



LIFE 15 IPE IT 013

With the contribution
of the LIFE Programme
of the European Union



ACTION D3. BILANCIO ENERGETICO DEL SETTORE RESIDENZIALE

**REPORT SUI CONSUMI DEI VETTORI ENERGETICI
IMPIEGATI NEL RISCALDAMENTO DELLE
ABITAZIONI DEL BACINO PADANO**

31/07/2020





LIFE 15 IPE IT 013

With the contribution
of the LIFE Programme
of the European Union



Il presente report è stato redatto nell'ambito del progetto PREPAIR (LIFE 15 IPE IT 013) finanziato dal programma dell'Unione Europea LIFE 2014-2020.

Data di chiusura del report: 31/07/2020

Beneficiario responsabile dell'implementazione dell'azione: ARPA Veneto

Autori: Michele De Carli, Marco Marigo, Fabio Zulli (Università di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale); Salvatore Patti, Silvia Pillon, Laura Susanetti (ARPA Veneto)

Capitolo 4: In collaborazione con Valter Francescato e Diego Rossi, AIEL.



ARSO ENVIRONMENT
Slovenian Environment Agency

Indice

Obiettivi dello studio	4
Abstract.....	5
1. Bilancio dei consumi energetici per il riscaldamento nel settore residenziale nelle regioni del Bacino Padano.....	7
1.1 Le fonti degli indicatori	7
1.2 Bilancio dei consumi per vettore energetico.....	8
1.3 Bilancio complessivo senza biomassa e confronto con il Bilancio Energetico Nazionale	11
2. Parco immobiliare residenziale nel bacino padano	14
2.1 Composizione dello stock immobiliare esistente	15
2.2 Gradi giorno di riscaldamento	25
2.3 Valutazione dei consumi per diversi archetipi costruttivi	29
2.4 Implementazione degli interventi di riqualificazione energetica sui consumi degli edifici	34
3. Stima del consumo di biomassa.....	37
3.1 Definizione del consumo specifico per archetipo.....	37
3.2 Stima dei consumi totali	43
4. Applicazione del metodo energetico per il calcolo dei consumi per impianto	48
4.1 Descrizione del metodo	48
4.2 Valori ottenuti dalle simulazioni.....	52
4.3 Consumi totali di biomassa nelle abitazioni	58
Conclusioni	61
Bibliografia	63



Obiettivi dello studio

La presente relazione descrive l'attività realizzata nella seconda fase dell'azione D3 "Stima del consumo residenziale di biomasse legnose nel Bacino Padano" del progetto LIFE + PREPAIR.

L'obiettivo finale del lavoro è la predisposizione del database dei consumi energetici nel settore del riscaldamento residenziale, dettagliato per combustibile e per comune, comprendente l'area geografica del Bacino Padano coinvolta nel progetto PREPAIR. Tale database costituisce, a sua volta, l'input per l'elaborazione delle relative emissioni in atmosfera, prevista dall'azione D2.

Nel corso della prima fase dell'azione D3 è stata realizzata un'indagine campionaria sui consumi di biomassa in ambito residenziale nel Bacino Padano, i cui risultati sono riportati nella relazione pubblicata al link: http://www.lifeprepare.eu/?smd_process_download=1&download_id=8177.

L'indagine campionaria ha permesso di stimare la numerosità e la distribuzione degli apparecchi domestici alimentati a biomassa nell'area del Bacino Padano: circa 480'000 stufe a pellet, 470'000 caminetti aperti e 460'000 caminetti chiusi a legna, nonché 990'000 stufe tradizionali a legna. Per quanto riguarda le caldaie autonome a biomassa, l'indagine ne ha rilevate circa 150'000, di cui un terzo alimentate a pellet. I consumi annui stimati nel Bacino Padano, pari a circa 980 mila tonnellate di pellet e 5.6 milioni di tonnellate di legna da ardere, sono confrontabili con le stime dell'indagine ISTAT sui Consumi energetici delle famiglie realizzata nel 2013, rispetto alle quali si è registrato un incremento del pellet pari a circa il 25% e una flessione del consumo di legna di circa il 20%.

L'attività realizzata in questa seconda fase ha visto la collaborazione del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Padova, che ha maturato un'esperienza pluriennale sull'energetica degli edifici (bilancio energetico di edifici e impianti a loro servizio), sui sistemi multi-energia e sulla pianificazione energetica territoriale.

L'azione si è sviluppata in sottofasi, che hanno riguardato:

- la realizzazione del bilancio provinciale dei consumi energetici nel settore residenziale per i diversi vettori energetici, ad esclusione della biomassa, per l'anno di riferimento 2018;
- la valutazione del consumo energetico degli edifici per le diverse aree climatiche del territorio indagato, tenendo conto del parco degli edifici, della loro epoca di costruzione, delle ristrutturazioni edilizie, delle tipologie di abitazione tipiche e della loro distribuzione per regione; il calcolo è stato effettuato sulla base della ricostruzione dei gradi giorno a livello comunale relativamente all'anno 2018;
- la valutazione del potenziale consumo di biomassa sulla base della differenza tra il consumo energetico delle abitazioni e il bilancio degli altri vettori energetici, e il conseguente confronto con i risultati dell'indagine condotta nella prima fase dell'azione D3 e con le stime effettuate dal GSE;
- il confronto dei consumi di biomassa con le stime effettuate attraverso l'applicazione del metodo proposto dall'Associazione Italiana Energie Agroforestali (AIEL), a cui segue la quantificazione dei consumi per tipologia di impianto a biomassa.

Abstract

This report describes the activity carried out in the second phase of Action D3 "Estimation of residential wood biomass consumption in the Po Valley Basin" of the LIFE + PREPAIR project and aims to develop a database of the energy consumption in the residential heating real estate. This database will be detailed both for fuels and for the municipalities in the geographical area of the Po Valley Basin involved in the PREPAIR project, providing the input for the assessment of emissions into the atmosphere, as foreseen in Action D2.

In the first phase of Action D3, a survey on biomass consumption was carried out to estimate the number and distribution of domestic appliances powered by biomass: about 480'000 pellet stoves, 470'000 open fireplaces and 460'000 closed wood-burning fireplaces, as well as 990'000 traditional wood-burning stoves. As concerns stand-alone biomass boilers, the survey found about 150'000, where about one-third of them were fired by pellets. Therefore, the estimated annual consumption in the Po Valley Basin is about 980,000 tons for pellets and 5.6 million tons for firewood. The latter values are comparable with the estimates of the national statistical institute (ISTAT) for 2013, showing an increasing pellet consumption of about 25% and a decreasing wood consumption of about 20%; the first phase results of Action D3 are published at the link: http://www.lifeprepare.eu/wp-content/uploads/2017/06/D3_Report-on-woody-biomasses-consumption-in-households_01feb2020-1.pdf.

The second phase of the activity was carried out with the collaboration of the Industrial Engineering Department of the University of Padua, which conducted a detailed analysis of domestic consumption for the different energy vectors used by families living in the Po Valley Basin. The activity was divided into three sub-phases:

1. the energy balance of the basin for 2018 has been reconstructed by analysing and collecting fuel consumption data for residential buildings published by the various energy management authorities;
2. energy consumption in the residential area has been estimated through the definition of the existing building stock. Therefore, the construction characteristics of typical dwellings, habits and comfort conditions have been taken into account. In this context, energy consumption has been assessed through the definition of thermal systems for heating, hot water production and food cooking; in the building stock design, both the age of the appliances and buildings, as well as the energy renewal, were considered. The evaluation of the specific energy consumption of residential buildings was achieved by computational approach employing the dynamic simulation software TRNSYS and by reporting the output data to the climatic conditions of 2018;
3. the woody biomass consumption resulting from the survey was verified by comparing the 2018 energy balance and the estimated consumption sheet of the residential buildings. Furthermore, the energy consumption database might be a useful information tool for the distribution at the municipal level of the provincial and regional datasheet achieved in the sub-stage 1, as well as it would be the base for the subsequent actions of the project.

The use of the TRNSYS software, suitably configured on housing models, has allowed further in-depth analysis of biomass consumption for the different types of domestic thermal appliances. The results of the simulation allowed to optimize some of the input parameters of the so-called "energy approach" calculation method proposed by AIEL in the Action C8. The objective was the estimation of the average annual consumption by type of household appliance and the comparison with the interviews of the survey carried out in the first phase of Action D3.

The final results of the activities carried out within Action D3 are related to the estimates of biomass and fossil fuels consumption, such as methane, diesel and LPG, in the framework of the residential buildings of the Po Valley Basin, both at the regional and provincial level. Several information layers for the subsequent distribution of consumption at the municipal level have also been prepared.

As far as biomass is concerned, the estimates presented in the Report on the survey of biomass consumption in the residential sector are confirmed. Therefore, the overall biomass estimates in the Po Valley Basin consumption is about 1 million tons of pellets and 5.5 million tons of firewood. Concerning the most common types of domestic appliances, the average annual consumption for stoves, kitchens and air inserts fuelled by pellets is around 1.3 tons per year, while for the corresponding wood-burning appliances it is around 2.0-2.5 tons per year. As for open fireplaces, the consumption is between 1.0 and 1.3 tons per year, also due to the reduced use if compared to other and more efficient wood-burning appliances. On the other hand, higher consumption is estimated for water-based thermo-products, fuelled by both wood and pellets, where a higher number of hours of operation is considered with greater efficiency; these appliances are still scarcely used in the Po Valley Basin.



1. Bilancio dei consumi energetici per il riscaldamento nel settore residenziale nelle regioni del Bacino Padano

La redazione del bilancio energetico per le regioni del Bacino Padano considerate nello studio (Piemonte, Valle d'Aosta, Lombardia, Trentino-Alto Adige, Veneto, Friuli-Venezia Giulia, Emilia-Romagna) è stata realizzata analizzando e confrontando fra loro dati provenienti da vari enti.

L'obiettivo proposto è quello di valutare a livello regionale e provinciale i consumi energetici legati al riscaldamento, alla produzione di acqua calda sanitaria e alla cottura dei cibi per gli edifici residenziali, escludendo la quota parte di energia che deriva dalla combustione di biomassa.

Il risultato di tale bilancio, viene successivamente confrontato con la quantificazione dei consumi energetici degli edifici residenziali, basata sui risultati di simulazioni effettuate con il programma TRNSYS di cui al Capitolo 2.

Di seguito, per ogni vettore energetico, sono esaminate le assunzioni adottate per la redazione del bilancio, i poteri calorifici dei combustibili e il confronto fra i dati messi a disposizione dai diversi enti.

Il potere calorifico dei combustibili utilizzato nelle conversioni per la redazione del bilancio è riportato nella tabella sottostante:

Combustibile	PCI	Unità di misura	Fonte
Gasolio	43	GJ/ton	ENEA
GPL	46	GJ/ton	ENEA
Metano	38,1	MJ/Sm ³	ARERA

Tabella 1.1: Potere calorifico dei combustibili utilizzato nella redazione del bilancio energetico

I fattori di conversione utilizzati nei calcoli sono i seguenti:

- 1 ktep = 41,87 TJ
- 1 MWh = 0,0036 TJ

1.1 Le fonti degli indicatori

Nella tabella seguente viene indicata la fonte da cui derivano i dati statistici per ciascun vettore energetico. Nel paragrafo seguente, sono invece indicati più in dettaglio sia la metodologia di calcolo del bilancio, sia il confronto con gli altri enti che hanno pubblicato dati sui consumi, ponendo particolare attenzione ai valori riportati nel Bilancio Energetico Nazionale redatto da Eurostat per l'anno 2018.

Combustibile	Ente	Anno	PCI
METANO	ARERA	2018	38,1 MJ/Sm ³
GASOLIO	Bollettino petrolifero del MISE	2018	43 GJ/t
GPL	Bollettino petrolifero del MISE	2018	46 GJ/t
TELERISCALDAMENTO	AIRU	2018	-
POMPE DI CALORE	GSE	2018	-
SOLARE TERMICO	GSE	2018	-

Tabella 1.2: Fonti dati relative agli indicatori dei vettori energetici del bilancio energetico.

1.2 Bilancio dei consumi per vettore energetico

Metano

Per quanto riguarda i consumi di metano, si fa riferimento ai dati forniti dall'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA), relativi ai volumi di gas prelevati dagli utenti attraverso la rete di distribuzione. Il dato è fornito suddiviso sia per regioni (dettagliato per tipologia di cliente), sia a livello comunale (volume totale distribuito comunale). La somma dei dati comunali ARERA differisce dal dato provinciale messo a disposizione dal Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) al sito https://dgsaie.mise.gov.it/gas_naturale_consumi_provinciali.php, per valori che vanno dall'1% al 4%. Per tale motivo il dato comunale di ARERA è stato corretto sulla base del dato provinciale MISE.

Sulla base delle quote corrispondenti alle tipologie di cliente "Domestico" e "Condominio ad uso domestico" indicate da ARERA su base regionale, sono stati calcolati i prelievi del settore residenziale a livello comunale. Per ogni comune quindi, è stato moltiplicato il volume di gas totale prelevato dall'utenza per la percentuale associata al settore residenziale della relativa regione di appartenenza.

Il dato di ARERA relativo al 2018, pubblicato nel Relazione annuale sullo stato dei servizi di marzo 2019, è del tutto confrontabile a scala nazionale con il dato EUROSTAT relativo al consumo residenziale (Eurostat = 690'813 TJ; ARERA = 685'038 TJ¹).

Gasolio

Per quanto riguarda il gasolio, si prende in considerazione il valore in tonnellate su base provinciale del "Gasolio per riscaldamento" riportato nel bollettino petrolifero del Ministero dello Sviluppo Economico (MISE).

Il valore a livello nazionale per i consumi nel settore residenziale corrisponde sostanzialmente con quanto riportato da Eurostat.

GPL

Si prende anche in questo caso in considerazione il bollettino petrolifero del MISE che riporta il valore del GPL in tonnellate considerando la somma tra le voci "bombole" e "serbatoi". I dati sono suddivisi su base provinciale.

Per quanto riguarda il totale nazionale per uso residenziale, Eurostat riporta dati molto simili a quelli presenti nel bollettino petrolifero del MISE.

Teleriscaldamento

I dati relativi al teleriscaldamento derivano dall'annuario 2019 dell'Associazione Italiana per il Riscaldamento Urbano (AIRU), nel quale sono riportate le statistiche relative all'anno 2018 [1]. Per ogni stazione, viene preso in considerazione il valore di energia termica erogato per il settore residenziale sotto forma di acqua calda, acqua surriscaldata oppure vapore. È possibile, grazie al dato dettagliato, scindere l'energia termica da quella elettrica e frigorifera, così come è possibile prendere in considerazione l'energia finalizzata ad usi domestici tralasciando quella per altri usi. Si assume in questo caso che tutta l'energia distribuita da una stazione venga utilizzata all'interno del comune o provincia in cui è presente la stazione stessa. Il dato dettagliato non è disponibile però per tutti gli impianti presenti nell'annuario. Essendo tuttavia presente il dato totale di "energia termica all'utenza" su base nazionale, questo è stato suddiviso a livello regionale sulla base della volumetria riscaldata. La differenza fra il risultato così ottenuto per le regioni del Bacino Padano e la somma dei dati dettagliati di energia distribuita, è stato ripartito sulle stazioni con dato mancante, utilizzando come criterio per la suddivisione la volumetria riscaldata.

I dati sono stati confrontati con il bilancio Eurostat e risultano in questo caso molto diversi. Su base nazionale, infatti, Eurostat riporta sotto la voce "Derived Heat" per il settore domestico un valore di 1'241,9 ktep (14'444 GWh), molto diverso da quello riportato da AIRU, pari a 6'081 GWh, valore

¹ Tale valore è ricavato dalla tabella 3.17 della Relazione annuale sullo stato dei servizi ARERA 2019, in cui vengono indicati i volumi di domestico e condominio uso domestico rispettivamente pari a 15'461 e 2'516 Milioni di m³ (https://arera.it/allegati/relaz_ann/19/RA19_volume1.pdf)

calcolato applicando la percentuale di energia termica finalizzata al settore residenziale, al totale di energia termica distribuito su base nazionale. Non è stato possibile ottenere stime più precise per questo vettore energetico. Nel bilancio complessivo del settore residenziale la quota del teleriscaldamento non risulta tuttavia essere particolarmente significativa.

Pompe di calore

I dati sono stati reperiti dal “Rapporto Statistico 2018 sulle FER”, pubblicato dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE) nel dicembre 2019 [2]. Essendo il dato analogo a quello riportato da Eurostat, si considera solo una minima parte del totale, pari a circa 100 ktep, riguardante il settore residenziale, così come nel bilancio Eurostat. Il valore è fornito su base regionale, in seguito è stata fatta una ripartizione a livello provinciale sulla base del numero di residenti per provincia.

Solare termico

Anche questo dato è stato reperito dal “Rapporto Statistico 2018 sulle FER” [2]. Il valore è riportato su base regionale, ed è stato moltiplicato per 0,74, corrispondente alla quota di residenziale sul totale, ed è stata fatta una ripartizione a livello provinciale sulla base del numero di residenti per provincia.

1.3 Bilancio complessivo senza biomassa e confronto con il Bilancio Energetico Nazionale

Dalla somma delle voci dei consumi reperiti dalle diverse fonti dei dati descritte al paragrafo precedente, risulta un **consumo totale di Bacino Padano** nel settore residenziale pari a **502'714 TJ**, calcolato ad esclusione della biomassa; nel grafico sottostante viene riportata anche la quota di teleriscaldamento a biomassa (per un totale di 504'089 TJ). La ripartizione dei consumi si può vedere in Figura 1.1.

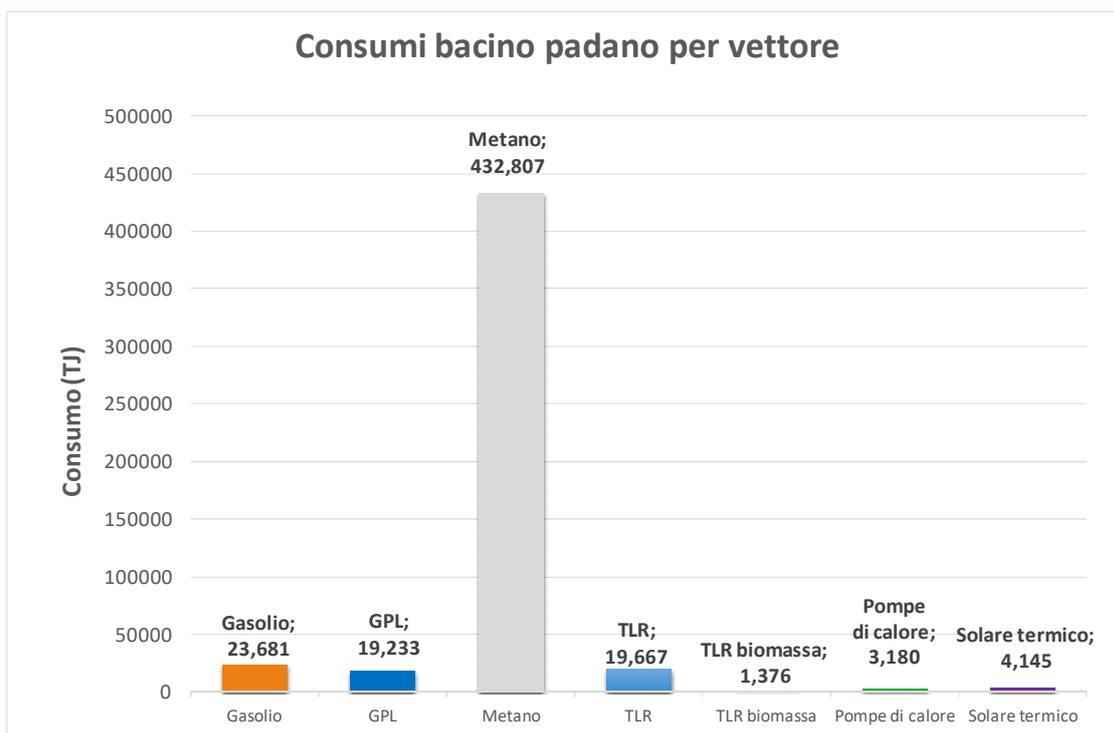


Figura 1.1: Consumi per vettore energetico-nel territorio del Bacino Padano, anno 2018

La ripartizione dei consumi a livello regionale è la seguente (Figura 1.2):

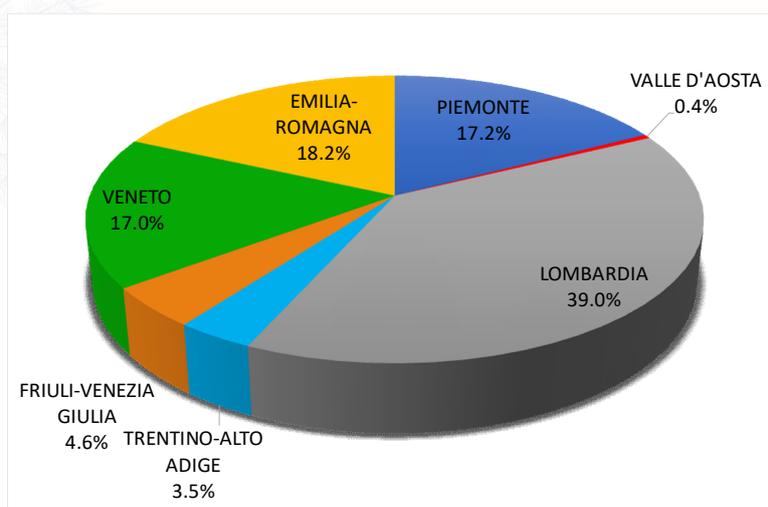


Figura 1.2: Ripartizione regionale del consumo totale di Bacino Padano, esclusa la biomassa, anno 2018

Rispetto al totale dei consumi del residenziale su base nazionale, la quota parte dei consumi del bacino padano è la seguente:

Percentuale consumi bacino padano

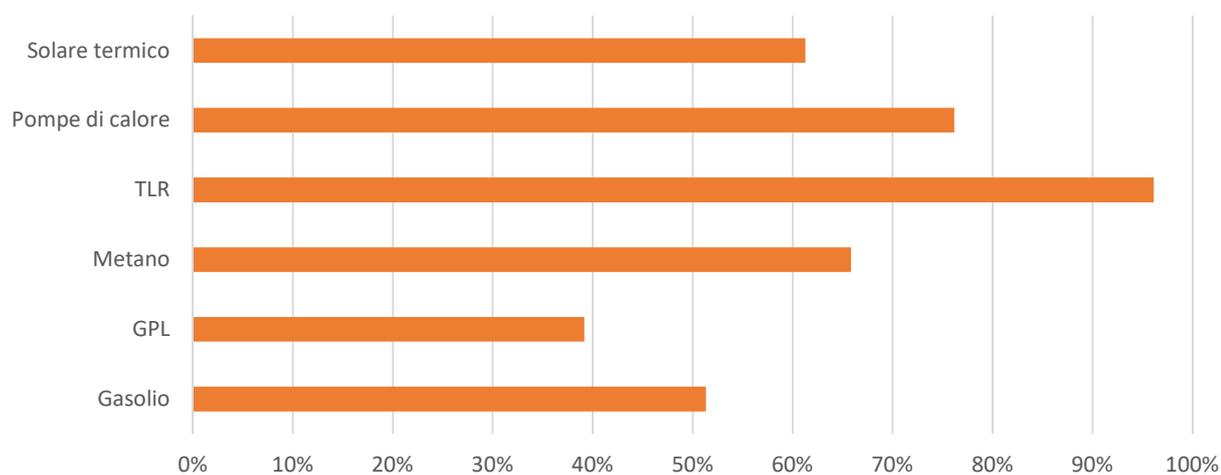


Figura 1.3: Quota % di consumo del Bacino Padano rispetto al totale nazionale per vettore energetico, anno 2018

Viene in seguito riportato il confronto fra i dati nazionali riportati da Eurostat per il settore residenziale e i dati nazionali calcolati dal presente studio:

Consumi nazionali per il settore residenziale

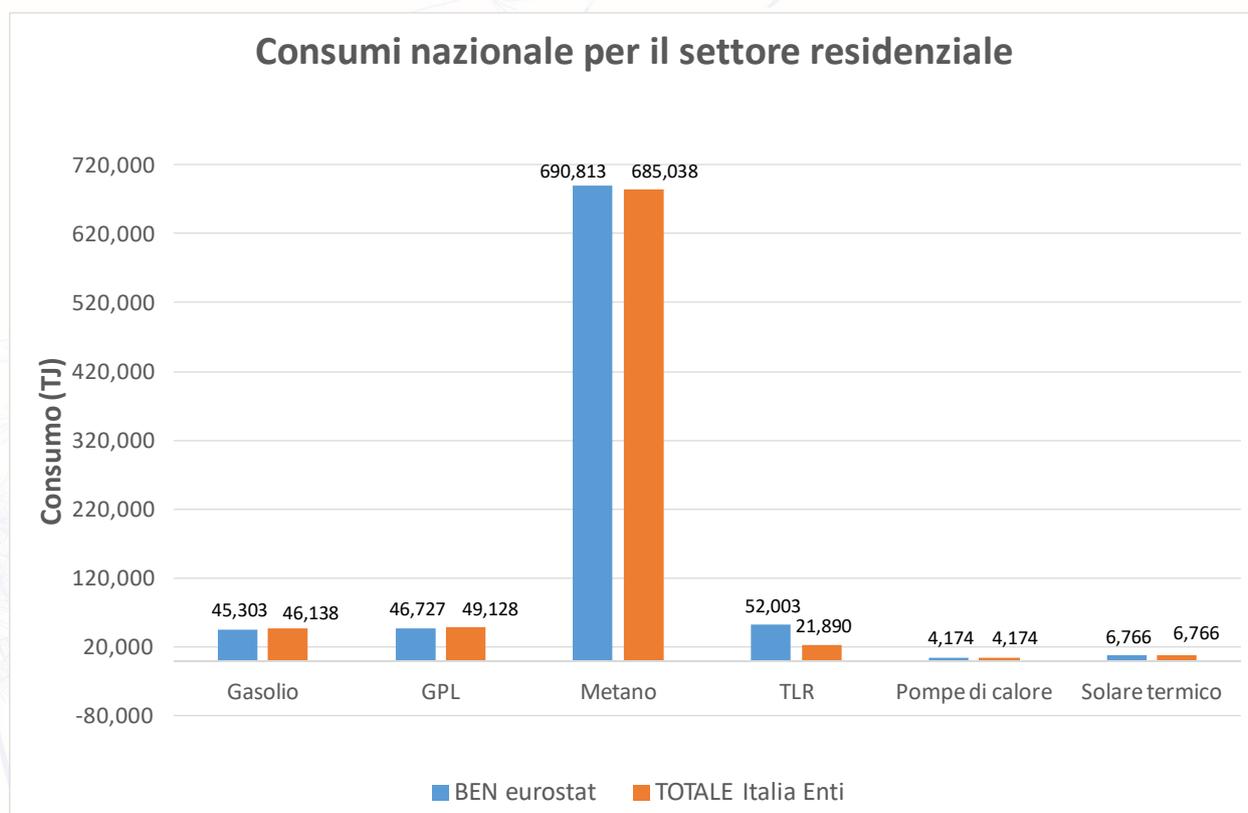


Figura 1.4: Confronto consumi nazionali ricostruiti a partire da dati messi a disposizione dai diversi Enti ed EUROSTAT, anno 2018



Assumendo per il bacino padano il consumo di biomassa 2018 riportato dal GSE e pari a 109'620 TJ, il confronto tra i consumi nazionali ricostruiti dai dati messi a disposizione dai diversi Enti ed Eurostat è quello rappresentato in seguito:

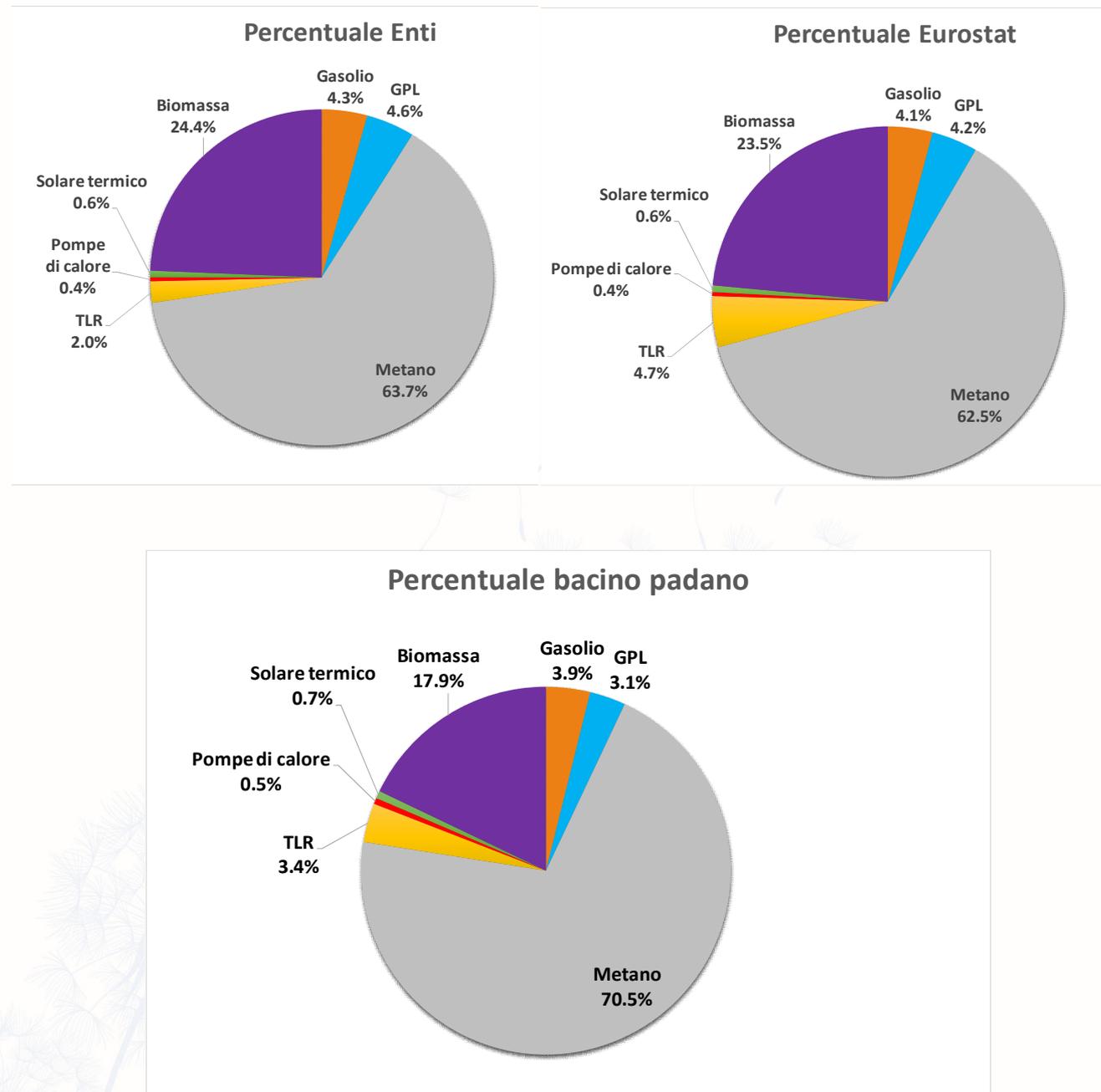


Figura 1.5: Quote % di consumo per vettore energetico a livello nazionale (confronto tra i dati messi a disposizione dai diversi Enti e EUROSTAT) e di Bacino Padano, anno 2018

2. Parco immobiliare residenziale nel bacino padano

Viene di seguito presentata la metodologia di stima del consumo energetico nel settore residenziale a livello di Bacino Padano, calcolata a partire dalle caratteristiche costruttive delle abitazioni tipo, in funzione dell'epoca di costruzione degli edifici, e dalle condizioni climatiche dell'anno di riferimento considerato, il 2018.

Il consumo per le tipologie abitative più frequentemente presenti nel parco edilizio è stato calcolato effettuando una serie di simulazioni con il software TRNSYS (<http://www.trnsys.com/>), che permette lo studio di sistemi dinamici²; di seguito (paragrafo 2.3) si descrive la configurazione utilizzata per le simulazioni, mentre i risultati saranno presentati nel capitolo successivo.

I passaggi necessari al calcolo dei consumi energetici degli edifici per l'anno 2018 sono stati:

- ricostruzione del database comunale degli edifici per epoca di costruzione (parco edilizio)
- calcolo dei gradi giorni per caratterizzare il fabbisogno di riscaldamento dell'anno 2018
- applicazione del software TRNSYS per stimare i consumi energetici necessari per il riscaldamento delle abitazioni tipo

Il parco edilizio è stato ricostruito a partire da due diverse basi dati: l'indagine campionaria condotta nella prima fase dell'azione D3 ed il 15° censimento della popolazione condotto da ISTAT nel 2011 [3]. Questo ha permesso di definire due metodi distinti per la valutazione dei consumi, che hanno portato a risultati diversi in funzione della caratterizzazione del parco edilizio utilizzata.

I due parchi edilizi così ricostruiti sono stati successivamente aggiornati a partire dall'analisi dei dati relativi alla riqualificazione energetica pubblicati da ENEA [4]–[13] e dal CRESME [14], che sono stati elaborati congiuntamente ai dati pubblicati dal 14° censimento della popolazione di ISTAT del 2001 [15], per definire una panoramica dell'evoluzione delle abitazioni nel corso soprattutto degli ultimi anni in cui, grazie alla presenza di incentivi, la riqualificazione energetica ha giocato un ruolo molto importante nell'ammodernamento degli edifici.

Una volta definito a livello comunale il parco degli edifici per epoca di costruzione, è stato necessario ripartire tali edifici nelle più frequenti tipologie di abitazione, individuate come abitazioni tipo o archetipi. Per far questo ci si è basati sui risultati dell'indagine campionaria svolta nella prima fase, che ha permesso di distinguere 4 tipologie abitative: la casa singola, la casa a schiera, l'appartamento in edificio fino a 2 piani fuori terra e l'appartamento in edificio con più di due piani.

Per ognuno dei quattro archetipi costruttivi è stato necessario individuare la configurazione ottimale per le simulazioni con TRNSYS. In particolare, sono state definite alcune caratteristiche intrinseche dell'abitazione, quali ad esempio la geometria dell'abitazione, la composizione delle pareti, la presenza e l'ubicazione delle superfici vetrate; inoltre è stato necessario definire le condizioni al

² TRNSYS è un programma sviluppato per la simulazione di sistemi dinamici, particolarmente adatto alla valutazione delle prestazioni energetiche di edifici e del comportamento di sistemi termici ed elettrici.

contorno per la simulazione, quali la temperatura del terreno, le condizioni climatiche esterne e gli apporti interni di calore derivati dagli occupanti e dagli elettrodomestici presenti nell'abitazione stessa.

Successivamente, per rendere il modello più dettagliato e attendibile, le simulazioni ottenute sono state ulteriormente elaborate con l'utilizzo di del software CONTAM³, che permette di tenere in considerazione aspetti riguardanti le infiltrazioni d'aria nell'edificio dall'ambiente esterno e il movimento delle masse d'aria all'interno dell'abitazione.

Infine, per valutare i consumi delle abitazioni tipo è stato implementato un sistema composto da una caldaia a gas e da un impianto di radiatori, che è il sistema impiantistico maggiormente diffuso.

2.1 Composizione dello stock immobiliare esistente

Il territorio del bacino padano è fortemente diversificato e comprende sia aree rurali, sia grandi agglomerati urbani o aree montuose; dunque, il parco immobiliare residenziale esistente risulta essere piuttosto eterogeneo anche all'interno delle stesse regioni.

Dal punto di vista delle prestazioni energetiche degli edifici, il miglioramento delle tecniche costruttive e l'introduzione di normative sempre più stringenti nel corso degli anni han permesso la diminuzione progressiva del fabbisogno energetico legato al riscaldamento degli edifici. Risulta dunque opportuno classificare gli edifici in base all'epoca di costruzione. Come anticipato nell'introduzione, tale classificazione è stata effettuata sia utilizzando i risultati dell'indagine campionaria svolta nella prima fase dell'azione D3, sia a partire dal censimento ISTAT 2011.

In Figura 2.1 si presenta la classificazione ottenuta dalle risposte del sondaggio, mentre la distribuzione per epoca di costruzione secondo il censimento ISTAT è riportata in Figura 2.2.

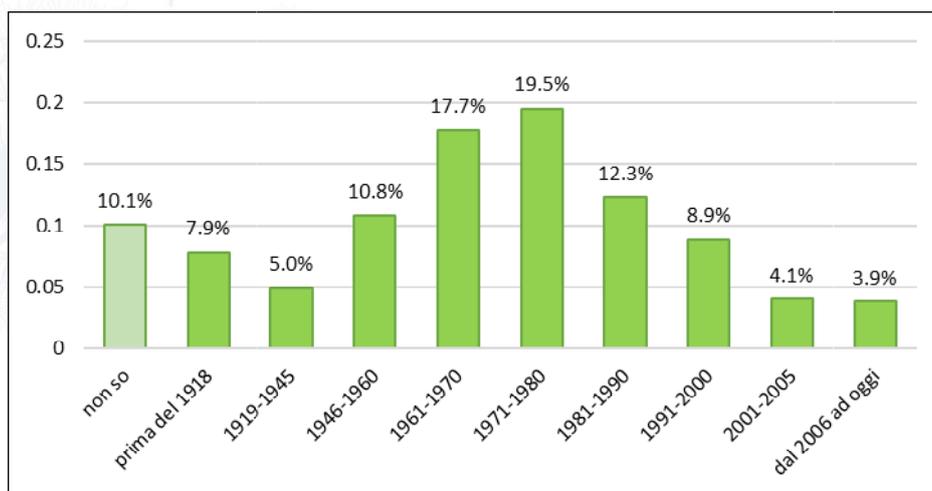


Figura 2.1: Distribuzione percentuale di famiglie che hanno dichiarato di risiedere in abitazioni costruite in una certa epoca di costruzione (da indagine PREPAIR 2019)

³CONTAM, <https://www.nist.gov/services-resources/software/contam>, è un software sviluppato per analizzare gli spostamenti di masse d'aria all'interno dell'edificio, dovuti a ventilazione meccanica o naturale, il calcolo delle infiltrazioni d'aria da e verso l'esterno e la presenza di contaminanti all'interno dell'edificio con la conseguente esposizione degli occupanti.

Si noti che la classificazione per epoche dell'indagine differisce dal censimento ISTAT del 2011, in particolare per il numero totale di abitazioni antecedenti al 1960, dove ISTAT registra un'incidenza del 35%, mentre dall'indagine è pari a circa il 28% per abitazioni della stessa epoca.

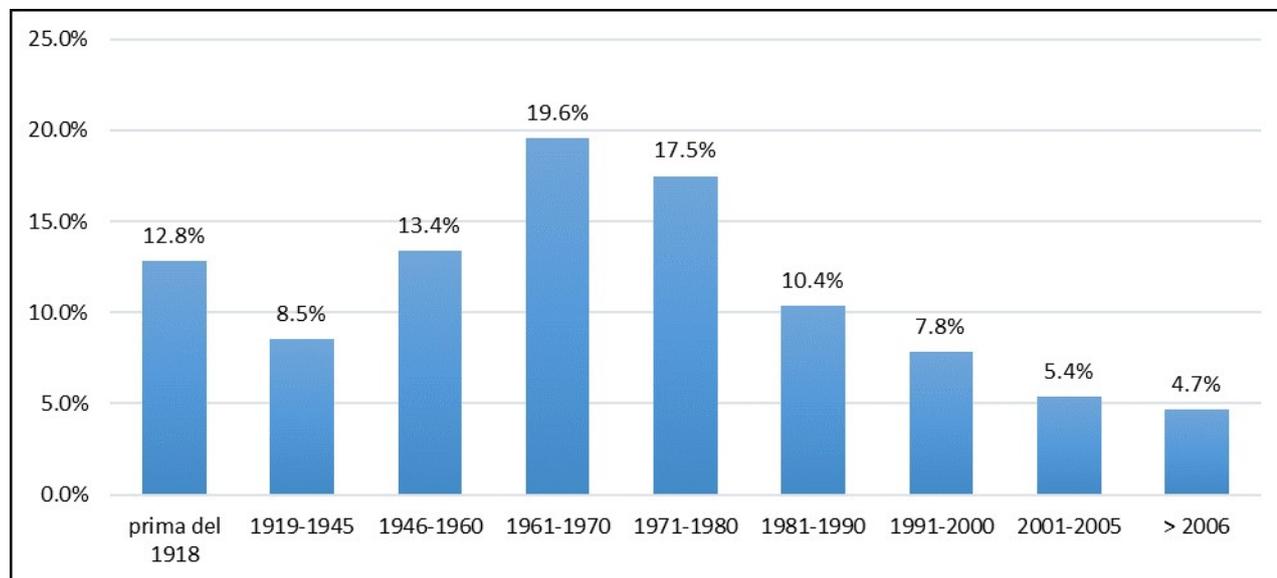


Figura 2.2: Distribuzione percentuale delle abitazioni in edifici residenziali appartenenti ad una certa epoca di costruzione (da Censimento della Popolazione ISTAT 2011)

Tale differenza può essere attribuita ai due differenti universi di riferimento: ISTAT infatti classifica le abitazioni in edifici residenziali, per un totale di circa 13.4 milioni nel bacino padano (comprese le abitazioni occupate da non residenti), mentre l'unità di analisi (o di rilevazione) dell'indagine campionaria è stata la famiglia in abitazione (incluse le famiglie unipersonali), con oltre 11 milioni di famiglie nel Bacino Padano.

Al fine di determinare i consumi energetici tipo per i due database, si è deciso di raggruppare le epoche di costruzione delle abitazioni in corrispondenza dell'entrata in vigore delle norme relative alle caratteristiche minime prestazionali dell'involucro (Legge 373/1976, Legge 10/1991, D. lgs. 192/05), come riportato in Tabella 2.1 [16]–[18]. Un'ulteriore suddivisione è stata creata per gli edifici costruiti prima del 1960 in quanto le prestazioni sono generalmente simili e caratterizzate da un largo uso di murature in pietra o mattoni pieni [19].

Epoca di costruzione
Prima del 1960
1961-1975
1976-1990
1991-2005
Dopo il 2006

Tabella 2.1: Classificazione delle epoche di costruzione

La distribuzione percentuale del parco immobiliare così ottenuta viene riportata in Figura 2.3.

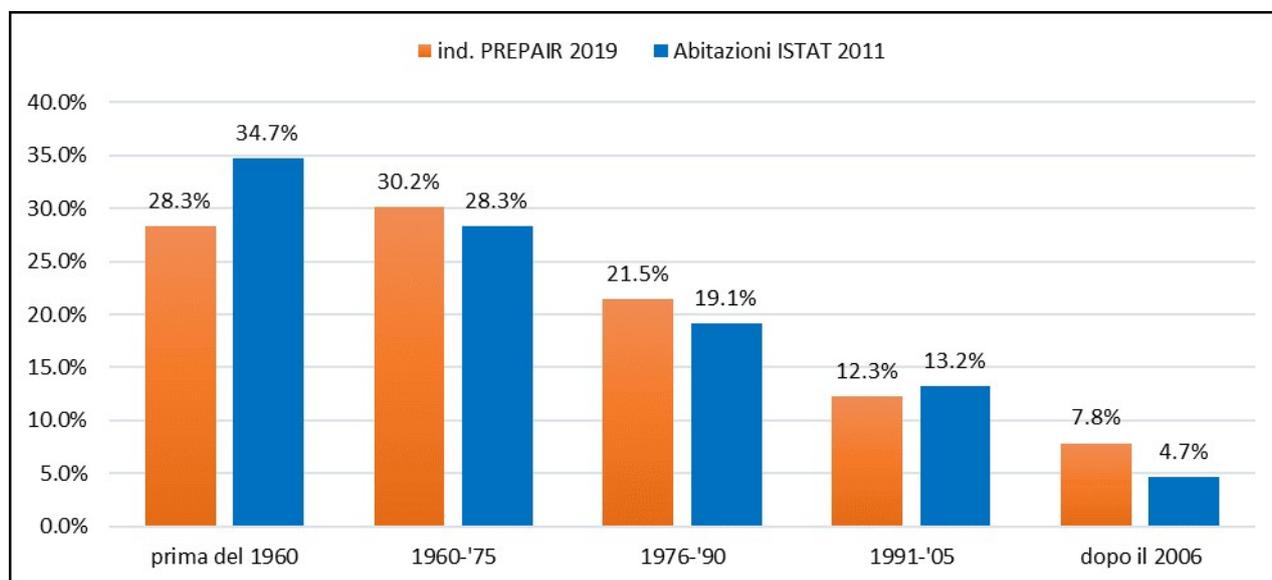


Figura 2.3: Confronto tra la distribuzione percentuale delle abitazioni, da indagine PREPAIR 2019, e delle abitazioni in edifici residenziali, da Censimento della Popolazione ISTAT 2011, appartenenti ad una certa epoca di costruzione

Per fornire un modello dettagliato del parco immobiliare, la distribuzione delle tipologie di abitazione nel Bacino Padano è stata ricavata dalle risposte degli intervistati all'indagine campionaria. Gli archetipi sono riportati in Tabella 2.2 come segue:

Archetipi
Casa singola o plurifamiliare
Casa a schiera
Appartamento in edificio da 1-2 piani fuori terra
Appartamento in edificio da 3 o più piani fuori terra

Tabella 2.2: Classificazione delle abitazioni tipo o archetipi (da indagine PREPAIR 2019)

L'associazione tra tali tipologie abitative e l'epoca di costruzione è mostrata in Figura 2.4. Le case singole o plurifamiliari e gli appartamenti in edifici da 3 o più piani risultano essere le tipologie costruttive maggiormente presenti sul territorio, rappresentando rispettivamente il 38.4% delle abitazioni per entrambe le categorie. Meno diffuse risultano essere le case a schiera (8.5%) e le abitazioni in edifici da 1 o 2 piani (14.7%). È interessante notare l'evoluzione del parco immobiliare del bacino che vede una prevalenza di case singole costruite prima degli anni '60 ed una maggior tendenza alla costruzione di palazzine residenziali negli anni successivi. In Figura 2.5 viene mostrata la composizione del parco con dettaglio regionale.

Per la rappresentazione dello stock edilizio con dettaglio comunale, sono stati utilizzati due modelli distinti, basati su database provenienti sia dall'indagine campionaria, sia dal Censimento della Popolazione ISTAT del 2011 e da indagini successive. La metodologia utilizzata per la costruzione dei due modelli (indicati con **M1** e **M2**) viene riportata in §2.1.1 e §2.1.2.

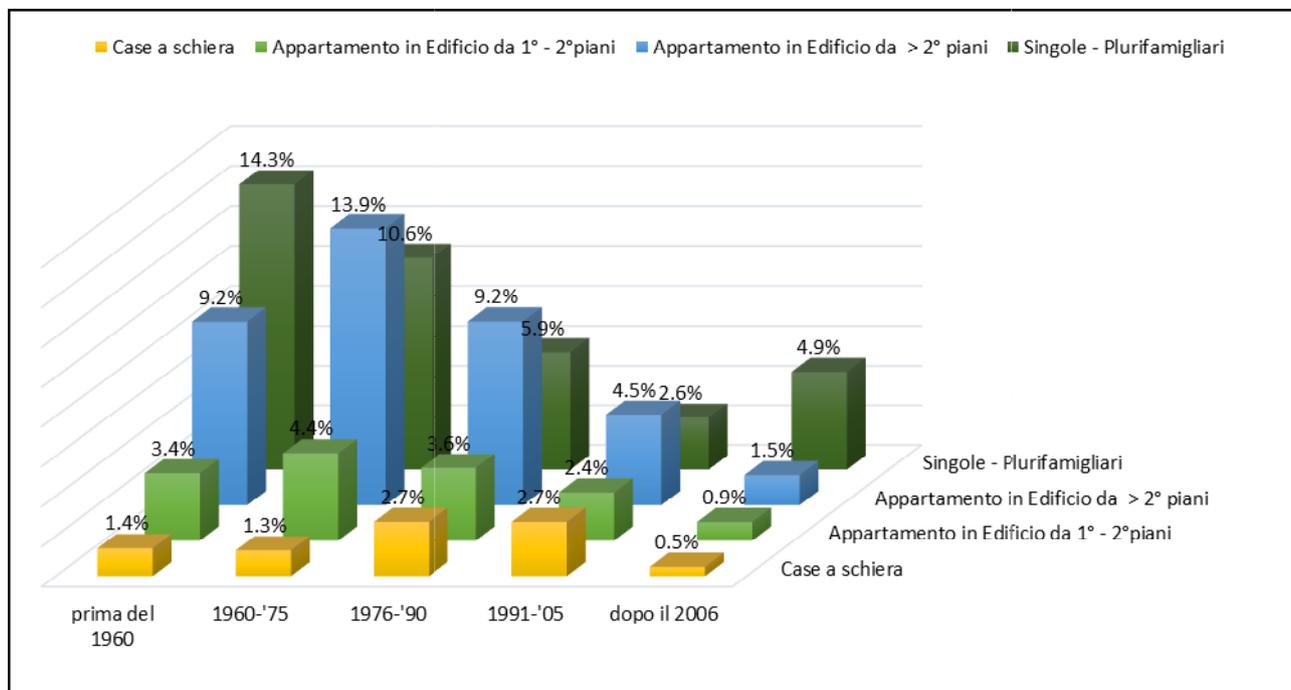


Figura 2.4: Distribuzione percentuale dei vari archetipi associati all'epoca di costruzione (da indagine PREPAIR 2019)

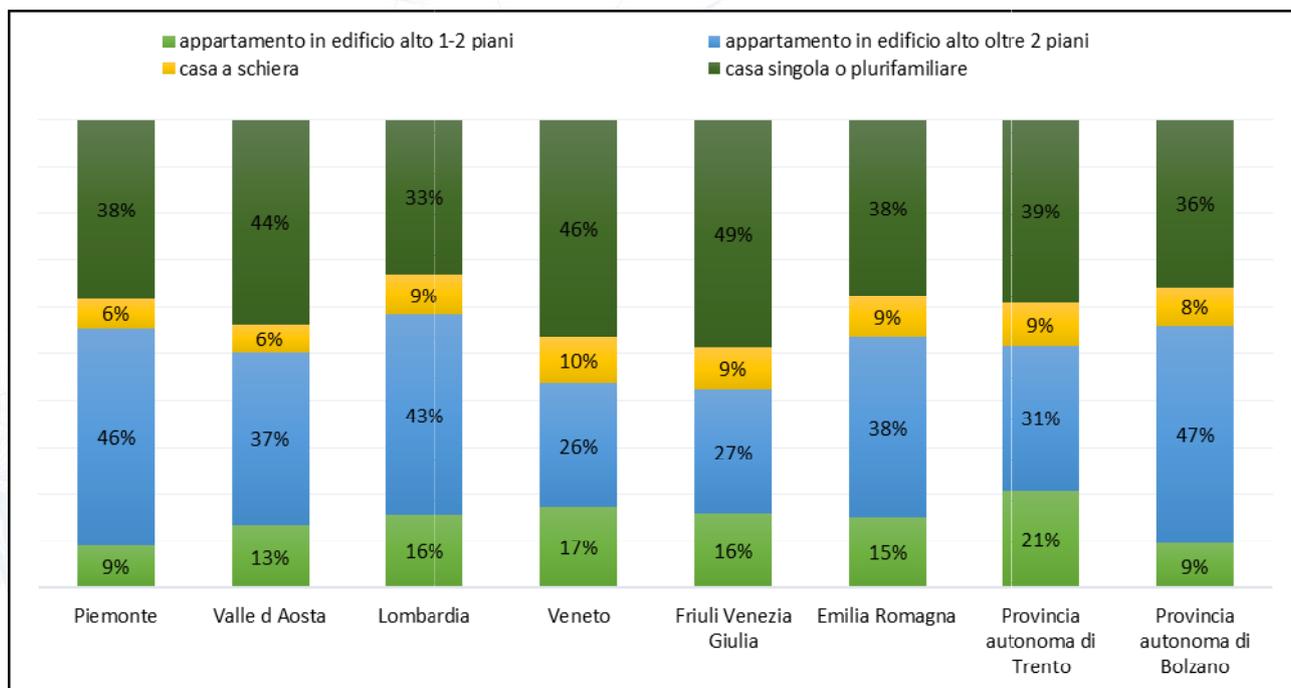


Figura 2.5: Distribuzione percentuale regionale degli archetipi (da indagine PREPAIR 2019)



2.1.1 Modellazione del parco immobiliare basato sull'indagine campionaria (M1)

La metodologia presentata in questa sezione per rappresentare lo stock residenziale del bacino padano è basata sulle informazioni estratte dall'indagine campionaria, con l'integrazione del dato ISTAT per stimare la superficie utile riscaldata delle abitazioni presenti. Tale modello mira a ricostruire, a livello comunale, la distribuzione degli archetipi edilizi descritti in Tabella 2.2, tenendo in considerazione l'età delle abitazioni presenti e la tipologia di comune considerato.

I comuni sono stati classificati utilizzando la stessa stratificazione adottata per la definizione del campione statistico dell'indagine svolta nella prima fase, come riportato in Tabella 2.3:

Rif.	Tipologie comunali con zona altimetrica ISTAT
1	comune centrale dell'area metropolitana (Torino, Milano, Venezia, Bologna)
2	comune con più di 50.000 abitanti
3	comuni di zona altimetrica ISTAT n°5 (pianura) con meno di 10.000 abitanti
4	comuni di zona altimetrica ISTAT n°5 (pianura) da 10.000 a 50.000 abitanti
5	comuni di zona altimetrica ISTAT n°1 (montagna) con meno di 10.000 abitanti
6	comuni di zona altimetrica ISTAT n°1 (montagna) da 10.000 a 50.000 abitanti
7	comuni di zona altimetrica ISTAT n°3 e 4 (collina sia litoranea che interna) con meno di 10.000 abitanti
8	comuni di zona altimetrica ISTAT n°3 e 4 (collina sia litoranea che interna) da 10.000 a 50.000 abitanti

Tabella 2.3: Tipologie comunali basate su classificazione altimetrica ISTAT

Ogni *i-esimo* comune del bacino padano (**COM**) risulta caratterizzato da una certa distribuzione percentuale delle abitazioni tipo o archetipi, in base a:

- Epoca di costruzione (**EP**) *k-esima* associata al *j-esimo* archetipo (**A**) (Tabella 2.3 e Tabella 2.4)
- Tipologie comunale con zona altimetrica ISTAT (**TC**) *n-esima* (Tabella 2.2)
- Regione di appartenenza (**REG**) (Tabella 2.F) *m-esima*

Dunque, ad ogni comune corrisponderà una certa composizione del parco immobiliare diversificata a vari livelli:

$$COM_i \rightarrow REG_m^{(1)} \rightarrow TC_n^{(2)} \rightarrow A_j^{(3)} \rightarrow EP_k^{(4)}$$

REG. (1)	COM (2)	TC	Appartamento in edificio da 1-2 piani fuori terra (3)					Appartamento in edificio da 3 o più piani fuori terra					Case a schiera				Casa singola o plurifamiliare					
			Prima del 1960	1961-1975	1976-1990	1991-2005	Dopo il 2006	Prima del 1960	1961-1975	1976-1990	1991-2005	Dopo il 2006	Prima del 1960	1961-1975	1976-1990	1991-2005	Dopo il 2006	Prima del 1960	1961-1975	1976-1990	1991-2005	Dopo il 2006
Piemonte	Agliè	7	1.91%	1.59%	3.82%	0.64%	0.32%	2.55%	5.73%	7.01%	3.50%	0.32%	4.14%	0.80%	2.07%	0.96%	0.00%	28.03%	12.58%	17.36%	5.73%	0.96%
Piemonte	Airasca	3	2.97%	1.73%	1.73%	1.98%	0.50%	6.44%	3.96%	6.44%	1.49%	0.50%	3.96%	0.74%	0.74%	4.46%	0.00%	22.28%	12.62%	19.06%	8.42%	0.00%
Piemonte	Ala di Stura	5	4.19%	0.79%	1.83%	1.57%	1.05%	5.24%	4.97%	10.21%	0.52%	0.00%	2.09%	0.79%	2.36%	0.52%	1.05%	23.04%	10.99%	19.37%	7.85%	1.57%

Figura 2.6: Metodologia di calcolo utilizzata per la modellazione del parco immobiliare (metodo M1), basata sulla distribuzione percentuale a livello comunale degli archetipi, suddivisi per epoca di costruzione e tipologia di comune (sulla base dell'indagine PREPAIR 2019)

Questa strategia offre la possibilità di caratterizzare in dettaglio lo stock esistente a livello comunale, supponendo che solo i comuni appartenenti alla stessa classe, zona altimetrica e alla stessa regione, abbiano caratteristiche immobiliari simili. In questo contesto, si riporta graficamente l'esempio per due comuni della Lombardia e del Friuli-Venezia Giulia, rispettivamente appartenenti alle tipologie comunali 2 (comune con più di 50'000 abitanti) e 5 (comuni di zona altimetrica ISTAT n°1 montagna con meno di 10'000 abitanti):

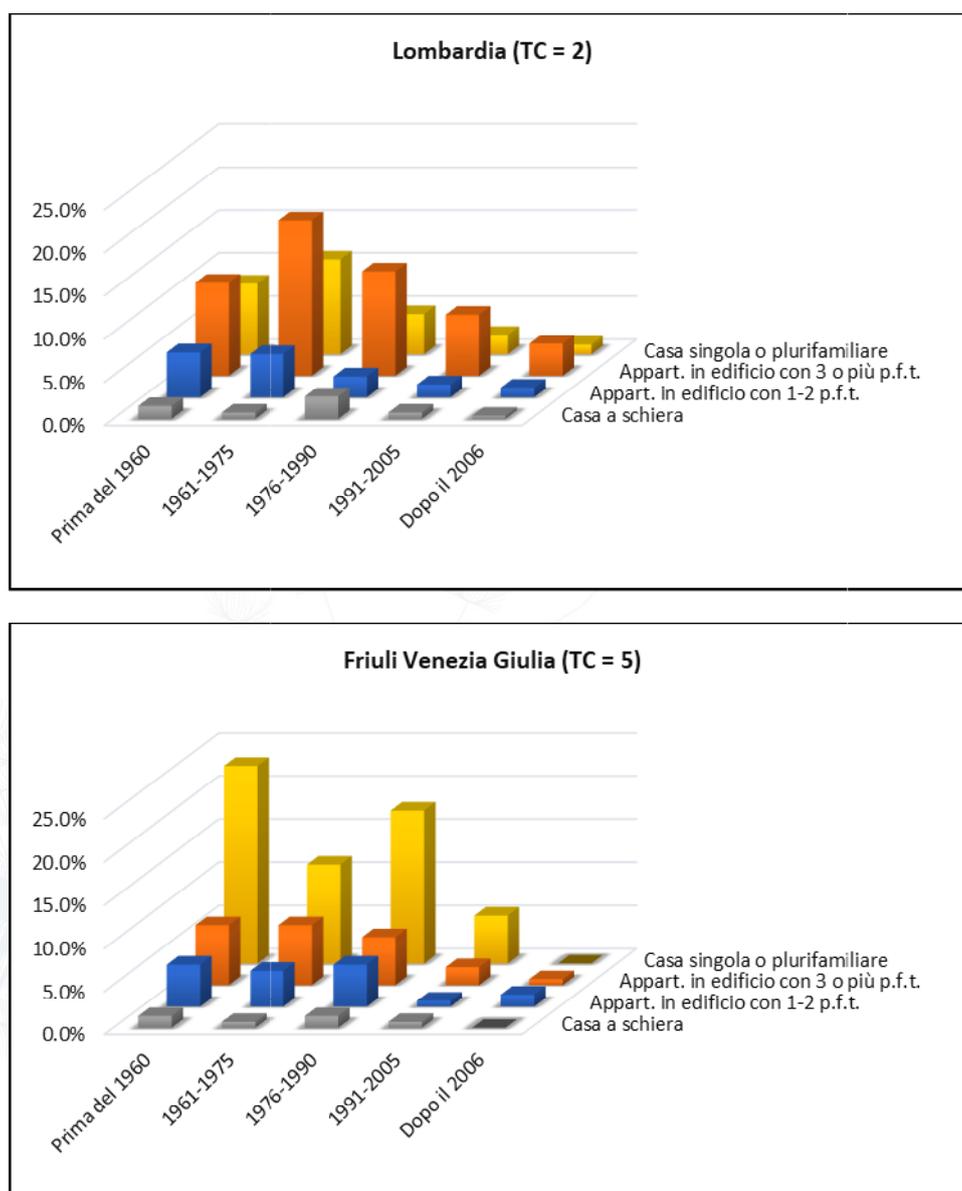


Figura 2.7: Distribuzione percentuale degli archetipi associati ad una certa epoca di costruzione, in relazione alla tipologia comunale e alla regione di appartenenza del comune. In alto, viene riportato l'esempio di un comune con più di 50'000 abitanti (TC=2) situato in Lombardia; in basso, viene riportato l'esempio di un comune di zona altimetrica ISTAT n°1 (montagna) con meno di 10'000 abitanti (TC=5) situato in Friuli-Venezia Giulia

2.1.1.1 Seconde case

In modo analogo si è proceduto a determinare l'incidenza delle seconde case, che risulta essere pari a circa il 6.2% del campione totale. Per l'elaborazione del bilancio energetico comunale infatti, tale quota non può essere trascurata, tenendo conto dell'utilizzo sporadico e diversificato delle case vacanza nelle diverse aree del Bacino Padano. In Figura 2.8 viene riportata l'incidenza nel Bacino Padano delle seconde case rispetto alle prime, in relazione alla tipologia di comune, come ricavata dall'indagine campionaria. Si può osservare come nei comuni di montagna di piccole dimensioni (con meno di 10'000 abitanti), nei grandi comuni (oltre 50'000 abitanti) e nelle città metropolitane (Bologna, Venezia, Torino e Milano), tale incidenza sia superiore al 9%.

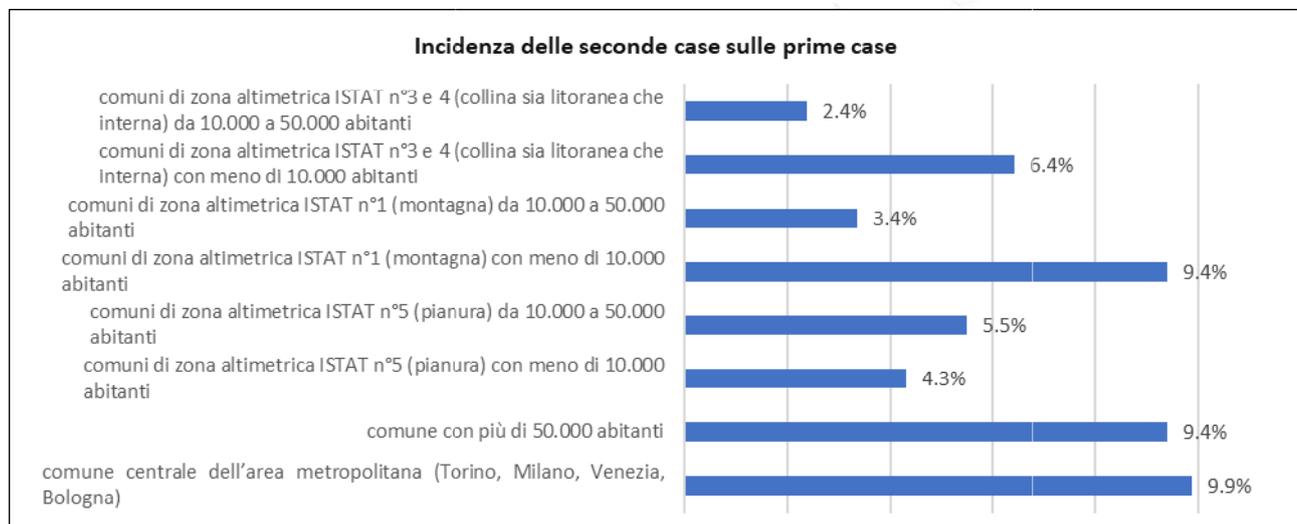


Figura 2.8: Incidenza delle seconde case sullo stock immobiliare associato alle diverse tipologie comunali (da indagine PREPAIR 2019)

2.1.1.2 Superficie utile delle abitazioni

Una volta determinata la composizione del parco a livello comunale, è possibile associare ad ogni categoria $A_j^{(3)}$ e $EP_k^{(4)}$, la quota di superficie utile abitabile $S_{j,k}$ relativa al comune i -esimo, indicando con S la superficie totale del comune (di origine ISTAT), con $\%_{j,k}$ la distribuzione percentuale del j -esimo archetipo e della k -esima epoca di costruzione (derivata dall'indagine campionaria):

$$(S_{j,k})_i = (\%_{j,k} \cdot S)_i \quad (2.1)$$

Le superfici utili delle abitazioni occupate dalla popolazione residente sono state estratte sia dal Censimento ISTAT 2011, per un totale pari a circa 1.1 miliardi di metri quadrati, sia dalle tabelle ISTAT relative ai permessi per costruire (annuali), in modo da quantificare l'evoluzione del parco immobiliare nel periodo tra il 2011 e il 2018. In Tabella 2.4 viene riportato, con dettaglio regionale, il

valore cumulato dell'incremento percentuale superficiale utile, legato alle nuove abitazioni residenziali. Per l'intero parco immobiliare del bacino, si stima dunque una crescita della superficie utile abitabile pari a circa il 1.6% nel periodo 2011-2018 [20].

Incremento (%) della superficie relativa alle nuove abitazioni residenziali nel periodo 2012-2018	
Piemonte	1.0%
Valle d'Aosta	1.7%
Lombardia	1.5%
Trentino-Alto Adige	4.2%
Veneto	2.1%
Friuli-Venezia Giulia	1.4%
Emilia-Romagna	1.1%
Bacino padano	1.6%

Tabella 2.4: Incremento percentuale della superficie relativa alle nuove abitazioni residenziali tra il 2012 ed il 2018 nelle regioni del bacino padano. Il dato è stato ricostruito a partire dalle tabelle ISTAT relative ai Permessi per Costruire (annuali)

2.1.2 Modellazione del parco immobiliare basato su database ISTAT (M2)

Analogamente al metodo M1, lo stock residenziale del Bacino Padano è stato ricostruito utilizzando unicamente i dati estratti dal censimento ISTAT del 2011. Tale metodologia è stata dunque sviluppata trascurando la suddivisione in archetipi abitativi; le abitazioni in edifici residenziali sono quindi suddivise in base alla sola epoca di costruzione (ISTAT 2011) con dettaglio comunale [3], come riportato nell'esempio seguente:

REG	COM	TC	Abitazioni totali		Epoche di costruzione delle abitazioni						
			2011	2018*	prima del 1960	1961-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2005	2006-2011	2012-2018
Piemonte	Agliè	7	1,411	1,424	64.8%	20.7%	6.0%	3.9%	1.7%	2.0%	0.9%
Piemonte	Airasca	3	1,577	1,591	21.8%	49.2%	3.5%	11.9%	3.6%	9.1%	0.9%
Piemonte	Ala di Stura	5	1,388	1,400	49.3%	40.4%	2.1%	3.1%	0.9%	3.3%	0.9%

Figura 2.9: Metodologia di calcolo utilizzata per la modellazione del parco immobiliare (metodo M2), basata sulla distribuzione percentuale delle abitazioni a livello comunale, suddivisi per epoca di costruzione (da Censimento della Popolazione ISTAT 2011)

Si noti che il numero totale di nuovi fabbricati costruiti nel periodo compreso tra il 2011 e il 2018 è stato calcolato tramite le tabelle relative ai permessi per costruire pubblicati annualmente da ISTAT a livello regionale (Tabella 2.5). Risulta dunque un aumento degli edifici ad uso residenziale pari al 1.3%, rispetto alle circa 4.9 milioni di unità stimate da ISTAT nel 2011 [20]. L'incremento dello stock è stato ripartito linearmente sul totale delle abitazioni dei vari comuni, a livello regionale.

Incremento (%) del numero di nuovi fabbricati residenziali nel periodo 2012-2018	
Piemonte	0.9%
Valle d'Aosta	1.1%
Lombardia	1.3%
Trentino-Alto Adige	2.5%
Veneto	1.7%
Friuli-Venezia Giulia	1.2%
Emilia-Romagna	0.9%
Bacino padano	1.3%

Tabella 2.5: Incremento percentuale del numero di nuovi fabbricati residenziali tra il 2012 ed il 2018 nelle regioni del bacino padano. Il dato è stato ricostruito a partire dalle tabelle ISTAT relative ai Permessi per Costruire (annuali)

Per il successivo calcolo dei consumi energetici comunali, che utilizza i risultati per archetipo ottenuti con il software TRNSYS, è stato necessario anche per questo database attribuire, per ogni comune e ogni epoca costruttiva, una distribuzione delle abitazioni tipo di Tabella 2.2. In questo caso per ogni epoca costruttiva si è optato per adottare la distribuzione media di Bacino Padano risultante dall'indagine campionaria.

Utilizzando la procedura descritta al paragrafo in §2.1.1.2, la superficie utile abitabile è stata quindi distribuita sui fabbricati edificati nelle diverse epoche:

$$(S_k)_i = (\%_k \cdot S)_i \quad (2.2)$$

In Figura 2.10 viene riportata la composizione del parco immobiliare stimata con il metodo M2 per le diverse regioni del bacino padano:

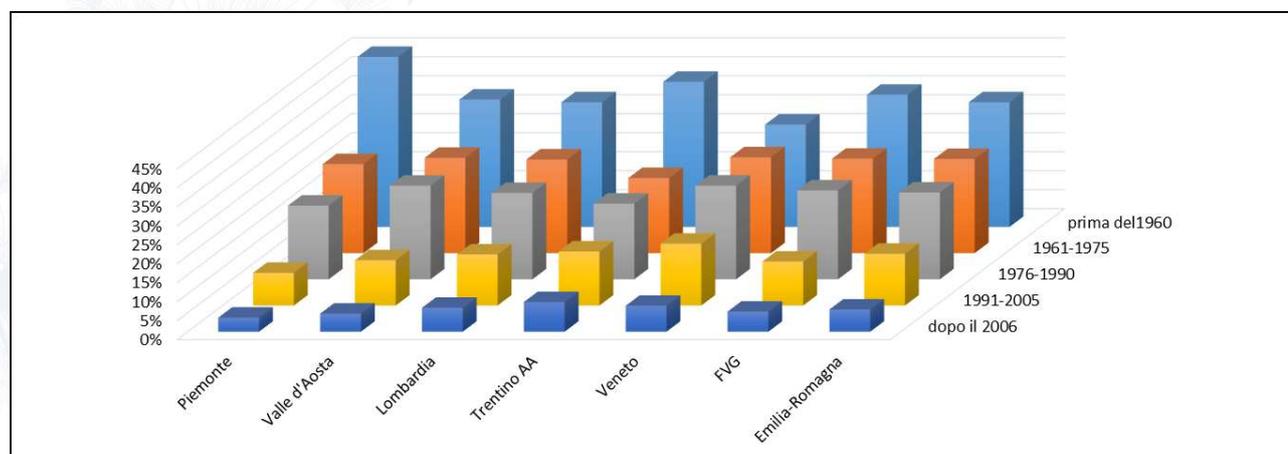


Figura 2.10: Distribuzione percentuale delle abitazioni associate ad una certa epoca di costruzione, in relazione alla regione di appartenenza del comune (da Censimento della Popolazione ISTAT 2011 con integrazione dai dati ISTAT elaborati sulla base dei Permessi per Costruire (annuali))

Come per il metodo M1, la composizione delle case vacanze del bacino è la medesima proposta in §2.1.1.1.

2.1.3 Riqualificazione energetica nel settore residenziale

Il settore residenziale in Italia è stato oggetto di importanti mutamenti legati sia all'obsolescenza del patrimonio immobiliare esistente, che ha visto una crescita continua degli interventi di rinnovamento fino ai primi anni 2000, sia alle politiche di incentivazione energetica più recenti [14]. Nel report 2019 diffuso da ENEA, si stima infatti in oltre 3.6 milioni le richieste pervenute per detrazioni fiscali dall'entrata in vigore degli incentivi nel 2007 [13]. In questo contesto, la documentazione relativa agli interventi effettuati nel settore residenziale del Bacino Padano è stata raccolta a partire dal 14° censimento ISTAT del 2001 con integrazioni dei dati provenienti dai report annuali sulle detrazioni fiscali pubblicati da ENEA per il periodo 2007-2019.

Le opere di riqualificazione maggiormente diffuse nel bacino sono rappresentate dagli interventi ad impianti di riscaldamento, elementi strutturali e non strutturali. Tra gli interventi strutturali sono state considerate le opere relative all'involucro dell'edificio, come ad esempio l'aggiunta di cappotti termici ed elementi isolanti (involucro opaco), mentre la sostituzione di infissi e serramenti è inclusa nelle opere non strutturali.

Nel Bacino Padano risulta che il 66% delle abitazioni (circa 7.6 milioni) abbia subito almeno un intervento di rinnovo, di cui il 33% ricade nel periodo 2007-2018. Tra le tipologie di intervento più frequenti vi sono quelle che interessano gli impianti termici e le sostituzioni degli infissi, con una incidenza rispettivamente pari al 46% e al 44%. Meno diffuse risultano invece le opere relative all'involucro opaco (Figura 2.11).

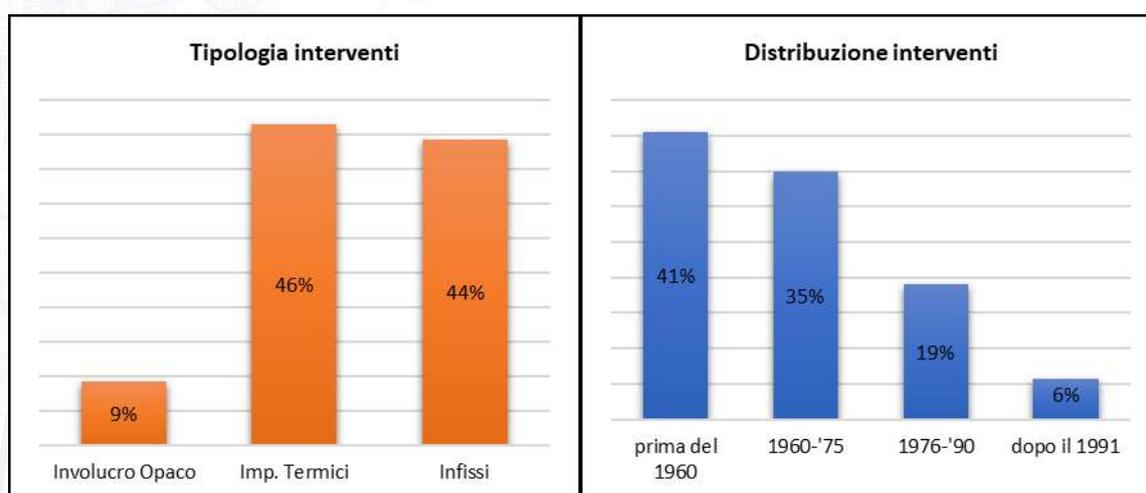


Figura 2.11: Distribuzione percentuale delle tipologie di interventi effettuati sulle abitazioni del bacino padano (a sinistra) e dell'incidenza di tali interventi in funzione dell'epoca di costruzione attribuibile all'abitazione. Il dato è stato ricostruito a partire dai rapporti annuali ENEA sulle detrazioni fiscali (2007-2019) e dal Censimento della Popolazione ISTAT 2001

Dalla documentazione disponibile è possibile individuare l'incidenza degli interventi in relazione all'epoca di costruzione degli immobili del bacino (Figura 2.11). Le abitazioni antecedenti al 1960 risultano essere, come prevedibile, oggetto della maggioranza degli interventi (41%).

Integrando queste informazioni con il numero di edifici costruiti in una certa epoca, è possibile fornire una stima relativa agli immobili residenziali oggetto di interventi. Come mostrato in Figura 2.12, le abitazioni del parco con età superiore a 60 anni sono state interessate quasi interamente (95%) da almeno un intervento, come ad esempio la sostituzione dell'impianto termico, la cui vita di lavoro utile difficilmente supera i 20-25 anni.

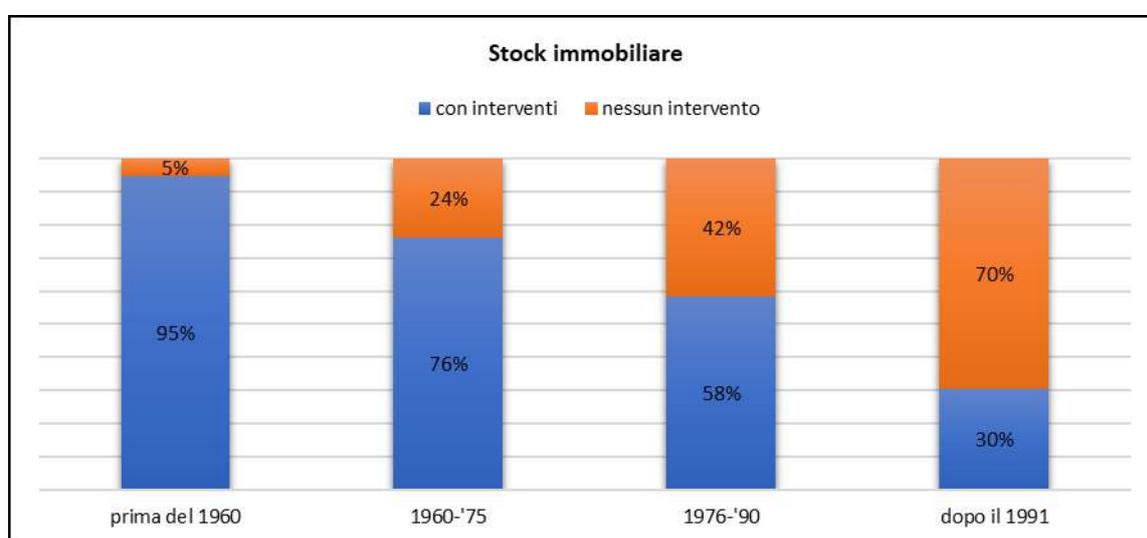


Figura 2.12: Distribuzione percentuale dell'incidenza del numero di interventi effettuati sulle abitazioni associate alle diverse epoche di costruzione. Il dato è stato ricostruito a partire dai rapporti annuali ENEA sulle detrazioni fiscali (2007-2019), dal Censimento della Popolazione ISTAT 2001 e dall'indagine PREPAIR 2019

2.2 Gradi giorno di riscaldamento

Per stimare il consumo di biomassa nel Bacino Padano tramite la differenza tra i consumi teorici delle abitazioni e il bilancio presentato al paragrafo 1.3, la stima del consumo per il riscaldamento domestico, valutato tramite gli archetipi e a partire dalle informazioni relative allo stock edilizio presente nel bacino, deve essere calcolato in riferimento alle condizioni meteorologiche dell'anno 2018. Poiché il fabbisogno energetico degli edifici è, in genere, linearmente correlabile ai gradi giorno di riscaldamento [21], sarà utile definire tale parametro a livello comunale.

I gradi giorno possono essere definiti, in modo qualitativo, come un indicatore di quanto "fredda" sia stata la stagione invernale in una certa località e sono calcolati tramite la sommatoria delle differenze positive tra la temperatura media giornaliera dell'aria esterna e una temperatura di riferimento T_b ,

tipicamente pari a 20°C. In letteratura vi sono diversi metodi per il calcolo dei gradi giorno di riscaldamento (GG), sulla base delle esigenze di calcolo e delle normative nazionali. Il metodo di calcolo orario fornisce la stima più accurata per determinare la temperatura media giornaliera, la quale è ricavata mediando la temperatura oraria dell'aria esterna $T_{e,h}$ sulle 24 ore [21], [22]. Estendendo tale definizione per tutti i giorni dell'anno:

$$GG_i = \sum_{d=1}^{365} \left(\sum_{h=1}^{24} \frac{T_b - T_{e,h}}{24} \right)_d^+ \quad (2.3)$$

Sulla base dei gradi giorni, il D.P.R. 26 agosto 1993 n. 412 [23] individua sul territorio italiano diverse fasce climatiche che vanno dalla A (la più calda), alla F (la più fredda). Nel presente studio, ad eccezione di 3 comuni situate in fascia D (Forlì, Brenzone e Forlimpopoli), tutti i comuni del bacino risultano distribuiti tra zona E ed F a seconda dei gradi giorno di riferimento del sito (Tabella 2.6). A tale suddivisione climatica, sono associate le diverse normative (Legge 373/1976 e successive) che regolamentano i valori minimi di trasmittanza, incentivando l'efficientamento energetico.

Zona Climatica	Gradi giorno di riscaldamento	Stagione di riscaldamento	Ore giornaliere
E	Da 2101 a 3000	Dal 15 Ottobre al 15 Aprile	14
F	Da 3001	Nessun limite	Nessun limite

Tabella 2.6: Classificazione climatica in relazione ai gradi giorno di riscaldamento (DPR 412/93)

Con riferimento all'anno 2018, la stima dei GG a livello comunale nel bacino padano è stata derivata dall'elaborazione dei dati ricavati tramite il modello meteorologico COSMO, con griglia di interpolazione a 5 km, in relazione ai comuni presenti in fascia D ed E. Poiché da un confronto con i dati delle stazioni di monitoraggio dei parametri meteorologici, si è riscontrato che tale modello tende a sovrastimare i GG nei comuni di alta quota, generalmente situati in fascia F, in queste località si è deciso di integrare il modello con le temperature misurate dalle ARPA (Agenzie Regionali per la Prevenzione e Protezione Ambientale) delle regioni indagate, mediante la metodologia "lapse-rate" (LR).

2.2.1 Modello COSMO-5km

Il modello non-idrostatico COSMO⁴ è stato sviluppato, nelle sue prime versioni, alla fine dagli anni '90 all'interno del "Consortium for Small-scale Modeling" (COSMO, <http://www.cosmo-model.org/>), con l'obiettivo di fornire previsioni meteorologiche su piccola scala e ad area limitata.

⁴ https://www.arpae.it/dettaglio_generale.asp?id=2584&idlivello=32

In particolare, attraverso la collaborazione del servizio meteorologico dell’Aeronautica militare, del Servizio IdroMeteoClima di Arpa Emilia-Romagna e di Arpa Piemonte, è stato sviluppato un sistema modellistico nazionale, denominato Lami (Limited Area Model Italia), per la gestione operativa delle catene numeriche previsionali di Cosmo 5M, sull’area mediterranea. Tale modello opera con passo di griglia di 5 km. I gradi giorno sono stati elaborati partendo dalle temperature orarie dell’anno 2018 per ogni cella del primo livello della griglia; il valore comunale è stato quindi ottenuto sovrapponendo la griglia di calcolo alle superfici comunali.

2.2.2 Metodo “lapse-rate”

Il modello LR è stato sviluppato per ottenere dati di temperatura anche in quelle località che non risultano essere associabili direttamente a stazioni meteorologiche. Tale metodo mette in relazione l’elevazione e la temperatura acquisita in una certa località, per determinare la temperatura del sito non campionato tramite la differenza di quota e il gradiente di temperatura della stazione meteorologica più vicina [24].

In analogia con la formulazione proposta da Stahl *et al.* [25], il metodo LR è stato riformulato per determinare i GG dei comuni del bacino utilizzando le temperature medie giornaliere scaricabili dai siti web delle diverse ARPA (Piemonte, <http://www.arpa.piemonte.it/>, Valle d’Aosta, <http://www.arpa.vda.it/it/>, Lombardia, <https://www.arpalombardia.it/>, Prov. Aut. di Bolzano, <http://meteo.provincia.bz.it/>, Prov. Aut. di Trento, <http://www.appa.provincia.tn.it/>, Veneto, Friuli-Venezia Giulia, <http://www.arpa.fvg.it/>). Viene proposta la seguente formulazione:

$$GG_{i,p} = GG_0 + \lambda \cdot (h_p - h_0) \quad (2.4)$$

dove GG_0 e h_0 sono rispettivamente i gradi giorno misurati e la quota della stazione meteo più vicina al comune non campionato, $GG_{i,p}$ sono i gradi giorno predetti dal modello, h_p è la quota del comune non campionato e infine λ rappresenta il gradiente relativo alla variazione dei GG rispetto alla quota con dimensione ($^{\circ}\text{C}$ giorno /m). Tale gradiente viene valutato tramite il rapporto tra la differenza dei GG e la differenza di quota delle stazioni con elevazione maggiore ed inferiore, più vicine al comune in oggetto.

Per i **3842 comuni** delle regioni indicate in Tabella 2.7, sono state utilizzate le temperature medie giornaliere acquisite da **707 stazioni meteorologiche** distribuite sul territorio. In questa fase, il metodo LR non è stato sviluppato per la regione Emilia-Romagna in quanto il numero di comuni di fascia F o con un elevati GG è limitato.

Regione	Numero Stazioni
Piemonte	249
Valle d'Aosta	38
Lombardia	186
Prov. Aut. di Bolzano	30
Prov. Aut. di Trento	116
Veneto	68
Friuli-Venezia Giulia	20

Tabella 2.7: Numero di stazioni meteorologiche da cui sono stati estratti i dati implementati nel metodo LR per il calcolo dei gradi giorno a livello comunale del bacino padano

2.2.3 integrazione dei due approcci per il calcolo dei gradi giorno

I valori dei gradi giorno calcolati tramite il modello COSMO, per le località in fascia D ed E, e tramite il modello di predizione LR, per le località in fascia F, sono stati integrati tra loro e vengono mostrate in Figura 2.13, per tutti i 4170 comuni del Bacino Padano:

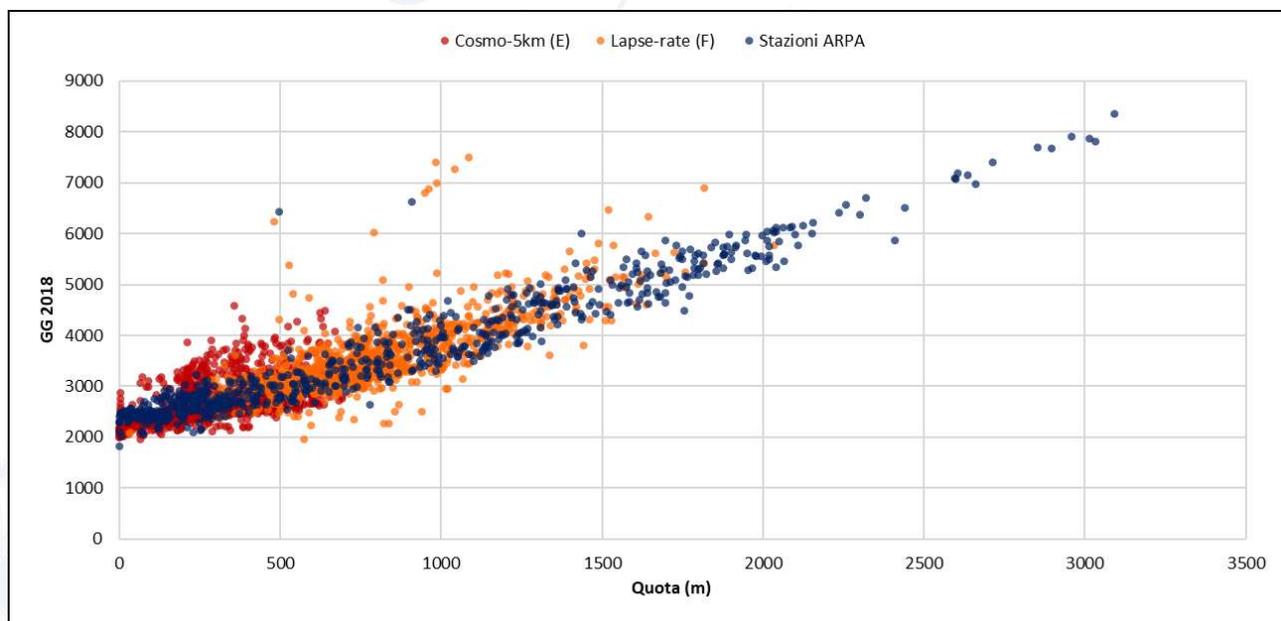


Figura 2.13: Gradi giorni 2018 associati ai comuni del bacino padano. Il grafico mostra l'elaborazione effettuata a partire dalle rilevazioni delle stazioni meteorologiche ARPA (in blu), i gradi giorno COSMO per i comuni in fascia D ed E (in rosso) e l'elaborazione effettuata sulla base del modello lapse-rate per i comuni in fascia F (in arancione)

2.3 Valutazione dei consumi per diversi archetipi costruttivi

Al fine di ottenere un elevato grado di dettaglio del valore di consumo energetico da riscaldamento, è stato studiato il comportamento degli edifici utilizzando il software TRNSYS, con il quale è stato possibile effettuare simulazioni dinamiche degli archetipi individuati. Il processo che porta alla definizione del consumo per una determinata tipologia costruttiva, è composto da alcune fasi, riportate in seguito.

2.3.1 Definizione di caratteristiche geometriche e costruttive del modello

Per ognuna delle quattro tipologie edilizie identificate dal sondaggio (v. Tabella 2.2), è stato creato un modello geometrico rappresentativo (Tabella 2.8).

- per la casa singola è stata presa in considerazione un’abitazione sviluppata su due piani, con la soffitta e il tetto a falde; l’edificio è isolato e non presenta adiacenze con abitazioni contigue;
- la casa a schiera è inserita all’interno di un complesso di quattro abitazioni, sviluppate su tre piani, ove il terzo è mansardato;
- gli appartamenti in edifici fino a due piani sono stati ipotizzati in un’unità abitativa all’interno di un edificio con due piani fuori terra e con quattro abitazioni per piano;
- gli appartamenti in edifici con più di due piani sono stati inseriti in un edificio con quattro piani fuori terra, sempre con quattro abitazioni per piano⁵.

Per semplificarne l’analisi, ognuno degli archetipi sopra presentati è stato suddiviso in zone termiche, raggruppando cioè diverse stanze che presentano la stessa tipologia di utilizzo e di presenza al loro interno (ad esempio, solitamente le camere da letto e il corridoio adiacente vengono raggruppate nella “zona notte”).

	Tipologia abitativa			
	Casa Singola	Casa a Schiera	Appartamenti prima del 1990	Appartamenti dopo il 1990
Superficie riscaldata	133.3 m ²	108.4 m ²	79.4 m ²	79.4 m ²
Volume netto	359.9 m ³	292.7 m ³	254.1 m ³	214.4 m ³
S/V	0.85	0.74	0.41	0.41
Altezza interpiano	2.7 m	2.7 m	3.2 m	2.7 m

Tabella 2.8: Superficie utile riscaldata, volume netto, rapporto S/V e altezza interpiano associate agli archetipi abitativi implementati in TRNSYS

⁵ Il numero di appartamenti per piano non incide in modo particolarmente rilevante nei risultati delle simulazioni: la prestazione energetica di un’abitazione è determinata dallo scambio termico tra l’area superficiale delle pareti esposte verso l’esterno e verso gli ambienti interni limitrofi

Per ognuna delle epoche di costruzione prese in considerazione, è stata definita una trasmittanza⁶ caratteristica per le diverse superfici che compongono il modello, la quale, se elevata, definisce una maggior tendenza al trasferimento di calore attraverso un certo elemento costruttivo (parete, finestra, ecc.). I valori tipici di trasmittanza, implementati nei modelli, corrispondono alle stratigrafie⁷ delle pareti maggiormente utilizzate nel nord Italia, e vengono riportati in Tabella 2.9 e Figura 2.14. Questi ultimi riguardano le abitazioni nel loro stato originario, e non tengono in considerazione eventuali interventi di riqualificazione energetica o di ristrutturazione edilizia, che sono stati valutati separatamente.

Trasmittanze [W/(m ² K)]	Epoca di costruzione					
	Prima 1960	del	1961-1975	1976-1990	1990-2005	Dopo il 2005
Muratura verticale	1.57		1.18	0.81	0.58	0.4
Solai contro terra	1.86		1.61	1.39	0.86	0.4
Coperture	1.89		1.76	0.99	0.59	0.39
Finestre		5.7		2.8		2.3

Tabella 2.9: Trasmittanze delle murature, solai, coperture e infissi in relazione all'epoca di costruzione delle abitazioni implementati in TRNSYS

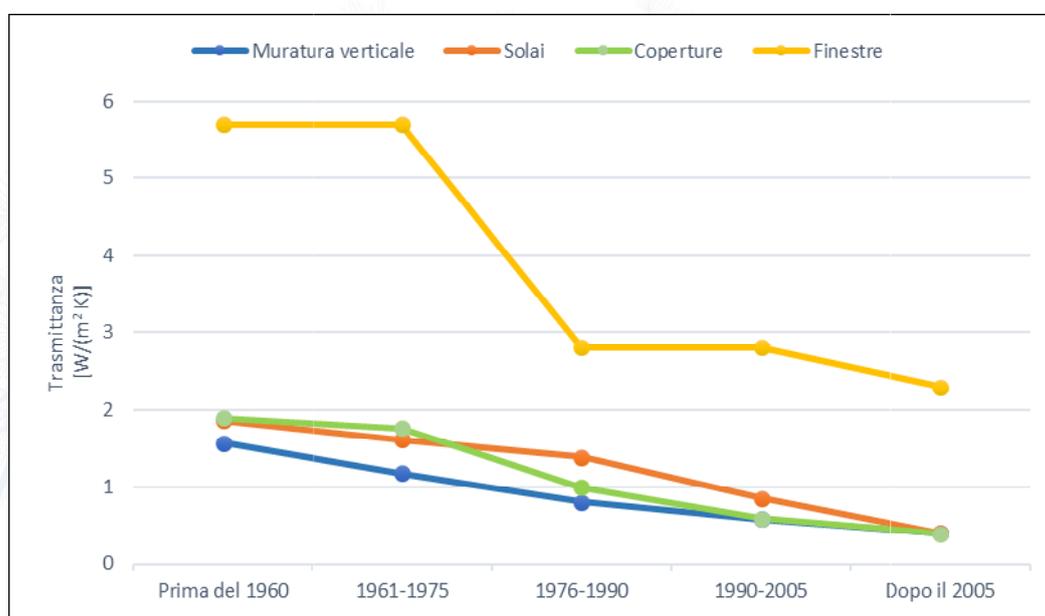


Figura 2.14: Confronto tra le trasmittanze delle murature, solai, coperture e infissi in relazione all'epoca di costruzione delle abitazioni implementati in TRNSYS

⁶ Per trasmittanza si intende la tendenza di un materiale al trasferimento di calore, ovvero l'inverso della sua capacità isolante

⁷ Strati che compongono la parete: mattoni, intercapedine, cappotto, ecc.

2.3.2 Condizioni al contorno

L'abitazione interagisce con l'ambiente interno ed esterno, in termini di scambio di calore. Per simulare questo scambio è necessario definire per ogni abitazione delle condizioni al contorno: scambio con l'aria esterna, con il terreno, interazione con la radiazione solare, nonché apporti di calore interni derivanti dalla presenza di elettrodomestici e altre apparecchiature e degli occupanti. Anche queste informazioni sono necessarie per configurare le simulazioni con il software selezionato.

Per la definizione di tali condizioni al contorno, con particolare riferimento agli scambi con l'ambiente esterno, è stata individuata una condizione climatica tipo. Questa configurazione è linearmente dipendente dai gradi giorno associati a tale condizione climatica: i consumi risultanti dal modello verranno successivamente ripartiti sulla base dei gradi giorno per determinare i consumi relativi ad ogni comune.

Per le simulazioni, è stato scelto di utilizzare i dati climatici predisposti dal "World Meteorological Organization Region and Country" per la città di Bologna, consultabili nel database Energy Plus (<https://energyplus.net/weather>). I dati climatici sono ben documentati e rappresentativi del sito e sono elaborati sulla base della documentazione raccolta nel corso di varie decadi, al fine di ricostruire, su base oraria, le condizioni meteorologiche di un anno tipico (generalmente indicato come Test Reference Year). Nei dati climatici utilizzati sono presenti informazioni sulle temperature esterne, sulla radiazione solare, sulla velocità e direzione del vento. Nel caso di Bologna, i gradi giorno di riferimento sono stati calcolati come esposto in equazione (2.3), e sono pari a 2908, per l'intero arco dell'anno, e 2567, per la stagione di riscaldamento definita per la fascia E. Per la valutazione delle infiltrazioni, dei ricambi d'aria volontari e dei movimenti delle masse d'aria all'interno dell'abitazione è stato utilizzato il software CONTAM, che attraverso la definizione delle caratteristiche di porte e finestre e delle condizioni climatiche esterne (desunte anch'esse dallo stesso file climatico), fornisce al modello dei dati esaustivi riguardanti gli scambi d'aria tra zone termiche e tra interno ed esterno dell'abitazione. Sono stati inseriti inoltre gli apporti di calore interni derivanti da occupanti e apparecchiature attraverso profili e i valori stabiliti dalla normativa [26].

2.3.3 Configurazione dell'impianto

All'interno dell'abitazione è stato implementato un impianto formato da una caldaia e da un numero di radiatori variabile in base alle dimensioni dell'edificio. È stato posto un radiatore per ogni zona termica, che le conferisce il calore necessario per mantenere condizioni di comfort all'interno dell'edificio. L'intero impianto è stato dimensionato sulla base dei fabbisogni ideali dell'abitazione, mentre la portata d'acqua all'interno del circuito è stata scelta ipotizzando una differenza di 10°C tra la temperatura dell'acqua in mandata e di ritorno nei radiatori. La caldaia si accende in base al segnale di un termostato che controlla la temperatura all'interno dell'abitazione, impostato con una temperatura di set-point di 20°C di giorno e di 18°C di notte, con un margine di tolleranza di $\pm 1^\circ\text{C}$ sul

valore di temperatura fissato. Il rendimento della caldaia corrisponde al rendimento di generazione dell'impianto, assunto variabile in base all'età dell'edificio e all'età dell'impianto originario. Dunque, a partire dai prospetti della norma UNI/TS 11300-2 [27] (Tabella 2.10).

Rendimento di generazione dell'impianto				
Prima del 1960	1960 - 1975	1976 - 1990	1990 - 2005	Dopo il 2005
0.84	0.88	0.90	0.93	1.01

Tabella 2.10: Rendimenti di generazione dell'impianto termico in relazione all'epoca di costruzione dell'abitazione implementate in TRNSYS (da UNI/TS 11300-2)

2.3.4 Interventi di riqualificazione

Per tenere in considerazione gli interventi di riqualificazione del parco edilizio analizzati in §2.1.3, per ogni epoca costruttiva e per ogni tipologia edilizia sono state effettuate, oltre quella rappresentante lo stato originario, tre ulteriori simulazioni, ognuna su un modello che prende in considerazione una tipologia di intervento.

La prima tipologia di intervento si basa sulla sostituzione del vecchio generatore con una caldaia a tre stelle; laddove la caldaia a tre stelle fosse già presente, è stata considerata la sostituzione con una caldaia a condensazione. Pertanto, per questa prima tipologia di intervento, è stato sufficiente sostituire al valore di rendimento di partenza quello di 0.93 per la caldaia a tre stelle, quello di 1.01 per la caldaia a condensazione.

La seconda tipologia di intervento riguarda la sostituzione degli infissi, per la quale si è ipotizzata una sostituzione con infissi aventi valore di trasmittanza pari a $2.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ per le epoche precedenti al 1990, mentre per le epoche successive è stata considerata una sostituzione con infissi aventi trasmittanza di $1.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

L'ultimo intervento preso in considerazione riguarda l'applicazione del cappotto esterno all'abitazione con conseguente aumento del livello di isolamento dell'edificio. In questo caso, è stato applicato all'esterno della parete opaca verticale delle abitazioni, uno strato di spessore variabile di isolante, di modo che la trasmittanza della parete arrivasse a $0.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, valore minimo per accedere all'incentivo.

2.3.5 Risultati delle simulazioni

I valori di consumo ottenuti per ogni archetipo e per epoca di costruzione sulla base delle configurazioni sopra descritte, sono riportati in Figura 2.15, riferiti ad archetipi non riqualificati e alle condizioni al contorno definite per la città di Bologna. L'estensione di tali risultati ai parchi degli edifici ricostruiti con i metodi M1 e M2 di cui al §2.1, tenendo conto anche degli interventi di riqualificazione e dei gradi giorno di ogni comune, verrà presentata al successivo Capitolo 3.

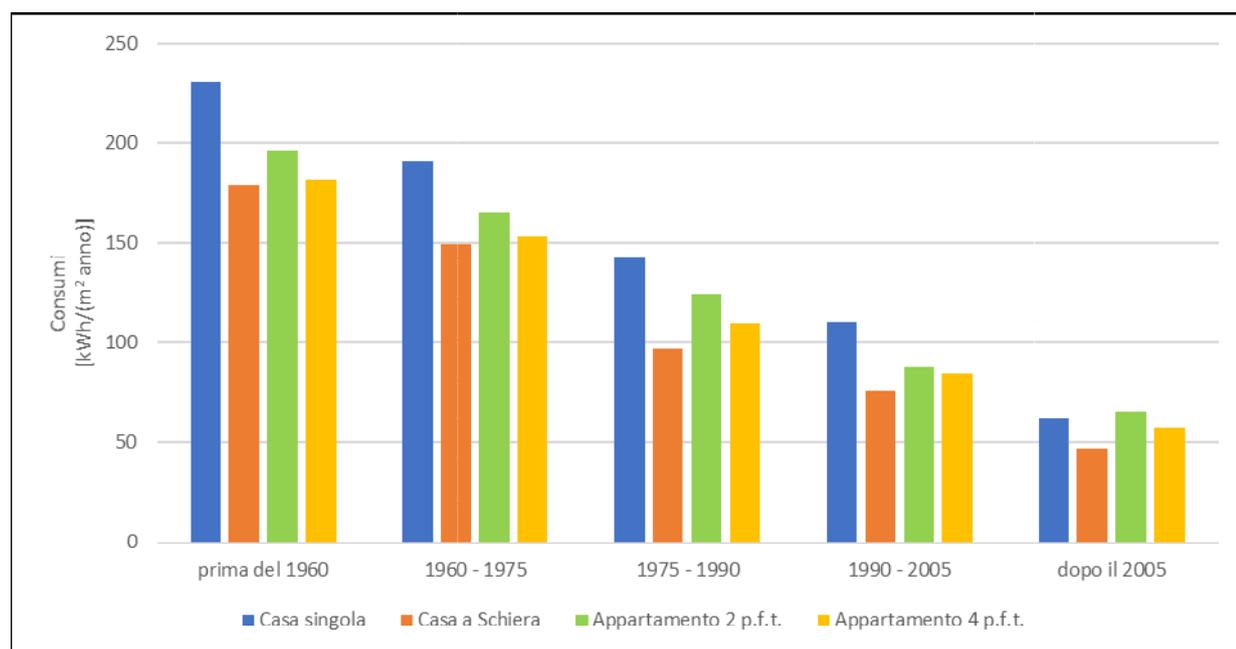


Figura 2.15: Consumo specifico di energia finale per il riscaldamento (kWh/(m² anno)) associate agli archetipi abitativi (che non hanno subito interventi di riqualificazione) appartenenti ad una certa epoca di costruzione

I dati ottenuti dalle simulazioni sono stati messi a confronto con quelli trovati in letteratura. In particolare, viene in seguito riportato (Figura 2.16) il confronto per la casa singola fra i consumi emersi dalle simulazioni, quelli pubblicati da RSE all'interno di uno studio sulla riqualificazione [28] e con i consumi stimati da *Tabula* (<http://webtool.building-typology.eu/>), un progetto europeo finalizzato alla definizione delle tipologie edilizie e dei relativi consumi [29]. Entrambi gli esempi riportati sono relativi ad un'abitazione monofamiliare situata in fascia E, e mostrano come i risultati ottenuti con le simulazioni siano tra loro confrontabili, in particolare con le stime pubblicate da RSE.

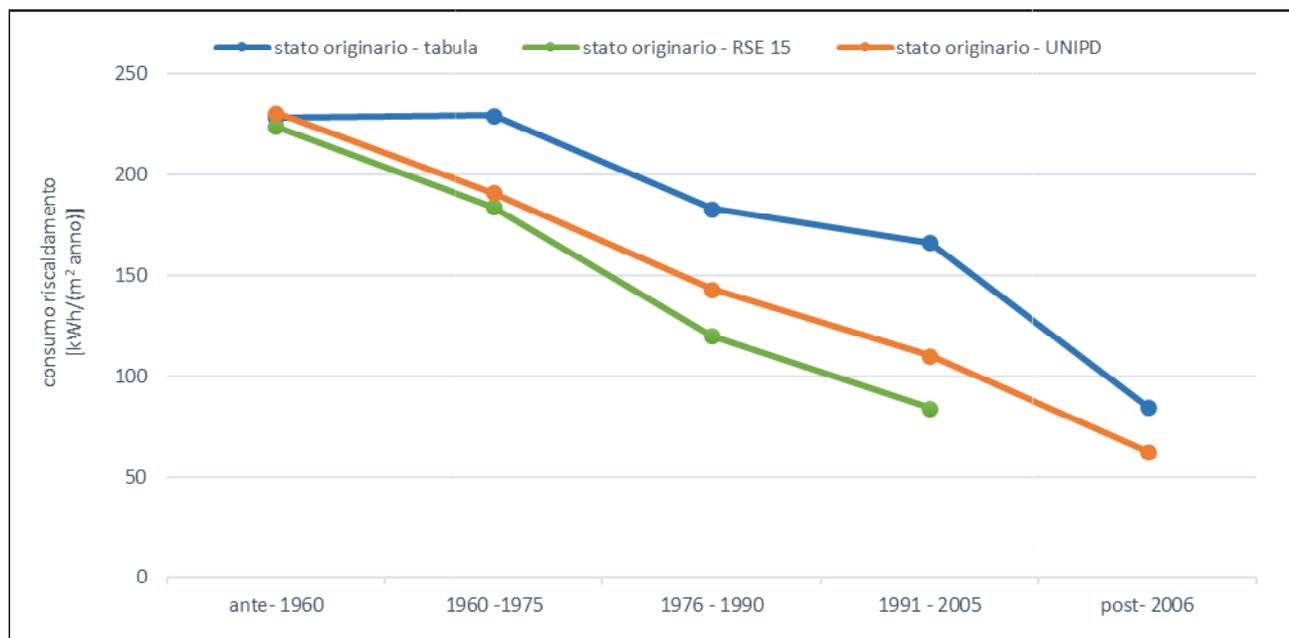


Figura 2.16: Confronto tra i consumi specifici di energia finale per il riscaldamento (kWh/(m² anno)) associati ad una casa singola elaborati da Tabula, RSE e Unipd in funzione dell'epoca di costruzione. Per effettuare il confronto, è stato considerato il fabbricato nel suo stato originario (senza interventi di riqualificazione)

2.4 Implementazione degli interventi di riqualificazione energetica sui consumi degli edifici

Come anticipato in §2.1.3 e §2.3.4, le opere di riqualificazione energetica che interessano gli edifici del Bacino Padano, in particolare gli edifici storici e antecedenti agli anni '80, non possono essere trascurati ai fini della stima dei consumi di combustibile. Tramite la documentazione disponibile dai rapporti sulle detrazioni fiscali pubblicate annualmente da ENEA, si stima che circa il **21%** degli interventi complessivi siano stati effettuati in tempi relativamente recenti, favoriti dagli incentivi fiscali in vigore dal 2007. Il parco immobiliare esistente, nonostante permangano grandi margini di ulteriore efficientamento energetico, ha subito nel corso degli anni un rinnovamento tecnologico significativo. Dei circa **10.6 milioni** interventi documentati, almeno **7.6 milioni** sono stati effettuati su singole abitazioni, indicando che un gran numero di interventi siano riconducibili ai medesimi fabbricati, come ad esempio la sostituzione simultanea dell'impianto termico e degli infissi. Per tenere in considerazione le opere di riqualificazione più comuni e la loro possibile combinazione, le simulazioni dinamiche descritte in §2.3.5 sono state effettuate, non solo per determinare il consumo associato all'edificio nel suo stato originario, ma anche tenendo conto delle ipotesi di intervento riportate in Tabella 2.11:

Caso	Descrizione interventi
A	Sostituzione impianto termico con una caldaia a 3 stelle ($\eta_{gn} = 0.93$) o a condensazione ($\eta_{gn} = 1.01$), in caso una caldaia 3 stelle fosse già presente
B	Sostituzione infissi (superfici vetrate e telaio) con valore equivalente di trasmittanza pari a $U = 2.3 W/(m^2 K)$ per gli edifici costruiti prima degli anni '90 e $U = 1.4 W/(m^2 K)$ per le costruzioni successive
C	Cappotto termico su parete verticale esterna con applicazione di isolante per giungere ad un valore di trasmittanza equivalente pari a $U = 0.3 W/(m^2 K)$
A+B	Combinazione simultanea degli interventi descritti nei punti precedenti
A+B+C	Combinazione simultanea degli interventi descritti nei punti precedenti

Tabella 2.11: Descrizione degli interventi implementati nel modello TRNSYS

Per determinare il consumo equivalente di un'abitazione tipo, in relazione al mix di interventi ipotizzati e alla loro incidenza sull'età dello stock riqualificato, è stato utile assegnare dei "coefficienti di peso", numerati da p_0 a p_4 , ricavati dai dati pubblicati da [13] e [15], come riportati in Tabella 2.12:

Matrice di "riqualificazione energetica"		Stato originario	A	B	A+B	A+B+C	Tot.
			37%	35%	19%	9%	
		p_0	p_1	p_2	p_3	p_4	
prima del 1960	95%	5.3%	35.1%	33.0%	17.9%	8.7%	100.0%
1960-'75	76%	23.7%	28.3%	26.6%	14.4%	7.0%	100.0%
1976-'90	58%	41.8%	21.6%	20.3%	11.0%	5.3%	100.0%
dopo il 1991	30%	69.7%	11.2%	10.6%	5.7%	2.8%	100.0%
dopo il 2006	0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%

Tabella 2.12: Matrice di distribuzione degli interventi di riqualificazione implementati in TRNSYS in funzione delle tipologie di intervento e dell'epoca di costruzione delle abitazioni

Si noti che per utenti che abbiano effettuato un intervento all'involucro dell'edificio (caso C), venga ipotizzato anche l'attuazione degli interventi descritti per i casi A e B. Il consumo equivalente, indicato con $(C_{h,eq})_{j,k}$, per la j -esima tipologia di archetipo e la k -esima epoca costruttiva, viene pesato sull'incidenza degli interventi di riqualificazione, e descritto tramite la seguente equazione:

$$(C_{h,eq})_{j,k} = (p_0 C_{h,st. orig.} + p_1 C_{h,A} + p_2 C_{h,B} + p_3 C_{h,\{A+B\}} + p_4 C_{h,\{A+B+C\}})_{j,k} \quad (2.4)$$

I consumi specifici legati al riscaldamento domestico, in funzione dei quattro scenari di interventi ipotizzati in Tabella 2.14, saranno dunque utilizzati per redigere un bilancio dei consumi a livello comunale (equazione 2.4) e sono riportati per epoca di costruzione ed archetipo in Figura 2.17:

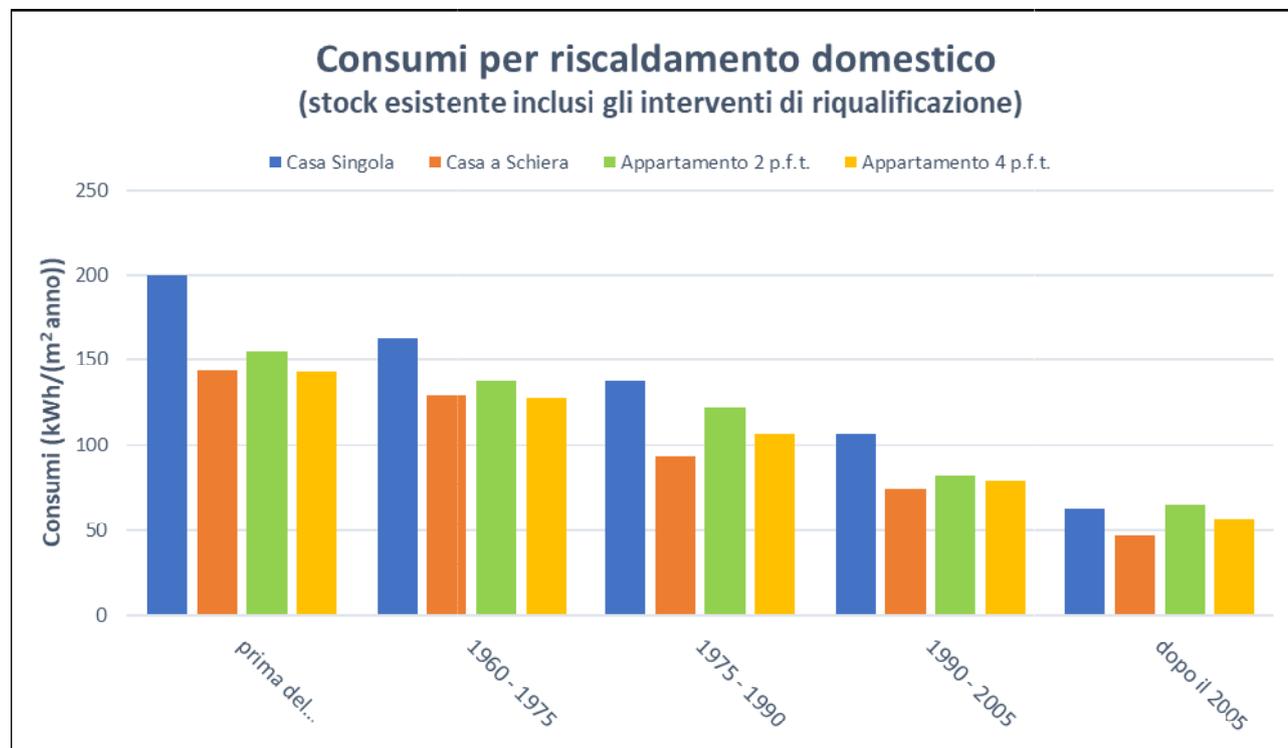


Figura 2.17: Consumo specifico di energia finale per il riscaldamento (kWh/(m² anno)) associate agli archetipi abitativi riqualificati appartenenti ad una certa epoca di costruzione

3. Stima del consumo di biomassa

Dalle simulazioni presentate al capitolo precedente sono stati calcolati i consumi tipo per ogni archetipo considerato (case singole, a schiera, appartamenti in edifici fino a 2 piani e superiori). In questo capitolo si applicano tali consumi ai due database comunali degli edifici M1 e M2, descritti al capitolo precedente; successivamente tali consumi vengono riferiti all'anno 2018 sulla base dei gradi giorno.

Il consumo calcolato con TRNSYS per ogni combinazione di tipologia abitativa ed epoca di costruzione, è stato ulteriormente affinato tenendo conto degli interventi di riqualificazione subiti dalle abitazioni, come specificato nel precedente §2.4. A questo valore è stato poi sommato il consumo specifico per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS) e quello relativo alla cottura dei cibi. Il risultato ottenuto è stato così esteso a tutto il parco edilizio, ricavando così il consumo totale del Bacino Padano. A questo valore è stato quindi sottratto il risultato del bilancio mostrato nel primo capitolo, ottenendo così il valore del consumo di biomassa stimato per la zona geografica interessata dal progetto.

3.1 Definizione del consumo specifico per archetipo

Come sopra indicato, il valore di consumo specifico per archetipo utilizzato per effettuare la stima è il risultato di diverse attività nell'ambito domestico e tiene conto degli interventi di ristrutturazione e riqualificazione subiti dalle abitazioni. Viene in seguito riportato il metodo dettagliato di definizione di ognuna di queste componenti e i consumi specifici finali che risultano dalla loro somma.

3.1.1 Consumo specifico per riscaldamento domestico

Per determinare il consumo legato al riscaldamento domestico delle diverse abitazioni tipo, caratterizzate in §2.3.1, nel caso di parco immobiliare modellato tramite le risposte dell'indagine campionaria (**metodo M1**), si è proceduto moltiplicando il consumo specifico relativo al *j-esimo* archetipo e alla *k-esima* epoca di costruzione, per la superficie utile calcolata nelle equazioni espresse in (2.1).

Per quanto riguarda il parco edilizio ISTAT 2011 (**metodo M2**), si è assegnato ad ogni abitazione, in base alla sua epoca di costruzione, un consumo medio pesato sulla distribuzione percentuale degli archetipi ricavata dall'indagine campionaria. Tale consumo è stato quindi moltiplicato per la superficie utile calcolata secondo l'equazione (2.2).

$$(C_h)_i = \begin{cases} \sum_{j,k} (S_{j,k})_i \cdot (C_{h,eq})_{j,k} & (\text{metodo M1}) \\ \sum_k (S_k)_i \cdot (C_{h,eq})_k & (\text{metodo M2}) \end{cases} \quad (3.1)$$

dove $(C_{h,eq})_{j,k}$ e $(C_{h,eq})_k$ sono i consumi specifici equivalenti che includono, per le diverse categorie, gli interventi di riqualificazione stimati per gli edifici del bacino. Il consumo globale per riscaldamento a livello comunale è stato ottenuto sommando tra loro i contributi *k-esimi* e *j-esimi* (**M1**) o i soli contributi *k-esimi* (**M2**) e quindi, destagionalizzando rispetto ai gradi giorno 2018, è stato possibile il confronto con il bilancio energetico ricostruito dai diversi enti.

3.1.2 Consumo specifico per produzione di ACS

La produzione di acqua calda sanitaria (ACS) e i consumi legati alla cottura cibi nel settore residenziale hanno un'incidenza significativa nel bilancio energetico nazionale. Nel 2017, ENEA stima una quota di consumo pari al 17.7% a livello nazionale per entrambe queste categorie di utilizzo. I consumi relativi alla climatizzazione (raffrescamento e riscaldamento) e agli apparecchi elettrici risultano incidere, rispettivamente per il 70% e per l'11.8% [30].

Nel nostro studio, il consumo di energia finale di ACS e degli usi cucina nel bacino padano è stato stimato seguendo l'approccio adottato nella UNI/TS 11300-2 [27]. Per effettuare il confronto con le misurazioni riportate dai diversi enti (§1.2 e §1.3), i consumi derivanti da energia elettrica non verranno inclusi nel bilancio. L'energia termica richiesta (Q_w) per soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria è stata calcolata in funzione del volume d'acqua richiesto (V_w), secondo la seguente equazione:

$$Q_w = \rho_w c_w \sum [V_w \Delta\theta_w] G \quad (3.3)$$

Dove ρ_w e c_w sono rispettivamente la massa volumica pari a 1000 kg/m³ e il calore specifico dell'acqua pari a 1.162·10⁻³ kWh/(kg K), $\Delta\theta_w$ è la differenza tra la temperatura dell'acqua erogata e quella dell'acqua fredda in ingresso impostata a 25 °C e G è il numero dei giorni dell'anno. Il calcolo del volume di acqua richiesto è stato effettuato tramite la caratterizzazione dei parametri a e b presentati nel prospetto 30 della UNI/TS 11300-2, in relazione alla superficie utile media delle abitazioni (S_u) valutate a livello comunale [3], la quale risulta essere compresa nel range 63-170 m²:

$$V_w = a S_u + b \quad (3.4)$$

Per una abitazione avente una superficie utile tra i 50 e 200 m², i parametri a e b sono rispettivamente fissati pari a 1.067 litri/(m² giorno) e 36.67 litri/giorno. Il fabbisogno medio di ACS per le diverse regioni è riportato in Tabella 3.1.

	Fabbisogni specifici di ACS [kWh/(m ² anno)]
Piemonte	16.1
Valle d'Aosta	16.8
Lombardia	16.2
Trentino-Alto Adige	16.8
Veneto	15.8
Friuli-Venezia Giulia	15.9
Emilia-Romagna	16.0

Tabella 3.1: Fabbisogno specifico medio per la produzione di ACS associata alla superficie utile delle abitazioni per le diverse regioni del bacino padano

Il fabbisogno specifico è stato quindi moltiplicato per la superficie utile totale delle abitazioni (§2.1.1.2) presenti in ogni *i-esimo* comune. Il fabbisogno totale è stato dunque suddiviso in base all'utilizzo regionale dei vari combustibili per la produzione di ACS come indicato da ISTAT nel 2013 nell'indagine relativa ai consumi energetici delle famiglie [31].

L'utilizzo dei boiler elettrici risulta incidere al 5.7% del fabbisogno totale, con diffusione molto diversificata nel territorio, passando dal 3.3% per le famiglie in Veneto, al 24.5% in Valle d'Aosta. Così come per i dispositivi elettrici, il solare termico per la produzione di ACS è stato trattato separatamente in quanto non legato direttamente alle emissioni di inquinanti atmosferici, incidendo in minima parte sul fabbisogno totale. Come indicato da ISTAT, circa il 4.6% delle famiglie presenti nel bacino padano utilizza biomassa solida nel riscaldamento di acqua ad uso sanitario. Per stimare il consumo di biomassa associata ad ACS, si è valutata l'efficienza equivalente degli apparecchi comunemente utilizzati nei termo-prodotti (termo-stufe e caldaie), la quale risulta pari al 79%.

Il consumo di energia termica associato ai combustibili tradizionali è stato determinato, per il comune *i-esimo*, tenendo conto del rendimento medio stagionale di impianti centralizzati o autonomi associati agli edifici tipo distribuiti per epoche di costruzione tramite l'utilizzo della procedura descritta in §2.1.1. Per i valori di efficienza caratteristici delle due tipo tipologie di impianto si è fatto riferimento alla UNI/TS 11300-2, considerando l'età del dispositivo e l'incidenza degli interventi di riqualificazione stimati nel territorio. La diffusione degli impianti autonomi e centralizzati è stata estrapolata dall'indagine campionaria e viene riportata in Figura 3.1 per i vari edifici tipo.

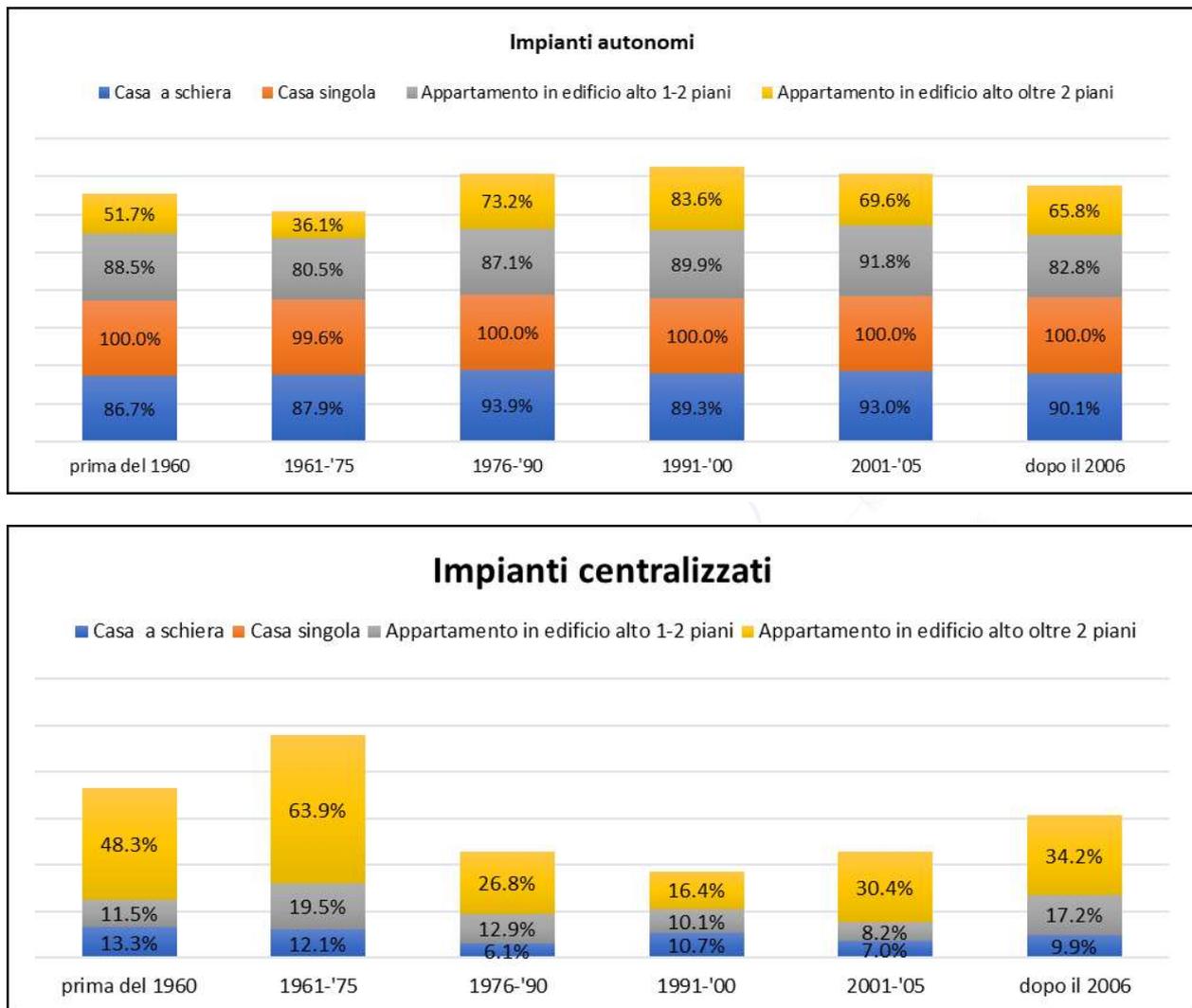


Figura 3.1: Incidenza percentuale degli impianti autonomi (in alto) e centralizzati (in basso) associati agli archetipi abitativi e alle epoche di costruzione delle abitazioni (da indagine PREPAIR 2019)

3.1.3 Consumo specifico per uso cucina

Per la valutazione dei consumi energetici legati alla cottura dei cibi e all'uso cucina, si è fatto riferimento a quanto riportato nella normativa UNI/TS 11300-2 del 2008 [32]. Sulla base della superficie delle abitazioni, indicando con G il giorno tipico di utilizzo della cucina, la norma suggerisce i seguenti fabbisogni di riferimento:

Superficie dell'abitazione	Fabbisogni specifici standard [kWh/G]
Fino a 50 m ²	4
50-120 m ²	5
Oltre 120 m ²	6

Tabella 3.2: Fabbisogno specifico per cottura dei cibi in relazione della superficie utile di un'abitazione



Nel calcolo del consumo legati alla cottura dei cibi, è necessario considerare l'utilizzo effettivo della cucina. Come riportato da ENEA, in Italia la diffusione dei sistemi gas in cucina è prevalente rispetto ai fornelli elettrici o induzione e pari a circa il 66.7% [33]. Secondo la normativa europea, il valore limite inferiore di efficienza per i fornelli a gas è indicato pari al 54%, mentre nel caso di fornelli elettrici, tipicamente risulta intorno all'80% [34].

Nel 2018, la Federazione Italiana Pubblici Esercizi (FIPE) ha condotto uno studio sulle abitudini alimentari dei cittadini italiani, stimando la frequenza dei pasti effettuati fuori casa. I risultati dell'indagine campionaria sono presentati nel rapporto "Osservatorio sui consumi fuori casa" e sono riportati in Tabella 3.3. È stato dunque possibile determinare un fattore di utilizzo pari al 47.8%, relativo alla frequenza di utilizzo della cucina e del consumo dei pasti presso le proprie abitazioni durante l'anno [35].

Pasti fuori casa	<i>Tutti i giorni</i>	<i>3-4 volte/sett.</i>	<i>1-2 volte/sett.</i>	<i>1 volta/2 sett.</i>	<i>2-3 volte/mese</i>
<i>Colazione</i>	11%	15%	17%	7%	16%
<i>Pranzo</i>	11%	15%	16%	8%	17%
<i>Cena</i>	2%	5%	18%	11%	27%

Tabella 3.3: Frequenza percentuale dell'abitudine dei cittadini ad effettuare pasti fuori casa (dato elaborato dall'Osservatorio sui consumi fuori casa 2018)

Il consumo medio legato agli usi in cucina è stato pesato sulla superficie utile delle abitazioni con dettaglio comunale, il quale risulta essere pari a circa 10.6 kWh/(m² anno), dunque circa 1.1 MWh/(abitazione anno) nel Bacino Padano.

3.1.4 Consumo specifico per riscaldamento nelle seconde case

Come esposto in §2.1.1.1, la stima delle seconde case presenti sul territorio del bacino padano è stato ricostruito tramite l'analisi dei dati risultante dall'indagine campionaria. Si stima infatti che le case vacanze siano maggiormente presenti nei grandi comuni e nelle piccole località di montagna, con un'incidenza superiore al 9% sulle prime case. Per fornire una stima realistica dei consumi sarà necessario considerare l'utilizzo occasionale delle seconde case in relazione alle diverse località analizzate.

La metodologia utilizzata prevede l'applicazione del fattore di incidenza statistica delle case vacanze nelle varie tipologie comunali definite in Tabella 2.2 del precedente capitolo, dalla quale è possibile stimare un numero di unità abitative superiore a 690,000 all'interno del bacino padano. In analogia con quanto riportato nel D.M. 11 maggio 2015 "Burden Sharing" per i dispositivi a biomassa [36], il

consumo legato al riscaldamento delle case vacanza è stato valutato applicando la seguente equazione:

$$CCV_h = CV \cdot O \cdot I \cdot c_h \quad (3.5)$$

dove:

CCV_h	Consumo per riscaldamento delle case vacanza [kWh/anno]
CV	Numero di case vacanza
O	Numero medio di giorni di utilizzo delle case per vacanza nel corso di un anno
I	Incidenza dell'utilizzo delle case per vacanza nella stagione invernale
c_h	Consumo medio specifico per riscaldamento delle abitazioni [kWh/(abitazione anno)]

Una volta determinato il numero di seconde case presenti nei comuni del Bacino Padano, è possibile valutare il consumo specifico annuo per il riscaldamento delle unità abitative, in media pari a 14.3 MWh/(abitazione anno).

Dal Rapporto sul Turismo nelle Abitazioni del 2005 [37] è possibile valutare in numero dei giorni di utilizzo delle seconde case nel corso dell'anno, in media pari a 64 per le regioni del Nord-Ovest, e 74 per le regioni del Nord-Est. Come suggerito nel D.M. "Burden Sharing", per stimare il fattore I , è utile far riferimento al rapporto sulle Attività Ricettive Regionali pubblicato da ISTAT con riferimento all'anno 2018 [38]. Considerando la stagione invernale, il movimento dei clienti negli esercizi ricettivi regionali viene riportato in termini percentuali nella seguente tabella:

Attività ricettive ISTAT (2018)	
Piemonte	34.4%
Valle d'Aosta	30.3%
Lombardia	34.5%
Trentino-Alto Adige	32.1%
Bolzano	32.4%
Trento	31.9%
Veneto	34.1%
Friuli-Venezia Giulia	38.3%
Emilia-Romagna	35.7%

Tabella 3.4: Suddivisione regionale delle attività ricettive ISTAT 2018 (dato elaborato)

Il consumo complessivo per riscaldamento legato alle seconde case del Bacino Padano risulta dunque superiore a **654 GWh** per il 2018.

3.1.5 Consumo specifico di energia elettrica

I consumi elettrici nel settore domestico sono stati ricavati dai dati presentati da TERNA nell'annuario statistico relativo al 2018, ammontando a circa 65,138 GWh sul territorio nazionale, di cui 31,057 GWh nel Nord Italia [39]. Per effettuare una stima a livello comunale nelle regioni del Bacino Padano, è stato considerato il consumo pro capite medio relativo agli abitanti dell'Italia settentrionale, pari a circa 1,120 kWh/abitante. Normalizzando tale dato sulla superficie utile delle abitazioni del Bacino, ricaviamo un valor medio pari a 24.9 kWh/(m² anno), il quale corrisponde complessivamente a circa 28.2 TWh (**101.6 PJ**). Essi comprendono, oltre ai consumi legati all'illuminazione e all'uso degli elettrodomestici, anche la quota legata alla cottura dei cibi (circa il 14.3%) e quella per la produzione di ACS (circa il 4.7%).

3.2 Stima dei consumi totali

Dalla sommatoria del consumo totale a livello comunale legato ai diversi usi finali come produzione di ACS, cottura dei cibi e riscaldamento, è possibile ricavare il consumo di energia finale del Bacino Padano. A partire dal database degli edifici calcolato con il metodo M1, tale consumo risulta pari a **599.6 PJ**, per la parte termica, e **101.6 PJ** per la parte elettrica. Dalla quota relativa al consumo legato al riscaldamento, il consumo di biomassa è stato ricavato come differenza tra energia totale stimata e l'energia totale misurata dai vari enti, presentata al Capitolo 1, e risulta pari a **88.0 PJ**. Tale valore, è stato normalizzato in funzione dei rendimenti medi degli impianti termici che utilizzando combustibili fossili e degli impianti che utilizzano biomassa per l'integrazione ed il confronto con il bilancio ricostruito dai vari enti, risultando pari a circa **96.8 PJ**⁸. La stessa procedura, applicata a partire dal database delle abitazioni ricavate con il metodo M2, risulta pari a circa **101.7 PJ**, mentre il consumo di energia finale è stimata pari a **604.4 PJ**. I consumi globali risultanti dai bilanci elaborati con i metodi M1 e M2 sono confrontati in Figura 3.2 con il bilancio ricostruito dai vari enti (si veda §1.1), a cui è stata aggiunta la quota energetica della biomassa stimata dall'indagine campionaria ARPAV:

⁸ Include anche l'energia associata al calore derivato da teleriscaldamento a biomassa pari a 1.4 PJ

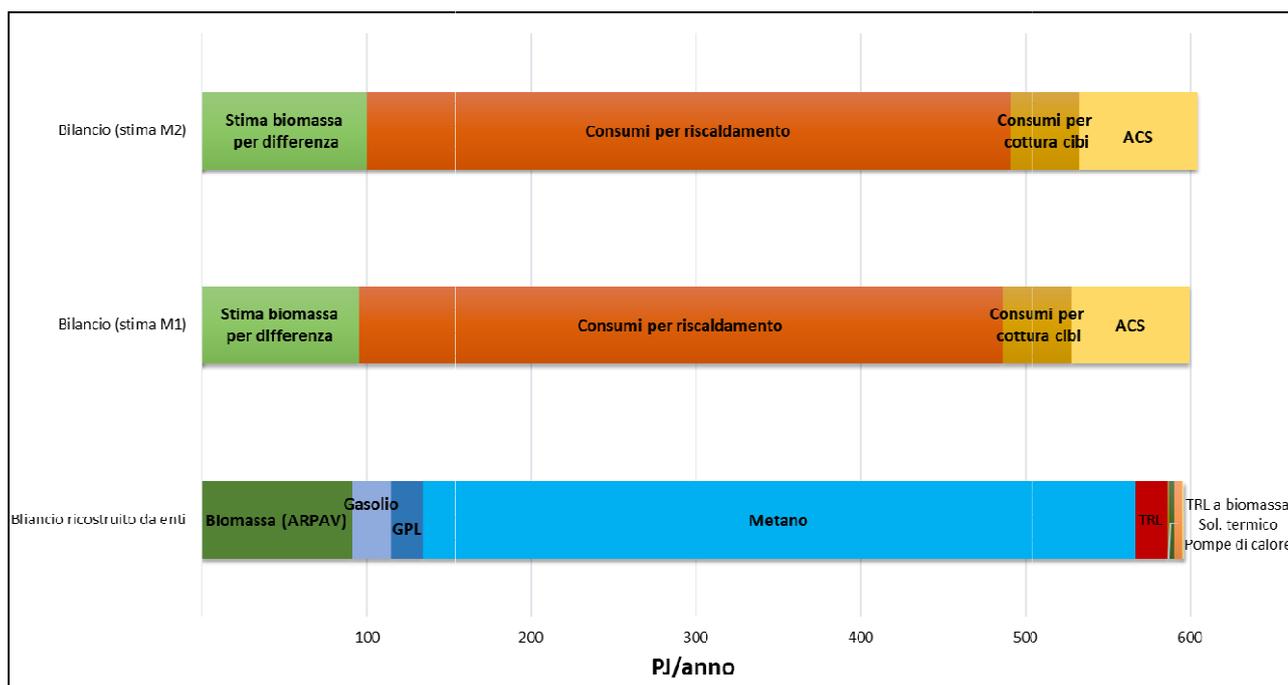


Figura 3.2: Confronto tra il consumo totale (in PJ/anno) nel settore residenziale (esclusa energia elettrica) ricostruito dagli enti, a cui è stata aggiunta la biomassa da calore derivato e quella derivata da ARPAV tramite indagine campionaria, e dalla stima di bilancio elaborata sulla base dei metodi M1 e M2.

Il bilancio energetico ricostruito dagli enti, a cui viene aggiunta la stima di biomassa di ARPAV e il calore derivato da teleriscaldamento a biomassa, pari a **595.0 PJ**, risulta ben confrontabile con quanto stimato nei due metodi con una differenza relativa pari all'**0.8%** (metodo M1) e all'**1.6%** (metodo M2). Si noti che, in tali bilanci, la parte relativa ai consumi finali di energia elettrica non è stata inclusa.

La quota di energia associata al consumo finale suddiviso per le diverse destinazioni d'uso è rappresentata nel diagramma di Figura 3.3, utilizzando la procedura di calcolo del metodo M1 per la parte di riscaldamento. La distribuzione percentuale risultante è confrontabile con quanto riportato da ENEA, a livello nazionale, per i consumi nel settore residenziale 2017 (17.7% per cottura cibi e ACS, 70% per climatizzazione invernale/estiva e 11.8% per apparecchi elettrici) [30], e alla ripartizione dei consumi tipo per una abitazione presente nel rapporto Energia Clima e Ambiente (67% per riscaldamento, 15% legato ad elettrodomestici, 12% per produzione ACS e 6% per uso della cucina) [40].

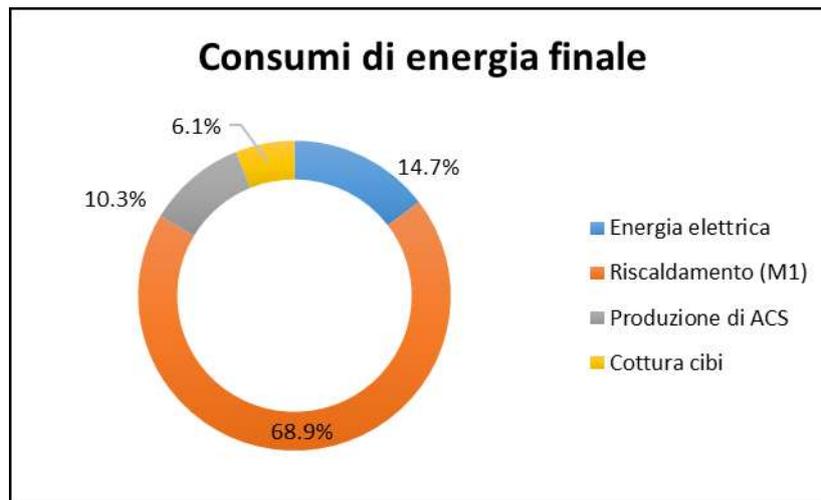


Figura 3.3: Ripartizione percentuale dei consumi totali stimati per il settore residenziale, con riferimento al 2018. Nel grafico, il metodo M1 è stato utilizzato per stimare il riscaldamento domestico

In Figura 3.4 è riportata la ripartizione del consumo stimato per la produzione di ACS, il quale ammonta a circa **71.4 PJ**, includendo la quota relativa al solare termico, e a circa **75.7 PJ**, includendo anche i sistemi elettrici.

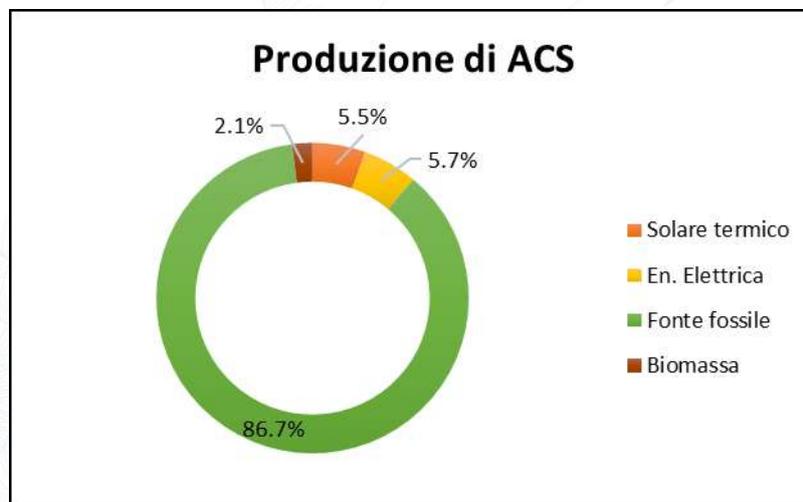


Figura 3.4: Ripartizione percentuale dei consumi totali stimati per la produzione di acqua calda sanitaria nel settore residenziale, con riferimento al 2018

3.2.1 Bilanci energetici a confronto

Il bilancio energetico presentato nel paragrafo precedente viene riportato in Figura 3.5, con suddivisione regionale, ed in Figura 3.6, in funzione del consumo di energia finale associato ad ogni

famiglia presente in abitazione. Anche in questi grafici il bilancio ricostruito dai vari enti è integrato con le stime di biomassa risultanti dall'indagine campionaria.

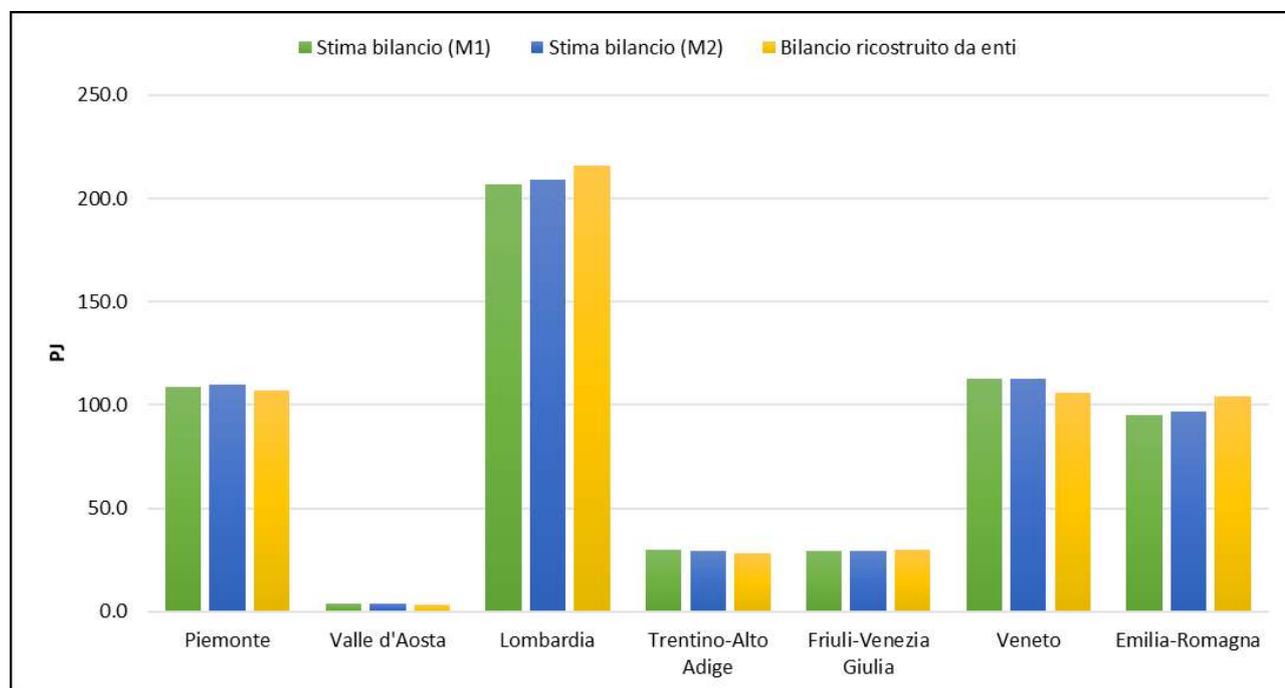


Figura 3.5: Confronto tra il consumo totale (in PJ) nel settore residenziale (esclusa energia elettrica). Nel grafico sono rappresentati sia il bilancio ricostruito dagli enti, a cui è stata aggiunta la biomassa da calore derivato e quella derivata da ARPAV tramite indagine campionaria, sia la stima di bilancio elaborata sulla base dei metodi M1 e M2. Il dato è riportato con dettaglio regionale

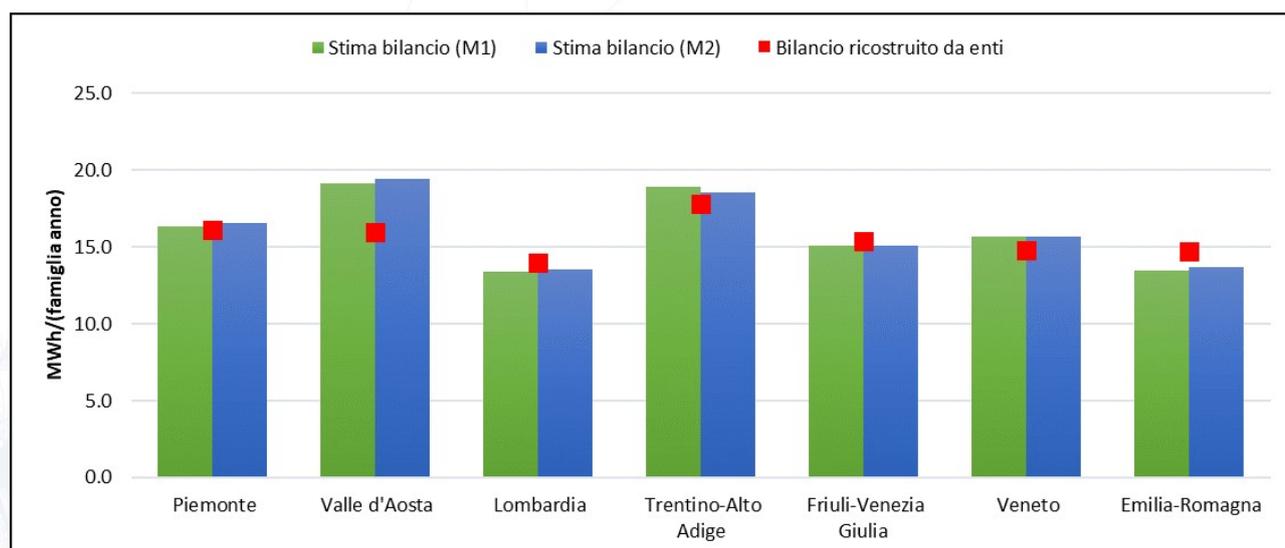


Figura 3.6: Confronto tra il consumo specifico per famiglia (in MWh/(famiglia anno)) nel settore residenziale (esclusa energia elettrica). Nel grafico sono rappresentati sia il bilancio ricostruito dagli enti, a cui è stata aggiunta la biomassa da calore derivato e quella derivata da ARPAV tramite indagine campionaria, sia la stima di bilancio elaborata sulla base dei metodi M1 e M2. Il dato è riportato con dettaglio regionale

Le differenze relative tra i bilanci, ove presenti, sono dovute alle assunzioni effettuate nelle due metodologie, dove è stato ipotizzato che tutte le abitazioni mantengano al loro interno le medesime condizioni di comfort termico per tutto l'arco dell'anno o della stagione di riscaldamento. Pertanto, i consumi tipici delle abitazioni campione sono stati valutati trascurando le condizioni eterogenee relative alle zone termiche all'interno dell'edificio. Inoltre, sono state tralasciate le differenti tecniche costruttive associate, solitamente, al luogo di costruzione (non si tiene conto, ad esempio, della diversità delle caratteristiche costruttive fra edifici costruiti in zona montuosa rispetto a quelli in pianura o in zona litoranea). In particolare, per quanto riguarda l'utilizzo degli impianti a biomassa, non vengono considerate, in questo metodo, le significative differenze di temperatura fra le varie stanze, né la possibilità che un utente decida di riscaldare, o meno, solo parte della sua abitazione.

Il consumo stimato per famiglia risulta superiore a quello dichiarato dagli enti soprattutto nelle regioni con una prevalenza di territori in zona montuosa, mentre per le regioni prevalentemente pianeggianti i consumi stimati sono leggermente inferiori a quelli dichiarati dagli enti. Le piccole differenze tra le stime ottenute dai metodi M1 e M2 possono essere individuate sia nella metodologia con cui è stato ricostruito il parco immobiliare, sia nel metodo di assegnazione dei vari consumi specifici tra i vari archetipi. Nel metodo M1 infatti, si attribuisce un peso maggiore all'energia usata per il riscaldamento delle abitazioni singole o multifamiliari, avendo in genere, maggiori dispersioni di calore verso l'esterno rispetto alle palazzine, mentre nel metodo M2 la percentuale di abitazioni edificate prima del 1960 risulta più alta, determinando, nel complesso, una stima dei consumi superiore. Si noti inoltre, che diversamente dal metodo M1, la distribuzione percentuale delle abitazioni relative a differenti epoche di costruzione di M2 include anche le seconde case e le abitazioni occupate da non residenti, determinando un grado di incertezza maggiore nella costituzione del modello.

4. Applicazione del metodo energetico per il calcolo dei consumi per impianto

In collaborazione con Valter Francescato e Diego Rossi, AIEL.

Viene in seguito descritta l'applicazione del modello di calcolo secondo "l'approccio energetico" proposto da AIEL nel "Indagine sui flussi di biomassa in Trentino a fini energetici con riferimento al segmento del pellet"⁹. L'obiettivo è stimare il consumo medio annuo per tipologia di apparecchio domestico e confrontarlo con quanto emerge dalle risposte degli utenti dell'indagine campionaria svolta nella prima fase della Action D3.

Rispetto al metodo originario sono state apportate alcune modifiche, per una sua ottimizzazione, in parte attraverso i risultati ottenuti dall'indagine campionaria, in parte aggiungendo i risultati delle simulazioni per gli archetipi abitativi, che danno la possibilità di utilizzare dati di input basati sul funzionamento di un impianto, e non sui dati di targa.

La formula di calcolo tiene conto della potenza media al focolare per tipo di apparecchio e del numero di ore medie di funzionamento dello stesso, durante la stagione di riscaldamento.

4.1 Descrizione del metodo

Per determinare i consumi in tonnellate di biomasse legnose nel bacino padano, relativi all'anno 2018, viene utilizzata la seguente formula, leggermente modificata rispetto a quella proposta da AIEL per adattarla al presente caso studio:

$$C = P \cdot h \cdot \frac{0,0036}{PCI} \cdot N \cdot (\%_{1casa} + R_c \cdot \%_{2casa}) \quad (4.1)$$

Dove:

C	Consumo annuo di biomassa legnosa (t)
P	Potenza media al focolare dell'impianto (kW)
h	Ore annue effettive di accensione dell'impianto di riscaldamento
PCI	Potere calorifico inferiore del combustibile utilizzato (GJ/t)
N	Numero apparecchi (stimato da sondaggio PREPAIR 2019)
%_{1casa}	Percentuale di impianti installati sulle prime case
%_{2casa}	Percentuale di impianti installati sulle seconde case
R_c	Rapporto dei consumi fra seconda casa e prima casa

Per il calcolo dei consumi nelle seconde case, è stata utilizzata la percentuale di impianti installati in prime e seconde case (rispettivamente %_{1casa} e %_{2ca}) proveniente dall'indagine campionaria e il rapporto dei consumi R_c, che indica il rapporto fra i consumi nelle seconde case rispetto a quello nelle prime case, valore che emerge anch'esso dall'indagine ed è pari al 28% per gli impianti a pellet e al 40% per gli impianti a legna.

⁹Francescato V., Rossi D. e Favero M. 2019. Progetto PREPAIR, Report Action C8.

Si sono utilizzati i seguenti PCI:

PCI - Legna 13,108 GJ/ton

PCI - Pellet 17,284 GJ/ton

Si presenta di seguito la metodologia di calcolo e le assunzioni fatte per la valutazione dei consumi.

4.1.1 Tipologie impiantistiche

Il metodo è stato applicato sul parco impianti individuato dall'indagine campionaria, le cui tipologie sono elencate in Tabella 4.1, distinguendo tra apparecchi a legna e a pellet.

Impianti a pellet	Impianti a legna
Termovettore aria	
Stufa a pellet Caminetto chiuso o inserto a pellet Cucina a pellet	Caminetto aperto Stufa a legna Caminetto chiuso o inserto a legna Cucina a legna Stufa in maiolica
Termovettore acqua	
Termostufa o termocamino a pellet Caldaia a pellet	Termostufa o termocamino a legna Caldaia a legna

Tabella 4.1: tipologie di apparecchi considerate nel presente studio

4.1.2 Numero di apparecchi

Il numero di apparecchi è stato stimato sulla base dei risultati dell'indagine campionaria, come presentato nella Deliverable di fase 1 di questa Action¹⁰; in Tabella 4.2 si riportano le stime totali di apparecchi per regione (per ulteriori approfondimenti si rimanda al "Report sull'indagine per stimare i consumi di biomasse legnose del residenziale").

¹⁰ Action D3. Consumo Residenziale Di Biomasse Legnose Nel Bacino Padano, tab 4 e 5 pag 9-10, http://www.lifeprepare.eu/wp-content/uploads/2017/06/D3_Report-indagine-sul-consumo-domestico-di-biomasse-legnose-1.pdf

N° apparecchi singoli	Valle d'Aosta	Piemonte	Lombardia	Veneto	Friuli Venezia Giulia	Emilia Romagna	Provincia autonoma di Bolzano	Provincia autonoma di Trento	Totale	% apparecchi seconde case
Stufa a pellet	3,928	108,128	154,901	111,079	24,774	58,128	10,706	9,991	481,635	5.3%
Camino chiuso a pellet	607	9,735	13,657	12,196	2,335	1,503	1,863	914	42,810	3.9%
Cucina a pellet	-	960	2,040	2,037	619	-	-	-	5,656	2.3%
Termostufa e termocucina a pellet	723	9,130	3,164	6,918	1,365	7,215	-	-	28,515	0.6%
Caldaia a pellet	944	19,817	12,412	12,385	1,392	5,254	2,484	766	55,454	1.4%
Caminetto aperto	1,434	64,744	156,220	96,198	22,582	119,742	3,685	4,480	469,085	9.9%
Stufa a legna	10,575	228,548	162,851	254,609	90,779	132,637	50,897	59,303	990,199	6.0%
Camino chiuso a legna	3,788	90,635	158,183	83,894	33,038	81,622	2,948	4,629	458,737	4.6%
Cucina a legna	387	13,145	4,629	51,410	27,508	7,817	9,737	20,983	135,616	2.1%
Stufa in maiolica	841	5,077	18,588	34,905	7,464	4,838	9,112	15,087	95,912	4.0%
Termostufa e termocucina a legna	1,060	19,600	6,513	26,192	6,974	19,137	1,863	7,691	89,030	1.3%
Caldaia a legna	2,121	40,503	18,925	10,271	4,396	7,525	11,173	4,864	99,778	1.9%
Caldaia a cippato	219	-	-	-	-	-	621	766	1,606	0.0%

Tabella 4.2: parco apparecchi domestici a biomassa nel Bacino Padano

4.1.3 Numero di ore effettive di funzionamento dell'impianto

Per calcolare il numero di ore effettive di funzionamento di un impianto, è stata utilizzata la seguente formula:

$$h = h_{sim} \cdot F \quad (4.2)$$

Dove:

h_{sim} Ore annue di funzionamento per tipologia d'impianto (valore ottenuto dalle simulazioni con il software TRNSYS)

F Fattore correttivo del numero di ore (calcolato a partire dai risultati dell'indagine campionaria per tener conto della frequenza di utilizzo nei giorni della settimana in inverno e nelle stagioni intermedie)

4.1.4 Simulazioni degli impianti a biomassa

I valori relativi alla potenza media al focolare e alle ore di funzionamento annue sono stati ricavati dalle simulazioni effettuate con il software TRNSYS, nel quale è stato simulato il comportamento di un'abitazione con al suo interno diverse configurazioni impiantistiche che utilizzano la biomassa come combustibile. Per ogni tipologia d'impianto è stato definito un numero di ore massime di funzionamento giornaliero, una potenza nominale dell'impianto e un rendimento equivalente, valutato tenendo in considerazione la composizione e l'età del parco apparecchi installato come stimato dall'indagine campionaria (Tabella 4.3) [41].

La potenza nominale è definita come la potenza ceduta all'ambiente nelle condizioni di funzionamento nominale. Diversamente, la potenza al focolare ricavata dalle simulazioni si ottiene dividendo la potenza ceduta all'ambiente per il rendimento, ottenendo così la potenza sviluppata in camera di combustione.

Ogni tipologia impiantistica presenta condizioni di funzionamento differenziate. Nelle abitazioni è stato installato un impianto con caldaia a gas e radiatori, che vengono accesi nelle zone termiche (aree dell'abitazione con medesime esigenze di riscaldamento) in cui l'impianto a biomassa non è presente. Il termostato che controlla il funzionamento dei radiatori è impostato con una temperatura di set-point pari a 18°C, mentre l'impianto a biomassa mantiene la stanza ad una temperatura più alta, fissata a 22°C. Nelle abitazioni in cui sono presenti impianti a biomassa che utilizzano l'aria come fluido termovettore, si è scelto di permettere una maggiore oscillazione della temperatura nella stanza ove sono installati, che può arrivare fino a 26°C. Per quanto riguarda il limite inferiore, l'impianto si accende quando la temperatura scende sotto i 18°C. I risultati delle simulazioni sono stati destagionalizzati riportandoli a valori di gradi-giorno medi per l'anno 2018 per la fascia E (2579) e per la fascia F (3604).

4.1.4.1 Stufa a pellet

Il modello della stufa a pellet di seguito presentato, è stato utilizzato nell'applicazione del metodo energetico per descrivere non solo le stufe, ma anche le cucine e gli inserti a pellet, poiché presentano molte analogie dal punto di vista delle modalità di emissione del calore in ambiente. La stufa è posta nella zona giorno dell'abitazione. La modellizzazione è stata effettuata considerando che il 40% dell'energia generata dalla combustione venga immessa nell'ambiente attraverso aria calda e la restante parte venga ceduta dall'involucro della stufa, parte per convezione, parte per irraggiamento [42]. Il modello prevede che la stufa possa modulare la potenza fino al 30% di quella nominale, con una regolazione basata sulla temperatura della stanza. Inoltre, si assume che la stufa impieghi un periodo di tempo di 30 minuti per arrivare a regime. L'emissione dell'aria calda dalla stufa inizia dopo 15 minuti dall'accensione. Si è ipotizzato che questo tipo di impianto venga acceso tre volte al giorno e che funzioni al massimo per 11 ore.

Tipologia d'impianto	Potenza nominale	Rendimento equivalente	Ore massime di funzionamento
Stufa a pellet	10 kW	82.4%	11
Caldaia a pellet	12 kW	89.8%	-
Stufa a legna	10 kW	72.8%	11
Camino chiuso a legna	10 kW	66.6%	8.5
Camino aperto	3.28 kW	30%	6
Caldaia a legna	17 kW	79.9%	-

Tabella 4.3: configurazione degli impianti nelle simulazioni effettuate con TRNSYS

4.1.4.2 *Stufa a legna e camino chiuso a legna*

Il modello della stufa a legna è stato utilizzato anche per la stufa in maiolica e per la cucina a legna. Questo modello e quello del camino chiuso, differiscono fra loro per il numero di ore massime giornaliere di utilizzo e per l'efficienza dell'impianto, entrambi riportati in Tabella 4.3. Il modello è simile a quello della stufa a pellet, con la differenza che in questo caso l'impianto lavora a regime dopo 45-60 minuti dall'accensione. Terminato il tempo di avviamento, si attiva la ventola di immissione dell'aria calda. Inoltre, la stufa può modulare il carico fino all'80% della potenza nominale, ipotizzando che all'aumentare della temperatura della stanza, l'utente immetta meno biomassa in camera di combustione.

4.1.4.3 *Camino aperto*

Il funzionamento del camino aperto è uno dei punti più controversi di questo studio, data la numerosità di questa tipologia impiantistica sul territorio, come emerso dall'indagine campionaria, nonostante la scarsa efficienza come metodo di riscaldamento. L'ipotesi effettuata in questo studio riguarda un utilizzo del camino aperto prevalentemente basato sull'abitudine. Si fissa un funzionamento nella fascia pomeriggio-sera per un massimo di sei ore giornaliere. In questo caso non è prevista modulazione del carico e la potenza è ceduta all'ambiente interamente per convezione naturale e per irraggiamento. Il rilascio dell'energia è lento e la combustione arriva a regime in 60-75 minuti. La potenza nominale, espressa in tabella, è valutata considerando un carico di legna pari a 3 kg all'ora, con conseguente potenza al focolare di 10.92 kW e rendimento del 30%.

4.1.4.4 *Caldaie e termostufe*

Il funzionamento delle caldaie e delle termostufe è stato valutato senza fissare un numero di ore massime giornaliere di funzionamento, ma con un termostato, fissando condizioni di comfort termico nell'abitazione, e permettendo l'accensione dell'impianto ogni qualvolta vi fosse richiesta di calore da parte dell'edificio. L'impianto utilizza come terminali i radiatori ed è dimensionato in modo analogo a quanto descritto in §2.3.3 per l'impianto con caldaia a gas.

4.2 Valori ottenuti dalle simulazioni

I principali risultati delle simulazioni sono le stime del numero di ore di funzionamento annue degli impianti e la potenza media al focolare, che permettono l'implementazione della formula descritta al precedente § 4.1.

Nelle Figure 4.1 e 4.2 sono riportati rispettivamente la potenza media al focolare e il numero di ore di funzionamento annue degli impianti. Nella successiva Figura 4.3 viene presentato il consumo medio annuo per due configurazioni impiantistiche: quella con il solo impianto a gas, indicata con "consumo metano" (riportata con un quadratino blu), e quella in cui alla caldaia a metano è associata l'installazione in zona giorno di un impianto a biomassa, rappresentata nel grafico con istogrammi che suddividono il consumo in "metano complementare" e "biomassa".

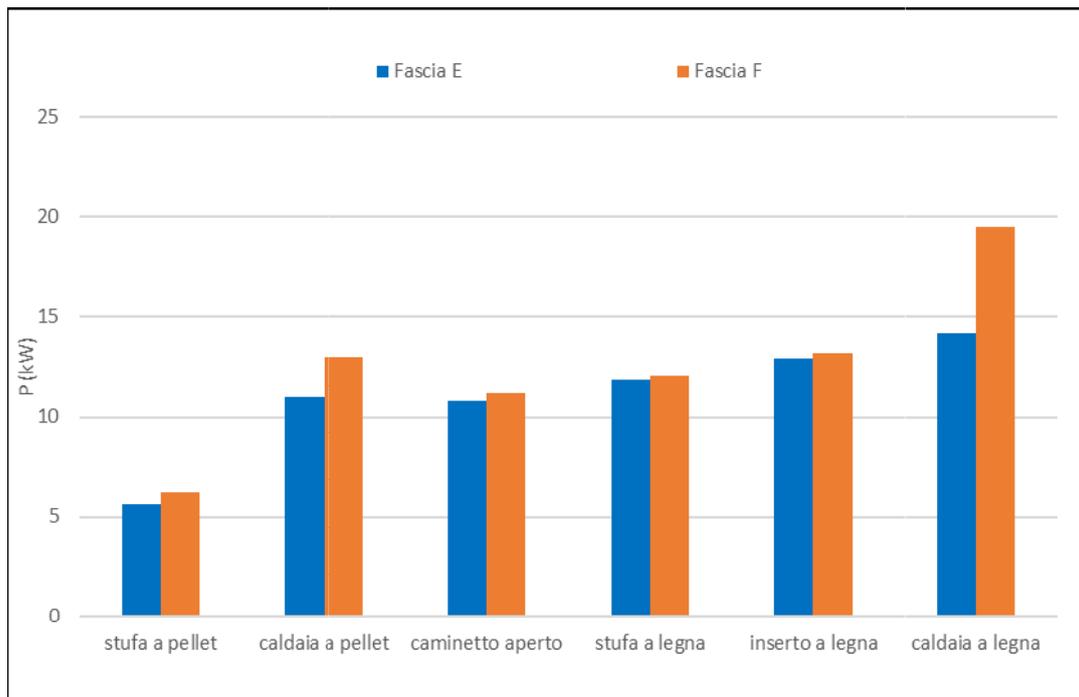


Figura 4.1: Potenza media al focolare per impianto risultante dalle simulazioni condotte con TRNSYS

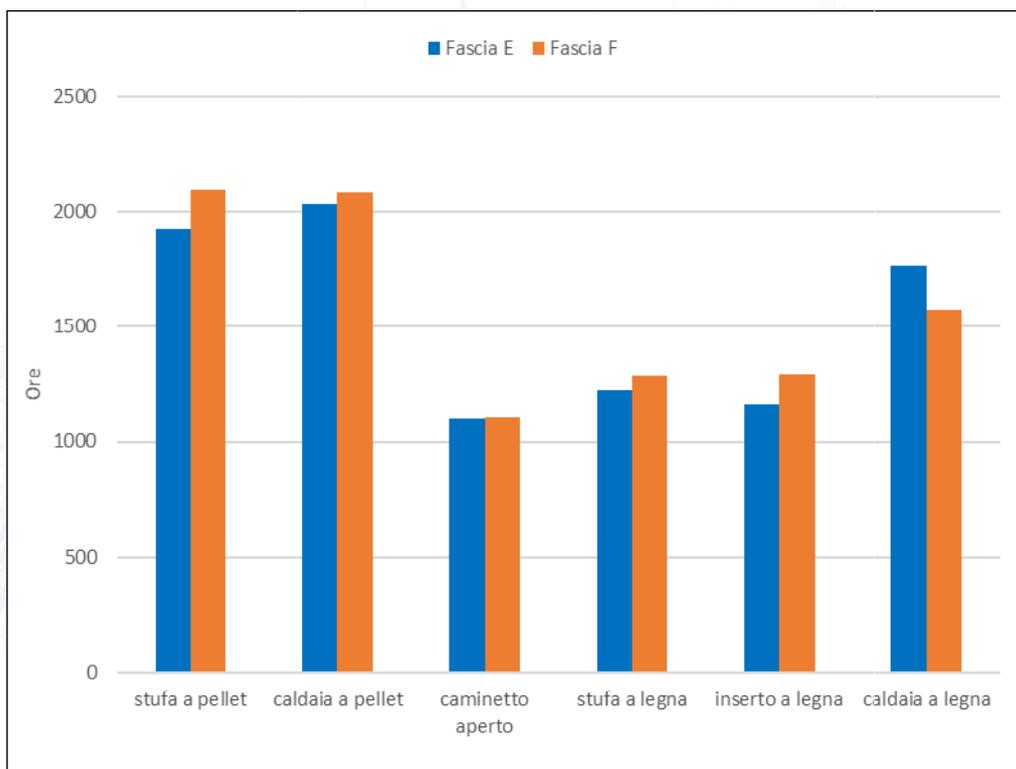


Figura 4.2: Ore medie di funzionamento annue risultanti dalle simulazioni condotte con TRNSYS

Dai risultati ottenuti dalle simulazioni, si può riscontrare che mediamente un impianto a pellet rimane acceso per un numero superiore rispetto ad un impianto che utilizza la legna come combustibile. I minori tempi di avviamento e di spegnimento degli impianti a pellet incidono su questo aspetto, ma

ciò che maggiormente influenza il funzionamento è la possibilità degli impianti a pellet di modulare la potenza in maniera significativa: infatti la possibilità di lavorare emettendo il 30% dell'energia rispetto alle condizioni di carico nominale permette agli impianti a pellet di attenuare il picco di potenza e di rilasciare quindi il calore più lentamente. Questo aspetto è stato confermato dalle simulazioni, nelle quali si è visto che in seguito all'accensione, l'impianto lavora solo per poco tempo alla potenza nominale, quindi diminuisce il carico e il funzionamento si attesta fino allo spegnimento ad una potenza inferiore. Pertanto, gli impianti a pellet rimangono accesi per un numero maggiore di ore ad una potenza media al focolare minore in confronto a quelli a legna come si può vedere dai grafici.

Il grafico di Figura 4.3 mette in evidenza come l'impianto che comporta un maggiore risparmio dal punto di vista energetico è la combinazione della stufa a pellet con la caldaia a metano. Questo risparmio è dovuto ad una minore richiesta di energia derivante dai combustibili stessi per mantenere condizioni di comfort all'interno di un'abitazione, e dipende dai rendimenti degli impianti e da come questi impianti si interfacciano fra loro.

Dal confronto fra stufa a pellet e stufa a legna inoltre, possono essere fatte alcune considerazioni. In primo luogo, convertendo il consumo energetico in tonnellate di biomassa utilizzata, il divario fra pellet e legna risulta ancora più accentuato, dati i diversi poteri calorifici. In merito al comfort all'interno dell'edificio, non si può confrontare l'utilizzo di questi due impianti senza tenere in considerazione che la stufa a legna causa situazioni di surriscaldamento all'interno delle stanze ove viene installata, aspetto notevolmente ridotto nel caso di stufa a pellet. Considerando però il consumo del metano complementare, a causa del maggiore surriscaldamento nella stanza in cui è installato l'impianto a legna, una quantità maggiore di energia viene distribuita alle altre stanze rispetto all'impianto a pellet, fattore che comporta una diminuzione del ricorso alla caldaia. Un'ultima considerazione riguarda il camino aperto: dalle simulazioni risulta che il suo utilizzo implica un risparmio di metano piuttosto limitato.

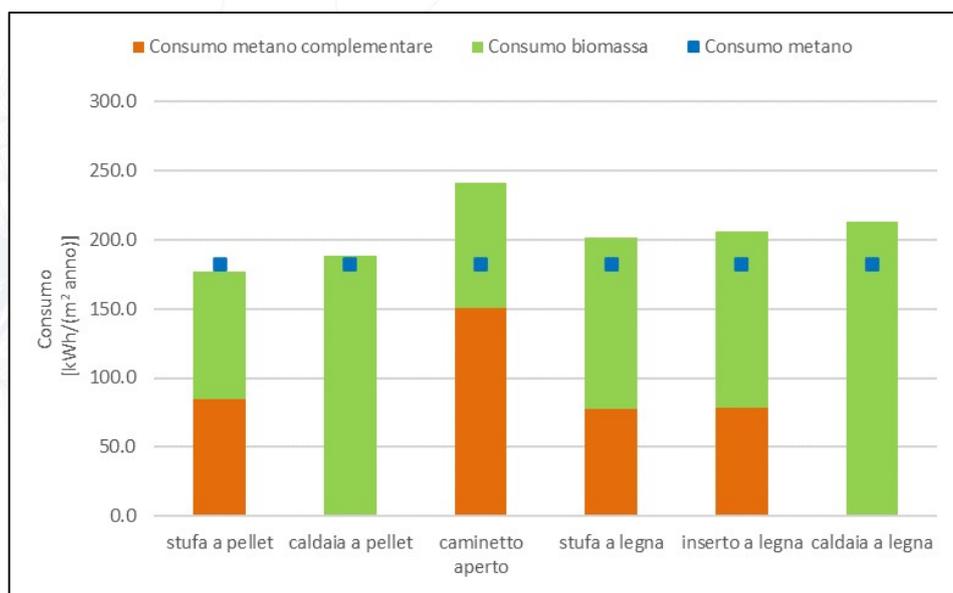


Figura 4.3: Consumo medio annuo risultante dalle simulazioni condotte con TRNSYS

È necessario sottolineare comunque che i risultati sopra riportati non hanno come obiettivo un confronto preciso fra loro delle diverse tipologie impiantistiche, in quanto sarebbe necessario analizzare aspetti legati al funzionamento e al comfort interno dell’edificio che sono stati semplificati ai fini del presente studio, bensì mirano a simulare un comportamento realistico da parte del generatore di calore a biomassa. Un altro fattore molto importante riguarda l’utilizzo dell’impianto “complementare” di metano: il suo consumo è legato ad una scelta dell’utente; per le simulazioni effettuate sono state impostate delle temperature del termostato pari a 18°C costanti, ma non è escluso che utenti diversi impostino valori di temperatura diversa oppure optino per tenere la caldaia spenta.

4.2.1 Fattore correttivo

I valori di potenza media al focolare e del numero di ore descritti nei paragrafi precedenti non si riferiscono ad un consumo medio degli impianti a biomassa legnosa, bensì ad un consumo “intenso”. Per tenere conto dell’utilizzo più o meno assiduo da parte di diversi utenti, è stato utilizzato un fattore correttivo F .

Il fattore correttivo prende in considerazione il numero di giorni in cui l’impianto viene acceso sulla base delle risposte alla domanda “Con quale frequenza utilizza l’impianto a biomassa?”, posta sia per la stagione invernale, sia per la stagione primaverile/autunnale nell’indagine campionaria¹¹. Da queste risposte è stato costruito il fattore f_d relativo alla percentuale di utilizzo rispetto alla stagione di riscaldamento (Tabella 4.4):

		f_d
1	tutti i giorni o quasi	100 %
2	3-4 giorni a settimana	50 %
3	circa una volta a settimana	13 %
4	meno di 4 volte al mese	6 %

Tabella 4.4: fattore correttivo applicato alle risposte al questionario inerenti la frequenza di utilizzo degli impianti a biomassa

Il calcolo è stato effettuato in seguito ad una suddivisione delle risposte degli utenti residenti in pianura o collina, utilizzate per il calcolo del fattore per la fascia E, da quelle dei residenti in zone montuose, le cui risposte sono state utilizzate per il calcolo del fattore in fascia F. Inoltre, per ogni zona climatica, gli impianti sono stati suddivisi sulla base del combustibile utilizzato (sono stati effettuati calcoli separati per impianti a legna e a pellet) e sulla base del fluido termovettore, distinguendo pertanto fra impianti con termovettore aria (camini chiusi, stufe, cucine) e impianti con termovettore acqua (termostufe, caldaie); per i caminetti aperti è stato inoltre effettuato un calcolo separato rispetto alle altre tipologie impiantistiche.

¹¹ Domande 4.5 e 4.6 del questionario posto in appendice al “Report sull’indagine per stimare i consumi di biomasse legnose del residenziale”

Il fattore f_d è stato quindi moltiplicato per la percentuale delle risposte ottenute (fattore f_r) secondo la suddivisione sopra riportata:

$$F' = f_{r,1} + 0,5f_{r,2} + 0,13f_{r,3} + 0,06 f_{r,4}$$

Dal calcolo sono emersi due fattori per ogni categoria di apparecchio e per ogni fascia climatica, uno riguardante il funzionamento in inverno (F'_{in}) e uno riguardante il funzionamento durante la stagione primaverile/autunnale (F'_{pa}). Si è quindi calcolato il fattore di funzionamento come segue:

$$F = \frac{F'_{in} + F'_{pa}}{2}$$

Per la valutazione del fattore F , sono stati esclusi i sondaggi sulle seconde case. Vengono di seguito riportati i risultati ottenuti dal calcolo dei fattori di funzionamento in zona E ed in zona F (Tabella 4.5)

Tipo apparecchio	Percentuale giorni di utilizzo nella stagione di riscaldamento	
	fascia E	fascia F
stufa a pellet	60%	70%
inserto pellet	60%	70%
cucina a pellet	60%	70%
termostufa a pellet	75%	75%
caldaia a pellet	75%	75%
caminetto aperto	40%	40%
stufa a legna	60%	65%
inserto a legna	60%	65%
cucina a legna	60%	65%
stufa maiolica	60%	65%
termostufa a legna	70%	80%
caldaia a legna	70%	80%

Tabella 4.5: fattori di utilizzo degli impianti utilizzati per la stima dei consumi medi annui

4.2.2 Applicazione del metodo

Il calcolo del metodo energetico attraverso le formule sopra riportate è stato eseguito per ogni tipologia d'impianto. Dapprima si è ricavato un "consumo intenso" di biomassa per ogni tipologia di apparecchio, quindi, attraverso i fattori di funzionamento, si è giunti alla definizione di un "consumo medio per impianto". Ottenuti tali valori sia per gli impianti installati in zona E che per quelli in zona F, è stato calcolato un consumo medio globale, basato sulla percentuale di famiglie residenti in comuni di pianura e di collina rispetto a quelle con abitazione in zone montuose secondo la formula seguente:

$$C = \%_E \cdot C_E + (1 - \%_E) \cdot C_F$$

Dove $\%_E$ rappresenta la percentuale di famiglie residenti nei comuni in Zona E, mentre C sono i consumi.

I risultati ottenuti per impianto sono presentati in Tabella 4.6 e nel grafico di Figura 4.4 dove sono confrontati con i consumi per impianto medi di Bacino Padano ricavati in base alle risposte degli utenti nell'ambito dell'indagine campionaria e con i consumi presentati da AIEL nello Speciale emissioni, pubblicato nella rivista on line AgriForEnergy¹².

Tipo apparecchio	Fluido termovettore	Consumi medi per apparecchio in t/anno		
		metodo energetico modificato	AIEL (AgriForEnergy)	indagine CATI
stufa a pellet	aria	1.3	1.3	1.4
inserto pellet	aria	1.4	1.3	1.3
cucina a pellet	aria	1.4	1.1	1.0
termostufa a pellet	acqua	3.5	3.0	2.7
caldaia a pellet	acqua	3.5	3.0	2.9
caminetto aperto	aria	1.2	1.0	1.3
stufa a legna	aria	2.4	2.0	2.5
inserto a legna	aria	2.5	2.3	2.1
cucina a legna	aria	2.4	1.9	2.7
stufa maiolica	aria	2.4	1.9	2.3
termostufa a legna	acqua	4.9	5.3	4.5
caldaia a legna	acqua	4.9	5.3	5.7

Tabella 4.6: Consumi annui per apparecchio domestico a biomassa

¹² Articolo "Come cambiano i consumi e le emissioni della combustione domestica del legno", AgriForEnergy, Volume 2 del 2020, pag63-66, https://www.aielenergia.it/pubblicazioni-agriforenergy-2_2020-53.

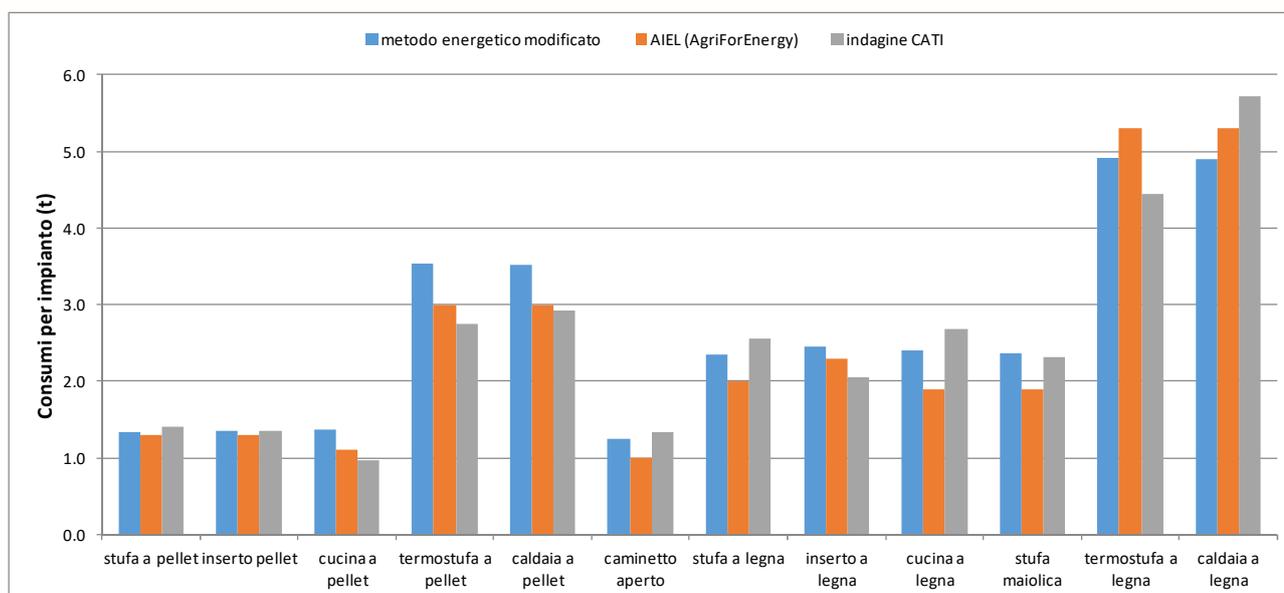


Figura 4.4: Consumo medio per impianto

Alcuni tra i risultati riportati, sono stati ottenuti in seguito ad una modellizzazione molto accurata degli impianti in questione; in generale tutti i parametri inseriti per gli impianti a biomassa con fluido termovettore aria sono da considerarsi risultato di uno studio condotto sul funzionamento intrinseco dell'impianto e sulle condizioni di comfort accettate in seguito all'installazione dello stesso.

I termo-prodotti e le caldaie a biomassa, al contrario, in questa prima fase dello studio provengono da simulazioni che non considerano tutti gli aspetti riguardanti la tipologia impiantistica in questione, né tengono conto della tipologia di utilizzo imposta dall'utente. Pertanto, i risultati delle simulazioni di termo-stufe e caldaie, pur essendo accettabili per gli scopi attuali, potranno essere oggetto di approfondimenti successivi.

4.3 Consumi totali di biomassa nelle abitazioni

Di seguito vengono messi a confronto i risultati ottenuti dall'applicazione del metodo energetico modificato presentato in questo capitolo con quelli derivanti dall'indagine campionaria, con le stime effettuate utilizzando il metodo AIEL come originariamente proposto nella Action D8, e con i dati riportati dal GSE all'interno del "Rapporto Statistico 2018" sulle FER (per calcolare la biomassa in tonnellate dal dato GSE, sono stati assunti i PCI indicati all'interno dello stesso rapporto GSE) (Figura 4.5).

In Figura 4.6 e in Tabella 4.7 si riportano i consumi totali di Bacino suddivisi per impianto, ottenuti applicando i consumi di Tabella 4.4 al parco impianti stimato con l'indagine campionaria (Tabella 4.2).

Le stime ottenute applicando i fattori di consumo per impianto sono molto confrontabili tra loro. In particolare, i valori ottenuti sono molto coerenti per quanto riguarda il pellet, con una variazione rispetto ai consumi totali stimati con l'indagine CATI pari al +3% utilizzando i consumi per impianto ottimizzati tramite le simulazioni con TRNSYS e al -4% utilizzando i consumi per impianto stimati da AIEL.

Leggermente maggiori sono invece le differenze relative agli impianti a legna, con una stima ottenuta applicando i consumi per impianto proposti da AIEL di circa il 12% inferiore al totale risultante dall'indagine campionaria. Il confronto tra il totale calcolato a partire dai consumi per impianto ricavati dal metodo energetico modificato sopra illustrato e il totale di legna da ardere stimato dall'indagine mostra una variazione pari al solo -2%, ma analizzando i risultati per impianto si nota un consumo per la stufa a legna inferiore rispetto al CATI di circa l'8%, compensato da un maggior consumo associato ai caminetti chiusi a legna.

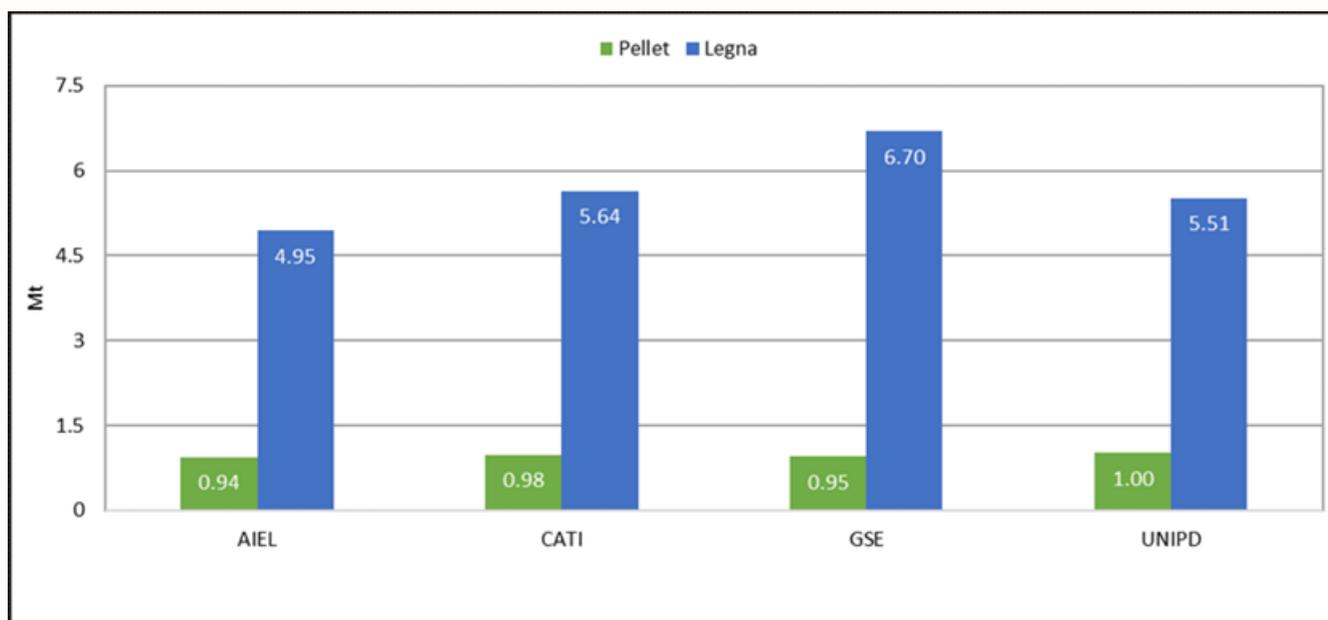


Figura 4.5: Confronto tra le stime dei consumi totali di biomassa nel Bacino Padano

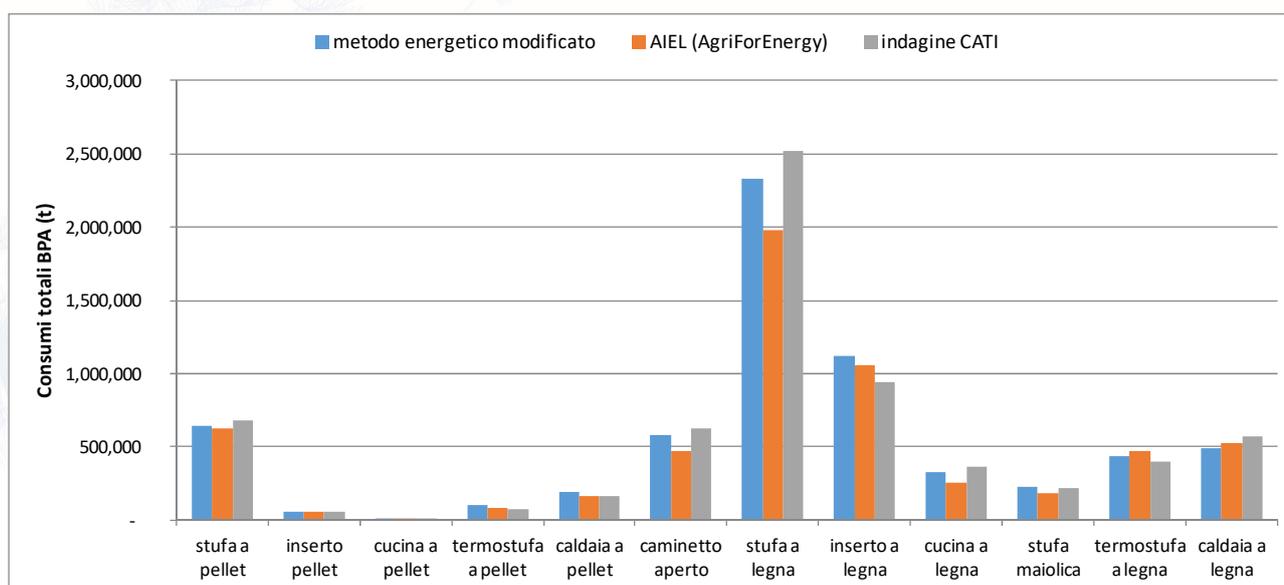


Figura 4.6: Consumi di biomassa nel Bacino Padano: stime a confronto



Consumi BPA (t/anno)	metodo energetico modificato	AIEL (AgriForEnergy)	indagine CATI
stufa a pellet	640'575	626'126	678'692
inserto pellet	57'794	55'653	57'561
cucina a pellet	7'692	6'222	5'440
termostufa a pellet	100'658	85'545	78'258
caldaia a pellet	194'644	166'362	162'131
caminetto aperto	581'665	469'085	622'367
stufa a legna	2'326'968	1'980'398	2'523'404
inserto a legna	1'123'906	1'055'095	944'207
cucina a legna	325'478	257'670	362'537
stufa maiolica	227'311	182'233	221'474
termostufa a legna	438'028	471'859	396'194
caldaia a legna	488'912	528'823	570'129
pellet	1'001'362	939'907	982'081
legna	5'512'268	4'945'164	5'640'312

Tabella 4.7: Consumi di biomassa nel Bacino Padano per tipologia di apparecchio domestico

Conclusioni

In questo rapporto viene presentata la valutazione del bilancio dei consumi energetici nel settore civile nel Bacino Padano, che costituisce la base per la successiva stima delle emissioni del comparto residenziale, considerato assieme al traffico e al settore agricolo una delle sorgenti chiave delle polveri sottili PM10.

Uno degli input fondamentali per realizzare tale bilancio è costituito dai risultati dell'indagine campionaria oggetto della prima fase di attività dell'azione D3. L'indagine non solo ha permesso di stimare la numerosità e la distribuzione degli apparecchi domestici nelle abitazioni e i relativi consumi annui, come già citato in premessa, ma ha anche fornito la base per la valutazione della distribuzione delle tipologie abitative presenti nel Bacino Padano, della presenza di seconde case e della diffusione dei sistemi di riscaldamento autonomi e centralizzati.

Questa seconda fase di attività ha visto la collaborazione del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Padova, che ha condotto un'analisi dettagliata dei consumi domestici per i diversi vettori energetici utilizzati dalle famiglie residenti nel Bacino Padano. L'attività è stata articolata in tre sottofasi:

1. è stato quantificato il bilancio energetico per le regioni del Bacino Padano, attraverso la raccolta e l'analisi dei dati relativi all'anno 2018 dei consumi energetici legati al riscaldamento, alla produzione di acqua calda sanitaria e alla cottura dei cibi per gli edifici residenziali;
2. è stata effettuata la stima dei consumi energetici degli edifici, attraverso la caratterizzazione del parco edilizio residenziale e la stima dei consumi per le abitazioni tipo, ottenuta utilizzando un software specializzato in sistemi dinamici, opportunamente configurato per tener conto delle caratteristiche costruttive, delle condizioni al contorno, degli interventi di riqualificazione degli edifici; l'estensione dei consumi per abitazione tipo a tutto il parco edilizio a livello di Bacino Padano e la destagionalizzazione in base alle condizioni climatiche dell'anno 2018, ha permesso la conseguente stima del consumo energetico complessivo;
3. il confronto tra il bilancio relativo all'anno 2018 e il consumo energetico degli edifici ha consentito di verificare la compatibilità dei risultati ottenuti dall'indagine campionaria in termini di consumi di biomassa legnosa nel residenziale con le esigenze energetiche delle abitazioni.

L'utilizzo del software TRNSYS opportunamente configurato sulle abitazioni tipo ha permesso un ulteriore livello di approfondimento relativo ai consumi di biomassa per le diverse tipologie di apparecchio domestico. I risultati delle simulazioni effettuate hanno consentito infatti di ottimizzare alcuni parametri del metodo di calcolo con "approccio energetico" proposto da AIEL nell'ambito dell'Action C8. L'obiettivo è stato stimare il consumo medio annuo per tipologia di apparecchio domestico e confrontarlo con quanto emerge dalle risposte degli utenti dell'indagine campionaria svolta nella prima fase della Action D3.

I risultati finali delle attività svolte nell'ambito dell'azione D3 sono dunque costituiti dalle stime dei consumi di metano, gasolio, GPL e biomassa nel settore residenziale nel Bacino Padano, a livello regionale e provinciale. Sono inoltre stati predisposti gli strati informativi utili per la successiva ripartizione dei consumi a livello comunale, che sarà effettuata in accordo con i referenti della Action D2.

Per quanto riguarda la biomassa, si confermano le stime presentate nel Report sull'indagine sui consumi di biomassa nel settore residenziale, con un consumo a livello di Bacino di circa 1 milione di tonnellate di pellet e 5 milioni e mezzo di legna da ardere. Considerando le più comuni tipologie di apparecchi domestici, il consumo medio annuo per le stufe, cucine e inserti ad aria alimentati a pellet si aggira attorno a 1.3 tonnellate all'anno per impianto, mentre per i corrispondenti apparecchi a legna risulta circa pari a 2.0-2.5 tonnellate all'anno; per i caminetti aperti, in funzione di un loro utilizzo inferiore rispetto agli apparecchi più efficienti a legna, il consumo si aggira tra 1.0 e 1.3 tonnellate all'anno. Consumi più elevati sono stimati invece per i termoprodotti ad acqua, alimentati sia a legna che a pellet, per i quali si considera un maggior numero di ore di funzionamento a fronte di un maggior rendimento; questi apparecchi risultano comunque ancora scarsamente diffusi nel Bacino Padano.

Bibliografia

- [1] Associazione Italiana Riscaldamento Urbano (AIRU), Il riscaldamento urbano - Annuario 2019, Editrice Alkes, Milano, 2019.
- [2] A. Agrillo et al., Rapporto statistico 2018: Energia da fonti rinnovabili in Italia, Gestore dei Servizi Energetici S.p.A (GSE), p. 168., 2019.
- [3] ISTAT, 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni, Elaborazioni dell'Istituto Nazionale di Statistica, 2011.
- [4] M. Nocera, S. Roscianelli, Le detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio esistente – 2008, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile (ENEA), Roma 2012 (<http://efficienzaenergetica.acs.enea.it>).
- [5] M. Nocera, Le detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio esistente – 2009, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile (ENEA), Roma 2011 (<http://efficienzaenergetica.acs.enea.it>).
- [6] M. Nocera, Le detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio esistente – 2010, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile (ENEA), Roma 2012 (<http://efficienzaenergetica.acs.enea.it>).
- [7] M. Nocera, Le detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio esistente – 2011, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile (ENEA), Roma 2013 (<http://efficienzaenergetica.acs.enea.it>).
- [8] M. Nocera, Le detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio esistente – 2012, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile (ENEA), Roma 2014 (<http://efficienzaenergetica.acs.enea.it>).
- [9] M. Nocera, Le detrazioni fiscali del 55-65% per la riqualificazione energetica del patrimonio esistente nel 2013, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile (ENEA), Roma 2015 (<http://efficienzaenergetica.acs.enea.it>).
- [10] M. Nocera, Le detrazioni fiscali del 65% per la riqualificazione energetica del patrimonio esistente nel 2014, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile (ENEA), Roma 2016 (<http://efficienzaenergetica.acs.enea.it>).
- [11] R. Moneta, I. Bertini, N. Di Franco, Le detrazioni fiscali del 65% per la riqualificazione energetica del patrimonio esistente, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile (ENEA), Roma 2017 (www.energiaefficienza.enea.it).
- [12] R. Moneta, I. Bertini, Le detrazioni fiscali del 65% per la riqualificazione energetica del patrimonio esistente, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile (ENEA), Roma 2018 (www.energiaefficienza.enea.it).
- [13] I. Bertini, Le detrazioni fiscali per l'efficienza energetica e l'utilizzo delle fonti rinnovabili di energia negli edifici esistenti Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile (ENEA), Roma 2019 (www.energiaefficienza.enea.it).
- [14] Servizio Studi, CRESME, Il recupero e la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio: una stima dell'impatto delle misure di incentivazione. 2019.

- [15] ISTAT, 14° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni, Elaborazioni dell'Istituto Nazionale di Statistica, 2001.
- [16] Repubblica Italiana, L. 30 marzo 1976, n. 373, Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 148 del 7 giugno 1976.
- [17] Repubblica Italiana, L. 9 gennaio 1991, n. 10, Norme in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia, pubblicato sul S.O. n. 6 alla Gazzetta Ufficiale n. 13 del 7 giugno 1991.
- [18] Repubblica Italiana, D.Lgs. 29 dicembre 2006, n. 311, Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia., pubblicato sul S.O. n. 26 alla Gazzetta Ufficiale n. 26 del 1 febbraio 2007.
- [19] Ente Nazionale Italiano di Unificazione-UNI, UNI/TR 11552:2014, Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici – Parametri termofisici, UNI, Milano, Italia, 2014.
- [20] ISTAT, Statistiche sui Permessi di Costruire, Elaborazioni dell'Istituto Nazionale di Statistica, Tavole 2013-2018 (<https://www.istat.it/it/industria-e-costruzioni>).
- [21] M. De Rosa, V. Bianco, F. Scarpa, and L. A. Tagliafico, Heating and cooling building energy demand evaluation; A simplified model and a modified degree days approach, Appl. Energy, vol. 128, pp. 217–229, 2014.
- [22] M. Mourshed, Relationship between annual mean temperature and degree-days, Energy Build., vol. 54, pp. 418–425, 2012.
- [23] Repubblica Italiana, D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10, pubblicato sul S.O. n. 96 alla Gazzetta Ufficiale n. 242 del 14 ottobre 1993.
- [24] M. De Carli et al., A database for climatic conditions around Europe for promoting GSHP solutions, Geosci., vol. 8, no. 2, pp. 1–19, 2018.
- [25] K. Stahl, R. D. Moore, J. A. Floyer, M. G. Asplin, and I. G. McKendry, Comparison of approaches for spatial interpolation of daily air temperature in a large region with complex topography and highly variable station density, Agric. For. Meteorol., vol. 139, no. 3–4, pp. 224–236, 2006.
- [26] European Committee for Standardization-CEN, EN 16798-1:2018, Energy performance of buildings – Ventilation for buildings – Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics – Module M1-6, CEN, Bruxelles, Belgio, 2018.
- [27] Ente Nazionale Italiano di Unificazione-UNI, UNI/TS 11300-2:2014, Prestazioni energetiche degli edifici – Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali, UNI, Milano, Italia, 2014.
- [28] M. Borgarello, F. Madonna, Edifici energeticamente efficienti: un'opportunità, Ricerca sul Sistema Energetico - RSE SpA, Editrice Alkes, San Giuliano Milanese (MI), 2015.

- [29] V. Corrado, I. Ballarini, and S. P. Corgnati, Typology Approach for Building Stock: National scientific report on the TABULA activities in Italy, no. June 2009. 2012.
- [30] I. Bertini, Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2019, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile (ENEA), Roma 2019 (www.energiaenergetica.enea.it).
- [31] ISTAT, I Consumi Energetici delle Famiglie, Elaborazioni dell'Istituto Nazionale di Statistica, 2013
- [32] Ente Nazionale Italiano di Unificazione-UNI, UNI/TS 11300-2, Prestazioni energetiche degli edifici – Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria, UNI, Milano, Italia, 2008. (sostituita da UNI/TS 11300-2:2014)
- [33] M. G. Villani, Inchiesta su caratteristiche e utilizzo degli elettrodomestici del freddo, del lavaggio e della cottura da parte degli utenti finali, 2011.
- [34] T. J. Hager and R. Morawicki, Energy consumption during cooking in the residential sector of developed nations: A review, Food Policy, vol. 40, pp. 54–63, 2013.
- [35] Federazione Italiana Pubblici Esercizi (FIBE), Confcommercio, Ente Bilaterale Nazionale Turismo (EBNT), Osservatorio dei consumi fuori casa 2018, Roma 2018 (<https://www.ebnt.it/studi-e-ricerche/osservatori/osservatorio-sui-consumi-fuori-casa/>).
- [36] Repubblica Italiana, D.M. 11 maggio 2015, Approvazione della metodologia che, nell'ambito del sistema statistico nazionale, è applicata per rilevare i dati necessari a misurare il grado di raggiungimento degli obiettivi regionali, in attuazione dell'articolo 40, comma 5, del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28, pubblicato sul S.O. n. 24 alla Gazzetta Ufficiale n. 123 del 29 maggio 2015.
- [37] E. Beceri, et al., Il turismo italiano negli appartamenti. Primo rapporto 2005, Rescasa, F.I.M.A.A., Confturismo, 2005.
- [38] ISTAT, Movimento turistico in Italia, Elaborazioni dell'Istituto Nazionale di Statistica, Prospetti-Turismo-2018 (<https://www.istat.it/it/archivio/236148>), 2019.
- [39] Terna S.p.A. e Gruppo Terna, Dati statistici sull'energia elettrica in Italia - 2014, Terna Rete Italia, vol. 1, pp. 7–11, 2015 (www.terna.it).
- [40] A. Boriani, W. Cariani, R. Romani, Guida pratica alla ristrutturazione e riqualificazione energetica degli edifici per Amministratori di Condominio, Agenzia nazionale efficienza energetica – ENEA, 2020.
- [41] Repubblica Italiana, D.M. 7 novembre 2017, Regolamento recante la disciplina dei requisiti, delle procedure e delle competenze per il rilascio di una certificazione dei generatori di calore alimentati a biomasse combustibili solide, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 294 del 12 dicembre 2017.
- [42] L. Georges, Ø. Skreiberg, and V. Novakovic, On the proper integration of wood stoves in passive houses: Investigation using detailed dynamic simulations, Energy Build., vol. 59, pp. 203–213, 2013.



LIFE 15 IPE IT 013

With the contribution
of the LIFE Programme
of the European Union



IL PROGETTO PREPAIR

Il Bacino del Po rappresenta un'area di criticità per la qualità dell'aria, con superamenti dei valori limite fissati dall'Unione Europea per polveri fini, ossidi di azoto ed ozono. Questa zona interessa il territorio delle regioni del nord Italia ed include città metropolitane quali Milano, Bologna e Torino.

L'area è densamente popolata ed intensamente industrializzata. Tonnellate di ossidi di azoto, polveri e ammoniaca sono emesse ogni anno in atmosfera da un'ampia varietà di sorgenti inquinanti legate soprattutto al traffico, al riscaldamento domestico, all'industria, alla produzione di energia ed all'agricoltura. L'ammoniaca, principalmente emessa dalle attività agricole e zootecniche, contribuisce in modo sostanziale alla formazione di polveri secondarie, che costituiscono una frazione molto significativa delle polveri totali in atmosfera.

A causa delle condizioni meteo climatiche e delle caratteristiche morfologiche del Bacino, che impediscono il rimescolamento dell'atmosfera, le concentrazioni di fondo del particolato, nel periodo invernale, sono spesso elevate.

Per migliorare la qualità dell'aria nel Bacino padano, dal 2005, le Regioni hanno sottoscritto Accordi di programma in cui si individuano azioni coordinate e omogenee per limitare le emissioni derivanti dalle attività più emissive.

Il progetto PREPAIR mira ad implementare le misure, previste dai piani regionali e dall'Accordo di Bacino padano del 2013, su scala più ampia ed a rafforzarne la sostenibilità e la durabilità dei risultati: il progetto coinvolge infatti non solo le Regioni della valle del Po e le sue principali città, ma anche la Slovenia, per la sua contiguità territoriale lungo il bacino nord adriatico e per le sue caratteristiche simili a livello emissivo e meteorologico.

Le azioni di progetto riguardano i settori più emissivi: agricoltura, combustione di biomasse per uso domestico, trasporto di merci e persone, consumi energetici e lo sviluppo di strumenti comuni per il monitoraggio delle emissioni e per la valutazione della qualità dell'aria su tutta l'area di progetto.

DURATA

Dall'1 febbraio 2017 al 31 gennaio 2024.

BUDGET COMPLESSIVO

A disposizione 17 milioni di euro da investire nell'arco di 7 anni: 10 quelli in arrivo dall'Europa.

FONDI COMPLEMENTARI

PREPAIR è un progetto LIFE integrato: oltre 850 milioni di euro provenienti dai fondi strutturali (risorse regionali e nazionali dei diversi partner) per azioni complementari che hanno ricadute sulla qualità dell'aria.

PARTNER

Il progetto coinvolge 17 partner ed è coordinato dalla Regione Emilia Romagna - Direzione Generale Cura del Territorio e dell'Ambiente



www.lifepreparepair.eu – info@lifepreparepair.eu

