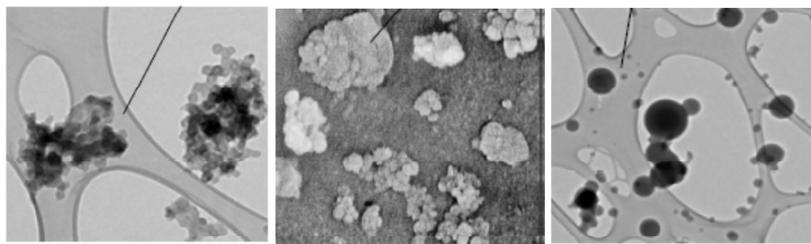
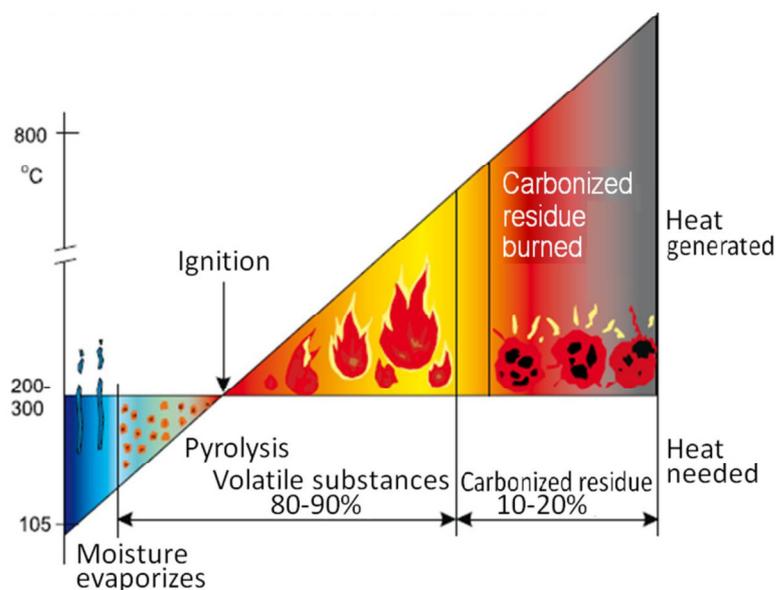


# Stima delle emissioni da piccoli apparecchi domestici a legna in Lombardia nel 2012

Fattori di emissione, indicatori di consumo a livello comunale e ripartizione tra tipologie di apparecchi



**Fonte immagini:**

Fasi di combustione:

<http://tfeip-secretariat.org/assets/Meetings/Presentations/Ghent-2014/Small-Scale-Combustion-Finland.pdf>. (Alakangas, 1992)

Immagini SEM e TEM tratte da:

[http://www.citepa.org/old/forums/egtei/Nussbaumer\\_EGTEI-Report\\_final.pdf](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/Nussbaumer_EGTEI-Report_final.pdf)

Immagine apparecchio:

Innovhub-SSC, 2012

<p><b>Titolo del rapporto</b></p> <p>“Stima delle emissioni da piccoli apparecchi domestici a legna in Lombardia nel 2012”</p> <p>Fattori di emissione, indicatori di consumo a livello comunale e ripartizione tra tipologie di apparecchi</p>	 <p>ARPA LOMBARDIA          Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente          Settore Monitoraggi Ambientali          Modellistica Atmosferica e Inventari</p>	
<p><b>Destinatario:</b>          Direzione Generale Ambiente, Energia e Sviluppo Sostenibile Regione Lombardia</p> <p><b>Autore:</b> Ing. Alessandro Marongiu</p> <p><b>Responsabile U.O. Modellistica della Qualità dell’Aria e Inventari - Settore Monitoraggi Ambientali</b>          D.ssa Elisabetta Angelino</p> <p><b>Direttore Settore Monitoraggi Ambientali - ARPA Lombardia:</b>          D.ssa Silvia Anna Bellinzona</p> <p><b>Sommario</b>          Descrizione della procedura di aggiornamento degli indicatori comunali di consumo di biomassa legnosa ed del quadro della classificazione delle tecnologie di combustione con i corrispondenti fattori di emissione utilizzati in INEMAR e proposti nella ultima versione dell’AIEG.</p> <p>I dati di consumo totale per celle di campionamento della ultima indagine CATI sono stati spazializzati su scala comunale (sub-cella) tramite i dati dell’ultima edizione dell’bilancio energetico regionale (SIRENA 2014). E’ stato quindi verificato che i consumi totali comunali fossero compatibili con un valore massimo di consumo ottenuto dal numero di famiglie residenti e considerando una capacità massima di utilizzo di piccoli apparecchi domestici di ca. 10 kW. La ripartizione delle differenti tecnologie di combustione per le singole celle di campionamento, relativa al 2008, è stata propagata al 2012 considerando i dati di vendita disponibili da associazioni di settore (ANFUS, CECED), anche compatibilmente con studi analoghi. Il rateo di sostituzione degli apparecchi è stato stimato considerando differenti classi di età delle tecnologie ed uno schema di sostituzione definito sulla base dei dati di vendita.</p>		
<p>Rispetto alla versione precedente di dicembre 2014:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inserirle didascalie alle figure e completati riferimenti bibliografici.</li> <li>• Inserito confronto tra ipotesi utilizzate nell’inventario e rilevamento ISTAT 2013 sui consumi energetici delle famiglie.</li> </ul>		
<p>Versione/Data</p> <p>02/Dicembre 2015</p>		<p>No di pagine</p> <p>30</p>

## Sommario

Emissioni da combustione di legna .....	3
Stima delle emissioni da piccoli apparecchi domestici a legna .....	6
Tecnologie di combustione .....	6
Tipologia di combustibile.....	6
Indicatore di attività, biomassa bruciata o energia consumata .....	7
Rateo di sostituzione delle tecnologie di combustione (non solo a legna) in ambito domestico.....	8
Modalità di utilizzo degli apparecchi di combustione .....	8
Stima dei fattori di emissione.....	9
Schede riassuntive per le differenti tipologie di apparecchi .....	10
2.2.6 Camino aperto tradizionale .....	10
2.2.7 Stufa tradizionale a legna .....	11
2.2.8 Camino chiuso o inserto .....	12
2.2.9 Stufa o caldaia innovativa.....	13
2.2.10 Stufa automatica a pellets o cippato o BAT legna .....	14
Stima degli indicatori di consumo di biomassa legnosa.....	15
Indicatori comunali di consumo di biomassa .....	15
Ripartizione delle tecnologie di combustione su scala comunale.....	19
Analisi dei dati di vendita disponibili .....	20
Proiezione della ripartizione tecnologie del 2008 al 2012 .....	21
Tasso di ricambio e schema di sostituzione .....	22
Consumi comunali per tipologia di apparecchio .....	26
Ripartizione dei consumi regionali tra tipologie di apparecchi stimata per il 2012.....	26
Quadro generale degli indicatori di consumo di biomassa legnosa stimati al 2012 per celle di campionamento .....	28
Analisi sub-comunale delle emissioni di PM10 da combustione di legna nella provincia di Sondrio.....	31

Figura 1. Principali fasi nella combustione di materiale legnoso e formazione di materiale particolato. Fonte: <a href="http://tfeip-secretariat.org/assets/Meetings/Presentations/Ghent-2014/Small-Scale-Combustion-Finland.pdf">http://tfeip-secretariat.org/assets/Meetings/Presentations/Ghent-2014/Small-Scale-Combustion-Finland.pdf</a> . (Alakangas, 2012) e (Joikiniemi, 2005). .....	3
Figura 2. Dati ottenuti su elaborazione ( <a href="http://cta.ornl.gov/bedb/appendix_a/The_Effect_of_Moisture_on_Heating_Values.pdf">http://cta.ornl.gov/bedb/appendix_a/The_Effect_of_Moisture_on_Heating_Values.pdf</a> <a href="http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/h/a/handbuchkleinanlagen2013-web_1.pdf">http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/h/a/handbuchkleinanlagen2013-web_1.pdf</a> ) .....	7
Figura 3. Analisi dei fattori e delle criticità nella realizzazione/gestione di indagini CATI sulla determinazione dei consumi di biomassa legnosa nel riscaldamento domestico. ....	15
Figura 4. Celle di campionamento definite per il 2012 in funzione di classi di altitudine e densità abitativa. Ad ogni colore corrisponde una differente cella. ....	16
Figura 5. Percentuale di utilizzatori frequenti (mappa sn), unico valore comunale per comuni della stessa cella. Minimo 2.2% e massimo 80.8%. Consumo medio specifico per famiglia in q/anno (mappa dx), unico valore comunale per comuni della stessa cella. Minimo 1 q/anno e massimo 69.1 q/anno. ....	16
Figura 6. Confronto tra numero di apparecchi a legna rilevati con CATI, famiglie residenti, numero di abitazioni e apparecchi non a legna registrati in CURIT. ....	17
Figura 7. Confronto tra tecniche di propagazione all'interno delle celle e BER_2012.....	18

Figura 8. Confronto tra indicatori utilizzati in INEMAR e BER2012.....19  
 Figura 9. Stima della ripartizione dei nuovi apparecchi tra pellets e legna.....23  
 Figura 10. Ripartizione percentuale tra numero di apparecchi stimata tra il 2008 ed il 2012.....26  
 Figura 11. Consumi regionali per il 2012 di biomassa legnosa in t/anno stimati per differenti tipologie di apparecchi domestici.....27  
 Figura 12. Confronto tra ripartizione pellet/legna impiegata nell'inventario delle emissioni 2012 e quanto rilevato dalla indagine ISTAT, 2013 (<http://www.istat.it/it/archivio/141193>).....27  
 Figura 13. Ripartizione delle emissioni di PM10 da legna nella provincia di Sondrio tramite proxy sub-comunali.....31

Tabella 1. Caratteristiche dell'aerosol da combustione di biomassa legnosa e regimi di combustione, ottenute da differenti fonti bibliografiche. Fonte immagini SEM e TEM tratte da: [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/Nussbaumer\\_EGTEI-Report\\_final.pdf](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/Nussbaumer_EGTEI-Report_final.pdf) .....5  
 Tabella 2. Fattori tecnologici e di utilizzo e loro influenza sulla tipologia di inquinanti emessi. Fonte: Elaborazione e traduzione di <http://tfeip-secretariat.org/assets/Meetings/Presentations/Ghent-2014/Small-Scale-Combustion-Finland.pdf>.....9  
 Tabella 3. Caratteristiche medie di alimentazione per un piccolo apparecchi domestico manuale a legna.....18  
 Tabella 4. Elaborazioni su statistiche CECED.  
[http://www.studiabo.it/media/filer\\_public/2012/11/12/osservatorio\\_strategico\\_web\\_1.pdf](http://www.studiabo.it/media/filer_public/2012/11/12/osservatorio_strategico_web_1.pdf) .....20  
 Tabella 5. Elaborazioni tesi POLIMI, Galante 2012.  
[https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/74328/3/Tesi\\_Silvia%20Galante.pdf](https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/74328/3/Tesi_Silvia%20Galante.pdf) .....20  
 Tabella 6. Distribuzione normalizzata a 100% degli apparecchi a legna effettuata su dati Galante, 2012.....21  
 Tabella 7. Ripartizione tra apparecchi stimata per la Lombardia nel 2010.....21  
 Tabella 8. Ripartizione delle categorie di nuovi apparecchi nel periodo in esame.....23  
 Tabella 9. Ricostruzione della serie storica di ripartizione tra tecnologie di combustione in Lombardia nel periodo 2008-2012 (pagina seguente) per cella di campionamento come definita nella ultima indagine CATI m(→). .....23

## Emissioni da combustione di legna

La combustione di biomassa produce tre differenti tipologie di aerosol primario con dimensioni granulometriche inferiori a 10µm: sali inorganici, fuliggine e composti organici condensabili (COC). Queste tre tipologie sono caratterizzate da differenti proprietà chimico-fisiche, differenti caratteristiche tossicologiche, differenti comportamenti nell'applicazione di misure primarie e secondarie di riduzione delle polveri e sono riconducibili a differenti regimi di combustione. I regimi di combustione a loro volta possono essere ricondotti alla interazione di differenti fasi endotermiche ed esotermiche (Alakangas 1992): essiccamento del combustibile, pirolisi e volatilizzazione, ossidazione dei composti volatili e del residuo carbonioso, la cui interazione può avere un impatto rilevante nella emissione di inquinanti atmosferici (Jokiniemi 2005), figura 1.

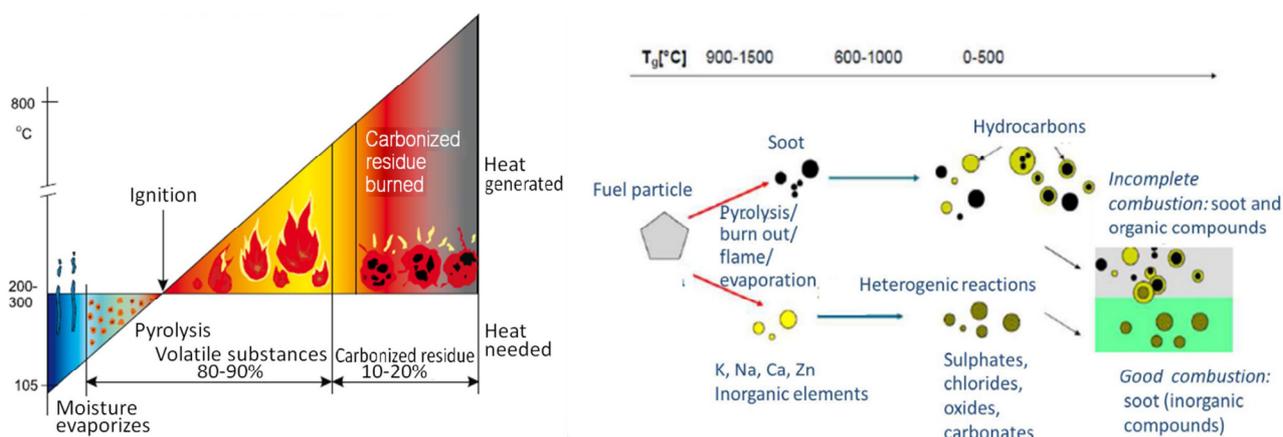
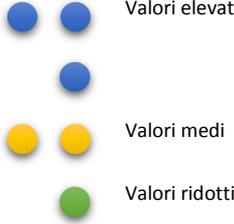
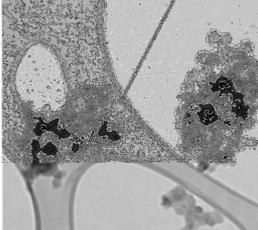
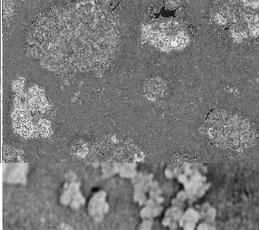
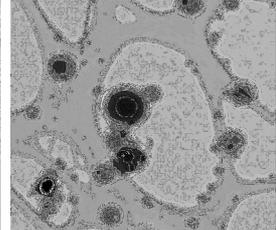


Figura 1. Principali fasi nella combustione di materiale legnoso e formazione di materiale particolato. Fonte: <http://tfeip-secretariat.org/assets/Meetings/Presentations/Ghent-2014/Small-Scale-Combustion-Finland.pdf>. (Alakangas, 2012) e (Jokiniemi, 2005).

Una prevalenza di aerosol caratterizzato da sali inorganici è caratteristica di una combustione completa della biomassa in condizioni ottimali: alta temperatura e corretto apporto di ossigeno. Una combustione incompleta ad alta temperatura ma con carenza di ossigeno in prossimità della fiamma determina emissioni di particelle di fuliggine ad elevato contenuto di carbonio. I COC, anche chiamati tar, sono riconducibili

invece a una combustione incompleta a bassa temperatura e condizioni pirolitiche in prossimità della zona di combustione. Oltre all'emissione di aerosol primario la combustione di biomassa contribuisce in atmosfera alla formazione di aerosol organico secondario (SOA) ed aerosol inorganico secondario (SIA). I composti organici volatili (COV) e non condensabili, derivanti da condizioni di combustione incompleta, sono riconducibili agli stessi meccanismi di formazione dei COC e costituiscono i precursori dei SOA. SOx ed NOx, emessi a causa della presenza nel combustibile di zolfo ed azoto, sono precursori nella formazione in atmosfera di nitrati e solfati dei SIA. La combustione di materiale ligno-cellulosico è anche la sorgente più rilevante in Lombardia di idrocarburi policiclici aromatici, IPA, tra cui il Benzo(a)Pirene (<http://www.atmospolres.com/articles/Volume4/issue3/APR-13-028.pdf>). Tabella 1 riporta un quadro sinottico delle caratteristiche delle emissioni di particolato rispetto al regime di combustione.

		Fuliggine	Particolato inorganico	COC
				
Regime di combustione	Temperatura	● ● ●	● ● ●	● / ● ●
	Rapporto di diluizione	●	● ●	● ● ●
	Ossigeno sul fronte di fiamma	●	● ● ●	● <sup>1</sup>
Caratteristiche chimico fisiche	Composizione	EC, BC Composti organici ad elevato contenuto di carbonio	Ceneri volatili inorganiche Sali di metalli alcalini come ossidi cloruri, carbonati e solfati. Tracce di metalli pesanti	OC, C <sub>brown</sub> Composti organici derivanti dalla pirolisi della biomassa
	Colore	nero	bianco	marrone/incolore
	C/H	6-8		1-2
	Conduttività <sup>2</sup>	● ● ●	● ●	●
Inquinanti correlati	CO	● ● ●	●	● ● ●
	IPA	● / ● ● <sup>3</sup>	●	● ● ●
	COV	● <sup>4</sup>	●	● ● ●
Traccianti in atmosfera <sup>5</sup>		<sup>14</sup> C/ <sup>12</sup> C	K+	Levoglicosano, <sup>14</sup> C/ <sup>12</sup> C
Efficacia di rimozione in misure	Ottimizzazione di accensione/regime/esaumento <sup>7</sup>	● / ● ●		● / ● ●

<sup>1</sup> Questo tipo di condizioni di funzionamento si verifica ad elevati gradi di diluizione dell'apparecchio e diluizione del gas combustibile proveniente dal processo pirolitico ([http://www.citepa.org/forums/egtei/Nussbaumer\\_EGTEI-Report\\_final.pdf](http://www.citepa.org/forums/egtei/Nussbaumer_EGTEI-Report_final.pdf)).

<sup>2</sup> Misure sperimentali sulle differenti tipologie di aerosol ([http://www.ieabcc.nl/meetings/task32\\_2011\\_graz\\_aerosols/07\\_Nussbaumer.pdf](http://www.ieabcc.nl/meetings/task32_2011_graz_aerosols/07_Nussbaumer.pdf)).

<sup>3</sup> Il meccanismo di formazione della fuliggine coinvolge la conversione di IPA in composti più pesanti e con un grado d'idrogenazione inferiore. Gli IPA possono essere considerati tra i precursori monomeric della fuliggine ([http://epublications.uef.fi/pub/urn\\_isbn\\_978-951-27-1090-4/](http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-951-27-1090-4/)).

<sup>4</sup> Sono i principali precursori di aerosol organico secondario (SOA). Sono per definizione non condensabili ed il loro meccanismo di formazione è legato ad i primi stati di formazione dei COC.

<sup>5</sup> (<http://www.inemar.eu/xwiki/bin/download/InemarWiki/ConvegnoLegna/Fermo230511.pdf>)

<sup>7</sup> Misure che sono in grado di ridurre le emissioni di aerosol organico, comprendono corrette operazioni di accensione, l'ottimizzazione della geometria della camera di combustione, l'ottimale distribuzione dell'aria nelle differenti zone dell'apparecchio, il controllo della combustione. Si stima possano ridurre del 25-50% le emissioni di PM rispettivamente in vecchie e nuove stufe.

primarie <sup>6</sup>	Prevenzione di fasi di combustione incompleta <sup>8</sup>			
	Riduzione della temperatura nella zona di combustione dei pellets <sup>9</sup>			
	Additivazione ai pellets di Al, Si, P, Ca <sup>10</sup>			
Efficacia di rimozione in misure secondarie <sup>11</sup>	ESP			
Rilevabilità con metodi di analisi	Filtro a caldo 160°C			
	Filtro + Impinger			
	Tunnel di diluizione			

Tabella 1. Caratteristiche dell'aerosol da combustione di biomassa legnosa e regimi di combustione, ottenute da differenti fonti bibliografiche. Fonte immagini SEM e TEM tratte da: [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/Nussbaumer\\_EGTEI-Report\\_final.pdf](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/Nussbaumer_EGTEI-Report_final.pdf)

<sup>6</sup> ([http://www.ieabcc.nl/meetings/task32\\_2011\\_graz\\_aerosols/09\\_Brunner.pdf](http://www.ieabcc.nl/meetings/task32_2011_graz_aerosols/09_Brunner.pdf))

<sup>8</sup> Misure volte all'ottimizzazione dell'ossidazione degli aerosol organici. Comprendono la progettazione di apparecchi in grado di assicurare temperature sufficienti alla combustione completa anche in caso di carico parziale, posizione ottimale degli ugelli per l'aria, misure e sistemi per il controllo della combustione. Si stima possano comportare una riduzione del 30% delle emissioni di PM totale.

<sup>9</sup> Riducendo la temperatura in prossimità della zona di fiamma si riduce la volatilità dei sali di metalli alcalini. Questo può essere effettuato raffreddando esternamente la zona di combustione o tramite un processo di combustione a stadi, caratterizzato da una prima fase di gassificazione in carenza di aria (rapporto di diluizione < 0,5). Nel caso di stufe a pellets a gassificazione la riduzione delle emissioni di PM è stata riportata come considerevole ([http://www.ieabcc.nl/meetings/task32\\_2011\\_graz\\_aerosols/02\\_Jokiniem.pdf](http://www.ieabcc.nl/meetings/task32_2011_graz_aerosols/02_Jokiniem.pdf)).

<sup>10</sup> Utilizzabili per ridurre le emissioni di ceneri inorganiche tramite additivazione dei pellets, bloccando il potassio in composti di volatilità inferiore ([http://www.ieabcc.nl/meetings/task32\\_2011\\_graz\\_aerosols/04\\_Bafver.pdf](http://www.ieabcc.nl/meetings/task32_2011_graz_aerosols/04_Bafver.pdf)).

<sup>11</sup> La principale misura secondaria in termini di attuale approfondimento e tipologie di soluzioni tecnologiche risulta essere la applicazione di filtri elettrostatici ESP ([http://www.ieabcc.nl/meetings/task32\\_2011\\_graz\\_aerosols/](http://www.ieabcc.nl/meetings/task32_2011_graz_aerosols/)).

<sup>12</sup> Problemi di "re-entrainment" (risospensione del particolato), le particelle depositate sull'elettrodo di raccolta sono così conduttive da perdere la propria carica sull'elettrodo di raccolta prima che possano essere rimpiazzate dalla zona di corona, possono essere risollevate dal gas all'uscita dell'apparecchio e caricarsi positivamente sull'elettrodo di raccolta determinando un effetto repulsivo (Fonte: [Perry's Chemical Engineers' Handbook](#)).

<sup>13</sup> Fenomeno di "Back-corona". Se la caduta di potenziale a cavallo dello strato di deposizione è superiore alla rigidità del dielettrico, si crea una scintilla sul deposito e si formano dei cosiddetti crateri di "back corona" formando ioni di entrambe le polarità (Fonte: [Perry's Chemical Engineers' Handbook](#)). Il fenomeno interessa le polveri che come i COC sono troppo resistive rispetto alle condizioni ottimali di funzionamento e può essere attenuato in caso di elevata umidità dei gas che contribuisce ad aumentarne la conduttività.

<sup>14</sup> Capacità di rilevare i COC è legata ai parametri di diluizione. In condizioni di diluizione eccessiva la riduzione delle pressioni parziali può divenire significativa favorendo il desorbimento e la re-evaporazione di sostanze volatili o semivolatili ([http://www.citepa.org/forums/egtei/Nussbaumer\\_EGTEI-Report\\_final.pdf](http://www.citepa.org/forums/egtei/Nussbaumer_EGTEI-Report_final.pdf)).

## Stima delle emissioni da piccoli apparecchi domestici a legna

All'interno del settore del riscaldamento residenziale è possibile identificare numerose tecnologie di combustione che possono impiegare tipologie di combustibile molto variabili. Rispetto a quanto riportato dagli esperti nazionali nell'ambito degli approfondimenti del TFEIP (Task Force on Emission Inventories and Projections: <http://www.tfeip-secretariat.org/meetings/>) la combustione di biomassa legnosa in piccoli apparecchi domestici costituisce una sorgente rilevante delle emissioni di PM in numerosi inventari nazionali. La TFEIP fornisce supporto tecnico nell'ambito dell'UNECE-CLRTAP (United Nations Economic Commission for Europe - Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution) per la rendicontazione e le proiezioni delle emissioni di inquinanti in atmosfera. Nell'ambito di queste attività una rete esperti collabora alla definizione: dei fattori di emissione, delle metodologie di stima ed alla individuazione delle criticità nella stesura degli inventari, sviluppando ed aggiornando le linee guida europee Guidebook (Atmospheric Emission Inventory Guidebook, AIEG) (<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>).

Secondo la versione attuale dell'AIEG anche per l'algoritmo di massimo dettaglio, le emissioni di questo settore sono stimate dal prodotto di un fattore di emissione medio specifico per tecnologia ed inquinante ed un indicatore di attività relativo al consumo totale di combustibile. Per poter procedere con la stima è necessario caratterizzare le differenti tipologie di apparecchi e per ciascuna di queste definire, anche in relazione ad una possibile distribuzione spaziale: il numero di apparecchi, consumo specifico per apparecchio, il rateo di sostituzione delle differenti tecnologie. Come fonti possibili di dati per gli indicatori è possibile indicare le indagini campionarie CATI e le informazioni dai produttori/venditori e dalle organizzazioni degli spazzacamini.

La stima può essere quindi ricondotta ad un semplice prodotto tra fattore di emissione ed indicatore a differente livello di spazializzazione sui quali possono agire numerose altre variabili:

$$E_{\text{inquinante}} = \sum FE(\text{inquinante, combustibile, tecnologia, modalità di uso, metodo campionamento, ...}) \times A(\text{combustibile, tecnologia, numero app., freq. utilizzo, consumo medio, mod. uso, ...})$$

Partendo quindi dalla esperienza documentata nell'ambito TFEIP (<http://www.tfeip-secretariat.org/meetings/>), è possibile definire le caratteristiche per ciascuna variabile identificando, dove possibile, azioni di miglioramento della stima per l'inventario della regione Lombardia o quantomeno documentando al meglio le ipotesi di calcolo.

### Tecnologie di combustione

La tipologia di apparecchio di combustione deve essere correttamente individuata rispetto al set di fattori di emissione di cui si dispone. Nel caso di impiego della ultima edizione dell'AIEG il sistema di combustione deve essere ricondotto ad una delle categorie di apparecchi riportata nel Tier 2. Dai differenti studi si sono evidenziate delle notevoli differenze tra le possibili tipologie di apparecchi impiegate nei differenti paesi o utilizzate nella definizione di fattori di emissione medi. In questo ambito risulta consigliabile utilizzare dei fattori di emissione che siano al meglio rappresentativi delle tecnologie di combustione impiegate. Per l'ambito Italiano e lombardo è stato definito un insieme di tecnologie (Ozgen et al., 2014<sup>15</sup>) confrontabili con quanto riportato dall'AIEG. Al fine di meglio documentare la scelta dei fattori di emissione nella sezione [§ Schede riassuntive per le differenti tipologie di apparecchi](#) è riportata quindi la classificazione SNAP-INEMAR degli apparecchi ed il collegamento a relativa tabella dell'AIEG.

### Tipologia di combustibile

Nel settore in questione si identificano comunemente con biomassa: legna a ciocchi, pellet ed il cippato. All'interno di tali categorie il combustibile impiegato può avere caratteristiche determinanti sui livelli di

---

<sup>15</sup> S. Ozgen, S. Caserini, S. Galante, M. Giugliano, E. Angelino, A. Marongiu, F. Hugony, G. Migliavacca, C. Morreale, "Emission factors from small scale appliances burning wood and pellets", Atmospheric Environment, Volume 94, September 2014, Pages 144-153, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.05.032>.

emissione: presenza di ramaglie e sfalci, presenza o no della corteccia, essenza della legna, potere calorifico ed umidità, presenza di contaminazioni o di altri componenti (vernici, coperture etc.).

La valutazione della presenza di contaminanti o l'uso improprio degli apparecchi è difficilmente valutabile all'interno dell'inventario, come anche i possibili effetti della differente umidità del combustibile. In particolare tale fattore è rilevante nella definizione del potere calorifico inferiore del combustibile (PCI o LHV) che è largamente impiegato nella necessaria conversione degli indicatori nei lavori dell'inventario delle emissioni. Il PCI è stato posto uguale a 12.5 GJ/t che corrisponde mediamente ad un'umidità dell'legno del 20%, valore della frazione di umidità in legno a ciocchi che secondo UNI EN-14961-5 rappresenta il discriminante per un combustibile di buona qualità, figura 2.

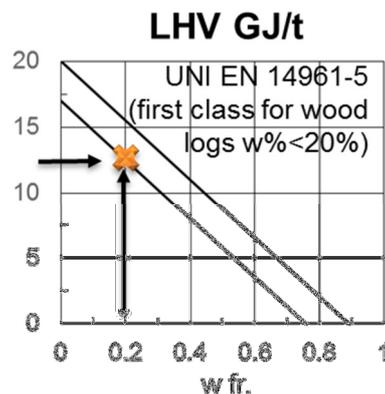


Figura 2. Relazione tra potere calorifico inferiore e umidità. Dati ottenuti su elaborazione ([http://cta.ornl.gov/bedb/appendix\\_a/The\\_Effect\\_of\\_Moisture\\_on\\_Heating\\_Values.pdf](http://cta.ornl.gov/bedb/appendix_a/The_Effect_of_Moisture_on_Heating_Values.pdf) [http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/h/a/handbuchkleinanlagen2013-web\\_1.pdf](http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/h/a/handbuchkleinanlagen2013-web_1.pdf))

### Indicatore di attività, biomassa bruciata o energia consumata

Per ciascuna tecnologia è necessario stimare il consumo annuale utilizzato con il massimo dettaglio spaziale possibile. Nel caso specifico in esame tale indicatore è particolarmente critico ed affetto da incertezze.

Esso può essere ottenuto tramite indagine campionaria periodica che copra i seguenti argomenti: percentuale di impiego delle tecnologie, età degli apparecchi, tipologia di combustibile, consumo medio annuale. Un possibile termine di validazione dell'indicatore totale di consumo di biomassa legnosa può derivare dai bilanci energetici. In questo ambito gli stakeholder (produttori, rete di vendita e spazzacamini) possono fornire indicazioni sui volumi di vendita delle differenti tecnologie definendo un punto di riferimento per la verifica della consistenza del parco apparecchi.

Il paragrafo [§ Stima degli indicatori di consumo di biomassa legnosa](#) riporta la descrizione di tutti i passaggi impiegati per la stima di indicatori comunali di energia bruciata nelle diverse categorie di apparecchi, mentre i risultati delle elaborazioni sono riassunti in [§ Schede riassuntive per le differenti tipologie di apparecchi](#).

Sulla base delle indagini campionarie CATI realizzate in Lombardia sono state identificate le maggiori criticità ed i parametri fonte di maggiore incertezza nella stima. Il territorio regionale è stato classificato in celle provinciali per classe di altitudine e densità abitativa. A questo dettaglio sono stati elaborati gli indicatori di consumo medio per famiglia e numero totale di utilizzatori frequenti. Il dato di consumo per cella, non ancora differenziato per tipologia di apparecchio, è stato spazializzato per i comuni interni alla cella tramite i dati del bilancio energetico del 2012 (SIRENA 2014). Questo ha permesso di mantenere gli indicatori delle celle aggiornati all'ultimo rilevamento CATI del 2012 e di spazializzare i consumi tramite delle proxy ottenute dal BER maggiormente indicative delle possibili realtà comunali non considerate nel campionamento (es: presenza di teleriscaldamento, grado di metanizzazione, diffusione di altre FER, ...).

La ripartizione delle tecnologie di combustione relativa alla indagine JRC del 2008 ([https://circabc.europa.eu/webdav/CircaBC/env/ambient/Library/extension\\_notifications/notifications\\_extensions/it/notification\\_20092011/official\\_notification/lombardia/references/Ref5\\_WoodCombustion.pdf](https://circabc.europa.eu/webdav/CircaBC/env/ambient/Library/extension_notifications/notifications_extensions/it/notification_20092011/official_notification/lombardia/references/Ref5_WoodCombustion.pdf))

è stata campionata sulla medesima definizione delle celle provinciali. Nel periodo 2008-2010 la ripartizione delle tipologie di apparecchi vendute in Italia ed in particolare in Lombardia è stata invece ottenuta elaborando i dati riportati nella bibliografia disponibile ed indicati da associazioni di settore quali CECED e

ANFUS. In base a questi dati è stato definito uno schema di sostituzione degli apparecchi che ha permesso di aggiornare la distribuzione degli stessi a livello di cella, considerando il periodo in esame. I dati per cella delle tecnologie di combustione sono stati collegati agli indicatori totali comunali.

### Rateo di sostituzione delle tecnologie di combustione (non solo a legna) in ambito domestico

Il possibile cambiamento del sistema di riscaldamento delle abitazioni è legato a molti fattori di cui molti non sono direttamente quantificabili. In nazioni dove il PIL ha subito riduzioni particolarmente rilevanti il bilancio energetico in ambito residenziale ha subito notevoli variazioni con relativi incrementi dell'impiego di biomassa legnosa.

L'utilizzo di dispositivi a legna è influenzato quindi da numerose variabili tra questa a titolo puramente indicativo: quelle ambientali (es: gradi giorno), economiche (es: PIL e reddito familiare rispetto a costi medi per il riscaldamento), sociali o emozionali (es: prospettive negative). A complicare ulteriormente il quadro è il fatto che generalmente gli utilizzatori di biomassa legnosa sono dotati molto spesso di altri dispositivi non a legna. Questa evidenza che deriva dai risultati delle indagini campionarie in Lombardia trova anche conferma nel confronto tra di dati disponibili per famiglie residenti, numero di abitazioni (ISTAT 2011) e numero di apparecchi termici (CURIT 2012) che mostrano a livello di cella campionaria una perfetta correlazione ([§ Stima degli indicatori di consumo di biomassa legnosa](#)). In altre parole ad ogni famiglia corrisponde mediamente una abitazione ed un apparecchio termico non alimentato a legna.

In ambito TFEIP la possibile regolamentazione del settore deriverebbe dalla introduzione di classi tipo Euro sugli apparecchi a legna, monitoraggio della qualità del legno e dei pellets, limitazione dell'uso di determinate categorie di apparecchi e dalla certificazione della installazioni.

In Lombardia la DGR 7635/08 ha disposto nei comuni della zona A1 e nei Comuni siti ad altezza inferiore a 300 m slm - e laddove sono presenti altri generatori di calore oltre quello a legna - il divieto all'utilizzo di legna da ardere nei mesi invernali per il riscaldamento domestico degli edifici in camini aperti, camini chiusi, stufe e qualunque altro tipo di apparecchio che non garantisce un rendimento energetico adeguato ( $\geq 63\%$ ) e basse emissioni di monossido di carbonio ( $\leq 0,5\%$ ). In questo ambito la categoria dell'inventario delle emissioni più vicina alle restrizioni di uso è la "2.2.6 Camino aperto tradizionale". Tra questi dispositivi la dicitura chiuso è puramente indicativa dal momento che i focolari possono essere dotati di semplici sportelli a vetro pur rimanendo apparecchiature elementari di combustione.

Secondo le schede tecniche di alcuni produttori la applicazione dello sportello ai camini aperti comporterebbe una variazione del rendimento di targa dal 61-53% al 76-73%, permettendo di rientrare nei limiti previsti. Nella attività dell'inventario 2.2.6 quindi rientrano i dispositivi di combustione relativamente meno sofisticati la cui classificazione non è necessariamente collegata alla DGR 7635/08.

### Modalità di utilizzo degli apparecchi di combustione

La modalità di utilizzo degli apparecchi può influenzare le emissioni degli inquinanti da piccoli apparecchi a legna. Oltre alla cattiva conduzione dell'apparecchio, per esempio nelle fasi di avvio o di spegnimento, nell'ottimale gestione della combustione possono essere anche ricordate: corretta manutenzione degli apparecchi, utilizzo di combustibili appropriati e non contaminati. Nell'ambito degli inventari delle emissioni esistono procedure volte a pesare il contributo della combustione non ottimale sulla conduzione appropriata degli apparecchi.

Lo studio effettuato per l'ambito Italiano e Lombardo (Ozgen et al., 2014<sup>16</sup>) ha mostrato l'influenza negativa sui livelli di emissione di un ciclo di utilizzo reale, definito sulla scorta di dati rilevati in apparecchi realmente installati, rispetto ai cicli di certificazione.

---

<sup>16</sup> S. Ozgen, S. Caserini, S. Galante, M. Giugliano, E. Angelino, A. Marongiu, F. Hugony, G. Migliavacca, C. Morreale, "Emission factors from small scale appliances burning wood and pellets", Atmospheric Environment, Volume 94, September 2014, Pages 144-153, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.05.032>.

## Stima dei fattori di emissione

I fattori di emissione sono definiti sulla base della tipologia di tecnologia di combustione. Mostrano una estrema variabilità per lo stesso tipo di apparecchio, suggerendo l'adozione di fattori di emissione mediati su ampie raccolte bibliografiche.

I FE di INEMAR e dell'AIEG per tipologia di apparecchio sono riportati nella sezione: [§ Schede riassuntive per le differenti tipologie di apparecchi](#), dove schede specifiche per le tipologie di apparecchi riportano:

- Classificazione SNAP attualmente in uso in INEMAR
- Descrizione della corrispondente classificazione riportata nella ultima edizione AIEG 2013
- Mappa e totale dei consumi di biomassa legnosa dell'apparecchio
- Peso percentuale dei consumi dell'apparecchio sul totale regionale
- Confronto tra fattori di emissione impiegati in INEMAR e quelli pubblicati da AIEG 2013.

I parametri che possono determinare il grado di variabilità possono essere identificati in alcuni dei fattori e variabili appena presentate. Considerando differenti tipologie di inquinanti, tabella 2:

Inquinante	Qualità del combustibile	Tecnologia	Modalità di uso	Manutenzione
Particolato	X	X	X	X
SOx	X			
CO		X	X	
NOx	X	*		
NMCOV		X		
NH3				
Metalli pesanti	X			
IPA		X	X	
Diossine	X			
Rendimento	X	X	X	X

*Legno con la corteccia e la qualità dei pellets permettono di ridurre le emissioni  
I nuovi biocombustibili impattano sulle emissioni di SOx e NOx  
Metalli pesanti e diossine aumentano con l'impiego di legno contaminato  
\*l'utilizzo di apparecchi automatici potrebbe ridurre le emissioni di NOx*

Tabella 2. Fattori tecnologici e di utilizzo e loro influenza sulla tipologia di inquinanti emessi. Fonte: Elaborazione e traduzione di <http://tfeip-secretariat.org/assets/Meetings/Presentations/Ghent-2014/Small-Scale-Combustion-Finland.pdf>.

E' anche da ricordare come il metodo di misura impiegato per il particolato possa essere un fattore determinante nella differenza delle stime dei fattori di emissioni del PM. In questo ambito sono identificabili due approcci principali: campionamento dei gas caldi e le misure dei gas diluiti e raffreddati. Nel secondo approccio i composti semivolatili organici e prodotti dalle cattive condizioni di ossidazione possono condensare incrementando la massa del PM campionato. Tra le due differenti categorie di metodo di misura sono riportate potenziali differenze sui fattori di emissione pari a 2-10 volte.

Per quanto riguarda il PM, i fattori di emissione utilizzati in INEMAR come anche i fattori di emissione dell'AIEG risultano maggiormente cautelativi dei valori misurati nello studio effettuato per l'ambito Italiano e Lombardo (Ozgen et al., 2014<sup>17</sup>). Caso a parte invece riguarda i dispositivi a pellet in cui la sperimentazione ha determinato fattori di emissione del PM maggiori del valore suggerito dall'AIEG di 29 g/GJ (Boman et al. 2011<sup>18</sup>), ottenuto con campionamento dei fumi tra 45-75°C con rapporti di diluizione 1.5 – 4.3 contro 30-35°C e rapporto di diluizione 10 nel caso della sperimentazione Innovhub-SSC (Ozgen et al., 2014).

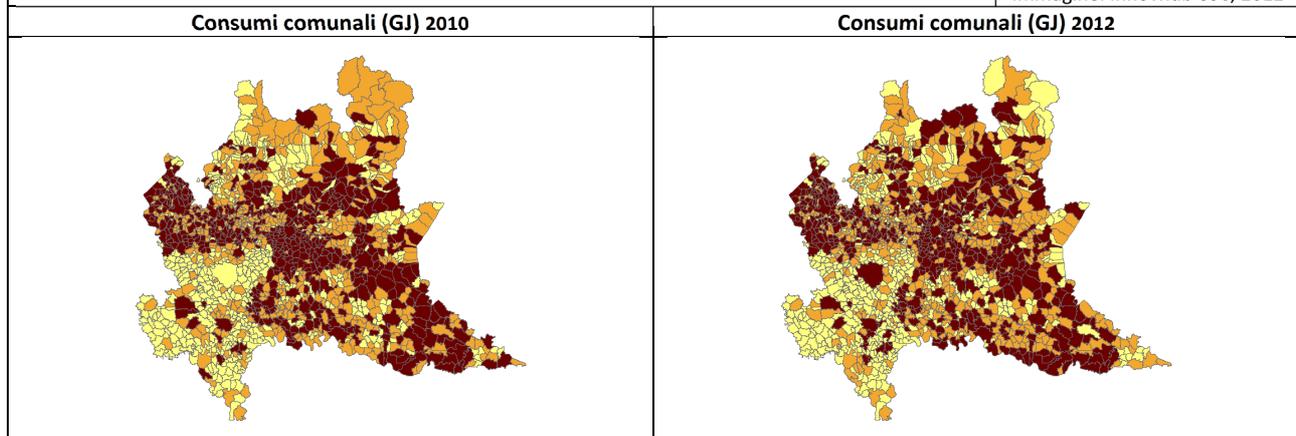
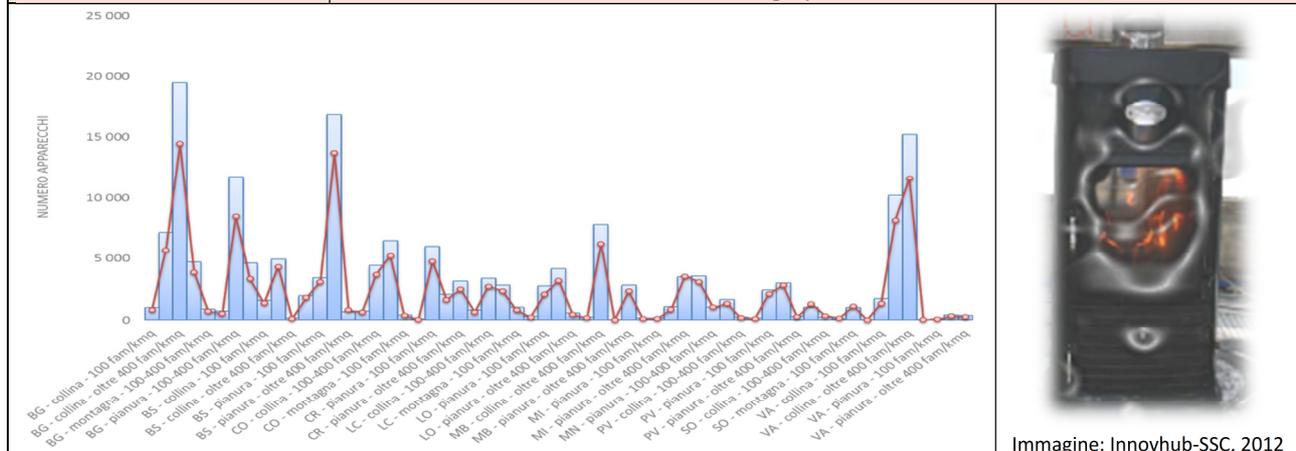
<sup>17</sup> S. Ozgen, S. Caserini, S. Galante, M. Giugliano, E. Angelino, A. Marongiu, F. Hugony, G. Migliavacca, C. Morreale, "Emission factors from small scale appliances burning wood and pellets", Atmospheric Environment, Volume 94, September 2014, Pages 144-153, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.05.032>.

<sup>18</sup> Boman, C., Pettersson, E., Westerholm, R., Boström, D. & Nordin, A., 2011: Stove Performance and Emission Characteristics in Residential Wood Log and Pellet Combustion, Part 1: Pellet Stoves. Energy Fuels 2011, 25.

## Schede riassuntive per le differenti tipologie di apparecchi

2.2.6 Camino aperto tradizionale		AIEG 2013: Table 3-14 Tier 2 emission factors for source category 1.A.4.b.i, <b>open fireplaces burning wood</b> 4) Tier 2 emission factors Code Name NFR source category 1.A.4.b.i	
		<p>Immagine: Innovhub-SSC, 2012</p>	
Consumi comunali (GJ) 2010		Consumi comunali (GJ) 2012	
Totale Lombardia 4 277 718 (GJ)		Totale Lombardia 3 116 666 (GJ)	
Utilizzo apparecchio 23%		Utilizzo apparecchio 17%	
INQ	um	AIEG2013	INEMAR2010
As	mg/GJ	0.19	0.19
BaP	mg/GJ	121	180
BbF	mg/GJ	111	180
BkF	mg/GJ	42	100
IcdP	mg/GJ	71	140
Cd	mg/GJ	13	13
CO	g/GJ	4000	5000
COV	g/GJ	600	1000
Cr	mg/GJ	23	23
Cu	mg/GJ	6	6
DIOX	ng/GJ	800	170
Hg	mg/GJ	0.56	0.56
NH3	g/GJ	74	10
Ni	mg/GJ	2	2
NOx	g/GJ	50	100
Pb	mg/GJ	27	27
PM10	g/GJ	840	860
PM2.5	g/GJ	820	817
PTS	g/GJ	880	915
EC	g/GJ	57	73
OC	g/GJ		503
Se	mg/GJ	0.5	0.5
SO2	g/GJ	11	13
Zn	mg/GJ	512	512

<b>2.2.7 Stufa tradizionale a legna</b>	<b>AIEG 2013:</b> Table 3-17 Tier 2 emission factors for source category 1.A.4.b.i, <b>conventional stoves</b> burning wood and similar wood waste 3) Tier 2 emission factors Code Name NFR source category 1.A.4.b.i
---	---



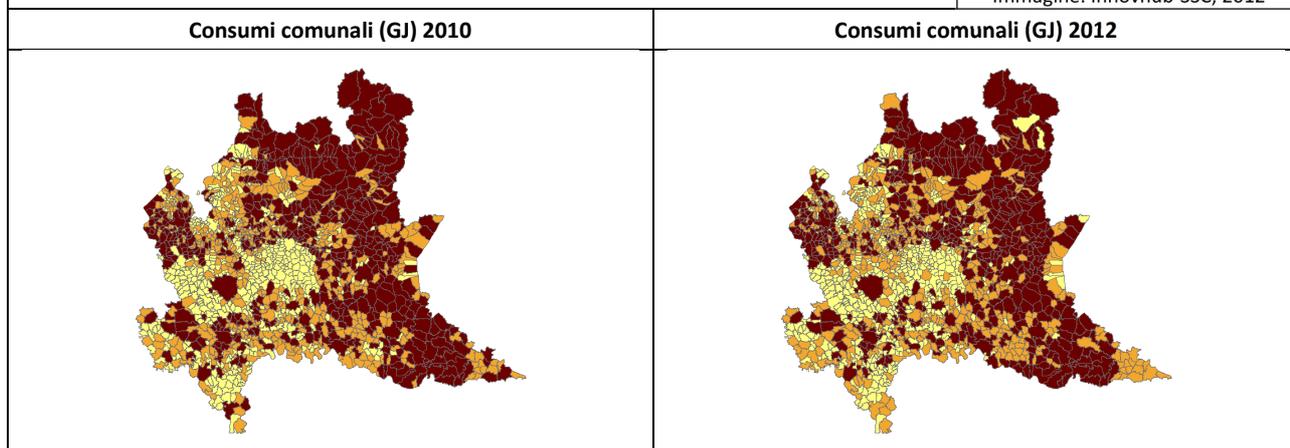
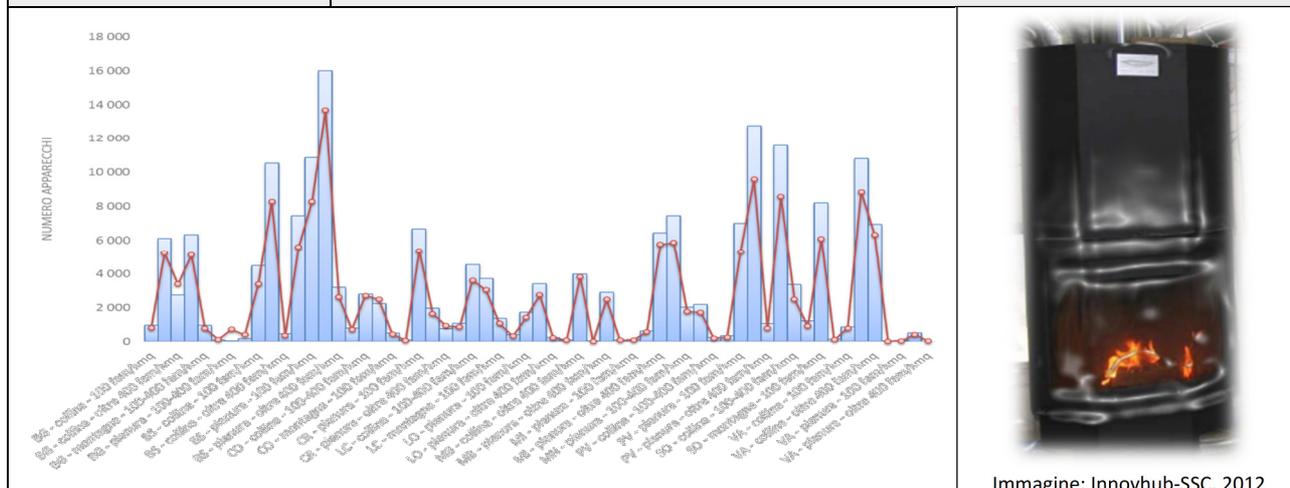
<p align="center"><b>Totale Lombardia 5 523 369 (GJ)</b></p>	<p align="center"><b>Totale Lombardia 4 225 352 (GJ)</b></p>
--	--

<p align="center"><b>Utilizzo apparecchio 30%</b></p>	<p align="center"><b>Utilizzo apparecchio 23%</b></p>
---	---

INQ	um	AIEG2013	INEMAR2010
As	mg/GJ	0.19	0.19
BaP	mg/GJ	121	250
BbF	mg/GJ	111	240
BkF	mg/GJ	42	150
IcdP	mg/GJ	71	180
Cd	mg/GJ	13	13
CO	g/GJ	4000	5000
COV	g/GJ	600	300
Cr	mg/GJ	23	23
Cu	mg/GJ	6	6
DIOX	ng/GJ	800	170
Hg	mg/GJ	0.56	0.56
NH3	g/GJ	70	10
Ni	mg/GJ	2	2
NOx	g/GJ	50	100
Pb	mg/GJ	27	27
PM10	g/GJ	760	480
PM2.5	g/GJ	740	456
PTS	g/GJ	800	511
EC	g/GJ	74	61
OC	g/GJ		255
Se	mg/GJ	0.5	0.5
SO2	g/GJ	11	13

Zn	mg/GJ	512	512
----	-------	-----	-----

**2.2.8 Camino chiuso o inserto** **AIEG 2013: Table 3-23 Tier 2 emission factors for source category 1.A.4.b.i, energy efficient stoves burning wood 6) Tier 2 emission factors Code Name NFR source category 1.A.4.b.i**



**Totale Lombardia 6 319 055 (GJ)** **Totale Lombardia 5 201 360 (GJ)**

**Utilizzo apparecchio 34%** **Utilizzo apparecchio 28%**

INQ	um	AIEG2013	INEMAR2010
As	mg/GJ	0.19	0.19
BaP	mg/GJ	121	100
BbF	mg/GJ	111	90
BkF	mg/GJ	42	40
lcdP	mg/GJ	71	60
Cd	mg/GJ	13	13
CO	g/GJ	4000	4000
COV	g/GJ	350	500
Cr	mg/GJ	23	23
Cu	mg/GJ	6	6
DIOX	ng/GJ	250	170
Hg	mg/GJ	0.56	0.56
NH3	g/GJ	37	10
Ni	mg/GJ	2	2
NOx	g/GJ	80	100
Pb	mg/GJ	27	27
PM10	g/GJ	380	380
PM2.5	g/GJ	370	361
PTS	g/GJ	400	404
EC	g/GJ	59	40
OC	g/GJ		202
Se	mg/GJ	0.5	0.5

SO2	g/GJ	11	13
Zn	mg/GJ	512	512

2.2.9 Stufa o caldaia innovativa

AIEG 2013: Table 3-23 Tier 2 emission factors for source category 1.A.4.b.i, energy efficient stoves burning wood 6) Tier 2 emission factors Code Name NFR source category 1.A.4.b.i

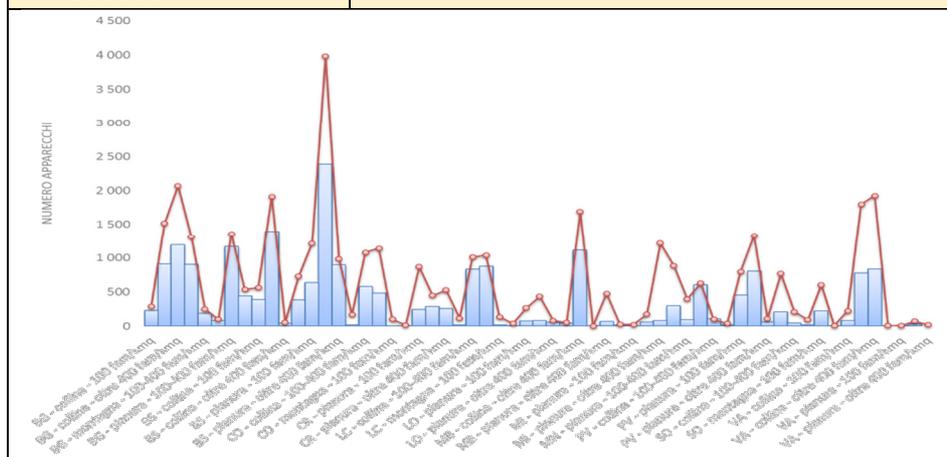
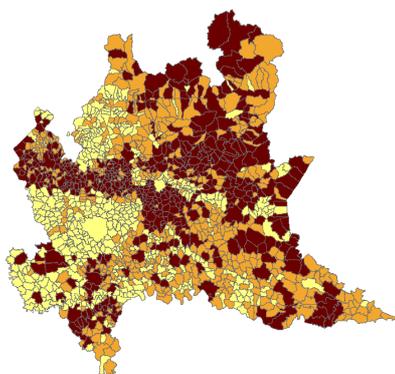
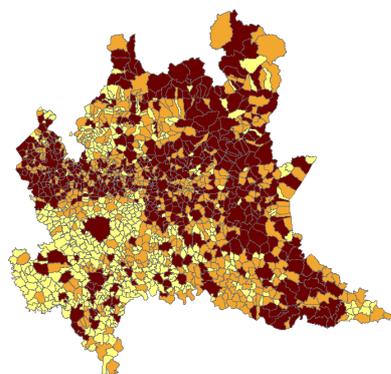


Immagine: Innovhub-SSC, 2012

Consumi comunali (GJ) 2010



Consumi comunali (GJ) 2012



Totale Lombardia 619 357 (GJ)

Utilizzo apparecchio 3%

Totale Lombardia 1 106 599 (GJ)

Utilizzo apparecchio 6%

INQ	um	AIEG2013	INEMAR2010
As	mg/GJ	0.19	0.19
BaP	mg/GJ	121	100
BbF	mg/GJ	111	90
BkF	mg/GJ	42	40
IcdP	mg/GJ	71	60
Cd	mg/GJ	13	13
CO	g/GJ	4000	4000
COV	g/GJ	350	300
Cr	mg/GJ	23	23
Cu	mg/GJ	6	6
DIOX	ng/GJ	250	30
Hg	mg/GJ	0.56	0.56
NH3	g/GJ	37	10
Ni	mg/GJ	2	2
NOx	g/GJ	80	100
Pb	mg/GJ	27	27
PM10	g/GJ	380	380
PM2.5	g/GJ	370	361
PTS	g/GJ	400	404
EC	g/GJ	59	81
OC	g/GJ		182
Se	mg/GJ	0.5	0.5
SO2	g/GJ	11	13
Zn	mg/GJ	512	512

2.2.10 Stufa automatica a pellets o cippato o BAT legna

AIEG 2013: Table 3-25 Tier 2 emission factors for source category 1.A.4.b.i, pellet stoves and boilers burning wood pellets 1) Tier 2 emission factors Code Name NFR source category 1.A.4.b.i

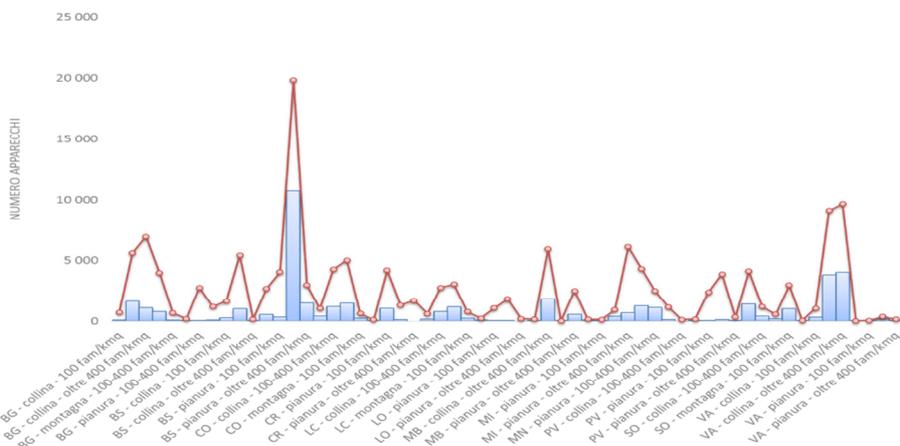
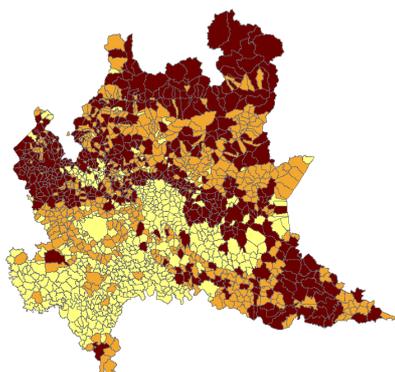
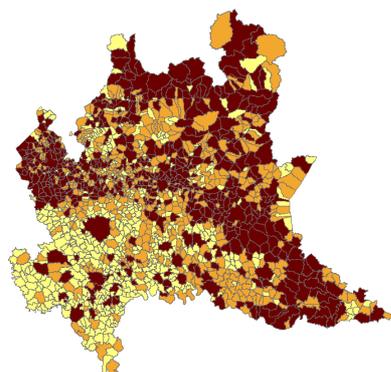


Immagine: Innovhub-SSC, 2012

Consumi comunali (GJ) 2010



Consumi comunali (GJ) 2012



Totale Lombardia 1 350 943 (GJ)

Totale Lombardia 4 468 508 (GJ)

Utilizzo apparecchio 7%

Utilizzo apparecchio 24%

INQ	um	AIEG2013	INEMAR2010
As	mg/GJ	0.19	0.19
BaP	mg/GJ	10	50
BbF	mg/GJ	16	15
BkF	mg/GJ	5	16
IcdP	mg/GJ	4	10
Cd	mg/GJ	13	13
CO	g/GJ	300	150
COV	g/GJ	10	15
Cr	mg/GJ	23	23
Cu	mg/GJ	6	6
DIOX	ng/GJ	100	Nd
Hg	mg/GJ	0.56	0.56
NH3	g/GJ	12	10
Ni	mg/GJ	2	2
NOx	g/GJ	80	100
Pb	mg/GJ	27	27
PM10	g/GJ	29	76
PM2.5	g/GJ	29	72
PTS	g/GJ	31	81
EC	g/GJ	4	8
OC	g/GJ	4	20
Se	mg/GJ	0.5	0.5

SO2	g/GJ	11	13
Zn	mg/GJ	512	512

## Stima degli indicatori di consumo di biomassa legnosa

### Indicatori comunali di consumo di biomassa

Secondo l'indagine CATI (riguardante tipologia del sistema di combustione; frequenza di utilizzo del legname; tipologia e la quantità di legna utilizzata; utilizzo di combustibili diversi in combinazione col legname; modalità di approvvigionamento; profilo delle famiglie utilizzatrici) realizzata durante i giorni feriali tra il 12 ed il 30 marzo 2012 tra le 10:00 e le 20:00, contattando 20 247 famiglie residenti in Lombardia ed individuando tra queste 2 662 utilizzatori di legna da ardere, il consumo regionale annuale di biomassa legnosa ammonterebbe a circa 1.48 milioni di tonnellate. In altri termini il 14% delle famiglie Lombarde utilizzerebbe frequentemente la biomassa legnosa in piccoli apparecchi domestici a legna con un consumo medio di 25 q/anno.

Le indagini CATI sono in genere affette da numerose criticità relative alla definizione della base campionaria ed alla modalità di somministrazione dei questionari (<http://www.poleis.eu/opensource/Piano%20di%20campionamento.pdf>, <http://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00004100/4156-stima-dei-consumi-di-legna-da-ardere.pdf>), tali aspetti sono stati contestualizzati alla stima dei consumi di biomassa legnosa, come riassunto nello schema di figura 3, e presentati presso ISPRA il 10.04.2014:

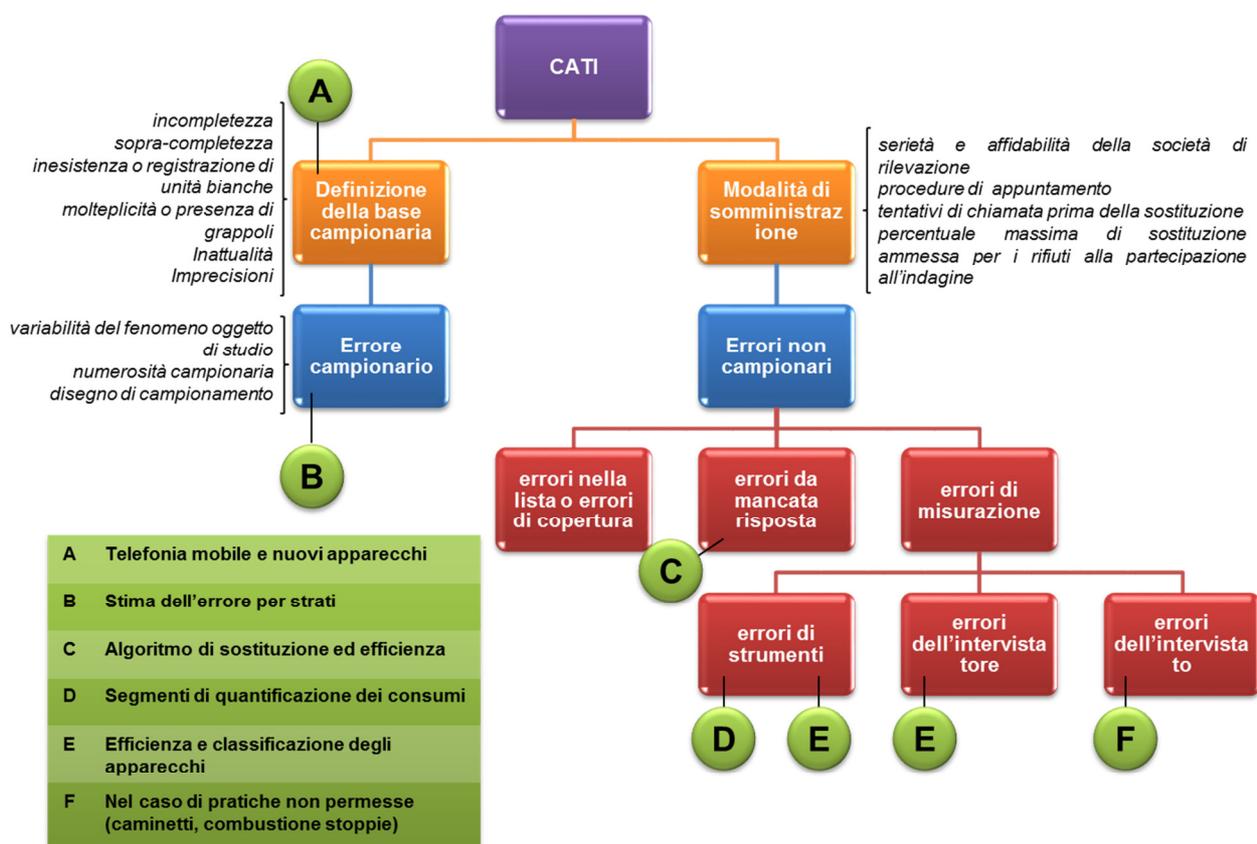


Figura 3. Analisi dei fattori e delle criticità nella realizzazione/gestione di indagini CATI sulla determinazione dei consumi di biomassa legnosa nel riscaldamento domestico.

Per realizzare l'indagine il territorio regionale è stato diviso in 59 celle di campionamento per le quali le variabili discriminanti sono state la zona altimetrica (pianura, collina e montagna) e la densità abitativa (<http://demo.istat.it> al 31/12/2010) dei comuni lombardi. La mappa in figura 4 riporta la definizione delle celle:

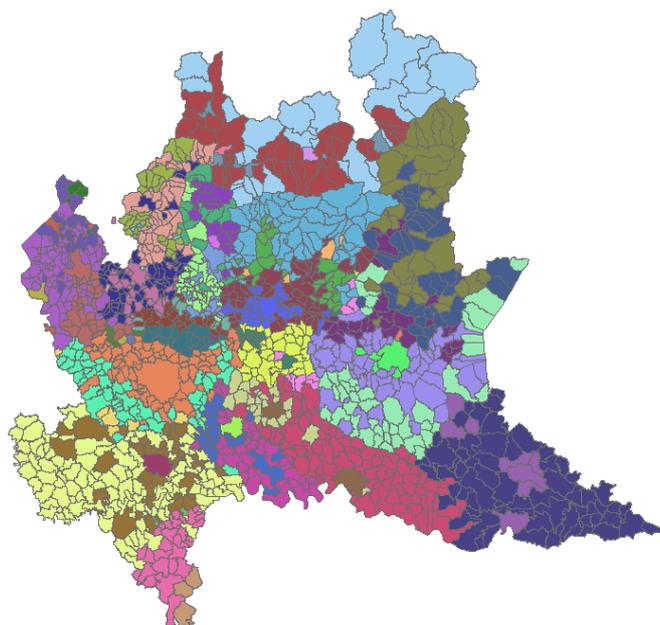


Figura 4. Celle di campionamento definite per il 2012 in funzione di classi di altitudine e densità abitativa. Ad ogni colore corrisponde una differente cella.

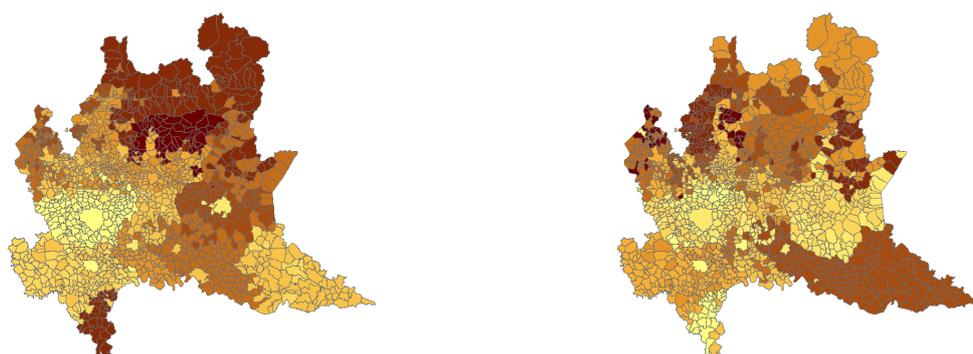


Figura 5. Percentuale di utilizzatori frequenti (mappa sn), unico valore comunale per comuni della stessa cella. Minimo 2.2% e massimo 80.8%. Consumo medio specifico per famiglia in q/anno (mappa dx), unico valore comunale per comuni della stessa cella. Minimo 1 q/anno e massimo 69.1 q/anno.

L'elaborazione dei dati di indagine permette di identificare per ciascuna cella la percentuale di utilizzatori frequenti ed il consumo medio annuale per famiglia di biomassa legnosa, come riportato nelle mappe in figura 5. La prima variabile è definita come il numero di utilizzatori frequenti rispetto al numero totale di contatti per la cella in questione mentre il consumo medio annuale deriva dalla media ponderata delle risposte fornite dagli utilizzatori frequenti.

In questa fase, il rilevamento non fornisce alcuna indicazione sui valori comunali di tali variabili, che debbono quindi essere propagate per i singoli comuni che appartengono alla stessa cella. Se la propagazione riguarda unicamente il numero di famiglie residenti il consumo comunale di biomassa legnosa è ottenuto assumendo implicitamente che la percentuale di utilizzo ed il consumo medio siano rappresentativi di tutti i comuni della cella. In questo contesto il consumo comunale è stimato come:

$$Consumo_{i,j} = \%Utilizzatori_j \times Consumo\ medio_j \times Famiglie\ Residenti_i \quad (1)$$

Dove  $i$  è il comune  $i$ -esimo della cella  $j$ -esima. Il consumo totale della cella è quindi distribuito nei singoli comuni proporzionalmente al numero di famiglie residenti.

Tale procedura è sicuramente limitativa e non tiene conto delle possibili differenze tra comuni della stessa cella. Le caratteristiche che non sono considerate sono le stesse che non sono state utilizzate nella definizione delle celle. Tra queste per esempio la facilità di un comune rispetto ad un altro a collegarsi alla rete di distribuzione del gas, la presenza di teleriscaldamento etc.

Ulteriore fattore di criticità sulla discesa a scala sub-cella è legata al fatto che dai rilevamenti effettuati sia nell'ambito della indagine CATI che dall'incrocio dei dati CURIT, con numero di abitazioni ISTAT e stima del numero di apparecchi a legna, la maggior parte degli utilizzatori di biomassa legnosa è dotata di ulteriori apparecchi domestici non a legna, figura 6. Ne consegue che localmente e stagionalmente gli utilizzatori a livello comunale possono fluttuare tra differenti sistemi di riscaldamento.

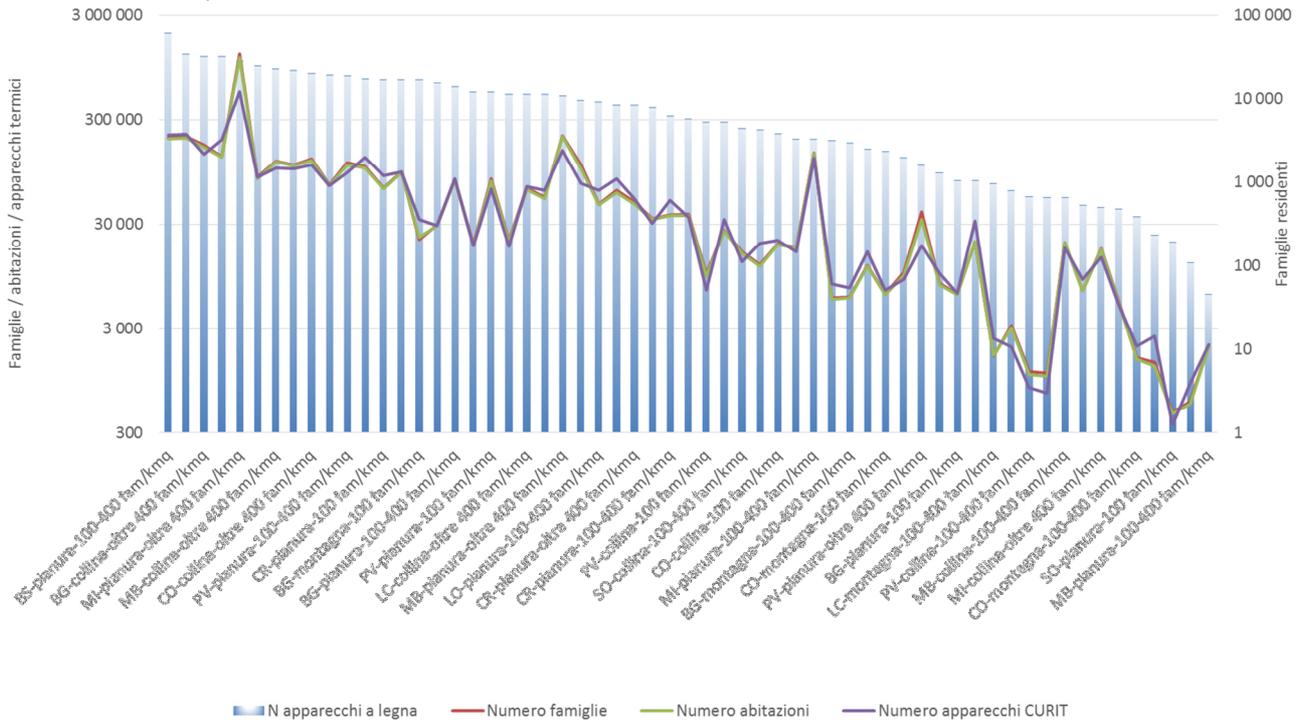


Figura 6. Confronto tra numero di apparecchi a legna rilevati con CATI, famiglie residenti, numero di abitazioni e apparecchi non a legna registrati in CURIT.

Il rilevamento dei consumi tramite CATI per le singole celle fornisce una valida indicazione dei consumi rapportata al periodo di somministrazione dei questionari mentre la distribuzione dei consumi all'interno delle celle richiede maggiore contestualizzazione rispetto alle caratteristiche dei differenti comuni. Tali peculiarità sono implementate nel bilancio energetico regionale (BER) disponibile a scala comunale e relativo all'anno 2012.

Al fine di utilizzare al meglio i dati disponibili è quindi possibile includere nella propagazione dei valori all'interno delle celle un fattore di peso ottenuto proprio dal BER 2012.

$$Consumo_{i,j} = \%Utilizzatori_j \times Consumo medio_j \times Famiglie Residenti_j \times \frac{Consumo legna BER_i}{Consumo legna BER_j} \quad (2)$$

Dove i è il comune i-esimo della cella j-esima e j è la cella considerata. In questo modo i consumi totali di biomassa legnosa per le celle di campionamento sono quelli rilevati da apposita indagine mentre la spazializzazione degli stessi è pesata sulle caratteristiche del BER.

Gli effetti della introduzione del fattore di peso definito sul BER sono riportati in figura 7. La prima cella di campionamento per la provincia di Bergamo contiene 25 comuni di collina con meno 100 fam/kmq.

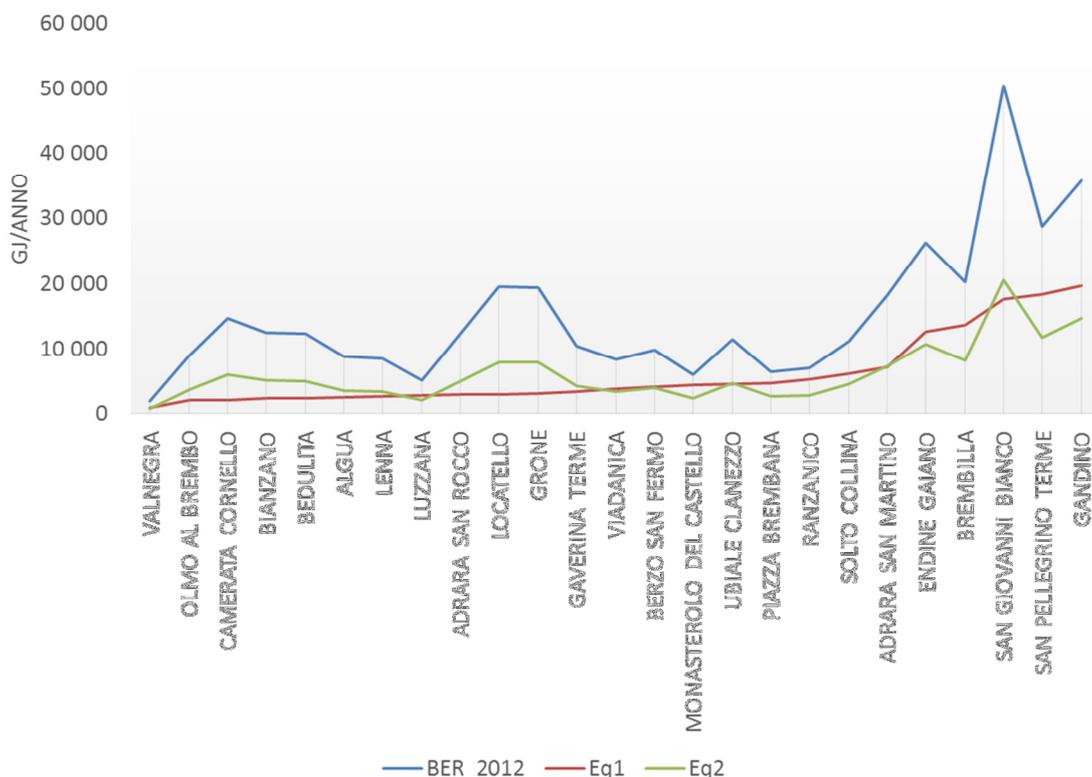


Figura 7. Confronto tra tecniche di propagazione all'interno delle celle e BER\_2012.

Ordinando i comuni per numero di famiglie residenti con l'equazione 1 si avrebbe una distribuzione proporzionale dei consumi rispetto alle famiglie residenti mentre l'introduzione del fattore di peso permette di conservare un comportamento tendenziale simile al BER pur rimanendo conservativo sul totale dei consumi sull'intera area.

Considerando le fasce di densità di popolazione alcuni capoluoghi dovrebbero essere trattati singolarmente dal momento che la classificazione delle celle ha un limite molto basso per un grande agglomerato.

Una volta effettuata l'armonizzazione al BER è possibile effettuare alcuni controlli sulla consistenza dei dati. Dalla sperimentazione condotta presso Innovhub e dai cicli di carico definiti dal Politecnico di Milano ("Sperimentazione sulle emissioni da combustione di legna biomasse" Prot. ENEA/2009/34883/APU-UGA, tabella 3) è noto come una carica oraria degli apparecchi normalmente in uso sia variabile tra ca. 2 (stufe tradizionali) e 3 (caminetti chiusi) kg/h di legna in ciocchi. Considerando anche i possibili sovraccarichi questi parametri possono raggiungere valori di 3-4 kg/h. E' quindi ragionevole ipotizzare un carico medio per apparecchio di ca. 2.8 kg/h. Considerando cautelativamente una stagione termica di 6 mesi ed un utilizzo quotidiano altamente intensivo di 14h al giorno è possibile stimare il consumo massimo tecnologico per apparecchi manuali a legna che è di circa 70-80 q/anno. Tale range è compatibile con gli indicatori su cella ottenuti dall'indagine CATI come riportato sopra ed è utilizzabile nella verifica degli indicatori comunali di consumo di biomassa legnosa.

<b>Massimo carico per apparecchi a biomassa (ca. 10 kW)</b>	
Carico medio kg/h	2.8
Utilizzo giornaliero max h	14
Numero giorni funzionamento (6 mesi)	183
Consumo annuo q/anno	72

Tabella 3. Caratteristiche medie di alimentazione per un piccolo apparecchi domestico manuale a legna.

In particolare considerando gli indicatori del BER 2012 ed il numero di famiglie residenti nell' i-esimo comune della Lombardia è possibile verificare che:

$$Famiglie Residenti_i > \left( \frac{Consumo\ legna\ BER_i(GJ)}{70 \left(\frac{q}{anno}\right)} \frac{10 \left(\frac{GJ}{t}\right)}{12.5 \left(\frac{GJ}{t}\right)} \right) \quad (3)$$

Ovvero che anche in condizioni di utilizzo limite degli apparecchi il numero di potenziali utilizzatori non superi il numero di famiglie residenti. Tale condizione per il BER12 non è sicuramente verificata per 30-40 comuni mentre per altri la situazione è vicina ad una percentuale di utilizzo al limite tecnologico del 100% delle famiglie residenti.

La definizione delle celle di campionamento introduce quindi una zonizzazione relativa ai consumi di legna in ambito domestico dove i coefficienti di consumo e frequenza sono relativi al rilevamento statistico. Assimilati i dati del BER i consumi comunali fluttuano intorno ai valori medi ottenuti dalla cella di riferimento. A livello comunale diventa quindi difficile stabilire se la riallocazione dei consumi sia dovuta alle fluttuazioni locali del consumo medio, a variazioni del numero di apparecchi oppure ad entrambi. Tale aspetto determina elevate criticità nella stima del numero di apparecchi attivi a livello comunale mentre dal punto di vista metodologico è possibile invece ragionare sui coefficienti statistici per ciascuna cella. In altre parole mentre i valori medi di cella sono ugualmente rappresentativi non è possibile estrapolarne le variazioni a livello comunale.

Considerando i dati aggregati per celle di campionamento il confronto tra gli indicatori di INEMAR ed il BER è riportato in figura 8.

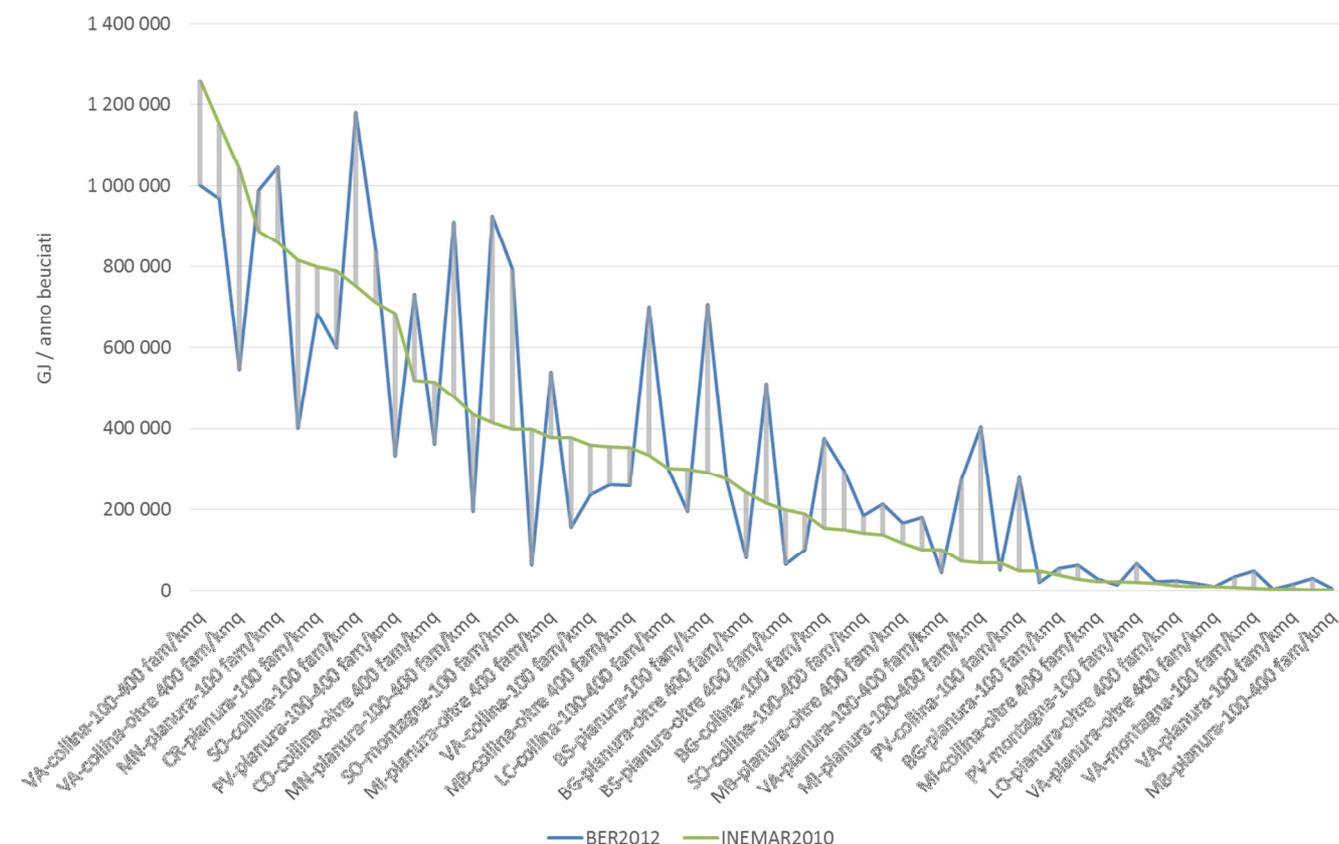


Figura 8. Confronto tra indicatori utilizzati in INEMAR e BER2012.

### Ripartizione delle tecnologie di combustione su scala comunale

Come definito nella edizione dell'inventario delle emissioni del 2010 la fotografia maggiormente validata ed impiegata in studi di scientifici analoghi riguarda la distribuzione dei consumi su scala comunale ottenuta nel 2008 dalla indagine JRC (Estimation of residential wood combustion in the Lombardy Region, Collaborative Research Project for Air Pollution Reduction in Lombardy 2006-2010,

[https://circabc.europa.eu/webdav/CircaBC/env/ambient/Library/extension\\_notifications/notifications\\_extensions/it/notification\\_20092011/official\\_notification/lombardia/references/Ref5\\_WoodCombustion.pdf](https://circabc.europa.eu/webdav/CircaBC/env/ambient/Library/extension_notifications/notifications_extensions/it/notification_20092011/official_notification/lombardia/references/Ref5_WoodCombustion.pdf) ).

L'aggiornamento e la propagazione di questi indicatori può essere effettuata al 2012 tramite una armonizzazione sui dati di vendita reperibili da associazioni di settore (ANFUS e CECED) e studi di scenario (POLIMI) ([https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/74328/3/Tesi\\_Silvia%20Galante.pdf](https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/74328/3/Tesi_Silvia%20Galante.pdf) , [http://www.federforeste.it/attachments/396\\_Pres\\_Ceced\\_7Novembre2013.pdf](http://www.federforeste.it/attachments/396_Pres_Ceced_7Novembre2013.pdf), [http://www.studiabo.it/media/filer\\_public/2012/11/12/osservatorio\\_strategico\\_web\\_1.pdf](http://www.studiabo.it/media/filer_public/2012/11/12/osservatorio_strategico_web_1.pdf) ).

La ripartizione su cella di campionamento o su scala comunale tra le differenti tecnologie di combustione è un fattore fortemente impattante sulla stima delle emissioni ed è stata potenzialmente soggetta negli ultimi anni a notevoli variazioni che si possono riscontrare per esempio nel notevole incremento del mercato del pellet (AIEL 2012, Associazione Italiana Energia Agroforestali – “Il mercato del pellets e del cippato in Italia: produzione, consumo, caratteristiche, qualità certificata, prezzo e prospettive future”).

Inoltre come suggerito in ambito TFEIP (<http://www.tfeip-secretariat.org/meetings/>) l'analisi delle serie di vendite come anche il raffronto con i bilanci energetici costituiscono attività necessarie al consolidamento delle stime. Le proiezioni dell'indicatore %Apparecchio, m sono state ottenute tramite proiezione del numero di apparecchi a partire dal 2008 considerando i ratei di vendita dichiarati da CECED ed analisi di scenario simili.

#### Analisi dei dati di vendita disponibili

I volumi di produzione pubblicati da CECED<sup>19</sup> su scala nazionale possono essere riportati su scala regionale, tabella 4.

Secondo le stime di settore per il 2010 la disponibilità nazionale di nuovi apparecchi è stata pari a 605 milioni di euro (import-export+produzione) mentre i volumi di produzione hanno raggiunto 800 milioni di euro. Ne consegue che rispetto ai volumi di produzione il consumo apparente nazionale si attesta al ca. 75%. Sempre secondo CECED la produzione di apparecchi nel 2010 ha raggiunto 462 000 unità fisiche che rapportate alla disponibilità nazionale diventano circa 349 000 unità fisiche e su scala regionale 57 155 unità fisiche.

	<b>Produzione nazionale (CECED)</b>	<b>Disponibilità interna nazionale (75%)</b>	<b>Disponibilità interna Lombardia<sup>20</sup> (16% del valore nazionale)</b>	<b>% Pellet/legna</b>
Pellet	275 000	207 969	34 021	<b>60%</b>
Legna	187 000	141 419	23 134	<b>40%</b>
<b>Totale</b>	<b>462 000</b>	<b>349 388</b>	<b>57 155</b>	<b>100%</b>

Tabella 4. Bilancio sui dati di produzione degli apparecchi a biomassa. Elaborazioni su statistiche CECED.

[http://www.studiabo.it/media/filer\\_public/2012/11/12/osservatorio\\_strategico\\_web\\_1.pdf](http://www.studiabo.it/media/filer_public/2012/11/12/osservatorio_strategico_web_1.pdf)

Il valore totale di disponibilità interna ottenuto per la Lombardia nel 2010 è in accordo con quanto ipotizzato da Galante, 2012<sup>21</sup> e riassunto in tabella 5. Per quanto riguarda la ripartizione pellet/legna la elaborazione sui dati Galante,2012 fornisce delle indicazioni relativamente differenti con i dati di disponibilità CECED:

	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2010 pellet/legna</b>
Stufe a pellet	30%	37%	37%	<b>63%</b>
Stufe e forni a legna	30%	34%	33%	
Camino chiuso	30%	22%	21%	
Camino aperto	10%	7%	9%	

Tabella 5. Ripartizione delle tecnologie in sostituzione o in nuova installazione. Elaborazioni tesi POLIMI, Galante 2012.

[https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/74328/3/Tesi\\_Silvia%20Galante.pdf](https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/74328/3/Tesi_Silvia%20Galante.pdf)

<sup>19</sup> [http://www.studiabo.it/media/filer\\_public/2012/11/12/osservatorio\\_strategico\\_web\\_1.pdf](http://www.studiabo.it/media/filer_public/2012/11/12/osservatorio_strategico_web_1.pdf)

<sup>20</sup> Ottenuta tramite proxy demografica

<sup>21</sup> [https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/74328/3/Tesi\\_Silvia%20Galante.pdf](https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/74328/3/Tesi_Silvia%20Galante.pdf)

Normalizzando la ripartizione dei soli apparecchi a legna di Galante, 2012, è possibile estrapolare i pesi relativi alle differenti sottocategorie per gli apparecchi non a pellets, tabella 6:

	2008	2009	2010
Stufe e forni a legna	43%	54%	52%
Camino chiuso	43%	35%	33%
Camino aperto	14%	12%	15%

Tabella 6. Distribuzione normalizzata a 100% degli apparecchi a legna effettuata su dati Galante, 2012.

che combinati ai volumi totali di vendita CECED fornisce il seguente quadro per la Lombardia nel 2010, tabella 7.

	2010
Stufe a pellet	34 021
Stufe e forni a legna	12 077
Camino chiuso	7 655
Camino aperto	3 402

Tabella 7. Ripartizione tra apparecchi stimata per la Lombardia nel 2010.

#### Proiezione della ripartizione tecnologie del 2008 al 2012

Nella ultima edizione dell'inventario delle emissioni per l'anno 2010 la distribuzione delle tecnologie di combustione derivava da elaborazioni precedenti ed in particolare dal rilevamento CATI effettuato nel 2008 dal

JRC

([https://circabc.europa.eu/webdav/CircaBC/env/ambient/Library/extension\\_notifications/notifications\\_extensions/it/notification\\_20092011/official\\_notification/lombardia/references/Ref5\\_WoodCombustion.pdf](https://circabc.europa.eu/webdav/CircaBC/env/ambient/Library/extension_notifications/notifications_extensions/it/notification_20092011/official_notification/lombardia/references/Ref5_WoodCombustion.pdf)).

E' da rilevare come nello studio in esame la stratificazione delle celle di campionamento non è uguale a quella effettuata nel 2012, in particolare la ripartizione dell'uso degli apparecchi è stata propagata in funzione delle seguenti variabili:

- fascia altimetrica
- tipo di urbanizzazione (in termini di % di edifici con più o meno di 6 piani)
- consumo stimato di biomassa legnosa ottenuto sulla base delle superfici abitative scaldate rapportate al numero dei residenti.

Ne consegue che l'aggiornamento di un indicatore di ripartizione delle tecnologie di combustione sulla base delle sole celle di campionamento, dell'ultimo rilevamento, determinerebbe risultati localmente non confrontabili con le precedenti edizioni dell'inventario. Inoltre l'utilizzo di celle di campionamento con più comuni perderebbe buona parte del know-how implementato nei lavori dell'inventario oltre che appiattire di molto le differenze tra comuni della stessa cella dovute al tipo di urbanizzazione. Tra questi un esempio è certamente fornito dai capoluoghi di provincia la cui classificazione nelle celle di campionamento risulta inefficace a causa dell'elevata densità abitativa, tanto da presentare ripartizioni degli apparecchi molto differenti dalla corrispondente cella di campionamento.

Di conseguenza è opportuno aggiornare le ripartizioni degli apparecchi su scala comunale e non aggregata. La fotografia della distribuzione delle tecnologie di combustione relativa al 2008 è stata elaborata definendo l'indicatore %Apparecchio<sub>i,m</sub>. Ipotizzando che ogni tipologia di apparecchi sia descrivibile da un distribuzione gaussiana delle classi di età degli stessi è possibile definire le condizioni iniziali del parco apparecchi con la seguente:

$$N_{i,m,k} = \%Apparecchio_{i,m} \times \%Utilizzatori_j \times Famiglie Residenti_i \times \frac{1}{\sigma_m \sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{(k-\mu_m)^2}{2\sigma_m^2}} \quad (4)$$

Dove k è l'età in anni dell'apparecchio di combustione di tipo m nel comune i-esimo,  $\sigma_m$  la deviazione standard rispetto alla età media  $\eta_m$  è l'età media degli apparecchi di tipo m.

Ipotizzando una età media degli apparecchi a legna tra i 6 ed i 10 anni rispettivamente per sistemi a pellet e sistemi a legna con deviazione standard di 3 e 4 anni è possibile definire le distribuzioni di età delle singole categorie di apparecchi in ciascuna cella di campionamento. L'ipotesi relativa alla età media degli apparecchi è compatibile con quanto riportato da Galante ([https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/74328/3/Tesi\\_Silvia%20Galante.pdf](https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/74328/3/Tesi_Silvia%20Galante.pdf)) nella elaborazione sui dati (EC DG TREN, 2009. Preparatory studies for Eco-Design Requirements of EuPs (II) – Lot15 Solid Fuel Small Combustion Appliances – Final Version December 2009 ) che prevede una vita utile di 15 anni per i sistemi a legna e di 12.5 anni per i sistemi a pellet.

#### Tasso di ricambio e schema di sostituzione

La variabile  $N_{i,m,k}$ , ovvero il numero di apparecchi di tipo  $m$ , nel comune  $i$  e di età  $k$  può variare negli anni perché:

- gli apparecchi obsoleti sono rinnovati sostituendo quelli più vecchi con sistemi uguali o differenti ma più moderni
- sono introdotti nuovi apparecchi (o sono rimossi)
- i dispositivi invecchiano con il passare degli anni

Rispetto alla ripartizione per classe di età degli apparecchi è possibile ipotizzare che gli utilizzatori provvedano a sostituire l'apparecchio con maggiore probabilità all'aumentare della età e quindi all'avvicinarsi del termine di vita utile del dispositivo. Il numero di apparecchi potenzialmente sostituibili di tipo  $m$  nel comune  $i$  ed all'anno  $y$  è circa:

$$R_{i,m,y} \cong \sum_k \frac{1}{100} \times (k - 1) \times N_{i,m,k,y} \quad (5)$$

A titolo di esempio applicando questa relazione all'intero territorio regionale per il 2008 ed assumendo le ipotesi appena descritte, il numero di apparecchi sostituibili perché obsoleti è circa pari al 8-9% di  $N_{m,y}$ .

Tale valore è in linea con quanto adottato dalla bibliografia disponibile (EC DG TREN, 2009. Preparatory studies for Eco-Design Requirements of EuPs (II) – Lot15 Solid Fuel Small Combustion Appliances – Final Version December 2009 ) dove il valore del tasso di rinnovo varia tra il 7-8%.

Dalla analisi delle serie storiche è stato evidenziato come il settore sia caratterizzato da un lieve incremento delle vendite a partire dal 2008 (CECED, Galante). Rispetto a questi dati è quindi possibile ipotizzare che il numero di apparecchi sia soggetto ad un incremento annuale medio dell'1% rispetto al 2008, che in altri termini equivale a 5000-6000 nuovi apparecchi a livello regionale che sono ripartiti allo stesso modo dei volumi di vendita.

I dispositivi non sostituiti con il trascorrere di un anno passano quindi alla categoria di età successiva.

Rispetto al rateo di sostituzione degli apparecchi  $R_{i,m,y}$  per descrivere i passaggi da una categoria  $m$  di apparecchi ad un'altra è necessario introdurre uno schema di sostituzione compatibile con i dati di vendita e con considerazioni di tipo tecnologico.

A questo riguardo i dati disponibili possono essere riassunti:

- i sistemi a pellet stanno diventando i dispositivi di maggiore mercato, i dati di produzione vedrebbero addirittura un superamento del pellet rispetto ai dispositivi a legna
- le installazioni tipo camino aperto possono evolvere tecnologicamente con più favore verso l'inserimento che non altri dispositivi

Di conseguenza è possibile ipotizzare che:

- i dispositivi a pellet obsoleti siano sostituiti con apparecchi dello stesso tipo
- che gli altri dispositivi obsoleti determinino una ripartizione di sostituzione al 55% verso il pellet ed al 45% verso dispositivi a legna: stufe e camini chiusi.

La ripartizione è perfettamente in linea con quanto disponibile da CECED ed elaborato da altre fonti ed ipotizza una distribuzione delle vendite al 55% relativa ad apparecchi a pellet.

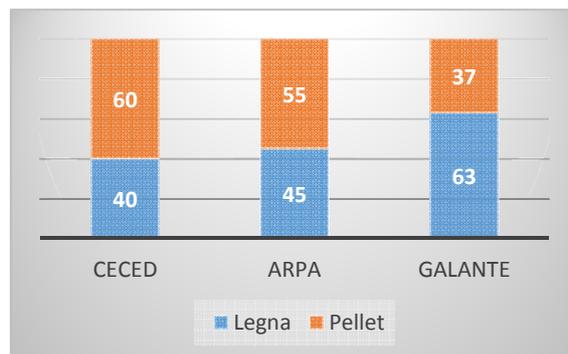


Figura 9. Stima della ripartizione dei nuovi apparecchi tra pellets e legna.

Mentre la ripartizione della frazione al 45% di apparecchi a legna è distribuita in accordo ai dati Galante, 2012. In sintesi su 100 nuovi apparecchi introdotti nel periodo in esame la distribuzione è la seguente, tabella 8:

2.2.6 Camino aperto tradizionale	2.2.7 Stufa tradizionale a legna	2.2.8 Camino chiuso o inserto	2.2.9 Stufa o caldaia innovativa	2.2.10 Stufa automatica a pellets o cippato o BAT legna
7	12	15	11	55

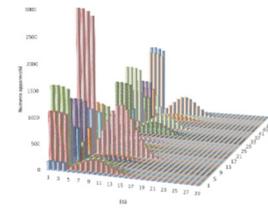
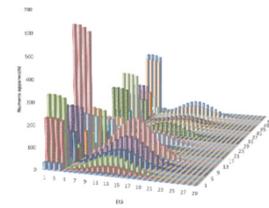
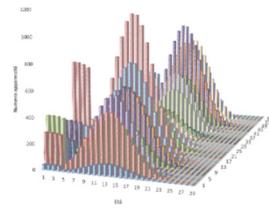
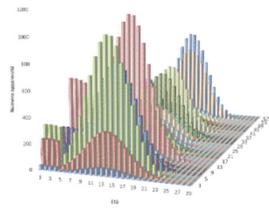
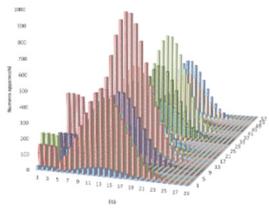
Tabella 8. Ripartizione delle categorie di nuovi apparecchi nel periodo in esame.

Applicando le procedure appena descritte è possibile partendo dal 2008 risalire al numero di apparecchi i dati e lo share di vendita. I risultati sulla evoluzione della popolazione degli apparecchi ripartita per età e mediati sulle celle di campionamento è riassunta, a titolo d'esempio, in tabella 9.

Tabella 9. Ricostruzione della serie storica di ripartizione tra tecnologie di combustione in Lombardia nel periodo 2008-2012 (pagina seguente) per cella di campionamento come definita nella ultima indagine CATI m( →).

	2.2.6 Camino aperto tradizionale	2.2.7 Stufa tradizionale a legna	2.2.8 Camino chiuso o inserto	2.2.9 Stufa o caldaia innovativa	2.2.10 Stufa automatica a pellets o cippato o BAT a legna
2008					
2009					
2010					
2011					

2012



## Consumi comunali per tipologia di apparecchio

Ottenuta la distribuzione tecnologica degli apparecchi per ciascun comune della Lombardia ed anno di riferimento, il consumo della tecnologia m-esima è ottenuto ripartendo il consumo del comune i-esimo appartenente alla cella j-esima per il coefficiente di ripartizione della tecnologia relativo alla cella j.

$$ConsumoApp_{i,m} = Consumo_i \times \frac{N_{i,m}}{\sum_i N_{i,m}} \quad (6)$$

Considerando i valori regionale è possibile confrontare la serie storica ottenuta dalla procedura con le stime di settore CECED per il periodo 2008-2012

([http://www.federforeste.it/attachments/396\\_Pres\\_Ceced\\_7Novembre2013.pdf](http://www.federforeste.it/attachments/396_Pres_Ceced_7Novembre2013.pdf)).

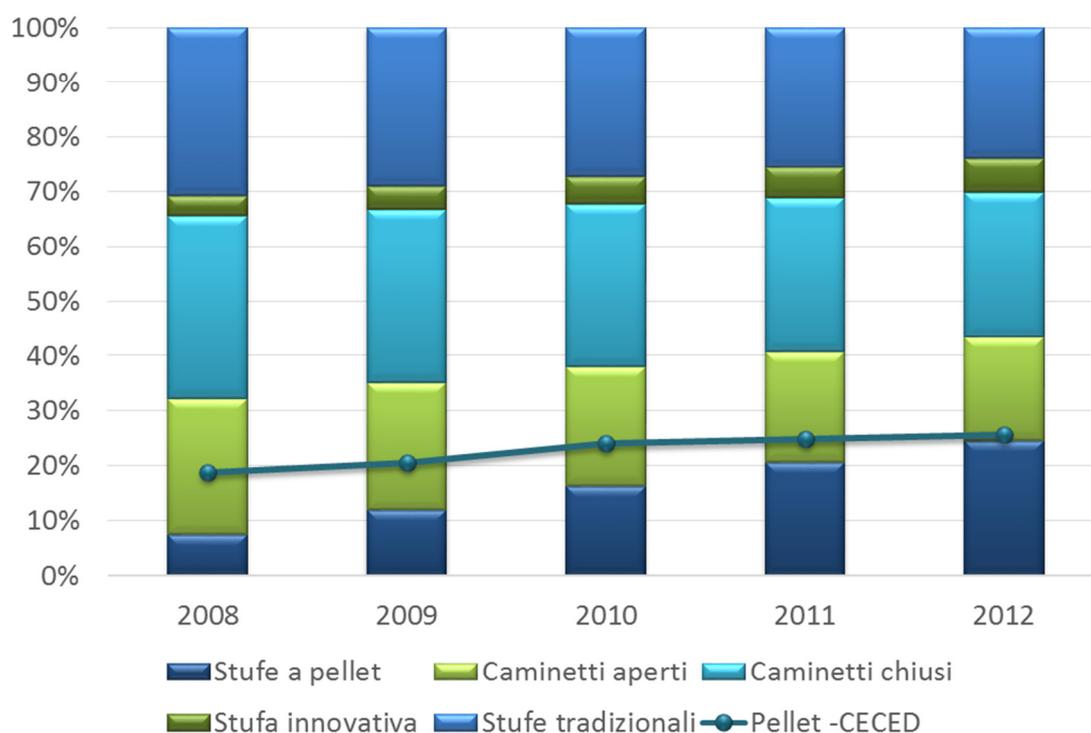


Figura 10. Ripartizione percentuale tra numero di apparecchi stimata tra il 2008 ed il 2012.

Il grafico riporta la distribuzione sul numero degli apparecchi ed il confronto con la % di apparecchi a pellet stimata su scala nazionale da CECED, figura 10.

## Ripartizione dei consumi regionali tra tipologie di apparecchi stimata per il 2012

Figura 11 riporta un quadro di sintesi sugli indicatori regionali di consumo di biomassa legnosa stimati per il 2012 in Lombardia e ripartiti per differenti tipologie di piccoli apparecchi domestici. Dal diagramma a blocchi emerge come sia diventato rilevante l'impiego di dispositivi a pellets che risulta dell'ordine di 350 kt di materiale bruciato.

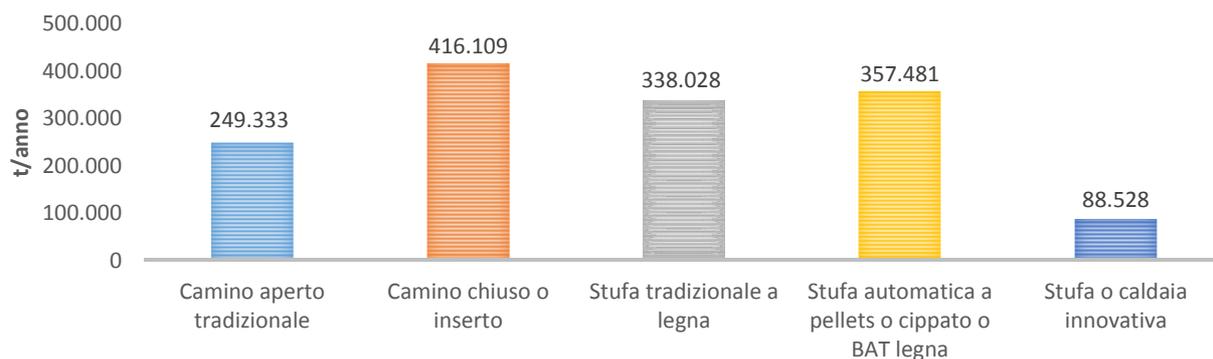


Figura 11. Consumi regionali per il 2012 di biomassa legnosa in t/anno stimati per differenti tipologie di apparecchi domestici.

Rispetto alla classificazione attualmente impiegata nell'inventario delle emissioni della Lombardia le tecnologie di combustione di legna a ciocchi hanno un grado di dettaglio maggiore che non i dispositivi a pellets. Sommando i contributi dei dispositivi a legna è possibile confrontare gli indicatori impiegati nell'inventario 2012 con quanto rilevato nella indagine ISTAT nel 2013 sui consumi energetici delle famiglie in Lombardia.

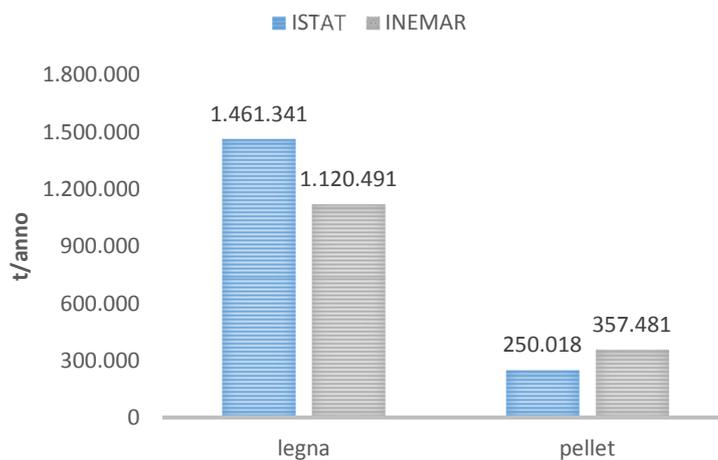


Figura 12. Confronto tra ripartizione pellet/legna impiegata nell'inventario delle emissioni 2012 e quanto rilevato dalla indagine ISTAT, 2013 (<http://www.istat.it/it/archivio/141193>).

## Quadro generale degli indicatori di consumo di biomassa legnosa stimati al 2012 per celle di campionamento

Pr.	Alt.	Densità <sup>22</sup>	Famiglie <sup>23</sup>	Abitazioni <sup>24</sup>	Apparecchi termici <sup>25</sup>	Apparecchi a legna <sup>26</sup>	% Utilizzatori <sup>27</sup>	Consumo <sup>28</sup>	Consumi GJ ARPA 2012 <sup>29</sup>	Consumi GJ BER 2012 <sup>30</sup>	2.2.5 Altri sistemi (stufe caminetti cucine ecc.) <sup>31</sup>		2.2.6 Camino aperto tradizionale		2.2.7 Stufa tradizionale a legna		2.2.8 Camino chiuso o inserto		2.2.9 Stufa o caldaia innovativa		2.2.10 Stufa automatica a pellets o cippato o BAT legna	
											2008	2012	2008	2012	2008	2012	2008	2012	2008	2012	2008	2012
BG	collina	100 fam/kmq	18 042	17 674	16 235	3 328	18.4%	36.9	153 372	375 402	1%	1%	30%	21%	31%	23%	29%	25%	7%	8%	3%	21%
BG	collina	100-400 fam/kmq	110 976	108 857	102 249	22 508	20.3%	31.6	888 773	987 930	1%	1%	28%	23%	32%	22%	27%	24%	4%	7%	8%	24%
BG	collina	oltre 400 fam/kmq	171 315	162 771	140 081	32 442	18.9%	20.1	816 319	400 775	5%	2%	19%	14%	61%	38%	8%	16%	4%	6%	3%	24%
BG	montagna	100 fam/kmq	21 417	22 414	32 991	17 298	80.8%	32.9	711 497	838 487	1%	1%	24%	16%	27%	20%	37%	33%	5%	7%	5%	24%
BG	montagna	100-400 fam/kmq	6 019	5 952	7 330	3 010	50.0%	50.0	188 094	100 912	1%	1%	28%	18%	30%	21%	31%	30%	6%	7%	3%	23%
BG	pianura	100 fam/kmq	6 384	6 282	6 587	1 064	16.7%	28.6	38 000	53 499	1%	1%	14%	13%	67%	44%	9%	13%	8%	9%	1%	20%
BG	pianura	100-400 fam/kmq	80 551	78 672	82 223	13 978	17.4%	20.3	355 016	260 454	1%	1%	5%	6%	85%	59%	0%	5%	8%	9%	0%	19%
BG	pianura	oltre 400 fam/kmq	37 266	36 321	34 997	5 789	15.5%	33.5	242 344	80 422	1%	1%	7%	7%	80%	55%	3%	7%	8%	9%	1%	20%
BS	collina	100 fam/kmq	33 644	33 135	30 352	7 916	23.5%	48.4	478 685	910 750	8%	7%	6%	7%	20%	17%	57%	42%	5%	7%	4%	20%
BS	collina	100-400 fam/kmq	84 332	82 176	84 581	25 332	30.0%	16.4	519 701	733 039	7%	7%	22%	15%	20%	16%	42%	34%	6%	7%	4%	21%
BS	collina	oltre 400 fam/kmq	3 206	3 068	2 015	802	25.0%	1.8	1 803	2 329	8%	8%	6%	7%	21%	17%	57%	42%	5%	7%	3%	20%
BS	montagna	100 fam/kmq	19 193	18 753	18 618	12 084	63.0%	27.5	414 960	924 460	4%	4%	9%	9%	17%	14%	62%	46%	3%	6%	5%	22%
BS	pianura	100 fam/kmq	71 644	69 605	69 746	19 592	27.3%	11.9	291 881	707 549	3%	3%	18%	13%	18%	16%	56%	42%	3%	6%	2%	20%
BS	pianura	100-400 fam/kmq	203 238	195 945	213 040	61 768	30.4%	14.9	1 153 300	967 520	2%	2%	23%	17%	27%	20%	26%	26%	4%	6%	18%	30%
BS	pianura	oltre 400 fam/kmq	111 466	100 977	74 161	9 584	8.6%	16.6	199 114	62 969	0%	1%	34%	19%	7%	20%	34%	18%	9%	8%	16%	34%
CO	collina	100 fam/kmq	19 267	18 902	20 950	3 853	20.0%	44.8	215 642	510 782	1%	1%	48%	34%	19%	16%	21%	18%	1%	4%	11%	27%
CO	collina	100-400 fam/kmq	95 181	93 201	95 739	17 306	18.2%	36.4	789 401	598 236	2%	2%	46%	31%	26%	20%	16%	15%	3%	6%	7%	26%
CO	collina	oltre 400 fam/kmq	126 587	122 317	110 613	20 504	16.2%	20.1	515 837	360 740	3%	2%	45%	31%	32%	24%	11%	13%	2%	6%	7%	23%
CO	montagna	100 fam/kmq	6 484	6 332	7 057	2 358	36.4%	51.0	150 311	296 018	1%	1%	48%	34%	18%	16%	21%	18%	0%	4%	11%	27%
CO	montagna	100-400 fam/kmq	1 567	1 537	2 048	392	25.0%	13.4	6 550	33 960	1%	1%	48%	34%	18%	16%	21%	18%	0%	4%	11%	27%
CR	pianura	100 fam/kmq	66 900	65 444	87 313	17 442	26.1%	36.7	799 981	685 446	1%	1%	18%	14%	35%	27%	39%	30%	1%	5%	6%	24%
CR	pianura	100-400 fam/kmq	36 710	36 023	50 731	6 219	16.9%	12.9	100 050	181 357	1%	1%	27%	19%	34%	26%	32%	26%	5%	7%	2%	21%

<sup>22</sup> Provincia, fascia altimetrica e rapporto tra numero di famiglie e superficie comunale definiscono le 59 celle di campionamento

<sup>23</sup> Numero di famiglie residenti <http://demo.istat.it> al 31/12/2010

<sup>24</sup> Numero di abitazioni relative al censimento ISTAT 2011

<sup>25</sup> Apparecchi termici registrati in CURIT <http://www.curit.it/home>

<sup>26</sup> Stima del numero di apparecchi a legna tramite rilevamento statistico del 2012, ottenuta tramite %Utilizzatori x Numero Famiglie

<sup>27</sup> Percentuale di famiglie che utilizzano frequentemente legna da ardere ottenuta tramite rilevamento statistico con indagine campionaria CATI del 2012

<sup>28</sup> Consumo medio di biomassa per utilizzatore da rilevamento statistico con indagine campionaria CATI del 2012

<sup>29</sup> Stima dell'energia bruciata negli apparecchi ottenuta tramite %Utilizzatori x Numero Famiglie x Consumo medio (q/anno) x 12.5 (GJ/t) / 10 (q/t)

<sup>30</sup> Dati da bilancio energetico regionale relativo al 2012, i corrispondenti valori comunali sono utilizzati per disaggregare i dati delle singole celle

<sup>31</sup> Ripartizione dei consumi per tipologia di apparecchio e relativa classificazione SNAP. I dati dell'indagine JRC del 2008 sono stati riportati al 2012 considerando i dati di produzione e vendita (CECED e Galante, 2012).

CR	pianura	oltre 400 fam/kmq	49 082	46 406	52 677	8 491	17.3%	37.5	398 420	60 823	0%	0%	51%	36%	37%	28%	9%	11%	3%	6%	0%	19%
LC	collina	100 fam/kmq	12 021	11 753	16 210	2 550	21.2%	22.4	71 489	274 382	4%	4%	13%	11%	32%	25%	43%	33%	1%	4%	7%	24%
LC	collina	100-400 fam/kmq	54 719	52 370	63 145	11 266	20.6%	21.4	301 169	299 661	2%	2%	13%	11%	30%	23%	41%	31%	7%	8%	7%	23%
LC	collina	oltre 400 fam/kmq	66 271	64 796	68 659	11 294	17.0%	21.3	300 269	195 159	2%	1%	21%	13%	25%	22%	33%	29%	8%	10%	11%	25%
LC	montagna	100 fam/kmq	5 869	5 728	8 069	3 179	54.2%	69.1	274 554	269 548	4%	4%	12%	10%	33%	25%	43%	33%	1%	4%	7%	24%
LC	montagna	100-400 fam/kmq	1 644	1 652	2 428	971	59.1%	39.4	47 864	18 987	4%	4%	12%	10%	33%	25%	43%	33%	1%	4%	7%	24%
LO	pianura	100 fam/kmq	26 159	25 719	33 158	5 287	20.2%	20.9	138 461	213 954	0%	0%	12%	10%	53%	39%	33%	26%	1%	5%	1%	20%
LO	pianura	100-400 fam/kmq	46 767	46 013	63 799	9 174	19.6%	32.9	376 845	156 088	1%	1%	15%	12%	46%	34%	37%	29%	1%	5%	0%	19%
LO	pianura	oltre 400 fam/kmq	20 336	20 368	32 305	1 053	5.2%	7.5	9 874	22 419	0%	0%	16%	13%	56%	40%	22%	20%	5%	8%	0%	19%
MB	collina	100-400 fam/kmq	19 898	19 934	17 911	670	3.4%	32.8	27 483	61 855	1%	1%	33%	25%	37%	28%	13%	13%	6%	8%	9%	25%
MB	collina	oltre 400 fam/kmq	119 717	117 920	103 853	23 523	19.6%	12.0	352 850	257 742	1%	1%	35%	25%	34%	27%	17%	15%	5%	7%	8%	25%
MB	pianura	100-400 fam/kmq	2 036	2 019	2 104	46	2.3%	10.1	585	4 772	1%	1%	32%	23%	35%	27%	16%	15%	3%	5%	14%	29%
MB	pianura	oltre 400 fam/kmq	212 095	205 618	153 741	10 856	5.1%	8.6	116 237	166 603	2%	2%	38%	27%	26%	22%	27%	21%	1%	5%	5%	24%
MI	collina	oltre 400 fam/kmq	17 542	17 210	14 418	501	2.9%	34.5	21 614	26 360	1%	1%	32%	23%	35%	27%	16%	15%	3%	5%	14%	29%
MI	pianura	100 fam/kmq	5 373	5 206	4 995	488	9.1%	1.0	611	29 047	2%	2%	36%	27%	30%	22%	22%	21%	1%	4%	9%	23%
MI	pianura	100-400 fam/kmq	145 398	142 356	129 076	3 346	2.3%	16.4	68 514	403 361	2%	1%	33%	24%	33%	25%	19%	16%	2%	5%	12%	27%
MI	pianura	oltre 400 fam/kmq	1 301 575	1 186 582	550 596	29 074	2.2%	10.4	377 534	539 972	3%	2%	60%	32%	12%	18%	22%	19%	0%	4%	2%	23%
MN	pianura	100 fam/kmq	106 875	103 738	131 630	17 584	16.5%	39.1	858 483	1 045 949	4%	4%	24%	17%	21%	18%	43%	33%	2%	5%	8%	23%
MN	pianura	100-400 fam/kmq	62 915	59 799	81 448	8 528	13.6%	40.7	433 996	194 647	2%	2%	48%	21%	12%	16%	24%	28%	1%	5%	14%	28%
PV	collina	100 fam/kmq	9 956	9 544	7 001	5 361	53.8%	7.2	48 025	279 718	1%	1%	13%	11%	31%	24%	41%	32%	11%	11%	2%	21%
PV	collina	100-400 fam/kmq	1 172	1 086	819	684	58.3%	24.6	20 998	13 406	0%	0%	14%	12%	35%	27%	35%	28%	16%	14%	0%	19%
PV	montagna	100 fam/kmq	1 118	1 051	720	671	60.0%	21.3	17 888	66 388	2%	2%	12%	10%	24%	20%	51%	38%	3%	6%	7%	24%
PV	pianura	100 fam/kmq	81 042	77 920	65 085	12 031	14.8%	22.2	334 437	701 305	1%	1%	15%	14%	21%	18%	59%	42%	4%	6%	0%	19%
PV	pianura	100-400 fam/kmq	116 835	111 306	94 051	19 134	16.4%	28.6	684 414	333 192	1%	1%	11%	11%	16%	16%	67%	46%	4%	7%	1%	20%
PV	pianura	oltre 400 fam/kmq	39 107	33 081	18 592	1 607	4.1%	8.2	16 473	20 780	1%	1%	9%	9%	18%	16%	66%	48%	4%	7%	1%	20%
SO	collina	100 fam/kmq	29 361	28 967	29 075	15 674	53.4%	38.4	752 005	1 180 868	1%	1%	7%	7%	7%	9%	75%	53%	1%	5%	9%	25%
SO	collina	100-400 fam/kmq	16 398	15 891	13 201	4 509	27.5%	25.1	141 597	184 393	1%	1%	8%	8%	5%	7%	76%	54%	1%	5%	9%	26%
SO	collina	oltre 400 fam/kmq	10 271	9 728	8 812	2 018	19.6%	26.9	67 811	49 181	0%	0%	21%	17%	6%	8%	60%	44%	1%	5%	11%	27%
SO	montagna	100 fam/kmq	20 957	20 390	18 505	11 390	54.3%	28.0	398 639	793 137	1%	1%	7%	6%	9%	11%	73%	51%	2%	6%	9%	25%
SO	pianura	100 fam/kmq	472	461	353	194	41.2%	35.3	8 581	16 351	1%	1%	8%	8%	5%	7%	76%	54%	1%	5%	9%	26%
VA	collina	100 fam/kmq	12 183	11 906	19 514	4 300	35.3%	66.7	358 324	235 626	2%	2%	27%	20%	41%	31%	20%	18%	2%	5%	8%	24%
VA	collina	100-400 fam/kmq	134 285	131 558	192 310	32 405	24.1%	31.2	1 261 865	1 001 602	1%	1%	19%	15%	32%	25%	34%	26%	2%	6%	12%	28%
VA	collina	oltre 400 fam/kmq	208 716	201 901	219 671	34 627	16.6%	24.1	1 041 731	546 700	2%	1%	19%	15%	44%	27%	20%	24%	2%	6%	12%	27%
VA	montagna	100 fam/kmq	602	568	897	113	18.8%	33.9	4 791	46 894	2%	2%	29%	21%	44%	32%	18%	16%	2%	5%	6%	23%
VA	pianura	100 fam/kmq	1 419	1 315	2 544	237	16.7%	6.0	1 774	14 558	2%	2%	25%	19%	44%	32%	23%	20%	1%	5%	6%	23%
VA	pianura	100-400 fam/kmq	8 115	7 881	10 197	1 309	16.1%	61.0	99 801	43 270	1%	1%	11%	11%	33%	22%	40%	29%	2%	6%	13%	30%
VA	pianura	oltre 400 fam/kmq	6 936	6 849	8 925	534	7.7%	12.0	8 003	8 255	3%	3%	16%	13%	69%	49%	0%	5%	0%	4%	12%	27%

Valore regionale	4 306 626	4 092 948	3 530 151	599 248	14%	25	18 474 641	19 849 986	2%	2%	23%	17%	30%	23%	34%	28%	3%	6%	7%	24%
------------------	-----------	-----------	-----------	---------	-----	----	------------	------------	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	----	-----

## Analisi sub-comunale delle emissioni di PM10 da combustione di legna nella provincia di Sondrio

Unità volumetriche edifici della Provincia di Sondrio da Data Base topografico (DBT). Per unità volumetrica si intende l'ingombro volumetrico definito dall'insieme delle componenti volumetriche elementari in cui il corpo edificato può essere ripartito per definirne lo sviluppo nello spazio (e nel sottosuolo).

<https://www.dati.lombardia.it/Territorio/Unit-volumetriche-edifici-della-provincia-di-Sondr/9giu-ksif>

Edifici della Provincia di Sondrio da Data Base topografico (DBT). Per edificio si intende un oggetto complesso qualificato da attributi e caratteristiche proprie (ad es. di tipologia architettonica, destinazione d'uso, stato, etc.), da componenti spaziali che ne identificano l'ingombro planimetrico ed il corrispondente contorno 3D di stacco dal suolo e la proiezione al suolo della sua massima estensione nello spazio.

<https://www.dati.lombardia.it/Territorio/Edifici-della-Provincia-di-Sondrio-da-DBT/sggp-huet>

Questi dati sono stati utilizzati come proxy nella elaborazione di mappe di emissione del PM10 da piccoli apparecchi a legna su scala sub-comunale come da mappa in allegato.

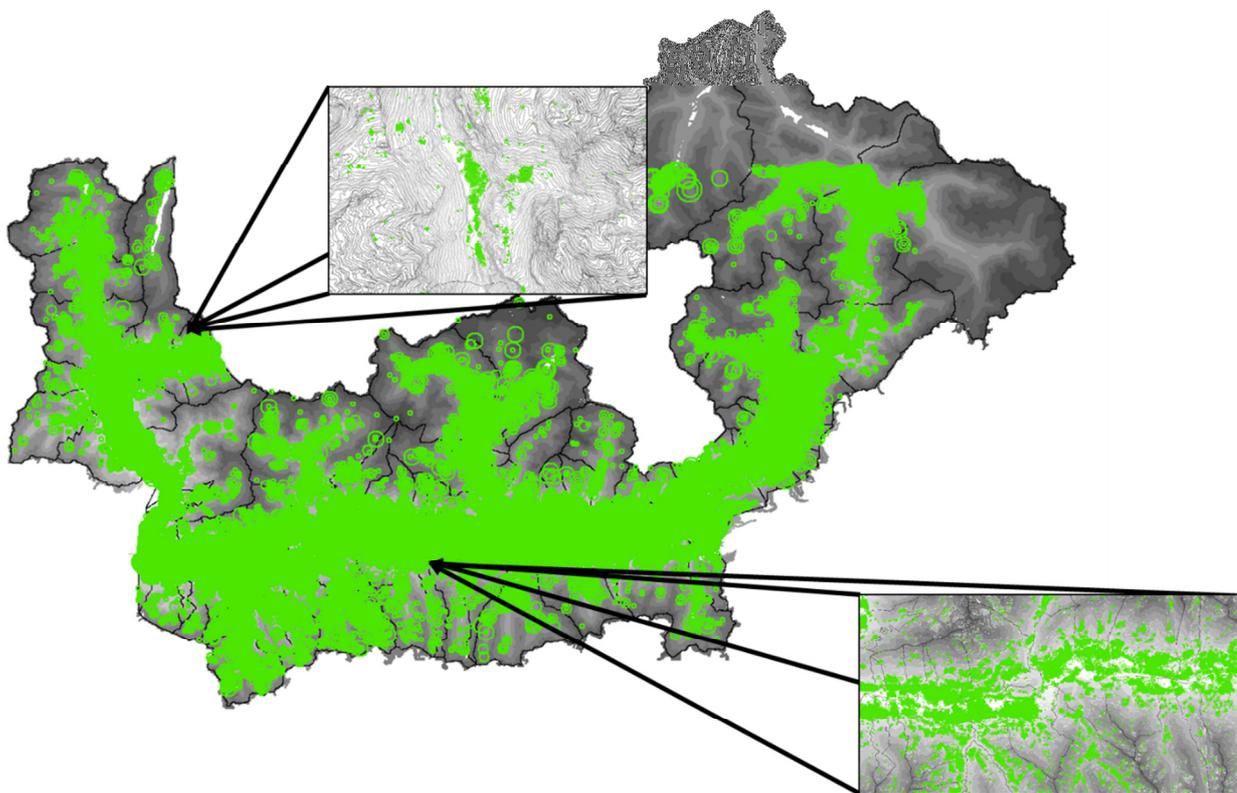


Figura 13. Ripartizione delle emissioni di PM10 da legna nella provincia di Sondrio tramite proxy sub-comunali.