



Ricerca di Sistema elettrico

Confronto di database e perfezionamento dello strumento di calcolo dei consumi energetici nel settore residenziale

S. Beozzo, M. Caldera, G. Puglisi

CONFRONTO DI DATABASE E PERFEZIONAMENTO DELLO STRUMENTO DI CALCOLO DEI CONSUMI ENERGETICI
NEL SETTORE RESIDENZIALE

S. Beozzo, M. Caldera, G. Puglisi (ENEA)

Dicembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2018

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

Progetto: Tecnologie per costruire gli edifici del futuro

Obiettivo: E. Analisi e benchmark di consumi energetici degli edifici nei settori economici

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 PERFEZIONAMENTO DEL CODICE DI CALCOLO DEI CONSUMI ENERGETICI.....	6
2.1 STRUTTURA DEL PROGETTO DI OTTIMIZZAZIONE.....	6
2.2 RISULTATI.....	8
3 CONFRONTO SU BASE REGIONALE DEGLI INTERVENTI DI RISPARMIO ENERGETICO TRA L'INDAGINE STATISTICA E IL DATABASE DELLE DETRAZIONI FISCALI.....	13
1.1 APPROCCIO METODOLOGICO.....	13
1.2 RISULTATI E DISCUSSIONE.....	15
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	23

Indice delle Figure

Figura 1. Outer project.....	7
Figura 2. Inner project.....	7
Figura 3. Distribuzione del consumo medio giornaliero di ACS.....	9
Figura 4. Distribuzione della massa equivalente per ciclo preparata con i piani cottura.....	10
Figura 5. Ottimizzazione del consumo medio giornaliero di ACS prodotta con l'energia elettrica. Ottimizzazione con ModeFRONTIER (a sinistra) e con il modello Matlab (a destra).....	10
Figura 6. Ottimizzazione della massa equivalente per ciclo di cottura con i fornelli elettrici. Ottimizzazione con ModeFRONTIER (a sinistra) e con il modello Matlab (a destra).....	11
Figura 7. Indicatori statistici della differenza tra i consumi desunti dall'indagine Istat e quelli calcolati dal codice ante ottimizzazione (a sinistra) e post ottimizzazione (a destra).....	11
Figura 8. Ripartizione dei consumi a livello nazionale calcolati dal codice ante ottimizzazione (a sinistra) e post ottimizzazione (a destra).....	12
Figura 9. Confronto tra le tipologie di intervento in base ai commi dell'ecobonus.....	15
Figura 10. Peso dei differenti interventi nel comma 345.....	15
Figura 11. Tipologia di intervento in base all'indagine Istat.....	16
Figura 12. Distribuzione degli interventi su base regionale.....	17
Figura 13. Distribuzione degli interventi raccolti nel DB Ecobonus tra il 2009 e il 2013 (Fonte [6]).....	17
Figura 14. Distribuzione regionale degli interventi su pareti opache.....	18
Figura 15. Distribuzione regionale degli interventi su strutture trasparenti.....	18
Figura 16. Distribuzione regionale della sostituzione delle caldaie.....	19
Figura 17. Distribuzione regionale dell'installazione di impianti solari termici.....	19
Figura 18. Tipologia di nuovo impianto termico per gli interventi del comma 344.....	20
Figura 19. Tipologia di combustibile del nuovo impianto termico per gli interventi del comma 344.....	20
Figura 20. Distribuzione regionale dei nuovi impianti termici alimentati a gas naturale.....	21

Sommario

Nel presente report sono raccolti gli ultimi risultati della linea E.1 - Metodologie e strumenti per la raccolta di dati e la definizione di modelli di riferimento dei consumi energetici nel settore residenziale – inclusa nel progetto D.1 – Tecnologie per costruire gli edifici del futuro.

Lo strumento di calcolo per la valutazione dei consumi energetici è stato perfezionato effettuando un'ottimizzazione di alcuni parametri sulla base dei record dell'indagine Istat sui consumi energetici delle famiglie italiane. A tal fine, è stato utilizzato il software di ottimizzazione ModeFRONTIER e il codice implementato in Matlab è stato opportunamente modificato, integrando in ambiente MF gli script e i file di dati di supporto strettamente necessari per ridurre i tempi di calcolo. L'ottimizzazione è stata condotta per vari combustibili: gas naturale, GPL, energia elettrica e biomassa.

Si è quindi approfondito il confronto tra l'indagine Istat e il database delle detrazioni fiscali per gli interventi di risparmio energetico nell'edilizia relativi all'anno 2014. Rispetto al precedente rapporto tecnico, nel quale il confronto era stato condotto a livello nazionale nel periodo compreso tra il 2009 e il 2013, l'analisi è stata approfondita a livello regionale. Il confronto è stato effettuato sulla tipologia dei principali interventi di riqualificazione, degli impianti termici e dei combustibili utilizzati. I risultati ottenuti confermano una bassa confrontabilità delle due fonti in merito agli interventi per riqualificazione energetica, in particolare per quanto riguarda la numerosità degli interventi.

1 Introduzione

Il codice di calcolo sui consumi energetici domestici sin qui implementato [1]-[4] consente di ripartire i consumi di energia tra i vari combustibili e di calcolare i consumi annuali per riscaldamento degli ambienti, produzione di ACS, usi cottura e per le utenze elettriche (illuminazione, elettrodomestici, raffrescamento estivo) sulla base dell'indagine Istat sui consumi energetici delle famiglie Italiane [5]. Nel corso dell'implementazione del codice è stata utilizzata l'indagine Istat attualmente disponibile, la quale fu condotta nel 2013 su un campione di 20'000 abitazioni rappresentativo a livello regionale. Questi dati forniscono una panoramica del settore domestico nel contesto energetico nazionale oltre che la base per lo sviluppo di modelli dei consumi energetici.

Nella prima parte del PAR 2017, i cui risultati sono descritti in [6] - [7], è stato implementato un nuovo set di funzioni in ambiente Matlab per il calcolo dei consumi elettrici ripartiti per uso finale. I modelli dei consumi di energia elettrica hanno dimostrato la validità di un approccio modellistico orientato all'ottimizzazione di alcuni parametri tramite un'analisi condotta sulla base dei singoli record.

Pertanto, si è utilizzato il software ModeFRONTIER di ottimizzazione multi-obiettivo per affinare il calcolo dei valori ottimali di alcuni parametri anche per altri combustibili (gas naturale, GPL, biomassa). Per integrare il codice Matlab in ModeFRONTIER sono state apportate diverse modifiche per creare il corretto flusso di dati e variabili I/O tra i due software e per ridurre i tempi di calcolo, suddividendo il codice in tre gruppi: il primo calcola le grandezze necessarie all'ottimizzazione, il secondo è lo script integrato nel workflow di ottimizzazione, mentre il terzo analizza i risultati ottenuti dall'ottimizzazione e produce i grafici e salva i file con le variabili significative. La finalità è ottenere uno strumento di calcolo che, in tempi ragionevoli e con limitate potenze di calcolo (tipiche di una workstation), riesca a determinare i consumi di energia per vari combustibili con un maggior livello di accuratezza rispetto alle precedenti versioni dello strumento di calcolo.

Nell'ottica di approfondire la conoscenza sull'evoluzione nel tempo dei consumi energetici nel settore residenziale, che rappresenta un aspetto utile per la definizione di modelli di riferimento, si è esteso il confronto tra l'indagine Istat sopra citata e il database delle detrazioni fiscali per gli interventi di risparmio energetico nell'edilizia effettuati nel 2014. Il confronto è stato condotto sulla tipologia dei principali interventi di riqualificazione, degli impianti termici e dei combustibili utilizzati. Rispetto ai risultati riportati in [6], l'analisi è stata approfondita a livello regionale.

2 Perfezionamento del codice di calcolo dei consumi energetici

Un limite delle precedenti versioni del codice di calcolo era legato al fatto che alcuni parametri, tra cui il fabbisogno giornaliero pro capite di ACS e la massa equivalente al cibo cotto sui piani cottura, erano costanti e il loro valore era impostato in modo da minimizzare la mediana della differenza tra i consumi calcolati dal modello e quelli ricavati dall'indagine Istat su un set di record, per i quali un specifico combustibile (il GPL) era usato solo per produrre ACS o per usi cottura. Questa limitazione era dovuta alla complessità nell'implementare nel codice di calcolo un modello di ottimizzazione.

Nel corso della presente annualità, il modello sviluppato per i consumi di energia elettrica contiene un algoritmo per l'ottimizzazione di tali parametri. Esso analizza tutti i possibili valori che i parametri possono assumere all'interno dei limiti impostati, e per il singolo record seleziona il valore che minimizza la differenza tra il consumo energetico calcolato e quello dalla bolletta ricavato dall'indagine Istat. Tale procedimento risulta piuttosto pesante e poco efficace, soprattutto se si vogliono ottimizzare più variabili contemporaneamente.

Nell'ultima fase del PAR 2017 si è quindi inteso superare questo limite, conducendo un'ottimizzazione a livello di singolo record. In particolare, nei record selezionati per l'ottimizzazione, il combustibile per la produzione di ACS o per i fornelli è diverso da quello per il riscaldamento degli ambienti e, nel caso dell'energia elettrica, anche per il raffrescamento estivo. Per l'energia elettrica si è usato il modello implementato nel corso della presente annualità, al fine di scorporre i consumi associati all'illuminazione e agli elettrodomestici.

L'ottimizzazione è stata condotta in ambiente ModeFRONTIER, un software dedicato all'analisi multi-obiettivo, nel quale è stato integrato il codice Matlab opportunamente modificato in modo da contenere lo script strettamente necessario all'ottimizzazione, pre-calcolando le quantità non dipendenti dallo specifico caso studio, in modo da ridurre i tempi di calcolo.

Nello specifico, i parametri che sono stati ottimizzati sono il fabbisogno giornaliero pro capite di ACS ($V_{d,w}$, per i consumi legati alla produzione di acqua calda) e la massa equivalente al cibo preparato sui piani cottura ($L_{d,c}$).

2.1 Struttura del progetto di ottimizzazione

La principale complessità del progetto consiste nel fatto che l'ottimizzazione è effettuata per ogni singolo record selezionato, pertanto è stato necessario implementare una configurazione che automatizzi l'avanzamento delle simulazioni un record dopo l'altro.

Questa esigenza è stata risolta strutturando il processo in due progetti, uno esterno (*outer project*) e uno interno (*inner project*). In sostanza, l'outer project funge da collettore di I/O, mentre l'inner project effettua l'ottimizzazione vera e propria a livello di singolo record.

L'outer project (Figura 1) ha come obiettivo quello di passare un elemento per volta del *design of experiments* (DOE) all'inner project. Il DOE contiene il numero identificativo del record i -esimo per il quale devono essere ottimizzati i parametri. Le impostazioni del DOE sono contenute nel nodo `SchedulingStart`, in particolare la tabella degli ID è importata dal file creato con lo script Matlab di preprocessing. Il nodo `i_opt` indica al software che la variabile di input che forma il DOE è uno scalare. Il nodo `SchedulingPrj2` implementa la connessione tra l'outer project e l'inner project. In particolare, esso crea i link fra le variabili di I/O appartenenti ai due progetti. Le variabili di output consistono nella intera tabella dei progetti analizzati nell'ottimizzazione (*Design table*) e nella tabella contenente la frontiera di Pareto, i cui singoli elementi sono via via calcolati dall'inner project. Queste tabelle parametriche sono raccolte, rispettivamente, dai nodi `All_Designs_DB` e `Pareto_DB`. Per salvare tali tabelle nel Design Space, è necessario utilizzare il nodo `DesignSpaceNode3` che permette anche di visualizzare le working table al termine della singola simulazione nel Design Space.

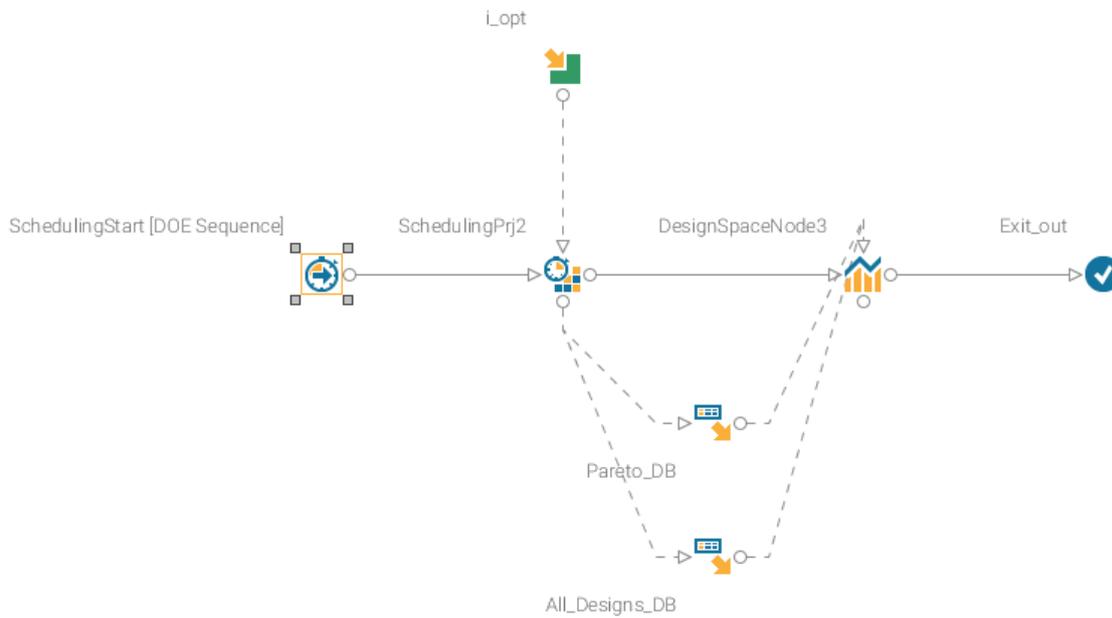


Figura 1. Outer project

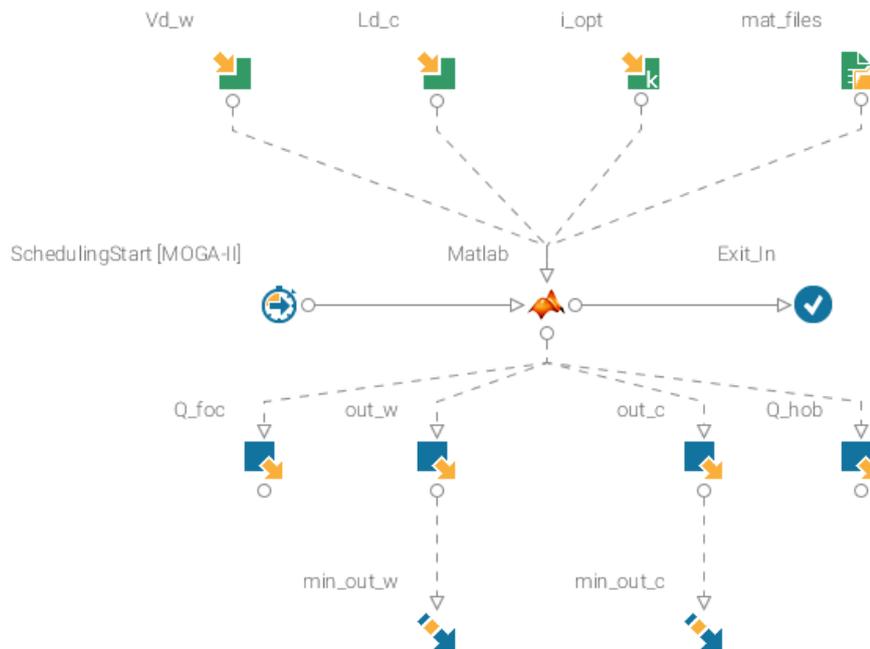


Figura 2. Inner project

L'inner project (Figura 2) è il file dove viene effettivamente effettuata l'ottimizzazione. Le grandezze di input sono, innanzitutto, l'ID del record da valutare i_opt che è impostato come costante (perché deve mantenere lo stesso valore che viene passato dall'outer project), e le variabili da ottimizzare impostate come variabili scalari, ovvero il fabbisogno giornaliero pro capite di ACS (Vd_w) e la massa equivalente di cottura per ciclo sui fornelli (Ld_c). In tali nodi è stato impostato il campo di variabilità delle grandezze: in particolare Vd_w può variare tra 10 e 300 litri/giorno/persona con uno step di 2 litri, mentre Ld_c può variare tra 0,1 e 10 kg/ciclo/persona con uno step di 0,1 kg.

Il nodo `mat_files` contiene i file di supporto con i dati che servono allo script Matlab di ottimizzazione, che sono stati calcolati precedentemente per ridurre i tempi di calcolo. Lo script utilizzato per l'ottimizzazione è passato a MF dal nodo `Matlab`. Esso calcola i consumi annuali per la produzione di ACS e per l'utilizzo dei piani cottura, oppure solo di uno dei due nel caso in cui l'ottimizzazione riguardi un solo uso finale, sulla base dello specifico fabbisogno giornaliero pro capite di ACS e della massa equivalente di cottura per ciclo sui fornelli passati in input da MF, e li confronta con i consumi da bolletta ricavati dall'indagine (contenuti nel file di supporto). Le variabili di output sono, appunto, tali consumi, raccolti nelle variabili scalari di output `Q_foc` e `Q_hob`, e le loro differenze con i consumi da bolletta ricavati dall'indagine Istat, raccolti nelle variabili scalari di output `out_w` (per l'ACS) e `out_c` (per i piani cottura). Le variabili da minimizzare sono i valori assoluti di tali differenze, `min_out_w` e `min_out_c`. Nel nodo `SchedulingStart` sono settati l'algoritmo di ottimizzazione e quello di DOE. In particolare, l'algoritmo per il DOE definisce la tecnica di campionamento dei valori di primo tentativo delle due variabili $V_{d,w}$ e $L_{d,c}$ e a tal fine è stato utilizzato l'algoritmo Sobol con un numero di coppie di valori pari a 10. Si tratta di un generatore di numeri pseudo-random, in grado di spargere i campioni nello spazio di progetto in modo efficiente e ordinato evitando eventuali accorpamenti.

L'algoritmo genetico MOGA-II è stato scelto per l'ottimizzazione. Si tratta di un metodo euristico di ricerca ed ottimizzazione, ispirato al principio della selezione naturale di Charles Darwin che regola l'evoluzione biologica. Partendo dal DOE iniziale (o popolazione iniziale) ottenuto con la tecnica Sobol, in ciascuna iterazione il MOGA opera una selezione di individui della popolazione corrente, impiegandoli per generare nuovi elementi della popolazione stessa, che andranno a sostituire un pari numero d'individui già presenti, e a costituire una nuova popolazione per l'iterazione seguente. In aggiunta alla parziale ricombinazione delle soluzioni, la tecnica si avvale anche dell'introduzione di mutazioni casuali per indagare nuovi spazi nel dominio delle soluzioni. Tale successione di generazioni evolve verso una soluzione ottima del problema.

2.2 Risultati

L'ottimizzazione è stata condotta su 6507 record (il 32,5 % del totale), che sono stati selezionati tra quelli per i quali il combustibile usato per la produzione di ACS e/o usi cottura è diverso da quello per il riscaldamento e (nel caso dell'energia elettrica) per il raffrescamento degli ambienti. Relativamente all'energia elettrica sono stati inoltre esclusi i record nei quali è indicata la presenza di un impianto fotovoltaico ed eolico, in quanto non vi sono informazioni che consentano di quantificare la produzione da fonte rinnovabile scorporandola dai consumi ricavati da bolletta.

Complessivamente, sono stati valutati 453'360 possibili combinazioni di coppie dei parametri (di cui 65'070 definite con la tecnica Sobol e 388'290 con l'algoritmo genetico), da cui risulta un numero medio di 69 simulazioni per ogni record analizzato (10 definite con la tecnica Sobol e 59 con l'algoritmo genetico). Più nel dettaglio, il numero minimo e massimo di simulazioni per singolo record è pari a 35 e 91, rispettivamente, mentre il numero di simulazioni corrispondenti al primo e il terzo interquartile è pari a 64 e 76, rispettivamente.

Il numero di record suddivisi per combustibile utilizzato nell'ottimizzazione con ModeFRONTIER è riportato in Tabella 1. A parte la biomassa, che è valutata su un numero estremamente limitato di record, per gli altri combustibili il numero di famiglie incluso nell'analisi è dell'ordine di diverse centinaia. Indipendentemente dal tipo di combustibile, la distribuzione del fabbisogno pro-capite medio giornaliero di ACS è riportata in Figura 3, mentre la massa equivalente per ciclo di cottura con i fornelli è riportata in Figura 4. In entrambi i casi sono presenti dei picchi in corrispondenza dei valori minimo e massimo dei due parametri, probabilmente legati ad alcuni costi da bolletta poco affidabili desunti dall'indagine. A tal proposito, si fa notare come l'indagine fornisca i costi di alcuni combustibili in classi (ovvero costo compreso in un intervallo di valori o per fasce di costo), in tal modo introducendo una non trascurabile approssimazione tra il valore effettivo (non noto) e il valore utilizzato nell'analisi (il valore medio dell'intervallo). Tale approssimazione incide anche in ragione del fatto che i consumi per la produzione di ACS e per gli usi cottura sono generalmente contenuti. Inoltre, si evidenzia come per il gas naturale e l'energia elettrica si siano considerate le condizioni economiche del mercato tutelato, ipotizzando uno sconto per quelle

famiglie che avevano aderito al mercato libero [4], mentre per gli altri combustibili si sono usati opportuni valori medi di prezzo unitario, che in alcuni casi potrebbero essere sensibilmente diversi da quelli effettivamente praticati dal distributore (es. GPL, biomassa).

Il codice implementato in Matlab nel corso della prima parte del PAR era in grado di ottimizzare i parametri in oggetto limitatamente all'energia elettrica, analizzando tutti i possibili valori che i parametri possono assumere all'interno dei limiti impostati (come sopra indicato, $V_{d,w}$ varia tra 10 e 300 litri/giorno/persona con passo di 2 l/g.pers, mentre $L_{d,c}$ varia tra 0.1 e 10 kg/ciclo/persona con passo di 0,1 kg/ciclo.pers), e quindi selezionando per il singolo record il valore che minimizza la differenza tra il consumo energetico calcolato e quello dalla bolletta ricavato dall'indagine Istat. L'ottimizzazione con ModeFRONTIER è più efficace e veloce, in quanto è in grado di ottenere (o di avvicinarsi al) alla soluzione ottimale senza considerare tutti i possibili design grazie all'algoritmo MOGA. Il confronto tra i risultati dell'ottimizzazione con il codice Matlab e quelli ottenuti con ModeFRONTIER per l'energia elettrica è riportato in Figura 5 (per l'ACS) e in Figura 6 (per i piani cottura). Si nota una sostanziale analogia dei risultati tra i due metodi.

Tabella 1. Numero di record inclusi nell'ottimizzazione

	ACS	Piani cottura
Gas Naturale	1153	2230
GPL	946	3236
Elettrico	1035	377
Biomassa	22	3

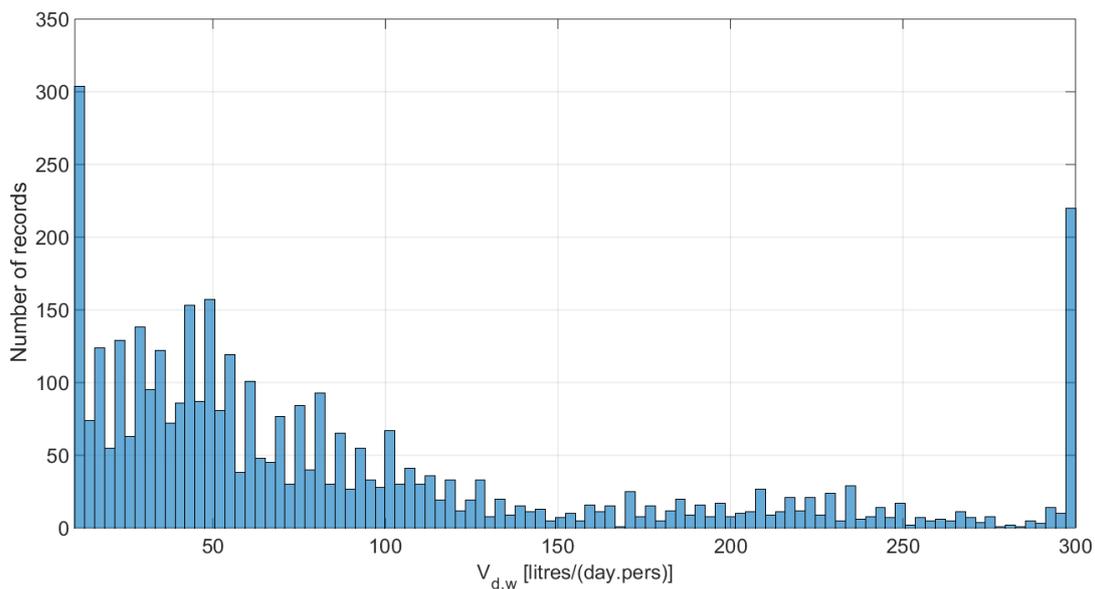


Figura 3. Distribuzione del consumo medio giornaliero di ACS

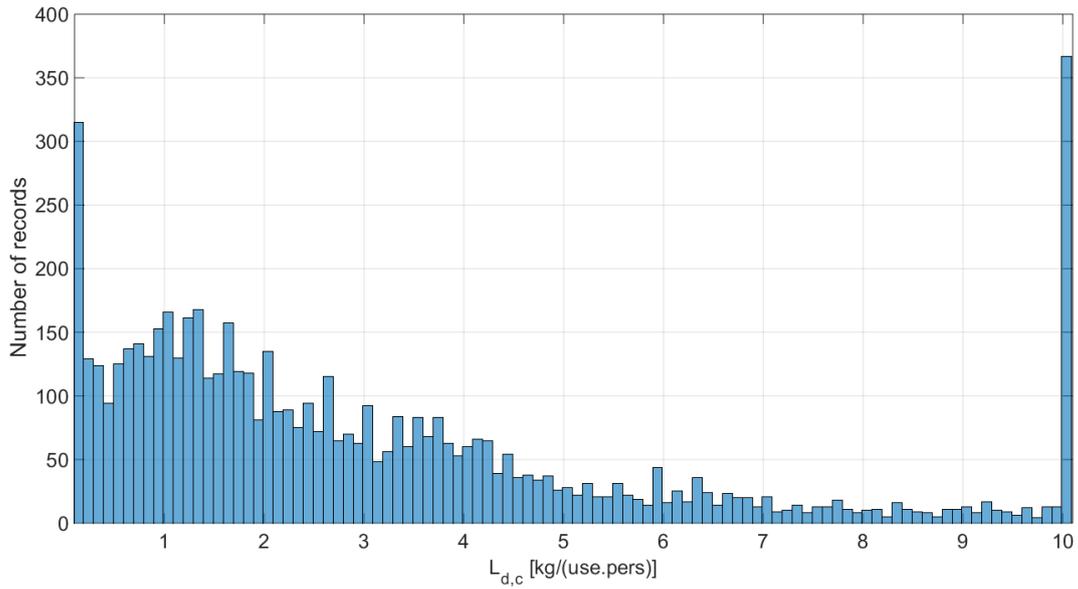


Figura 4. Distribuzione della massa equivalente per ciclo preparata con i piani cottura

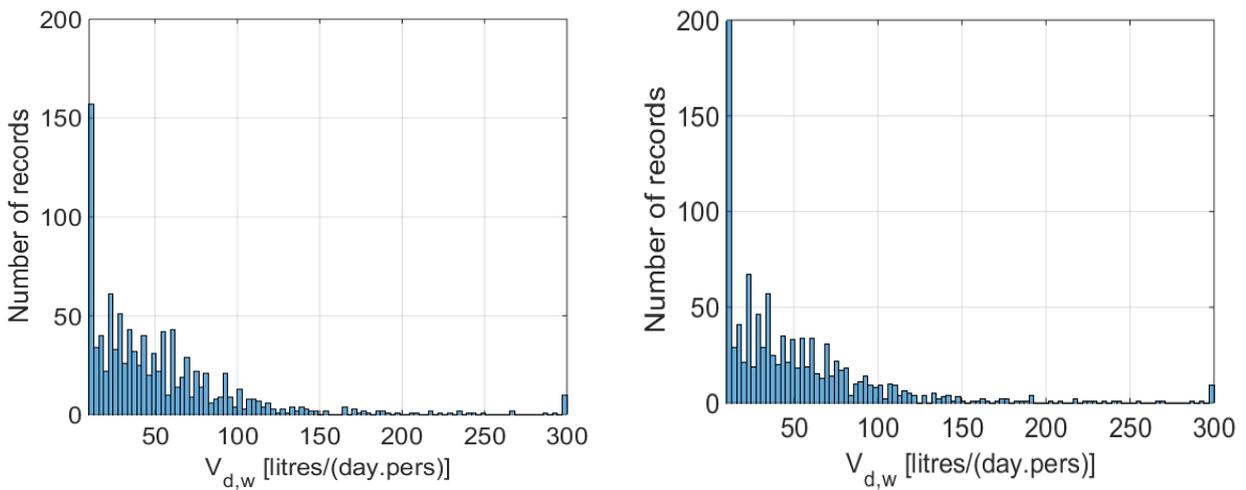


Figura 5. Ottimizzazione del consumo medio giornaliero di ACS prodotta con l'energia elettrica. Ottimizzazione con ModeFRONTIER (a sinistra) e con il modello Matlab (a destra)

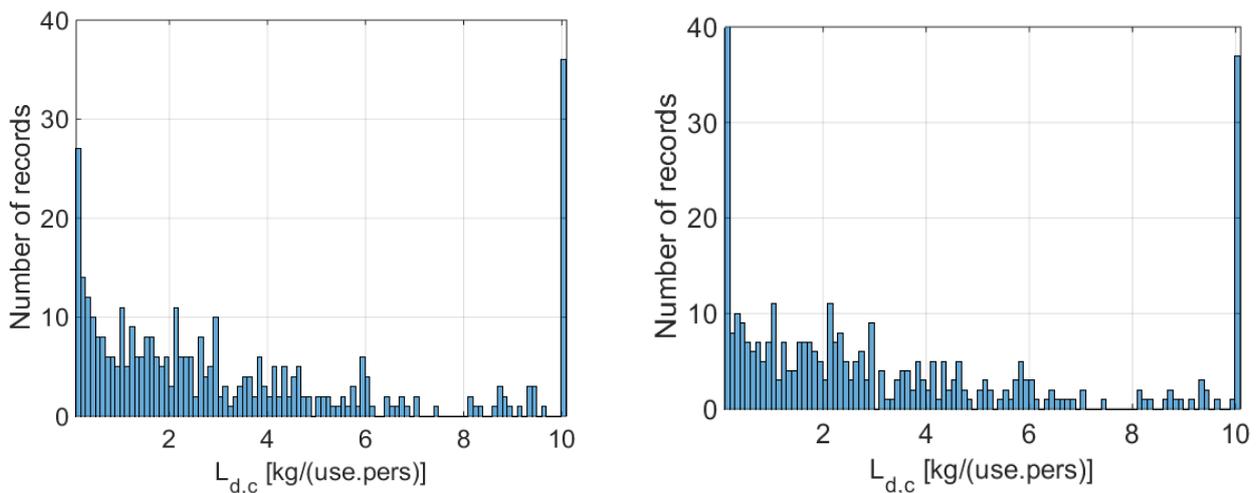


Figura 6. Ottimizzazione della massa equivalente per ciclo di cottura con i fornelli elettrici. Ottimizzazione con ModeFRONTIER (a sinistra) e con il modello Matlab (a destra)

Indipendentemente dal combustibile, l’ottimizzazione ha portato ai seguenti valori medi dei parametri, i quali sono stati applicati ai record non inclusi nell’ottimizzazione:

- $V_{d,ACS} = 60$ l/giorno.pers;
- $M_{d,cook} = 2,2$ kg/ciclo.pers.

Dal confronto con i valori impostati nelle versioni precedenti del codice di calcolo, emerge che il fabbisogno giornaliero pro capite di ACS è lo stesso, mentre la massa equivalente al cibo cotto sui fornelli è superiore (precedentemente 1,86 kg). Tuttavia, la possibilità di trovare valori specifici per i singoli record migliora significativamente lo scostamento tra i consumi desunti da bolletta desunti dall’indagine statistica e i consumi calcolati dal codice implementato per tali record, come dimostra i boxplot riportati in Figura 7 che è ottenuta considerando i record inclusi nel processo di ottimizzazione.

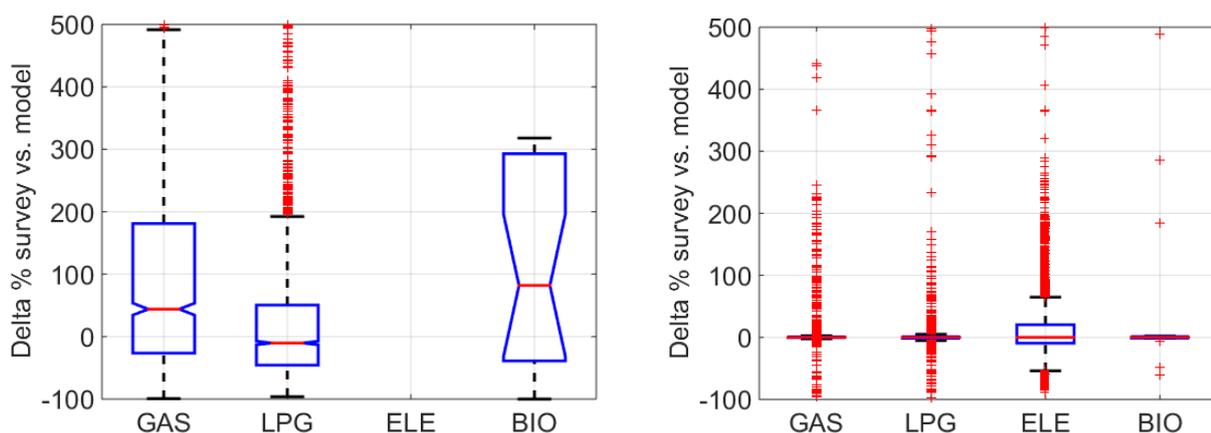


Figura 7. Indicatori statistici della differenza tra i consumi desunti dall’indagine Istat e quelli calcolati dal codice ante ottimizzazione (a sinistra) e post ottimizzazione (a destra)

Il confronto del valore mediano dei consumi annuali di energia per produzione di ACS e per l’uso dei piani cottura prima e dopo l’ottimizzazione è riportato in Tabella 2, suddiviso sulla base del combustibile e indicato per famiglia e pro capite. Per quanto riguarda la produzione di ACS, i valori ottenuti con la versione precedente del codice sono in linea con quelli ottenuti con l’ottimizzazione parametrica, in particolare per il gas naturale e per la biomassa. Per quanto riguarda i consumi medi associati ai piani cottura, si rilevano

differenze maggiori (soprattutto per la biomassa), ed in generale risultano maggiori i consumi ricavati dal modello che utilizza i parametri ottimizzati. Si fa notare come i consumi relativi all’energia elettrica ottenuti dal modello ante ottimizzazione siano ottenuti considerando lo stesso valore - costante per tutti i record - dei parametri usato per gli altri combustibili prima dell’ottimizzazione (ossia massa equivalente per ciclo di cottura pari a 1,86 kg e fabbisogno medio giornaliero pro capite di ACS pari a 60 litri).

Tabella 2. Mediana del consumo annuale ante e post ottimizzazione

		ACS		Fornelli	
		Famiglia [kWh]	Pro-capite [kWh/pers]	Famiglia [kWh]	Pro-capite [kWh/pers]
Gas Naturale	ante ott.	2199	1026	1155	578
	post ott.	2199	1026	1367	683
GPL	ante ott.	2358	858	1027	514
	post ott.	2096	831	1104	483
Elettrico	ante ott.	1607	804	770	312
	post ott.	1487	777	905	369
Biomassa	ante ott.	4544	1539	3374	1687
	post ott.	4619	1540	3990	1995

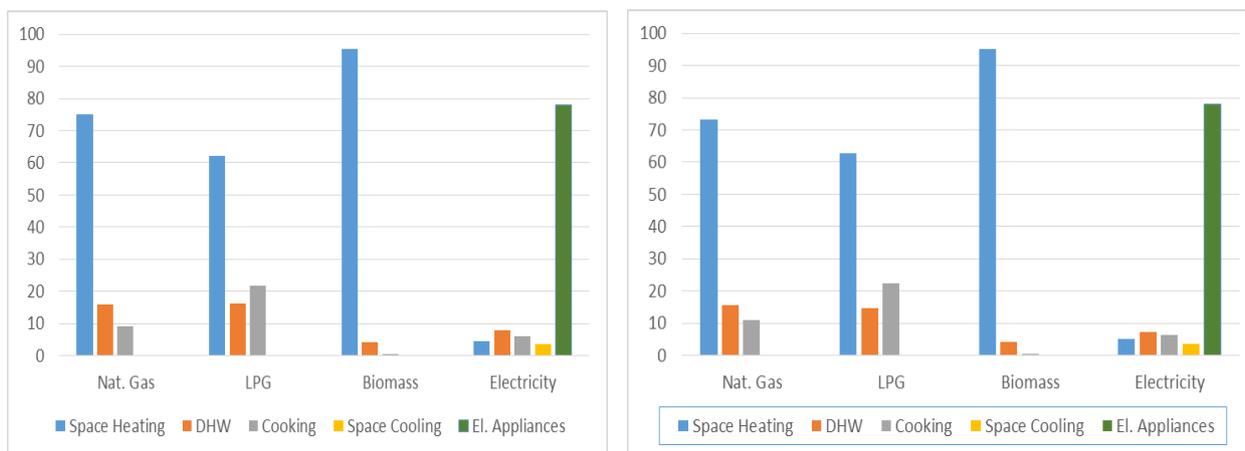


Figura 8. Ripartizione dei consumi a livello nazionale calcolati dal codice ante ottimizzazione (a sinistra) e post ottimizzazione (a destra)

Il confronto tra la ripartizione dei consumi tra i vari usi finali ante e post ottimizzazione è riportato in Figura 8, da cui si evincono limitate differenze. Uno dei motivi sta nel fatto che l’ottimizzazione non considera il riscaldamento degli ambienti, che incide in modo rilevante sui consumi annuali in ambito residenziale. Gli affinamenti hanno quindi portato a uno strumento di calcolo che, in tempi ragionevoli e con limitate potenze di calcolo (tipiche di una workstation), è in grado di calcolare i consumi di energia per vari combustibili con un maggior livello di accuratezza rispetto alle precedenti versioni.

3 Confronto su base regionale degli interventi di risparmio energetico tra l'indagine statistica e il database delle detrazioni fiscali

L'obbligo per legge (DM 19/02/2007 e s.m.i, cd. Decreto Edifici), a chi richiede detrazioni fiscali per interventi di efficientamento energetico, di fornire ad ENEA la documentazione tecnica necessaria riguardante le richieste e gli interventi eseguiti ha permesso la raccolta di un considerevole volume di dati e la costruzione di un database per il monitoraggio e la valutazione dell'evoluzione degli interventi (database Ecobonus).

Sia il database ecobonus che l'indagine Istat sui consumi energetici delle famiglie italiane rappresentano importanti fonti di studio dei consumi di energia, delle abitudini e del livello di interesse delle famiglie italiane verso l'efficienza ed il risparmio energetici. Seppur formati con scopi e modalità di raccolta dati diverse, si è ritenuto utile confrontare i due database relativamente ai principali interventi di risparmio energetico realizzati, estendendo l'analisi descritta nel precedente rapporto tecnico [6], considerando anche il database Ecobonus 2014. Nonostante sia un anno successivo all'arco di tempo considerato da Istat, il confronto permette di verificare la variazione rispetto agli anni precedenti.

E' tuttavia opportuno tenere presenti le rispettive peculiarità delle due fonti, e dunque le loro differenze:

- L'indagine Istat si basa su una rivelazione statistica di un campione rappresentativo della popolazione italiana, riguardante gli usi e le abitudini sui consumi energetici delle abitazioni di residenza, mentre il database Ecobonus contiene i dati raccolti tramite la diretta presentazione della documentazione da parte del richiedente o del tecnico incaricato;
- L'indagine Istat copre varie tipologie di usi finali dell'energia (riscaldamento, produzione di ACS, raffrescamento, usi cottura, elettrodomestici, illuminazione), mentre il database Ecobonus raccoglie i dati relativi principalmente al riscaldamento;
- Alcuni dati desunti dall'indagine Istat richiedono un'elaborazione preliminare e alcune assunzioni, per poter essere confrontati con i dati relativi all'ecobonus;
- L'indagine Istat raccoglie le informazioni comunicate da 20 mila famiglie, mentre il database Ecobonus raccoglie circa 300 mila pratiche ogni anno;
- L'indagine copre, tramite campioni opportunamente selezionati, l'intero territorio nazionale sulla base di criteri opportunamente definiti da Istat, mentre le pratiche presentate per la richiesta delle detrazioni fiscali non sono uniformemente distribuite sul territorio nazionale;
- Per quanto riguarda nello specifico gli interventi di riqualificazione energetica, l'indagine statistica richiede informazioni su interventi effettuati nell'arco di cinque anni, ovvero dal 2009 al 2013, mentre il database Ecobonus considerato in questo report è relativo agli interventi effettuati nel 2014.

Sulla base di queste differenze si sono confrontati i risultati ottenuti riguardo i principali interventi di efficientamento secondo il meccanismo delle detrazioni fiscali e la relativa distribuzione su base regionale. I risultati più significativi sono di seguito descritti.

1.1 Approccio metodologico

La metodologia di analisi dei dati tratti dall'indagine Istat è la stessa riportata in [6], a cui si rimanda per i dettagli.

I dati tratti dal database ecobonus 2014 derivano dalle pratiche ricevute, con le seguenti avvertenze:

- I risultati fanno riferimento unicamente alla documentazione tecnica inviata per via telematica attraverso lo specifico sito web: <http://finanziaria2014.enea.it>;
- I dati sono ricavati direttamente dai contenuti tecnici delle pratiche trasmesse, senza verifiche sulla loro veridicità ed attendibilità;
- Sono comunque state effettuate operazioni di filtraggio e correzione del campione statistico disponibile.

Il database Ecobonus ha una struttura complessa. E' composto da varie tabelle e rimandi ai relativi allegati, con una serie di riferimenti incrociati per l'estrapolazione dei record necessari.

Le pratiche vengono inserite ed identificate tramite un apposito campo e suddivise per singoli commi; analizzandone la struttura è possibile considerare i seguenti macro campi:

- Codice identificativo univoco della pratica e del beneficiario;
- Anagrafica e contesto dell'immobile (posizione geografica, indicazioni storico-descrittive);
- Descrizione dell'esistente (involucro edilizio e impianto termico);
- Consumi energetici e prestazioni sistema edificio-impianto;
- Eventuali problematiche tecniche (desumibili dalle raccomandazioni tecniche);
- Tipologia e caratterizzazione tecnica dell'intervento eseguito;
- Risparmio energetico conseguito;
- Caratterizzazione economica dell'intervento (costi ed entità della detrazione fiscale).

A seconda della tipologia di interventi eseguiti, e quindi del comma a cui la pratica fa riferimento, i suddetti campi vengono approfonditi in maniera diversa. A tal proposito, alcuni campi sono assenti nel caso degli interventi più semplici, es. sostituzione caldaia oppure installazione di impianto solare termico.

La creazione di tabelle riassuntive permette di raccogliere i dati necessari riguardanti il singolo identificativo di pratica e la suddivisione per commi, con i relativi specifici campi, consente una più facile analisi dell'insieme.

Sono stati considerati solo i campi che prevedono la compilazione di risposta guidata, evitando ed eliminando i campi per i quali non è possibile un'analisi automatizzabile, cioè quelli che prevedono l'inserimento di testo libero.

Nell'ottica del confronto con l'indagine Istat, che mette a disposizione una quantità di informazioni relative agli interventi di efficientamento assai minore rispetto ai database Ecobonus, si considerano solo i campi direttamente confrontabili, tra cui quelli riguardanti la posizione geografica degli immobili, la destinazione d'uso e la tipologia di intervento, trascurando i dettagli tecnici ed i risparmi energetici e finanziari.

Prima di effettuare l'elaborazione dei dati, è stata effettuata una ricerca di eventuali errori, valutando eventuali possibili correttivi degli stessi. In particolare, si nota quanto segue:

- Per la posizione geografica vi sono mancanze o dati incongruenti relativi ai CAP o alle Province inseriti, si nota una buona percentuale di campi lasciati vuoti per i CAP o errore per i Comuni con nomi uguali. Analizzando i dati disponibili in concomitanza degli errori è possibile effettuare una correzione sfruttando la ridondanza data dalla coincidenza di due su tre valori tra CAP – Comune – Provincia, correggendo l'eventuale terzo valore errato.
- Le tipologie di destinazione d'uso generale o particolare presentano saltuariamente campi vuoti. Il confronto tra la presenza in uno dei due campi dell'indicazione "residenziale" e i valori dei campi di descrizione dell'edificio e tipologia di intervento ha permesso di determinare, con adeguata precisione, la combinazione di valori indicanti abitazioni, che sono l'oggetto del presente confronto. In particolare si è notato come l'inserimento di "residenziale" nel campo "destinazione d'uso generale" facesse trascurare la compilazione del campo "destinazione d'uso particolare" proprio nel caso di abitazioni.
- I campi riguardanti la tipologia di intervento eseguito, ossia a quale comma si fa riferimento, non riportano valori assenti.

L'analisi dei dati del database Ecobonus 2014 si basa sulla distribuzione regionale e sulla tipologia di intervento. La prima parte si effettua andando ad unire le pratiche in base al comune dove sorge l'edificio e di conseguenza si ottengono i raggruppamenti provinciali e successivamente regionali. La seconda parte si ottiene suddividendo le pratiche in base ai commi di riferimento e alle tipologie di interventi effettuati. Questo approccio permette di ricavare un insieme di dati più facilmente confrontabili con i risultati ottenuti dall'indagine statistica.

1.2 Risultati e discussione

Considerando che i due database si riferiscono di un arco temporale differente si procede analizzando i valori espressi in percentuale e non in valore assoluto. Va inoltre ricordato che per il database Ecobonus si utilizzano i dati delle richieste di detrazioni fiscali senza distinzione tra utenze residenziali e non, mentre l'indagine Istat fa riferimento esclusivamente alle utenze residenziali (prima casa).

Il confronto tra i due database ha innanzitutto valutato la numerosità degli interventi suddivisi per comma. Dalla Figura 9 si notano differenze non trascurabili tra le due fonti, che tuttavia concordano nell'indicare i due interventi di efficientamento energetico più comuni: la sostituzione degli infissi (comma 345) e la sostituzione del generatore di calore (comma 347).

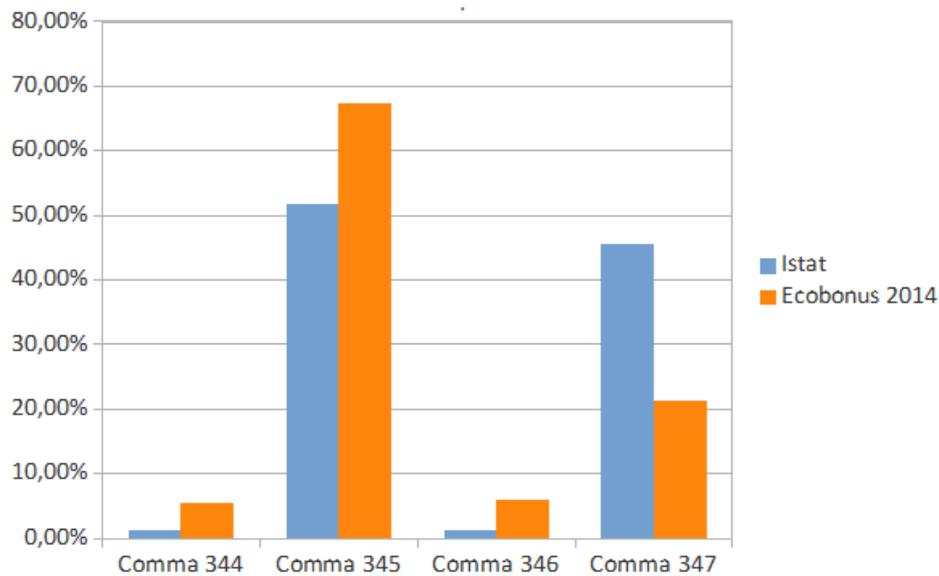


Figura 9. Confronto tra le tipologie di intervento in base ai commi dell'ecobonus

[Fonte: elaborazioni ENEA]

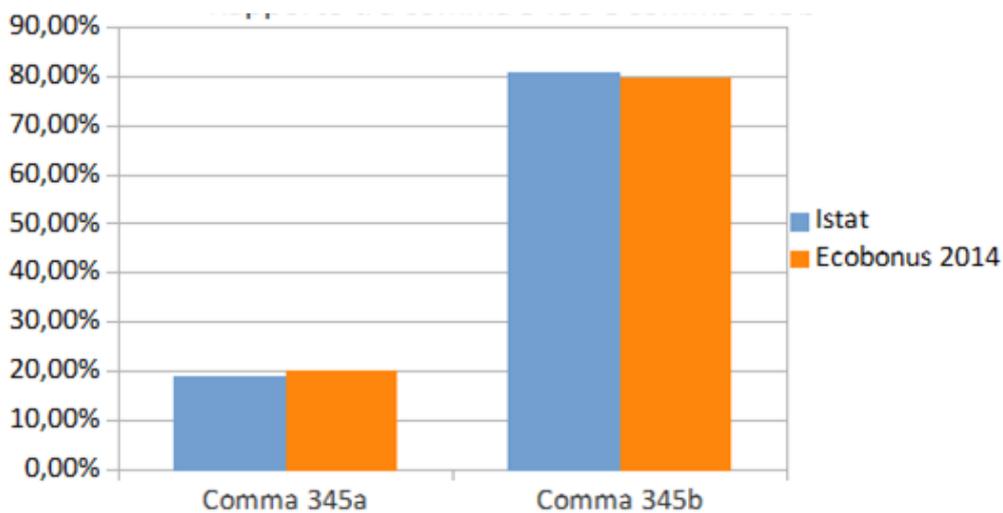


Figura 10. Peso dei differenti interventi nel comma 345

[Fonte: elaborazioni ENEA]

Approfondendo il comma 345 si è valutato il peso degli interventi di sostituzione degli infissi in singole unità abitative (comma 345b) rispetto a interventi più complessi sull’involucro, che eventualmente includano anche la coibentazione di elementi opachi (comma 345a). La Figura 10 mostra come la suddivisione interna al comma 345 riporti quasi eguali percentuali di interventi per entrambi i database.

Si è quindi proceduto a un confronto delle tipologie di interventi, come riportato in Figura 11, da cui è possibile notare che:

- Le percentuali relative agli interventi sui componenti opachi (orizzontali e verticali), l’installazione del solare termico e delle pompe di calore sono confrontabili tra i due database;
- L’installazione di pannelli solari termici presenta una bassa incidenza in entrambi i database, tuttavia con percentuali sul totale piuttosto diverse, 1,2 % (Istat) e 6 % (Ecobonus);
- La sostituzione dei componenti trasparenti copre una quota del 43 % nelle elaborazioni sulla indagine statistica contro il 58 % dell’Ecobonus;
- La sostituzione del caldaie ha percentuali confrontabili con la sostituzioni degli infissi in base alle elaborazioni sull’indagine (45 %), mentre pesa per il 21 % sul totale degli interventi nel caso del database Ecobonus;
- Le percentuali riscontrate per gli elementi opachi sono confrontabili, 11 % (Istat) e 13 % (Ecobonus).

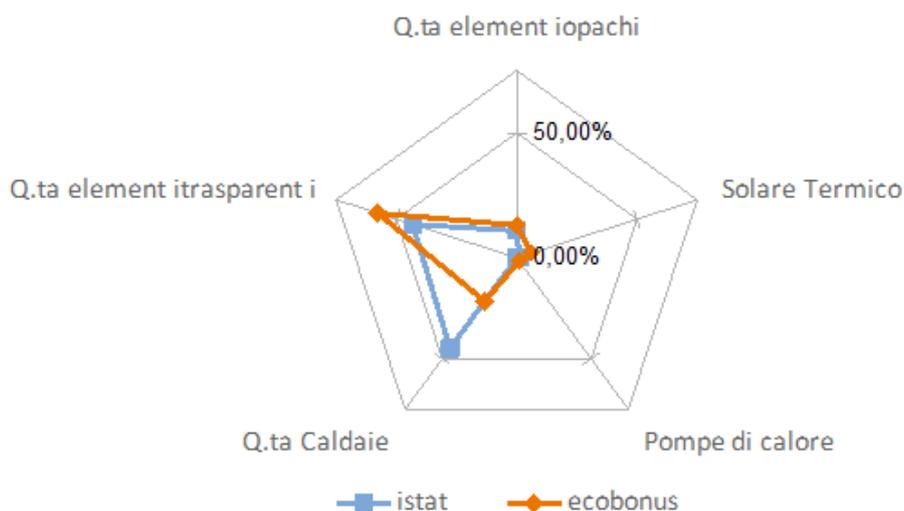


Figura 11. Tipologia di intervento in base all’indagine Istat

[Fonte: elaborazioni ENEA]

Il successivo confronto è stato fatto sulla distribuzione degli interventi su base regionale. In Figura 12 si nota come, per quanto vi possano essere differenze tra i due database, la Lombardia risulti la regione con il più alto numero di interventi, con percentuali confrontabili (22,2 % per l’Ecobonus, 20,7 % per l’indagine), mentre Molise e Valle d’Aosta sono quelle con il minore numero di interventi (inferiore all’ 1 %, dato giustificabile viste le differenze nel numero di residenti tra queste regioni). Anche le altre regioni risultano confrontabili, eccetto Lazio e Piemonte, Puglia e Campania.

Per il confronto, la Figura 13 riporta l’andamento degli interventi per i quali è stata richiesta la detrazione fiscale nel periodo compreso tra il 2009 ed il 2013. Rispetto al 2014 vi sono alcune lievi differenze, tuttavia si fa notare come l’andamento complessivo delle regioni sia piuttosto costante negli anni ed in linea con il 2014.

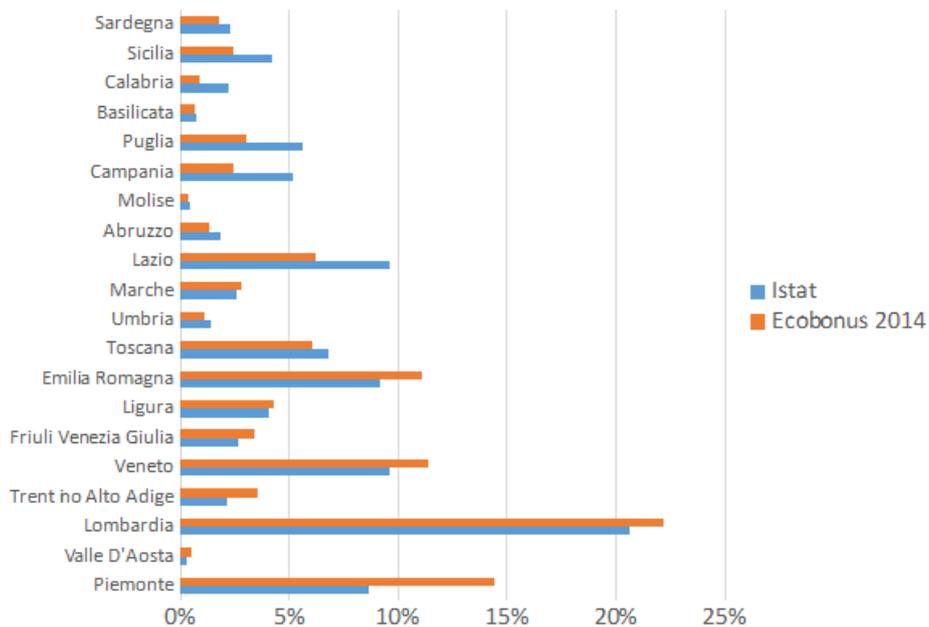


Figura 12. Distribuzione degli interventi su base regionale

[Fonte: elaborazioni ENEA]

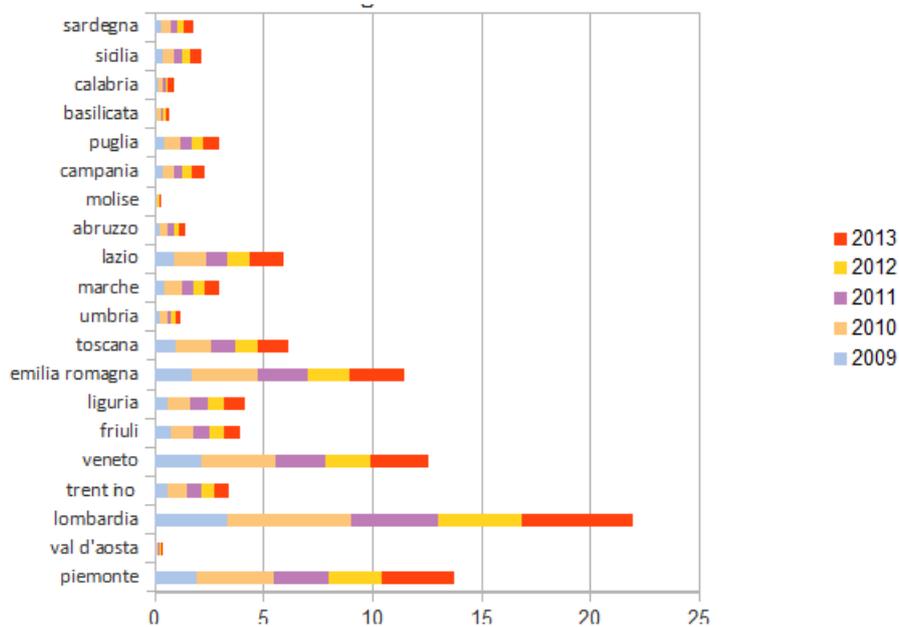


Figura 13. Distribuzione degli interventi raccolti nel DB Ecobonus tra il 2009 e il 2013 (Fonte [6])

L'analisi è stata quindi approfondita sulle singole tipologie di interventi. Nelle figure seguenti sono riportati i confronti tra le distribuzioni a livello regionale degli interventi sulle pareti opache (Figura 14), sulle strutture trasparenti (Figura 15), la sostituzione delle caldaie (Figura 16) e l'installazione di impianti solari termici (Figura 17). Osservando le figure è possibile notare come l'andamento generale degli interventi sia abbastanza simile per le prime tre tipologie. Il solare termico, invece, risulta una tipologia di intervento non presente in alcune regioni. Questo è dovuto alla bassa numerosità degli interventi eseguiti e a limiti nel campionamento statistico soprattutto nelle regioni con meno abitanti.

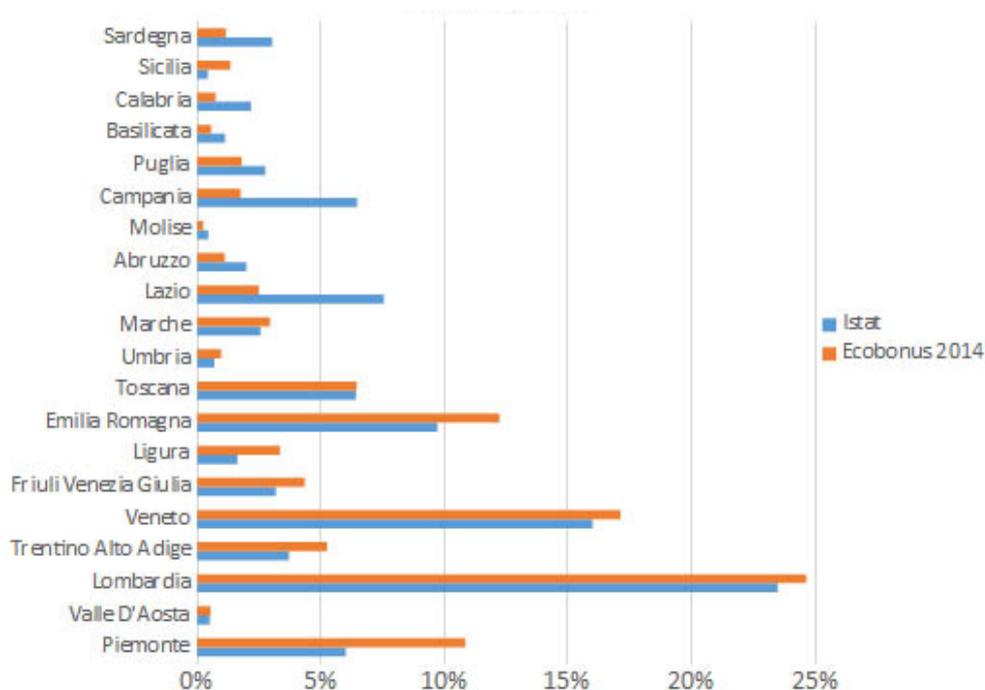


Figura 14. Distribuzione regionale degli interventi su pareti opache

[Fonte: elaborazioni ENEA]

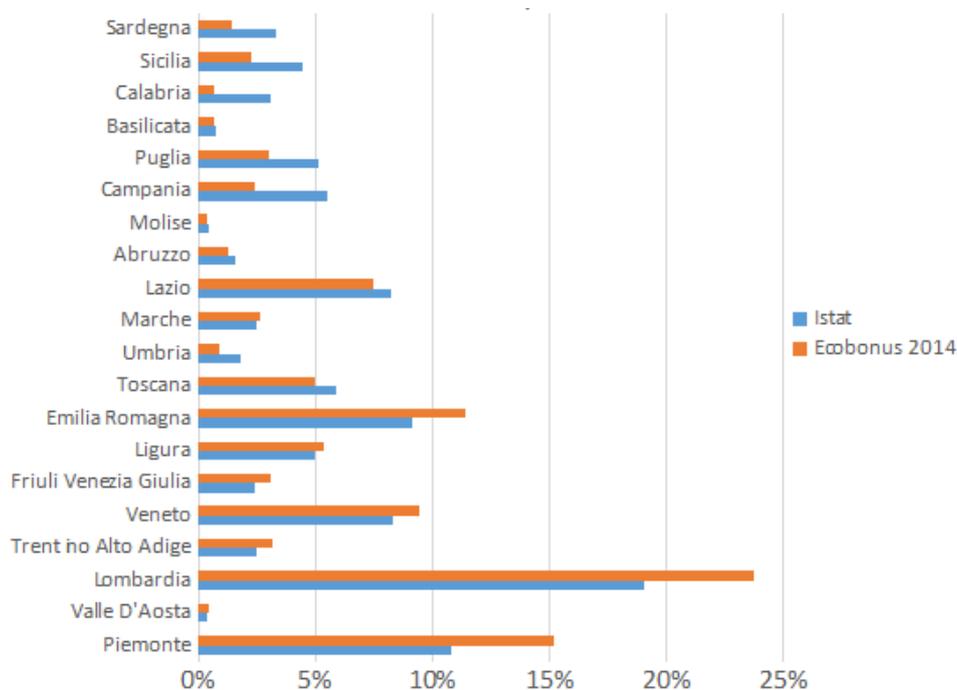


Figura 15. Distribuzione regionale degli interventi su strutture trasparenti

[Fonte: elaborazioni ENEA]

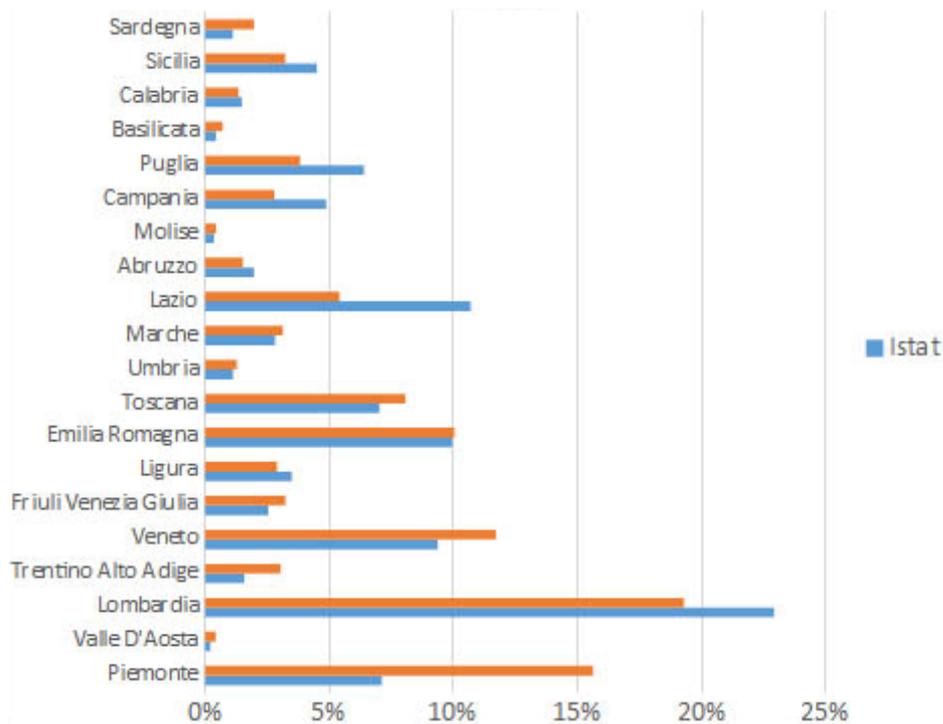


Figura 16. Distribuzione regionale della sostituzione delle caldaie

[Fonte: elaborazioni ENEA]

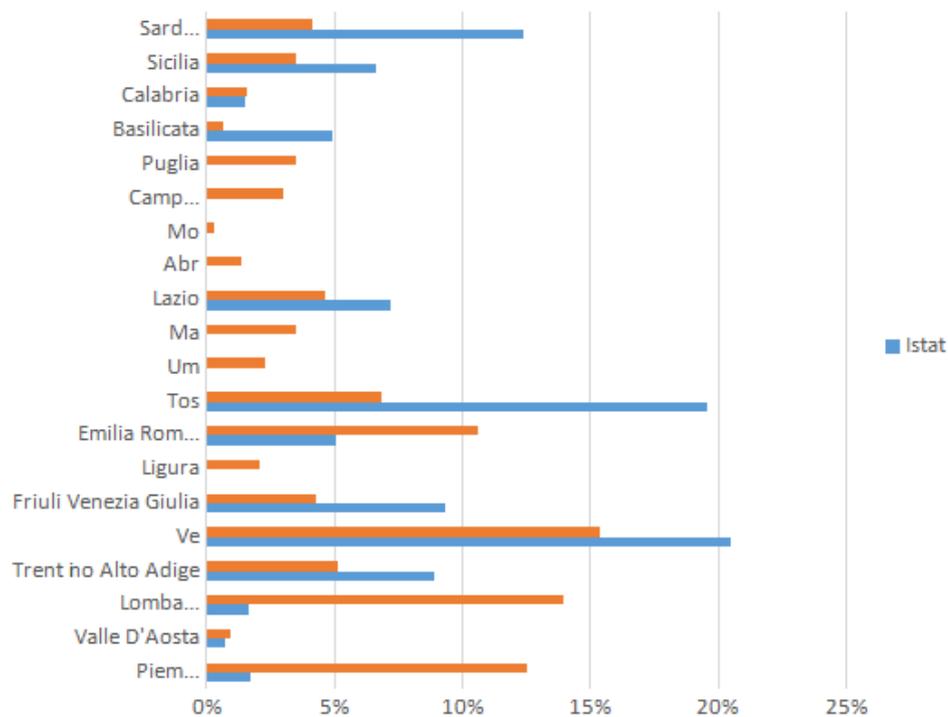


Figura 17. Distribuzione regionale dell'installazione di impianti solari termici

[Fonte: elaborazioni ENEA]

Focalizzando l'analisi sugli impianti termici, si è effettuato un confronto sulla tipologia di impianto (centralizzato vs. autonomo) e sul combustibile. Relativamente alla tipologia, i risultati sono riportati nel grafico di Figura 18. Si fa presente che i dati ricavati dal database Ecobonus sono associati al comma 344

(riqualificazione globale). Dalla figura risulta una netta prevalenza degli impianti autonomi, anche se con una differenza tra il database Ecobonus (87 % autonomo) rispetto ai dati desunti dall'indagine Istat (96 %). Anche per il confronto sul tipo di combustibile, si fa presente che i dati ricavati dal database Ecobonus riguardano solamente le pratiche relative al comma 344. Come si nota dalla Figura 19, il gas naturale è il combustibile più diffuso, anche se sovrastimato nel caso dell'indagine statistica. Di contro, l'indagine sottostima la biomassa, mentre per gli altri combustibili le percentuali sono simili. La categoria "altro" rappresenta soprattutto i vecchi impianti alimentati a olio combustibile (che coprono una quota marginale). Tali considerazioni sono confermate dall'analisi comparativa condotta nel periodo compreso tra il 2009 e il 2013 e riportata in [6].

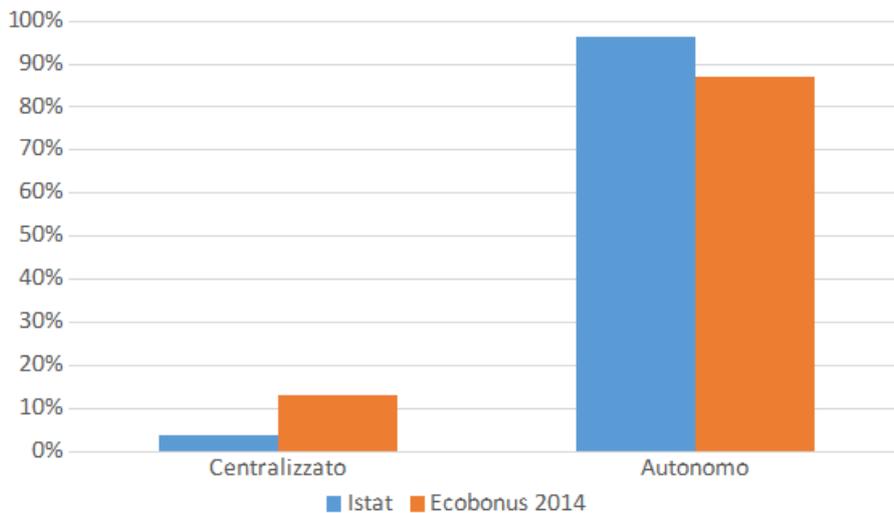


Figura 18. Tipologia di nuovo impianto termico per gli interventi del comma 344
 [Fonte: elaborazioni ENEA]

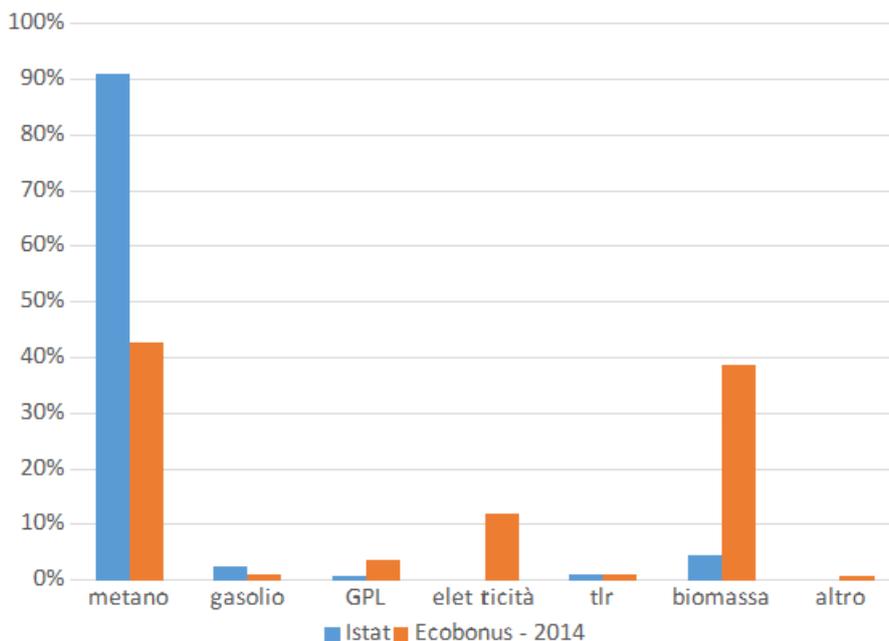


Figura 19. Tipologia di combustibile del nuovo impianto termico per gli interventi del comma 344
 [Fonte: elaborazioni ENEA]

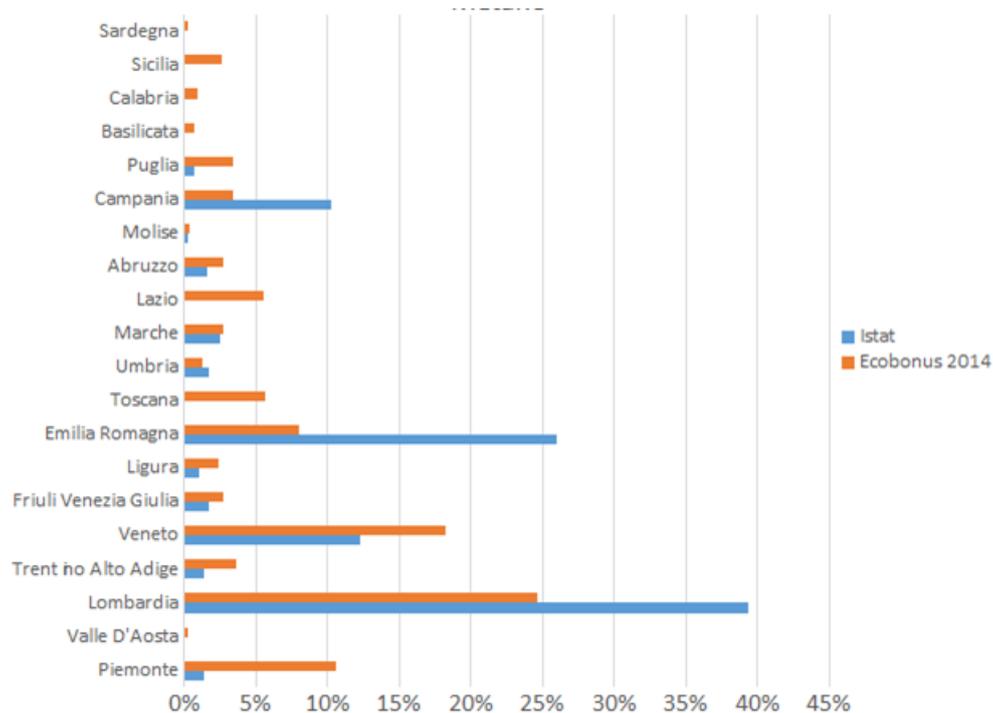


Figura 20. Distribuzione regionale dei nuovi impianti termici alimentati a gas naturale

[Fonte: elaborazioni ENEA]

La distribuzione regionale dei nuovi impianti termici alimentati a gas naturale riportata in Figura 20 presenta percentuali discordanti tra le due fonti, che in parte possono essere spiegate con i limiti connessi al basso numero di record associati al comma 344.

Sulla base dei risultati ottenuti, si riportano le principali criticità riscontrate relativamente all'indagine Istat nel confronto con il database Ecobonus e alla possibilità di un'analisi predittiva. Tali criticità confermano quelle rilevate nel corso della precedente indagine condotta sul periodo compreso tra il 2009 e il 2013 [6]:

- Dai dati desunti dall'indagine statistica non è possibile determinare con precisione se gli interventi di efficientamento eseguiti abbiano portato a un livello di prestazione energetica richiesto per l'accesso all'ecobonus e quindi siano confrontabili con il corrispondente database;
- Dalla domanda dell'indagine statistica relativa alla sostituzione dell'impianto termico si fa genericamente riferimento a sostituzione della caldaia con una caldaia più efficiente (ad alto rendimento, a condensazione, ecc.), pertanto alcuni interventi potrebbero non essere incentivati ai sensi del comma 347; ne risulta che il numero di interventi ricavati dall'indagine statistica e inclusi tra quelli incentivabili ai sensi del comma 347 è sovrastimato;
- Per quanto riguarda gli interventi sull'involucro, sia per i componenti opachi sia per quelli trasparenti, nell'indagine statistica non vi è modo di verificare l'entità della sostituzione (per il comma 344) e il rispetto dei requisiti prestazionali richiesti dal Decreto edifici (per il comma 345), pertanto il numero di interventi ricavati dall'indagine è sovrastimato;
- L'indagine Istat richiede la tipologia di interventi di efficientamento effettuati negli ultimi cinque anni (precedenti al 2013), pertanto l'indicazione contemporanea di più tipologie di intervento (es. isolamento pareti opache, sostituzione infissi e sostituzione del generatore di calore) potrebbe risultare in un'errata associazione a uno specifico comma (es. comma 344 o comma 345a), mentre tali interventi potrebbero essere stati effettuati in anni diversi, e quindi rientrerebbero in commi diversi.
- Le pratiche raccolte nei database Ecobonus possono riguardare varie categorie di edifici (residenziali, non residenziali e misti), mentre l'indagine Istat riguarda essenzialmente le prime case. Nonostante

ciò, il numero di famiglie che avrebbero effettuato interventi di efficientamento secondo l'indagine statistica è risultato molto superiore alle famiglie che hanno fatto richiesta di detrazione.

Sicuramente tali criticità hanno contribuito in modo rilevante alle differenze riscontrate tra i due database. Ulteriori fattori determinanti potrebbero essere i seguenti, già indicati in [6]:

- L'affidabilità dei coefficienti di riporto statistici di estendere il peso della singola famiglia a livello territoriale, limitatamente agli interventi di efficientamento. Infatti, gli interventi di riqualificazione energetica dipendono da fattori che, in generale, non possono essere inclusi nelle variabili di campionamento statistico utilizzate per analizzare gli usi energetici generali;
- E' verosimile supporre che l'Ecobonus non sia stato richiesto da tutti coloro che hanno effettuato interventi di risparmio energetico nell'edilizia;
- L'analisi di dati raccolti tramite indagine statistica sono poco affidabili nel caso di bassa numerosità dei campioni (ovvero nel caso in cui possano essere inclusi nell'analisi un numero molto limitato di record).

In conclusione il confronto tra il database Ecobonus 2014 ed il database Istat porta ad una conferma di quanto già osservato nel precedente report [6], ovvero una bassa confrontabilità tra le due fonti. E' verosimile che l'aumento delle variabili disponibili su un maggiore campione di analisi migliorerebbe la qualità e l'affidabilità dei risultati del confronto.

4 Riferimenti bibliografici

- [1] Caldera M., Federici A., Margiotta F., Martelli A., Nocera M., Pannicelli A., Piccinelli S., Puglisi G., Zanghirella F. (2016). Metodologie e strumenti per la raccolta di dati e la definizione di modelli di riferimento dei consumi energetici nel settore residenziale, terziario e pubblico. ENEA, Report RdS/PAR2015/143.
- [2] Puglisi G., Zanghirella F., Ungaro P., Cammarata G. (2016). A methodology for the generation of energy consumption profiles in the residential sector. *International Journal of Heat and Technology*, 34(3), pp. 491-497. DOI: [10.18280/ijht.340320](https://doi.org/10.18280/ijht.340320)
- [3] Caldera M., Puglisi G., Zanghirella F., Margiotta F., Ungaro P., Talucci V., Cammarata G. (2017). Proposal of a survey-based methodology for the determination of the energy consumption in the residential sector. *International Journal of Heat and Technology*, 35(S1), pp. S152-S158, DOI: [10.18280/ijht.35Sp0121](https://doi.org/10.18280/ijht.35Sp0121)
- [4] Caldera M., Puglisi G., Zanghirella F., Ungaro P., Cammarata G. (2018). Numerical modelling of the thermal energy demand in Italian households through statistical data. *International Journal of Heat and Technology*, 36(2), pp. 381-390, DOI: [10.18280/ijht.360201](https://doi.org/10.18280/ijht.360201)
- [5] Istat. I consumi energetici delle famiglie. <http://www.istat.it/it/archivio/142173>.
- [6] Beozzo S., Caldera M., Puglisi G. (2018). Sviluppo di strumenti per la raccolta dati e il calcolo dei consumi energetici nel settore residenziale. ENEA, Report RdS/PAR2017/086.
- [7] Caldera M., Ungaro P., Cammarata G., Puglisi G. (2018). Survey-based analysis of the electrical energy demand in Italian households. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 5(3), pp. 217-224, DOI: [10.18280/mmep.050313](https://doi.org/10.18280/mmep.050313)