



Ricerca di Sistema elettrico

Indagine sui fattori di emissione della combustione delle biomasse negli impianti per nZEB

Luciano Terrinoni, Domenico Iatauro, Antonio Panvini

INDAGINE SUI FATTORI DI EMISSIONE DELLA COMBUSTIONE DELLE BIOMASSE NEGLI IMPIANTI PER NZEB

Luciano Terrinoni, Domenico Iatauro (ENEA)
Antonio Panvini (CTI)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici (scuole, ospedali, uffici della PA centrale e locale mirata a conseguire il raggiungimento della definizione di edifici a energia quasi zero (nZEB)

Obiettivo: Le criticità nella progettazione e realizzazione di interventi di riqualificazione a nZEB: implicazioni pratiche, normative e legislative. Indagine sui fattori di emissione della combustione delle biomasse negli impianti per nZEB

Responsabile scientifico: ing. Luciano Terrinoni

Lo studio presentato in questo rapporto è, parzialmente, frutto della collaborazione di ENEA e CTI nell'ambito di un contratto di ricerca finanziato da ENEA con risorse differenti da quelle della Ricerca di Sistema Elettrico. È pubblicato unicamente nell'ambito della RdS Elettrico.

INDAGINE SUI FATTORI DI EMISSIONE DELLA COMBUSTIONE DELLE BIOMASSE NEGLI IMPIANTI PER NZEB

Executive summary

Il presente rapporto contiene le risultanze dello studio eseguito sul tema “INDAGINE SUI FATTORI DI EMISSIONE DELLA COMBUSTIONE DELLE BIOMASSE NEGLI IMPIANTI PER NZEB”. Esso descrive quanto raccolto da una survey delle informazioni attualmente disponibili in letteratura sui fattori di emissione nei principali Paesi europei.

Il lavoro, in questa prima fase, è stato condotto con l’obiettivo principale di individuare possibili elementi utili per un ulteriore approfondimento in materia al fine ultimo di supportare il legislatore nelle scelte legate al ruolo che la combustione della biomassa legnosa deve e/o può avere nel contesto dell’obbligatorio ricorso alle FER richiesto dal quadro legislativo nazionale per gli edifici NZEB.

A tale scopo sono state analizzate le principali fonti istituzionali di dati relativi sia al consumo di biomassa legnosa, sia ai fattori di emissione e si è cercato di individuarne gli aspetti critici.

L’indagine ha permesso di ricavare informazioni relative ai seguenti Paesi:

- Paesi scandinavi
- Regno Unito
- Irlanda
- Svizzera
- Germania e Austria
- Croazia, Slovenia, Slovacchia, Romania
- Polonia
- Olanda.
-

Conclusioni

Le principali conclusioni che si ricavano dall’indagine svolta sono le seguenti:

- a) esiste una moltitudine di fonti e di dati relativi ai fattori di emissione, ma ripercorrendo la storia che ha portato al singolo valore in Paesi diversi si arriva frequentemente ad una fonte iniziale comune e risalente a parecchi anni addietro; questo che potrebbe indicare come il tema a volte, soprattutto nei Paesi apparentemente meno attenti al problema, sia stato affrontato senza la necessaria scientificità oppure ricorrendo a prove puntuali e non inserite in un ambito scientifico condiviso.
- b) il comune denominatore di tutti gli approcci nazionali al tema è l’incertezza del dato;
- c) il dato in questione è sia quello relativo al singolo fattore di emissione, che solo in alcuni casi è corredato da informazioni statistiche sull’incertezza, sia quello, ben più impattante, relativo alla distribuzione sul territorio delle singole tecnologie di combustione e del relativo consumo associato;
- d) il valore del fattore di emissione, inteso come quantità in massa di inquinante per unità di energia prodotta dalla specifica tecnologia, sembra infatti essere il dato più attendibile tra quelli citati. Rimane però ancora aperto il problema delle differenti fonti disponibili e della loro scelta;
- e) il valore del dato di consumo di biomassa associato alla singola tecnologia è invece l’elemento più critico dell’equazione prevista dalla EEA nel recente “Air pollutant emission inventory guidebook 2016” e abbondantemente utilizzata a riferimento dalla maggior parte dei Paesi Europei. Poiché le decisioni politiche relative alla gestione della FER biomassa nel complesso quadro della prestazione energetica

degli edifici, da ultimi gli NZEB, passano necessariamente da una conversione del fattore di emissione specifico in un dato quantitativo assoluto di emissione di inquinante per settore produttivo, commerciale, di utilizzo, si rileva che sia proprio questo il nodo da risolvere e il reale elemento di discussione con le parti interessate per rendere il processo più condiviso e realmente efficace.

Raccomandazioni e ulteriori possibili sviluppi dello studio

Le risultanze emerse portano a invitare ad un secondo anno di attività che, tramite una condivisione degli obiettivi del lavoro con le principali associazioni e istituti di ricerca, approfondisca proprio il tema delle tecnologie disponibili, della loro classificazione, della loro clusterizzazione ai fini della conversione in valori assoluti di consumo.

Per quanto riguarda invece il valore dei fattori di emissione potrebbe essere opportuno, sempre mediante lo strumento della concertazione, giungere ad una scelta condivisa del fattore di emissione più rappresentativo per singola tecnologia. Permanendo contrasti su questo aspetto, potrebbe essere utile definire un protocollo di prova condiviso da tutti gli operatori ai fini della redazione della norma UNI 10389-2 “Misurazioni in campo - Generatori di calore - Parte 2: Apparecchi alimentati a biocombustibile solido non polverizzato”, ma finalizzato ad individuare il fattore di emissione “nazionale” da impiegare ai fini delle scelte politiche di settore. Inoltre si ravvisa come potrebbe essere utile capire come l’evoluzione della tecnologia consenta di diminuire il divario tra i fattori rilevati in laboratorio e quelli rilevati in campo, con l’obiettivo ultimo di selezionare un percorso evolutivo per l’intero comparto che rappresenta una risorsa, riconosciuta, per l’intero Paese.

Sommario

1	Premessa	6
2	Indagine sui fattori di emissione della combustione delle biomasse negli impianti per nZEB .7	
2.1	Inquadramento legislativo.....	7
2.2	Analisi delle fonti dati relative al parco installato di dispositivi a biomassa	11
2.3	Analisi delle fonti dati relative ai fattori di emissione dei dispositivi a biomassa	13
2.3.1	Agenzia Europea per l’Ambiente	16
2.3.2	Fattori di emissione da bibliografia secondo EEA 2016.....	27
2.3.3	ISPRA.....	31
2.3.4	INNOVHUB SSI SSC – Stazione Sperimentale per i Combustibili	32
2.3.5	Inventario INEMAR ARPA Lombardia	33
2.3.6	Progetto AIRUSE (Spagna, Portogallo, Grecia)	33
2.4	Approfondimento sull’approccio seguito da alcuni Paesi per la scelta e gestione dei fattori di emissione da combustione di biomassa.....	36
2.4.1	Paesi scandinavi.....	36
2.4.2	Regno Unito	39
2.4.3	Irlanda.....	41
2.4.4	Svizzera	42
2.4.5	Germania e Austria	43
2.4.6	Croazia, Slovenia, Slovacchia, Romania.....	44
2.4.7	Polonia	44
2.4.8	Olanda.....	45

1 Premessa

L'attuale legislazione in materia di prestazioni energetiche degli edifici prevede il ricorso a quote specifiche di FER per il rispetto dei livelli prestazionali minimi per gli edifici nuovi e per le ristrutturazioni degli edifici esistenti. Questo obbligo è ovviamente più significativo quando si parla di edifici NZeb.

In questo contesto, tra le FER applicabili vi è la combustione della biomassa legnosa per la climatizzazione invernale.

In estrema sintesi è necessario però evidenziare come tale settore sia caratterizzato da due aspetti in contrasto tra loro. La generazione di calore tramite combustione di biomassa legnosa presenta dei vantaggi significativi per il raggiungimento degli obiettivi comunitari in termini di riduzione di CO₂, ma al contempo può comportare delle ricadute ambientali significative sulla qualità dell'aria in particolar modo nel caso dei dispositivi domestici di piccola taglia.

Il settore può essere esemplificativamente caratterizzato da due macro categorie di impianti:

- impianti termici e/o di teleriscaldamento di media/grande potenza che, grazie all'inquadramento legislativo in materia di qualità dell'aria, vive minime, se non nulle, criticità da questo punto di vista;
- dispositivi domestici o condominiali di medio/piccola taglia, largamente presenti in tutto il territorio nazionale che sono oggetto di posizioni contrastanti sia nell'attuale mercato sia nel quadro legislativo nazionale vigente, pur considerando l'evoluzione tecnologia degli ultimi anni che mira a ridurre le criticità.

La legislazione in materia di prestazioni energetiche degli edifici di fatto promuove la diffusione di questo tipo di generatori per il raggiungimento delle soglie di FER nell'edificio; a questo si aggiungono incentivi, tuttora regolamentati, quali il cosiddetto Ecobonus o il Conto Termico, finalizzati a favorire l'impiego di tali dispositivi per consentire il raggiungimento degli obiettivi nazionali di FER.

Esiste però una serie di documenti bibliografici, di studi scientifici e di disposizioni legislative, a volte anche contrastanti fra loro, che ne descrivono, evidenziano e/o regolamentano l'impatto ambientale, soprattutto in termini di contributo all'emissione di Particolato (PM) in atmosfera.

I riferimenti sono molti e questo rapporto intende fornirne una prima analisi. Sicuramente uno degli aspetti più critici è proprio la quantificazione del contributo al PM in atmosfera attribuibile alla combustione di biomassa legnosa. La criticità consiste, sinteticamente, nel fatto che la quantificazione si basa su due parametri di difficile valutazione: da un lato si devono ricavare specifici fattori di emissione legati anche alle modalità d'uso dei generatori e dall'altro è necessario individuare con quanta più precisione possibile il numero di dispositivi installati. Indicativamente ad oggi non esiste un approccio condiviso a questo problema da parte degli operatori, degli enti di ricerca, della Pubblica Amministrazione. Da ciò nascono diatribe e posizioni diverse non necessariamente sbagliate, ma semplicemente basate su dati ed assunzioni di partenza diversi.

Il presente rapporto rappresenta il primo risultato di una ricerca bibliografica finalizzata a fornire un supporto conoscitivo al mercato, agli operatori e in particolar modo ai "decision makers" in materia e ad avviare un percorso di condivisione volto a raccogliere informazioni sulla problematica e sulle modalità di gestione della stessa nei principali Paesi Europei o laddove (ad esempio in altri Paesi extra UE) la problematica stessa è stata affrontata.

2 Indagine sui fattori di emissione della combustione delle biomasse negli impianti per nZEB

2.1 Inquadramento legislativo

Il presente studio nasce dalla necessità di inquadrare, almeno in una prima fase, uno dei principali problemi connessi con l'utilizzo di biomasse solide combustibili per la climatizzazione invernale degli edifici che vede contrapposti due differenti aspetti.

Da un lato i vantaggi ambientali derivanti dall'impiego di una fonte rinnovabile il cui utilizzo è spesso profondamente radicato nel territorio e i connessi sistemi incentivanti che ne richiedono e favoriscono l'adozione in vari contesti tra cui spicca il cosiddetto Conto Termico di cui al DM 16 febbraio 2016 e l'obbligo di integrazione di fonti rinnovabili negli edifici secondo quanto richiesto dall'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28.

Dall'altro le criticità che presenta la combustione di biomassa solida legnosa in generatori di piccola taglia soprattutto in termini di emissioni in atmosfera di polveri sottili e che la vede oggetto di particolare attenzione da parte sia del legislatore nazionale sia di quello locale, regionale e provinciale.

Per quanto riguarda il primo aspetto si sottolinea specificatamente l'ambito disciplinato dal DLgs 28/2011. Quest'ultimo richiede come obbligo per i nuovi edifici o gli edifici sottoposti a ristrutturazioni rilevanti che gli impianti di produzione di energia termica debbano essere progettati e realizzati in modo da garantire il contemporaneo rispetto della copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e di percentuali crescenti fino al 50% della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento.

Interviene poi il DM 26 giugno 2015 *"Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici"* che all'allegato I *"Criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici"* entra nel merito degli edifici a energia quasi zero (NZeb) e al punto 3.4 stabilisce che:

Sono "edifici a energia quasi zero" tutti gli edifici, siano essi di nuova costruzione o esistenti, per cui sono contemporaneamente rispettati:

- a) tutti i requisiti previsti dalla lettera b), del comma 2, del paragrafo 3.3, determinati con i valori vigenti dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici;
- b) gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28

L'incentivazione per le fonti rinnovabili, biomasse comprese, è tema noto pertanto non si ritiene necessario approfondire ulteriormente questo aspetto se non per evidenziare che, in stretta correlazione con il tema degli NZeb, il citato Conto Termico (DM 16 febbraio 2016) prevede espressamente che "per interventi di ristrutturazione importante o riqualificazione, tali da trasformare gli edifici esistenti in edifici a energia quasi zero, si rappresenta che, al fine del rilascio dell'incentivo [...], l'attestato di prestazione energetica redatto successivamente alla realizzazione degli interventi, deve riportare la classificazione di "edificio a energia quasi zero", ovvero l'edificio deve rispettare i requisiti indicati al paragrafo 3.4, del decreto del Ministro dello sviluppo economico 26 giugno 2015 concernente le metodologie di calcolo della prestazione energetica e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici."

Per quanto riguarda invece il secondo aspetto, vale la pena analizzare, seppure brevemente e in modo non esaustivo, i principali disposti legislativi che intervengono in materia.

Il castello legislativo che disciplina la tematica degli impianti di combustione alimentati a biomasse solide, definite come "biocombustibili solidi" dalla normativa tecnica in materia e di seguito così citate, è infatti

articolato e complesso. Non è questa la sede per un approfondimento sulle definizioni di biocombustibili, ma è senz'altro opportuno rilevare come sussistano delle differenze spesso significative tra le definizioni di biomassa combustibile che si possono trovare nella legislazione di vari Paesi europei, nelle direttive EU o nella normazione tecnica di riferimento. Questo impone la necessità di adottare un approccio critico quando si analizza la legislazione in materia di combustione e di emissioni, perché non è sempre il riferimento è alla stessa qualità di biocombustibile.

La complessità della materia è ben rappresentata dall'inquadramento che ne fornisce il legislatore italiano. A livello nazionale il riferimento principale è costituito dal Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale" che, come primo passo, nell'art. 185 (Parte Quarta – Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati – Titolo I – Gestione dei Rifiuti) esclude dal campo di applicazione della disciplina dei rifiuti i materiali agricoli o forestali naturali non pericolosi destinati alle normali pratiche agricole e zootecniche o utilizzati in agricoltura, nella silvicoltura o per la produzione di energia, anche al di fuori del luogo di produzione ovvero con cessione a terzi, mediante processi o metodi che non danneggiano l'ambiente né mettono in pericolo la salute umana. Nel successivo art. 237ter "Definizioni" però precisa come tali prodotti pur rientrando nell'ampio contesto della biomassa, sono soggetti comunque all'attenzione del legislatore competente per il settore dei rifiuti. Vengono infatti definiti come rientranti nella definizione generale di "biomassa" una serie di "rifiuti" inquadrati dallo stesso Decreto in altri articoli come biomasse:

- 1) prodotti costituiti di materia vegetale di provenienza agricola o forestale, utilizzabili come combustibile per recuperarne il contenuto energetico;*
 - 2) i rifiuti seguenti:*
 - 2.1) rifiuti vegetali derivanti da attività agricole e forestali;*
 - 2.2) rifiuti vegetali derivanti dalle industrie alimentari di trasformazione, se l'energia termica generata e' recuperata;*
 - 2.3) rifiuti vegetali fibrosi della produzione di pasta di carta grezza e di produzione di carta dalla pasta, se sono coinceneriti sul luogo di produzione e se l'energia termica generata e' recuperata;*
 - 2.4) rifiuti di sughero;*
 - 2.5) rifiuti di legno, ad eccezione di quelli che possono contenere composti organici alogenati o metalli pesanti, ottenuti a seguito di un trattamento o di rivestimento inclusi in particolare i rifiuti di legno di questo genere derivanti dai rifiuti edilizi e di demolizione;*
- [...]

Saltando vari passaggi e semplificando notevolmente il quadro, si può poi richiamare l'allegato X alla parte V, Titolo II, che nella sezione 4 definisce le ormai note caratteristiche delle biomasse combustibili utilizzabili negli impianti termici civili (di qualunque classe di potenza), classificandole per tipologia e provenienza:

- a) Materiale vegetale prodotto da coltivazioni dedicate;*
 - b) Materiale vegetale prodotto da trattamento esclusivamente meccanico, lavaggio con acqua o essiccazione di coltivazioni agricole non dedicate;*
 - c) Materiale vegetale prodotto da interventi selvicolturali, da manutenzione forestale e da potatura;*
 - d) Materiale vegetale prodotto dalla lavorazione esclusivamente meccanica e dal trattamento con aria, vapore o acqua anche surriscaldata di legno vergine e costituito da cortecce, segatura, trucioli, chips, refili e tondelli di legno vergine, granulati e cascami di legno vergine, granulati e cascami di sughero vergine, tondelli, non contaminati da inquinanti;*
 - e) Materiale vegetale prodotto da trattamento esclusivamente meccanico, lavaggio con acqua o essiccazione di prodotti agricoli;*
- [...]

Purtroppo però il cerchio si chiude con l'art. 293 "Combustibili consentiti" che richiama il concetto che *"i materiali e le sostanze elencati nell'allegato X alla parte quinta [...] non possono essere utilizzati come combustibili ai sensi del presente titolo se costituiscono rifiuti ai sensi della parte quarta del presente decreto. E' soggetta alla normativa vigente in materia di rifiuti la combustione di materiali e sostanze che non sono conformi all'allegato X alla parte quinta del presente decreto o che comunque costituiscono rifiuti ai sensi della parte quarta del presente decreto."*

A complicare il quadro si deve aggiungere la normativa tecnica in materia di biocombustibili solidi, rappresentata, ad oggi dalla serie delle norme UNI EN ISO 17225:

- UNI EN ISO 17225-1:2014 - Biocombustibili solidi - Specifiche e classificazione del combustibile - Parte 1: Requisiti generali
- UNI EN ISO 17225-2:2014 - Biocombustibili solidi - Specifiche e classificazione del combustibile - Parte 2: Definizione delle classi di pellet di legno
- UNI EN ISO 17225-3:2014 - Biocombustibili solidi - Specifiche e classificazione del combustibile - Parte 3: Definizione delle classi di bricchette di legno
- UNI EN ISO 17225-4:2014 - Biocombustibili solidi - Specifiche e classificazione del combustibile - Parte 4: Definizione delle classi di cippato di legno
- UNI EN ISO 17225-5:2014 - Biocombustibili solidi - Specifiche e classificazione del combustibile - Parte 5: Definizione delle classi di legna da ardere
- UNI EN ISO 17225-6:2014 - Biocombustibili solidi - Specifiche e classificazione del combustibile - Parte 6: Definizione delle classi di pellet non legnoso
- UNI EN ISO 17225-7:2014 - Biocombustibili solidi - Specifiche e classificazione del combustibile - Parte 7: Definizione delle classi di bricchette non legnose

che ammette, tra le materie prime utili a produrre biocombustibili solidi, quelle derivanti da silvicoltura e arboricoltura, agricoltura e orticoltura, acquacoltura, anche trattate chimicamente purché non contenenti composti organici alogenati o metalli pesanti a livelli maggiori dei valori tipici del materiale vergine o maggiori dei valori tipici riscontrabili nel Paese d'origine.

Ovviamente la normativa tecnica non può prevalere sulla legislazione, pertanto biocombustibili solidi conformi alle ISO 17225, potrebbero non essere ammessi all'impiego nel nostro Paese, se le materie prime sono tra quelle escluse dal quadro legislativo definito dal DLgs 152/06.

Questa premessa si è resa necessaria per evidenziare una volta di più, come per il legislatore nazionale i biocombustibili solidi utilizzabili in impianti termici civili sono "cosa diversa" dalle biomasse combustibili genericamente definite dalla legislazione europea o dalla normazione tecnica di riferimento e sono sempre passibili di controlli circa l'ammissibilità all'utilizzo in un contesto soprattutto civile, caratterizzato da scarsa o minore capacità di selezione e individuazione di materiali non idonei.

Più semplice è il quadro legislativo che tratta le tecnologie di combustione. Per rimanere in linea con lo scopo del presente documento, in questa sede è utile richiamare il recente Decreto Ministeriale 7 novembre 2017, n. 186 *"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"*. Quest'ultimo era preannunciato da tempo in quanto già previsto dall'art. 290 del DLgs 152/06 che richiedeva un successivo decreto per disciplinare *"i requisiti, le procedure e le competenze per il rilascio di una certificazione dei generatori di calore, con priorità per quelli aventi potenza termica nominale inferiore al valore di soglia di 0,035 MW, alimentati con i combustibili individuati alle lettere f) , g) e h) della parte I, sezione 2, dell'allegato X alla parte quinta del presente decreto. Nella certificazione si attesta l'idoneità dell'impianto ad assicurare specifiche prestazioni emissive, con particolare riferimento alle emissioni di polveri e di ossidi di azoto, e si assegna, in relazione ai livelli prestazionali assicurati, una specifica classe di qualità. Tale decreto individua anche le prestazioni emissive di riferimento per le diverse classi, i relativi*

metodi di prova e le verifiche che il produttore deve effettuare ai fini della certificazione, nonché indicazioni circa le corrette modalità di installazione e gestione dei generatori di calore.”

Il DM 186/2017 in particolare definisce *“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, come individuati alle lettere f) , g) e h) della parte I, sezione 2, dell’allegato X alla parte quinta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. 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.”*

Chiarisce inoltre che tale certificazione nasce come processo volontario e che nel caso un produttore lo voglia adottare possono essere oggetto di certificazione *“le seguenti categorie di generatori di calore, conformi alle norme UNI EN associate a ciascuna categoria ed alle successive modifiche di tali norme:*

- a) camini chiusi, inseriti a legna: UNI EN 13229 - inserti e caminetti aperti alimentati a combustibile solido - requisiti e metodi di prova;*
- b) caminetti aperti: UNI EN 13229 - inserti e caminetti aperti alimentati a combustibile solido - requisiti e metodi di prova;*
- c) stufe a legna: UNI EN 13240 - stufe a combustibile solido - requisiti e metodi di prova;*
- d) stufe ad accumulo: UNI EN 15250 - apparecchi a lento rilascio di calore alimentati a combustibili solidi - requisiti e metodi di prova;*
- e) cucine a legna: UNI EN 12815 - termocucine a combustibile solido - requisiti e metodi di prova;*
- f) caldaie fino a 500 kW: UNI EN 303-5 – caldaie per riscaldamento - parte 5: caldaie per combustibili solidi, con alimentazione manuale o automatica, con una potenza termica nominale fino a 500 kW - terminologia, requisiti, prove e marcatura;*
- g) stufe, inserti e cucine a pellet - termostufe: UNI EN 14785 - apparecchi per il riscaldamento domestico alimentati con pellet di legno - requisiti e metodi di prova.*

Il DM 186/2017 si inserisce, seppure in ritardo, in un contesto di particolare attenzione all’impiego di generatori di calore a biomassa, ben rappresentato da un *“Accordo di programma per l’adozione coordinata e congiunta di misure per il miglioramento della qualità dell’aria nel Bacino Padano”* sottoscritto durante il G7 tenutosi a Bologna nel giugno 2017 dal Ministero dell’ambiente e della tutela del territorio e del mare e dalle Regioni Emilia-Romagna, Lombardia, Piemonte e Veneto.

Sui temi oggetto del presente studio, l’accordo in particolare richiede di:

- g) prevedere, nei piani di qualità dell’aria, i seguenti divieti, relativi a generatori di calore alimentati a biomassa, in funzione della certificazione prevista dal decreto attuativo dell’articolo 290, comma 4, del decreto legislativo n. 152/2006:*
 - divieto, entro sei mesi dalla sottoscrizione del presente accordo, di installare generatori con una classe di prestazione emissiva inferiore alla classe “3 stelle” e di continuare ad utilizzare generatori con una classe di prestazione emissiva inferiore a “2 stelle”;*
 - divieto, entro il 31 dicembre 2019, di installare generatori con una classe di prestazione emissiva inferiore alla classe “4 stelle” e di continuare ad utilizzare generatori con una classe di prestazione emissiva inferiori a “3 stelle”;*
- h) prevedere, nei piani di qualità dell’aria, l’obbligo di utilizzare, nei generatori di calore a pellet di potenza termica nominale inferiore ai 35 kW, pellet che, oltre a rispettare le condizioni previste dall’Allegato X, Parte II, sezione 4, paragrafo 1, lettera d) alla parte V del decreto legislativo n. 152/2006, sia certificato conforme alla classe A1 della norma UNI EN ISO 17225-2 da parte di un Organismo di certificazione accreditato, prevedendo altresì obblighi di conservazione della documentazione pertinente da parte dell’utilizzatore;*

Da un contesto così articolato derivano varie posizioni degli operatori di settore, spesso contrastanti tra loro, che vedono di volta in volta prevalere aspetti positivi o negativi della combustione delle biomasse solide; aspetti non necessariamente mutuati da scelte ideologiche o politiche particolari, ma semplicemente basati su dati e informazioni differenti elaborati con approcci diversi che conseguentemente portano a risultati non congruenti.

Il presente rapporto intende quindi costituire un primo background informativo che potrà consentire la definizione di una strategia sostenibile di medio/lungo periodo per la gestione della climatizzazione degli edifici mediante generatori a biocombustibili solido.

2.2 Analisi delle fonti dati relative al parco installato di dispositivi a biomassa

Uno degli elementi principali su cui si basa l'analisi dell'impatto ambientale conseguente alla combustione delle biomasse solide è relativo alla quantificazione di due importanti fattori di valutazione:

- i consumi di biomassa in valore assoluto e ripartiti per tecnologia
- la numerosità e la tipologia del parco installato di generatori.

Si tratta di due parametri fondamentali, che non sono il principale focus del presente studio, su cui è pertanto necessario fare approfondimenti ulteriori coinvolgendo anche gli operatori del settore.

Le fonti disponibili a livello nazionale sono varie, da quelle più istituzionali a quelle basate su stime degli operatori. Le differenze tra i dati forniti sono spesso significative, ma mancano a volte di dettagli sulla metodologia utilizzata. Di seguito se ne riportano alcune a solo scopo indicativo, ma si ribadisce che tale aspetto sembra essere ad oggi la maggior incognita.

E' opportuno sottolineare che l'ufficialità o meno di una fonte non necessariamente coincide con la reale fotografia dell'esistente. Questo perché ogni stima si basa su assunzioni e considerazioni differenti, a volte come anticipato sopra non particolarmente evidenti, e questo rende difficoltoso il confronto.

Prima fonte istituzionale è il Bilancio Energetico Nazionale 2016 elaborato dal Ministero dello Sviluppo Economico. Il BEN riporta un consumo per usi finali domestici e civili di biomassa legnosa pari a 24.802 kt corrispondente a 259.429 TJ. La conversione tra valori energetici e di massa è fatta utilizzando convenzionalmente un PCI di 10,46 MJ/kg (2500 kcal/kg) che nel caso specifico sembrerebbe determinare una sottostima del potenziale energetico. Il dato relativo al 2014 è invece pari a 22.998 kt corrispondente a 240.559 TJ. Quest'ultimo valore servirà più avanti per un confronto tra le differenti fonti.

Una seconda fonte istituzionale di informazioni è costituita dal Rapporto Statistico "Energia da fonti rinnovabili in Italia – Anno 2016" del GSE (Dicembre 2017), che utilizza però valori energetici di riferimento differenti (13.91 MJ/kg per la legna da ardere e 17,28 MJ/kg per il pellet¹) e si basa su dati ISTAT². Un estratto è riportato in Tabella 1.

Tabella 1 - Consumi di biomassa legnosa (Fonte: Elaborazione GSE su dati ISTAT)

	Potere Cal. Inf. (MK/kg)	2013		2014		2015		2016	
		Consumo kt	Energia TJ	Consumo kt	Energia TJ	Consumo kt	Energia TJ	Consumo kt	Energia TJ
Legna da ardere	13,91	17.646	245.470	14.937	207.785	16.709	232.436	15.991	222.456
Prime case		17.450	242.741	14.765	205.389	16.532	229.973	15.820	220.070
Seconde Case		196	2.729	171	2.396	177	2.463	171	2.386
Pellet	17,28	1.765	30.503	1.619	27.990	1.938	33.490	1.976	34.161
Prime case		1.747	30.190	1.602	27.692	1.919	33.161	1.957	33.281
Seconde Case		18	313	17	298	19	329	20	340

¹ Fattori ricavati dal "Manual for statistics on energy consumption in households" (Eurostat 2013)

² I valori GSE sono basati sulle rilevazioni ISTAT 2013 dei consumi energetici delle famiglie.

Carbone Vegetale	30,8	56	1.725	60	1.848	57	1.756	60	1.848
Totale		19.467	277.698	16.616	237.623	18.703	267.682	18.028	258.465

Il GSE rileva per il 2016 un consumo diretto di biomassa solida (Legna da ardere, Pellet, Carbone vegetale) nel settore residenziale pari a circa 258.465 TJ corrispondenti a 6,172 Mtep. Questi costituiscono circa il 96% del consumo totale di biomassa solida; gli altri settori sono l'industria, il commercio e l'agricoltura. La stima 2016 è mediamente in linea con quella degli anni precedenti (a partire dal 2012) che si attesta su un valore di 263.872 TJ.

Traducendo i dati energetici in consumi di biomassa solida si ricava un valore 2016 stimato pari a circa 18.028 kt. Scorporando da questo il carbone vegetale, fuori focus del presente rapporto, si ricava un consumo 2016 di legna da ardere e pellet pari a circa 17.968 kt. Il corrispondente valore medio del periodo 2013-16 è pari a circa 18.145 kt.

Dall'analisi GSE si ricava anche un dato specifico sul consumo di pellet, pari a 1.976 kt per il 2016 e 1.824 kt per il periodo 2013-16, con una crescita significativa nell'ultimo biennio. Il consumo di pellet nel 2014 si attesta, sempre secondo la stima GSE e ai fini del confronto con altre fonti, su un valore pari a 1.619 kt mentre il consumo totale 2014 è di circa 16.556 kt.

Indicativamente l'analisi GSE è in linea con le stime riportate nel "Global Wood Pellet Industry and Trade Study 2017" (Thrän et al. 2017 - IEA Bioenergy Task 40. June 2017) che riprende indicazioni fornite dallo stesso ente Gestore nazionale.

E' da sottolineare l'approccio differente delle due fonti istituzionali citate che fanno ricorso a fattori di conversione diversi tra loro.

Passando invece alle informazioni provenienti dagli operatori di settore, dati diversi sono indicati da AIEL – Associazione Italiana Energie Agroforestali e principale fonte "commerciale" di dati in questo settore.

Ad esempio il consumo di pellet stimato da AIEL³ per il settore residenziale nel 2014 era di circa 2.784 kt, quindi superiore di poco più di 1 Mt rispetto al dato stimato dal GSE, che per lo stesso anno indicava 1.619 kt. Anche le valutazioni di AIEL vengono aggiornate annualmente e da un approfondimento in merito alle stime per lo stesso anno, risulta che ad esempio il consumo stimato nel 2014 da AIEL relativo al 2013 era pari a 3.166 kt, mentre nel 2015 il consumo sempre per il 2013 è stato rivisto al ribasso con un valore di poco superiore alle 2.500 kt.

Una sintesi di questi dati è riportata in tabella 2.

Tabella 2 - Confronto tra stime dei consumi di biomassa legnosa per usi domestici (Fonte: Elaborazione CTI su dati MiSE, GSE e AIEL)

Anno di riferimento	Biocombustibile	Fonte MiSE – BEN (kt - TJ)	Fonte GSE (kt - TJ)	Fonte AIEL (kt - TJ)
2014	Biomassa solida	22.998 – 240.559	16.556 – 235.775	18.558 - 267.542
	Di cui Legna	-	14.937 – 207.785	15.774 - 219.424
	Di cui Pellet	-	1.619 – 27.990	2.784 – 48.118
2016	Biomassa solida	24.802 - 259.429	17.968 – 256.617	-
	Di cui Legna	-	15.991 - 222.456	-
	Di cui Pellet	-	1.976 – 34.161	-

E' bene precisare che l'analisi comparativa svolta sulle differenti fonti ha significato puramente indicativo volto ad evidenziare come approcci, scopi o considerazioni differenti adottate nell'analisi di un dato di

³ A.Paniz Country Report Italy – Williamsburg VA, July 21, 2015.

partenza a volte simile, possono portare a risultati diversi con ovvie conseguenze nelle elaborazioni successive.

Per quanto riguarda invece il parco generatori installato nel nostro Paese la principale fonte istituzionale disponibile è sempre riconducibile al GSE che stima in circa 1,5 milioni gli apparecchi (stufe e caldaie) a pellet nel 2014 e circa 1,6 M nel 2016. Diverse sono le stime AIEL che per il 2014 valutano in 11,23 milioni il numero di generatori (Camini, Stufe, Caldaie) di cui circa 2,1 milioni stufe a pellet. AIEL stima inoltre un incremento di circa 275.000 unità/anno per il 2014, mentre è ricavabile un valore di circa la metà dalle analisi GSE.

L'Agenzia Europea per l'Ambiente, appoggiandosi alla banca dati IIASA GAINS, nel report "Air pollutant emission inventory guidebook 2016"⁴ fornisce una possibile suddivisione (percentuale) delle tecnologie di settore Paese per Paese e per differenti scenari di riferimento. Suggerisce però di fare riferimento a più specifiche suddivisioni qualora disponibili.

Per l'Italia ad esempio il riferimento citato riporta quanto indicato in Tabella 3.

Tabella 3 - Suddivisione percentuale delle tecnologie in Italia (Fonte: EEA n. 21/2016 modificato CTI)

Anno	Caminetti aperti	Caldaie < 1 MW ad alimentazione manuale	Caldaie a legna e caminetti chiusi
2000	62%	9%	29%
2005	60%	9%	31%
2010	59%	7%	34%

ISPRA invece nel report "Italian Emission Inventory 1990 - 2015 Informative Inventory Report 2017", richiamando indagini svolte da ENEA, ARPA e dalla stessa ISPRA, identifica la distribuzione delle tecnologie di combustione della legna riportate in Tabella 4.

Tabella 4 - Suddivisione percentuale delle tecnologie in Italia (Fonte: ISPRA 2017 modificato CTI)

Tipologia di generatore	1999	2006	2012
Caminetti aperti	51.3%	44.7%	51.2%
Stufe a legna	28.4%	27.6%	22.9%
Caminetti chiusi	15.4%	20.2%	15.8%
Stufe a pellet	0	3.1%	4.0%
Stufe ad avanzata tecnologia	4.8%	4.4%	6.0%

Anche in questo caso le informazioni di letteratura riportate hanno carattere puramente indicativo dello stato dell'arte e di solo una parte, seppure formalmente significativa, della documentazione disponibile. In questa fase dello studio non vengono pertanto effettuate considerazioni integrative a commento delle varie stime.

In conclusione è necessario sottolineare come un approfondimento ulteriore che preveda il coinvolgimento degli operatori possa consentire un vero salto di qualità nella stima dei consumi e delle tipologie di generatori installati. Nel prossimo futuro potrebbe inoltre migliorare l'acquisizione di dati di settore, grazie alla diffusione dell'approccio "internet of things" o "smart buildings" secondo i quali il monitoraggio e la misura dovrebbero diventare molto più comuni e adottabili di quanto non lo siano ora. Qualche grosso player sta già lavorando in questa direzione.

2.3 Analisi delle fonti dati relative ai fattori di emissione dei dispositivi a biomassa

Il secondo aspetto fondamentale da considerare ed elemento principale del presente studio è la risposta alla domanda: quanto emettono i generatori a biomassa?

⁴ EEA n. 21/2016 EMEP/EEA "Air pollutant emission inventory guidebook 2016 – Technical guidance to prepare national emission inventories".

Il problema non è banale in quanto è noto vi sia sostanziale differenza tra valori di emissione rilevati in laboratorio applicando le metodologie previste dalla normativa tecnica di prodotto e le emissioni in opera per le quali ad oggi non esiste un metodo normato, tantomeno condiviso del mercato.

Sul tema si sta elaborando una metodologia di misura in opera delle prestazioni dei generatori a biocombustibile solido. Al momento si sta procedendo con delle attività sperimentali specifiche, ma dai dati forniti fino ad oggi sembrerebbe che il livello della tecnologia sia tale da non poter garantire la replicabilità e ripetibilità delle analisi che un metodo normato richiede. I fattori che influenzano le emissioni, soprattutto di particolato, sono infatti tali che la variabilità dei risultati di campionamenti simili sia così elevata da non consentire di individuare dei valori medi accettabili.

La principale conseguenza di questa criticità è che i cosiddetti fattori di emissione, cioè le quantità di inquinanti emessi per unità (peso, energia, ecc.) di combustibile bruciato da un generatore a biomassa, siano difficili da definire in modo consensuale e soprattutto ripetibili e replicabili. Anche in presenza di valori definiti, ufficialmente o meno, è preferibile adottare un approccio più “politico” che tecnico nella loro scelta.

Per il momento è comunque necessario basarsi su dati di letteratura ufficiali e in tale contesto le informazioni disponibili provengono da fonti diverse.

Uno dei documenti ufficiali italiani più recenti è rappresentato dalla SEN 2017 (Strategia Energetica Nazionale) approvata con il DM 10 novembre 2017. Secondo la SEN, la combustione di biomassa, che nel 2016 ha contribuito al 27% dei consumi per riscaldamento del settore residenziale, è caratterizzata da un parco installato degli impianti con *“un fattore emissivo medio di PM 10 pari a circa 400 g/GJ, quando le apparecchiature che impiegano gasolio o GPL o gas hanno un fattore emissivo medio compreso fra 0 e 4 g/GJ.”*. La SEN indica i fattori riportati in Tabella 5.

Tabella 5 - Fattori emissivi delle apparecchiature di riscaldamento a biomassa (Fonte SEN 2017 su dati EEA)

Tecnologia	Fattore di emissione gPM₁₀/GJ
Camino aperto	840
Stufa convenzionale	760
Caldaia convenzionale	480
Stufa o caldaia BAT a legna	95
Stufa o caldaia BAT a pellet	29

Sulla base di questi dati, la SEN prosegue affermando che *“Il fattore emissivo elevato del parco a biomasse è in buona parte ascrivibile alle vecchie apparecchiature (camini aperti, stufe e caldaie convenzionali) per le quali è comunque necessario promuovere un rinnovamento, sebbene anche le più moderne tecnologie emettano più dei combustibili tradizionali gassosi. Dunque, l’obiettivo di sostegno alle rinnovabili deve essere conciliato con la necessità di evitare impatti ambientali negativi, attraverso l’introduzione di stringenti requisiti prestazionali delle apparecchiature.”*

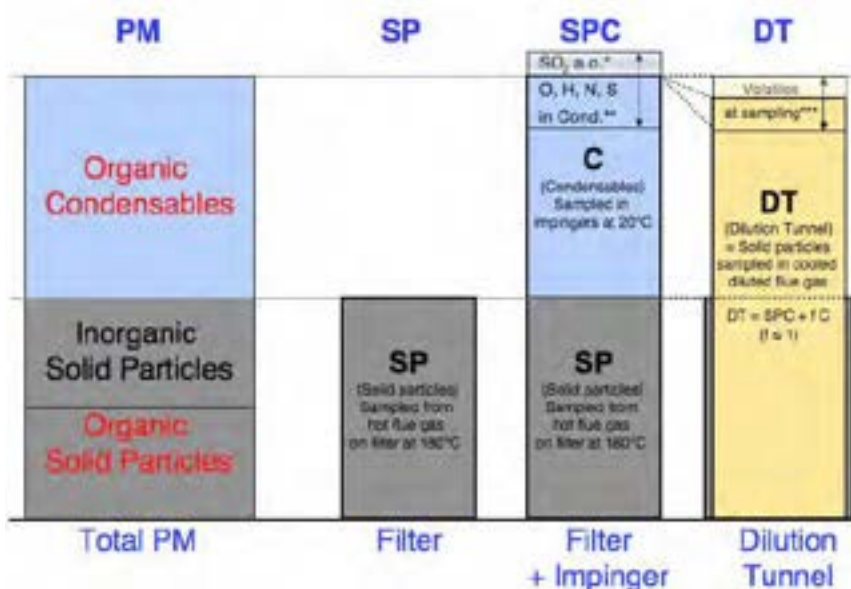
Si evidenzia pertanto quanto i fattori di emissione costituiscano elemento importante per la corretta interpretazione dell’impatto sull’ambiente della combustione di biomassa.

Come ultima nota introduttiva, prima di passare in rassegna le varie fonti, è utile segnalare che i fattori di emissione per il particolato, nelle sue differenti forme, oltre ad essere caratterizzati da una certa incertezza non sempre specificata nei dati ufficiali, sono anche affetti da un possibile sottodimensionamento quando riferiti all’emissione della sola frazione incondensabile. Infatti le varie metodiche di campionamento differiscono per un differente approccio al problema: non sempre tengono in considerazione il fatto che gli esausti in uscita dalla camera di combustione contengono una frazione di composti cosiddetti condensabili che sfuggono in tutti quei prelievi che non prevedono la condensazione (metodi a freddo) dei fumi.

Le criticità legate a questo aspetto non sono state ulteriormente approfondite nella presente analisi.

A solo titolo informativo si rileva però che Nussbaumer (Nussbaumer et al., 2008⁵), richiamato anche da Van der Gon (Van der Gon 2015) e indirettamente anche dal Guidebook EEA del 2016, ha mostrato come la frazione condensabile possa essere significativa e rappresentare da 2,5 a 10 volte il valore misurato della frazione non condensabile. In Figura 1 è riportato uno schema esemplificativo.

Figura 1 - Differenza tra metodologie di campionamento a caldo (SP) e a Freddo (SPC e DT) per l'analisi del particolato e la determinazione dei fattori di emissione (Fonte Nussbaumer 2008)



Legenda

PM: Particolato totale nei fumi a temperatura ambiente.

SP: Particolato Solido campionato mediante filtro a caldo.

SPC : Particolato Solido e Condensabile campionato mediante filtro a caldo e impinger.

DT: Tunnel di Diluizione. Il valore ricavato da quest'ultimo è leggermente inferiore al valore SPC a causa della potenzialmente incompleta condensazione dei contaminanti.

Nelle Tabelle 6 e 7 vengono riportati ulteriori dettagli relativi ai differenti metodi di campionamento, proprio con il fine di evidenziare come la confrontabilità dei metodi, ma anche delle differenti fonti bibliografiche, sia elemento critico del processo di consolidamento di una scelta politica in materia.

Tabella 6 - Differenza tra metodologie di campionamento a caldo (SP) e a Freddo (DT) per l'analisi del particolato e la determinazione dei fattori di emissione (Fonte Van der Gon 2015⁶ modificato CTI)

Tecnologia ^a	Consumo in Europa nel 2005 (PJ)	Percentuale	Fattore di emissione (g/GJ) ^b			
			Campionamento a caldo (SP)		Campionamento a Freddo (DT)	
			Media	Intervallo	Media	Intervallo
Caminetti aperti	140	6%	260	23-450	900	n.d.
Stufe a legna tradizionali	1167	52%	150	49-650	800	290-1932
Caldaia monofamiliare automatica	198	9%	30	11-60	60	n.d.
Caldaia monofamiliare manuale	348	15%	180	6-650	1000	100-2000
Caldaia automatica	267	12%	40	c	45	c
Caldaia manuale	141	6%	70	30-350	80	30-350
Totale	2262	100%				

⁵ Particulate Emissions from Biomass Combustion in IEA Countries Survey on Measurements and Emission Factors Thomas Nussbaumer, 2008.

⁶ H. A. C. Denier van der Gon et al.: Particulate emissions from residential wood combustion in Europe. 2015

Legenda

a: IIASA GAINS - b: Nussbaumer 2008 - c: Intervallo di emissione rilevato mediante Sistema di controllo a fine condotto

Tabella 7 - Differenza tra metodologie di campionamento a caldo e a freddo per l'analisi del particolato e la determinazione dei fattori di emissione (Fonte Fachinger et al., 20177)

	Unità	Fachinger 2017 Pellet di conifera	Fachinger 2017 Pellet misto conif./latif.	Bafver 2011 Pellet	Johansson 2004 Pellet	Boman 2001 Pellet
CO	mg/MJ	400±60	430±60	92-200	36-120	100-130
PM	mg/MJ	11±3 PM ₁	17±5 PM ₁	29-53 PM _{2,5}	16-22 PM	16-23 PM
Metodo di campionamento del PM		Diluizione	Diluizione	Filtro a caldo	Filtro a caldo e impinger	Tunnel di diluizione

Dopo le prime considerazioni relative alle criticità dei metodi di campionamento, lo step successivo riguarda l'analisi delle differenti fonti relative ai fattori di emissione, partendo da quelle più "istituzionali" per arrivare poi ai dati per singoli Paesi.

2.3.1 Agenzia Europea per l'Ambiente

Da un punto di vista formale il principale documento che si ritiene necessario considerare, soprattutto in quanto la stessa SEN 2017 ne ha fatto riferimento, proviene dall'Agenzia Europea per l'Ambiente. Si tratta del report "Air pollutant emission inventory guidebook 2016"⁸ che approfondendo la tematica intende fornire una linea guida per la preparazione degli inventari nazionali delle emissioni. Costituisce pertanto un riferimento quasi cogente per il settore.

Le tecnologie di riferimento per i fattori di emissione che vengono dettagliati nel rapporto EEA sono quelle individuate dalla normazione tecnica di settore, riportata in Tabella 8.

Tabella 8 - Norme di riferimento per le tecnologie considerate da EEA

Norma	Titolo	Scopo
UNI EN 13229	Inseriti e caminetti aperti alimentati a combustibile solido - Requisiti e metodi di prova	La norma specifica i requisiti relativi alla progettazione, alla fabbricazione, alla costruzione, alla sicurezza e alle prestazioni (emissioni e rendimento), alle istruzioni e alla marcatura oltre ai relativi metodi di prova per la prova di tipo, per gli inserti e i caminetti aperti ad uso residenziale alimentati a combustibile solido.
UNI EN 13240	Stufe a combustibile solido - Requisiti e metodi di prova	La norma specifica i requisiti di progettazione, fabbricazione, costruzione, sicurezza e prestazioni (rendimento ed emissioni), istruzioni e marcatura, unitamente ai relativi metodi di prova per le prove di tipo delle stufe alimentate a combustibile solido. La norma si applica alle apparecchiature ad alimentazione non meccanica e non si applica alle apparecchiature con alimentazione di aria comburente assistita da ventola.

⁷ F. Fachinger. How the user can influence particulate emissions from residential wood and pellet stoves: Emission factors for different fuels and burning conditions 2017

⁸ EEA n. 21/2016 EMEP/EEA "Air pollutant emission inventory guidebook 2016 – Technical guidance to prepare national emission inventories".

UNI EN 14785	Apparecchi per il riscaldamento domestico alimentati con pellet di legno - Requisiti e metodi di prova	La norma specifica i requisiti relativi alla progettazione, fabbricazione, costruzione, sicurezza e prestazioni (efficienza ed emissioni), istruzioni e marcatura, oltre ai relativi metodi di prova e combustibili per la prova di tipo, per gli apparecchi per il riscaldamento a pellet, alimentati anche meccanicamente, con potenza termica nominale fino a 50 kW. Questi apparecchi possono essere indipendenti o a inserto. Essi forniscono calore all'ambiente nel quale sono installati e possono operare sia con tiraggio naturale che con ventola dell'aria forzata. Inoltre, quando dotati di caldaia, essi possono anche fornire acqua calda e/o riscaldamento centralizzato. Questi apparecchi bruciano solo pellet, in conformità alle istruzioni del fabbricante. Essi funzionano solo a porte chiuse. Gli apparecchi alimentati, in modo non meccanico, con combustibili solidi minerali, bricchette di torba, e tronchetti di legno naturale o prodotto non ricadono nell'ambito della norma.
UNI EN 15250	Apparecchi a lento rilascio di calore alimentati a combustibili solidi - Requisiti e metodi di prova	La norma specifica i requisiti relativi alla progettazione, alla fabbricazione, alla costruzione, alla sicurezza e alle prestazioni (rendimento ed emissioni), alle istruzioni e alla marcatura oltre ai relativi metodi e combustibili di prova per apparecchi domestici a lento rilascio di calore alimentati con combustibili solidi. La norma non si applica agli apparecchi alimentati meccanicamente, agli apparecchi con ventilatore per l'aria di comburente o ad apparecchi con caldaia.
UNI EN 15821	Sauna a più fuochi alimentati da ciocchi di legna naturale - Requisiti e metodi di prova	La norma specifica i requisiti di progetto, fabbricazione, costruzione, sicurezza e rendimento (efficienza ed emissioni) di saune a più fuochi alimentati da ciocchi di legna naturale. La norma inoltre fornisce indicazioni per la valutazione di conformità, il controllo di produzione in fabbrica e la marcatura CE dei prodotti.
UNI EN 12815	Termocucine a combustibile solido - Requisiti e metodi di prova	La norma specifica i requisiti di progettazione, fabbricazione, costruzione, sicurezza e prestazioni, istruzioni e marcatura, unitamente ai relativi metodi e combustibili di prova, per le prove di omologazione delle termocucine a combustibile solido.
UNI EN 12809	Caldaie domestiche indipendenti a combustibile solido - Potenza termica nominale non maggiore di 50 kW - Requisiti e metodi di prova	La norma specifica le definizioni, i requisiti, le istruzioni, la marcatura e i metodi di prova delle caldaie indipendenti per la produzione di acqua calda aventi una potenza termica nominale non maggiore di 50 kW alimentate con combustibili solidi; in aggiunta alla loro funzione primaria di produzione di acqua calda, questi apparecchi riscaldano anche il locale nel quale vengono installati.

UNI EN 303-5	Caldaie per riscaldamento - Parte 5: Caldaie per combustibili solidi, con alimentazione manuale o automatica, con una potenza termica nominale fino a 500 kW - Terminologia, requisiti, prove e marcatura	La norma europea si applica alle caldaie da riscaldamento, inclusi i connessi dispositivi di sicurezza, aventi una potenza termica nominale fino a 500 Kw, progettate per essere alimentate con combustibili solidi, utilizzare acqua come fluido termovettore alla temperatura massima di 110 °C, nonché lavorare alla pressione massima di 6 bar. Le caldaie possono lavorare a tiraggio naturale o forzato ed essere alimentate manualmente o automaticamente. La norma definisce requisiti e metodologie di prova per la sicurezza, la qualità della combustione, le caratteristiche operative, la marcatura e la manutenzione delle caldaie e si applica anche a tutti i dispositivi esterni che ne influenzano la sicurezza. La norma si applica alle caldaie che costituiscono un'unica unità con il bruciatore; si può però applicare anche a combinazioni di caldaia e bruciatore a se stante conforme alla UNI EN 15270, solo quando l'insieme dei due dispositivi è sottoposto a prova in conformità ai requisiti della presente norma. La norma definisce inoltre la necessaria terminologia, i requisiti relativi al controllo e alla sicurezza, i requisiti di progettazione, i requisiti termotecnici (considerando anche requisiti ambientali) e le prove, così come i requisiti di marcatura. La norma non si applica a - alle caldaie per riscaldamento centralizzato o ad altre apparecchiature per riscaldamento che sono progettate per il riscaldamento diretto del locale in cui sono installate; - alle apparecchiature per cottura; - alla progettazione e alla costruzione di dispositivi automatici di stoccaggio e alimentazione a monte dei dispositivi di sicurezza della caldaia; - apparecchi a funzionamento stagno; - caldaie a condensazione.
--------------	---	--

L'approccio utilizzato dall'EEA per il calcolo delle emissioni da biomassa si basa su livelli di dettaglio in funzione di vari fattori principalmente riconducibili alla disponibilità di dati relativi alla tecnologia e al combustibile e della criticità della fonte di emissione rispetto al problema generale della qualità dell'aria. L'approccio è mutuato dalla esperienza dell'IPCC sui gas ad effetto serra.

Sulla base di queste considerazioni vengono proposte tre metodologie (Tier/Livelli 1, 2 o 3) per il calcolo delle emissioni relative alle singole tecnologie:

- **Livello (Tier) 1:** è il meno dettagliato ed è basato su fattori di emissione molto generali. Se ne suggerisce l'adozione quando mancano informazioni dettagliate e soprattutto quando l'impatto delle emissioni non è considerato "chiave" nello scenario considerato;
- **Livello (Tier) 2:** è considerato quello più adeguato per il tema in questione: si basa su fattori di emissione dettagliati per tecnologia e per principali combustibili ed è raccomandato quando la fonte è fortemente impattante sull'atmosfera;
- **Livello (Tier) 3:** è il più complesso in quanto basato su un dettaglio elevato, rilevato a livello locale, dei dati di input sia come tecnologia che come combustibile. Pertanto non è ulteriormente approfondito in questa sede.

Livello 1 EEA 2016

Il **livello 1** spiega come determinare l'emissione totale riferita ad uno specifico inquinante sulla base della seguente formula:

$$E_{\text{inq}} = AR_{\text{fc}} \times EF_{\text{inq}}$$

dove

E_{inq} è l'emissione relativa allo specifico fattore inquinante (unità di massa dell'inquinante [kg])

AR_{fc} è il consumo di combustibile [GJ]

EF_{inq} è il fattore di emissione dello specifico fattore inquinante (unità di massa dell'inquinante/unità di energia del combustibile [kgPM₁₀/GJ])

La metodologia di **livello 1** si dovrebbe applicare in quelle situazioni in cui è complesso diversificare il combustibile e le specifiche tecnologia di combustione. Inoltre la formula non consente di tenere in considerazione specifiche tecnologie di abbattimento, pertanto in questi casi sarebbe opportuno utilizzare la metodologia prevista per il livello 2.

I fattori di emissione da applicare secondo l'approccio di livello 1 sono riportati nelle tabelle 9 e 10. Si rileva che in questo caso per le voci relative al particolato i valori sono comprensivi della frazione condensabile quando non riportato espressamente il contrario.

Tabella 9 - Fattori di emissione per generatori domestici (Fonte EEA 2016)

Inquinante	Valore	Unità di Misura	95 % Intervallo di confidenza	
			Superiore	Superiore
NOX	50	g/GJ	30	150
CO	4000	g/GJ	1000	10000
NMVOC	600	g/GJ	20	3000
SOX	11	g/GJ	8	40
NH3	70	g/GJ	35	140
TSP (total particles)	800	g/GJ	400	1600
PM10 (total particles)	760	g/GJ	380	1520
PM2.5 (total particles)	740	g/GJ	370	1480
BC (based on total particles)	10	% of PM _{2.5}	2	20
Pb	27	mg/GJ	0.5	118
Cd	13	mg/GJ	0.5	87
Hg	0.56	mg/GJ	0.2	1
As	0.19	mg/GJ	0.05	12
Cr	23	mg/GJ	1	100
Cu	6	mg/GJ	4	89
Ni	2	mg/GJ	0.5	16
Se	0.5	mg/GJ	0.25	1.1
Zn	512	mg/GJ	80	1300
PCBs	0.06	µg/GJ	0.006	0.6
PCDD/F	800	ng I-TEQ/GJ	20	5000
Benzo(a)pyrene	121	mg/GJ	12	1210
Benzo(b)fluoranthene	111	mg/GJ	11	1110
Benzo(k)fluoranthene	42	mg/GJ	4	420
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	71	mg/GJ	7	710
HCB	5	µg/GJ	0.1	30

Tabella 10 - Fattori di emissione per generatori non domestici (Fonte EEA 2016)

Inquinante	Valore	Unità di Misura	95 % Intervallo di confidenza	
			Superiore	Superiore
NOX	91	g/GJ	20	120
CO	570	g/GJ	50	4000
NMVOC	300	g/GJ	5	500
SOX	11	g/GJ	8	40
NH3	37	g/GJ	18	74

Inquinante	Valore	Unità di Misura	95 % Intervallo di confidenza	
			Superiore	Superiore
TSP	150	g/GJ	75	300
PM10	143	g/GJ	71	285
PM2.5	140	g/GJ	70	279
BC	28	% of PM _{2.5}	11	39
Pb	27	mg/GJ	0.5	118
Cd	13	mg/GJ	0.5	87
Hg	0.56	mg/GJ	0.2	1
As	0.19	mg/GJ	0.05	12
Cr	23	mg/GJ	1	100
Cu	6	mg/GJ	4	89
Ni	2	mg/GJ	0.5	16
Se	0.5	mg/GJ	0.25	1.1
Zn	512	mg/GJ	80	1300
PCBs	0.06	µg/GJ	0.006	0.6
PCDD/F	100	ng I-TEQ/GJ	30	500
Benzo(a)pyrene	10	mg/GJ	5	20
Benzo(b)fluoranthene	16	mg/GJ	8	32
Benzo(k)fluoranthene	5	mg/GJ	2	10
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	4	mg/GJ	2	8
HCB	5	µg/GJ	0.1	30

Livello 2 EEA 2016

Il **livello 2** è più complesso e dettagliato, tanto da essere considerato come quello applicabile al caso della valutazione delle emissioni da biomassa in piccolo generatori di calore, vista la criticità della sorgente emissiva.

La metodologia indicata in questo caso utilizza una formula più complessa rispetto al livello 1, basata sul fatto che per ogni inquinante le emissioni totali sono calcolate dalla sommatoria delle emissioni rilevate per le singole tecnologie, pertanto sono necessari dati relativi al consumo annuale dello specifico biocombustibile e al suo utilizzo per varie tipologie di generatori.

Per ogni inquinante quindi:

$$E_i = \sum_{j,k} EF_{i,j,k} \times A_{j,k}$$

dove

E_i è l'emissione annuale relativa allo specifico fattore inquinante (unità di massa dell'inquinante [kg])

$A_{j,k}$ è il consumo annuale di combustibile "k" per la tecnologia "j" [GJ]

$EF_{i,j,k}$ è il fattore di emissione dello specifico fattore inquinante "i", per la tecnologia "j" con il combustibile "k" (unità di massa dell'inquinante/unità di energia del combustibile [kgPM₁₀/GJ])

L'approccio per tecnologia prevede quindi il ricorso a fattori di emissione differenziati per tipologia di generatore, secondo l'elenco definito in tabella 8.

La metodologia prevede anche la possibilità di prendere in considerazione dei sistemi di abbattimento di uno specifico inquinante, PM primario nello specifico, mediante un fattore correttivo che considera il livello di efficienza dell'abbattimento. Poiché però quest'ultimo valore è di difficile quantificazione la stessa EEA suggerisce di far ricorso a fattori di emissione che tengano già conto della tecnologia di abbattimento.

Nei prospetti che seguono sono riportati i fattori di emissione per le varie tecnologie:

- Camini aperti
- Stufe a legna Convenzionali

- Stufe a legna Ad alta efficienza e caminetti chiusi
- Stufe e caldaie a tecnologia innovativa e dotate di marcatura Ecodesing
- Caldaie a legna convenzionali
- Caldaie a pellet
- Caldaie convenzionali $P_n < 50 \text{ kW}$ a legna
- Stufe e caldaie a pellet
- Caldaie generiche per usi non residenziali $1 \text{ MW} < P_n \leq 50 \text{ MW}$
- Caldaie generiche per usi non residenziali $50 \text{ kW} < P_n \leq 1 \text{ MW}$
- Caldaie a legna ad alimentazione manuale per usi non residenziali $50 \text{ kW} < P_n < 1 \text{ MW}$
- Caldaie a legna ad alimentazione automatica per usi non residenziali $50 \text{ kW} < P_n < 1 \text{ MW}$

Tabella 11 - Fattori di emissione per camini aperti (Fonte EEA 2016)

Inquinante	Valore	Unità di Misura	95 % Intervallo di confidenza	
			Superiore	Superiore
NO _x	50	g/GJ	30	150
CO	4000	g/GJ	1000	10000
NMVOC	600	g/GJ	20	3000
SO _x	11	g/GJ	8	40
NH ₃	74	g/GJ	37	148
TSP (total particles)	880	g/GJ	440	1760
PM ₁₀ (total particles)	840	g/GJ	420	1680
PM _{2.5} (total particles)	820	g/GJ	410	1640
BC (based on total particles)	7	% of PM _{2.5}	2	18
TSP (solid particles only)	270	g/GJ	135	540
PM ₁₀ (solid particles only)	260	g/GJ	130	520
PM _{2.5} (solid particles only)	240	g/GJ	120	480
BC (based on solid particles only)	24	% of PM _{2.5}	7	60
Pb	27	mg/GJ	0.5	118
Cd	13	mg/GJ	0.5	87
Hg	0.56	mg/GJ	0.2	1
As	0.19	mg/GJ	0.05	12
Cr	23	mg/GJ	1	100
Cu	6	mg/GJ	4	89
Ni	2	mg/GJ	0.5	16
Se	0.5	mg/GJ	0.25	1.1
Zn	512	mg/GJ	80	1300
PCBs	0.06	µg/GJ	0.006	0.6
PCDD/F	800	ng I-TEQ/GJ	20	5000
Benzo(a)pyrene	121	mg/GJ	12	1210
Benzo(b)fluoranthene	111	mg/GJ	11	1110
Benzo(k)fluoranthene	42	mg/GJ	4	420
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	71	mg/GJ	7	710
HCB	5	µg/GJ	0.1	30

Per quanto riguarda la categoria “stufe e caldaie a legna” l’EEA considera le seguenti tipologie e ne differenzia i fattori di emissione conseguentemente:

- Stufe convenzionali
- Stufe ad alta efficienza e caminetti chiusi
- Stufe e caldaie a tecnologia innovativa e dotate di marcatura Ecodesing

Indicativamente l’EEA indica come più diffuse le stufe del primo tipo, in funzione soprattutto della lunga vita utile che ha questo tipo di dispositivi, ma ovviamente il dato è legato al mercato del singolo Paese a cui si deve fare riferimento che può dettagliare meglio la suddivisione del parco installato anche se un

cambiamento significativo dovrà avvenire con l'implementazione della direttiva Ecodesign nei prossimi anni.

Qualora non sia possibile suddividere la tecnologia nelle tre categorie indicate, l'EEA suggerisce di adottare un criterio prudenziale e considerare i fattori di emissione delle stufe convenzionali.

Tabella 12 - Fattori di emissione per stufe convenzionali (Fonte EEA 2016)

Inquinante	Valore	Unità di Misura	95 % Intervallo di confidenza	
			Superiore	Superiore
NO _x	50	g/GJ	30	150
CO	4000	g/GJ	1000	10000
NM VOC	600	g/GJ	20	3000
SO _x	11	g/GJ	8	40
NH ₃	70	g/GJ	35	140
TSP (total particles)	800	g/GJ	400	1600
PM ₁₀ (total particles)	760	g/GJ	380	1520
PM _{2.5} (total particles)	740	g/GJ	370	1480
BC (based on total particles)	10	% of PM _{2.5}	2	20
TSP (solid particles only)	200	g/GJ	100	400
PM ₁₀ (solid particles only)	160	g/GJ	80	320
PM _{2.5} (solid particles only)	140	g/GJ	70	280
BC (based on solid part. only)	53	% of PM _{2.5}	11	100
Pb	27	mg/GJ	0.5	118
Cd	13	mg/GJ	0.5	87
Hg	0.56	mg/GJ	0.2	1
As	0.19	mg/GJ	0.05	12
Cr	23	mg/GJ	1	100
Cu	6	mg/GJ	4	89
Ni	2	mg/GJ	0.5	16
Se	0.5	mg/GJ	0.25	1.1
Zn	512	mg/GJ	80	1300
PCBs	0.06	µg/GJ	0.006	0.6
PCDD/F	800	ng I-TEQ/GJ	20	5000
Benzo(a)pyrene	121	mg/GJ	12	1210
Benzo(b)fluoranthene	111	mg/GJ	11	1110
Benzo(k)fluoranthene	42	mg/GJ	4	420
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	71	mg/GJ	7	710
HCB	5	µg/GJ	0.1	30

Tabella 13 - Fattori di emissione per stufe ad alta efficienza e caminetti chiusi a legna (Fonte EEA 2016)

Inquinante	Valore	Unità di Misura	95 % Intervallo di confidenza	
			Superiore	Superiore
NO _x	80	g/GJ	30	150
CO	4000	g/GJ	500	10000
NM VOC	350	g/GJ	100	2000
SO _x	11	g/GJ	8	40
NH ₃	37	g/GJ	18	74
TSP (total particles)	400	g/GJ	200	800
PM ₁₀ (total particles)	380	g/GJ	290	760
PM _{2.5} (total particles)	370	g/GJ	285	740
BC (based on total particles)	16	% of PM _{2.5}	5	30
TSP (solid particles only)	170	g/GJ	85	340
PM ₁₀ (solid particles only)	150	g/GJ	75	300
PM _{2.5} (solid particles only)	140	g/GJ	70	280
BC (based on solid part. only)	43	% of PM _{2.5}	13	79
Pb	27	mg/GJ	0.5	118
Cd	13	mg/GJ	0.5	87
Hg	0.56	mg/GJ	0.2	1
As	0.19	mg/GJ	0.05	12
Cr	23	mg/GJ	1	100
Cu	6	mg/GJ	4	89
Ni	2	mg/GJ	0.5	16
Se	0.5	mg/GJ	0.25	1.1
Zn	512	mg/GJ	80	1300
PCB	0.03	µg/GJ	0.003	0.3

Inquinante	Valore	Unità di Misura	95 % Intervallo di confidenza	
			Superiore	Superiore
PCDD/F	250	ng I- TEQ/GJ	20	2600
Benzo(a)pyrene	121	mg/GJ	12	1210
Benzo(b)fluoranthene	111	mg/GJ	11	1110
Benzo(k)fluoranthene	42	mg/GJ	4	420
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	71	mg/GJ	7	710
HCB	5	µg/GJ	0.1	30

Tabella 14 - Fattori di emissione per stufe e caldaie “innovative” e dotate di marcatura Ecodesign (Fonte EEA 2016)

Inquinante	Valore	Unità di misura	95 % Intervallo di confidenza	
			Superiore	Superiore
NO _x	95	g/GJ	50	150
CO	2000	g/GJ	500	5000
NM VOC	250	g/GJ	20	500
SO _x	11	g/GJ	8	40
NH ₃	37	g/GJ	18	74
TSP (total particles)	100	g/GJ	20	250
PM ₁₀ (total particles)	95	g/GJ	19	238
PM _{2.5} (total particles)	93	g/GJ	19	233
BC (based on total particles)	28	% of PM _{2.5}	11	39
TSP (solid particles only)	54	g/GJ	10	125
PM ₁₀ (solid particles only)	49	g/GJ	10	115
PM _{2.5} (solid particles only)	47	g/GJ	10	110
BC (based on solid part. only)	55	% of PM _{2.5}	22	77
Pb	27	mg/GJ	0.5	118
Cd	13	mg/GJ	0.5	87
Hg	0.56	mg/GJ	0.2	1
As	0.19	mg/GJ	0.05	12
Cr	23	mg/GJ	1	100
Cu	6	mg/GJ	4	89
Ni	2	mg/GJ	0.5	16
Se	0.5	mg/GJ	0.25	1.1
Zn	512	mg/GJ	80	1300
PCB	0.007	µg/GJ	0.0007	0.07
PCDD/F	100	ng I- TEQ/GJ	30	500
Benzo(a)pyrene	10	mg/GJ	5	20
Benzo(b)fluoranthene	16	mg/GJ	8	32
Benzo(k)fluoranthene	5	mg/GJ	2	10
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	4	mg/GJ	2	8
HCB	5	µg/GJ	0.1	30

L’EEA dettaglia approfondisce ulteriormente la categoria di caldaie convenzionali a legna con P_n < 50 kW a legna. Qualora fosse possibile dettagliare ulteriormente questa tecnologia in funzione della presenza o meno di automatismi di alimentazione, EEA infatti suggerisce di utilizzare il prospetto 15 per le caldaie convenzionali ad alimentazione manuale e il prospetto 16 per le caldaie ad alimentazione automatica a pellet.

Tabella 15 - Fattori di emissione per Caldaie convenzionali Pn < 50 kW a legna n (Fonte EEA 2016)

Inquinante	Valore	Unità di misura	95 % Intervallo di confidenza	
			Inferiore	Superiore
NO _x	80	g/GJ	30	150
CO	4000	g/GJ	500	10000
NMVOC	350	g/GJ	100	2000
SO _x	11	g/GJ	8	40
NH ₃	74	g/GJ	37	148
TSP (total particles)	500	g/GJ	250	1000
PM10 (total particles)	480	g/GJ	240	960
PM2.5 (total particles)	470	g/GJ	235	940
BC (based on total particles)	16	% of PM _{2.5}	5	30
TSP (solid particles only)	170	g/GJ	85	340
PM ₁₀ (solid particles only)	150	g/GJ	75	300
PM _{2.5} (solid particles only)	140	g/GJ	70	280
BC (based on solid part. only)	54	% of PM _{2.5}	17	100
Pb	27	mg/GJ	0.5	118
Cd	13	mg/GJ	0.5	87
Hg	0.56	mg/GJ	0.2	1
As	0.19	mg/GJ	0.05	12
Cr	23	mg/GJ	1	100
Cu	6	mg/GJ	4	89
Ni	2	mg/GJ	0.5	16
Se	0.5	mg/GJ	0.25	1.1
Zn	512	mg/GJ	80	1300
PCBs	0.06	µg/GJ	0.006	0.6
PCDD/F	550	I-Teq ng/GJ	20	2600
Benzo(a)pyrene	121	mg/GJ	12	1210
Benzo(b)fluoranthene	111	mg/GJ	11	1110
Benzo(k)fluoranthene	42	mg/GJ	4	420
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	71	mg/GJ	7	710
HCB	5	µg/GJ	0.1	30

Tabella 16 - Fattori di emissione per Stufe e caldaie a pellet (Fonte EEA 2016)

Inquinante	Valore	Unità di misura	95 % Intervallo di confidenza	
			Superiore	Superiore
NO _x	80	g/GJ	50	200
CO	300	g/GJ	10	2500
NMVOC	10	g/GJ	1	30
SO _x	11	g/GJ	8	40
NH ₃	12	g/GJ	6	24
TSP (total particles)	62	g/GJ	31	124
PM ₁₀ (total particles)	60	g/GJ	30	120
PM _{2.5} (total particles)	60	g/GJ	30	120
BC (based on total particles)	15	% of PM _{2.5}	6	39
TSP (solid particles only)	32	g/GJ	16	64
PM10 (solid particles only)	30	g/GJ	15	60
PM2.5 (solid particles only)	30	g/GJ	15	60
BC (based on solid part. only)	30	% of PM _{2.5}	12	78
Pb	27	mg/GJ	0.5	118
Cd	13	mg/GJ	0.5	87
Hg	0.56	mg/GJ	0.2	1
As	0.19	mg/GJ	0.05	12
Cr	23	mg/GJ	1	100
Cu	6	mg/GJ	4	89
Ni	2	mg/GJ	0.5	16
Se	0.5	mg/GJ	0.25	1.1
Zn	512	mg/GJ	80	1300
PCB	0.01	µg/GJ	0.001	0.1
PCDD/F	100	ng I- TEQ/GJ	30	500
Benzo(a)pyrene	10	mg/GJ	5	20
Benzo(b)fluoranthene	16	mg/GJ	8	32
Benzo(k)fluoranthene	5	mg/GJ	2	10
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	4	mg/GJ	2	8
HCB	5	µg/GJ	0.1	30

L'EEA ritiene inoltre possibile dettagliare meglio l'ambito delle caldaie di media-grande taglia ($50 \text{ kW} < P_n \leq 50 \text{ MW}$) per uso non familiare, suddividendole in due sottocategorie in funzione dalla potenza nominale maggiore o minore di 1 MW. Aggiunge inoltre che qualora non sia possibile ricostruire la numerosità di ogni singola classe, è opportuno fare riferimento alla minore delle due. A maggior dettaglio, la taglia di potenza superiore ad 1 MW è considerata tutta ad alimentazione automatica mentre le potenze inferiori a tale soglia sono divise tra alimentazione manuale e automatica. I relativi fattori di emissione sono riportati nelle tabelle 17, 18, 19 e 20.

Tabella 17 - Caldaie generiche per usi non residenziali $1 \text{ MW} < P_n \leq 50 \text{ MW}$

Inquinante	Valore	Unità di misura	95 % Intervallo di confidenza	
			Superiore	Superiore
NO _x	210	g/GJ	50	300
CO	300	g/GJ	50	4000
NM VOC	12	g/GJ	5	300
SO _x	11	g/GJ	8	40
NH ₃	37	g/GJ	18	74
TSP (total particles)	40	g/GJ	20	80
PM10 (total particles)	38	g/GJ	19	76
PM2.5 (total particles)	37	g/GJ	18	74
BC (based on total particles)	15	% of PM _{2.5}	6	39
TSP (solid particles)	36	g/GJ	18	72
PM ₁₀ (solid particles)	34	g/GJ	17	68
PM _{2.5} (solid particles)	33	g/GJ	17	67
BC (based on solid particles)	17	% of PM _{2.5}	7	44
Pb	27	mg/GJ	0.5	118
Cd	13	mg/GJ	0.5	87
Hg	0.56	mg/GJ	0.2	1
As	0.19	mg/GJ	0.05	12
Cr	23	mg/GJ	1	100
Cu	6	mg/GJ	4	89
Ni	2	mg/GJ	0.5	16
Se	0.5	mg/GJ	0.25	1.1
Zn	512	mg/GJ	80	1300
PCB	0.007	µg/GJ	0.0007	0.07
PCDD/F	100	ng I-TEQ/GJ	30	500
Benzo(a)pyrene	10	mg/GJ	5	20
Benzo(b)fluoranthene	16	mg/GJ	8	32
Benzo(k)fluoranthene	5	mg/GJ	2	10
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	4	mg/GJ	2	8
HCB	5	µg/GJ	0.1	30

Tabella 18 - Caldaie generiche per usi non residenziali $50 \text{ kW} < P_n \leq 1 \text{ MW}$

Inquinante	Valore	Unità di misura	95 % Intervallo di confidenza	
			Superiore	Superiore
NO _x	91	g/GJ	20	120
CO	435	g/GJ	50	4000
NM VOC	156	g/GJ	5	400
SO _x	11	g/GJ	8	40
NH ₃	37	g/GJ	18	74
TSP (total particles)	105	g/GJ	41.5	166
PM10 (total particles)	100.5	g/GJ	39.5	158
PM2.5 (total particles)	98.5	g/GJ	38.5	154
BC (based on total particles)	26	% of PM _{2.5}	8.5	39
TSP (solid particles)	93	g/GJ	46.5	186
PM ₁₀ (solid particles)	88.5	g/GJ	44	176.5
PM _{2.5} (solid particles)	86.5	g/GJ	43.5	173
BC (based on solid particles)	29	% of PM _{2.5}	9.5	44
Pb	27	mg/GJ	0.5	118
Cd	13	mg/GJ	0.5	87

Inquinante	Valore	Unità di misura	95 % Intervallo di confidenza	
			Superiore	Superiore
Hg	0.56	mg/GJ	0.2	1
As	0.19	mg/GJ	0.05	12
Cr	23	mg/GJ	1	100
Cu	6	mg/GJ	n.d	89
Ni	2	mg/GJ	0.5	16
Se	0.5	mg/GJ	0.25	1.1
Zn	512	mg/GJ	80	1300
PCB	0.03	µg/GJ	0.006	0.3
PCDD/F	100	ng I-TEQ/GJ	30	500
Benzo(a)pyrene	10	mg/GJ	5	20
Benzo(b)fluoranthene	16	mg/GJ	8	32
Benzo(k)fluoranthene	5	mg/GJ	2	10
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	4	mg/GJ	2	8
HCB	5	µg/GJ	0.1	30

Tabella 19 - Caldaie a legna ad alimentazione manuale per usi non residenziali 50 kW < P_n < 1 MW

Inquinante	Valore	Unità di misura	95 % Intervallo di confidenza	
			Superiore	Superiore
NO _x	91	g/GJ	20	120
CO	570	g/GJ	50	4000
NM VOC	300	g/GJ	5	500
SO _x	11	g/GJ	8	40
NH ₃	37	g/GJ	18	74
TSP (total particles)	170	g/GJ	85	340
PM10 (total particles)	163	g/GJ	81	326
PM2.5 (total particles)	160	g/GJ	80	320
BC (based on total particles)	28	% of PM _{2.5}	11	39
TSP (solid particles)	150	g/GJ	75	300
PM ₁₀ (solid particles)	143	g/GJ	71	285
PM _{2.5} (solid particles)	140	g/GJ	70	279
BC (based on solid particles)	32	% of PM _{2.5}	13	45
Pb	27	mg/GJ	0.5	118
Cd	13	mg/GJ	0.5	87
Hg	0.56	mg/GJ	0.2	1
As	0.19	mg/GJ	0.05	12
Cr	23	mg/GJ	1	100
Cu	6	mg/GJ	4	89
Ni	2	mg/GJ	0.5	16
Se	0.5	mg/GJ	0.25	1.1
Zn	512	mg/GJ	80	1300
PCB	0.06	µg/GJ	0.006	0.6
PCDD/F	100	ng I- TEQ/GJ	30	500
Benzo(a)pyrene	10	mg/GJ	5	20
Benzo(b)fluoranthene	16	mg/GJ	8	32
Benzo(k)fluoranthene	5	mg/GJ	2	10
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	4	mg/GJ	2	8
HCB	5	µg/GJ	0.1	30

Tabella 20 - Caldaie a legna ad alimentazione automatica per usi non residenziali 50 kW < P_n < 1 MW

Inquinante	Valore	Unità di misura	95 % Intervallo di confidenza	
			Superiore	Superiore
NO _x	91	g/GJ	20	120
CO	300	g/GJ	50	4000
NM VOC	12	g/GJ	5	300
SO _x	11	g/GJ	8	40
NH ₃	37	g/GJ	18	74
TSP (total particles)	40	g/GJ	20	80
PM10 (total particles)	38	g/GJ	19	76
PM2.5 (total particles)	37	g/GJ	18	74
BC (based on total particles)	15	% of PM _{2.5}	6	39
TSP (solid particles)	36	g/GJ	18	72
PM ₁₀ (solid particles)	34	g/GJ	17	68

PM _{2.5} (solid particles)	33	g/GJ	17	67
BC (based on solid particles)	17	% of PM _{2.5}	7	44
Pb	27	mg/GJ	0.5	118
Cd	13	mg/GJ	0.5	87
Hg	0.56	mg/GJ	0.2	1
As	0.19	mg/GJ	0.05	12
Cr	23	mg/GJ	1	100
Cu	6	mg/GJ	4	89
Ni	2	mg/GJ	0.5	16
Se	0.5	mg/GJ	0.25	1.1
Zn	512	mg/GJ	80	1300
PCB	0.007	µg/GJ	0.0007	0.07
PCDD/F	100	ng I-TEQ/GJ	30	500
Benzo(a)pyrene	10	mg/GJ	5	20
Benzo(b)fluoranthene	16	mg/GJ	8	32
Benzo(k)fluoranthene	5	mg/GJ	2	10
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	4	mg/GJ	2	8
HCB	5	µg/GJ	0.1	30

Livello 3 EEA 2016

Il **livello 3** si basa invece su dati molto dettagliati gestiti tramite modelli specifici che, come anticipato sopra non vengono ulteriormente approfonditi dal report EEA che suggerisce di fare riferimento a studi e rapporti nazionali.

2.3.2 Fattori di emissione da bibliografia secondo EEA 2016

Prima di un ulteriore approfondimento su specifici Paesi, si ritiene utile segnalare che il Guidebook EEA riporta una serie di prospetti ricavati da varie fonti utilizzate per la compilazione della tabelle citate in precedenza. La loro riproposizione in questa sede serve per sottolineare nuovamente, come anticipato, che la scelta dei fattori di emissione si basa tuttora su dati di bibliografia a volte molto datati e basati su assunzioni, qualora disponibili, di difficile comparazione.

Tabella 21 - Fattori di emissione aggregati relativi alla combustione di legno in Norvegia, Svizzera, Finlandia, Regno Unito e Danimarca (EEA 2016 modificato CTI)

Tecnologie	NOX (g/GJ)	CO (g/GJ)	VOC a) (g/GJ)	THC as CH4 (g/GJ)	Particolato, TSP (g/GJ)	PAH (mg/GJ)
Cyclone furnaces	333	38	2.1	n.d.	59	n.d.
Fluidized bed boilers	170	0	n.d.	1	2	4
Pulverised fuel burners	69	164	n.d.	8	86	22
Grate plants	111	1846	n.d.	67	122	4040
Stoker burners	98	457	n.d.	4	59	9
Wood boilers	101	4975	n.d.	1330	n.d.	30
Modern wood-stoves	58	1730	n.d.	200	98	26
Traditional wood-stoves	29	6956	671	1750	1921	3445
Fireplaces	n.d.	6716	520	n.d.	6053	105

Tabella 22 - Fattori di emissione aggregati relativi alla combustione di biomassa in dispositivi di piccola taglia (EEA 2016 modificato CTI)

Tecnologie	Potenza (kW)	Eccesso d'aria	CO (g/GJ)	CxHya) (g/GJ)	Partic. TSP (g/GJ)	NOX (g/GJ)	Temp. (°C)	Rendimento (%)
Stufe a legna	9.33	2.43	3116	363	81	74	307	70
Inserti	14.07	2.87	2702	303	41	96	283	74
Stufe ad accumulo	13.31	2.53	1723	165	34	92	224	78
Stufe a pellet	8.97	3.00	275	7	28	92	132	83

Tabella 23 - Fattori di emissione da varie fonti bibliografiche (EEA 2016 modificato CTI)

Fonte	Tecnologia	PM2.5	PM10	TSP
BUWAL, 2001 ¹⁾	Domestic open fire places	n.d.	150	150
	Domestic furnaces	n.d.	150	150
	Domestic small boilers, manual	n.d.	50	50
	Small boilers, automatic loading	n.d.	80	80
Karvosenoja, 2000 ¹⁾	Domestic furnaces	n.d.	n.d.	200–500
Dreiseidler, 1999 ¹⁾	Domestic furnaces	n.d.	n.d.	200
Baumbach, 1999 ¹⁾	Domestic furnaces	n.d.	n.d.	50–100
Pfeiffer et al., 2000 ¹⁾	Residential and domestic	n.d.	n.d.	41–65
CEPMEIP, 2002 ¹⁾	‘High emissions’	270	285	300
	‘Low emissions’	135	143	150
Winiwarter et al, 2001 ¹⁾	Residential plants	72	81	90
	Domestic stoves, fireplaces	118	133	148
NUTEK, 1997 ¹⁾	Single family house boiler, conventional	n.d.	n.d.	1 500
	Single family house boiler, modern with accumulator tank	n.d.	n.d.	17
Smith, 1987 ¹⁾	Residential heating stoves < 5 kW	n.d.	n.d.	1 350
	Residential cooking stoves < 5 kW	n.d.	n.d.	570
BUWAL, 1995 (1992 Swiss limit value) ¹⁾	up to 1 MW	n.d.	n.d.	106
Spitzer et al., 1998 ¹⁾	Residential heating	n.d.	n.d.	148±46 %
	Single family house boiler, stoves	n.d.	n.d.	90±26%
Zhang et al., 2000 ¹⁾	Firewood in China	n.d.	n.d.	760–1 080
Houck and Tiegs, 1998/1 ³⁾	Conventional stove	n.d.	n.d.	1 680
	Conventional stove with densified fuel	n.d.	n.d.	1 200
	Non-catalytic stove	n.d.	n.d.	490
	Catalytic stove	n.d.	n.d.	440
	Masonry heater	n.d.	n.d.	250
	Pellet stove	n.d.	n.d.	130
	Fireplace, conventional	n.d.	n.d.	8 600
	Double-shell convection, natural draft	n.d.	n.d.	4 600
	Convection tubes, ‘C’ shaped, glass door	n.d.	n.d.	4 000
	Double-shell convection, blower, glass doors	n.d.	n.d.	1 900
	Masonry fireplace with shaped fire chambers and gladd doors	n.d.	n.d.	1 200
	Fireplace, non-catalytic insert	n.d.	n.d.	500
	Fireplace, catalytic insert	n.d.	n.d.	450
	Fireplace, pellet insert	n.d.	n.d.	130
EPA, 1998b ^{(1,2)?}	Open fireplaces	n.d.	805	875
	Wood stove	n.d.	724	787
Hobson M. et al, 2003	UNECETFEIP, Sweden, wood chips boilers 1.8–2 MW	n.d.	n.d.	51
	Open fire < 5 kW, hardwood ²⁾	n.d.	494	n.d.
	Domestic open fire: hundreds of source studies ²⁾	n.d.	n.d.	738
CITEPA, Paris, 2003	Open fire places	698	713	750
	Conventional closed fireplaces and inserts	288	295	310
	Conventional closed stoves and cooking	288	295	310
	Hand-stoked log wood boiler	233	238	250
	Automatically-stoked wood boiler	9	10	10
EPA, 1998a ⁴⁾	Boilers, bark	n.d.	n.d.	2 266
Lammi et al., 1993 ⁴⁾	Fluidized bed in large boilers	n.d.	n.d.	1 000–3 000
	Grate firing in large boilers	n.d.	n.d.	250–1 500
Tullin et al.; 2000	Wood/pellet boilers and stoves	n.d.	n.d.	50
	Old wood boiler	n.d.	n.d.	1 000
Hays et al. (2003) ²⁾	Wood stove	143.8–637.5	n.d.	n.d.
	Fireplaces	537.5	n.d.	n.d.
BLT, 2000/1	Wood boilers with two combustion chambers and	n.d.	n.d.	20

Fonte	Tecnologia	PM2.5	PM10	TSP
	sonarLambda			
BLT, 2005/1	Wood pellets and chip boiler 25 kW	n.d.	n.d.	14
	Pellets and wood chips boiler 43 kW–100 % and 33 % of capacity	n.d.	n.d.	23; 9
	Wood boiler 60 kW	n.d.	n.d.	28
	Boiler, wood chips 25 kW	n.d.	n.d.	18
	Pellets boiler 46.7 kW–100 % and 33 % of capacity	n.d.	n.d.	5; 12
BLT, 2003	Pellets and briquettes, boiler 7.7–26 kW	n.d.	n.d.	4
BLT, 1999	Wood chips, boiler 500 kW	n.d.	n.d.	28
BLT, 2004/1	Wood chips, boiler 20 kW	n.d.	n.d.	8
BLT, 2004/2	Wood log and briquettes, boiler 50 kW	n.d.	n.d.	16
BLT, 2000/2	Wood briquettes, chamber boiler 60 kW	n.d.	n.d.	10
BLT, 2005/2	Wood log, chamber boiler 27 kW	n.d.	n.d.	12
McDonald et. al., 2000 ²⁾	Fireplaces	As PM _{2.5}	n.d.	180–560; Aggr. 380
	Woodstove	n.d.	n.d.	140–450; Aggr. 270
Lee et al., 2005 ²⁾	Open fire place	n.d.	425	n.d.
Gullet et al., 2003	Fireplace, pine	n.d.	n.d.	147
	Fireplace, artificial logs (wax and sawdust)	n.d.	n.d.	483
	Stove, oak	n.d.	n.d.	504
Fine et al., 2002 ²⁾	Fireplaces; hardwood — yellow poplar	n.d.	n.d.	425 ± 50
	Fireplaces; hardwood — white ash	n.d.	n.d.	206 ± 19
	Fireplaces; hardwood — sweetgum	n.d.	n.d.	218 ± 25
	Fireplaces; hardwood — mockernut hickory	n.d.	n.d.	425 ± 56
	Fireplaces; softwood — loblolly Pine	n.d.	n.d.	231 ± 25
	Fireplaces; softwood — slash Pine	n.d.	n.d.	100 ± 19
Fine et al.; 2001 ²⁾	Conventional masonry fireplaces; hardwood — red maple northern	n.d.	n.d.	206 ± 19
	Conventional masonry fireplaces; hardwood — red oak	n.d.	n.d.	356 ± 19
	Conventional masonry fireplaces; hardwood — paper birch	n.d.	n.d.	169 ± 19
	Conventional masonry fireplaces softwoods — eastern white pine	n.d.	n.d.	713 ± 125
	Conventional masonry fireplaces softwoods — eastern hemlock	n.d.	n.d.	231 ± 25
	Conventional masonry fireplaces softwoods — balsam fir	n.d.	n.d.	300 ± 31
	Fireplaces; wood	170–710	n.d.	n.d.
Boman et al., 2004	Pellet burner boilers 10–15 kW, overfeeding of the fuel; sawdust, logging residues and bark	n.d.	n.d.	114–377 Aggregate 240
	Pellet burner boilers 10–15 kW, horizontal feeding of the fuel; sawdust, logging residues and bark	n.d.	n.d.	57–157 Aggregate 95
	Pellet burner boilers 10–15 kW, underfeeding of the fuel; sawdust, logging residues and bark	n.d.	n.d.	64–192 Aggregate 140
Broderick et al. 2005 ²⁾	All masonry and factory-built (zero clearance)	n.d.	n.d.	590
	Fireplaces, all cordwood	n.d.	n.d.	810
	Fireplaces, all dimensional lumber	n.d.	n.d.	410
	Fireplaces, all with closed doors	n.d.	n.d.	350
	Fireplaces, all with open doors	n.d.	n.d.	690
	Fireplaces, all masonry fireplaces	n.d.	n.d.	660
	Fireplaces, all factory-built fireplaces	n.d.	n.d.	580
	Fireplaces, cordwood, factory-built, open doors	n.d.	n.d.	870
	Fireplaces, dimensional lumber, factory built, open doors	n.d.	n.d.	510

Fonte	Tecnologia	PM2.5	PM10	TSP
	All fireplaces, all wood types	n.d.	n.d.	Aggr. 590
	All factory-built fireplaces with open door, cordwood	n.d.	n.d.	Aggr. 840
Gaegauf et al., 2001	Wood room heaters	n.d.	n.d.	70 ± 25
	Wood accumulating stoves	n.d.	n.d.	167 ± 44
	Wood log boilers	n.d.	n.d.	28 ± 11
	Pellet boilers	n.d.	n.d.	20 ± 0.4
	Pellet room heaters	n.d.	n.d.	54 ± 3
	Wood chip boilers — dry fuel	n.d.	n.d.	94 ± 13
	Wood chip boilers — wet fuel	n.d.	n.d.	48 ± 6
Johansson et al., 2001 ⁷⁾	Wood chip boilers — residuals	n.d.	n.d.	64 ± 7
	Pellet boilers with fixed grates with moving scrapes 1.75–2.5 MW	n.d.	n.d.	35–40
Nussbaumer, 2001 ²⁾	All automatic wood furnaces	n.d.	n.d.	< 110
	Understoker furnaces	n.d.	n.d.	< 55
	Log wood boilers	n.d.	n.d.	34
	Wood chips boiler ⁵⁾	n.d.	n.d.	68
	Wood residues, boiler ⁵⁾	n.d.	n.d.	70
	Urban waste wood, boiler ⁶⁾	n.d.	n.d.	1.5
Houck et al., 2000 ²⁾	Conventional stove, cordwood	n.d.	n.d.	750
	Pellet stoves, softwood	n.d.	n.d.	80–170
	Pellets stove, hardwood	n.d.	n.d.	125;190;220
	Pellets boiler, top-feed, softwood	n.d.	n.d.	27.5; 37.5;62.5
	Pellets boiler, bottom-feed softwood	n.d.	n.d.	16.3; 25.0
Houck et al., 2005 ²⁾	Conventional stove woodstove	890	n.d.	n.d.
	Catalytic certified woodstove	430	n.d.	n.d.
	Non-catalytic certified woodstove	330	n.d.	n.d.
	Pellet stove exempt	160	n.d.	n.d.
	Certified pellet stove	160	n.d.	n.d.
Boman et al., 2005	Pellet stove 4.8 kW (high load)	n.d.	n.d.	11–20 Aggregate 15
	Pellet stove 4.8 kW (low load 2.3 kW)	n.d.	n.d.	32–81 Aggregate 51
	Natural-draft wood stove, 9 kW; birch pine spruce	n.d.	n.d.	37–350 Aggregate 160
	Pellet stove, 4–9,5 kW; pine and spruce (high load)	n.d.	n.d.	15–17 Aggregate 16
	Pellet stove, 4–9,5 kW; pine and spruce (low load 30 %)	n.d.	n.d.	21–43 Aggregate 34
Krucki et al., 2006 ⁽²⁾	Biomass boiler, two stage combustor 95 kW, log wood	n.d.	n.d.	34
	Biomass boiler, two-stage combustor 22 kW, log wood	n.d.	n.d.	13
Kubica, 2004/1	Conventional stove 5 kW	n.d.	n.d.	1610
Kubica, 2004/2	Pellet burner/boilers	n.d.	n.d.	20–60
	Chamber boiler (hand-fuelled), log wood	n.d.	n.d.	70–175
Kubica et al., 2005/1	Boiler, bottom feed, log wood	n.d.	n.d.	116
	Boiler, bottom feed, wood briquettes	n.d.	n.d.	39
	Automatic-fuelled boiler — stocker 30 kW, pellets	n.d.	n.d.	6
	Automatic-fuelled coal boiler, wood chips	n.d.	n.d.	60
Kubica et al., 2005/3	Residential/commercial/institutional/	9–698 Aggregate 450	10–713 Aggregate 490	17–4000 Aggregate 520
	Boilers > 1MW < 50 MW	9–170 Aggregate 80	60–214 Aggregate 80	20–500 Aggregate 100
Hedberg et al., 2002 ²⁾	Commercial soapstone stove, birch logs	6–163 Aggregate 81	n.d.	n.d.
Johansson et al, 2006	Single family house boiler, modern with accumulator tank	n.d.	n.d.	26–450

Fonte	Tecnologia	PM2.5	PM10	TSP
Johansson et al, 2006	Single family house boiler, conventional	n.d.	n.d.	73–260
Johansson et al, 2004 a	Single family house boiler, modern with accumulator tank	n.d.	n.d.	23–89
Johansson et al, 2004 a	Single family house boiler, conventional	n.d.	n.d.	87–2 200
Johansson et al, 2006	Single family house boiler, conventional	n.d.	n.d.	73–260
Johansson et al, 2004 a	Pellets burners/boiler	n.d.	n.d.	12–65
Ohlström, 2005	Wood log stove	90 ⁸⁾	n.d.	100
	Sauna	190 ⁸⁾	n.d.	200
	Pelletsburner	70 ⁸⁾	n.d.	n.d.
	Pelletsburner	25 ⁸⁾	n.d.	35
	Wood chips/pellets boiler 30–50 kW	15 ⁸⁾	n.d.	20
	Wood chips boiler 30–50 kW	10 ⁸⁾	n.d.	20
	Pellets boiler 30–50 kW	10 ⁸⁾	n.d.	15
	Wood chips/pellets stoker ⁶⁾ 50–500 kW	20 ⁸⁾	n.d.	40
	Wood chips stoker 30–500 kW ⁶⁾	30 ⁸⁾	n.d.	50
	Pellets stoker 50–500 kW ⁶⁾	10 ⁸⁾	n.d.	20
	Wood chips grate boiler 5–20 MW	20–55 ⁶⁾		
	Wood chips Fluidized bed 20–100 MW	2–20 ⁷⁾		
	Wood chips grate boiler 20–100 MW ⁷⁾	3–10		
	Wood chips grate boiler 10 MW ⁶⁾	3 ⁸⁾	n.d.	10
Paulrud et al. 2006.	Wood log stove	n.d.	n.d.	22–181
Johansson et al, 2004b	Pelletsstove	30–55	30–58	n.d.
	Pellets burner/boiler	10–60	10–75	n.d.
Glasius et al, 2005	Wood stove	n.d.	n.d.	200–5 500
Schauer et. al., 2001	Open fire place	330–630	n.d.	n.d.
Purvis et. al., 2000	Open fire place	n.d.	n.d.	170–780
Wierzbicka, 2005	Moving grate 1.5 MW saw dust, low load	36 ^{6,8)}	n.d.	
	Moving grate 1.5 MW saw dust, Medium load	28 ^{6,8)}	n.d.	
	Moving grate 1.5 MW saw dust, high load	25 ^{6,8)}	n.d.	n.d.
	Moving grate 1.5 MW pellets, low load	20 ^{6,8)}	n.d.	n.d.
	Moving grate 1.5 MW pellets, medium load	19 ^{6,8)}	n.d.	n.d.
	Moving grate 1 MW forest residue, medium load	676 ^{6,8)}	n.d.	n.d.
	Moving grate 1 MW forest residue, high load	57 ^{6,8)}	n.d.	n.d.
Strand. et al, 2004	Moving grate 6 MW forest residue, high load	43 ^{6,8)}	n.d.	n.d.
	Moving grate 12 MW forest residue, high load	77 ^{6,8)}	n.d.	n.d.
	Moving grate 0.9 MW pellets, low load	10 ^{6,8)}	n.d.	n.d.

Legenda

1. Come citato da Klimont et al., 2002.
 2. Valori originali in lb/ton o in g/kg ricalcolati con $H_u = 16 \text{ GJ/t}$.
 3. Fattori stimati per unità di energia fornita.
 4. Dati per solo scopo informativo.
 5. Sistema di pulizia fumi a ciclone.
 6. Sistema di pulizia fumi a filtro.
 7. PM principalmente tra 0.1-0.3 μm . Tipicamente più dell'80 % delle particelle sono inferiori a 1 μm . La dimensione media è di circa 0.1 μm (tra 50 nm e 200 nm).
 8. Misurato come PM1.
- n.d. — non disponibili.

2.3.3 ISPRA

Una fonte istituzionale di riferimento per il nostro Paese è ISPRA ed in particolare il già citato report “Italian Emission Inventory 1990 - 2015 Informative Inventory Report 2017” che segue l’approccio di livello 2

definito dall'EEA nel Guidebook 2016 integrato con dati e informazioni provenienti da ricerche sviluppate in Italia con la collaborazione del MiSE, ENEA e Innovhub ISSI SSC.

ISPRA, oltre ad indicare la distribuzione delle tecnologie di generatori a biocombustibile solido vista nella prima parte del presente rapporto, fornisce anche dei fattori di emissione relativi al settore residenziale, basati su studi preesistenti, soprattutto uno in particolare sviluppato dalla Stazione Sperimentale Combustibili nel 2012⁹. Si limita però in questo caso a fornire i valori per una generica tecnologia di combustione con potenza inferiore a 50 MW, quindi ipotizzando un approccio simile al livello 1 dell'EEA. Viene però sottolineato come i valori dei fattori per il particolato siano generalmente inferiori (o molto vicini) ai valori minimi dell'intervallo indicato dal report EEA tranne che per il particolato emesso da stufe a pellet che utilizzano combustibile non certificato i cui valori sono superiori. In tabella 24 se ne fornisce un quadro di dettaglio.

Tabella 24 - Fattori di emissione per generatori di calore del settore residenziale (Fonte ISPRA 2017 – SSC 2012)

	2010 g/GJ	2015 g/GJ		2010 g/GJ	2015 g/GJ
NO _x	61	60	Cd	0.001	0.001
CO	5395	5275	Cr	0.003	0.003
NM VOC	638	631	Cu	0.01	0.01
SO ₂	13	12	Hg	0.0004	0.0004
NH ₃	6	6	Ni	0.002	0.002
PM ₁₀	404	407	Pb	0.04	0.04
PM _{2.5}	400	402	Se	0.001	0.0005
BC	34	34	Zn	0.09	0.09
PAH	0.22	0.22	B(a)P	0.06	0.07
Dioxin (µg/GJ)	0.44	0.42	B(b)F	0.08	0.08
PCB	0.00006	0.00006	B(k)F	0.04	0.03
HCB	0.00001	0.00001	IND	0.04	0.04
As	0.001	0.0005			

2.3.4 INNOVHUB SSI SSC – Stazione Sperimentale per i Combustibili

Ulteriore fonte di dati, già citata nel punto precedente, è la Stazione Sperimentale dei Combustibili, Stazione Sperimentale per l'Industria della Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura di Milano. In uno studio¹⁰ del 2016, riconfermato poi nel 2017, la SSC ha individuato i fattori di emissione indicati nel prospetto seguente. Per il PM i valori sono relativi a Particolato totale compresa la frazione condensabile dei composti organici volatili non metanici.

I fattori (Tabella 25) sono stati ottenuti mediante campionamento sia con Filtro a caldo che mediante Tunnel di diluizione a freddo.

Tabella 25 - Fattori di emissione per generatori di calore del settore residenziale (Fonte SSC 2016)

Combustibile	CO g/GJ	NO _x g/GJ	SO _x g/GJ	COV g/GJ	PM g/GJ	IPA - benzo(a)pirene µg/MJ	NOTE
Legna	5862 ^d	122 ^d	10.7 ^d	536 ^d	254 ^d	68.7 ^d	^d dati ISSI
Pellet A1 stufa 4 stelle	175.6	135.9	6.87 ^e	6.7	23.9	0.22	^e valore teorico sulla base del contenuto di zolfo
Pellet A1 stufa 3 stelle	141.4	118.2	6.87 ^e	40.5	44.1	0.18	^e valore teorico sulla base del contenuto di zolfo
Pellet A2	236.1	166.3	12.8 ^e	8.2	83.8	0.1	^e valore teorico sulla base del contenuto di zolfo

⁹ Final report on emissions from biomass combustion for heating. Stazione Sperimentale dei Combustibili. Prot. ENEA/2009/34883/APU-UGA March 2012.

¹⁰ Studio comparativo sulle emissioni di apparecchi a gas, GPL, gasolio e pellet. Innovhub SSI SSC 2016

stufa 4 stelle							
Pellet A2 stufa 3 stelle	625.7	233.2	12.8 ^e	223.8	82.9	0.94	^e valore teorico sulla base del contenuto di zolfo

2.3.5 Inventario INEMAR ARPA Lombardia

Scendendo a livello regionale è necessario citare l'inventario regionale INEMAR¹¹ di Regione Lombardia. Si tratta di una banca dati aggiornata e adottata anche da altre regioni italiane. INEMAR fa riferimento a fattori di emissione basati sulle principali fonti citate anche nel presente rapporto oltre che su dati tratti da CEPMEIP (COORDINATED EUROPEAN PARTICULATE MATTER EMISSION INVENTORY), dall'IPCC e dall'analisi critica di dati di letteratura grazie anche al supporto scientifico del Politecnico di Milano.

L'approccio di INEMAR tiene in considerazione anche i cosiddetti "indicatori di attività" individuati tramite fonti ufficiali nazionali (ENEA) e regionali (ARPA Lombardia, FLA, ARPA Emilia Romagna) nonché mediante collaborazioni con associazioni di categoria ed indagini ad hoc. Gli ultimi dati disponibili, riportati in tabella 26, sono relativi al 2014¹². Un elemento importante, che si trova anche in altri progetti relativi alle indagini in materia, riguarda l'utilizzo di marcatori associati alla combustione di biomassa come ad esempio il Levoglucosano. E' una tematica non ulteriormente approfondita in questo rapporto, ma potrebbe essere utile un suo ulteriore approfondimento.

Tabella 26 - Distribuzione percentuale delle emissioni in Lombardia nel 2014 - dati finali (www.inemar.eu modificato CTI)

Combustibile	SO ₂	NO _x	COV	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀	PTS
benzina verde	0 %	3 %	6 %	0 %	26 %	9 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
carbone	3 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
diesel	1 %	59 %	1 %	0 %	8 %	23 %	4 %	0 %	15 %	13 %	11 %
gas di raffineria	18 %	2 %	0 %	0 %	0 %	6 %	1 %		0 %	0 %	0 %
gasolio	4 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
GPL	0 %	1 %	0 %	0 %	1 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
kerosene	1 %	2 %	0 %		1 %	1 %			0 %	0 %	0 %
legna e similari	5 %	3 %	5 %	2 %	36 %	0 %	3 %	0 %	55 %	48 %	41 %
metano	6 %	17 %	1 %	0 %	9 %	50 %	3 %	0 %	2 %	2 %	1 %
olio combust	4 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
altro	17 %	8 %	1 %	0 %	3 %	5 %	3 %	0 %	2 %	2 %	3 %
senza comb.	42 %	4 %	86 %	97 %	15 %	2 %	84 %	98 %	25 %	34 %	43 %
Totale	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Un elemento ricorrente di queste banche dati è il capitolo relativo all'incertezza. INEMAR ad esempio evidenzia che: *Il termine "incertezza" si riferisce ad una mancanza di conoscenza in senso statistico, ossia alla non accuratezza o all'imprecisione nelle stime.* Proprio al fine di sottolineare come sia fondamentale questo il problema attuale della quantificazione delle emissioni, INEMAR richiama l'importanza di un approccio per approssimazioni successive che consente di arrivare, in funzione degli obiettivi prefissati, a risultati sempre più attendibili man mano che si integra la banca dati con informazioni aggiornate. Questo, come risulta anche da vari altri studi, determina a volte l'impossibilità di individuare gli andamenti nel tempo delle emissioni, in quanto, soprattutto nelle prime fasi di elaborazione e popolamento delle banche dati, le variazioni possono essere dovute non tanto ad effetti delle misure di intervento adottate dalla Pubblica Amministrazione o a miglioramenti tecnologici, ma ad aggiustamenti dei dati di riferimento.

2.3.6 Progetto AIRUSE (Spagna, Portogallo, Grecia)

Tra i molti progetti finanziati dalla CE, se ne cita in particolare uno in quanto espressamente richiamato anche dall'EEA nel Guidebook 2016 citato in precedenza. Chiuso nel 2016, il progetto Life AIRUSE (Life11 ENV/ES/584) ha affrontato il tema della qualità dell'aria nelle regioni meridionali dell'Europa analizzando

¹¹ www.inemar.eu

¹² INEMAR - ARPA Lombardia (2018), INEMAR, Inventario Emissioni in Atmosfera: emissioni in Regione Lombardia nell'anno 2014 - dati finali. ARPA Lombardia Settore Monitoraggi Ambientali.

soprattutto le emissioni di particolato e la loro gestione in 5 città europee: Barcellona, Porto, Milano, Firenze ed Atene. Ha inoltre svolto una indagine sui fattori di emissione andando a riprendere valori bibliografici risalenti a qualche anno prima e questo è indicativo di come spesso i dati di letteratura vengano via via richiamati da documenti ufficiali senza ulteriori miglioramenti. Per quanto riguarda i dati italiani il riferimento di progetto è stato ARPA Lombardia, per cui, ai fini del presente rapporto e considerate le premesse, si approfondiscono maggiormente le informazioni relative agli altri Paesi (Spagna, Portogallo e Grecia). Per quanto riguarda la penisola ellenica lo studio evidenzia sostanzialmente come il problema delle emissioni da biomassa sia cresciuto contestualmente alla crisi economica degli ultimi anni che ha determinato un incremento del consumo di legna, più economica rispetto alle fonti fossili, con un conseguente maggior impatto (valutato attorno al 30%) sulla concentrazione di PM_{2.5} in atmosfera. Nel corso dei lavori sono state eseguite anche delle prove di laboratorio su un numero limitato di generatori ma utilizzando condizioni di prova definite appositamente, pertanto di difficile comparazione con altri dati. I risultati sono riportati in tabella 27.

Tabella 27 – Fattori di emissione medi ottenuti sperimentalmente nel corso del progetto AIRUSE (Fonte AIRUSE 2016)

FIREPLACE							
	Softwood	Hardwood	Briquettes				
mg PM _{2.5} MJ ⁻¹ biofuel	390	939	767				
µg BaP MJ ⁻¹ biofuel	14	26	1.7				
TRADITIONAL WOODSTOVE							
	Softwood	Hardwood	Briquettes				
mg PM _{2.5} MJ ⁻¹ biofuel	202	750	501				
µg BaP MJ ⁻¹ biofuel	2.6	18	4.7				
ECO-LABELLED STOVE							
	Softwood	Hardwood	Briquettes				
mg PM ₁₀ MJ ⁻¹ biofuel	62	114	---				
µg BaP MJ ⁻¹ biofuel	86	8.1	---				
PELLET STOVE							
	Pellets I	Pellets II	Pellets III	Pellets IV	Olive pit	Shell of pine nuts	Almond shell
mg PM ₁₀ MJ ⁻¹ biofuel	27	86	102	76	168	117	112
µg BaP MJ ⁻¹ biofuel	0.24	nd	nd	0.26	nd	0.92	0.50

Il progetto AIRUSE ha anche approfondito il tema dei marcatori, come il Levoglucosano o il Potassio, e il loro ruolo nelle allocazioni del PM al settore della combustione della biomassa in vari Paesi europei ed internazionali. Le conclusioni vanno nella direzione di confermare, qualora ce ne fosse bisogno, l'utilità del ricorso a tali traccianti quando si affronta il problema delle emissioni di PM e della loro quantificazione per settore. Nelle tabelle che seguono vengono riportati i fattori di emissione individuati dal progetto.

Tabella 28 -Fattori di emissione per Caldaie a legna con marcatura Ecolabel (Fonte AIRUSE 2016)

		EF [mg.MJ ⁻¹]									
	Fuel	CO ₂		CO		PM ₁₀		OC		EC	
		av.	std.	av.	std.	av.	std.	av.	std.	av.	std.
Eco-labelled woodstove ¹³	Maritime pine	88649	525	1485.95	144.86	60.54	13.51	15.68	6.49	23.78	12.97
	Golden wattle	89730	3819	2505.95	120.54	65.95	10.27	12.97	5.41	15.68	5.41
	Eucalyptus	85405	461	2188.11	484.86	111.89	45.95	35.68	16.76	14.59	10.27
	Cork oak	88541	525	3489.73	346.49	156.22	48.65	67.03	13.51	17.84	9.73
		EF [mg.MJ ⁻¹]				%PM ₁₀				EF [mg.MJ ⁻¹]	
	Fuel	CO		PM ₁₀		OC		EC		OC	
		av.	std.	av.	std.	av.	std.	av.	std.	av.	std.
	Briquettes	939.33		72.77		37.60		33.10		27.3	

¹³ FERNANDES, A. P. et al. - Emission factors from residential combustion appliances burning Portuguese biomass fuels. Journal of environmental monitoring: JEM. 13:11 (2011) 3196–206. doi: 10.1039/c1em10500k

Eco-labelled woodstove ¹⁴	Beech	1680.96		89.28		37.00		35.60		33.0		31.79	
	Oak	1813.66		71.86		29.80		22.20		21.4		15.95	
	Spruce	1339.82		79.55		32.90		28.30		26.1		22.51	

Tabella 29 - Fattori di emissione per Stufe e caminetti (Fonte AIRUSE 2016 modificato CTI)

EF [mg.MJ ⁻¹]														
			CO2		CO		PM2.5		PM10		OC		EC	
			Ref	Fuel	av.	std.	av.	std.	av.	std.	av.	std.	av.	std.
Caminetti	[1]	Maritime pine	93784	7135	2762.16	372.43	372.97	194.59			156.76	70.27	33.51	26.49
		Golden wattle	91730	3714	3340.54	204.86	421.62	335.14			189.19	167.57	18.38	14.05
		Holm oak	90541	7946	3340.54	441.62	702.70	448.65			389.19	216.22	16.22	5.95
		Eucalypt	85676	3930	4264.86	397.30	648.65	410.81			275.68	210.81	19.46	19.46
		Olive	94216	10432	4378.38	433.51	1135.14	540.54			491.89	308.11	21.08	8.65
		Cork oak	89838	16595	4261.62	1183.78	972.97	540.54			540.54	281.08	36.76	21.62
		Portugese oak	88703	2200	4243.24	951.35	756.76	524.32			329.73	183.78	17.30	10.81
		Briquettes/Pellets	91405	2946	3151.35	913.35	648.65	416.22			318.92	227.03	15.68	13.51
	[2]	European beech	94545	4966	4021.15	361.96	311.89	68.11			210.81	49.73	23.24	12.43
		Pyrenean oak	87466	4482	4651.15	761.31	675.68	220.54			487.57	163.78	32.43	4.86
		Black poplar	95406	9667	6258.36	634.20	757.30	275.14			568.11	182.16	42.70	10.27
	[3]	Maritime pine			3243.24	486.49	0.00	0.00	722.42	235.96	431.88	150.08	81.86	41.46
		Eucalypt			4540.54	156.76	0.00	0.00	1093.70	154.10	630.05	90.17	20.88	2.12
		Cork oak			4702.70	551.35	0.00	0.00	744.86	154.13	450.14	103.50	32.45	8.17
Stufe a legna	[1]	Maritime pine	90270	13568	3086.49	1027.03	281.08	232.43			135.14	135.14	32.97	23.24
		Golden wattle	85622	22324	5216.22	1297.30	427.03	232.43			221.62	143.24	15.68	9.73
		Holm oak	88216	17027	3443.24	1005.41	313.51	210.81			162.16	113.51	12.43	5.41
		Eucalypt	83676	14000	3654.05	772.97	540.54	362.16			281.08	216.22	20.00	16.22
		Olive	93243	17297	3508.11	848.65	470.27	243.24			248.65	118.92	24.86	12.97
		Cork oak	86703	22378	5362.16	1664.86	448.65	329.73			259.46	183.78	22.70	17.84
		Portugese oak	85027	10811	4643.24	691.89	702.70	448.65			335.14	248.65	17.30	8.11
		Briquettes/Pellets	88432	14108	3400.00	854.05	383.78	259.46			200.00	162.16	9.73	6.49
	[2]	European beech	94484	3176	2966.25	209.70	149.73	39.46			86.49	27.03	23.24	7.03
		Pyrenean oak	76477	7369	5166.89	419.34	721.08	203.78			494.05	144.86	48.65	10.81
		Black poplar	101586	1544	4544.21	262.23	236.76	75.68			154.59	59.46	47.57	2.70
	[3]	Maritime pine			2054.05	43.24			256.09	127.43	107.00	32.15	89.80	60.59
		Eucalypt			2540.54	227.03			411.50	132.78	224.35	73.05	32.28	11.85
		Cork oak			2918.92	508.11			300.73	155.00	160.53	99.00	26.80	1.55
	[4]	Maritime pine	87756	1639	3357.38	672.80			351.19	85.80	165.18	112.34	101.61	38.35
		European beech	88298	7781	2569.00	473.58			338.19	3.33	142.95	6.30	67.29	11.90

Legenda

- 1] GONÇALVES, C.; ALVES, C.; PIO, C. - Inventory of fine particulate organic compound emissions from residential wood combustion in Portugal. Atmospheric Environment. 50 (2012) 297–306.
- 2] MARTINS, V. I. F. - Emissões de carbono particulado durante a queima doméstica de biomassa. [S.l.]: Universidade de Aveiro, 2012

¹⁴ SCHMIDL, C. et al. - Particulate and gaseous emissions from manually and automatically fired small scale combustion systems. Atmospheric Environment. ISSN 13522310. 45:39 (2011) 7443–7454. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.05.006.

- 3] DUARTE, M. A. C. - Emissões de compostos carbonosos pela queima doméstica de biomassa. [S.l.]: Universidade de Aveiro, 2011
 4] Vicente, E. A. D. - Medidas para mitigar as emissões da combustão doméstica de biomassa. [S.l.]: Universidade de Aveiro, 2013

AIRUSE richiama anche un precedente studio il cui acronimo è Transphorm. Lo si cita in questa sede soprattutto per le conclusioni a cui arriva che evidenziano la difficoltà nel comparare risultati di differenti progetti in quanto basati su presupposti e assunzioni di partenza a volte molto diversi tra loro. Ai fini del presente lavoro si ritiene debba venir evidenziato nuovamente il solo fatto che la scelta dei fattori di emissione non possa essere fatta in maniera superficiale in quanto ciò porterebbe a successive critiche non facilmente gestibili.

2.4 Approfondimento sull'approccio seguito da alcuni Paesi per la scelta e gestione dei fattori di emissione da combustione di biomassa.

Il tema dei fattori di emissione è stato affrontato in vari contesti nazionali e non solo nei Paesi tradizionalmente vocati alla combustione della biomassa, come quelli nordici o continentali.

Le fonti in letteratura sono pertanto molte, ma gli approcci seguiti sono spesso differenti e legati a contesti legislativi e di mercato locali, quindi molto specifici e difficili da ricostruire o da trasferire ad altri mercati.

Un ulteriore elemento di criticità è costituito dalla difficoltà di comparare i risultati di studi differenti. Il citato progetto AIRUSE ad esempio sottolinea come i dati legati alla specificità di un Paese siano di difficile individuazione proprio perché i fattori di emissione sono influenzati da parametri che variano notevolmente con la tipologia di combustibile e con la tecnologia di combustione; questi fattori sono inoltre di difficile classificazione e possono variare da regione a regione. Le varie fonti pertanto pur offrendo spesso informazioni puntuali a volte non specificano l'incertezza del dato e in ogni caso, proprio per il ricorso a metodologie differenti, sono difficilmente confrontabili.

2.4.1 Paesi scandinavi

Un primo input relativo ai fattori di emissione disponibili nei Paesi Scandinavi arriva dall'EEA 2016 che riporta i seguenti dati ricavati, però, da fonti bibliografiche del 2002.

Tabella 30 - Fattori di emissione per bruciatori a pellet in Svezia (EEA 2016 – Bostrom 2002, modificato CTI)

	TSP (g/GJ)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	THC 1) (g/GJ)	NO _x (g/GJ)	Potenza (kW)
Bruciatori a pellet con alimentazione continua						
A carico nominale	22	9.5	11.1	3	73	10.7
6 kW Potenza in ingresso	4	6.0	14.6	78	70	6.2
6 kW Potenza resa (Elevata portata di aria comburente)	28	4.8	15.8	31	68	6.2
3 kW Potenza resa	65	3.7	16.9	252	66	3.2
Bruciatori a pellet con ignizione elettrica						
A carico nominale	16	13.0	7.4	1	70	22.2
6 kW Potenza resa (Legna molto ricca in ceneri)	64	9.1	11.3	60	64	6.1
3 kW Potenza resa	15	8.6	11.9	10	67	3.1

Tabella 31 - Fattori di emissione per caldaie a legno in Svezia (EEA 2016 – Bostrom 2002, modificato CTI)

	TSP (g/GJ)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	THC 1) (g/GJ)	CO (g/GJ)	NO _x (g/GJ)
Presenza di accumulo	103	8.3	11.8	1500	5879	67
Combustione intermittente a ciocchi	n.d.	5.6	13.4	4729	16267	28
Partenza a freddo	2243	6.9	14.6	2958	8193	64

Tabella 32 - Fattori di emissione per caldaie da 1.75 e 2 MW in Svezia (EEA 2016 – Bostrom 2002, modificato CTI)

Fuel	Carico (%)	O ₂ (%)	CO (g/GJ)	THC (g/GJ) a)	CH ₄ (g/GJ)	TSP (g/GJ)	NO _x (g/GJ)	NH ₃ (g/GJ)
------	------------	--------------------	--------------	------------------	---------------------------	---------------	---------------------------	---------------------------

Pellet	20	4	7 400	500	400	43	17	6
Pellet	50	7	1 600	17	< 1	43	27	1
Pellet	100	4	140	< 1	< 1	32	37	< 1
Bricchette	100	6.3	270	2	< 1	36	35	< 1
Residui di sramatura	100	6.5	42	< 1	< 1	71	74	< 1
Cippato	100	7.2	3 900	48	31	51	25	2

La gestione del problema della combustione delle biomasse nei Paesi scandinavi è descritta nel report “Controlling Emissions from Wood Burning”¹⁵ elaborato per il Nordic Council of Ministres dall’International Cryosphere Climate Initiative nel 2014. Uno dei primi aspetti evidenziati dal documento riguarda la difficoltà di confronto tra fattori di emissione elaborati disgiuntamente. Viene riportato ad esempio il prospetto seguente in cui si evidenzia come le differenze significative tra Norvegia e Svezia con il commento degli estensori del rapporto “... the differences cannot be explained by differences in equipment installation or use of bio-fuels, but must be due to other reasons...”.

Tabella 33 - Fattori di emissione utilizzati per gli inventari riferiti al PM_{2.5}. Valori medi 2010 per generatori di piccola taglia (Fonte NCM 2014 modificato CTI)

	Danimarca	Finlandia	Svezia	Norvegia
PM _{2.5} g/GJ	444	179	99	835

Nel presente rapporto non sono stati approfonditi i motivi di tali differenze, ma l’evidenziazione è utile per sottolineare nuovamente la difficoltà di interpretazione e conseguente valutazione tecnico-politica di un dato di questo tipo.

A livello legislativo è sul finire degli anni 90’ che Svezia, Danimarca e Norvegia hanno definito dei limiti di emissione per caldaie e stufe a combustibile legnoso, mentre la Finlandia sembra non aver legiferato in merito. Gli approcci però variano significativamente. La Norvegia ha adottato un metodo basato sul campionamento a freddo, quindi che tiene in considerazione anche la frazione condensabile, e che considera l’intero ciclo di combustione, la Danimarca consente di scegliere, definendo però limiti specifici in funzione del metodo.

La **Danimarca** gestisce la tematica con il decreto BEK 1461¹⁶ del 7/12/2015 che fa riferimento sia alle norme tecniche NS 3058 e 3059¹⁷ che a quelle europee (EN 303-5¹⁸ e CEN/TS 15883¹⁹).

Tabella 34 - Limiti alle emissioni da combustione di biocombustibili solidi in Danimarca – Generatori piccola taglia (Fonte BEK 1461 modificato CTI)

Tecnologia	Particolato	Particolato (2018)	Norma di riferimento
Stufa, Camino, Cucina	10 g/kg _{bioc.} (Valore max per singolo test) 5 g/kg _{bioc.} (Valore medio della prova)	8 g/kg _{bioc.} (Valore max per singolo test) 4 g/kg _{bioc.} (Valore medio della prova)	NS 3058 e 3059 (Tunnel di Diluizione)
	40 mg /nm ³ al 13% O ₂	30 mg /nm ³ al 13% O ₂	CEN/TS 15883

¹⁵ “Legislation and Regulations in Nordic Countries to Control Emissions from Residential Wood Burning - An examination of Past Experience - Svante Bodin, Thomas Levande

¹⁶ <https://www.retsinformation.dk/forms/r0710.aspx?id=175857#idb7abc885-4d67-4ada-9179-dfc34af746cf>

¹⁷ NS 3058 Enclosed wood heaters. Smoke emission. Parte 1: Test facility and heating pattern. Parte 2: Determination of particulate emission. - NS 3059 Enclosed wood heaters. Smoke emission. Requirements

¹⁸ UNI EN 303-5:2012 Caldaie per riscaldamento. Parte 5: Caldaie per combustibili solidi, con alimentazione manuale o automatica, con una potenza termica nominale fino a 500 kW - Terminologia, requisiti, prove e marcatura

¹⁹ UNI CEN/TS 15883 Apparecchi di riscaldamento domestici a combustibile solido - Metodi di prova delle emissioni

Tabella 35 - Limiti alle emissioni da combustione di biocombustibili solidi in Danimarca – Caldaie Pn < 1MW (Fonte BEK 1461 modificato CTI)

Caldaia	OGC mg C/nm ³ al 10% O ₂	CO mg/nm ³ al 10% O ₂	Polvere mg/nm ³ al 10% O ₂	Norma di riferimento
Alimentazione manuale	30	700	60	EN 303-5
Alimentazione automatica	20	500	40	EN 303-5

In **Norvegia** la legislazione²⁰ impone un limite di 10 g/kg_{biocomb} indipendentemente dalla categoria di dispositivo, mentre risulta essere in corso un'analisi di revisione dei fattori di emissione per tecnologia secondo la proposta descritta in uno specifico report²¹ che oltre a rivedere i fattori per il legno introduce nuovi fattori per altri combustibili e per tecnologie differenti.

Tabella 36 - Fattori di emissione attuali e proposti per differenti tecnologie e combustibili – Norvegia (Fonte Seljeskog 2017 modificato CTI)

Parametro	Stufa (Attuale) Legna	Stufa (Proposta) Legna	Stufa (Proposta) Pellet	Caldaia (Proposta) Residui legn.	Caldaia (Proposta) Pellet/Brichette	Unità di misura
TSP	17.78	16.23	1.1	2.69	2.69	g/kg
PM10	17.43	15.70	1.1	2.52	2.52	g/kg
PM2.5	16.89	14.38	1.1	2.52	2.52	g/kg
CO	101.2	95.2	2.6	15	15	g/kg
SO ₂	0.2	0.34	-	0.37	-	g/kg
NOX	0.986	0.98	1.1	0.9	1.3	g/kg
N ₂ O	0.032	0.032	0.032	0.07	0.07	g/kg
NH ₃	0.066	0.023	0.066	0	0	g/kg
CH ₄	5.3	9.76	5.3	0.25	0.25	g/kg
NM VOC	7	18.22	6.501	1.3	1.3	g/kg
Cd	0.1	0.158	-	0.1	-	g/ton
Pb	0.05	0.468	-	0.05	-	g/ton
Hg	0.010244	0.0028	-	0.010244	-	g/ton
As	0.159	0.00716	-	0.159	-	g/ton
Cr	0.152	0.152	-	0.152	-	g/ton
Cu	0.354	0.354	-	0.354	-	g/ton
Dioxins	5.9	6.78	5.9	1	1	µg/ton
PAH-total	25.41	25.41	38.8	0.18	0.16	g/ton
PAH-6 (OSPAR)	4.13	4.12	6.8	0.061	0.061	g/ton
PAH-4 (LRTAP)	1.42	1.42	2.5	0.016	0.016	g/ton

Infine la **Svezia** adotta dei limiti di emissione sostanzialmente mutuati dalla EN 303-5 citata.

Tabella 37 – Limiti di emissione adottati dalla Svezia e basati sulla UNI EN 303-5 (Fonte Seljeskog 2017 modificato CTI)

Potenza nominale kW	OGC	CO	OGC	Particolato
Alimentazione manuale	mg/m ³ dry gas at 10 % O ₂			
< 50	150	5000	150	150
> 50 <150	100	2500	100	150
> 150 < 300	100	1200	100	150
Alimentazione automatica	mg/m ³ dry gas at 10 % O ₂			
< 50	100	3000	100	150
> 50 <150	80	2500	80	150

²⁰ "Legislation and Regulations in Nordic Countries to Control Emissions from Residential Wood Burning - An examination of Past Experience - Svante Bodin, Thomas Levande

²¹ Recommended revisions of Norwegian emission factors for wood stoves - Morten Seljeskog, Franziska Goile, Øyvind Skreiberg - 2017

> 150 < 300	80	1200	80	150
-------------	----	------	----	-----

Nei Paesi scandinavi esiste però un marchio volontario (Nordic Swan) che fissa dei limiti di emissione significativi come riportato nelle tabelle che seguono.

Tabella 38 – Limiti di emissione per caminetti e stufe secondo lo schema Nordic Swan – 13% O₂ a carico normale (Modificato CTI)

	OGC mg/m ³	CO mg/m ³	Particolato g/kg
Applicabili fino al 30/6/2017 – Stufe e inserti ad uso saltuario	100	1250	3 (fino a 4 cariche) 6 (per singola carica)
Applicabili dal 1/7/2017 al 30/6/2019 - Stufe e inserti ad uso saltuario	100	1250	2 (fino a 4 cariche) 5 (per singola carica)
Stufe ad accumulo ad alimentazione manuale	100	1250	50 (mg/m ³)
Stufe per sauna ad alimentazione manuale	150	1700	120 (mg/m ³)
Stufe a pellet ad alimentazione automatica	10	200	15 (mg/m ³)

Tabella 39 – Limiti di emissione per caldaie secondo lo schema Nordic Swan – 10% O₂ (Modificato CTI)

	OGC mg/m ³	CO mg/m ³	Particolato mg/m ³	NO _x mg/m ³
Caldaie ad alimentazione manuale	350	15	40	200
Caldaie ad alimentazione automatica	250	10	30	200

2.4.2 Regno Unito

Un recente studio²² preparato per il Dipartimento per l'Ambiente, l'Alimentazione e l'Agricoltura inglese (DEFRA), il Governo Scozzese e Gallese e il dipartimento dell'Ambiente dell'Irlanda del Nord da un Air Quality Expert Group coordinato dall'università di Leicester aiuta a fare il punto della situazione in materia fornendo un quadro abbastanza aggiornato.

Il principale strumento di gestione della combustione di biomassa nel Regno Unito è il Renewable Heat Incentive (RHI), simile per certi aspetti al Conto Termico nazionale, gestito dall'OFGEM²³.

Attivato nel 2011 per il mercato non residenziale, nell'aprile 2014 l'RHI è stato aperto al settore domestico, ma già prima aveva legato l'incentivazione dei generatori domestici a biocombustibili al rispetto dei seguenti limiti di emissione:

- 30 g/GJ_{biocmb} per il Particolato
- 150g/GJ_{biocmb} per gli NO_x.

Un altro elemento del sistema regolatorio del Regno Unito degno di nota è legato alla gestione delle cosiddette "smokeless zone". Si tratta di aree del territorio in cui è espressamente vietato emettere fumo da un camino, per motivi ambientali, di salute e di "buon vicinato", a meno di non utilizzare combustibili o generatori o una loro combinazione, specificatamente autorizzata.

²² The Potential Air Quality Impacts from Biomass Combustion. DEFRA 2017

²³ Office of Gas and Electricity Markets. Un dipartimento governativo non ministeriale collegato all'Autorità per il mercato del gas e dell'elettricità.

In tali aree infatti è ammissibile l'impiego di determinati generatori (citati in un apposito elenco ufficiale) purché conformi alle regole di esenzione; queste ultime prendono in considerazione il "fumo" emesso al camino espresso in g/h. Un utile riferimento bibliografico in materia è l'Application Pack - Appliance Exemption from section 21 of the Clean Air Act 1993" elaborato da Ricardo-AEA.

E' definito anche uno specifico elenco di combustibili approvati (marchi commerciali) per l'impiego in tali zone.

In questo contesto viene anche stabilito che quando, nelle analisi dei fumi si utilizza un metodo di campionamento cosiddetto "a caldo", come ad esempio il metodo DIN richiamato dal CEN/TS 15883, che quindi non considera la frazione condensabile di particolato, il valore rilevato va aumentato di 20 volte.

Tabella 40 - Limiti di emiss. di "fumo" per gener. con $P_n \leq 44\text{kW}$ - BS PD6434:1969 (Fonte Ricardo AEA e DEFRA 2017 mod. CTI)

P_n (kW)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Limite (g/h)	6.7	8.3	10	11.7	13.3	15	16.7	18.3	20
Limite (g/GJ)	296*				133*				

Tabella 41 - Limiti di emissione di "fumo" per generatori con $44\text{kW} < P_n \leq 240\text{kW}$ (Fonte Ricardo AEA e DEFRA 2017 mod. CTI)

P_n (kW)	50	75	100	125	150	175	200	225
Limite (g/h)	34	95	155	216	276	337	397	458

Tabella 42 - Limiti di emissione di "fumo" per generatori con $P_n > 240\text{kW}$ (Fonte Ricardo AEA e DEFRA 2017 mod. CTI)

P_n (kW)	242	293	586	879	1172	1466	2198	2931
Limite (g/h)	499	603	1211	1814	2418	3026	3856	4536

*La conversione in g/GJ è proposta da DEFRA 2017 tenendo conto anche dell'efficienza dei differenti generatori, che essendo maggiore per le caldaie da 25 kW determina un'emissione inferiore su base energetica.

In aggiunta a questi limiti per i generatori di potenza intermedia ($44\text{kW} < P_n \leq 240\text{kW}$), il sistema impone anche il valore di 150 mg/nm³ di PM, misurato con fumi secchi a 0°C, 101.3 kPa, quale limite superiore oltre il quale si ritiene sensibilmente visibile l'emissione di fumi al camino.

La principale normativa tecnica di riferimento è la seguente:

- BS PD 6434:1969 Recommendations for the design and testing of smoke reducing solid fuel burning domestic appliances
- BS 3841-2 Determination of smoke emission from manufactured solid fuels for domestic use. Methods for measuring the smoke emission rate
- NS 3058-2 - Enclosed wood heaters smoke emission Part 2 Determination of smoke emission (già citata per i Paesi scandinavi).

A queste si aggiunge la citata EN 303-5 e alcune norme US EPA, ugualmente ammesse con alcune integrazioni. E' utile aggiungere che viene espressamente segnalato che la conformità di un generatore alla norma europea di riferimento (ad esempio la EN 14785 sulle stufe a pellet) non è condizione sufficiente per consentirne l'installazione nelle zone smokeless, in quanto non forniscono metodi di campionamento del particolato.

Per quanto riguarda i fattori di emissione, infine, in UK si rileva una sostanziale carenza di informazioni specifiche e dettagliate sia sul parco installato che sul consumo di biocombustibili, pertanto lo stesso DEFRA 2017 conclude circa la difficoltà di procedere con stime accurate e specifiche per singola regione per il territorio del Regno Unito. In questo caso le fonti utilizzate da NAEI - National Atmospheric Emissions Inventory sono quelle citate nelle pagine precedenti, quindi legate sostanzialmente al Guidebook 2016 EEA o all'US EPA o a indagini nazionali molto datate.

Sulla base di queste informazioni il DEFRA 2017 evidenzia ad esempio il contributo ai vari fattori inquinanti fornito dai diversi settori di intervento antropico. Il prospetto che segue fornisce la stima relativa

all'Inghilterra; lo stesso documento riporta analoghe stime per Scozia, Galles e Irlanda del Nord, qui non replicate.

Tabella 43 - Contributi percentuali dei diversi settori di intervento antropico alle emissioni in Inghilterra (Fonte Defra 2017)

Settore	NH3	CO	NOX	NMVOC	PM10	SO2	Pb
Agriculture	77.6%	0.0%	0.0%	10.7%	8.8%	0.0%	0.0%
Energy Industries	0.0%	4.5%	22.4%	0.0%	4.1%	52.2%	5.7%
Fugitive	0.0%	0.3%	0.0%	13.5%	0.0%	2.2%	0.0%
Industrial Combustion	0.0%	30.0%	17.4%	2.8%	13.1%	21.0%	21.8%
Industrial Processes	1.2%	5.1%	0.0%	7.1%	15.9%	3.9%	56.7%
Residential, Commercial & Public Sector Combustion	0.0%	32.0%	9.5%	6.9%	32.8%	18.2%	9.2%
Solvent Processes	0.0%	0.0%	0.0%	52.3%	3.6%	0.0%	0.0%
Transport Sources	2.2%	26.3%	48.3%	5.4%	17.5%	1.8%	3.7%
Waste	9.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%
Other sources	9.7%	1.8%	2.4%	1.4%	4.2%	0.9%	2.8%

2.4.3 Irlanda

Lo stato dell'arte in materia è descritto nel report "EPA Research Programme 2014-2020 - Improved Emission Inventories for NO_x and Particulate Matter from Transport and Small Scale Combustion Installations in Ireland (ETASCI)" redatto dall'EPA Irlanda nel 2015 e basato sullo studio "Quantifying Particulate Matter and NO_x emission factors for Irish domestic heating appliances" Morrin, S. Università di Dublino (2011). Un altro documento di inquadramento della materia è il report "Study on Biomass Combustion Emissions - 2016" dell'Irish BioEnergy Association IRBEA.

Un primo dato utile per gli scopi del presente rapporto è il valore del fattore di emissione per caldaie a pellet riportato nel prospetto seguente e conseguente ad una serie di test effettuati su un generatore tra quelli ammissibili dallo schema incentivante irlandese attivo all'epoca. Le prove sono state svolte utilizzando un metodo "a caldo" pertanto non considerando la frazione condensabile.

E' da sottolineare come lo studio preso a riferimento citi un progetto di non particolare significatività, da un punto di vista statistico, ma comunque sufficiente per essere preso a riferimento a livello nazionale.

Tabella 44 – Fattore di emissione per caldaie a pellet basato su dati sperimentali in Irlanda (Fonte EPA Irlanda)

Condizioni di prova	Fattore di emissione PM [g/GJ]	Potenza in ingresso. [kW]	N. di prove	Eccesso d'aria λ	Temp. Fumi [C]	Incert.	Ripetib.
PL5	14.62	24.2	11	1.55	145.3	20.3%	40.4%
PL4	21.55	19.1	3	1.60	122.0	25.5%	11.2%
PL3	24.95	16.8	2	1.57	110.0	40.3%	13.0%
PL2	28.97	13.9	2	1.79	105.0	54.2%	15.4%
PL1	51.41	5.4	1	2.64	96.1	76.2%	-
Start-up	35.37						

Lo stesso report suggerisce ai decisori politici irlandesi un confronto tra i fattori di emissione misurati e i valori forniti dal Guidebook EEA, riferiti sempre alle caldaie a pellet, suggerendo molta prudenza nel considerare questi ultimi in quanto, a detta dei relatori irlandesi, probabilmente ricavati da fonti non particolarmente attendibili.

Tabella 45 – Confronto tra valori misurati e valori EEA 2016 (Fonte EPA Irlanda)

Valori misurati		Valori EMEP/EEA	
PM [g/GJ]	NOx [g/GJ]	PM [g/GJ]	NOx [g/GJ]
22.4	49.8	76	90

Per quanto riguarda i limiti di emissione l'Irlanda sta lavorando ad un nuovo schema incentivante chiamato "Renewable Heat Incentive" che in una prima proposta sembra fare riferimento a limiti di emissione presi dallo schema del Regno Unito e citati in precedenza. Attualmente per i generatori di piccola potenza si fa riferimento (su un piano volontario e non legislativo) alla conformità alla EN 303-5 nonché agli schemi definiti dalla direttiva 2009/125/CE "Ecodesign" e ai conseguenti Regolamenti EU.

2.4.4 Svizzera

Informazioni sul tema in oggetto per quanto riguarda la confederazione Svizzera possono essere ottenute dal rapporto "Schweizerische Holzenergiestatistik - Erhebung für das Jahr 2016" elaborato dall'Ufficio Federale per l'energia di Berna che riporta ad esempio la consistenza del parco installato di differenti tipologie di generatori dal 1990 al 2016.

Tabella 46 – Consistenza parco generatori installato in Svizzera (Ufficio Federale per l'Energia di Berna 2016 modificato CTI)

Categorie di generatori	2016	2015	1990
Parco installato – N. di generatori			
Apparecchi domestici (temocamini, stufe, termocucine, ecc.)	511465	530642	537525
Caldaie fino a 50 kW a pellet, legna e cippato	52950	54812	152673
Caldaie centralizzate a biomassa	9012	8664	2250
Generatori industriali	105	97	49
	573532	594215	692497

Parco installato – Potenza installata [kW]			
Apparecchi domestici (temocamini, stufe, termocucine, ecc.)	5454416	5'649'086	5'275'161
Caldaie fino a 50 kW a pellet, legna e cippato	1730823	1'811'563	6'423'040
Caldaie centralizzate a biomassa	2459483	2'375'953	566'631
Generatori industriali	563570	513'930	275'850
	10208292	10'350'532	12'540'682

Parco installato – Consumo di biocombustibile [t]			
Apparecchi domestici (temocamini, stufe, termocucine, ecc.)	626'004	642'442	860'230
Caldaie fino a 50 kW a pellet, legna e cippato	543'929	558'622	928'784
Caldaie centralizzate a biomassa	1'902'699	1'781'822	289'015
Generatori industriali	814'974	760'463	281'506
	3'887'606	3'743'348	2'359'536

Per quanto riguarda invece il tema delle emissioni da combustione di biomassa, si deve fare riferimento alla Legge contro l'inquinamento atmosferico OIA del 1985, da ultimo modificata nel gennaio 2018. Questa introduce dei limiti di emissione in esercizio per i generatori alimentati a biocombustibili solidi ed in particolare per legna, cippato o pellet impone i valori riportati nel prospetto seguente.

Tabella 47 – Limiti legislativi di emissione per il particolato in Svizzera (Fonte CTI)

Potenza termica [kW]	Particolato totale [mg/m3]
$P_n \leq 70$	-
$70 < P_n \leq 120$	100
$120 < P_n \leq 500$	50
$500 < P_n \leq 1000$	20

Un altro limite definito dal legislatore svizzero riguarda i generatori con potenza termica fino a 350 kW che possono essere posti in commercio solo se rispondono alla normativa tecnica di prodotto e rispettano le seguenti emissioni.

Tabella 48 – Limiti di emissione per la messa in commercio di vari generatori (Fonte CTI)

Tipologia generatore	Norma di riferimento	PM	CO
Caldaia a legna ad alimentazione manuale	UNI EN 303-5 UNI EN 12809	50	800
Caldaia a cippato ad alimentazione automatica	UNI EN 303-5 UNI EN 12809	60	400
Caldaia a pellet ad alimentazione automatica	UNI EN 303-5 UNI EN 12809	40	300
Stufa a legna	UNI EN 13240	75	1500
Stufa a pellet	UNI EN 14785	40	500
Termocucina	UNI EN 12815	90	3000
Termocucina collegata a impianto termico	UNI EN 12815	120	3000
Inserti e termocamini	UNI EN 13229	75	1500

2.4.5 Germania e Austria

I due principali Paesi di lingua germanica, Germania e Austria, sono storicamente vocati alla combustione delle biomasse pertanto il tema dell'impatto ambientale conseguente è oggetto di attenzioni da tempo. L'approccio è abbastanza simile. La Germania in particolare regola l'utilizzo di generatori a biomassa solida nell'ambito delle nuove costruzioni tramite la "Legge per la promozione delle energie rinnovabili nel settore del riscaldamento"²⁴ dell'agosto 2008 successivamente integrata nel 2015. In particolare questa legge stabilisce che tutti gli edifici residenziali con superficie superiore a 50 mq debbano coprire il fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffreddamento mediante l'utilizzo di fonti rinnovabili secondo varie percentuali differenziate in funzione della fonte rinnovabile. Per quanto riguarda la biomassa solida è previsto quanto riportato nel prospetto seguente.

Tabella 49 – Limiti legislativi di copertura del fabbisogno di FER negli edifici indicati (Fonte CTI)

	Edifici nuovi	Ristrutturazioni importanti	Requisiti
Biomassa solida	50%	15%	Generatori collegati all'impianto termico Rendimento minimo: $P_n \leq 50$ kW con $\eta_{\min}$ 86% Rendimento minimo: $P_n > 50$ kW con $\eta_{\min}$ 88% Generatori non collegati all'impianto termico con $\eta_{\min}$ 70%

Quanto sopra è consentito solamente se il biocombustibile e gli apparecchi rispondono a specifici requisiti definiti secondo quanto stabilito dagli applicativi della Legge federale per il controllo delle emissioni, tra cui una ordinanza specifica, conosciuta come BImSchV, da ultimo aggiornata nel marzo 2017. Tale ordinanza stabilisce, tra l'altro, che gli impianti termici a biomassa solida con $P_n \geq 4$ kW debbano rispettare specifici limiti di emissione come riportato nel prospetto seguente.

Tabella 50 – Limiti legislativi per generatori a biomassa di secondo la BImSchV 2017 (Fonte CTI)

	Biocombustibile	P_n [kW]	Polveri [g/m ³]	CO [g/m ³]
Installazione da 22/3/2010 a 31/12/2014	Legna e Cippato	$4 \leq P_n \leq 500$ $P_n > 500$	0.10	1.0 0.5
	Pellet	$4 \leq P_n \leq 500$ $P_n > 500$	0.06	0.8 0.5
Installazione dal 1/1/2015	Legna, Cippato e Pellet	$P_n \geq 4$ kW	0.02	0.4

²⁴ Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich - (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG)

Vengono inoltre introdotte delle deroghe alla combustione della sola legna (a cui non si applica il limite stabilito dal 2015) così come dei limiti temporali entro cui alcune tipologie di generatori esistenti devono essere sostituiti; per gli apparecchi collegati al circuito idraulico interviene l'obbligo di un accumulo dimensionato opportunamente ed è sconsigliato l'utilizzo in continuo dei caminetti aperti. I biocombustibili consentiti devono possedere un'umidità massima pari al 25% m/m sul secco a meno che il fabbricante del generatore non dichiari diversamente. Infine l'ordinanza fissa delle regole di installazione e di conformità alle specifiche definite dal fabbricante o dalla normativa tecnica di settore.

2.4.6 Croazia, Slovenia, Slovacchia, Romania

Il tema dell'impatto della combustione delle biomasse in generatori di piccola taglia è anche oggetto di un recente report del JRC "Impact evaluation of biomass used in small combustion activities sector on air emissions" (JRC 2017) che analizza una serie di informazioni derivate da inventari nazionali e dal citato studio EEA per le regioni alpine, adriatico/ioniche e del corso del Danubio con particolare riferimento per Croazia, Slovenia, Slovacchia e Romania. I dati di riferimento più recenti arrivano fino al 2012, ma come chiarito poco sotto, l'obiettivo del lavoro è evidenziare la criticità dei singoli approcci.

Infatti, l'elemento principale che se ne ricava è la notevole difficoltà nell'individuare valori di emissioni certi e realmente rappresentativi della situazione locale. L'obiettivo principale del rapporto è infatti quello di approfondire la rappresentatività e l'incertezza dei dati in materia, a supporto dei decisori politici.

Da questo punto di vista ad esempio viene evidenziato come la Slovacchia non abbia ancora definito una metodologia robusta e basata su dati rilevati. Al momento infatti esistono dati fortemente discordanti sul consumo di biomassa tra l'inventario nazionale e i dati forniti per Eurostat. Si parla di valori 16,8 volte più alti per il primo inventario rispetto al secondo. La Croazia invece ha adottato una metodologia più solida utilizzando il Livello 2 del citato report EEA, ma anche in questo caso è stato necessario procedere ad aggiustamenti e correzioni tra differenti inventari. La Romania invece ha adottato il livello 1, più semplice, del report EEA e anche in questo caso il risultato dell'indagine JRC dimostra l'adozione di fattori di emissione e valori di consumo differenti tra inventari ufficiali (nazionale e internazionali). L'affidabilità delle informazioni ufficiali relative alla Slovenia è in linea con quella degli altri Paesi anche se in questo caso i dati più aggiornati sembrerebbero più solidi.

In ogni caso la conclusione che ne trae il JRC è che "... la tipologia di combustibili e il parco tecnologico installato sono legate alle caratteristiche del singolo Paese e sono caratterizzati da ampia incertezza. Pertanto al fine migliorare la qualità delle emissioni, sono necessari sforzi addizionali per migliorare la qualità dei dati statistici relativi al consumo di combustibile e alle tecnologie".

2.4.7 Polonia

In bibliografia (EEA 2016) è possibile consultare anche i fattori di emissione utilizzati dalla Polonia per compilare gli inventari 2016 delle emissioni. Se ne riportano due prospetti.

Tabella 51 - Fattori di emissione da combustione di legna in dispositivi di piccola taglia ricavati da una campagna di misurazione in Polonia (Fonte EEA 2016 , Kubica, et al., 2002/2 modificato CTI)

	Potenza (kW)	SO ₂ (g/GJ)	CO (g/GJ)	VOC (g/GJ)	TSP (g/GJ)	NO _x (g/GJ)	16PAH g/GJ	Rendimento (%)
Stufa a legna	5.7	9.8	6 290	1 660	1 610	69	33 550	64.4
Stufa a pellet ad alimentazione dall'alto	25	29	200	21	9.9	179	71	80.4
Bruciatore a pellet	20.5	6.0	58.5	7.2	29.7	295	122	85.7

Tabella 51 - Fattori di emissione da combustione di biomassa in caldaie di piccola e media taglia ricavati da una campagna di misurazione in Polonia (Fonte EEA 2016, Kubica, 2003/1; Kubica, UN-ECE TFEIP, 2002/1 modificato CTI)

	Unità	Caldaia per paglia a griglia fissa (65 kW)		Caldaia avanzata ad alimentazione dal bass 30 kW		Caldaia automatica	
		Paglia di colza	Paglia di frumento	Bricchetta	Pigne	3,5 MW	1,5 MW
						Miscele di paglia di cereali	
Efficienza	%	81.	84.2	81.3	76	90.1	84.3
CO	g/GJ	2 230	4 172	1 757	2 403	427	1 484
SO ₂	g/GJ	127.1	66.5	15.9	4.8	74.6	151.0
NO _X (as NO ₂)	g/GJ	105.3	76.1	41.6	31.7	110.1	405.0
VOC(asC3)	g/GJ	n.a.	n.a.	176.1	336.4	n.a.	n.a.
TSP	g/GJ	654.0	901.0	39.0	116.0	31.5	109.0
TOC ¹⁾	g/GJ	59.4	39.4	98.6	176.0	18.1	39.0
16 PAHs acc EPA	Mg/GJ	9 489	3 381	9 100	9 716	197	0.4
PCDD/F	ng I-TEQ/GJ	840.9	746.2	107.5	1 603	n.a.	n.a.

2.4.8 Olanda

Infine, allo stesso modo in bibliografia (EEA 2016) è possibile consultare anche i fattori di emissione utilizzati dall'Olanda per compilare gli inventari delle emissioni. Se ne riporta un prospetto relativo alle caldaie industriali.

Tabella 52 -Fattori di emissione per caldaie industriali di piccola taglia a cippato - Olanda (g/GJ) (Fonte EEA 2016, Van Loo 2002, modificato CTI)

Alimentazione	Controllo aria	Potenza kW	CO	CxHy	NOX	TSP	Rendimento (%)
Manuale	Tiraggio naturale	36	1 494	78	97	13	85
	Tiraggio forzato	34.6 30	2 156 410	81 13	108 114	18 21	83.5 90
Automatica	Tiraggio forzato regolato	~40	41	2	74	50	85.4
		320	19	2	116	32	89.1