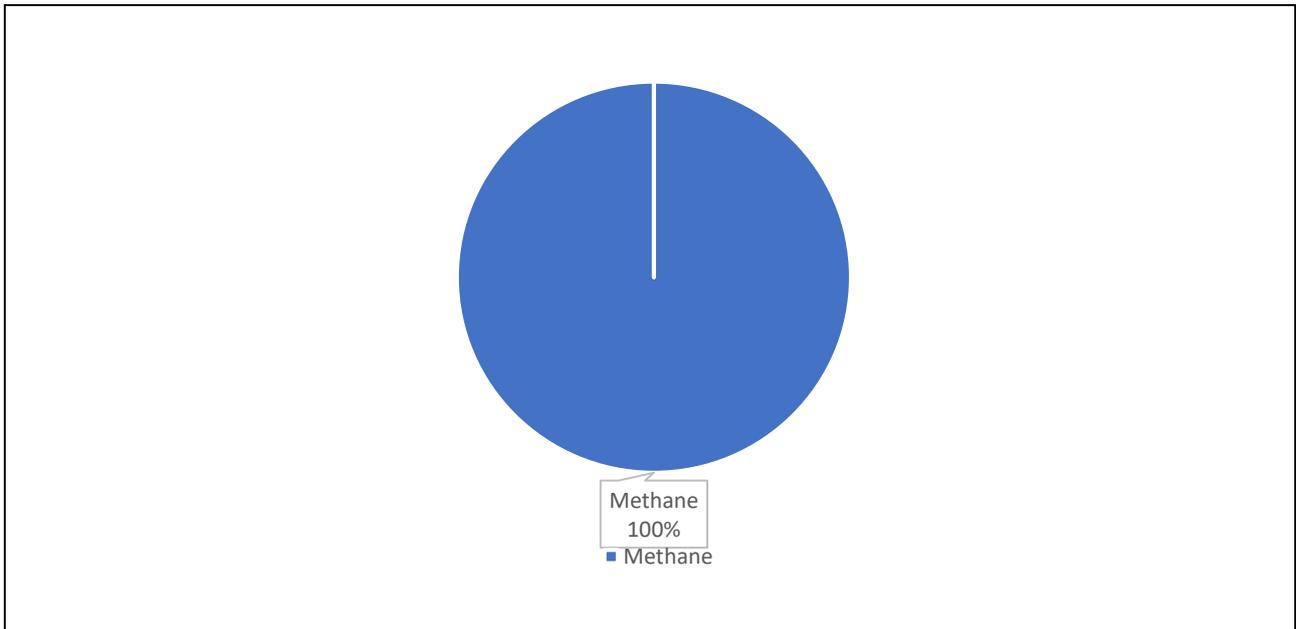


Figura 4 - Profilo Speciazione COV combustione residenziale metano

2.3.5 Impianti gasolio

Codice profilo	5645
Nome profilo	<i>Residential Oil Boilers</i>
Metodo del test	Sono stati condotti test di diluizione (44: 1) delle emissioni prodotte da una caldaia a combustione con testa di combustione con ritenzione di fiamma. I campioni raccolti sono stati analizzati usando varie tecniche. Le distribuzioni di massa e dimensione delle particelle di aerosol sono state determinate gravimetricamente usando un dispositivo di simulazione a bassa pressione. La spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente (ICP-MS) ha determinato la composizione elementare e le concentrazioni di metalli pesanti tossici nelle particelle emesse. I valori sono una media di tre giorni di prova separati, due filtri ogni giorno (n=6), e sono corretti rimuovendo le impurità dell'aria di diluizione.

Tabella 6 - Specazione COV combustione residenziale impianti Gasolio				
Gruppo di appartenenza specie chimica (macrocategoria)	Gruppo di appartenenza specie chimica (microcategoria)	HAP	Specie chimiche	Percentuale peso
Idrocarburi alifatici insaturi	Alcadieni	Sì	1,3-butadiene	0,301666
	Alchini	No	Acetylene (or ethyne)	2,060082
	Alcheni	No	1-hexene	0,975212
		No	Ethylene (or ethene)	10,68052
		No	Propylene (or Propene; 1-Propene)	4,61167
		No	1-butene & isobutene	1,435946
Idrocarburi alifatici saturi	Alcani	Sì	2,2,4-trimethylpentane	2,128563
		No	3-methylhexane	2,435864
		No	Isobutane (or 2-Methylpropane)	0,56649
		No	Isopentane (or 2-Methylbutane)	0,684382
		No	Pristane	0,632804
		No	Phytane	0,36928
		No	2-methylnonadecane	5,24E-02
		No	3-methylnonadecane	5,46E-02
	Cicloalcani	No	Cyclopentane	1,339292
	Alchilcicloalcani	No	Methylcyclohexane	0,485439
	Alchilcicloalcani	No	Dodecylcyclohexane	5,81E-02
Idrocarburi aromatici	Benzene	Sì	Benzene	2,897031
	Alchilbenzeni	Sì	Ethylbenzene	0,403521
		Sì	Isomers of xylene	1,334957
		Sì	Styrene	0,12136
		Sì	Toluene	0,973912
		No	Xylene range solvent	2,954676
		IPA	Sì	1-Methylnaphthalene
	Sì		2-methylnaphthalene	1,373099
	Sì		Acenaphthene	6,28E-02
	Sì		Acenaphthylene	2,77E-02
	Sì		Anthracene	0,01517
	Sì		Fluoranthene	9,10E-03
	Sì		Fluorene	0,133929
	Sì		Phenanthrene	0,305567
No	2,6-Dimethylnaphthalene	1,402139		
No	Methyl fluorene	0,177272		
	Aldeidi	Sì	Acetaldehyde	2,226951

		No	Benzaldehyde	0,729025
		No	Butyraldehyde or butanal	1,282079
		Sì	Formaldehyde	13,4679
		Sì	Propionaldehyde (or Propanal; 1-Propanone; 1-Propanal)	1,291614
		No	Glyoxal	6,089659
		No	Valeraldehyde (or n-Pentanal; 1-pentanal)	0,433428
		No	Methylglyoxal	3,101608
	Chetoni	No	Acetone	4,737798
		No	Methyl ethyl ketone (or MEK, 2-butanone)	1,201028
		No	Mesityl oxide	3,577512
		No	C-14 Compounds	2,57326
		No	C-15 Compounds	1,49966
		No	C-16 Compounds	1,757983
		No	C-17 Compounds	1,247405
		No	C-18 Compounds	0,787538
		No	C-19 Compounds	0,578193
		No	C-2 Compounds	1,464552
		No	C-20 Compounds	0,234918
		No	C-21 Compounds	6,15E-02
		No	C-3 Compounds	2,063549
		No	C-4 Compounds	0,681782
		No	C-5 Compounds	0,302966
		No	C-6 Compounds	0,497575
		No	C-7 Compounds	0,357144
		No	C-8 Compounds	0,962643
		No	C-9 Compounds	0,975212
	Cloruri	Sì	Methyl chloride (Chloromethane)	0,678748
Organofluoruri		No	Dichlorodifluoromethane	0,606799
		Sì	Dibenzofuran (also noted as 'DBZFUR')	1,95E-02

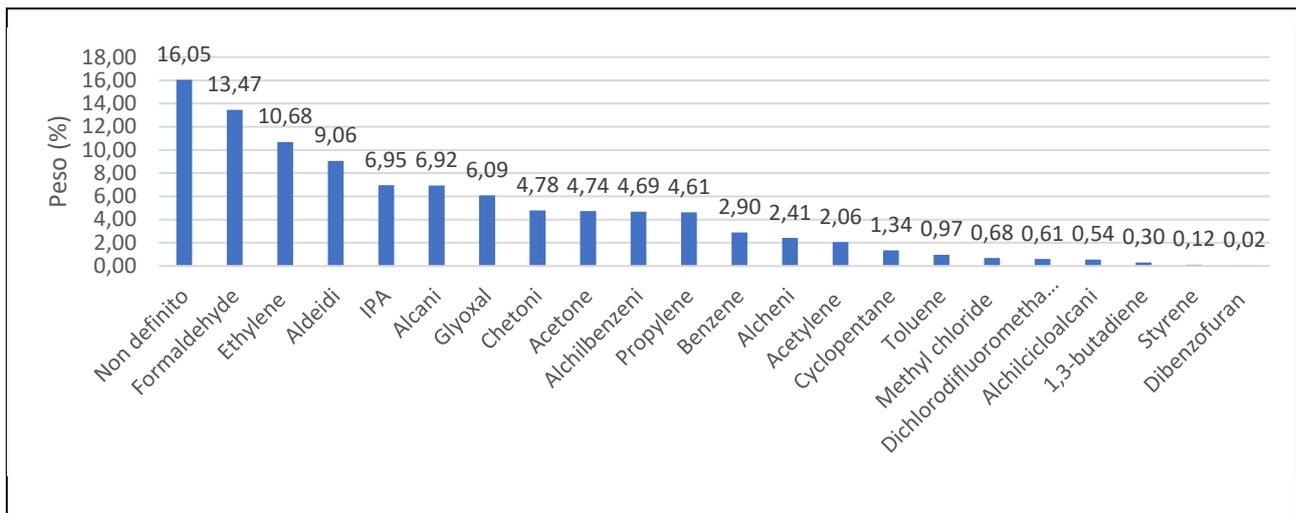


Figura 5 - Profilo di specazione COV combustione residenziale impianti a gasolio

2.3.6 Impianti GPL

Il database di SPECIATE non contiene informazioni riguardo la combustione residenziale di GPL.

3. Risultati

3.1 Profilo di specazione medio

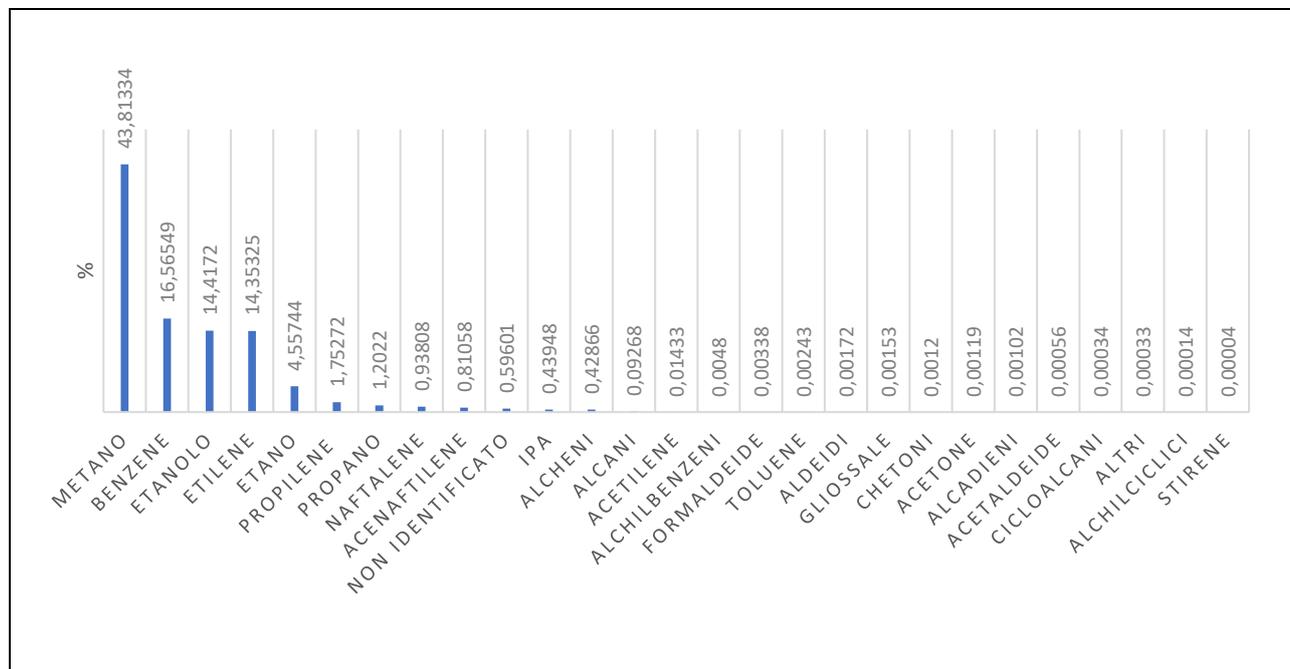


Figura 6 - Profilo di specazione medio delle emissioni di composti organici volatili (COV) da Macrosettor 2 nella regione Marche

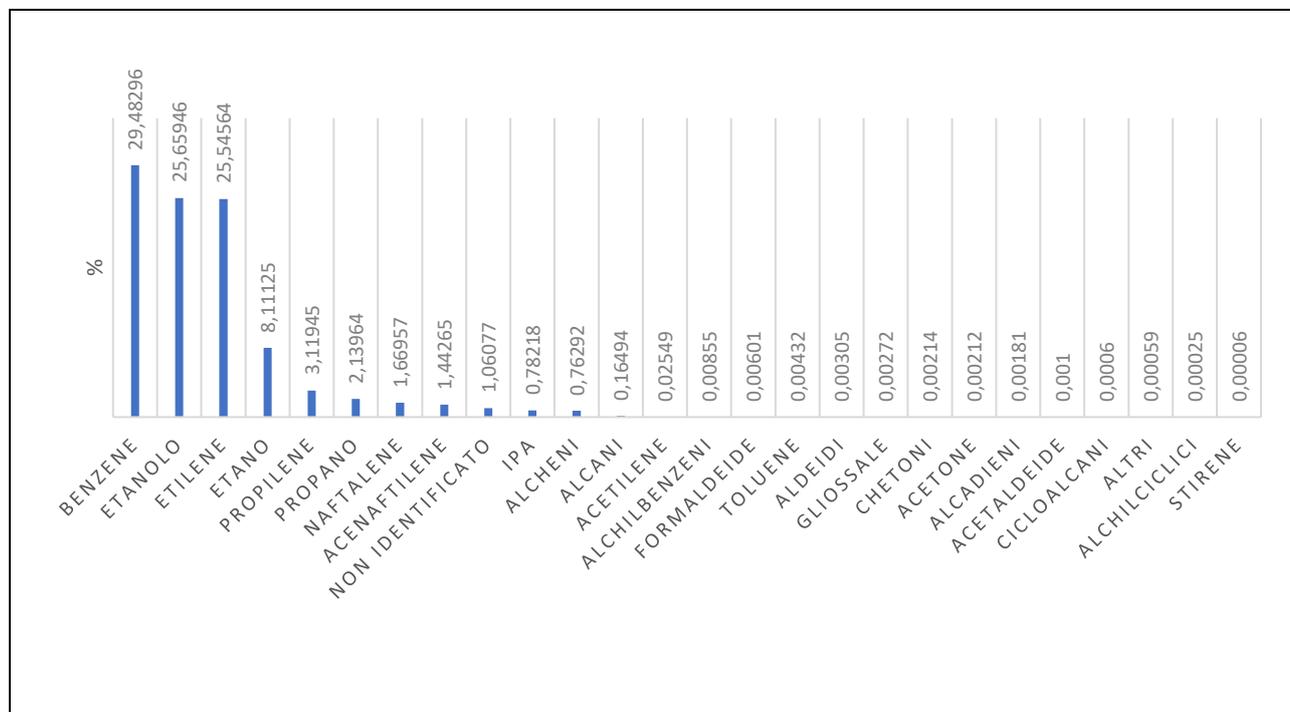


Figura 7 - Profilo di specazione medio delle emissioni di composti organici volatili non metanici dal Macrosettor 2 nella regione Marche

3.2 Metano e composti organici non volatili COVNM

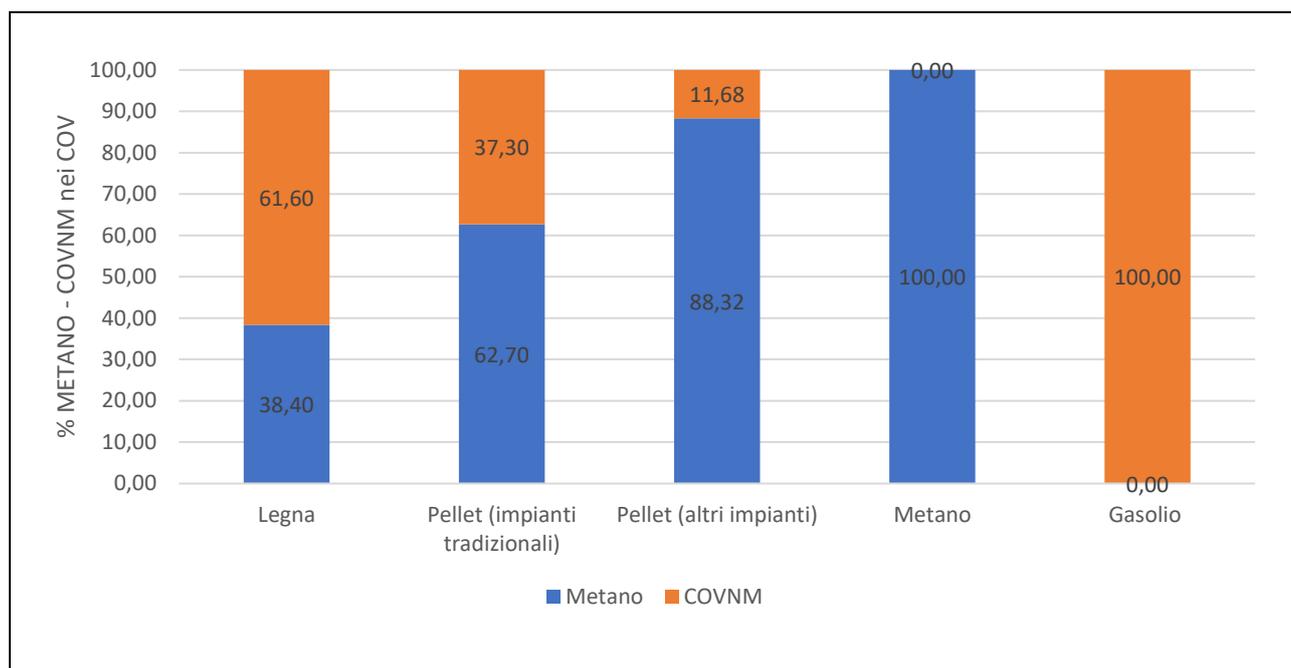


Figura 8 - Valori percentuali del metano e dei composti organici volatili non metanici (COVNM) presenti nei composti organici volatili rilasciati dai combustibili impiegati nel Macrosettore 2

Tabella 7 - Emissioni di metano a livello provinciale, suddivise per tipo di combustibile impiegato nel Macrosettore 2

Emissioni Metano [kg]	Legna	Pellet (impianti tradizionali)	Pellet (altri impianti)	Metano	Gasolio	TOTALE [kg]
Pesaro-Urbino	310581,08	776,45	491,33	72655,58	-	384504,45
Ancona	396917,77	992,29	627,91	112169,54	-	510707,51
Macerata	254486,40	636,21	402,59	61051,78	-	316576,98
Ascoli Piceno	167103,01	417,76	264,35	38479,87	-	206264,99
Fermo	136085,01	340,21	215,28	30290,96	-	166931,46
TOTALE	1265173,27	3162,92	2001,46	314647,73	-	1584985,38

Tabella 8 - Emissioni di COVNM a livello provinciale, suddivise per tipo di combustibile impiegato nel Macrosettore 2

Emissioni COVNM [kg]	Legna	Pellet (impianti tradizionali)	Pellet (altri impianti)	Metano	Gasolio	TOTALE [kg]
Pesaro-Urbino	498223,82	461,99	64,95	-	310,62	499061,39
Ancona	636722,26	590,42	83,00	-	316,65	637712,34
Macerata	408238,60	378,55	53,22	-	167,11	408837,48
Ascoli Piceno	268061,08	248,57	34,95	-	111,71	268456,30
Fermo	218303,03	202,43	28,46	-	0,13	218534,04
TOTALE	2029548,79	1881,96	264,58	-	906,21	2032601,54

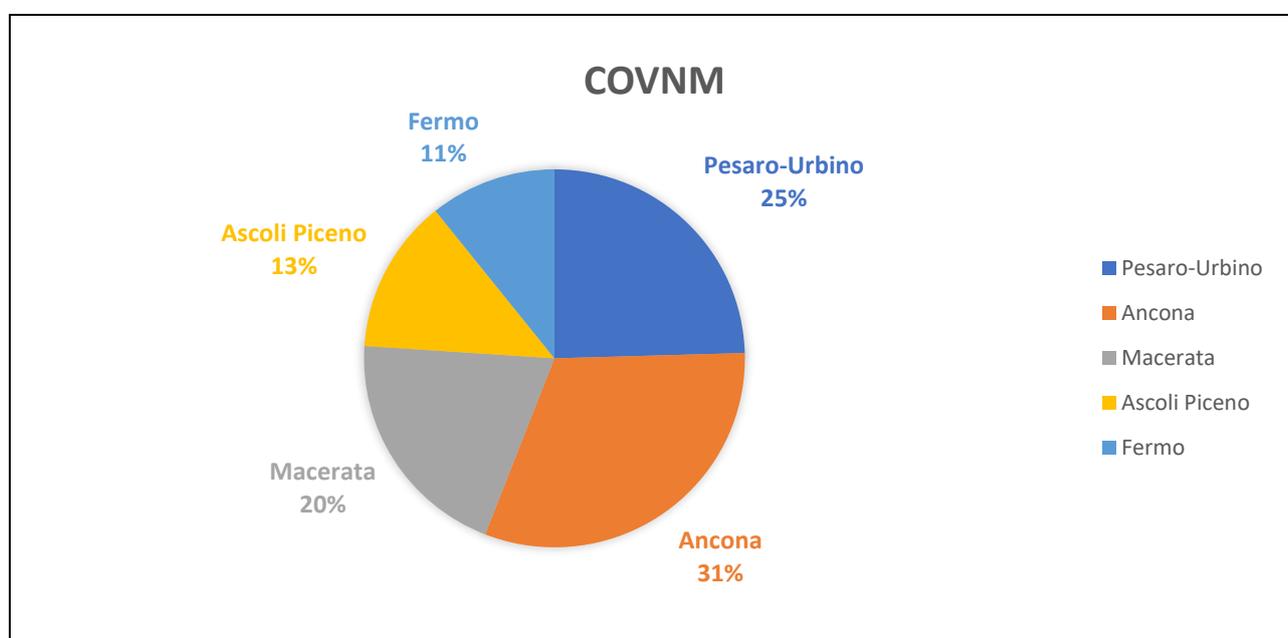


Figura 9 - Percentuale dei COVNM emessi dal Macrosettore 2 delle province sul totale della regione Marche

I combustibili e le tecnologie di combustione considerate per il Macrosettore 2 comportano emissioni di composti organici volatili non metanici (COVNM) dell'ordine 2×10^6 kg nella regione Marche. In ogni provincia marchigiana l'intervallo di queste emissioni è compreso tra $2,1 \times 10^6$ kg e $6,4 \times 10^6$ kg. Nella quasi totalità il combustibile responsabile delle emissioni di COVNM nella regione Marche, in riferimento al Macrosettore 2, è la legna [tab.8].

Ancona è la provincia che emette più COVNM a livello regionale, emettendo il 31% delle emissioni totali, a seguire vi sono la provincia di Pesaro-Urbino col 25% e la provincia di Macerata col 20%,

mentre le ultime province a contribuire alle emissioni di COVNM sono Ascoli Piceno con il 13% e Fermo col 11% [fig.9].

Dalla immagine Fig.8 si rileva che l'impiego del metano come combustibile comporta la presenza esclusiva del metano stesso nei composti organici volatili, mentre tutti i composti organici volatili emessi dalla combustione del gasolio sono non metanici. L'impiego di impianti effettuanti una combustione ad alto carico del pellet riduce la proporzione dei COVNM in confronto all'utilizzo dei corrispettivi impianti tradizionali. La scelta di legna come combustibile rispetto al pellet comporta un incremento notevole della presenza di COVNM nei COV.

3.3 Etanolo

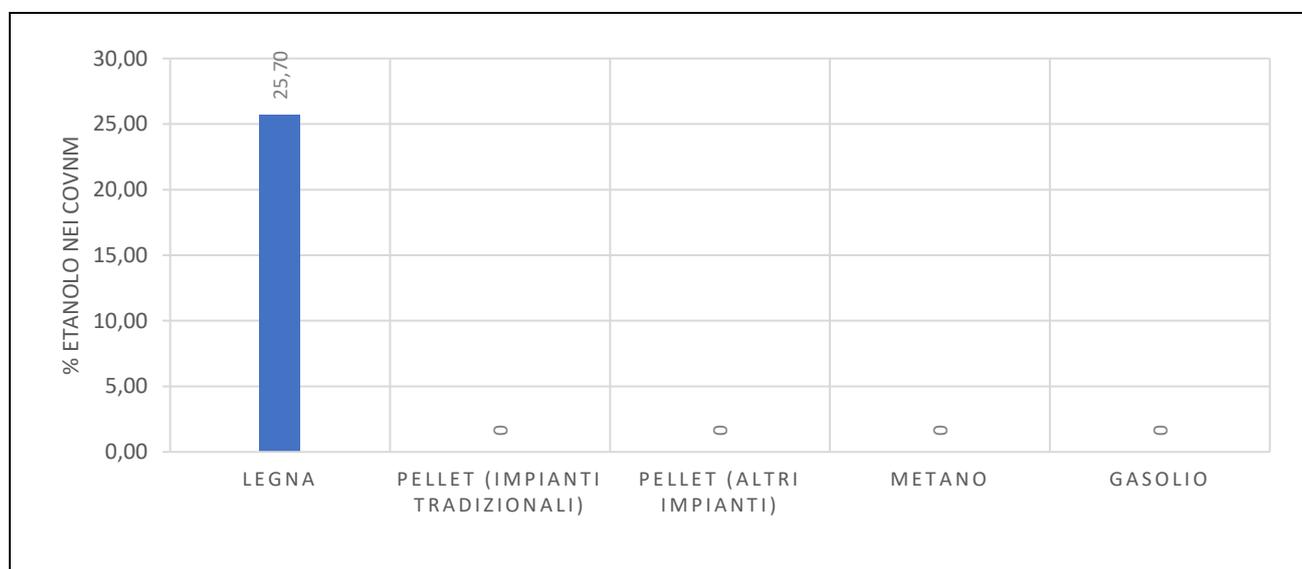


Figura 10 - Valori percentuali di etanolo presente nei composti organici volatili non metanici rilasciati dai combustibili impiegati nel Macrosettore 2

Tabella 9 - Emissioni di etanolo a livello provinciale, suddivise per tipo di combustibile impiegato nel Macrosettore 2 nella regione Marche

Emissioni Etanolo [kg]	Legna	Pellet (impianti tradizionali)	Pellet (altri impianti)	Metano	Gasolio	TOTALE [kg]
Pesaro-Urbino	128033,82	-	-	-	-	128033,82
Ancona	163625,22	-	-	-	-	163625,22
Macerata	104909,37	-	-	-	-	104909,37
Ascoli Piceno	68886,48	-	-	-	-	68886,48
Fermo	56099,63	-	-	-	-	56099,63
TOTALE	521554,50	-	-	-	-	521554,50

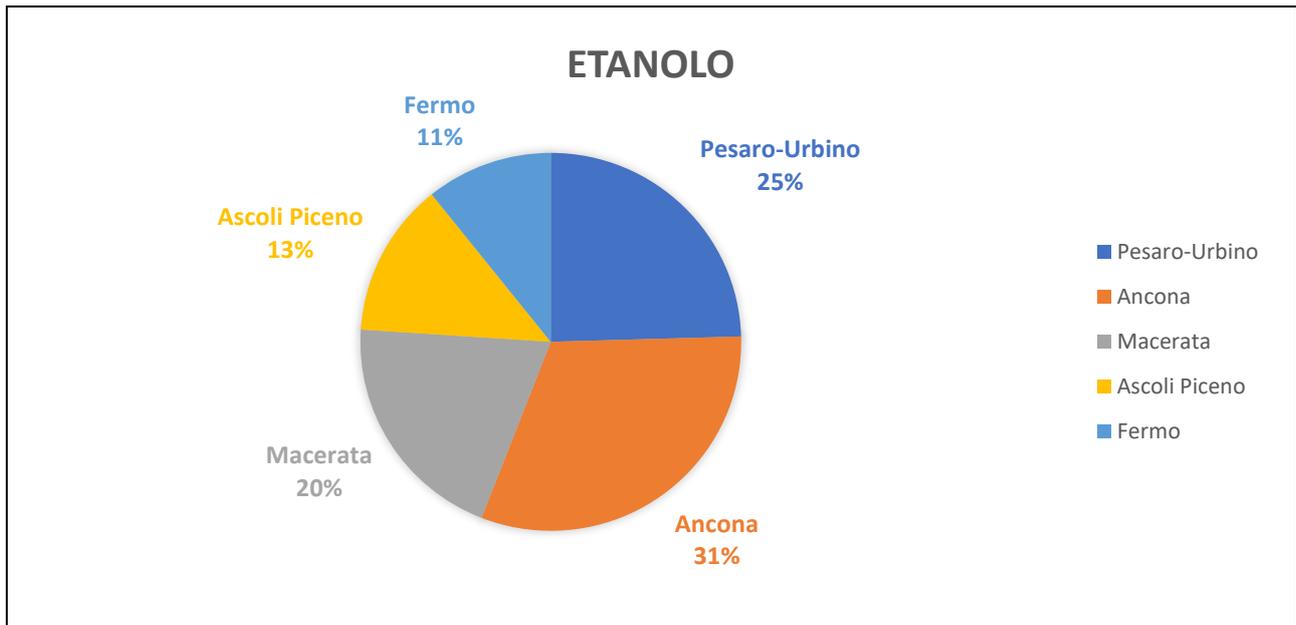


Figura 11 - Percentuale etanolo emesso dal Macrosettor 2 delle province sul totale della regione Marche

Tra i combustibili e le tecnologie di combustione considerate per il Macrosettor 2, solo il combustibile legna rilascia emissioni di etanolo, il quale costituisce circa un quarto dei composti organici volatili non metanici emessi dalla sua combustione [fig.10].

Nella regione Marche, associata al Macrosettor 2, l'emissione di etanolo è dell'ordine di $5,2 \times 10^5$ kg. A livello provinciale le emissioni sono comprese nell'intervallo tra $5,6 \times 10^4$ kg e $16,4 \times 10^4$ kg [tab.9]. La provincia che apporta un maggior contributo alle emissioni regionali di etanolo è quella di Ancona (31%), il secondo maggior contributo è invece realizzato dalla provincia di Pesaro-Urbino (25%) e la provincia che rilascia il minor quantitativo del composto è Fermo (11%) [fig. 11].

3.4 Aldeidi: acetaldeide e formaldeide

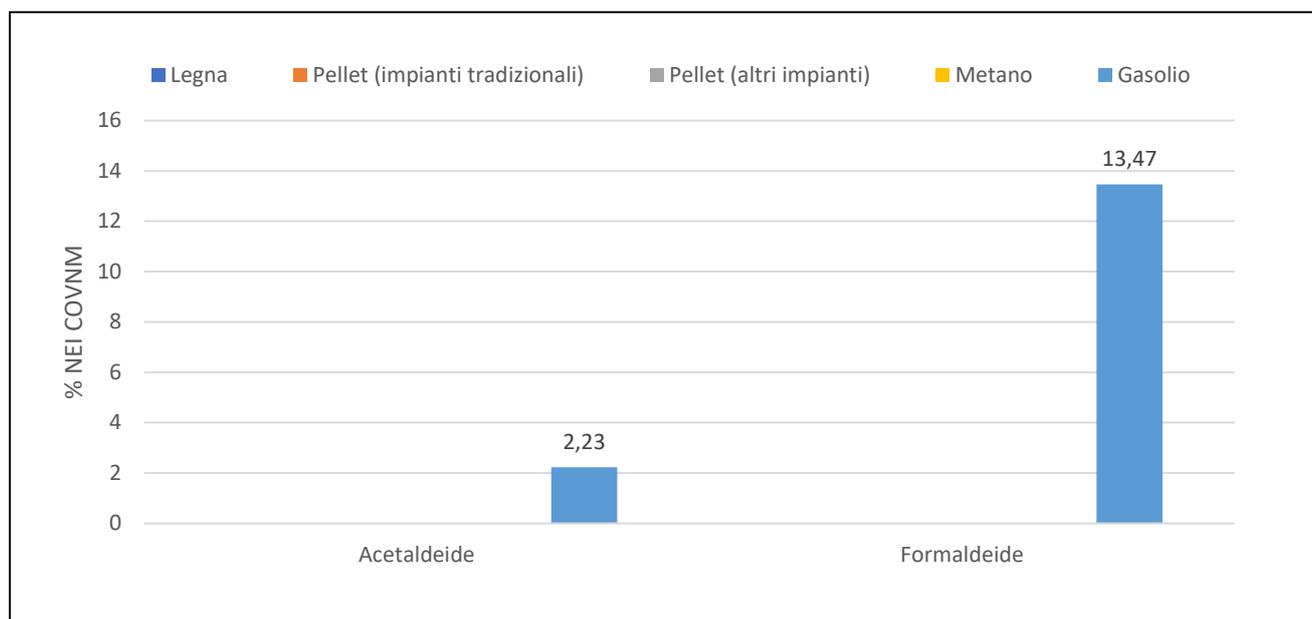


Figura 12 - Valori percentuali di acetaldeide e formaldeide presenti nei composti organici volatili non metanici rilasciati dai combustibili impiegati nel Macrosettore 2

Tabella 10 - Emissioni di acetaldeide e formaldeide a livello provinciale, suddivise per tipo di combustibile impiegato nel Macrosettore 2 nella regione Marche

	Legna		Pellet (impianti tradizionali)		Pellet (altri impianti)		Metano		Gasolio		TOTALE [kg]	
	Acet aldei de [kg]	Form aldei de [kg]	Acet aldei de [kg]	Form aldei de [kg]	Acet aldei de [kg]	Form aldei de [kg]	Acet aldei de [kg]	Form aldei de [kg]	Acet aldei de [kg]	Form aldei de [kg]	Acet aldei de [kg]	Form aldei de [kg]
Pes ar o- Urbi no	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,04	0,01	0,04
Anc ona	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,04	0,01	0,04
Mac erat a	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,02	0,00	0,02
Asc oli Pice no	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,02	0,00	0,02
Fer mo	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
TOT ALE	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,12	0,02	0,12

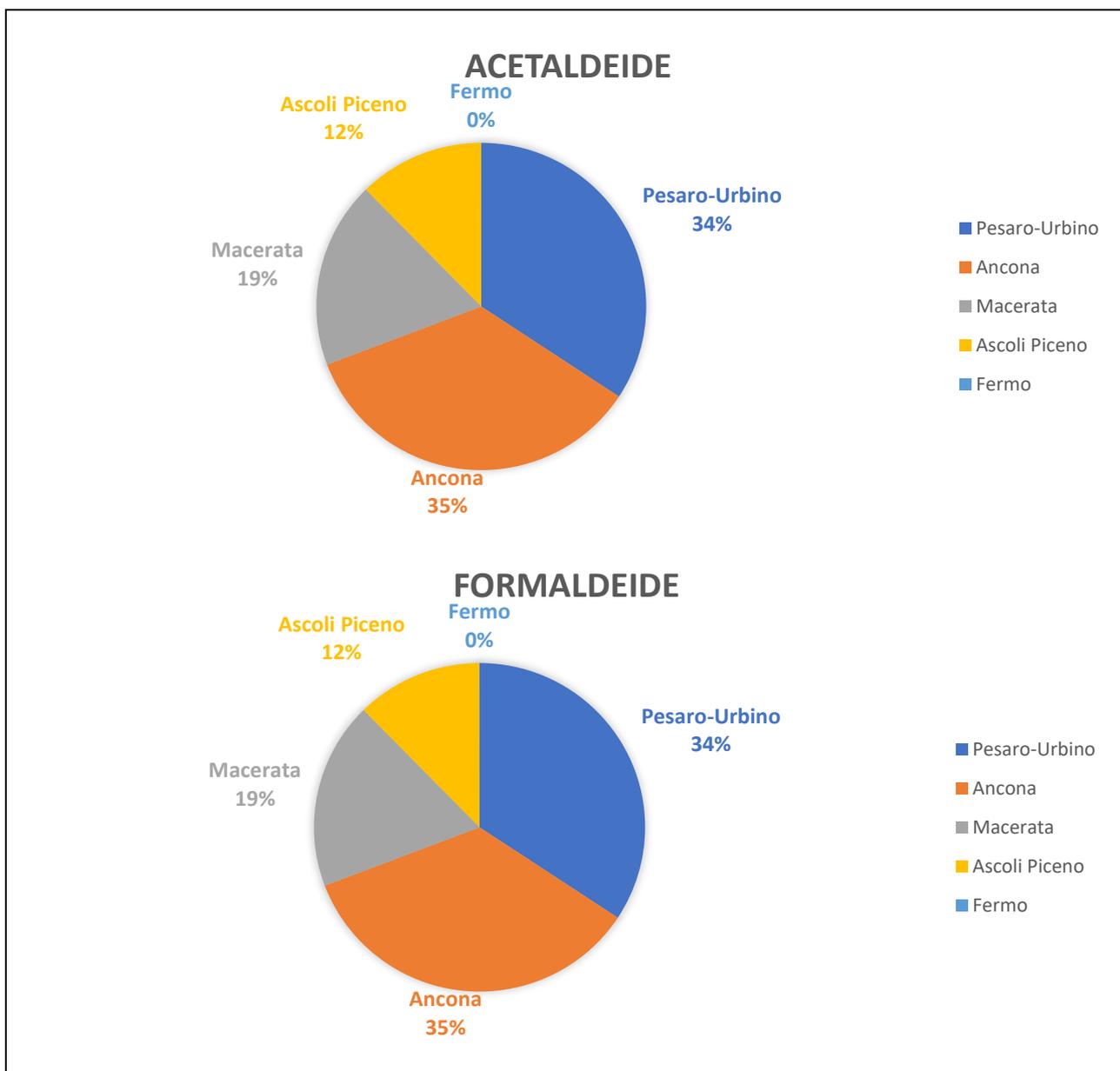


Figura 13 - Percentuali acetaldeide e formaldeide emessi dal Macrosettore 2 delle province sul totale della regione Marche

Nell'ambito di applicazione del Macrosettore 2 le emissioni di acetaldeide e formaldeide hanno origine solo dalla combustione del gasolio. L'emissione di formaldeide è circa 6 volte superiore a quella dell'acetaldeide [fig. 12].

Complessivamente nella regione Marche le emissioni del Macrosettore 2 di acetaldeide e formaldeide sono rispettivamente dell'ordine di 2×10^{-2} kg e di $1,2 \times 10^{-1}$ kg. Nelle province le

emissioni di acetaldeide non superano l'ordine di 10^{-1} kg, mentre le emissioni di formaldeide non superano l'ordine dei 4×10^{-2} kg [tab.10].

Le percentuali dei contributi delle province calcolate rispetto alle emissioni totali di acetaldeide e formaldeide del Macrosettore 2 della regione Marche sono le stesse. Le province che emettono il maggior quantitativo di queste aldeidi sono quelle di Ancona (35%) e di Pesaro-Urbino (34%). La provincia di Macerata è responsabile di un contributo pari al 19% delle emissioni, mentre la provincia di Ascoli Piceno contribuisce nella misura del 12%. L'apporto della provincia di Fermo alle emissioni regionali di acetaldeide e formaldeide è pressoché nullo [fig. 13].

3.5 Acetone

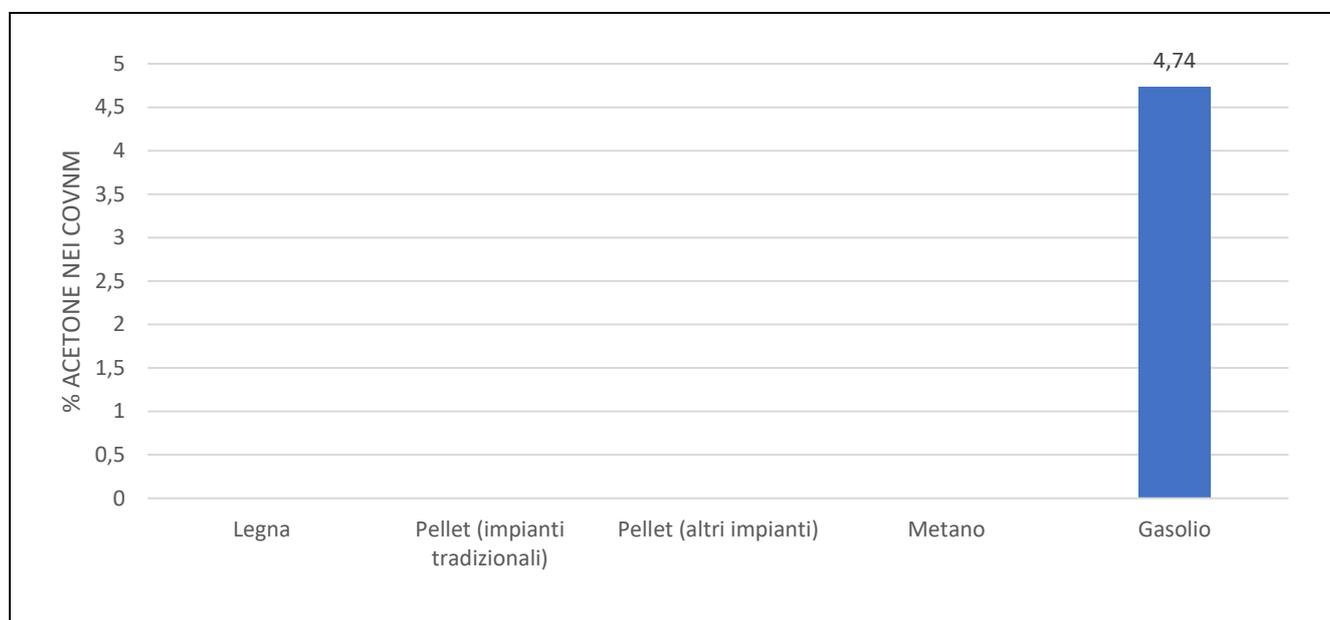


Figura 14 - Valori percentuali di acetone presente nei composti organici volatili non metanici rilasciati dai combustibili impiegati nel Macrosettore 2

Tabella 11 - Emissioni di acetone a livello provinciale, suddivise per tipo di combustibile impiegato nel Macrosettore 2

Emissioni Acetone [kg]	Legna	Pellet (impianti tradizionali)	Pellet (altri impianti)	Metano	Gasolio	TOTALE [kg]
Pesaro-Urbino	-	-	-	-	0,01	0,01
Ancona	-	-	-	-	0,02	0,02
Macerata	-	-	-	-	0,01	0,01
Ascoli Piceno	-	-	-	-	0,01	0,01
Fermo	-	-	-	-	0,00	0,00
TOTALE	-	-	-	-	0,04	0,04

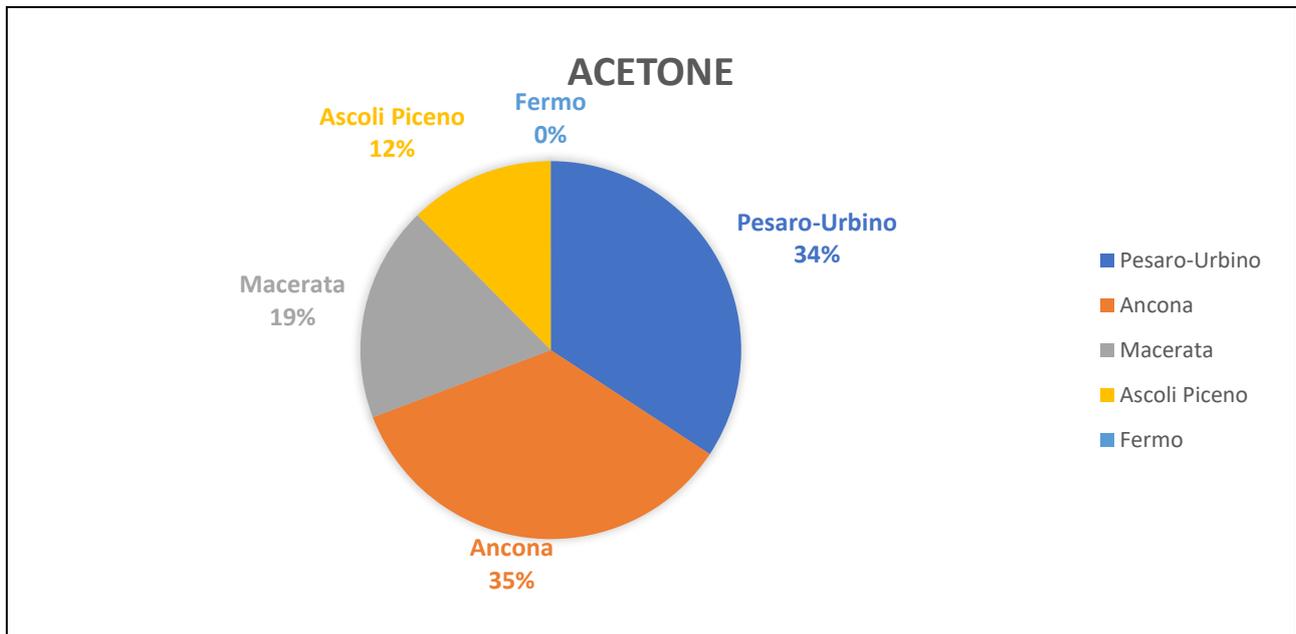


Figura 15 - Percentuale acetone emesso dal Macrosettor 2 delle province sul totale della regione Marche

Tra i combustibili e le tecnologie di combustione considerate per il Macrosettor 2, l'unico combustibile che emette acetone è il gasolio. La percentuale di acetone presente nei composti organici volatili non metanici emessi dalla combustione del gasolio è di circa il 5% [fig.14].

Nella regione Marche le emissioni del Macrosettor 2 di acetone sono dell'ordine di 4×10^{-2} kg, mentre le emissioni provinciali non superano l'ordine dei 2×10^{-2} kg. Nella provincia di Fermo la produzione dell'acetone è nell'ordine dei milligrammi [tab.11].

Le province che più contribuiscono alle emissioni regionali di acetone sono quelle di Ancona (35%) e di Pesaro-Urbino (34%). Anche le province di Macerata e Ascoli Piceno forniscono un discreto contributo, rispettivamente con un apporto del 19% e del 12%, mentre Fermo è la provincia la cui partecipazione alle emissioni regionali di acetone è approssimabile allo 0% [fig.15].

3.6 Benzene

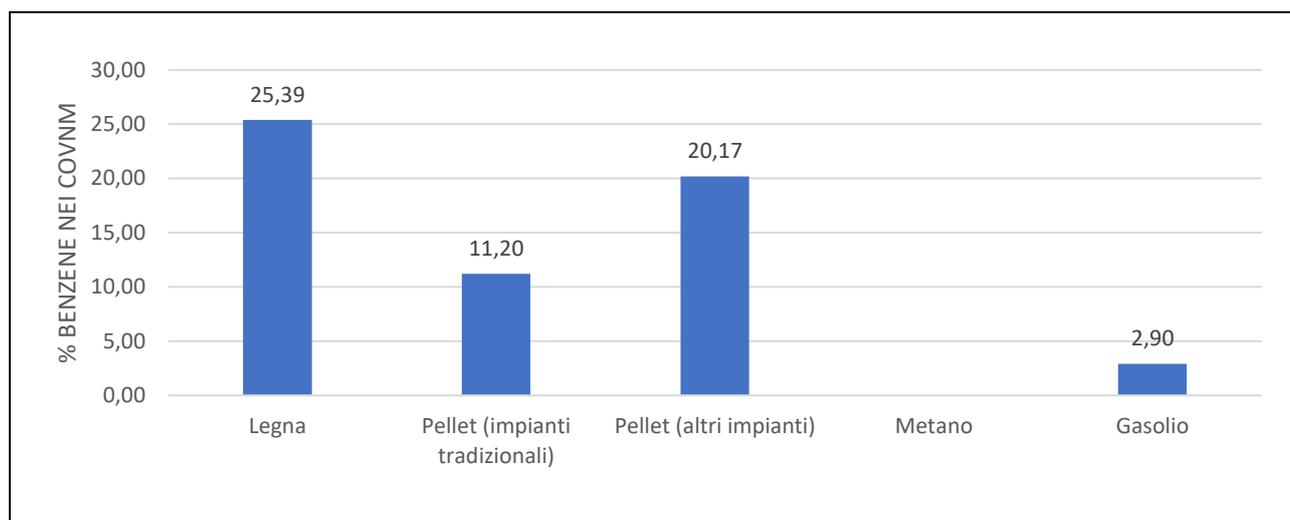


Figura 16 - Valori percentuali del benzene presente nei composti organici volatili non metanici rilasciati dai combustibili impiegati nel Macrosettor 2

Tabella 12 - Emissioni di benzene a livello provinciale, suddivise per tipo di combustibile impiegato nel Macrosettor 2 nella regione Marche

Emissioni Benzene [kg]	Legna	Pellet (combustione tradizionale)	Pellet (combustione innovativa)	Metano	Gasolio	TOTALE [kg]
Pesaro-Urbino	147040,73	51,76	13,10	-	9,00	147114,60
Ancona	187915,76	66,15	16,74	-	9,17	188007,83
Macerata	120483,40	42,41	10,74	-	4,84	120541,40
Ascoli Piceno	79112,83	27,85	7,05	-	3,24	79150,97
Fermo	64427,74	22,68	5,74	-	0,00	64456,17
TOTALE	598980,47	210,86	53,37	-	26,25	599270,96

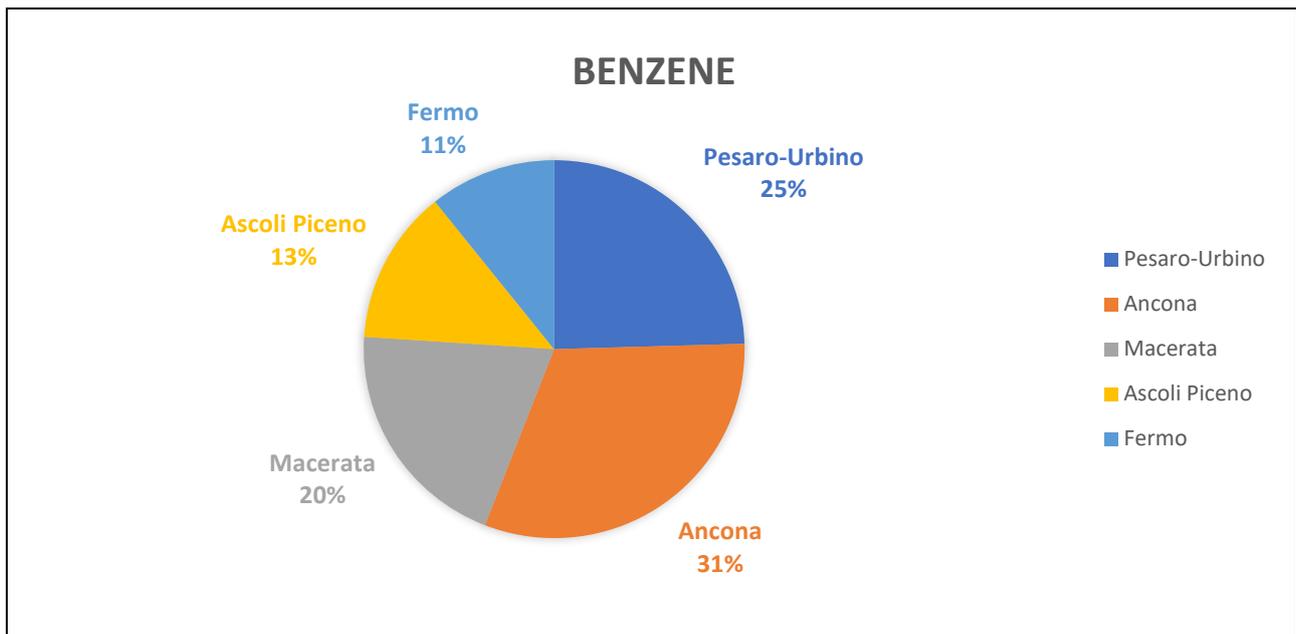


Figura 17 - Percentuale benzene emesso dal Macrosettor 2 delle province sul totale della regione Marche

Tra i combustibili e le tecnologie di combustione considerate per il Macrosettor 2, si rileva l'assenza del contributo della combustione del metano alle emissioni di benzene, mentre il combustibile che, a parità di emissione di composti organici volatili non metanici, rilascia il maggior quantitativo di benzene nell'atmosfera è la legna.

In relazione ai composti organici volatili non metanici, una combustione di pellet tramite impianti ad alto carico contiene una maggior percentuale di benzene rispetto alla combustione di pellet effettuata in un impianto tradizionale che procede a basso carico [fig.16]. In valori assoluti nella regione Marche gli impianti tradizionali pellet producono un maggior quantitativo di benzene rispetto agli altri impianti. Nella regione le emissioni di benzene sono dell'ordine di 6×10^5 kg, mentre a livello provinciale sono comprese nell'intervallo tra $6,4 \times 10^4$ kg e 19×10^4 kg [tab.12].

Ancona è la provincia che emette più benzene a livello regionale con un contributo pari al 31% delle emissioni totali, a seguire vi sono la provincia di Pesaro-Urbino col 25% e la provincia di Macerata col 20%, mentre il minor apporto viene emesso dalla provincia di Fermo col 11% [fig.17].

3.7 Benzo(a)pirene e altri idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

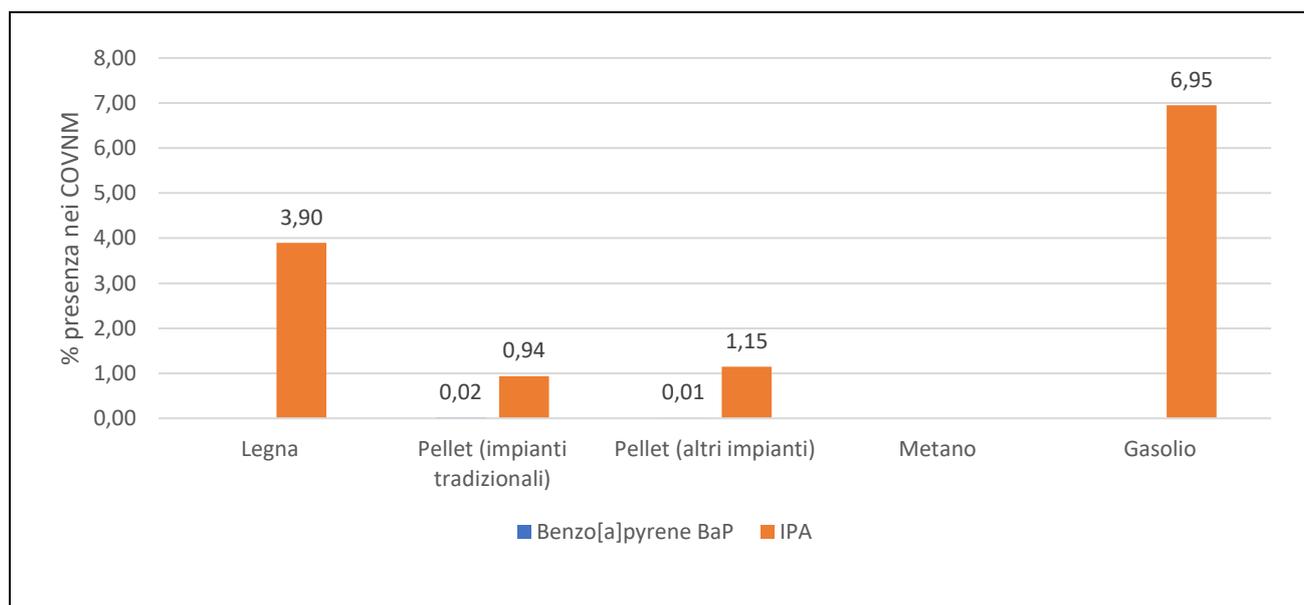


Figura 18 - Valori percentuali del benzo(a)pirene e degli altri idrocarburi policiclici aromatici (IPA) presenti nei composti organici volatili non metanici rilasciati dai combustibili impiegati nel Macrosettore 2

Tabella 13 - Emissioni di Benzo(a)pirene e altri IPA a livello provinciale, suddiviso per tipo di combustibile impiegato nel Macrosettore 2 nella regione Marche

	Legna		Pellet (impianti tradizionali)		Pellet (altri impianti)		Metano		Gasolio		TOTALE [kg]	
	B(a)P [kg]	Altri IPA [kg]	B(a)P [kg]	Altri IPA [kg]	B(a)P [kg]	Altri IPA [kg]	B(a)P [kg]	Altri IPA [kg]	B(a)P [kg]	Altri IPA [kg]	B(a)P [kg]	Altri IPA [kg]
Pesaro-Urbino	-	19411,32	0,10	4,32	0,00	0,74	-	-	-	21,60	0,11	19437,98
Ancona	-	24807,36	0,13	5,53	0,00	0,95	-	-	-	22,02	0,14	24835,85
Macerata	-	15905,40	0,08	3,54	0,00	0,61	-	-	-	11,62	0,09	15921,17
Ascoli Piceno	-	10443,94	0,05	2,33	0,00	0,40	-	-	-	7,77	0,06	10454,43
Fermo	-	8505,31	0,04	1,89	0,00	0,33	-	-	-	0,01	0,05	8507,54
TOTALE	-	79073,33	0,42	17,61	0,02	3,03	-	-	-	63,00	0,43	79156,98

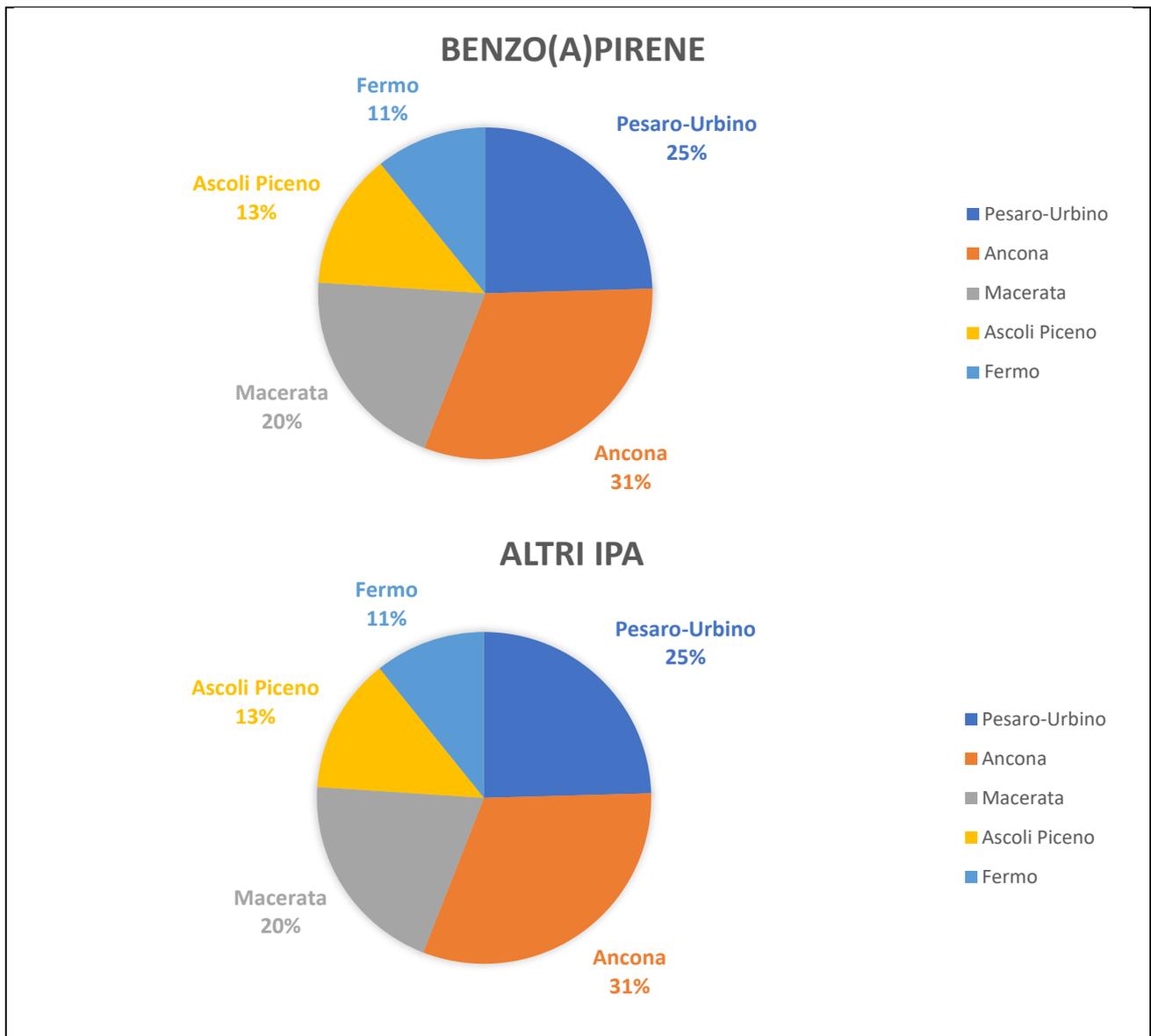


Figura 19 - Percentuali benzo(a)pirene e degli altri idrocarburi policiclici aromatici (IPA) emessi dal Macrosettore 2 delle province sul totale della regione Marche

Tra i combustibili e le tecnologie di combustione considerate per il Macrosettore 2, si rileva che il combustibile con maggiore presenza di idrocarburi policiclici aromatici nelle emissioni di composti organici volatili non metanici è il gasolio, mentre il benzo(a)pirene risulta solo dalla combustione di pellet, con maggiore presenza negli impianti tradizionali. La combustione di metano non comporta alcuna emissione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Le emissioni di IPA rilasciate dalla combustione di legna e gasolio non includono il benzo(a)pirene [fig.18].

Le emissioni di benzo(a)pirene (BaP) sono nell'ordine di 10^{-1} kg in ogni provincia delle Marche. Complessivamente, il Macrosettore 2 emette BaP nell'intervallo 0,05—0,14 kg. Le emissioni degli

altri idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono in tutta la regione dell'ordine di 8×10^4 kg, con le emissioni provinciali che sono comprese nell'intervallo tra $8,5 \times 10^3$ kg e 25×10^3 kg [tab.13].

Le percentuali dei contributi delle province calcolate rispetto alle emissioni totali di benzo(a)pirene e degli altri IPA del Macrosettore 2 della regione Marche sono le stesse. Le province che emettono il maggior quantitativo di idrocarburi policiclici aromatici sono quelle di Ancona (31%) e di Pesaro-Urbino (25%). Le province di Macerata, Ascoli Piceno e Fermo apportano rispettivamente un contributo pari al 20%, 13% e 11% [fig. 19].

3.8 Alcani

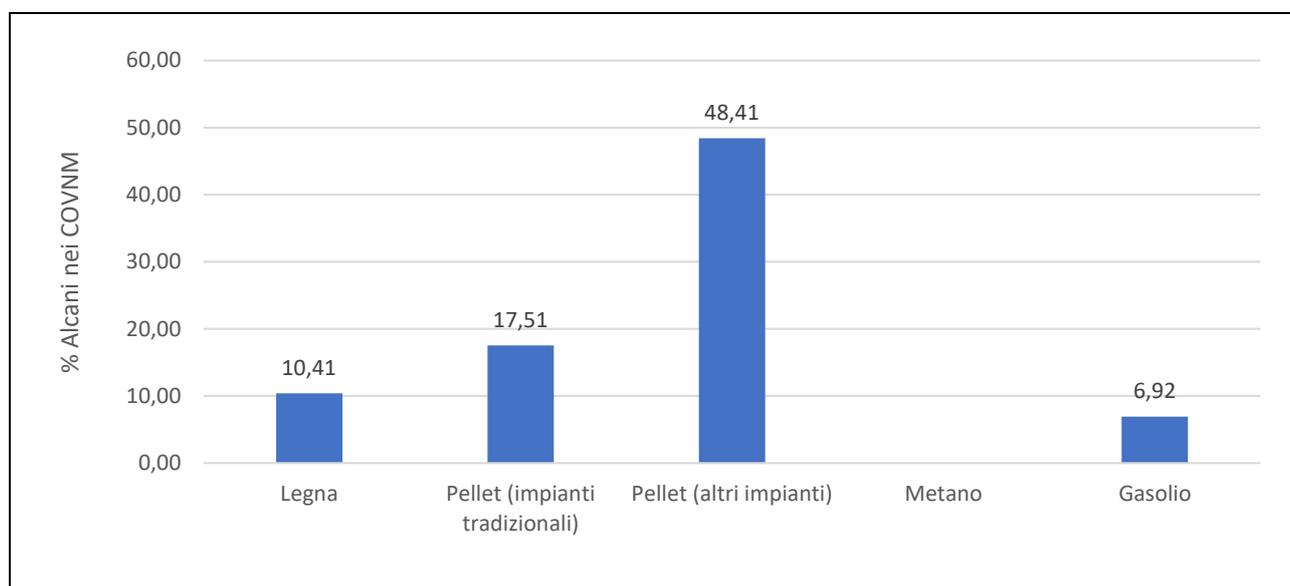


Figura 20 - Valori percentuali degli alcani presenti nei composti organici volatili non metanici rilasciati dai combustibili impiegati nel Macrosettore 2

Tabella 14 - Emissioni di alcani a livello provinciale, suddiviso per tipo di combustibile impiegato nel Macrosettore 2 nella regione Marche

Emissioni Alcani [kg]	Legna	Pellet (impianti tradizionali)	Pellet (altri impianti)	Metano	Gasolio	TOTALE [kg]
Pesaro-Urbino	51844,39	80,91	31,44	0,00	21,51	51978,26
Ancona	66256,33	103,41	40,19	0,00	21,93	66421,85
Macerata	42480,67	66,30	25,77	0,00	11,57	42584,31
Ascoli Piceno	27894,02	43,53	16,92	0,00	7,73	27962,21
Fermo	22716,27	35,45	13,78	0,00	0,01	22765,51
TOTALE	211191,68	329,61	128,09	0,00	62,75	211712,14

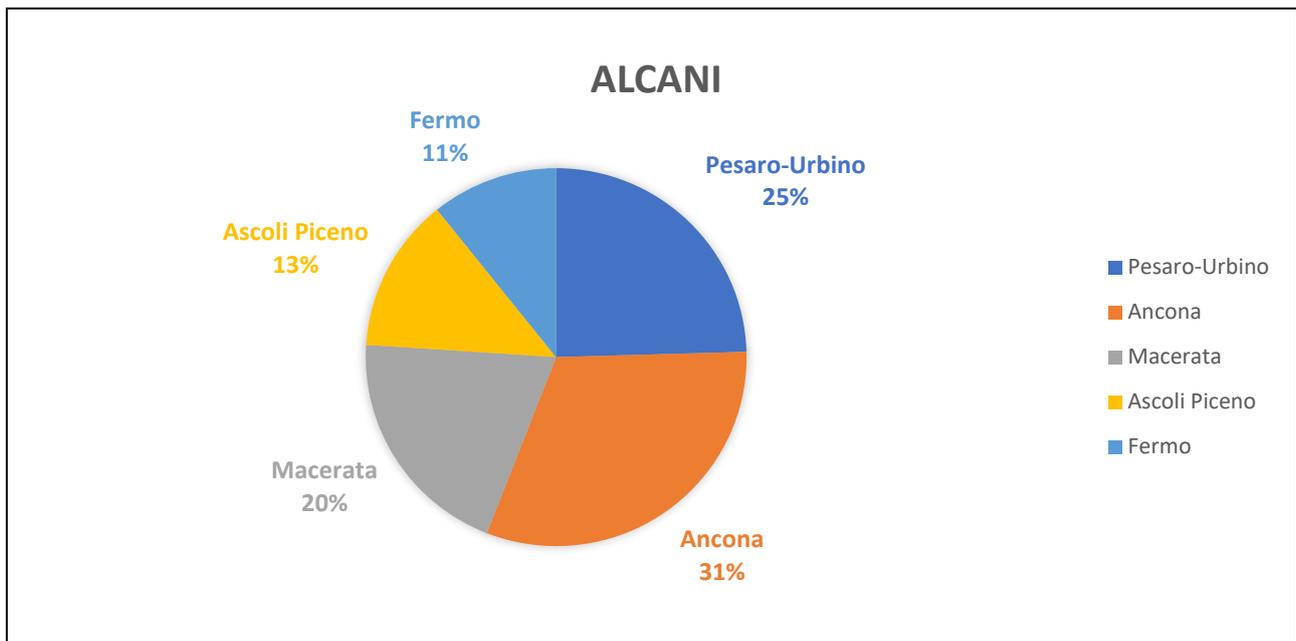


Figura 21 - Percentuale alcani emessi dal Macrosettor 2 delle province sul totale della regione Marche

Tra i combustibili e le tecnologie di combustione considerate per il Macrosettor 2, si rileva l'assenza del contributo della combustione del metano alle emissioni degli alcani appartenenti ai composti organici volatili non metanici, mentre il combustibile che, a parità di emissione di COVNM, rilascia il maggior quantitativo di alcani nell'atmosfera è il pellet, specificando che la sua combustione in impianti ad alto carico produce una maggior percentuale di alcani rispetto alla combustione effettuata in un impianto tradizionale che procede a basso carico [fig.20].

In valori assoluti, nella regione Marche, gli impianti tradizionali per la combustione di pellet producono un maggior quantitativo di benzene rispetto agli altri impianti. In totale le emissioni di alcani sono dell'ordine di $2,1 \times 10^5$ kg, mentre le emissioni provinciali sono comprese nell'intervallo tra $2,2 \times 10^4$ kg e $6,7 \times 10^4$ kg. [tab.14].

Ancona è la provincia che emette più alcani a livello regionale, partecipando per il 31% alle emissioni totali; a seguire vi sono la provincia di Pesaro-Urbino col 25% e la provincia di Macerata col 20%, mentre il minor contributo viene fornito dalla provincia di Fermo col 11% [fig.21].

3.9 Alcheni

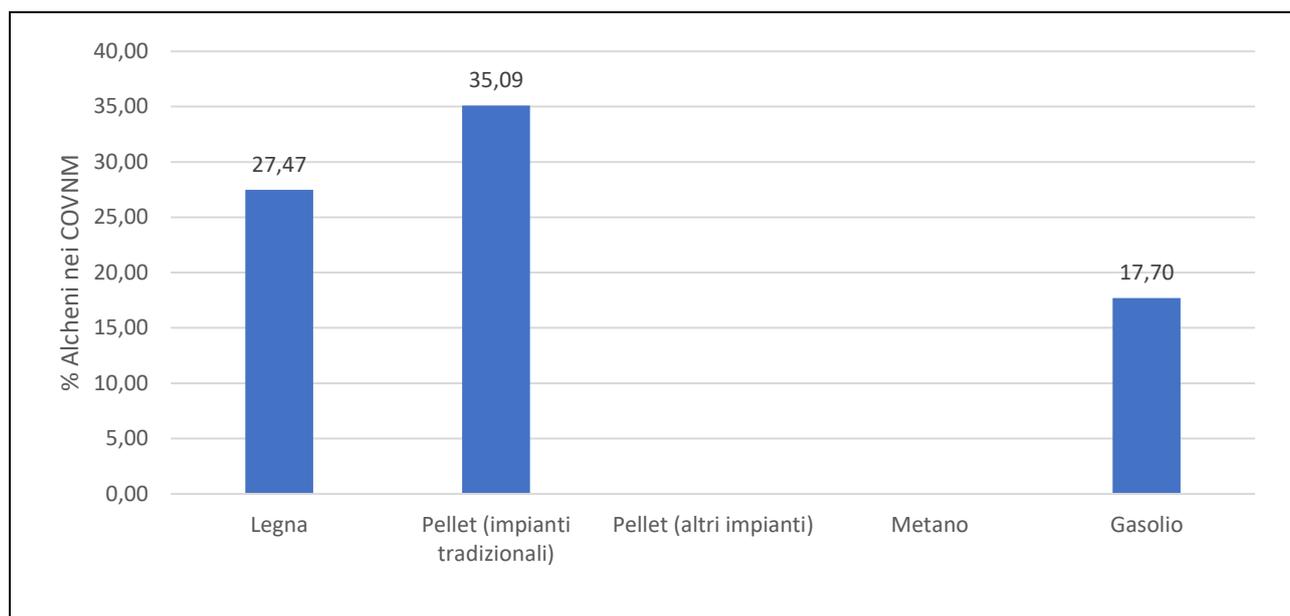


Figura 22 - Valori percentuali degli alcheni presenti nei composti organici volatili non metanici rilasciati dai combustibili impiegati nel Macrosettore 2

Tabella 15 - Emissioni di alcheni a livello provinciale, suddiviso per tipo di combustibile impiegato nel Macrosettore 2 nella regione Marche

Emissioni Alcheni [kg]	Legna	Pellet (impianti tradizionali)	Pellet (altri impianti)	Metano	Gasolio	TOTALE [kg]
Pesaro-Urbino	146636,33	162,10	-	-	54,99	146853,42
Ancona	187398,94	207,16	-	-	56,06	187662,16
Macerata	120152,04	132,82	-	-	29,58	120314,45
Ascoli Piceno	78895,25	87,22	-	-	19,78	79002,24
Fermo	64250,55	71,03	-	-	0,02	64321,60
TOTALE	597333,11	660,33	-	-	160,43	598153,87

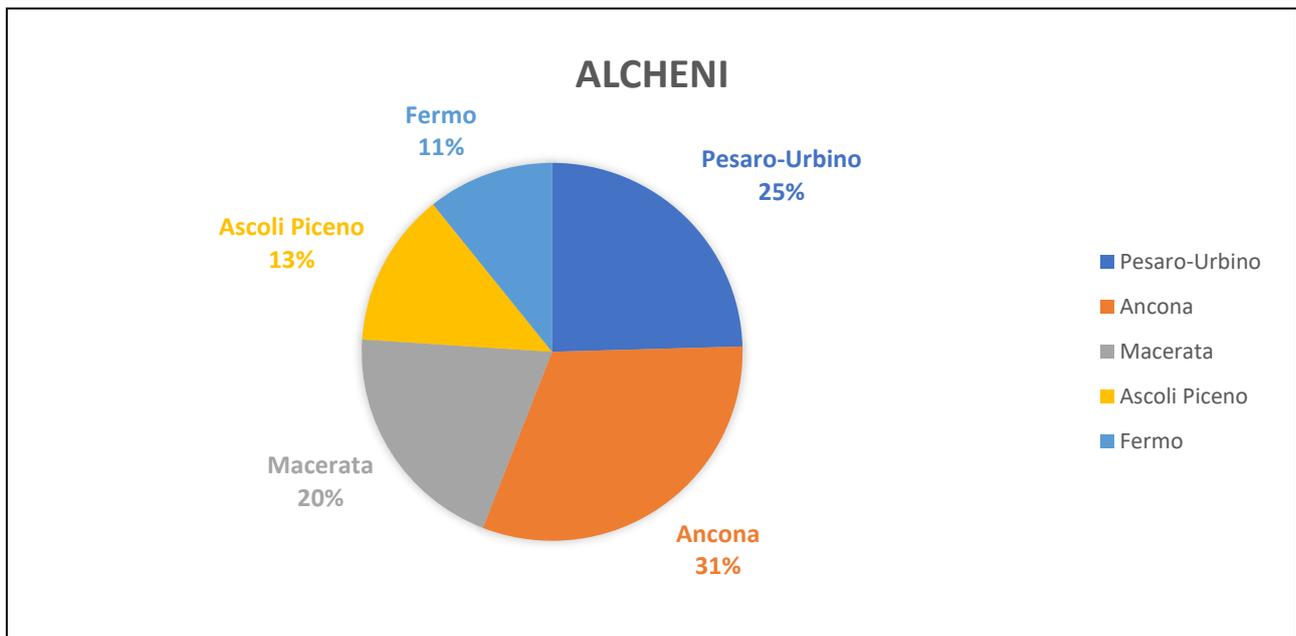


Figura 23 - Percentuale alcheni emessi dal Macrosettor 2 delle province sul totale della regione Marche

Tra i combustibili e le tecnologie di combustione considerate per il Macrosettor 2, si rileva che, a parità di emissione di COVNM, la combustione del pellet in impianti ad alto carico (definiti nel grafico fig.22 come *altri impianti*) produce il maggior quantitativo di alcheni, mentre la combustione del metano e la combustione del pellet in impianti tradizionali non contribuiscono alle emissioni di alcheni nell'atmosfera [fig.22].

In valori assoluti, nella regione Marche la combustione di legna è la principale responsabile delle emissioni totali di alcheni, che sono dell'ordine di 6×10^5 kg, mentre le emissioni provinciali sono comprese nell'intervallo tra $6,4 \times 10^4$ kg e $18,8 \times 10^4$ kg. [tab.15].

La provincia di Ancona emette il 31% delle emissioni totali della regione Marche, a seguire vi sono la provincia di Pesaro-Urbino col 25% e la provincia di Macerata col 20%, mentre il minor contributo viene fornito dalla provincia di Fermo col 11% [fig.23].

3.10 Alchini

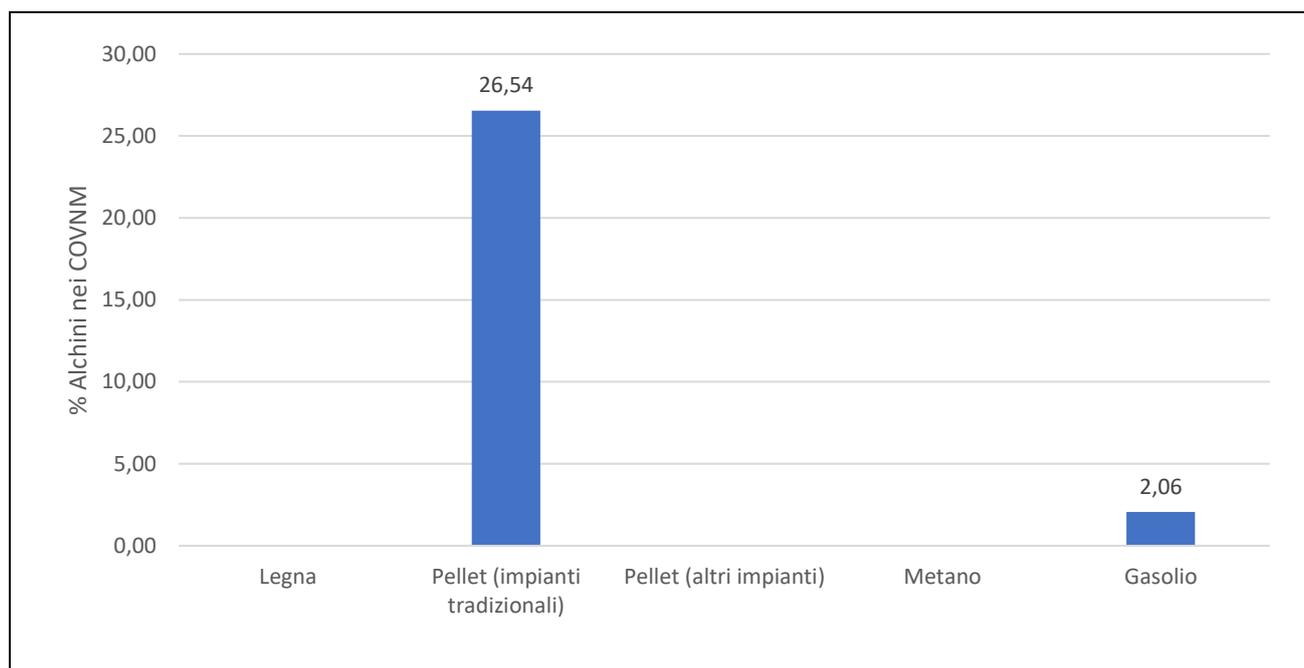


Figura 24 - Valori percentuali degli alchini presenti nei composti organici volatili non metanici rilasciati dai combustibili impiegati nel Macrosettore 2

Tabella 16 - Emissioni di alchini a livello provinciale, suddiviso per tipo di combustibile impiegato nel Macrosettore 2 nella regione Marche

Emissioni Alchini [kg]	Legna	Pellet (impianti tradizionali)	Pellet (altri impianti)	Metano	Gasolio	TOTALE [kg]
Pesaro-Urbino	-	122,60	-	-	6,40	129,00
Ancona	-	156,68	-	-	6,52	163,20
Macerata	-	100,45	-	-	3,44	103,90
Ascoli Piceno	-	65,96	-	-	2,30	68,26
Fermo	-	53,72	-	-	0,00	53,72
TOTALE	-	499,41	-	-	18,67	518,08

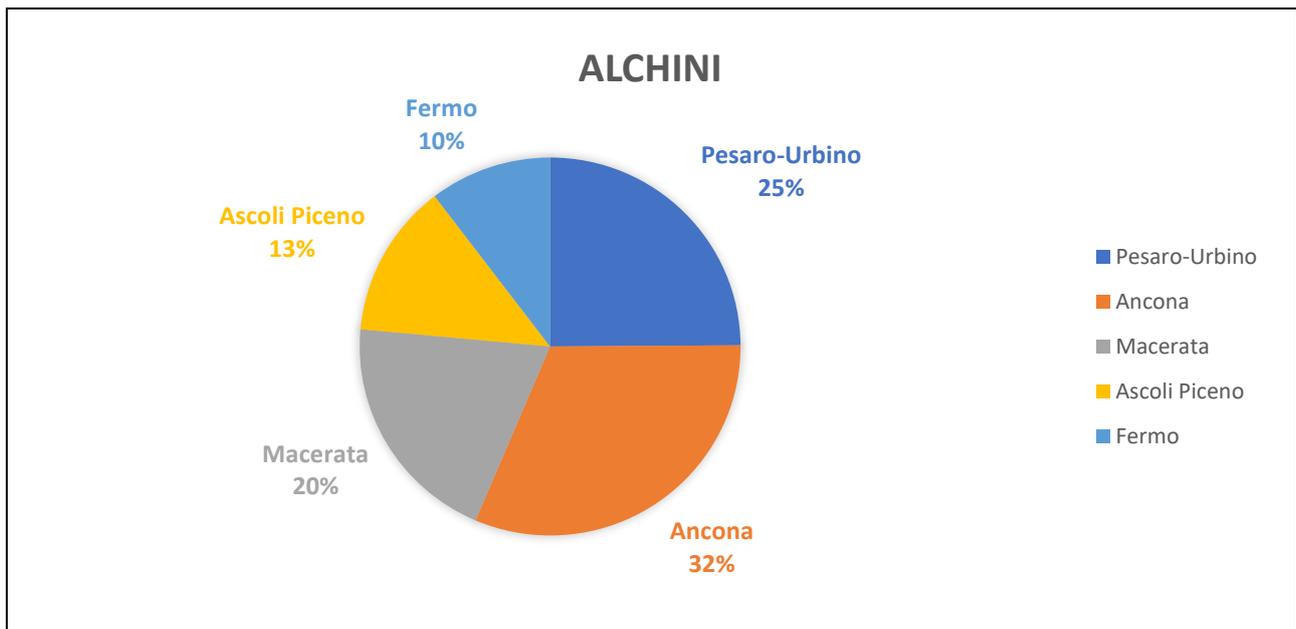


Figura 25 - Percentuale alchini emessi dal Macrosettor 2 delle province sul totale della regione Marche

Tra i combustibili e le tecnologie di combustione considerate per il Macrosettor 2, si rileva che solo la combustione di pellet in impianti tradizionali e la combustione di gasolio rilasciano alchini nell'atmosfera e che, a parità di emissione di COVNM, la combustione del pellet produce un maggior quantitativo di alchini rispetto agli impianti a gasolio [fig.24].

Anche in valori assoluti, nella regione Marche, la combustione del pellet è la principale responsabile delle emissioni totali di alchini, che sono dell'ordine di $5,2 \times 10^2$ kg, mentre le emissioni provinciali sono comprese nell'intervallo tra $5,3 \times 10$ kg e $16,4 \times 10$ kg [tab.15].

La provincia di Ancona emette il 32% delle emissioni totali della regione Marche, a seguire vi è la provincia di Pesaro-Urbino col 25%, mentre il minor contributo viene fornito dalla provincia di Fermo col 10% [fig.25].

4. Conclusioni

A partire dalle emissioni dei composti organici volatili (COV) attribuite alla regione Marche generate dagli impianti residenziali appartenenti al Macrosettore 2, è stata effettuata la speciazione chimica dei composti utilizzando la versione n. 5 del database Speciate, un software realizzato dall'EPA (Agenzia statunitense per la protezione dell'ambiente), che raccoglie i profili di speciazione delle principali fonti di inquinamento.

Seppur appartenente ai combustibili utilizzati dagli impianti residenziali del Macrosettore 2, in questo elaborato si è dovuta escludere la speciazione dei gas di petrolio liquefatti (GPL), in quanto non risultano studi sul profilo di speciazione per la combustione del GPL per riscaldamento residenziale.

Ciascun profilo di speciazione contiene in misura percentuale le specie chimiche appartenenti ai COV. Queste percentuali sono state poi moltiplicate per le emissioni di COV di ciascun impianto e per ciascun comune della regione Marche.

È stata realizzata una distinzione tra il metano e i composti organici volatili non metanici (COVNM) per ciascuna tipologia di impianto, poiché il metano non partecipa alla formazione di inquinamento secondario essendo inerte alle reazioni fotochimiche. Sono stati poi calcolati in valori assoluti la loro presenza nelle province marchigiane.

Il presente elaborato si è poi focalizzato su quelle specie chimiche presenti in maggiore quantità che sono state identificate rilevanti per i loro effetti sulla salute umana e sull'ambiente.

Per ciascuno di questi composti è stato realizzato un grafico che confronta le loro percentuali di composizione dei COVNM per ciascuna tipologia di impianto. Inoltre, in termini di valore assoluto, sono poi state calcolate le loro quantità in peso rilasciate da ciascuna provincia marchigiana, da cui poi è stato possibile ricavare la percentuale dei loro contributi alle emissioni totali della regione.

Dall'analisi dei risultati si è constatato che, dato che la combustione della legna è la principale responsabile delle emissioni di COVNM della regione nel Macrosettore 2, i composti chimici appartenenti al suo profilo di speciazione sono quelli più influenti sul profilo di speciazione medio e quelli più presenti in valore assoluto nelle province. Infatti, la combustione di legna emette annualmente 2029,55 t di COVNM, di cui 211,19 t di alcani, 597,33 t di alcheni, 79,07 t di idrocarburi

policiclici aromatici, 598,98 t di benzene e 521,55 t di etanolo. Non partecipa invece alle emissioni di alchini, aldeidi e acetone.

La combustione di gasolio emette annualmente 906,21 kg di COVNM, di cui: 63,00 kg di idrocarburi policiclici aromatici, 26,25 kg di benzene, 62,75 kg di alcani, 160,43 kg di alcheni, 18,67 kg di alchini, 0,02 kg di acetaldeide, 0,12 kg di formaldeide e 0,04 kg di acetone. Non partecipa alle emissioni di etanolo della regione Marche.

È stato possibile comparare due tipologie di impianto per uno stesso combustibile, ovvero la combustione del pellet da impianti a basso carico (definiti *impianti tradizionali*) e impianti ad alto carico (definiti *altri impianti*). Gli impianti tradizionali rilasciano annualmente nella regione Marche 1881,96 kg di COVNM, di cui: 329,61 kg di alcani, 660,33 kg di alcheni, 499,41 kg di alchini, 210,86 kg di benzene, 0,42 kg di Benzo(a)pirene e 17,61 kg degli altri idrocarburi policiclici aromatici. Gli altri impianti rilasciano annualmente nella regione Marche 264,58 kg di COVNM, di cui: 128,09 kg di alcani, 53,37 kg di benzene, 0,02 kg di Benzo(a)pirene e 3,03 kg degli altri IPA. Entrambe le tipologie di impianto non emettono etanolo, aldeidi e acetone. Gli impianti che effettuano una combustione ad altro carico del pellet sono inoltre esenti dalle emissioni di alcheni e alchini.

In riferimento alla partecipazione delle provincie alle emissioni totali di COVNM della regione Marche si constata che la provincia di Ancona emette il maggior numero di inquinanti, infatti emette il 31% dei COVNM, come anche per l'etanolo, per il benzene, per gli idrocarburi policiclici aromatici, per gli alcani e gli alcheni. Maggiore è la sua partecipazione nelle emissioni di formaldeide, acetaldeide e acetone nella misura del 35% e nelle emissioni di alchini per il 32%.

La provincia di Pesaro-Urbino partecipa alle emissioni regionali per il 25% per quanto riguarda le emissioni di COVNM, etanolo, benzene, IPA, alcani, alcheni e alchini. Il suo massimo contributo lo fornisce per le emissioni di acetaldeide, formaldeide e acetone (34%).

La provincia di Macerata contribuisce alle emissioni di COVNM, etanolo, benzene, IPA, alcani, alcheni ed alchini per il 20%. Leggermente inferiore è il suo apporto (19%) per le emissioni di acetaldeide, formaldeide e acetone.

La provincia di Ascoli Piceno emette il 13% delle emissioni regionali di COVMNM, etanolo, benzene, IPA, alcani, alcheni e alchini. Mentre per le emissioni di acetaldeide, formaldeide e acetone il suo contributo è pari al 12%.

Fermo è la provincia che contribuisce meno a tutte le emissioni regionali, infatti emette l'11% delle emissioni di COVNM, etanolo, benzene, IPA, alcani e alcheni. Inoltre, emette il 10% delle emissioni degli alchini e il suo contributo è praticamente nullo per le emissioni regionali di acetone, formaldeide e acetaldeide.

5. Bibliografia e Sitografia

- [1] ANPA, “Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente,” *Rti Ctn_Ssc 3/2001*, 2001.
- [2] G. Regionale, “P iano di R isanamento e M antenimento della Q ualità dell ’ A ria A mbiente Inventario delle emissioni in atmosfera,” pp. 1–176.
- [3] “Inemar.” [Online]. Available: <http://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/InemarDatiWeb/Cos%27è+un+inventario+delle+emissioni>.
- [4] NSW Gov, “Methane Fact Sheet,” pp. 1–5, 2017.
- [5] A. G. Department of Agriculture, Water and the Environment, “Ethanol (ethyl alcohol) | National Pollutant Inventory.” [Online]. Available: <http://www.npi.gov.au/resource/ethanol-ethyl-alcohol>.
- [6] A. Government, “National Pollutant Inventory - Formaldehyde,” no. January 2007, 2009.
- [7] A. G. Department of Agriculture, Water and the Environment, “Acetaldehyde | Australian National Pollutant Inventory.” [Online]. Available: <http://www.npi.gov.au/resource/acetaldehyde>.
- [8] A. G. Department of Agriculture, Water and the Environment, “Acetone | Australian National Pollutant Inventory.” [Online]. Available: <http://www.npi.gov.au/resource/acetone>.
- [9] “Composti Organici Volatili (COV) e Idrocarburi.” [Online]. Available: http://www.dsa.unipr.it/trezzo/uni_parma/capitoli/inquinanti/cov_e_idrocarburi.htm.
- [10] H. Simon *et al.*, “The development and uses of EPA’s SPECIATE database,” *Atmos. Pollut. Res.*, vol. 1, no. 4, pp. 196–206, 2010, doi: 10.5094/APR.2010.026.
- [11] F. Divita and Y. Hsu, “SPECIATE Report,” no. June, 2019.