Allegato 04

# SCENARIO DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI RESIDENZIALI IN TRENTINO

**prof. ing. Paolo Baggio** | DICAM UNITN - RESPONSABILE SCIENTIFICO

**ing. Andrea Bello** | DICAM UNITN - ASSEGNISTICA DI RICERCA

In collaborazione con

**dott. Roberto Brunelli** | APRIE

UNIVERSITÀ DI TRENTO
Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO
Dipartimento di Ingegneria Civile,
Ambientale e Meccanica

# Scenario di riqualificazione energetica degli edifici residenziali in Trentino

*Responsabile scientifico:*

*prof. ing. Paolo Baggio, DICAM-UNITN*

*Assegnista di ricerca:*

*ing. Andrea Bello, DICAM-UNITN*

*In collaborazione con:*

*dott. Roberto Brunelli, APRIE*

*Aprile 2019*

# Indice generale

Riassunto....3

Metodologia....4

Ipotesi di calcolo....5

Comuni non metanizzati....5

Abitazioni occupate e non occupate da persone residenti....6

Altre note....6

Situazione al 2016 e verifica con bilancio PEAP....8

Potenziale totale di risparmio energetico....10

Situazione attuale....10

Intervento: coibentazione involucro opaco....11

Intervento: sostituzione serramenti....12

Intervento: installazione caldaia a condensazione....12

Intervento: Coibentazione involucro opaco e sostituzione serramenti....13

Intervento: Coibentazione involucro opaco, sostituzione serramenti e installazione caldaia a condensazione....14

Curva marginale di intensità d’investimento....15

Aggregazione dei risultati....17

Allegato: fogli di calcolo....19

Allegato: tempi di ritorno per tipo di intervento....20

Coibentazione involucro opaco....20

Sostituzione serramenti....20

Installazione caldaia....21

Coibentazione involucro opaco e sostituzione serramenti....22

Coibentazione involucro opaco, sostituzione serramenti e installazione caldaia a condensazione....22

# Riassunto

Basandosi sui dati esposti nel report "*Analisi tecnico-economica di interventi di riqualificazione energetica*" (A. Capozza et al.), pubblicato da RSE, ed utilizzando i dati del catasto del Trentino, si stimano i consumi per riscaldamento imputati agli edifici residenziali del Trentino, nella loro condizione attuale (aggiornata a inizio 2018). Successivamente, si valuta il potenziale totale associato alla riqualificazione energetica, considerando tre tipologie di intervento – coibentazione involucro opaco, sostituzione serramenti, installazione caldaia a condensazione – e le relative combinazioni. Viene stimata anche la componente economica, e si presenta una valutazione sulla priorità da dare ai differenti casi d'intervento.

Più in dettaglio, l'approccio seguito è quello degli "edifici tipo" - individuati per classi di vetustà e tipologie di edificio - il cui fabbisogno di energia primaria è calcolato da RSE utilizzando il metodo orario secondo norma UNI EN ISO 13790:2008 e la simulazione degli impianti come da UNI/TS 11300-2:2008. Nel presente lavoro, i risultati vengono scalati sui gradi giorno di ogni comune del Trentino.

Uno studio a parte, dedicato alle riqualificazioni energetiche già effettuate in Trentino dal 1990 al 2017, permette di correggere e aggiornare i fabbisogni degli edifici tipo.

Dopo aver valutato i consumi per riscaldamento nella situazione attuale, si valuta il potenziale totale associato alla riqualificazione energetica, considerando tre tipologie di intervento – coibentazione involucro opaco, sostituzione serramenti, installazione caldaia a condensazione – e le relative combinazioni. In questa fase si assume che tutte le abitazioni effettuino l'intervento considerato, tranne quelle che ne abbiano già subito uno simile dal 1990 al 2017. Si riprendono quindi i dati ottenuti dal sopracitato report di RSE (A. Capozza et al.), calcolando il potenziale totale di riduzione dei consumi per riscaldamento, l'investimento richiesto, il costo globale dell'edificio sottoposto a riqualificazione, il tempo di ritorno dell'investimento, il costo globale con incentivi (detrazioni) fiscali e il tempo di ritorno con incentivi, con dettaglio comunale, per classe di vetustà e tipologia di edificio.

Infine, si passa ad analizzare l'efficacia economica degli interventi. Per questo scopo, oltre ai costi globali e ai tempi di ritorno forniti da RSE, si calcola la *c.d.* "curva marginale di intensità d'investimento". Questa curva definisce una priorità tra tutti i possibili interventi, individuando quelli che permettono un maggiore risparmio energetico a parità d'investimento. Mantenendo questo ordinamento degli interventi, se ne calcola l'investimento cumulativo e il conseguente risparmio energetico cumulativo. I risultati sono quindi presentati in forma aggregata per ogni intervento, sulla base della tipologia di edificio o della classe di vetustà.

# Metodologia

Basandosi sui dati esposti nel report "*Analisi tecnico-economica di interventi di riqualificazione energetica*" (A. Capozza et al.), pubblicato da RSE, ed utilizzando i dati del catasto del Trentino, si stimano i consumi per riscaldamento imputati agli edifici residenziali del Trentino, nella loro condizione attuale (aggiornata a inizio 2018). L'approccio seguito è quello degli "edifici tipo": vengono definiti dei parametri (classe di vetustà, tipologia di edificio, zona climatica) in base ai quali si individua un database di edifici considerati rappresentativi del patrimonio edilizio italiano.[1] Per una descrizione dettagliata delle loro caratteristiche si rimanda allo specifico rapporto di RSE "*Studio sulla riqualificazione energetica di edifici residenziali*" (F. Madonna et al.) del 2014. Per ogni edificio tipo, RSE utilizza il metodo orario secondo norma UNI EN ISO 13790:2008 e la simulazione degli impianti come da UNI/TS 11300-2:2008 per calcolare i fabbisogni specifici di energia primaria; nel presente lavoro, questi ultimi vengono scalati sui gradi giorno di ogni comune del Trentino, costruendo per ogni comune una tabella dei fabbisogni specifici di energia primaria, con le classi di vetustà e le tipologie di edificio come dimensioni.

Successivamente, si valuta il potenziale associato alla riqualificazione energetica, considerando tre tipologie di intervento – coibentazione involucro opaco, sostituzione serramenti, installazione caldaia a condensazione – e le relative combinazioni. Si riprendono quindi i dati, sempre ottenuti dal sopracitato report di RSE (A. Capozza et al.) e riferiti agli edifici tipo, relativi ad ogni tipologia di intervento; essi vengono scalati sui gradi giorno di ogni comune, calcolando la potenziale riduzione dei consumi per riscaldamento, l'investimento richiesto, il costo globale[2] dell'edificio sottoposto a riqualificazione, il tempo di ritorno dell'investimento, il costo globale con incentivi (detrazioni) fiscali e il tempo di ritorno con incentivi. Tranne i tempi di ritorno, tutti i parametri finora citati sono specifici, su unità di superficie di abitazione occupata da persone residenti.

Poiché si vuole determinare il potenziale di riqualificazione energetica, in questa fase si assume che tutte le abitazioni effettuino l'intervento considerato, tranne quelle che ne abbiano già subito uno simile dal 1990 al 2017. La conoscenza quantitativa degli interventi di riqualificazione energetica già effettuati in Trentino in questo arco temporale è necessaria anche per stimare la variazione del fabbisogno degli edifici tipo, aumentando significativamente l'accuratezza dei risultati (anche relativi alla situazione attuale). Di conseguenza, si rende necessario compiere uno studio a parte sull'argomento. Questo ramo del lavoro viene riportato in un documento dedicato: "*Ricostruzione quantitativa delle riqualificazioni energetiche effettuate sugli edifici residenziali in Trentino dal 1990 al 2017*", cui si rimanda per maggiori dettagli. Grazie a quest'ultimo lavoro, i dati dei fabbisogni presentati da RSE sono stati corretti sulla base degli interventi di riqualificazione energetica già effettuati in Trentino dal 1990 al 2017. Per le tre tipologie di intervento di riqualificazione energetica individuate e quantificate (coibentazione involucro opaco, sostituzione serramenti, sostituzione generatore di calore), si assume una riduzione del consumo di energia primaria del 40%, 10% e 10% rispettivamente.

---

1 La base di questo concetto sta nel fatto che "la prestazione energetica di un edificio residenziale è fortemente correlata ad alcuni fattori tra cui i principali sono l'epoca di costruzione, le dimensioni e la forma, la tipologia di impianto, gli interventi di riqualificazioni energetica che eventualmente sono stati realizzati nel corso degli anni, l'adiacenza con altri edifici e il clima della località in cui esso è stato costruito. È quindi possibile fornire una prima stima dei consumi di un dato edificio conoscendo i parametri elencati in precedenza." (RSE)

2 È somma del costo dell'investimento iniziale, costi di gestione e costi energetici, espresso come valore attuale netto.

I parametri specifici (per unità di superficie) vengono quindi moltiplicati per i dati metrici[3] di ogni comune (suddivisi per vetustà e tipologia di edificio), ottenendo i valori totali del Trentino con dettaglio comunale, per classe di vetustà e tipologia di edificio.

Avendo finora stimato il potenziale totale di riqualificazione (ovvero assumendo che tutte le abitazioni possibili effettuino l'intervento), si passa ad analizzare l'efficacia economica degli interventi. Per questo scopo, oltre ai costi globali e ai tempi di ritorno forniti da RSE, si calcola la *c.d.* "curva marginale di intensità d'investimento". Questa curva definisce una priorità tra tutti i possibili interventi, individuando quelli che permettono un maggiore risparmio energetico a parità d'investimento. Mantenendo questo ordinamento degli interventi, se ne calcola l'investimento cumulativo e il conseguente risparmio energetico cumulativo. Infine, per ogni intervento i risultati sono presentati in forma aggregata, sulla base della tipologia di edificio o della classe di vetustà.

Dopo un approfondimento sui comuni non metanizzati e alcune note relative alle ipotesi di calcolo, si riportano i risultati della presente analisi applicata alla situazione specifica dell'anno 2016. Ciò permette di effettuare un confronto con il bilancio energetico della baseline 2016 del PEAP 2020-2030. Successivamente, si delineano i potenziali di riqualificazione facendo riferimento all'istantanea del parco edilizio aggiornata a inizio del 2018, e si considera una condizione climatica (gradi giorno) media tra il 2014, 2015 e 2016. In queste condizioni, si presentano la situazione di partenza e il potenziale totale degli interventi, in termini di fabbisogno totale dopo aver effettuato l'intervento, investimento, costo globale e costo globale con incentivi dell'edificio riqualificato. Ad ogni tipologia di intervento è dedicato un capitolo. I tempi di ritorno degli interventi sono dettagliati in allegato, discretizzati per classe di vetustà, tipologia edilizia e zona climatica. Per finire, si riporta la curva d'intensità d'investimento per i suddetti interventi, la curva cumulativa di risparmio energetico per investimento e l'aggregazione dei risultati per ogni intervento, sulla base della tipologia di edificio o della classe di vetustà.

# Ipotesi di calcolo

## *Comuni non metanizzati*

Come si vedrà nei relativi capitoli riguardanti l'impianto termico, si assume che anche i comuni non metanizzati siano oggetto di sostituzione del generatore di calore con caldaia a GPL a condensazione. Questo vale anche per l'intervento combinato di "Coibentazione involucro opaco, sostituzione serramenti e installazione caldaia a condensazione". Dal punto di vista economico, le caldaie a GPL a condensazione sono considerate equivalenti a quelle a metano a condensazione (come costi, valore alla fine della vita utile, ecc). Poiché il fine del presente lavoro è valutare il potenziale di riqualificazione energetica, come per gli altri comuni si assume di sostituire con una caldaia a gas a condensazione tutti gli impianti che non siano già stati sostituiti dal 1990 ad oggi; questo include anche le caldaie a biomassa e a gasolio. Vista la rilevanza di questa tipologia di generatori nei comuni non metanizzati, e in considerazione della loro minore efficienza media di generazione rispetto ai sistemi a gas, si ritiene opportuno aumentare con un coefficiente il valore di

3 Vedere il paragrafo "superficie utile" della Sezione "Altre note".

fabbisogno di energia primaria dei comuni non metanizzati calcolato per la situazione attuale (prima degli interventi). Questo coefficiente viene stimato sulla base della Tabella 8 del Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - “Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”, Appendice A, che riporta le efficienze medie dei sottosistemi di generazione dell’edificio di riferimento per la produzione di energia termica per riscaldamento. Queste efficienze vengono mediate tra loro, pesandole sulla quota percentuale del corrispondente numero di impianti, calcolata come media per i comuni non metanizzati. Dato il grande numero di impianti a legna e la difficoltà a stimare la quota di fabbisogno coperta dai vari tipi di impianto (i dati di “Abitazioni per tipo riscaldamento” non distinguono tra impianti centralizzati o autonomi, e non danno informazioni riguardo la potenza installata), si assume di dimezzare il peso del numero di impianti a legna. Questo aiuta a tenere conto del fatto che gli impianti a biomassa sono sì più numerosi nei comuni non metanizzati, ma comunque presenti significativamente anche nei comuni metanizzati.

I comuni non metanizzati sono stati individuati basandosi sui dati della tabella “Abitazioni per tipo riscaldamento”, dal Censimento 2011. Questa tabella elenca tutti gli impianti dichiarati per ogni sezione censuaria, distinguendoli per tipologia. Dopo aver aggregato i dati in base ai comuni attuali, si è considerato “non metanizzato” ogni comune che avesse una quota di impianti a metano inferiore al 15% del numero totale di impianti dichiarati. La lista risultante comprende 86 comuni; la lista fornita da APRIE ne comprende invece 72, che sono tutti inclusi nel nuovo elenco. La quota del 15% è stata scelta perché, analizzando i comuni non metanizzati forniti da APRIE, si sono riscontrate quote di impianti a metano fino al circa 12%. Questa percentuale è stata leggermente maggiorata perché, in questa approssimazione, i comuni vengono considerati o metanizzati o non metanizzati, senza contemplare parzializzazioni. Di conseguenza, anche un comune nominalmente metanizzato ma con bassa penetrazione degli impianti a gas viene ricondotto ad un comune non metanizzato, considerando l’efficienza media dei suo patrimonio impiantistico.

## *Abitazioni occupate e non occupate da persone residenti*

Ai fini del presente lavoro, si considerano sia le abitazioni occupate da persone residenti, che quelle non occupate da persone residenti; i conti sono svolti separatamente fino alla fine, in modo da permettere analisi dettagliate in merito. Si presentano comunque i risultati anche in forma aggregata (totale abitazioni occupate e non occupate). Per gli interventi di coibentazione dell’involucro opaco o di sostituzione dei serramenti, si assume che le abitazioni non occupate da residenti siano caratterizzate da una tendenza ad effettuarli minore del 50% rispetto a quelle occupate da residenti. Questo si applica anche agli interventi combinati che includono almeno uno dei due suddetti ambiti.

## *Altre note*

**Superficie utile:** i dati del catasto edifici spesso non riportano l’anno di costruzione dello stabile, impedendo la categorizzazione per classe di vetustà. Si deve quindi ricorrere ai dati del Censimento 2011 per avere la superficie delle abitazioni di ogni comune, suddivisa per classe di vetustà e tipologia di edificio. Per aggiornare i dati dal 2011 al 2016 (o al 2017), si utilizzano i dati del catasto suddivisi per tipologia di edificio: la differenza tra i dati del totale del Censimento 2011 e del catasto 2016 (o 2017) è imputata alla classe di vetustà V7. Si noti che, in alcuni comuni e per

certe tipologie di edificio, la superficie riportata dal Censimento 2011 è maggiore di quella secondo il catasto 2016 (o 2017). Ciò è verosimilmente dovuto ai metodi di calcolo della superficie utile delle abitazioni: il Censimento richiede quest'informazione alla persona residente, la quale potrebbe non conoscerne esattamente il valore. Per quanto riguarda il catasto, invece, la definizione di superficie utile non trova un parametro corrispondente. Essa è quindi ottenuta dai dati metrici della superficie catastale moltiplicati per un fattore correttivo medio; verifiche interne di APRIE pongono questo fattore uguale a 0,81. Quando la superficie catastale non è disponibile, si utilizza la superficie dei poligoni di tipo "A", moltiplicata per un fattore[4] di 0,9. Nel caso non fosse disponibile nessuno dei due parametri metrici, si utilizza il valore di superficie utile calpestabile riportato nell'Attestato di Prestazione Energetica, se esistente. Nonostante i fattori correttivi, questa disomogeneità nelle fonti dati per la superficie delle abitazioni produce in alcuni casi una superficie negativa[5], e quindi un fabbisogno negativo; si tratta ovviamente di un artefatto di calcolo, che tuttavia si mantiene per arrivare, nel totale, ad avere l'allineamento con i dati del catasto.

**Gradi giorno:** sono stati calcolati considerando la stagione di riscaldamento sia per la zona climatica E che per la Zona F; per quest'ultima si è fatto riferimento all'articolo 8, comma 1 del DPR 412/93. Per ogni comune del Trentino, i gradi giorno sono stati calcolati sfruttando un algoritmo di Meteotrentino (F. Uboldi, 2007) che permette di ottenere la temperatura per tutto il territorio provinciale partendo dai dati puntuali delle stazioni meteorologiche. Per la situazione al 2016 sono stati utilizzati i dati di quell'anno, mentre per la determinazione del potenziale totale si è impiegata la media dei tre anni di riferimento (2014, 2015 e 2016).

**Costi degli interventi:** come riportato in "*Analisi tecnico-economica di interventi di riqualificazione energetica*" (A. Capozza et al.), si sottolinea che i costi diretti degli interventi sono stati stimati da RSE basandosi sul Bollettino dei Prezzi Informativi dell'Edilizia "Recupero, Ristrutturazione e Manutenzione" edito da DEI – Tipografia del Genio Civile di Roma, edizione Ottobre 2011, e si riferiscono alla fornitura e messa in opera. In Trentino, questi stessi costi potrebbero essere più alti, visto anche che nel presente lavoro si fa riferimento all'inizio dell'anno 2018 invece che al 2011; tuttavia, un aggiornamento dei prezzi (ad esempio dal Prezziario PAT 2018) richiederebbe il ricalcolo di tutti i parametri economici; non disponendo delle risorse (anche temporali) necessarie, si accettano i dati proposti da RSE. Si tenga comunque presente che un'eventuale variazione nei costi influirebbe in modo probabilmente costante su tutte le voci di costo dei vari interventi, non inficiando le considerazioni qui esposte sulla priorità degli interventi (e degli investimenti).

**Riconciliazione dei fabbisogni:** dopo aver calcolato i consumi finali per riscaldamento del settore residenziale in Italia, RSE effettua un confronto con i dati ottenuti da EUROSTAT[6] ed ENEA[7]; quindi, applica un fattore correttivo costante di 0,8 ai fabbisogni specifici degli edifici tipo che aveva calcolato, per riconciliare i propri risultati con quelli forniti da queste due fonti istituzionali. Nel presente lavoro, si accetta questa riconciliazione (e si utilizzano quindi i dati presentati nella Tabella 2.17 di "*Analisi tecnico-economica di interventi di riqualificazione energetica*" (A. Capozza

4 Anche questo determinato da verifiche interne da parte di APRIE (*cfr.* dott. R. Brunelli).

5 Quando, appunto, la Superficie dal catasto 2016 (o 2017) è minore di quella dal Censimento 2011.

6 I valori di energia finale consumati complessivamente in Italia nel 2006 nel comparto residenziale sono stati reperiti dai database di EUROSTAT: European Commission, EUROSTAT, Statistics Database, 2013, http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database

7 La quota di energia destinata al riscaldamento rispetto a quella totale è stata valutata nella stessa proporzione stimata da ENEA nel Rapporto Energia e Ambiente 2009-2010.

et al.), RSE). I gradi giorno a cui si riferiscono i fabbisogni specifici di energia primaria della suddetta tabella sono 2527 e 2833 per la zona E ed F, rispettivamente.

# Situazione al 2016 e verifica con bilancio PEAP

Per verificare i risultati ottenuti grazie alla metodologia appena esposta, si effettua il calcolo dei consumi per l'anno 2016 e lo si confronta con i dati ottenuti per la baseline 2016 del PEAP 2020-2030. Questo controllo è per natura sommario, ma permette di fornire un'indicazione almeno sull'ordine di grandezza dei risultati ottenuti.

Il bilancio della baseline PEAP 2020-2030 per il settore civile nel 2016 indica 220 ktep per gas naturale, 83 ktep per prodotti petroliferi, 130 ktep per rinnovabili – biomassa, 139 ktep per energia elettrica, per un totale di 574 ktep imputati al settore civile. Tuttavia, questo include anche la quota relativa al settore terziario e la quota relativa agli usi diversi dal riscaldamento, che devono quindi essere sottratte. Non disponendo di dati precisi a livello locale, si ricorre ad una stima speditiva basata su dati nazionali, ipotesi semplificative e assunzioni empiriche. Si inizia distinguendo la quota del terziario. Riguardo al gas naturale, ENEA ha stimato a livello nazionale[8] che la quota utilizzata per il terziario è il 35% del totale consumato. Per i prodotti petroliferi, si assume empiricamente che questa quota sia dimezzata (17,5%). L'utilizzo di biomassa si imputa totalmente al settore residenziale, mentre per l'energia elettrica si assume la stessa quota percentuale del gas metano (35%).

Bilancio baseline 2016, stima approssimativa consumi settore residenziale:

220 * 0,65 + 83 * 0,825 + 130 + 139 * 0,65 = 431,8 ktep

Da questa stima del valore di consumo del settore residenziale, bisogna ora distinguere l'utilizzo per riscaldamento dagli altri usi: cottura cibi, produzione acqua calda sanitaria, elettrodomestici. Per quanto riguarda il gas metano, le quote vengono calcolate dai valori contenuti nel database degli Attestati di Prestazione Energetica della PAT[9], e risultano concordi con i valori riportati in "*I consumi energetici per riscaldamento residenziale nella Provincia Autonoma di Trento*", di Brunelli et al., (APRIE); quest'ultimo lavoro determina che "il 21.0% e il 10% dei consumi per il riscaldamento invernale sono destinati rispettivamente alla produzione di acqua calda sanitaria ed

8 Dato fornito tramite comunicazione interna APPA (2011).

9 I consumi dovuti alla produzione di acqua calda sanitaria sono stati calcolati dai dati del relativo fabbisogno, contenuti nell'APE stesso, ottenendo una quota del 23% dei consumi per riscaldamento. Gli usi cottura sono stati calcolati per ogni APE secondo norma UNI TS 11300-2. È risultato che essi corrispondono ad una percentuale tra l'11% e il 16% dei consumi per climatizzazione invernale, variabile a seconda della comunità di valle; per confronto, in "I consumi energetici per riscaldamento residenziale nella Provincia Autonoma di Trento" è indicato il 10% per tutto il Trentino. I valori ottenuti tramite UNI TS 11300-2 sono effettivamente ritenuti più alti della realtà, in quanto l'utilizzo di gas per cottura è mediamente diminuito nelle famiglie italiane negli ultimi decenni. Quindi, si decide di calcolare i consumi di gas per usi cottura come il 10% di quelli per la climatizzazione invernale.

agli usi cottura". Tuttavia, negli edifici monofamiliari e negli edifici con impianti autonomi (V6), i consumi per la produzione di acqua calda sanitaria sono già considerati nella stima di RSE del fabbisogno di energia primaria. Vista la loro grande rilevanza percentuale (la classe MF è la seconda in ordine di consumo), si sceglie un valore minore rispetto al 21%, assumendo quindi una quota del 15%[10]. Nel caso della biomassa, in accordo a (Brunelli et al, APRIE), il 100% dei consumi si ipotizza destinato al riscaldamento delle abitazioni: il contributo per produzione di acqua calda sanitaria e usi cottura è "considerato trascurabile". Riguardo ai prodotti petroliferi, (Brunelli et al, APRIE) distingue tra gasolio, kerosene e GPL; facendo riferimento ai dati ENEA, arriva alla conclusione che, nel caso del kerosene, "il 100% dei consumi siano destinati al riscaldamento delle abitazioni", "il 94% dei consumi di gasolio sono destinati al riscaldamento", mentre la stessa percentuale scende al 61% per il GPL. Considerando però che più dell'80% dei prodotti petroliferi riportati nel bilancio 2016 della baseline PEAP 2020-2030 sono costituiti da gasolio, si ipotizza una percentuale del 90%. Per quanto concerne il consumo di energia elettrica, solo una piccola parte è imputabile al riscaldamento (ausiliari elettrici, pompe di calore, ecc); empiricamente, si assume una quota del 10%.

Di conseguenza, l'espressione sopra riportata diventa:

Bilancio baseline 2016, stima approssimativa consumi per riscaldamento settore residenziale:

220 * 0,65 * 0,84 + 83 * 0,825 * 0,9 + 130 + 139 * 0,65 * 0,1 = 320,8 ktep

Usando i dati di superficie delle abitazioni residenziali catastali, degli interventi di riqualificazione già effettuati e i gradi giorno, riferiti al 2016, la metodologia del presente lavoro fornisce i seguenti risultati:

Consumo per riscaldamento: **377 ktep** (residenti + non residenti), di cui:

- 290 ktep (solo residenti).
- 87 ktep (solo non residenti).

Si può quindi confrontare il valore della baseline del PEAP 2020-2030 così ottenuto (320,8 ktep) con quello derivato dall'analisi di questo lavoro (377 ktep), notando una differenza del 15% circa.

10 Ragionando in unità di "consumo per riscaldamento", il consumo totale del settore residenziale è: 1 + 0,21 + 0,1 ovvero, il consumo totale del settore è 1,31 volte il consumo per riscaldamento. Separando la quota per produzione di acs già inclusa nei dati di RSE – assunta pari al 10%, si ottiene: (1 + 0,1) + 0,11 + 0,1 = 1,1 + 0,11 + 0,1 In conclusione, la parte dei consumi di gas naturale da considerare per il confronto con i dati della presente analisi è 1,1 / 1,31 = 0,84 il consumo totale del settore residenziale.

# Potenziale totale di risparmio energetico

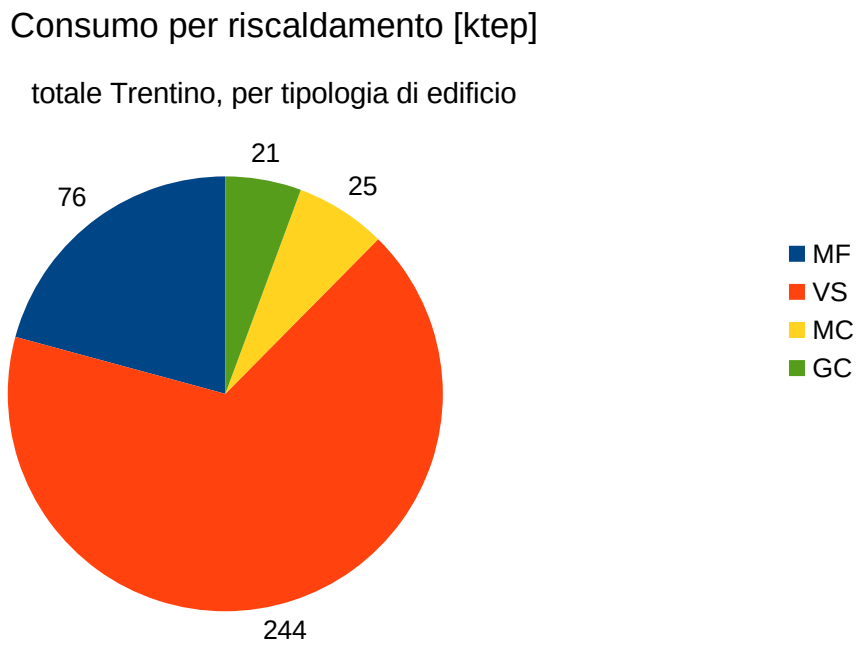
Utilizzando i dati metrici del catasto edilizio e degli interventi di riqualificazione aggiornati a inizio 2018, e i gradi giorno medi 2014-2015-2016, si calcola ora la situazione di partenza considerata per la presente stima del potenziale totale di riqualificazione.

Successivamente, si riportano i risultati dell'analisi tecnico-economica per ogni intervento. Si ricordi che, essendo un potenziale totale, si considera che tutte le abitazioni effettuino l'intervento (tranne quelle che lo hanno già effettuato tra il 1990 e il 2017).

## Situazione attuale

Consumo per riscaldamento: **365 ktep** (residenti + non residenti), di cui:

- 280 ktep (solo residenti).
- 85 ktep (solo non residenti).



# Intervento: coibentazione involucro opaco

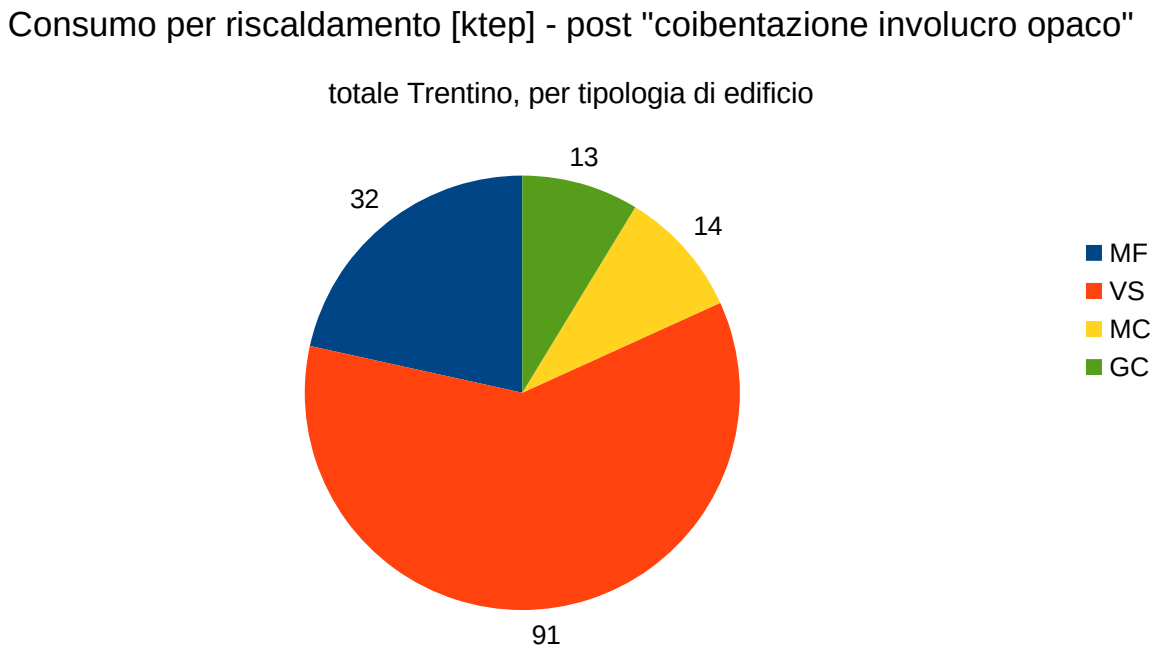
“L’intervento prevede la realizzazione di un cappotto esterno, l’isolamento dell’ultimo solaio dall’estradosso nel caso sia presente un sottotetto non riscaldato o in alternativa l’isolamento del tetto dall’interno e l’isolamento del primo solaio dall’intradosso nel caso di edifici su pilotis o che presentano un piano interrato o seminterrato non riscaldato. Gli spessori di isolante applicati sono tali da rispettare le condizioni di trasmittanza termica per accedere alle detrazioni fiscali.”

Dettagli:
Tipologia pannelli: pannelli in polistirene espanso estruso (XPS) con conduttanza 0,034 W/mK.
Spessore: “Per raggiungere i limiti di trasmittanza previsti per legge non sono necessari spessori di isolante particolarmente difficili da trovare sul mercato e mettere in opera. Per accedere agli incentivi fiscali del 65% o del Conto energia termico le trasmittanze limite sono più restrittive e prevedono, considerando la tipica struttura a cassa vuota in zona climatica E, spessori che vanno dai 12 cm ai 18 cm in funzione del materiale isolante utilizzato.”

Consumo per riscaldamento: **151 ktep** (residenti + non residenti), di cui:

- 120 ktep (solo residenti).
- 31 ktep (solo non residenti).

Investimento per effettuare l’intervento: 3.233 M€ (solo residenti)
Costo globale dell’intervento: 5.076 M€ (solo residenti)
Costo globale con incentivi dell’intervento: 3.372 M€ (solo residenti)



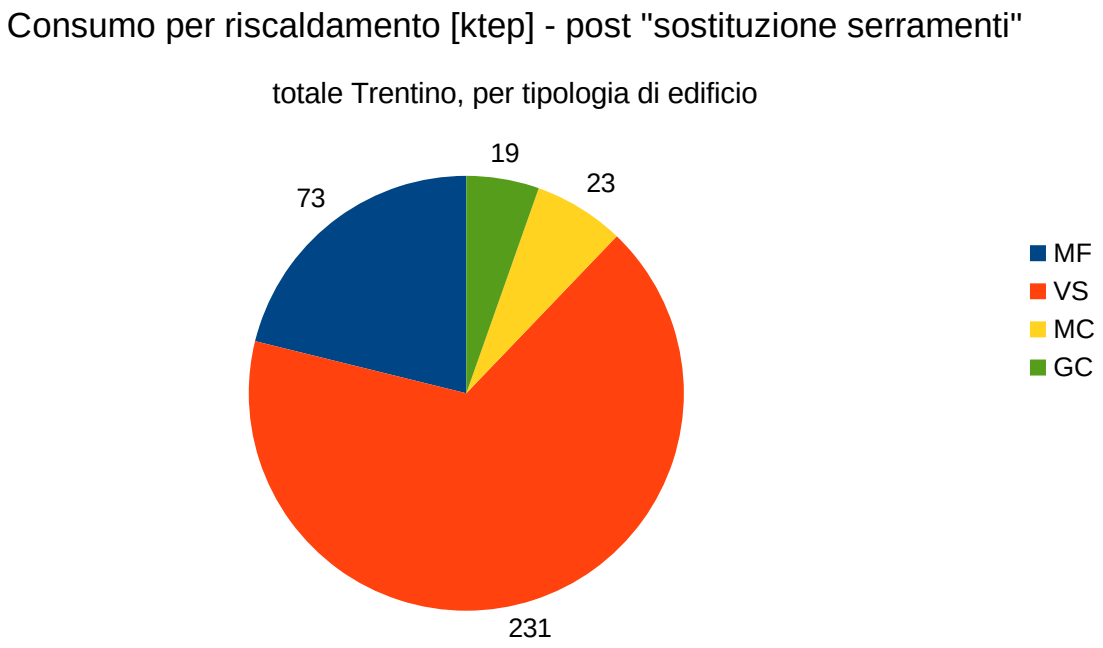
## Intervento: sostituzione serramenti

“I serramenti scelti sono tali da rispettare le condizioni di trasmittanza termica per accedere alle detrazioni fiscali.”

Consumo per riscaldamento: **347 ktep** (residenti + non residenti), di cui:

- 267 ktep (solo residenti).
- 80 ktep (solo non residenti).

Investimento per effettuare l’intervento: 1.236 M€ (solo residenti)
Costo globale dell’intervento: 5.996 M€ (solo residenti)
Costo globale con incentivi dell’intervento: 5.343 M€ (solo residenti)




## Intervento: installazione caldaia a condensazione

“Installazione di caldaia a condensazione (4 stelle) e valvole termostatiche per ogni corpo scaldante. È previsto anche l’adeguamento o rifacimento della canna fumaria.”

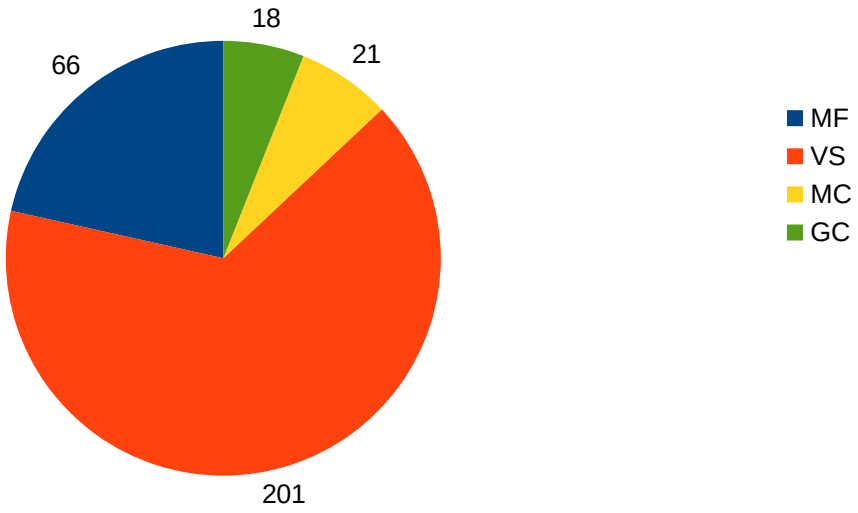
Consumo per riscaldamento: **308 ktep** (residenti + non residenti), di cui:

- 238 ktep (solo residenti).
- 70 ktep (solo non residenti).

Investimento per effettuare l’intervento: 410 M€ (solo residenti)
Costo globale dell’intervento: 3.787 M€ (solo residenti)
Costo globale con incentivi dell’intervento: 3.569 M€ (solo residenti)

Consumo per riscaldamento [ktep] - post "inst. caldaia a condensazione"

totale Trentino, per tipologia di edificio




## Intervento: Coibentazione involucro opaco e sostituzione serramenti

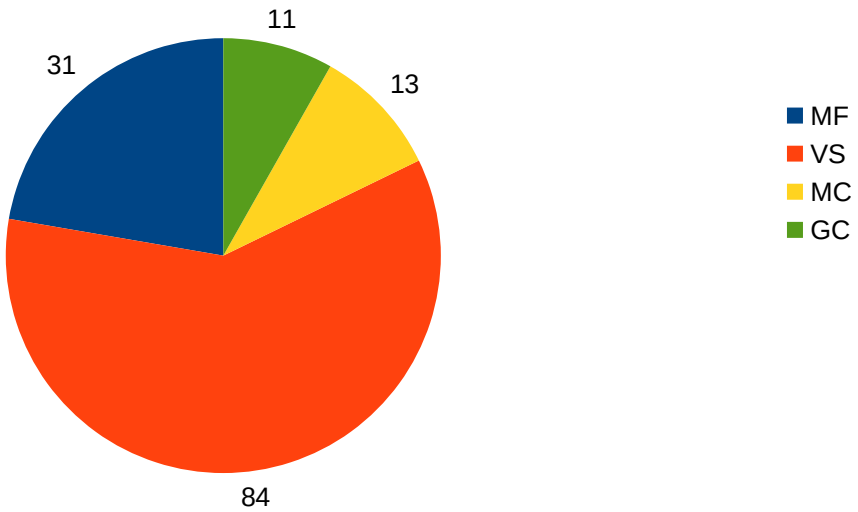
Consumo per riscaldamento: **140 ktep** (residenti + non residenti), di cui:

- 113 ktep (solo residenti).
- 27 ktep (solo non residenti).

Investimento per effettuare l'intervento: 4.294 M€ (solo residenti)
Costo globale dell'intervento: 5.870 M€ (solo residenti)
Costo globale con incentivi dell'intervento: 3.629 M€ (solo residenti)

Consumo per riscaldamento [ktep] - post "coibentazione + serramenti"

totale Trentino, per tipologia di edificio

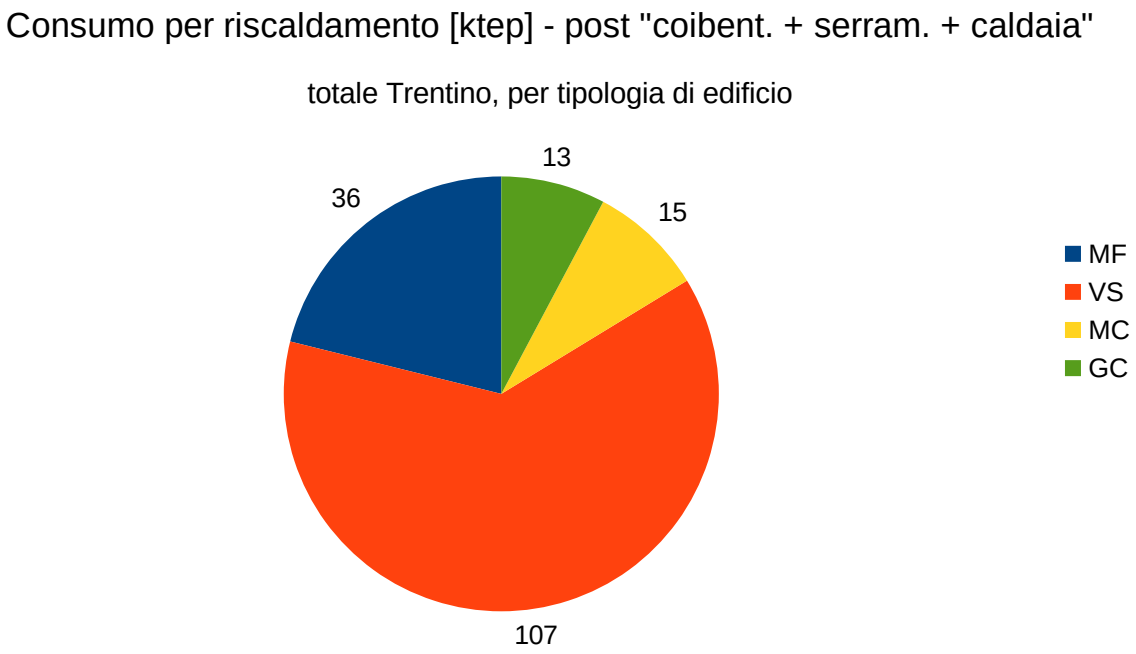


## Intervento: Coibentazione involucro opaco, sostituzione serramenti e installazione caldaia a condensazione

Consumo per riscaldamento: **171 ktep** (residenti + non residenti), di cui:

- 132 ktep (solo residenti).
- 39 ktep (solo non residenti).

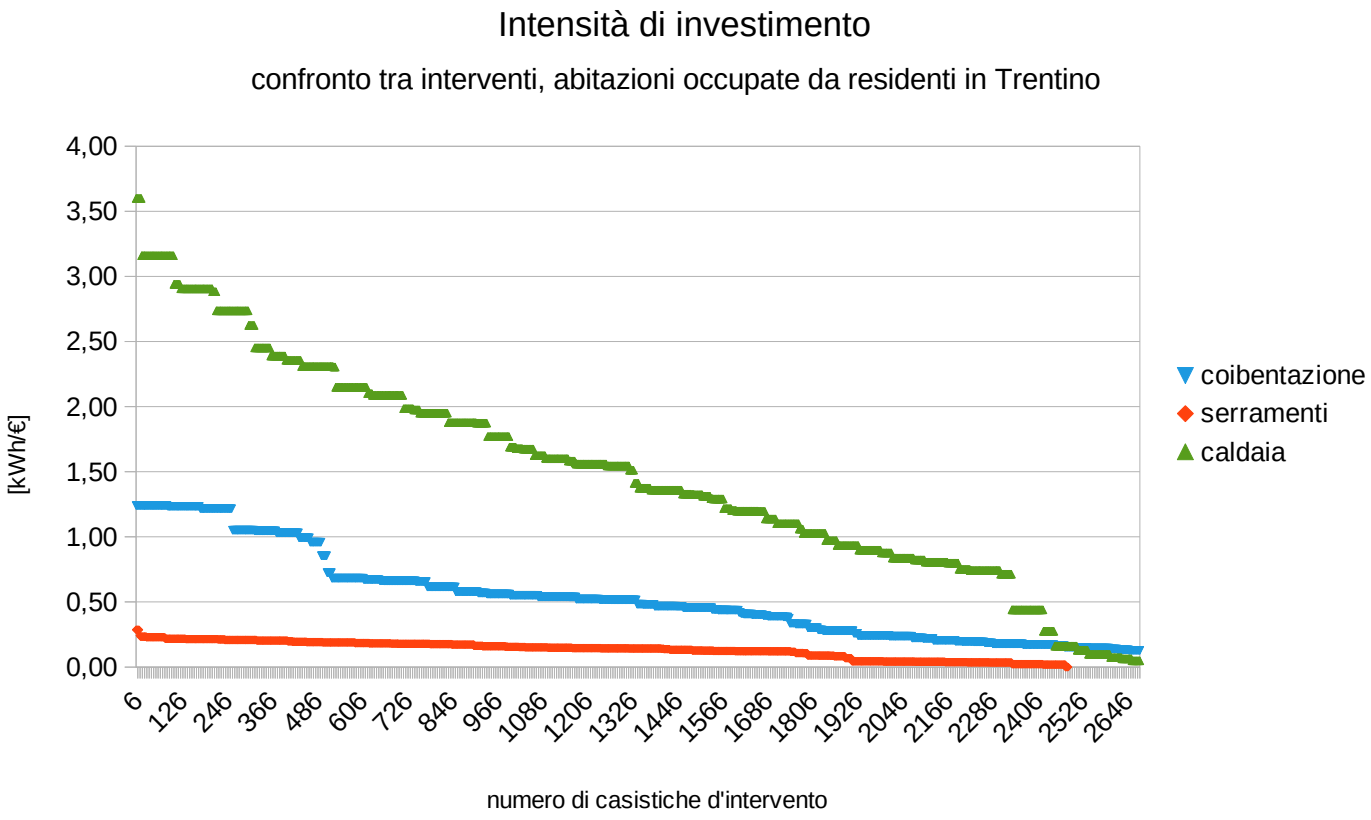
Investimento per effettuare l'intervento: 4.067 M€ (solo residenti)
Costo globale dell'intervento: 5.317 M€ (solo residenti)
Costo globale con incentivi dell'intervento: 3.172 M€ (solo residenti)



# Curva marginale di intensità d'investimento

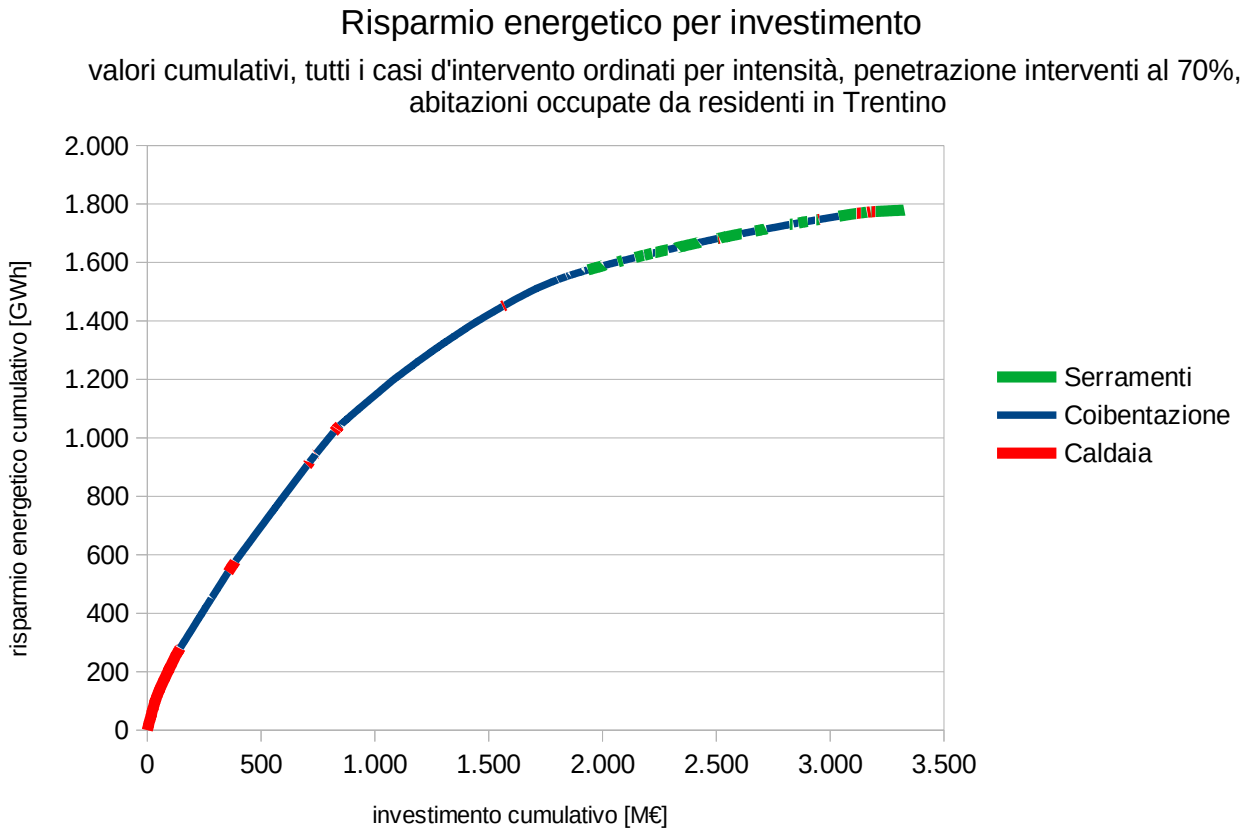
Mantenendo la suddivisione per comune, tipologia di edificio e classe di vetustà (ovvero le "celle" della matrice di calcolo), si calcola il risparmio energetico dovuto ad ogni intervento (rispetto alla situazione attuale). Dividendo questo valore di energia risparmiata per il relativo investimento necessario ad effettuare l'intervento, si ottiene la cosiddetta *intensità d'investimento* [kWh/€]. Questo parametro misura quanta energia si può risparmiare a fronte di un investimento unitario in un dato intervento. Ecco quindi che, ordinando l'intensità d'investimento di tutti gli interventi (sempre mantenendo la massima disaggregazione permessa dalla matrice di calcolo), è possibile definire una priorità negli investimenti.

D'ora in poi si considerano solo gli interventi singoli (coibentazione involucro opaco, sostituzione serramenti, installazione caldaia a condensazione) effettuati su abitazioni occupate da residenti, suddivisi per comune, tipologia di edificio e classe di vetustà. Rappresentando ognuno di questi casi d'intervento come un punto, si ottengono le curve di intensità d'investimento riportate nel grafico seguente (una per tipo di intervento).

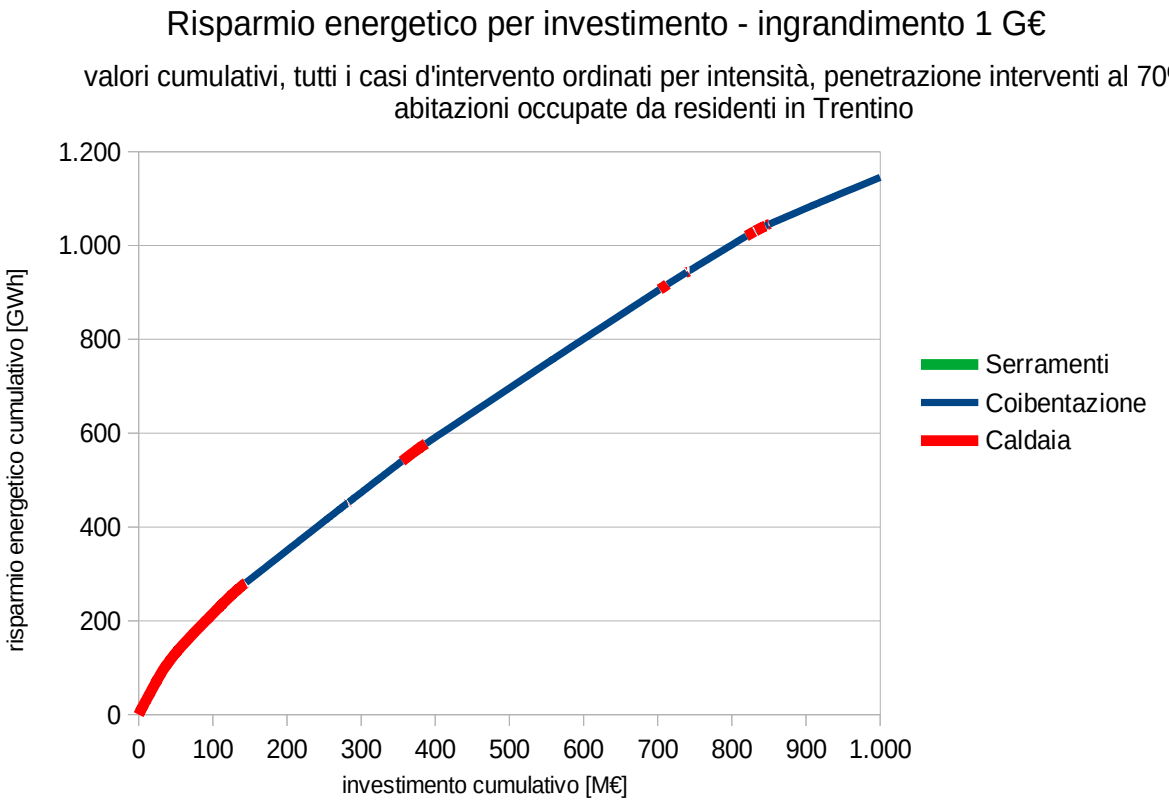



Mantenendo la priorità appena definita per i casi d'intervento, si calcola l'investimento totale cumulativo e il conseguente risparmio energetico totale cumulativo. Ricordando che finora gli interventi sono ipotizzati sulla totalità delle abitazioni idonee, si introduce il parametro *penetrazione dell'intervento*, che misura la quota di abitazioni che effettivamente intraprendono l'intervento tra quelle identificate come idonee. Assumendo, a titolo di esempio, una penetrazione degli interventi del 70%, si ottiene la *curva di risparmio energetico per investimento* riportata nel

grafico seguente[11]. Tuttavia, coprendo l'intero range degli interventi possibili su tutto il patrimonio immobiliare Trentino (pur con la riduzione nella penetrazione degli interventi), si giunge a cifre puramente teoriche; ecco quindi che può risultare utile un ingrandimento dell'intervallo di investimento cumulativo compreso tra zero e un miliardo di euro, riportato nella pagina successiva.




11 Come in precedenza, si considerano solo gli interventi singoli (coibentazione involucro opaco, sostituzione serramenti, installazione caldaia a condensazione) effettuati su abitazioni occupate da residenti, suddivisi per comune, tipologia di edificio e classe di vetustà.

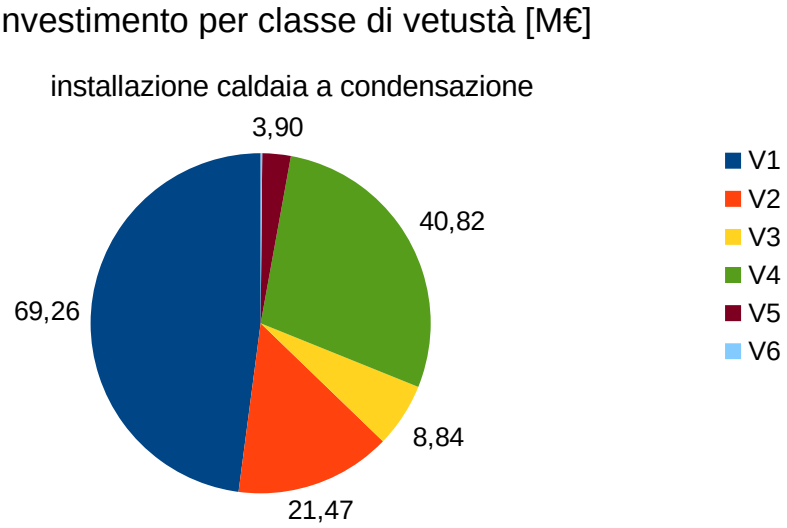



# Aggregazione dei risultati

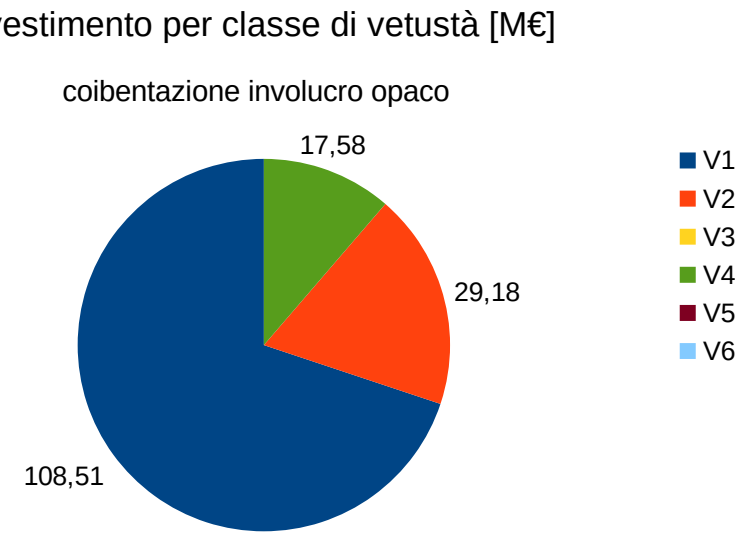
Finora, i risultati sono stati ottenuti mantenendo la suddivisione fine della matrice di calcolo; per facilitarne l'analisi, nel foglio di calcolo allegato si fornisce anche la possibilità di studiare come un dato investimento si ripartisce su ogni intervento e in modo aggregato tra tipologia di edificio o classe di vetustà. Si consideri, a titolo di esempio, un investimento massimo di 300 M€ e una penetrazione degli interventi assunta pari al 70%: in questo caso, l'investimento totale andrebbe ripartito come illustrato nella tabella seguente. Essa mostra anche il risparmio energetico conseguente ad ogni intervento.

| | investimento [M€] | risparmio energetico [GWh] |
|---|---|---|
| Coibentazione | 155,26 | 192,02 |
| Caldaia | 144,51 | 281,16 |
| Serramenti | 0,00 | 0,00 |
| Totale | 299,78 | 473,18 |

Come si vede, per questo importo massimo, la priorità precedentemente definita non assegna risorse alla sostituzione dei serramenti. Riguardo la ripartizione degli interventi per classe di vetustà e per tipologia di edificio, nel caso di installazione di una caldaia a condensazione essi si distribuiscono come illustrato nelle due figure seguenti.



La coibentazione dell'involucro opaco risulta invece focalizzata sulla tipologia di edificio "VS" , con una distribuzione per classe di vetustà come da immagine seguente.




# Allegato: fogli di calcolo

Si forniscono in allegato i principali fogli di calcolo utilizzati per svolgere questa analisi; in particolare, per quanto riguarda i fabbisogni di energia primaria, il file "*Fabbisogni – 2016 situazione attuale.ods*" riporta la situazione aggiornata al 2016 (come esposto nel relativo Capitolo, per permettere la comparazione con i dati della baseline PEAP 2020-2030). "*Fabbisogni – situazione attuale.ods*" riporta la situazione utilizzata come riferimento di partenza per le stime di risparmio energetico, mentre ad ogni intervento di riqualificazione energetica è dedicato un file apposito. Tutte le considerazioni di costo derivano invece da un unico file, "*Fabbisogni – costi unico.ods*", in cui si può selezionare la tipologia d'intervento e il parametro economico di interesse.

# Allegato: tempi di ritorno per tipo di intervento

## *Coibentazione involucro opaco*

Senza incentivi:

| | | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **E** | **MF** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **E** | **VS** | 15 | 15 | >30 | 23 | >30 | >30 |
| **E** | **MC** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **E** | **GC** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **F** | **MF** | 27 | >30 | >30 | 26 | >30 | >30 |
| **F** | **VS** | 13 | 13 | >30 | 12 | >30 | >30 |
| **F** | **MC** | 29 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **F** | **GC** | 21 | 30 | >30 | >30 | >30 | >30 |

Con incentivi:

| | | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **E** | **MF** | 13 | 14 | 15 | 12 | >30 | >30 |
| **E** | **VS** | 8 | 8 | 17 | 10 | >30 | >30 |
| **E** | **MC** | 14 | 16 | 18 | 16 | >30 | >30 |
| **E** | **GC** | 17 | 20 | 16 | 24 | 29 | >30 |
| **F** | **MF** | 11 | 12 | 13 | 10 | 29 | >30 |
| **F** | **VS** | 8 | 8 | 14 | 7 | >30 | >30 |
| **F** | **MC** | 11 | 15 | 17 | 14 | >30 | >30 |
| **F** | **GC** | 10 | 12 | 14 | 20 | 24 | 28 |

## *Sostituzione serramenti*

Senza incentivi:

| | | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **E** | **MF** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **E** | **VS** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **E** | **MC** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **E** | **GC** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **F** | **MF** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **F** | **VS** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **F** | **MC** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **F** | **GC** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |

Con incentivi:

| | | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **E** | **MF** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **E** | **VS** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **E** | **MC** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **E** | **GC** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **F** | **MF** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **F** | **VS** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **F** | **MC** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |
| **F** | **GC** | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 | >30 |

## *Installazione caldaia*

Senza incentivi:

| | | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **E** | **MF** | 29 | 30 | 30 | 15 | 30 | >30 |
| **E** | **VS** | 9 | 8 | 13 | 9 | 30 | >30 |
| **E** | **MC** | 9 | 10 | 10 | 11 | 12 | >30 |
| **E** | **GC** | 10 | 10 | 11 | 12 | 14 | >30 |
| **F** | **MF** | 15 | 25 | 24 | 12 | 25 | >30 |
| **F** | **VS** | 9 | 8 | 12 | 9 | 27 | >30 |
| **F** | **MC** | 11 | 9 | 9 | 10 | 11 | >30 |
| **F** | **GC** | 7 | 9 | 11 | 10 | 11 | >30 |

con incentivi:

| | | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **E** | **MF** | 9 | 10 | 9 | 8 | 10 | >30 |
| **E** | **VS** | 6 | 6 | 8 | 6 | 10 | >30 |
| **E** | **MC** | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | >30 |
| **E** | **GC** | 6 | 7 | 7 | 7 | 8 | >30 |
| **F** | **MF** | 8 | 9 | 8 | 7 | 9 | >30 |
| **F** | **VS** | 6 | 6 | 7 | 6 | 9 | >30 |
| **F** | **MC** | 7 | 6 | 6 | 7 | 7 | >30 |
| **F** | **GC** | 5 | 6 | 7 | 6 | 7 | >30 |

## *Coibentazione involucro opaco e sostituzione serramenti*

Con incentivi:

| | | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **E** | **MF** | 16 | 18 | 20 | 16 | >30 | >30 |
| **E** | **VS** | 10 | 10 | 23 | 12 | >30 | >30 |
| **E** | **MC** | 18 | 22 | 28 | 22 | >30 | >30 |
| **E** | **GC** | >30 | 28 | 24 | >30 | >30 | >30 |
| **F** | **MF** | 13 | 15 | 17 | 13 | >30 | >30 |
| **F** | **VS** | 9 | 10 | 18 | 9 | >30 | >30 |
| **F** | **MC** | 14 | 20 | 24 | 18 | >30 | >30 |
| **F** | **GC** | 14 | 16 | 20 | 29 | >30 | >30 |

## *Coibentazione involucro opaco, sostituzione serramenti e installazione caldaia a condensazione*

Con incentivi:

| | | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **E** | **MF** | 18 | 23 | 25 | 18 | >30 | >30 |
| **E** | **VS** | 11 | 11 | 27 | 14 | >30 | >30 |
| **E** | **MC** | 17 | 24 | 29 | 24 | >30 | >30 |
| **E** | **GC** | >30 | 27 | 24 | >30 | >30 | >30 |
| **F** | **MF** | 15 | 17 | 19 | 15 | >30 | >30 |
| **F** | **VS** | 10 | 10 | 19 | 10 | >30 | >30 |
| **F** | **MC** | 13 | 18 | 24 | 18 | >30 | >30 |
| **F** | **GC** | 15 | 16 | 19 | 28 | >30 | >30 |

## Bibliografia


A. Bello, Ricostruzione quantitativa delle riqualificazioni energetiche effettuate sugli edifici residenziali in Trentino dal 1990 al 2017

F. Carrara, R. Brunelli, M. Borgarello, Provincia autonoma di Trento - I consumi energetici - I - Il riscaldamento residenziale, 2015, APRIE, rapporto interno

A. Capozza, F. Carrara, M. Gobbi, F. Madonna, F. Ravasio, A. Panzeri, Analisi tecnico-economica di interventi di riqualificazione energetica del parco edilizio residenziale italiano RSE 14002104, 2013. Rapporto Ricerca di Sistema

Decreto del Presidente della Repubblica 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. (GU Serie Generale n.242 del 14-10-1993 - Suppl. Ordinario n. 96). 1993

Decreto Interministeriale del 26 giugno 2015, Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici. luglio 2015 - Serie generale

F. Madonna, V. Corrado, Studio sulla riqualificazione energetica di edifici residenziali RSE 14002701, 2013.

ISTAT. Censimento della popolazione e delle abitazioni. UniData - Bicocca Data Archive, Milano 2011.

F. Uboldi, C. Lussana and M. Salvati, Three-dimensional spatial interpolation of surface meteorological observations from high-resolution local networks, 2008

UNI EN ISO 13790. Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento. UNI Ente Italiano di Normazione. 2008

UNI/TS 11300-2. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria. 2008