



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Laurea Magistrale in Architettura per la Sostenibilità
A.a. 2024/2025
Sessione di Laurea Luglio 2025

Riqualificazione energetica e incentivi fiscali

Analisi tecnico-economica di interventi di
efficientamento a Torino

Relatrice:
Manuela Rebaudengo

Candidato:
Davide Iorio, s319343

Co. Relatore:
Enrico Fabrizio

INDICE

Introduzione	4
1) Analisi del contesto normativo e del quadro energetico italiano	5
1.1) Evoluzione della normativa per l'efficientamento energetico	5
1.1.1) Direttive europee	7
1.1.2) Normativa italiana	10
1.1.3) Gli incentivi fiscali	12
1.2) Panoramica attuale dei bonus edilizi	14
1.2.1) Bonus Casa	14
1.2.2) Ecobonus	15
1.2.3) Il superbonus	17
1.3) Quadro energetico attuale del settore edilizio italiano	19
1.4) Bilancio degli incentivi edilizi: impatti economici, ambientali e criticità	24
2) Approccio metodologico dell'analisi	30
2.1) Definizione delle condizioni al contorno	30
2.1.1) Contesto climatico	31
2.1.2) Profilo dell' investitore	32
2.2) Strumenti di calcolo	33
2.2.1) Calcoli delle prestazioni energetiche	33
2.2.2) Calcoli economici	34
2.3) Definizione delle caratteristiche tipo dell'appartamento torinese	35
2.3.1) Dimensionamento	35
2.3.2) Tipologia edilizia	37
2.3.3) Diagnosi energetica	39
2.4) Individuazione e descrizione dei casi studio	42

3) Descrizione degli interventi di efficientamento	49
3.1) Isolamento termico delle pareti	49
3.2) Sostituzione dei serramenti	51
3.3) Ventilazione meccanica controllata	53
3.4) Sostituzione dell'impianto di riscaldamento	55
4) Analisi dei costi di intervento	57
4.1) Isolamento termico delle pareti	57
4.2) Sostituzione dei serramenti	58
4.3) Ventilazione meccanica controllata	60
4.4) Sostituzione dell'impianto di riscaldamento	61
5) Analisi dei ricavi	64
5.1) Consumi energetici e risparmio in bolletta	64
5.2) Incremento del valore dell'immobile	70
5.3) Incentivi applicabili al caso studio	72
6) Analisi dei risultati	75
6.1) Analisi energetica e ambientale	75
6.2) Analisi economica	78
Conclusioni	85
Bibliografia	87
Sitografia	89

INTRODUZIONE

Il patrimonio edilizio italiano rappresenta oggi uno dei principali punti deboli della transizione energetica: gran parte del tessuto residenziale risulta obsoleto sotto il profilo delle prestazioni termiche e impiantistiche, contribuendo in maniera significativa ai consumi energetici e alle emissioni urbane. In questo contesto, la riqualificazione energetica degli edifici esistenti rappresenta una delle sfide più urgenti e allo stesso tempo più complesse da affrontare. Né i cittadini, spesso disinformati o scoraggiati, né soprattutto, chi dovrebbe guidare il cambiamento (la politica e le istituzioni) sembrano volerci fare troppa attenzione.

Di fronte a questo atteggiamento non propriamente attivo, mi sono chiesto: cosa può fare un comune cittadino? Non un grande investitore, non un ente pubblico, ma un singolo cittadino proprietario di un appartamento, che magari vuole migliorare la propria casa, risparmiare energia, ridurre le emissioni, limitandosi a interventi compatibili con un'azione individuale o quasi, e senza dover necessariamente attendere decisioni collettive.

Questa tesi dunque, propone un'analisi tecnico-economica di interventi di riqualificazione energetica applicati a quattro appartamenti torinesi, scelti come casi studio perché rappresentativi dell'ipotesi più comune e ricorrente nel contesto torinese. Gli interventi selezionati sono stati organizzati in due fasi: nella prima si analizzano quelli facilmente attuabili dal singolo proprietario, come l'insufflaggio delle pareti, la sostituzione dei serramenti e l'installazione della ventilazione; nella seconda si introduce la sostituzione dell'impianto di riscaldamento, per indagare gli effetti di un intervento più completo e profondo.

La tesi si articola in un percorso che parte dal quadro normativo e dagli strumenti fiscali oggi disponibili in Italia, sviluppandosi poi attraverso una simulazione tecnico-economica dei quattro casi studio scelti. Vengono analizzati i costi, i risparmi in bolletta, il miglioramento delle prestazioni energetiche e delle classi APE, l'impatto ambientale in termini di CO₂ e l'incremento del valore immobiliare, il tutto valutato alla luce degli incentivi disponibili.

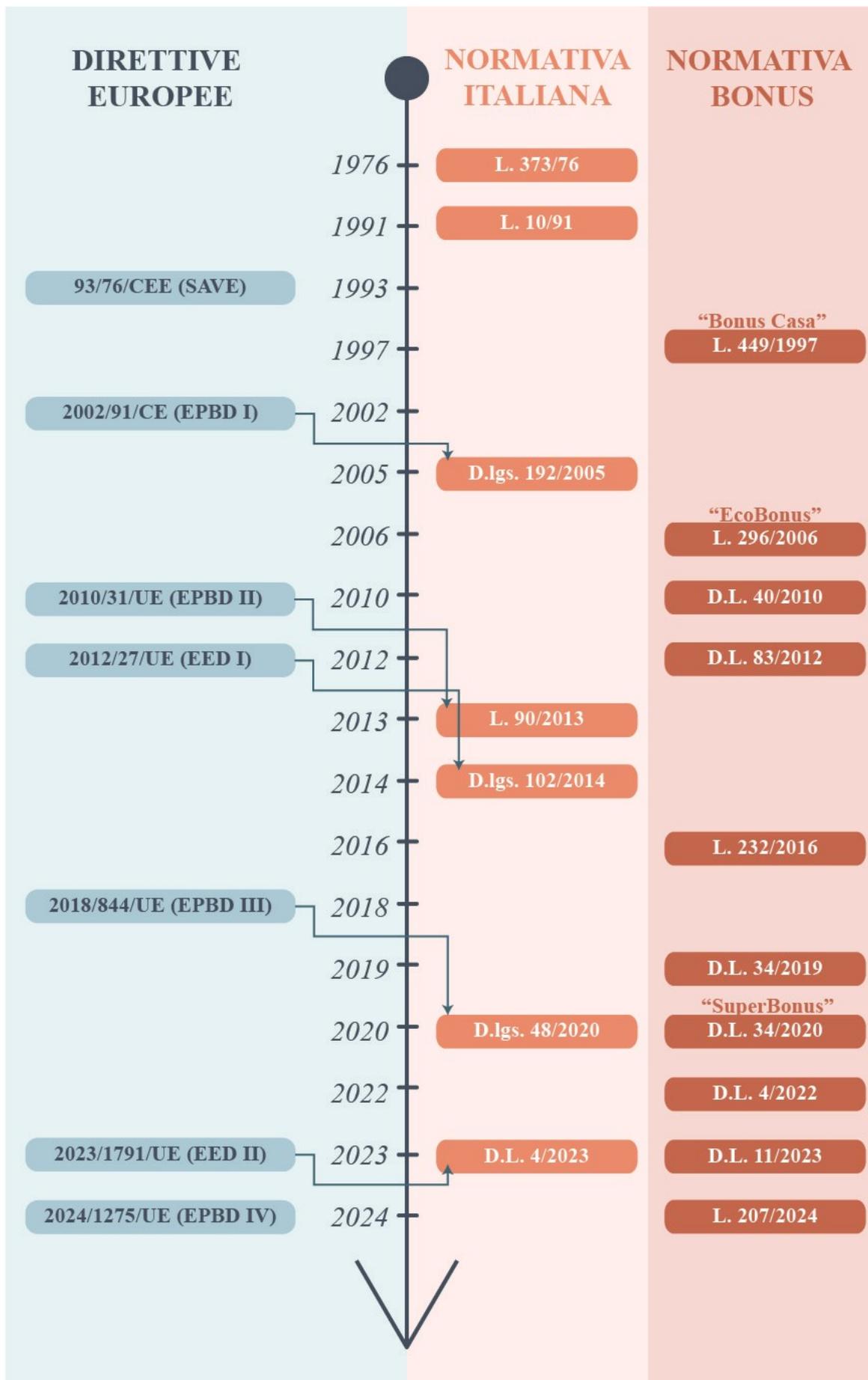
L'obiettivo è fornire un quadro di dettaglio di cosa comporti oggi riqualificare energeticamente un appartamento in un contesto urbano, valutandone la reale sostenibilità economica e l'efficacia energetica, a partire da condizioni abitative diffuse e dagli strumenti fiscali attualmente disponibili per un cittadino comune, con l'intento di mettere in luce eventuali criticità e possibili risvolti futuri e soluzioni operative.

1. ANALISI DEL QUADRO ENERGETICO ITALIANO E CONTESTO NORMATIVO

1.1 Evoluzione della normativa per l'efficientamento energetico

L'Europa ha affrontato il tema dell'efficienza energetica in edilizia, dal punto di vista normativo, a partire dal 1993, con la direttiva 1993/76/CE, anche detta SAVE, intesa a limitare le emissioni di biossido di carbonio. È solo a partire dal 2002 però che arrivano una serie di leggi comunitarie (EPBD I – II – III e EED I – II) che dettano obblighi e requisiti prestazionali, agevolando la certificazione energetica degli edifici, le fonti rinnovabili e la diversificazione energetica. Questo dà avvio ad un cambiamento nella progettazione edilizia, favorendo il recupero e la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente, verso edifici a ridotti consumi coperti da fonti di energia pulita.

L'Italia, già dal 1976, con la Legge 373/76, “Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici”, introduce criteri sull'isolamento termico degli edifici e sulla progettazione degli impianti termici. Successivamente, arriva la Legge 10/91, che regolava, ed in parte ancora lo fa, le modalità progettuali e la gestione del sistema edificio/impianto. A partire dal d.lgs. 192/2005, il nostro Paese segue la normativa europea, traducendone i contenuti per adattarli alle esigenze nazionali.



1.1.1 Direttive europee

La **Direttiva 93/76/CEE**, nota come **Direttiva SAVE**, è stata la prima normativa dell'Unione Europea interamente dedicata al tema dell'efficienza energetica degli edifici. Adottata nel 1993, aveva come obiettivo principale la riduzione delle emissioni di CO₂ attraverso strategie di efficientamento. In particolare, sono stati stabiliti sei ambiti di intervento, dalla certificazione energetica degli edifici, alla promozione della fatturazione in base ai consumi reali, fino al sostegno economico per gli interventi pubblici. Venivano inoltre incentivati il controllo degli impianti termici e la realizzazione di diagnosi energetiche, in particolare per le imprese energivore. Queste misure hanno aperto la strada a un approccio più strutturato alla questione energetica in edilizia, influenzando fortemente le normative successive.

La **Direttiva 2002/91/CE** o anche **EPBD** Energy Performance of Buildings Directive, riguarda appunto l'efficienza energetica degli edifici. Essa intendeva adottare le misure necessarie per rispettare il protocollo di Kyoto ed esprime l'esigenza di arrivare a definire uno "strumento giuridico complementare che sancisca interventi più concreti al fine di realizzare il grande potenziale di risparmio energetico tuttora inattuato e di ridurre l'ampio divario fra le risultanze dei diversi stati membri in questo settore." La direttiva stabilisce una metodologia comune per il calcolo della prestazione energetica degli edifici, considerando fattori come l'isolamento termico, gli impianti di riscaldamento, ventilazione e illuminazione. Essa impone anche requisiti minimi di prestazione energetica per gli edifici nuovi e per quelli che subiscono ristrutturazioni significative. Un altro aspetto fondamentale è l'introduzione della certificazione energetica, che richiede la redazione di un attestato, utile anche per la compravendita o la locazione.

La **Direttiva 2010/31/UE**, nota come **EPBD II**, ha aggiornato la precedente normativa del 2002 con l'intento di potenziare gli strumenti per l'efficienza energetica nel settore edilizio. Tra le misure introdotte, l'obbligo che, a partire dal 2021, tutti gli edifici di nuova costruzione rispondano ai criteri degli edifici a energia quasi zero (nZEB), al fine di ottenere una sensibile riduzione dei consumi e delle emissioni. Nel provvedimento inoltre, è definita una metodologia per il calcolo della prestazione energetica degli edifici che tiene conto di molti altri fattori, tra cui: le caratteristiche termiche dell'edificio, le caratteristiche degli impianti, la posizione e l'orientamento dell'edificio, i sistemi solari passivi e di protezione solare e le condizioni climatiche interne. Il calcolo della prestazione energetica deve essere differenziato a seconda della categoria di edificio. La direttiva inoltre, introduce la possibilità di favorire l'efficienza

energetica degli edifici mettendo a disposizione misure di incentivazione che possono variare da Paese a Paese.

La **Direttiva 2012/27/UE** sulla efficienza energetica (Energy Efficiency Directive – **EED**) è stata adottata dall'Unione Europea con l'obiettivo di promuovere l'efficienza energetica in tutti i settori dell'economia, ridurre il consumo di energia e contribuire al raggiungimento degli obiettivi climatici e energetici europei. Un elemento centrale della direttiva riguarda l'adozione di interventi volti ad accrescere l'efficienza degli edifici, con particolare riferimento al patrimonio edilizio pubblico per cui sono stati imposti obblighi per l'ammodernamento. Inoltre, la direttiva stabilisce che gli Stati membri devono adottare piani nazionali per garantire che gli obiettivi siano raggiunti. Un'altra misura importante riguarda l'obbligo per le imprese energetiche di promuovere misure di efficienza energetica tra i propri consumatori, per esempio attraverso programmi di efficienza energetica e incentivi per la sostituzione di impianti inefficienti.

La **Direttiva UE 2018/844**, nota come **EPBD III**, modifica le precedenti direttive del 2010 e del 2012 in materia di prestazione energetica nell'edilizia. Il suo obiettivo principale è accelerare la ristrutturazione economicamente efficiente degli edifici e integrare strategie di ristrutturazione a lungo termine per realizzare edifici a emissioni zero entro il 2050. Un aspetto centrale della direttiva riguarda la promozione dell'uso delle tecnologie intelligenti per ottimizzare i consumi e migliorare l'efficienza. In questo ambito, viene dunque favorita l'adozione di sistemi di automazione e gestione degli impianti tecnologici (domotica), in alternativa ai tradizionali controlli manuali. Inoltre, la normativa rafforza il sistema della certificazione energetica e dei controlli sugli impianti, introducendo criteri più severi per garantire prestazioni elevate e contribuire così al miglioramento del patrimonio edilizio europeo e alla transizione ecologica.

La **Direttiva UE 2023/1791 – EED II** rappresenta un passo avanti rispetto alla direttiva del 2012 nella strategia europea per migliorare l'efficienza energetica e ridurre i consumi. Questa normativa stabilisce obiettivi vincolanti, imponendo agli Stati membri di garantire una riduzione annua dell'1,9% del consumo energetico del settore pubblico rispetto ai livelli del 2021. Inoltre, introduce l'obbligo di ristrutturare almeno il 3% della superficie utile totale degli edifici pubblici ogni anno, trasformandoli in almeno edifici a energia quasi zero. Gli Stati membri possono adottare un approccio alternativo, purché si ottenga un risparmio energetico equivalente. Il calcolo di questa percentuale si applica agli edifici con una superficie superiore

ai 250 m² che, al 1° gennaio 2024, non risultano ancora conformi agli standard energetici previsti. Alcune categorie di edifici possono essere esentate o sottoposte a requisiti meno rigidi, come gli edifici storici la cui riqualificazione potrebbe comprometterne il valore architettonico, le strutture militari destinate alla difesa nazionale e i luoghi di culto.

La **Direttiva (UE) 2024/1275**, conosciuta anche come **EPBD IV** o più comunemente come "**Direttiva Case Green**", rappresenta la quarta, e ad oggi la più recente, revisione della normativa europea sulla prestazione energetica degli edifici. Adottata nell'ambito del Green Deal europeo, questa direttiva si pone l'obiettivo di decarbonizzare il parco edilizio dell'Unione Europea entro il 2050, riducendo progressivamente i consumi energetici e incentivando l'uso di fonti rinnovabili. Una delle novità più significative è l'introduzione degli "edifici a emissioni nette zero", che devono essere progettati, costruiti e ristrutturati in modo da minimizzare le emissioni di carbonio e massimizzare l'efficienza energetica. Per gli edifici non residenziali, vengono imposte soglie di consumo energetico massimo che dovranno essere rispettate entro il 2030 e il 2033, mentre per il settore residenziale si prevede una riduzione del consumo medio di energia primaria del 16% entro il 2030 e del 20-22% entro il 2035, con obiettivi successivi fino al 2050. La direttiva incentiva la ristrutturazione profonda degli edifici, con particolare attenzione agli immobili più energivori. A tal fine, introduce il Passaporto di ristrutturazione, strumento che permette ai proprietari di pianificare interventi migliorativi in più fasi, rendendo il processo più gestibile dal punto di vista tecnico ed economico. Parallelamente, l'EPBD IV rafforza il sistema di certificazione energetica degli edifici, rendendo gli attestati di prestazione energetica più dettagliati, facendogli per esempio includere indicatori come il Global Warming Potential (GWP), che misura l'impatto ambientale dell'edificio durante l'intero ciclo di vita. Un altro elemento innovativo è l'attenzione alla digitalizzazione e alla gestione intelligente dell'energia, infatti viene introdotto lo Smart Readiness Indicator (SRI), un nuovo parametro per valutare la capacità degli edifici di integrare tecnologie smart per la gestione efficiente dell'energia. Tra le altre misure previste, un ruolo cruciale è affidato all'installazione obbligatoria di impianti solari. Gli edifici pubblici e non residenziali esistenti dovranno essere dotati di sistemi fotovoltaici a partire dal 2026, mentre per tutti i nuovi edifici residenziali l'obbligo scatterà dal 2029. Per assicurare il raggiungimento degli obiettivi, gli Stati membri dovranno elaborare un Piano Nazionale di Ristrutturazione degli Edifici (PNRE), che dovrà essere presentato entro il 31 dicembre 2025 e adottato entro il 31 dicembre 2026.

1.1.2 Normativa italiana

In Italia, la storia normativa sull'efficienza energetica in edilizia inizia già dagli anni '70, con la crisi energetica globale del 1973, provocata dalla guerra arabo-israeliana e dal conseguente blocco del flusso di petrolio dai paesi OPEC (Organizzazione dei Paesi Esportatori di Petrolio). L'impennata dei prezzi del greggio, che addirittura arrivò a triplicarsi, spinse l'Italia a emanare nel 1976 la prima normativa sull'efficienza energetica in edilizia: la **Legge 373/76**, intitolata "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici". Quest'ultima era costituita da tre parti principali: la prima riguardava gli impianti termici e stabiliva obblighi per la loro progettazione e manutenzione; la seconda imponeva, per la prima volta, criteri per l'isolamento termico degli edifici, attraverso limiti rigorosi alle dispersioni termiche dell'involucro edilizio; la terza prevedeva sanzioni per la mancata osservanza delle disposizioni. Nel corso degli anni successivi, questa legge fu integrata e aggiornata da tre documenti fondamentali: il DPR 1052/77, che definiva i criteri di applicazione e i termini per la redazione della Relazione Tecnica; il DM 10/3/1977, che stabiliva le zone climatiche italiane e i valori massimi consentiti per la dispersione termica, e infine il DM 30/7/1986, che aggiornava i coefficienti di dispersione termica in base al rapporto superficie disperdente/volume lordo riscaldato degli edifici (S/V) e alla fascia climatica di appartenenza.

Dopo quindici anni, con la **Legge 10 del 1991**, l'Italia sviluppò ulteriormente il quadro normativo. Questa legge, fondamentale per il settore edilizio e industriale, puntava a disciplinare l'uso razionale dell'energia, il risparmio energetico e la diffusione delle fonti rinnovabili. La sua attuazione fu regolata principalmente dal DPR 412/93, che definì criteri precisi per la verifica del Fabbisogno Energetico Normalizzato (FEN) degli edifici e suddivise il territorio nazionale in sei zone climatiche, dalla più calda (A) alla più fredda (F), basandosi sui Gradi Giorno (GG), parametro che influenza direttamente le prescrizioni progettuali per isolamento e impianti. Successivamente, il quadro fu completato dal DPR 551/99, che affinò ulteriormente i metodi di calcolo e la gestione tecnica del sistema edificio-impianto.

Con l'emanazione del **D.lgs. 192/2005**, l'Italia recepì formalmente la Direttiva Europea del 2002 (EPBD), introducendo requisiti minimi obbligatori per la prestazione energetica degli edifici e stabilendo l'obbligo della certificazione energetica. Questo decreto rappresentò una svolta nella normativa italiana perché per la prima volta impose in modo organico e uniforme l'Attestato di Certificazione Energetica (ACE, poi evoluto in APE), documento obbligatorio per i trasferimenti immobiliari. Con il D.lgs. 311/2006 e il DM 26 giugno 2009, furono stabilite

le prime linee guida nazionali per la certificazione energetica, definendo le metodologie univoche di calcolo e fissando una durata di validità decennale per gli attestati.

Il quadro normativo si è evoluto ulteriormente con il recepimento della Direttiva EPBD II tramite la **Legge 90 del 2013**. In particolare, questa legge ha definito l'edificio a energia quasi zero (nZEB), come un immobile caratterizzato da fabbisogni energetici quasi nulli, soddisfatti in misura significativa attraverso fonti energetiche rinnovabili prodotte in situ. La piena operatività di questa legge è stata raggiunta con tre decreti attuativi datati 26 giugno 2015, che hanno stabilito: i requisiti minimi per i nuovi edifici e per le ristrutturazioni importanti, le nuove modalità di redazione dell'Attestato di Prestazione Energetica (APE), e lo schema-tipo della Relazione Tecnica prevista dalla Legge 10.

Un'ulteriore tappa normativa si è realizzata con il recepimento della Direttiva Europea sull'Efficienza Energetica (EED) tramite il **D.lgs. 102/2014**, il quale impose obiettivi nazionali di risparmio energetico fino al 2020. Questo decreto introdusse inoltre, l'obbligo di diagnosi energetiche periodiche per le grandi imprese e quelle energivore, e impose un tasso di riqualificazione energetica obbligatoria annuale del 3% degli edifici governativi, incentivando le amministrazioni pubbliche verso una transizione più sostenibile.

Ulteriori aggiornamenti sono giunti con il **D.lgs. 48 del 2020**, recependo la Direttiva europea (EPBD III). Questa normativa ha introdotto ulteriori obblighi, come l'integrazione obbligatoria negli edifici di nuove infrastrutture per la ricarica dei veicoli elettrici, aggiornato la definizione di impianto termico, e definito più chiaramente i contenuti della strategia nazionale di ristrutturazione a lungo termine.

L'ultimo step significativo è rappresentato dal recente **D.L. 4 del 2023**, che recepisce la Direttiva Europea EED II. Esso stabilisce nuovi obblighi per la pubblica amministrazione italiana, tra cui una riduzione annua del consumo energetico del settore pubblico dell'1,9% e un tasso di riqualificazione obbligatoria del 3% della superficie totale degli edifici pubblici ogni anno. Questa normativa punta ad accelerare significativamente la decarbonizzazione e a garantire una transizione equa, attraverso misure specifiche che incentivano gli investimenti nella sostenibilità e il contrasto alla povertà energetica.

Per quanto riguarda il recepimento della quarta revisione della EPBD, al momento non è ancora disponibile, ma dovrà essere recepita dagli Stati membri entro il 29/05/2026

1.1.3 Gli incentivi fiscali

L'evoluzione degli incentivi fiscali per la ristrutturazione e la riqualificazione energetica degli edifici in Italia inizia nel 1997, con la **Legge 449/1997**. Quest'ultima introduce una prima forma di detrazione legata ai lavori edilizi, poi comunemente chiamata "Bonus Casa". All'epoca, la percentuale di detrazione era fissata al 41% delle spese sostenute per interventi di manutenzione e ristrutturazione, e rappresentava un segnale forte di attenzione verso il recupero del patrimonio immobiliare.

Nel corso degli anni duemila, troviamo un'ulteriore spinta all'idea di premiare gli interventi che mirano all'efficienza energetica. La **Legge 296/2006** (Finanziaria 2007) introduce l'Ecobonus, inizialmente con un'aliquota di detrazione del 55%, che si focalizza su opere come la sostituzione dei serramenti, l'installazione di caldaie a condensazione, l'isolamento dell'involucro e la posa di pannelli solari termici. Qualche anno più tardi, con il **D.L. 40/2010**, si interviene sull'aliquota dell'Ecobonus per determinati interventi, portandola al 50% ai fini di regolare l'incentivo in base alle esigenze di bilancio e al tipo di lavoro.

Successivamente con il **D.L. 83/2012**, vengono innalzate le detrazioni del "Bonus Casa" (legate alla semplice ristrutturazione) al 50%, mentre l'Ecobonus sale al 65% per diverse tipologie di intervento energetico. In questo periodo, gli sforzi per ammodernare e rendere più efficienti gli immobili sono notevoli, e il duplice binario Bonus Casa – Ecobonus è ormai consolidato. Nel 2016, la **Legge 232/2016** (Legge di Bilancio 2017) rimodula ulteriormente l'Ecobonus, arrivando a detrazioni tra il 65% e il 75% per gli interventi condominiali più incisivi. Ciò conferma la volontà di incentivare soprattutto i progetti di riqualificazione più complessi e con maggiore impatto sulla riduzione dei consumi.

Un'ulteriore svolta arriva nel 2019, con il **D.L. 34/2019** (Decreto Crescita), che introduce la possibilità di sconto in fattura e cessione del credito per l'Ecobonus, inizialmente riservate a imprese con elevato fatturato. Lo scopo è consentire anche a più persone di beneficiare degli incentivi, coinvolgendo direttamente i fornitori o gli istituti di credito. Si tratta di una novità che apre la strada a meccanismi di finanziamento più flessibili, pur richiedendo un notevole impegno burocratico e amministrativo.

Il vero punto di svolta è però il 2020, con il **D.L. 34/2020** (Decreto Rilancio), che introduce il Superbonus 110%. Questa misura, nata in un periodo di crisi economico-sanitaria legata alla pandemia, ha lo scopo di rilanciare l'economia attraverso un massiccio piano di riqualificazione edilizia ed efficientamento energetico. Gli interventi "trainanti", come

l'isolamento termico e la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale, permettono di accedere a una detrazione maggiorata al 110%, con la possibilità di cedere il credito o optare per lo sconto in fattura. La combinazione di aliquota elevata e meccanismi finanziari innovativi accende un forte interesse verso le ristrutturazioni profonde da parte dei cittadini.

Con la Legge di Bilancio 2021 (**Legge 178/2020**), si estendono i termini del Superbonus fino al 2022 (e in alcuni casi fino al 2023) per condomini, Istituti Autonomi Case Popolari (IACP) e cooperative. Seguiranno poi una serie di interventi normativi mirati a correggere il sistema delle cessioni. In particolare, nel 2022, il **D.L. 4/2022** (Decreto Sostegni Ter) introduce la limitazione delle cessioni multiple del credito, consentendo al massimo due passaggi a banche o assicurazioni. Queste restrizioni mirano a contenere possibili frodi e a garantire una maggior tracciabilità delle transazioni.

Nel 2023, l'evoluzione legislativa prosegue con due atti rilevanti: il **D.L. 11/2023** (Decreto Blocca Cessioni) e la Legge di Bilancio 2023 (**Legge 197/2022**). Il primo segna la fine della possibilità di cedere il credito o di esercitare lo sconto in fattura per i nuovi interventi, riportando le agevolazioni a un meccanismo di detrazione diretta. La seconda, invece, opera un ridimensionamento graduale del Superbonus, abbassando l'aliquota (inizialmente fissata al 110%) verso il 90%, imponendo ulteriori restrizioni di accesso per ridurre la spesa pubblica. Nel complesso, questi provvedimenti sono volti a sostenere il settore edilizio e la transizione energetica, contenendo allo stesso tempo i costi per lo Stato.

Tra le misure più recenti, la **Legge 213/2023** (Legge di Bilancio 2024) ha delineato un'ulteriore proroga per alcuni interventi di efficientamento, con specifici massimali di spesa e aliquote rimodulate per le diverse categorie di soggetti beneficiari; parallelamente, la **Legge 207/2024** (Legge di Bilancio 2025) ha introdotto parametri più restrittivi per la detrazione di alcuni interventi "trainati" e consolidando la centralità del Bonus Casa, dell'Ecobonus e del Superbonus come principali leve di politica ambientale nel settore edilizio. L'obiettivo di fondo rimane favorire la riqualificazione energetica in linea con gli standard europei, garantendo al contempo un contenimento della spesa statale e una spesa più mirata dei fondi verso gli interventi con maggiore impatto sulla riduzione dei consumi.

1.2 Stato attuale dei bonus edilizi

A seguito delle varie modifiche normative analizzate nel paragrafo precedente, il quadro degli incentivi per l'edilizia e l'efficientamento energetico si presenta oggi articolato principalmente in tre tipologie di agevolazioni: il Superbonus, il Bonus Casa e l'Ecobonus. Di seguito si illustrano le caratteristiche essenziali di ciascun bonus, soffermandosi sulle condizioni di applicabilità, le aliquote di detrazione attualmente in vigore e le principali restrizioni.

1.2.1 Bonus Casa

Il Bonus Casa rappresenta la principale forma di incentivo fiscale per la riqualificazione e il recupero del patrimonio edilizio privato italiano, introdotto per la prima volta dalla Legge n. 449/1997. Negli anni questa misura è divenuta uno strumento di grande importanza, evolvendosi sia nella forma che nella sostanza, rispondendo così alle esigenze economiche, ambientali e sociali.

Originariamente la detrazione fiscale era fissata al 41%, successivamente è variata più volte fino ad arrivare all'attuale aliquota del 50%, con una spesa massima ammissibile di 96.000 euro per ciascuna unità immobiliare. Il Bonus permette di recuperare parte delle spese sostenute per interventi di manutenzione ordinaria, manutenzione straordinaria, restauro e risanamento conservativo, e ristrutturazione edilizia, attraverso una detrazione IRPEF da ripartire in 10 quote annuali di pari importo.

L'evoluzione normativa inoltre, ha introdotto l'obbligo, a partire dal 2018, di trasmettere all'ENEA i dati relativi agli interventi che comportano un risparmio energetico. Questa disposizione mira a monitorare e quantificare gli effettivi benefici energetici ottenuti dagli interventi realizzati, integrando così aspetti ambientali a quelli economici e strutturali. La Legge di Bilancio 2025 invece, ha introdotto ulteriori modifiche mirate ad allineare il Bonus Casa alle nuove priorità ambientali e alle politiche energetiche europee, oltre che a garantire una maggiore sostenibilità finanziaria evitando di gravare eccessivamente sul bilancio dello Stato. Tra queste, si segnala in particolare l'eliminazione delle detrazioni per le caldaie uniche alimentate a combustibili fossili, una misura che si inserisce chiaramente nel percorso verso la decarbonizzazione del settore edilizio. Inoltre, è prevista una rimodulazione delle aliquote di detrazione negli anni a venire: per il 2025 è fissata una detrazione generale del 36%, che si ridurrà ulteriormente al 30% per il biennio 2026-2027. È prevista tuttavia un'eccezione per gli interventi effettuati dai proprietari sulle loro abitazioni principali, per i quali rimarranno

aliquote più elevate, rispettivamente del 50% nel 2025 e del 36% nel 2026-2027. Il massimale di spesa rimarrà invariato a 96.000 euro.

Detrazioni fiscali Interventi **BonusCasa**
(interventi legati agli edifici residenziali)

Impianti Tecnologici	2024	2025		2026		2027	
		Abitaz. Principal	Altro imm.le	Abitaz. Principal	Altro imm.le	Abitaz. Principal	Altro imm.le
Collettori solari per la produzione di ACS e/o il riscaldamento degli ambienti;	50%	50%	36%	36%	30%	36%	30%
Generatori di calore ad aria a condensaione;							
Pompe di calore per climatizzazione degli ambienti;							
Sistemi ibridi (caldaia a condensazione e pompa di calore);							
Microgeneratori ($P_e < 50 \text{ kW}_e$);							
Scaldacqua a pompa di calore;							
Generatori di calore a biomassa;							
Sistemi di contabilizzazione del calore negli impianti centralizzati per una pluralità di utenze;							
Impianti fotovoltaici e sistemi di accumulo;							
Teleriscaldamento;							
Sistemi di termoregolazione e building automation	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Caldaie a condensazione per il riscaldamento degli ambienti (con o senza produzione di ACS) o per la sola produzione di acqua calda per una pluralità di utenze							

Tabella 1: Aliquote di detrazione per interventi ammessi al Bonus Casa (Fonte: Legge di Bilancio 2025)

1.2.2 Ecobonus

L'Ecobonus, come anticipato precedentemente, è una misura di incentivazione fiscale introdotta dalla Legge 296/2006 con l'obiettivo specifico di favorire interventi di riqualificazione energetica negli edifici esistenti, riducendo i consumi energetici e le emissioni di CO₂. Fin dalla sua nascita, l'Ecobonus ha rappresentato uno strumento strategico per incentivare la diffusione di soluzioni tecnologiche innovative, contribuendo non solo alla modernizzazione del patrimonio immobiliare nazionale, ma anche a sensibilizzare cittadini e imprese sui temi della sostenibilità ambientale e della riduzione dei consumi.

Nel corso degli anni, l'aliquota di detrazione fiscale prevista dall'Ecobonus ha subito numerose modifiche e aggiornamenti per meglio rispondere alle esigenze economiche, ambientali e sociali. Le aliquote hanno raggiunto aliquote del 65% per interventi specifici come l'installazione di infissi termici altamente performanti, caldaie a condensazione, pompe di calore e impianti solari termici. Per interventi particolarmente significativi sulle parti comuni dei condomini, le aliquote hanno raggiunto valori ancora più elevati, tra il 70 e il 75%, favorendo così interventi di riqualificazione energetica più complessi e strutturali.

Una delle caratteristiche distintive dell'Ecobonus, come per il Bonus Casa, è la possibilità di ripartire la detrazione fiscale in 10 quote annuali di pari importo, così come la possibilità in passato, di optare per alternative come lo sconto in fattura o la cessione del credito.

La Legge di Bilancio 2025, come già visto, ha recentemente introdotto ulteriori modifiche rilevanti. Tra le novità più significative si segnala l'eliminazione delle detrazioni per le caldaie uniche alimentate a combustibili fossili, in linea con il percorso di decarbonizzazione del patrimonio edilizio nazionale e in coerenza con gli obiettivi europei di neutralità climatica. Inoltre, ha definito una rimodulazione progressiva delle aliquote di detrazione per i prossimi anni: per il 2025 la detrazione generale è fissata al 36%, che si ridurrà ulteriormente al 30% nel biennio 2026-2027. È prevista, tuttavia, una specifica deroga per gli interventi realizzati dai proprietari sulle proprie abitazioni principali, che continueranno a beneficiare di aliquote più favorevoli, pari al 50% nel 2025 e al 36% per il biennio successivo 2026-2027.

Oltre a stimolare gli interventi più comuni come l'isolamento termico degli edifici, la sostituzione di impianti obsoleti con tecnologie più efficienti e sostenibili, e l'installazione di sistemi di produzione energetica da fonti rinnovabili, l'Ecobonus promuove attivamente lo sviluppo e la diffusione di tecnologie avanzate nel campo dell'efficienza energetica. Questo incentivo ha contribuito significativamente a creare una maggiore consapevolezza ambientale, generando al contempo un impulso positivo all'economia e al settore edilizio.

Detrazioni fiscali Interventi EcoBonus	2024	2025		2026		2027	
		Abitaz. Principal	Altro imm.le	Abitaz. Principal	Altro imm.le	Abitaz. Principal	Altro imm.le
Serramenti infissi							
Schermature solari	50%	50%	36%	36%	30%	36%	30%
Caldaie a biomassa							
Caldaie a condensazione classe A	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Riqualificazione globale edificio							
Generatori di aria calda a condensazione							
Pompe di calore elettriche e a gas							
Scaldacqua a pompa di calore							
Coibentazione involucro	65%	50%	36%	36%	30%	36%	30%
Collettori solari							
Generatori ibridi							
Sistemi di building automation							
Microgeneratori							
Caldaie a condensazione classe A + sistema termoregolazione	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabella 2: Aliquote di detrazione per interventi ammessi all'Ecobonus (Fonte: Legge di Bilancio 2025)

1.2.3 Superbonus

Il Superbonus, introdotto dal Decreto Rilancio del 2020, rappresenta una misura fiscale speciale concepita per stimolare una significativa e rapida riqualificazione energetica e strutturale del patrimonio edilizio nazionale. Nato inizialmente per rispondere alla crisi economica generata dalla pandemia, il Superbonus prevedeva un'aliquota eccezionalmente elevata pari al 110%, al fine di incentivare interventi di ampio respiro capaci di produrre miglioramenti significativi nella classe energetica e nella sicurezza sismica degli edifici. Il bonus è incentrato principalmente su interventi definiti "trainanti", indispensabili per poter usufruire della detrazione fiscale. Tra questi, rivestono particolare importanza l'isolamento termico degli edifici e la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale centralizzati con tecnologie efficienti come pompe di calore o sistemi ibridi. Accanto a questi interventi principali, sono previsti ulteriori interventi "trainati", realizzabili solo congiuntamente a quelli trainanti: installazione di pannelli fotovoltaici, sistemi di accumulo, colonnine per la ricarica dei veicoli elettrici e interventi migliorativi sui serramenti e sugli impianti interni.

Anche le modalità di fruizione del Superbonus hanno inizialmente incluso opzioni alternative quali lo sconto diretto in fattura e la cessione del credito d'imposta, strumenti che hanno reso l'incentivo accessibile anche ai cittadini e alle imprese con minore disponibilità economica immediata. Tuttavia, la normativa ha introdotto progressivamente limitazioni sempre più severe culminando con il Decreto Blocca Cessioni del 2023, che ha significativamente ridimensionato queste opzioni.

A partire dal 2025, il Superbonus ha subito un'ulteriore revisione con la nuova Legge di Bilancio. L'aliquota è stata abbassata al 70%, e si prevede un'ulteriore riduzione al 65% per gli anni 2026 e 2027. Oltre alla modifica delle percentuali, sono stati introdotti criteri tecnici molto più rigidi, rendendo l'accesso al beneficio decisamente più difficile rispetto al passato. Di fatto, le possibilità di utilizzare strumenti alternativi come lo sconto in fattura o la cessione del credito sono state quasi del tutto eliminate. Ma la limitazione più grande riguarda chi non ha ancora iniziato i lavori: se la CILAS (o il titolo edilizio equivalente) non è stata presentata entro il 15 ottobre 2024, non è più possibile accedere al Superbonus. In pratica, oggi la misura è riservata soltanto a chi aveva già avviato l'intervento prima di quella scadenza.

Detrazioni fiscali Interventi SuperBonus
 (interventi legati agli edifici residenziali)

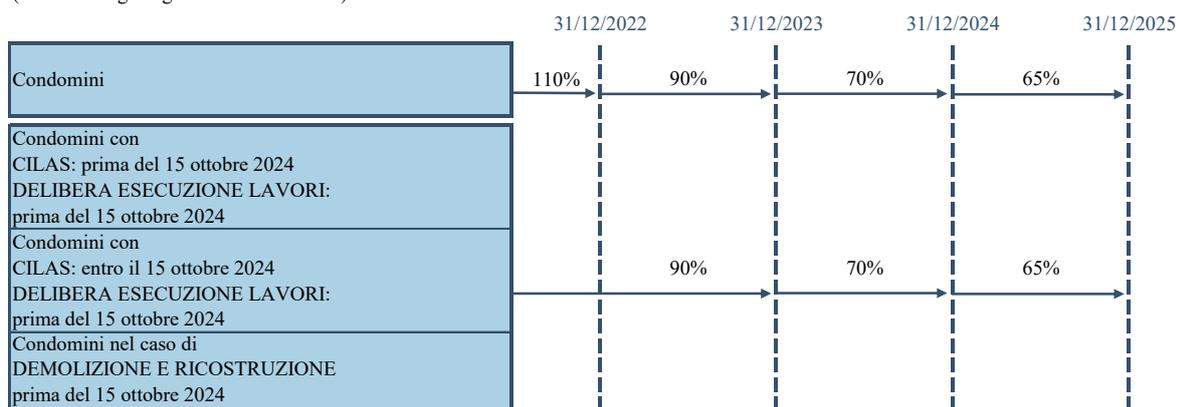


Tabella 3: Aliquote di detrazione per interventi ammessi al Superbonus (Fonte: Legge di Bilancio 2025)

1.3 Quadro energetico attuale del settore edilizio italiano

Il settore edilizio rappresenta uno degli ambiti più significativi nel panorama energetico nazionale, incidendo in maniera rilevante sui consumi complessivi di energia e sulle emissioni di gas serra. Secondo la “Relazione sulla Situazione Energetica Nazionale” pubblicata dal Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica nel 2023, il settore civile, che comprende gli edifici residenziali e quelli del terziario, è responsabile di circa il 40% dei consumi energetici finali nazionali. In particolare, gli edifici residenziali producono da soli circa il 28% dei consumi energetici complessivi, confermandosi un settore strategico per qualsiasi politica nazionale. Per comprendere meglio il peso relativo dei diversi settori sul consumo energetico nazionale è utile fare riferimento ai dati forniti dal Rapporto Annuale sull’Efficienza Energetica ENEA 2024.

Consumi finali di energia in Italia. Dettaglio per settore, anni 2000 e 2022 (%)

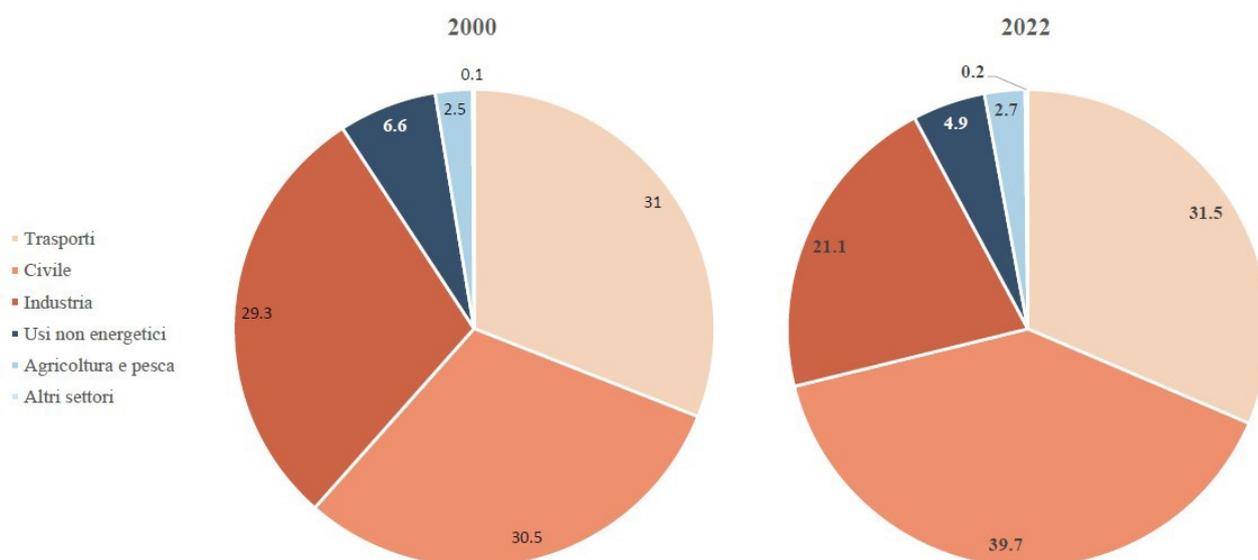


Grafico 1: Ripartizione dei consumi energetici finali per settore in Italia (Fonte: ENEA, Rapporto Annuale sull’Efficienza Energetica 2024)

Questi grafici permettono di visualizzare immediatamente come il settore civile rappresenti una quota troppo rilevante dei consumi energetici e anche come la sua incidenza sia cresciuta dal 2000 al 2022, indicando chiaramente la necessità di interventi mirati e strutturali.

Un altro elemento chiave per comprendere la situazione energetica del patrimonio edilizio nazionale è rappresentato dalla classificazione degli edifici in base alla classe energetica. Le statistiche contenute nel Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica (SIAPE) mostrano che la maggior parte degli edifici italiani, dei quali è stato registrato l’Attestato di

Prestazione Energetica, si trova ancora in classi energetiche basse, come la classe E, F o G, con una percentuale superiore al 60%. Solo una minoranza, inferiore al 15%, è attualmente classificata nelle classi più efficienti A e B.

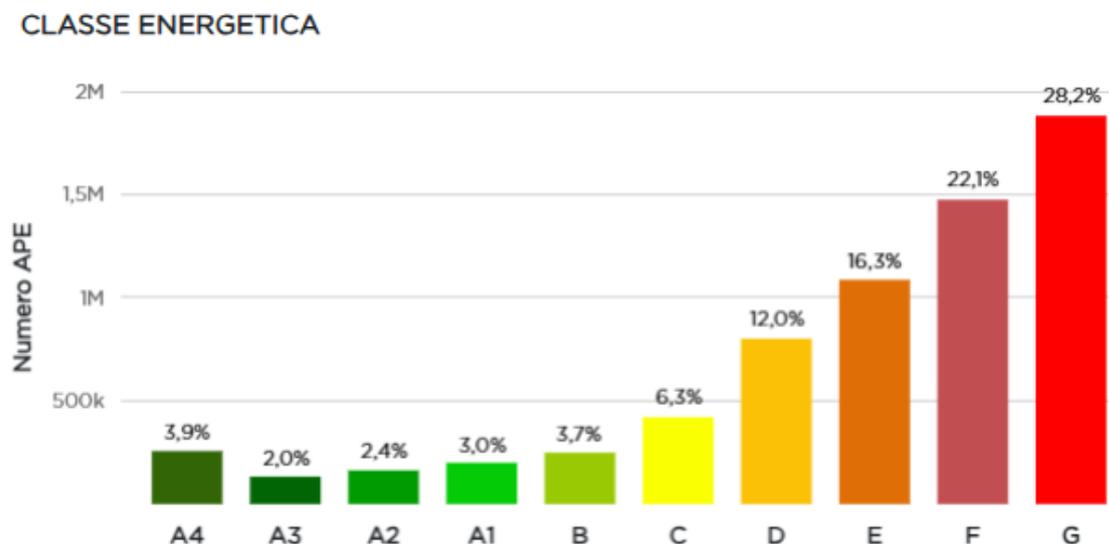


Grafico 2: Distribuzione percentuale degli edifici certificati secondo la classe energetica in Italia (Fonte: SIAPE)

Ulteriori dati forniti dal SIAPE evidenziano che l'indice di Prestazione Energetica Globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) medio degli edifici italiani analizzati si attesta a 199,8 kWh/m² anno, mentre l'indice di Prestazione Energetica Globale rinnovabile ($EP_{gl,ren}$) medio raggiunge solo 21,8 kWh/m² anno. Ciò dimostra un ampio margine di miglioramento nell'adozione di tecnologie energetiche rinnovabili. Inoltre, le emissioni medie di CO₂ prodotte dagli edifici residenziali risultano pari a 40,6 kgCO₂/m² anno, sottolineando ulteriormente l'impatto ambientale significativo del patrimonio edilizio esistente.

Il Rapporto ISPRA 2024 sulle emissioni di gas serra evidenzia inoltre che, nonostante la riduzione dei consumi energetici, le emissioni complessive prodotte dal settore edilizio rimangono significative. In particolare, il settore residenziale e terziario italiano ha prodotto circa il 18% delle emissioni nazionali di CO₂ nel 2022. La combustione diretta per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria costituisce la fonte principale di queste emissioni.

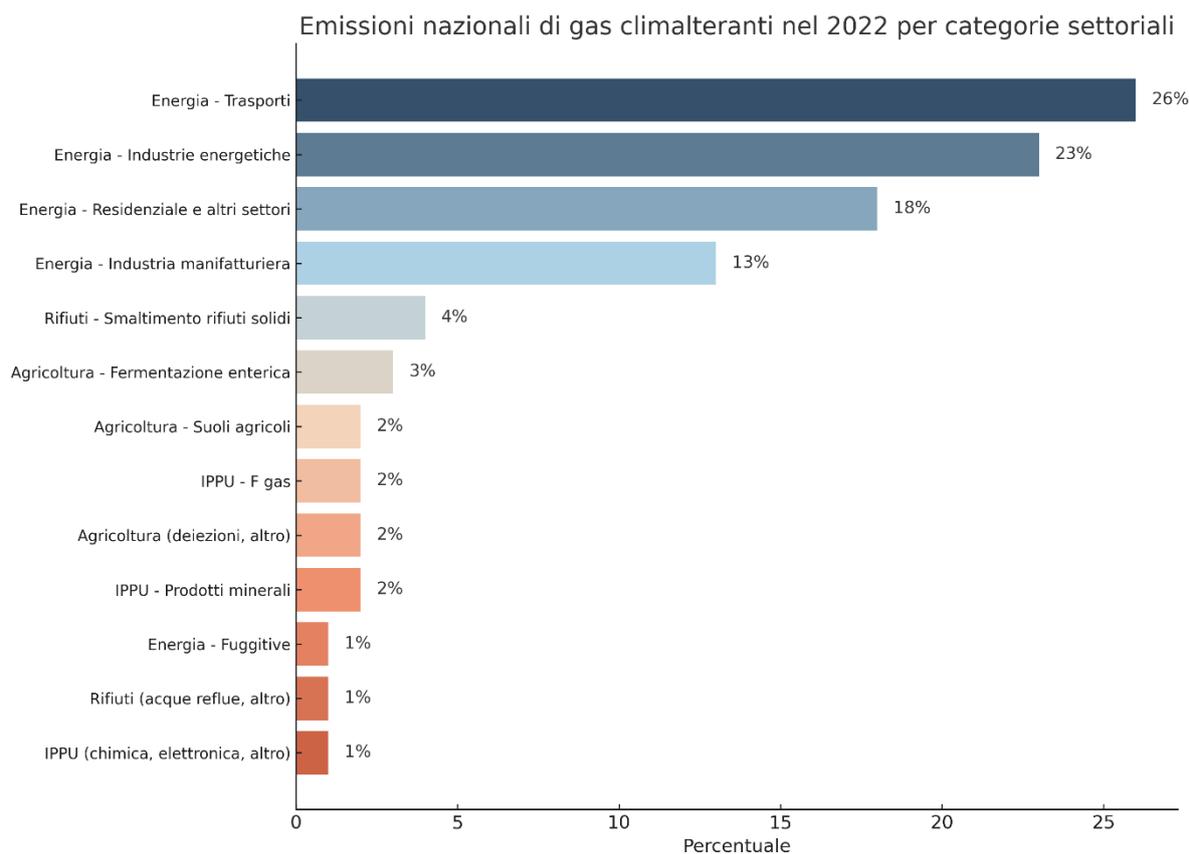


Grafico 3: Emissioni nazionali di gas climalteranti nel 2022 suddivise per categoria settoriale (Fonte: ISPRA, *Le emissioni di gas serra in Italia. Obiettivi di riduzione al 2030, Rapporto 399/2024*)

Per quanto riguarda invece il consumo energetico nel settore residenziale e il suo andamento negli anni, secondo i dati del Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica ENEA nel 2022 è stato stimato un consumo di 30,0 Mtep, in calo del 10,0% rispetto al 2021. Tutte le fonti energetiche hanno registrato riduzioni dei consumi: il gas naturale si è ridotto del 14,0%, a causa dei prezzi alti e di un inverno più mite rispetto al 2021, i biocombustibili solidi di -9,2%, l'energia elettrica di -3,7%. Anche i prodotti petroliferi hanno presentato variazioni negative di consumo; solo le altre fonti energetiche rinnovabili presentano un consumo in crescita di +15,8% rispetto al 2021 dovuto principalmente al calore per ambienti generato da pompe di calore.

Consumo energetico nel residenziale in Italia. Dettaglio per fonte energetica, anni 2000–2022 (Mtep)

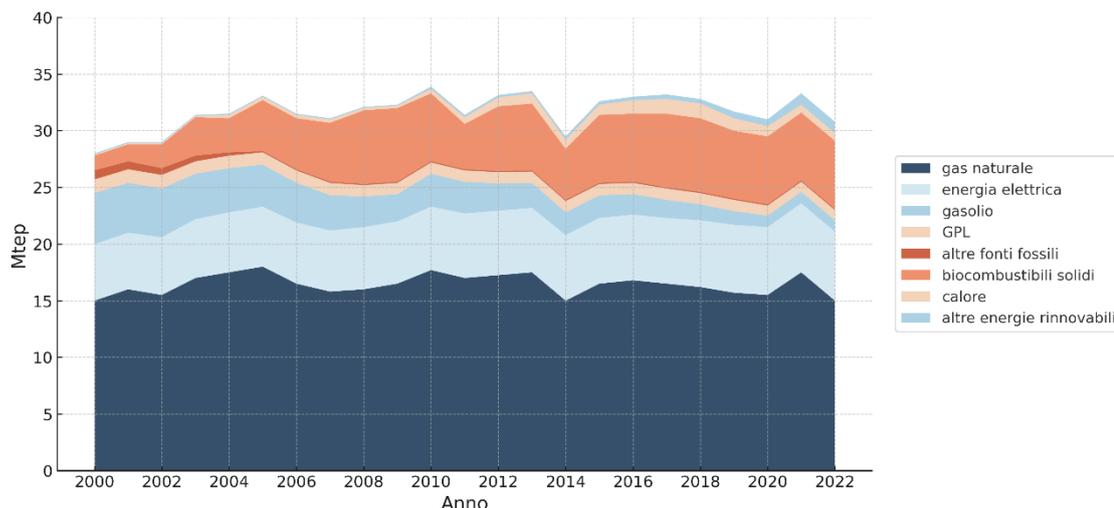


Grafico 4: Consumo energetico nel settore residenziale in Italia per fonte energetica, anni 2000–2022 (Fonte: ENEA, Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica, 2024)

Nel periodo 2000-2022 il consumo del settore è aumentato dell'8,9%, effetto di una fase espansiva sino al 2010, seguita da una fase di consumi tendenzialmente decrescenti con picco negativo nel 2014 e positivo nel 2021 in reazione al post-pandemia. Dal 2010 il consumo del residenziale si è ridotto del 15,1% grazie alle azioni di miglioramento dell'efficienza energetica.

Riguardo le fonti energetiche, il gas naturale è la principale del settore, infatti copre circa il 50% dei consumi complessivi, seguito dai biocombustibili solidi con circa il 20% e l'energia elettrica con circa il 18% della domanda di energia del residenziale. Nel 2022 il gas naturale è tornato sui livelli registrati nel 2000: a partire dal 2010 si è osservata una costante contrazione dei consumi di gas naturale, -19,9% nel periodo 2010-2022. Al contrario, i biocombustibili solidi hanno evidenziato un consumo in continua crescita tale da diventare la seconda fonte energetica del settore superando l'energia elettrica: nel periodo 2000-2022 l'incremento è stato superiore al 400%. Anche l'energia elettrica è in crescita nel periodo 2000-2022 del 5,8%.

Nel grafico successivo invece, notiamo la distribuzione del consumo energetico nei vari usi finali. Esso è assorbito per circa il 70% dalla climatizzazione (riscaldamento e raffrescamento) degli ambienti.

Consumo energetico nel residenziale. Dettaglio per uso finale, anni 2000–2022 (tep/abitazione)

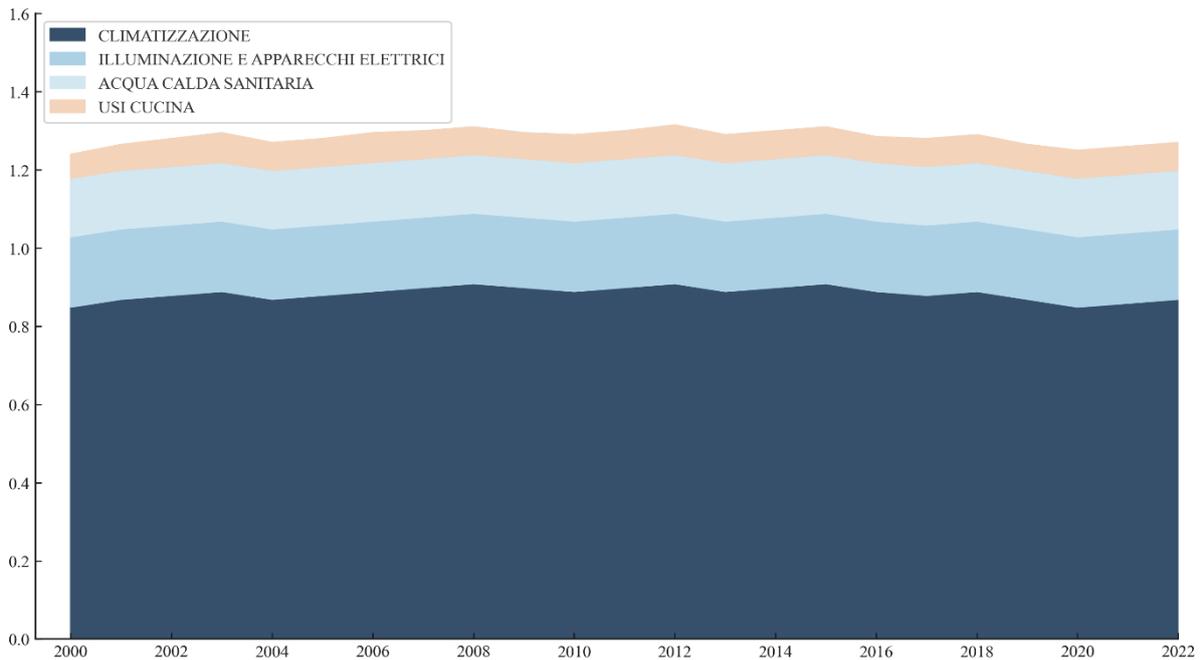


Grafico 5: Consumi energetici nel settore residenziale per destinazione d'uso, anni 2000–2022 (Fonte: ENEA, Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica, 2024)

Un'ulteriore analisi del Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica ENEA 2024 permette di comprendere anche le differenze regionali dei consumi energetici del settore edilizio. A livello territoriale, esiste una sensibile variabilità, influenzata sia dalle condizioni climatiche, che dalla qualità costruttiva degli edifici. Le regioni del Nord Italia, come Lombardia, Veneto e Piemonte, presentano livelli di consumo più elevati dovuti principalmente a fattori climatici e al maggiore utilizzo del riscaldamento. Le regioni meridionali e insulari, invece, mostrano consumi più bassi ma crescenti nell'uso dell'energia per il raffrescamento estivo, evidenziando la necessità di strategie differenziate per la riqualificazione energetica in base alle caratteristiche del territorio.

Se guardiamo al contesto europeo invece, l'Italia presenta performance ancora intermedie in termini di efficienza energetica degli edifici. Paesi del Nord Europa come Danimarca, Svezia e Finlandia mostrano tassi di ristrutturazione più elevati, spesso superiori al 2% annuo, accompagnati da un'alta integrazione delle energie rinnovabili negli edifici. Al contrario, Paesi del Mediterraneo come Spagna, Grecia e Portogallo presentano dinamiche simili a quelle italiane, con un patrimonio edilizio meno efficiente e ritmi di rinnovamento più lenti.

Per accelerare la transizione energetica del settore edilizio, risulta necessario un incremento sostanziale del tasso di ristrutturazione profonda degli edifici, che attualmente si attesta intorno all'1% annuo, ben lontano dall'obiettivo del 3% previsto dal Green Deal europeo.

1.4 Bilancio degli incentivi edilizi: impatti economici, ambientali e criticità

L'introduzione di incentivi ha favorito una molteplicità di interventi, dalle ristrutturazioni profonde alle semplici opere di manutenzione straordinaria, con implicazioni rilevanti sia sul piano ambientale, sia su quello finanziario. Nelle pagine che seguono, si propone un bilancio di queste misure, valutandone vantaggi e criticità.

Dal 2020 ad oggi, gli incentivi fiscali nel settore edilizio hanno vissuto una crescita esponenziale, culminata con il Superbonus 110%. Secondo i dati riportati nel Rapporto detrazioni fiscali 2024 dell'ENEA, nel 2023 l'Ecobonus tradizionale ha registrato oltre 600.000 interventi conclusi e un risparmio energetico stimato in oltre 1.700 GWh annui, mentre il Bonus Casa ha visto 634.000 interventi, con particolare incidenza in regioni come la Lombardia, l'Emilia-Romagna e il Veneto. Per quanto riguarda il Superbonus 110%, stando all' "Indagine conoscitiva sull'impatto ambientale degli incentivi in materia edilizia" della Camera dei deputati, esso ha prodotto investimenti per miliardi di euro, generando una crescita sostanziale del PIL; si stima che nel 2022 abbia inciso per circa l'1,5% e attivato oltre 600.000 unità di lavoro. Tale misura ha anche rappresentato una sorta di volano per il settore edile e per l'occupazione in generale, con la nascita di nuove imprese e l'incremento del fatturato medio dell'intera filiera.

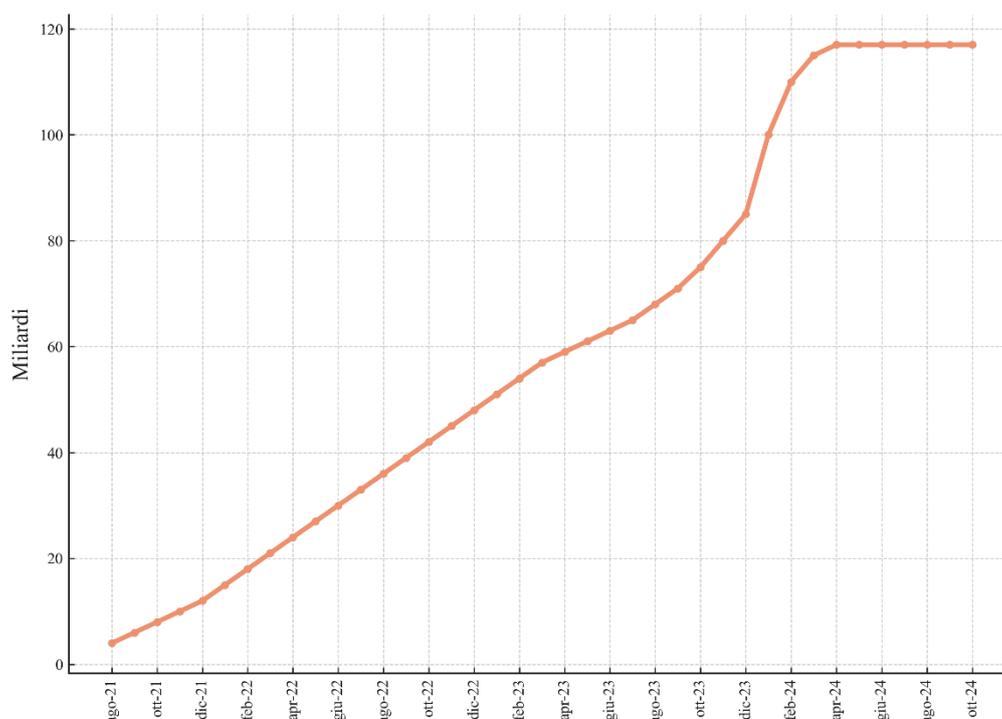


Grafico 6: Andamento cumulativo degli investimenti ammessi a detrazione con Superbonus, agosto 2021 – ottobre 2024 (Fonte: ENEA, Rapporto Detrazioni Fiscali 2024)

Inoltre, la possibilità di ottenere lo sconto in fattura o di cedere il credito ha reso accessibile l'incentivo a tutti, nonostante ciò abbia sortito effetti sui conti pubblici più onerosi di quanto inizialmente preventivato. Nel breve periodo, i risultati apparivano promettenti, la rapidità con cui i cantieri partivano, la dimensione degli interventi, l'interesse di banche e istituti di credito a dotarsi di piattaforme specializzate, hanno contribuito a diffondere l'idea che il Superbonus fosse uno strumento formidabile per migliorare le prestazioni del patrimonio edilizio. Tuttavia, ben presto sono emerse svariate problematiche. La Relazione Tecnica del Ministero dell'Economia e delle Finanze aveva sottostimato la portata finanziaria dell'operazione; infatti i bonus edilizi, stando al Documento di Economia e Finanza del 2023, hanno generato per lo Stato un onere di circa 116 miliardi di euro, di cui 67 collegati solo al Superbonus.

Inoltre, l'introduzione, nel febbraio 2023, del Decreto Blocca Cessioni ha di fatto interrotto il meccanismo di cessione del credito e di sconto in fattura creando uno stallo per molti cantieri in corso, specialmente nei condomini, i cui lavori, non ancora ultimati, rischiavano di perdere i benefici fiscali se non rispettavano le molte scadenze introdotte dalle modifiche normative.

A livello tecnico, è stato evidenziato anche come l'obbligo di conseguire un miglioramento di due classi energetiche non sempre corrispondesse a un approccio di "riqualificazione integrata". Alcuni interventi, infatti, si sono limitati all'installazione di cappotti termici e alla sostituzione degli infissi, talvolta trascurando la verifica statica dell'edificio o la reale analisi dei consumi e dei parametri di comfort. Ciò ha posto un problema di uniformità nelle strategie progettuali, spesso spinte da vincoli burocratici più che da una corretta diagnosi energetica o strutturale.

Tra gli aspetti positivi, dal punto di vista ambientale, i bonus edilizi hanno certamente contribuito a una riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂ degli edifici coinvolti. Secondo le elaborazioni del Centro Studi CNI e i dati ENEA, per l'Ecobonus, la quota maggiore degli interventi si è concentrata sulla sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale, l'isolamento termico e la sostituzione degli infissi, con un risparmio complessivo valutato in circa 1.700 GWh annui. Nella tabella seguente, si riportano alcuni dati (riferiti al solo 2023), per evidenziare la differenza tra numero di interventi e stima del risparmio energetico corrispondente.

	Numero interventi	Quota investimenti	Risparmio energetico
Sostituzione impianti climatizzazione	322.04	35,27 %	822,18 GWh/anno
Sostituzione infissi	184.231	41,37 %	494,25 GWh/anno
Coibentazione dell'involucro	15.237	12,16 %	270,80 GWh/anno
Schermature solari	94.548	6,35 %	15,21 GWh/anno

Tabella 4: Numero di interventi, quota percentuale degli investimenti e risparmio energetico annuo per tipologia di intervento incentivato (Fonte: ENEA, Rapporto Detrazioni Fiscali 2024)

Come si evince, la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale pesa meno del 35% sugli investimenti totali, ma produce quasi la metà del risparmio energetico complessivo; viceversa, la sostituzione degli infissi, pur incidendo maggiormente sulle risorse, genera un risparmio inferiore. Questo dato suggerisce che, da un punto di vista puramente energetico, investire su generatori di calore e pompe di calore ad alta efficienza risulti particolarmente fruttuoso.

Per quanto riguarda il Superbonus 110% invece, l'Ufficio Studi Gabetti, insieme a Gabetti Lab, ha condotto una ricerca sull'impatto energetico che ha generato. Il campione di analisi è costituito da 181 condomini per un totale di 7.322 unità immobiliari che hanno deliberato interventi per l'efficientamento energetico usufruendo del Superbonus 110%. L'abbattimento del fabbisogno energetico medio stimato per i condomini analizzati è del 53%, mentre la percentuale di risparmio energetico medio stimata è del 46%. A confermare questi valori positivi, vi è anche il salto di classe energetica medio che è stato stimato intorno a 3. Un altro degli aspetti positivi che risulta dall'analisi è la riduzione del consumo di gas. Partendo dalla stima del consumo di gas complessivo dei condomini prima degli interventi, l'abbattimento stimato del consumo al metro cubo di gas post interventi è del 40%. Il risparmio in termini di minor gas utilizzato per riscaldare l'abitazione e per la produzione di acqua calda, determina anche una riduzione dei costi annuali di utilizzo gas che, per i 181 edifici del campione, è stimata al 43%. Migliora anche il rendimento medio stagionale del rapporto tra calore fornito dalla caldaia e energia consumata. Dall'analisi dei dati si nota che gli interventi di ristrutturazione energetica consentono un aumento del rendimento che passa dall'80% al 94%. Tali riduzioni hanno un impatto notevole sia in termini di risparmio economico in bolletta e nei costi condominiali, sia in termini di incremento del valore di mercato dell'immobile.

Infine, un terzo dato che si è riusciti a ricavare è il risparmio di emissioni di CO₂ che per i 181 condomini analizzati è stimato intorno al 51%.

Risparmio energetico medio a seguito degli interventi di ristrutturazione energetica

RIDUZIONE MEDIA GAS MC ANNO	RENDIMENTO MEDIO STAGIONALE DOPO LA RIQUALIFICAZIONE	RIDUZIONE SPESA ANNUALE MEDIA PER IL GAS	ABBATTIMENTO FABBISOGNO MEDIO	% RISPARMIO ENERGETICO MEDIO	% RISPARMIO EMISSIONI CO ₂	SALTO DI CLASSE MEDIO
40%	94%	43%	53%	46%	51%	3.1

Tabella 5: Indicatori medi di efficacia degli interventi di riqualificazione energetica (Fonte: Elaborazione Ufficio Studi Gabetti su dati Gabetti Lab)

Per quanto riguarda invece l'aspetto territoriale, il quadro complessivo mostra un marcato squilibrio a vantaggio del Settentrione: stando ai dati ENEA e alle elaborazioni dell'indagine parlamentare, la Lombardia, il Veneto, l'Emilia-Romagna e il Piemonte assorbono la parte più consistente di investimenti e di lavori effettuati, mentre nel Mezzogiorno l'accesso ai bonus risulta più limitato. Le cause sono molteplici: redditi medi più bassi, scarsa capienza fiscale, burocrazia più complicata e maggiore difficoltà per i condomini di raggiungere una delibera unanime. Un ulteriore fattore che spiega questo divario è la presenza di un patrimonio edilizio più datato, la cui ristrutturazione profonda richiederebbe risorse ingenti e competenze specializzate, ma che spesso si scontra con le modeste disponibilità economiche locali.

Distribuzione regionale in percentuale degli investimenti per i lavori conclusi entro il 31/12/2023

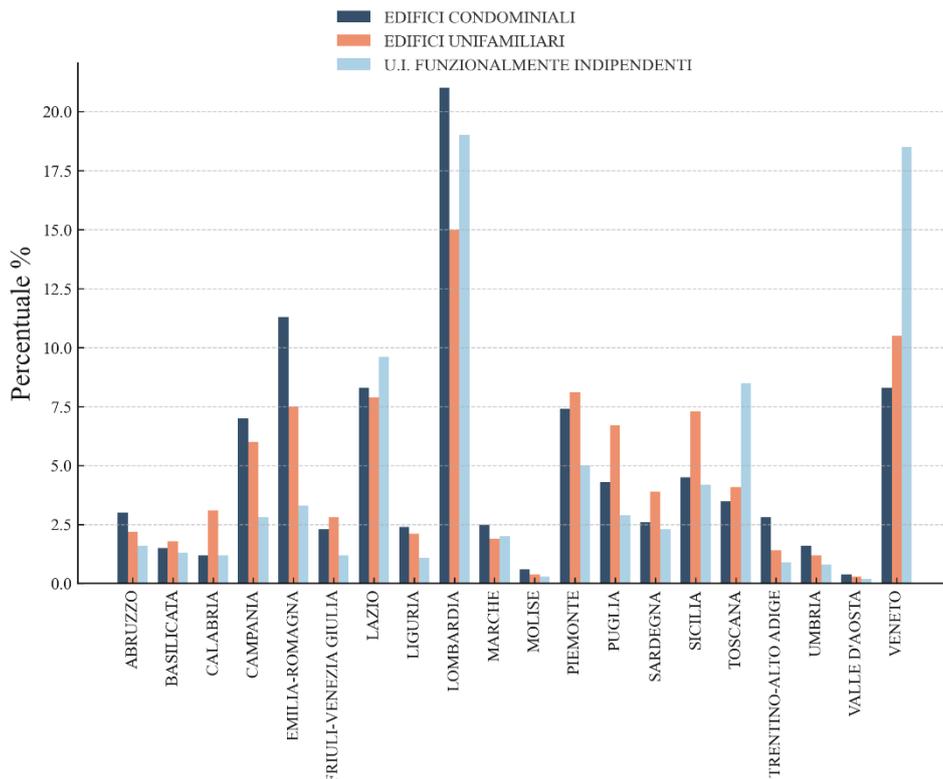


Grafico 7: Distribuzione percentuale regionale degli interventi ammessi a detrazione per tipologia di edificio (Fonte: ENEA, Rapporto Detrazioni Fiscali 2024)

Un altro nodo rilevante evidenziato dall'indagine sull'impatto degli incentivi è quello burocratico. Le continue modifiche normative, oltre 30 interventi dall'introduzione del Superbonus, hanno creato un contesto poco stabile e spesso confuso per i professionisti e i cittadini. Inoltre, le amministrazioni locali hanno dovuto far fronte a un numero straordinario di richieste di permessi, a volte senza un adeguato potenziamento degli uffici tecnici. Ne è derivata una difformità di tempistiche e interpretazioni, con alcuni sportelli unici per l'edilizia in grado di gestire velocemente le pratiche, altri invece sommersi dalle stesse e poco attrezzati.

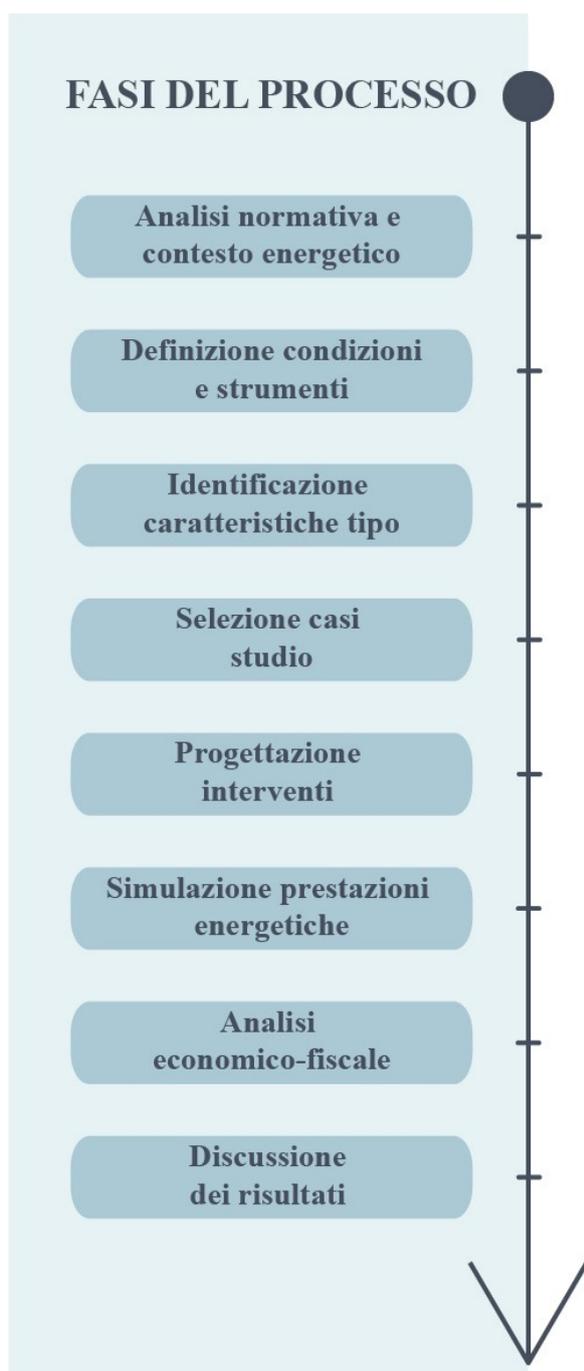
Alla luce di quanto emerso, Bonus Casa, Ecobonus e Superbonus hanno svolto una funzione rilevante nel sostenere il settore delle costruzioni e nell'avviare, almeno in parte, la riqualificazione del vasto patrimonio immobiliare italiano, spesso vetusto e poco efficiente. I vantaggi sono stati molteplici: un rilancio consistente dell'occupazione edile, una riduzione sensibile delle emissioni derivanti dal riscaldamento degli edifici e un incremento della consapevolezza sulla necessità di intervenire in modo radicale sul parco immobiliare esistente. Tuttavia, non sono mancate criticità di rilievo. Da un punto di vista finanziario, i costi per lo Stato sono risultati notevolmente superiori alle stime iniziali, causando problemi di bilancio e la necessità di introdurre correttivi. Sul fronte tecnico, la rigidità del salto di due classi

energetiche, il peso e la complessità degli adempimenti hanno generato inefficienze e squilibri tra le diverse tipologie di intervento. Infine, il fenomeno delle frodi, incentivato dal meccanismo della cessione del credito, ha rallentato ulteriormente i cantieri e generato incertezza negli operatori.

2. APPROCCIO METODOLOGICO DELL'ANALISI

2.1 Definizione delle condizioni al contorno

Per realizzare un'analisi attendibile della riqualificazione energetica è stato necessario definire delle condizioni precise, ovvero ipotesi di base riguardanti il contesto in cui si svolge l'indagine, il profilo tipo dell'investitore e il tipo di investimento considerato. Queste scelte metodologiche influenzano direttamente i risultati e le conclusioni che verranno presentate nei capitoli successivi.



2.1.1 Contesto climatico

L'analisi è stata svolta considerando il contesto climatico della città di Torino, che rientra nella zona climatica E, secondo la classificazione introdotta con Decreto del Presidente della Repubblica del 1993 e successivi aggiornamenti fino al 2009. La zona climatica E è caratterizzata da un periodo di accensione degli impianti termici che va dal 15 ottobre al 15 aprile, con una durata giornaliera massima di esercizio pari a 14 ore, salvo diverse disposizioni del Sindaco locale. Il parametro di riferimento per identificare la severità del clima è il grado-giorno (GG), unità di misura che esprime il fabbisogno energetico necessario per mantenere una temperatura interna di 20°C negli edifici durante il periodo di riscaldamento annuale convenzionale. Torino presenta un valore di 2.617 gradi-giorno, indicando un fabbisogno energetico significativo per il riscaldamento, aspetto rilevante nell'analisi di efficacia degli interventi di riqualificazione proposti.

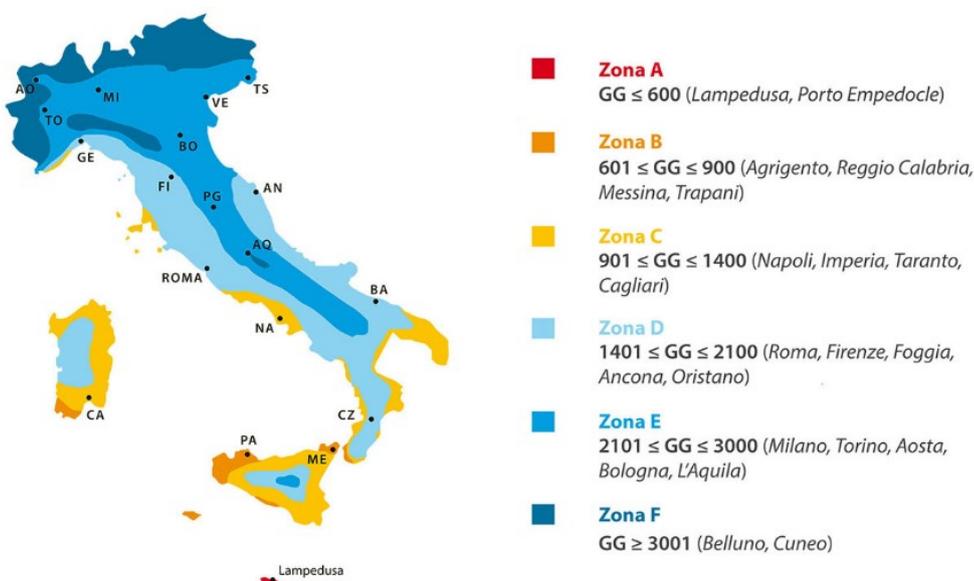


Figura 1: Suddivisione del territorio italiano in zone climatiche (Fonte: Decreto n. 412/1993)

Torino presenta un clima continentale temperato con inverni freddi, frequentemente caratterizzati da temperature basse e nevicate moderate, ed estati calde, talvolta afose. L'alternanza tra periodi rigidi e miti, tipica di questo clima, influenza in modo determinante le scelte tecnologiche adottate per il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici. In particolare, la presenza di temperature rigide prolungate durante l'inverno determina la necessità di interventi volti a ridurre significativamente le dispersioni termiche, mentre le estati calde sottolineano l'importanza di soluzioni atte a controllare il surriscaldamento degli ambienti interni.

Infine, è importante sottolineare che Torino, secondo la graduatoria stilata da Multicompel Technology, è la città più inquinata d'Italia, oltre a posizionarsi a 52° posto nella graduatoria mondiale ed al 7° posto in Europa con 22 milioni di tonnellate di CO₂ equivalenti annuali in atmosfera nel 2024. Questo fenomeno accresce ulteriormente l'importanza di ridurre il fabbisogno energetico e limitare le emissioni derivanti dagli impianti termici. L'alto livello di inquinanti atmosferici favorisce anche la diffusione di sistemi di ventilazione meccanica controllata, in grado di garantire un adeguato ricambio d'aria e migliorare significativamente la qualità dell'aria interna degli edifici.

2.1.2 Profilo dell'investitore

In questo studio si è immaginato come investitore una persona fisica proprietario di un appartamento a uso residenziale. Se invece l'investimento fosse realizzato da soggetti diversi da una persona fisica (ad esempio società di capitali, enti pubblici o imprese individuali), le dinamiche fiscali e i meccanismi di incentivo potrebbero cambiare in modo significativo. Infatti, mentre le persone fisiche possono generalmente usufruire delle detrazioni IRPEF (sulla base della loro capienza fiscale e dei massimali di spesa legati al reddito), le società e gli enti potrebbero dover rispettare regimi tributari diversi (come l'IRES o l'IRAP) e affrontare procedure differenti. Inoltre, le motivazioni di un'impresa o di un ente pubblico nel realizzare interventi di efficientamento energetico possono rispondere a logiche di bilancio o obblighi normativi differenti, con un orizzonte temporale di investimento spesso più ampio e pianificato rispetto alle famiglie.

Per valutare i potenziali benefici fiscali, ho dunque ipotizzato tre tipi di redditi: quello di una persona singola, quello di un nucleo familiare e quello di una persona anziana con reddito da pensione. In tutti i casi, chi compie l'investimento, in accordo con i dati medi ricavati dall'Istat, ha un reddito al di sotto dei 75.001 euro annui. Questa soglia è stata introdotta dalla recente Legge di Bilancio, che ha legato i massimali di spesa e di detrazione disponibili al reddito familiare; di conseguenza, chi si trova sotto i 75.001 euro conserva la possibilità di accedere ai massimali consentiti.

2.2. Strumenti di calcolo

2.2.1 Calcoli delle prestazioni energetiche

Per analizzare i consumi e le prestazioni energetiche dell'appartamento, si è scelto di utilizzare EdilClima, un pacchetto di software molto noto e utilizzato tra i progettisti italiani per le verifiche termiche ed energetiche in edilizia. In particolare, è stato usato un modulo chiamato EC700, pensato appositamente per simulare e valutare in modo dettagliato la domanda di energia di un edificio.

EdilClima EC700 si basa su modelli termo-fluidodinamici che consentono di riprodurre, in maniera abbastanza fedele, il comportamento dell'edificio in diversi scenari. Questo si traduce nella possibilità di:

- definire la geometria dell'edificio: vengono inserite le dimensioni e la forma delle pareti, dei pavimenti, delle coperture e di tutte le superfici disperdenti. Inoltre, si specificano i materiali che compongono le strutture (con i relativi spessori e conducibilità termiche), così da calcolare con esattezza le dispersioni di calore;
- inserire i dati sugli impianti: oltre all'involucro, EC700 prevede la definizione degli impianti di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e produzione di acqua calda sanitaria, compresi i rendimenti dei generatori, le temperature di progetto e altri parametri che influenzano l'efficienza finale;
- elaborare il fabbisogno energetico annuo: tenendo conto dei dati climatici il software calcola quanti kWh saranno richiesti nel corso dell'anno per riscaldare o raffrescare l'edificio, stimando inoltre il consumo per la produzione di acqua calda sanitaria;
- verificare la classe energetica e i requisiti di legge: EC700 è tarato sulle normative italiane vigenti, quindi permette di verificare se l'edificio rispetta o meno i requisiti minimi di prestazione energetica. Inoltre, è in grado di associare l'immobile a una classe energetica (da A4 a G) e di valutare quanto questa possa migliorare a seguito di specifici interventi di riqualificazione (isolamento delle pareti, sostituzione degli infissi, rinnovamento degli impianti, ecc.).

I risultati ottenuti dal software costituiscono la base di tutto il lavoro successivo, in quanto, oltre a definire il consumo attuale e quantificare gli effetti di ogni singolo intervento, in termini di risparmio energetico e di salto di classe, permettono di stimare la riduzione delle emissioni di CO₂, un aspetto ormai cruciale nella valutazione degli interventi edilizi, sia in ambito privato che pubblico. Grazie a questo approccio, la simulazione energetica non si limita a indicare se

un edificio supera o meno determinati limiti di legge, ma diventa un vero e proprio strumento decisionale, utile per scegliere le soluzioni più efficaci e convenienti sotto il profilo economico e ambientale.

2.2.2 Calcoli economici

Per completare l'analisi metodologica, ai calcoli energetici realizzati mediante il software EdilClima si è affiancata una valutazione economica degli interventi, al fine di misurarne concretamente la convenienza sotto il profilo finanziario e fiscale. Più nello specifico, la valutazione economica si basa sulla stima di alcuni parametri fondamentali:

- i costi iniziali di investimento, determinati attraverso l'utilizzo del prezzario regionale aggiornato al 2024, il prezzario DEI oppure preventivi reali forniti da professionisti del settore.
- i benefici economici annuali, calcolati sulla base del risparmio energetico ottenuto con gli interventi proposti. Per una stima più realistica e aggiornata del risparmio in bolletta, si è fatto riferimento ai costi medi dell'energia elettrica e del gas naturale pubblicati dall'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA).
- l'aumento del valore immobiliare, stimato in base a studi di settore che correlano il miglioramento della classe energetica con una rivalutazione percentuale del valore di mercato degli immobili.
- gli incentivi fiscali applicabili, quantificati seguendo le aliquote e i massimali previsti dalla normativa vigente per l'Ecobonus, consentendo di identificare la reale spesa netta a carico del proprietario;
- il flusso di cassa, determinato come la differenza tra i risparmi e i costi su un intervallo temporale di 10 anni.
- il Valore Attuale Netto (VAN), calcolato come il valore attuale dei flussi di cassa futuri generati da un progetto, utile per valutarne la redditività.

2.3. Definizione delle caratteristiche tipo dell'appartamento torinese

Per poter valutare in modo realistico ed efficace gli interventi di riqualificazione energetica, è risultato necessario definire con chiarezza le caratteristiche di un appartamento che fosse rappresentativo della realtà torinese. Nei paragrafi seguenti, saranno descritte le scelte metodologiche effettuate per individuare e caratterizzare dal punto di vista dimensionale, energetico e costruttivo questo immobile-tipo, considerato rappresentativo del contesto edilizio locale.

2.3.1 Dimensionamento

La prima fase dell'analisi ha riguardato la definizione della superficie media dell'appartamento tipo nel contesto torinese. Sono state utilizzate due diverse fonti di dati, al fine di garantire una stima rappresentativa e coerente con la realtà locale.

La prima riguarda una pubblicazione dell'Osservatorio del Mercato Immobiliare (OMI) denominata "Statistiche regionali. Il mercato immobiliare residenziale" pubblicate a giugno 2024 ma che hanno come periodo di riferimento l'intero anno 2023.

DATI OMI (2023)

STN* media	82 m ²
------------	-------------------

NTN*	Superficie		Numero	%
	0 - 50	m ²	2251	15%
	50 - 85	m ²	7253	49%
	85 - 115	m ²	3331	22%
	115 - 145	m ²	1135	8%
	145 +	m ²	913	6%
	tot		14883	100%

*STN = Superficie transizioni normalizzate

*NTN = Numero transizioni normalizzate

Tabella 6: Distribuzione percentuale degli appartamenti a Torino per fascia dimensionale (Fonte: OMI – Osservatorio del Mercato Immobiliare)

Da questi dati emerge che la superficie media calcolata sulla base delle transazioni normalizzate è di 82 m²; infatti, la classe dimensionale più diffusa nel Comune di Torino risulta essere quella compresa tra i 50 e gli 85 m², che rappresenta circa il 50% del totale. Segue, con una diffusione pari al 22%, la fascia dimensionale compresa tra gli 85 e i 115 m².

La seconda tipologia di fonte utilizzata fa riferimento ai dati raccolti dai principali portali immobiliari diffusi sul territorio nazionale, nello specifico Immobiliare.it, Idealista, Wikicasa e Casa.it. Su questi siti è stata effettuata una ricerca volta a individuare il numero di appartamenti in vendita suddivisi per ciascuna delle classi dimensionali definite dall'OMI.

IMMOBILIARE		Appartamenti	
Superficie		Numero	%
0 - 50	m ²	1031	11.1%
50 - 85	m ²	3791	40.9%
85 - 115	m ²	2369	25.6%
115 - 145	m ²	1021	11.0%
145 +	m ²	1058	11.4%
tot		9270	100%

IDEALISTA		Appartamenti	
Superficie		Numero	%
0 - 50	m ²	819	12.8%
50 - 85	m ²	2711	42.4%
85 - 115	m ²	1387	21.7%
115 - 145	m ²	681	10.7%
145 +	m ²	790	12.4%
tot		6388	100%

WIKICASA		Appartamenti	
Superficie		Numero	%
0 - 50	m ²	693	12.7%
50 - 85	m ²	2282	41.9%
85 - 115	m ²	1238	22.7%
115 - 145	m ²	597	11.0%
145 +	m ²	636	11.7%
tot		5446	100%

CASA.IT		Appartamenti	
Superficie		Numero	%
0 - 50	m ²	779	13.0%
50 - 85	m ²	2548	42.6%
85 - 115	m ²	1302	21.8%
115 - 145	m ²	618	10.3%
145 +	m ²	737	12.3%
tot		5984	100%

Tabella 7: Appartamenti in vendita a Torino per fascia dimensionale e portale immobiliare (Fonte: Immobiliare.it, Idealista, Wikicasa e Casa.it)

Dai quattro portali immobiliari si evince che l'intervallo di superficie più diffuso a Torino è quello tra i 50 e 85 m², con una percentuale di frequenza intorno al 40%; a seguire invece troviamo quello che comprende le superfici tra gli 85 e i 115 m², con una frequenza che si aggira tra il 20 e il 25%.

Sulla base delle analisi effettuate, si è deciso di considerare due tipologie di appartamenti su cui condurre le valutazioni. La prima tipologia presenta una superficie di circa 70 m², rientrante nell'intervallo più diffuso (50–85 m²); la seconda invece, ha una superficie di circa 100 m² e appartiene alla fascia dimensionale immediatamente successiva (85–115 m²), anch'essa ampiamente rappresentata nel contesto torinese.

2.3.2 Tipologia edilizia

Dopo aver individuato le dimensioni medie rappresentative degli appartamenti torinesi, sono state definite le caratteristiche costruttive che contraddistinguono la maggior parte del patrimonio edilizio residenziale della città. La prima fase ha riguardato l'identificazione del periodo storico prevalente in cui sono stati edificati la maggior parte degli appartamenti esistenti a Torino. Dai dati disponibili per la provincia torinese forniti da SIAPE emerge chiaramente che il periodo di maggiore espansione edilizia è quello compreso tra il 1945 e il 1972. Questi anni, caratterizzati dalla ricostruzione post-bellica e dal boom economico, hanno visto una crescita significativa dell'edilizia residenziale, con la realizzazione di numerosi edifici plurifamiliari, in particolare blocchi di appartamenti, che rappresentano oggi una quota predominante del patrimonio abitativo del capoluogo piemontese.

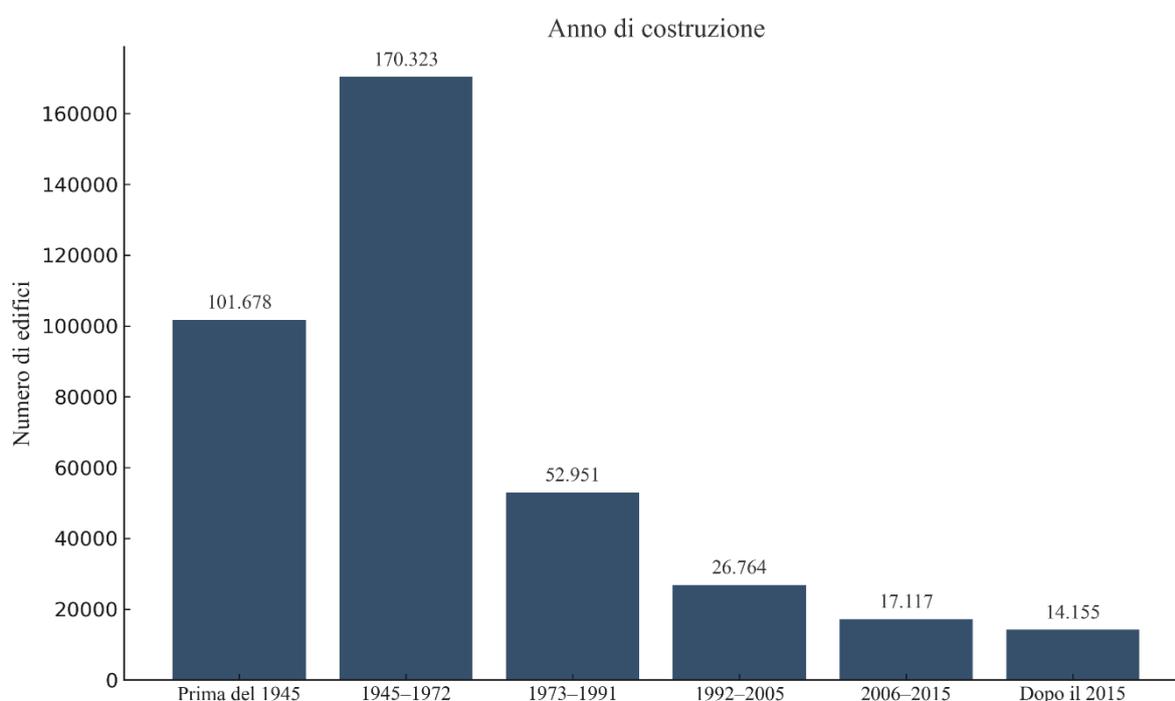


Grafico 9: Distribuzione degli edifici residenziali a Torino per anno di costruzione (Fonte: SIAPE 2024)

Per definire le caratteristiche costruttive tipiche di questo periodo, si è fatto riferimento al documento di classificazione tipologica del progetto europeo TABULA, nello specifico alle tipologie "Blocco di appartamenti" edificate tra il 1946 e il 1960 e tra il 1961 e il 1975. Tale fonte fornisce dettagli precisi riguardo alle stratigrafie costruttive e ai valori medi di trasmittanza termica delle principali componenti edilizie.

Per il periodo 1946-1960, la parete perimetrale tipica è costituita prevalentemente da muratura a cassa-vuota con mattoni forati per uno spessore totale di circa 30 cm, mentre verso ambienti

non riscaldati può essere presente una muratura in calcestruzzo di circa 18 cm. Questa tipologia costruttiva comporta un valore di trasmittanza termica mediamente elevato, determinando significative dispersioni di calore. I solai divisori orizzontali sono generalmente realizzati in latero-cemento, con isolamento termico limitato o assente, mentre gli infissi sono costituiti da vetro singolo con telaio in metallo senza taglio termico.

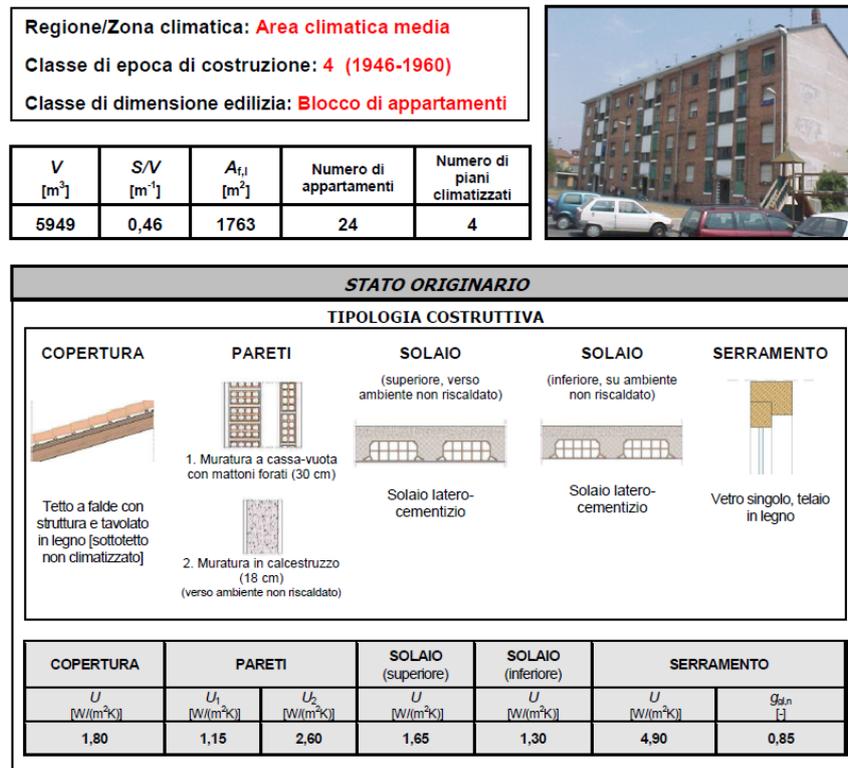


Figura 2: Scheda dell'edificio tipo – blocco di appartamenti costruito tra il 1946 e il 1960 (Fonte: Progetto europeo TABULA, Politecnico di Torino – Dipartimento Energia, 2012)

Nel periodo successivo, tra il 1961 e il 1975, la tipologia costruttiva presenta pareti perimetrali ancora in muratura a cassa-vuota con mattoni forati, mantenendo lo spessore di circa 30 cm, ma con muratura verso ambienti non riscaldati che passa a uno spessore di circa 25 cm. Anche in questo periodo, i solai divisori continuano a essere realizzati prevalentemente in latero-cemento, e i serramenti rimangono caratterizzati da vetro singolo con telaio in legno, contribuendo ancora una volta a elevate dispersioni termiche.

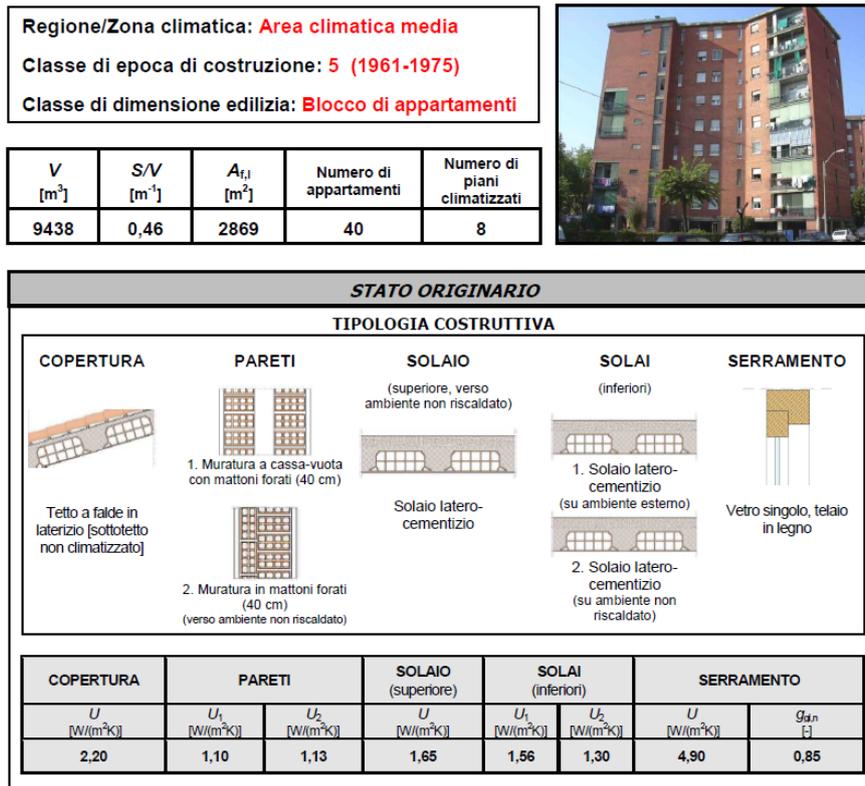


Figura 3: Scheda dell'edificio tipo – blocco di appartamenti costruito tra il 1961 e il 1975 (Fonte: Progetto europeo TABULA, Politecnico di Torino – Dipartimento Energia, 2012)

Complessivamente, queste caratteristiche costruttive evidenziano un significativo margine di miglioramento energetico e costituiscono un riferimento realistico e rappresentativo per l'analisi e la definizione degli interventi di riqualificazione da valutare nei casi studio.

2.3.3 Diagnosi energetica

Dopo aver definito le caratteristiche dimensionali e costruttive tipiche dell'appartamento torinese medio, è stato necessario completare il quadro con un'analisi dettagliata della situazione energetica e impiantistica prevalente negli edifici residenziali del comune di Torino.

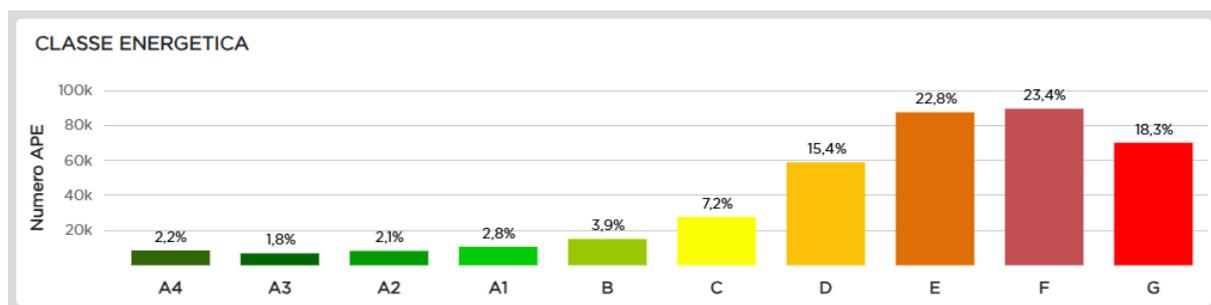


Grafico 10: Distribuzione degli edifici residenziali per classe energetica a Torino (Fonte: SIAPE 2024)

Per identificare la classe energetica media rappresentativa della realtà edilizia locale, è stata analizzata la distribuzione delle classi energetiche attraverso i dati forniti dal portale SIAPE per la provincia di Torino. Da tale analisi emerge chiaramente che le classi energetiche più diffuse sono la classe E e la classe F, rispettivamente con una percentuale pari al 22,8% per la classe E e al 23,4% per la classe F, che insieme rappresentano circa la metà degli edifici certificati nel territorio provinciale torinese. La presenza così significativa di immobili in classi energetiche medio-basse evidenzia la necessità e la rilevanza di interventi mirati alla riqualificazione energetica del patrimonio edilizio locale.

Per quanto riguarda le caratteristiche impiantistiche più diffuse, si è fatto nuovamente riferimento allo studio tipologico TABULA, che descrive dettagliatamente le soluzioni tecniche prevalenti nei blocchi di appartamenti costruiti nei due periodi considerati (1946-1960 e 1961-1975).

Gli edifici realizzati nel periodo tra il 1946 e il 1975 presentano prevalentemente impianti centralizzati con caldaia standard a gas dotata di bruciatore atmosferico, solitamente installata in ambienti non riscaldati come cantine o locali tecnici. Il sistema di distribuzione è di tipo centralizzato a colonne montanti verticali, generalmente senza un adeguato isolamento termico. Questa configurazione causa notevoli dispersioni termiche durante la distribuzione del calore, dunque, il rendimento medio stagionale di generazione ($\eta_{H,gn}$) per questa tipologia impiantistica è pari a 0,85 per gli edifici costruiti tra 1946 e 1960, e pari a 0,71 per quelli costruiti tra 1961 e 1975, valori che indicano un'efficienza modesta e conferma dunque ampi margini di miglioramento energetico.

1946/1960

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO

GENERAZIONE	$\eta_{H,gn} = 0,85$	ACCUMULO	$Q_{Is,H,s} = 4,4$ kWh/m ²	DISTRIBUZIONE	$\eta_{H,d} = 0,83$	AUSILIARIO	$Q_{Aux,H} = 2,6$ kWh/m ²
caldaia standard a gas, bruciatore ad aria soffiata, installata in centrale termica, antecedente al 1996		serbatoio di accumulo di acqua calda per riscaldamento centralizzato - basso livello di isolamento		distribuzione centralizzata a colonne montanti verticali, collegamenti orizzontali in ambienti non riscaldati (es. cantina o terreno) / fino al 1960		pompa di circolazione per impianto centralizzato - ausiliario elettrico per caldaia con bruciatore ad aria soffiata	

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

GENERAZIONE	$\eta_{W,gn} = 0,75$	ACCUMULO	$Q_{Is,W,s} = 0$ kWh/m ²	DISTRIBUZIONE	$Q_{Is,W,d} = 1,13$ kWh/m ²	AUSILIARIO	$Q_{Aux,W} = 0$ kWh/m ²
bollitore elettrico ad accumulo		-		distribuzione di acqua calda sanitaria separata per appartamento, senza ricircolo - fino al 1975		produzione di ACS per appartamento o separata/individuale	

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO

GENERAZIONE	$\eta_{H,gn} = 0,71$	ACCUMULO	$Q_{ts,H,s} = 0$ kWh/m ²	DISTRIBUZIONE	$\eta_{H,d} = 0,86$	AUSILIARIO	$Q_{aux,H} = 1,7$ kWh/m ²
caldaia standard (gas), bruciatore atmosferico, installata in ambiente non climatizzato, camino > 10 m, antecedente al 1996		-		distribuzione centralizzata a colonne montanti verticali, collegamenti orizzontali in ambienti non riscaldati (es. cantina o terreno) / 1961-1976		pompa di circolazione per impianto centralizzato - ausiliario elettrico per caldaia standard con bruciatore atmosferico	

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

GENERAZIONE	$\eta_{W,gn} = 0,73$	ACCUMULO	$Q_{ts,W,s} = 6,2$ kWh/m ²	DISTRIBUZIONE	$Q_{ts,W,d} = 10,7$ kWh/m ²	AUSILIARIO	$Q_{aux,W} = 2,1$ kWh/m ²
caldaia standard (gas), bruciatore atmosferico, installata in ambiente non climatizzato, camino > 10 m, antecedente al 1996		serbatoio di accumulo per produzione centralizzata di ACS, in ambiente non climatizzato - basso livello di isolamento		distribuzione di ACS centralizzata con ricircolo, porzione di rete affacciata all'esterno, fino al 1975		produzione di ACS centralizzata con pompa di circolazione - ausiliario elettrico per caldaia standard con bruciatore atmosferico	

Figure 4 e 5: Impianto di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria (Fonte: Progetto europeo TABULA, Politecnico di Torino – Dipartimento Energia, 2012)

Per quanto riguarda la produzione di acqua calda sanitaria, gli edifici torinesi costruiti tra il 1946 e il 1960 utilizzano prevalentemente sistemi individuali con bollitore elettrico, caratterizzati dalla presenza di serbatoi di accumulo dotati di resistenza elettrica. Questi bollitori, generalmente poco isolati dal punto di vista termico, determinano consumi energetici piuttosto elevati. Negli edifici del periodo successivo (1961-1975), invece, il sistema più diffuso è rappresentato dalla caldaia standard a gas con produzione istantanea dell'acqua calda sanitaria, solitamente a camera aperta e priva di accumulo. In entrambi i casi, inoltre, la distribuzione interna dell'acqua calda avviene senza sistemi di ricircolo, contribuendo ulteriormente alle inefficienze energetiche dovute alle dispersioni termiche lungo la rete distributiva.

2.4. Individuazione e descrizione dei casi studio

Per selezionare i casi studio da analizzare, è stata adottata la metodologia descritta nell'articolo "Reference buildings for cost optimal analysis: Method of definition and application", relativa agli "Edifici di riferimento", ovvero edifici rappresentativi delle condizioni funzionali, costruttive e climatiche di un determinato territorio. Tale metodologia propone tre possibili approcci per identificare gli edifici rappresentativi:

- "Example (Reference) Building": basato su ipotesi ed esperienze di esperti, utile in assenza di dati statistici dettagliati.
- "Real (Reference) Building": edificio reale esistente, caratterizzato da elementi rappresentativi basati su analisi statistiche approfondite.
- "Theoretical (Reference) Building": edificio teorico, composto dalla combinazione statistica delle caratteristiche edilizie più diffuse.

Nel presente studio, grazie all'accesso diretto ad una banca dati di edifici residenziali torinesi fornito dallo studio tecnico presso cui ho svolto il tirocinio, è stato possibile combinare gli approcci "Real" e "Theoretical". Sono state dunque individuate dapprima le caratteristiche edilizie e impiantistiche più comuni del patrimonio edilizio torinese, analizzate in dettaglio nella sezione precedente (2.3) e qui di seguito riassunte:

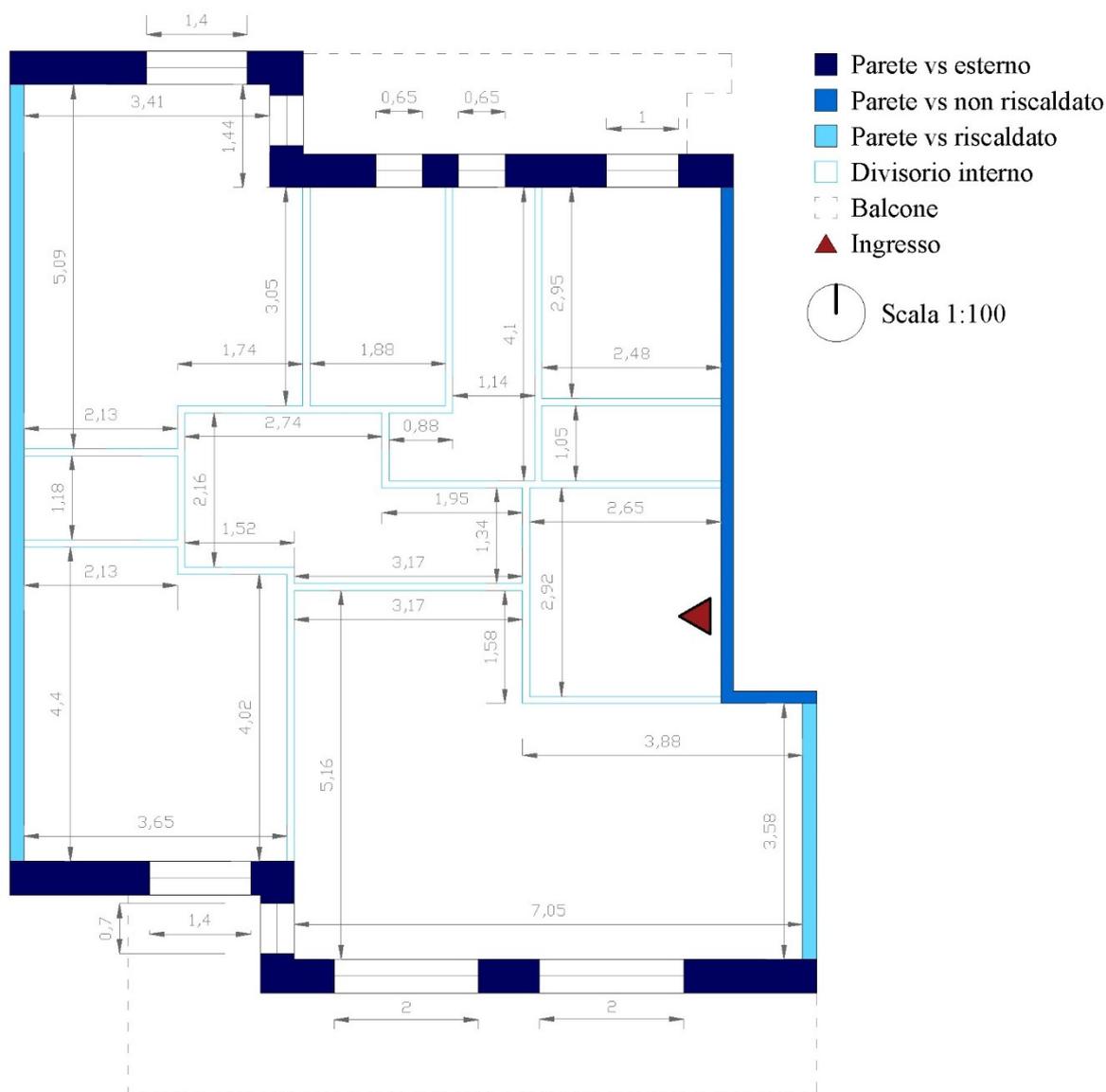
- Appartamento situato in edifici plurifamiliari
- Anno di costruzione compreso tra il 1946 e il 1975;
- Superficie in pianta di circa 70 e 100 m²;
- Pareti perimetrali realizzate con muratura a cassa vuota, prive di isolamento originario (trasmittanza termica $\sim 1,15 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- Solai in latero-cemento privi di isolamento (trasmittanza termica $\sim 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- Serramenti in legno con vetro singolo (trasmittanza termica $\sim 4,9 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- Classe energetica originaria compresa tra E ed F;
- Impianto di riscaldamento centralizzato, con caldaia standard a gas;
- Produzione di acqua calda sanitaria tramite impianto autonomo, con caldaia a gas istantanea o boiler elettrico;

Successivamente, sono stati selezionati quattro appartamenti reali presenti nella banca dati che rispecchiassero fedelmente le caratteristiche citate. Per garantire il rispetto della privacy dei

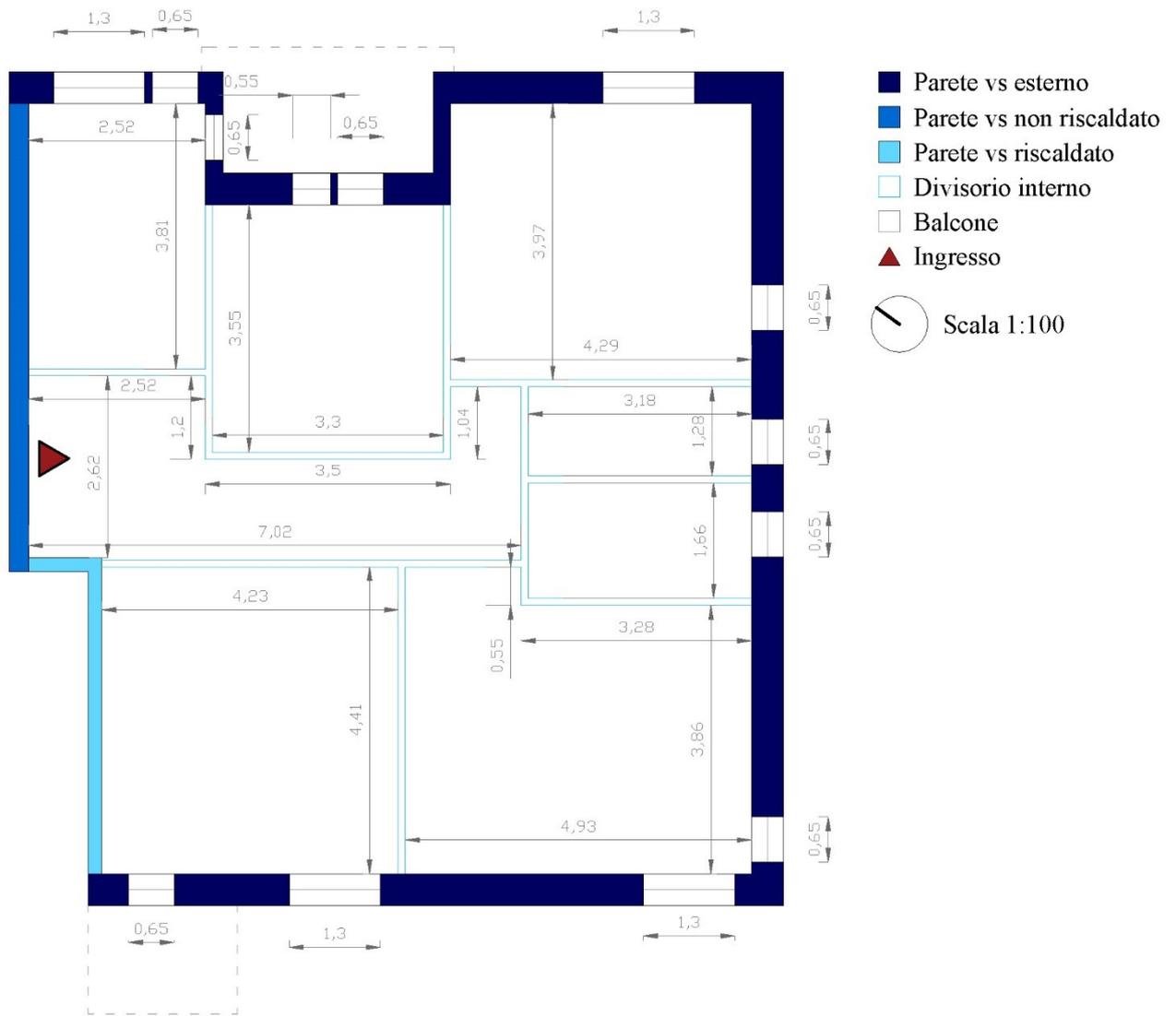
proprietari, nella trattazione verranno indicati solamente la via e le caratteristiche generali degli appartamenti, omettendo il numero civico.

Dunque, i casi studio scelti sono:

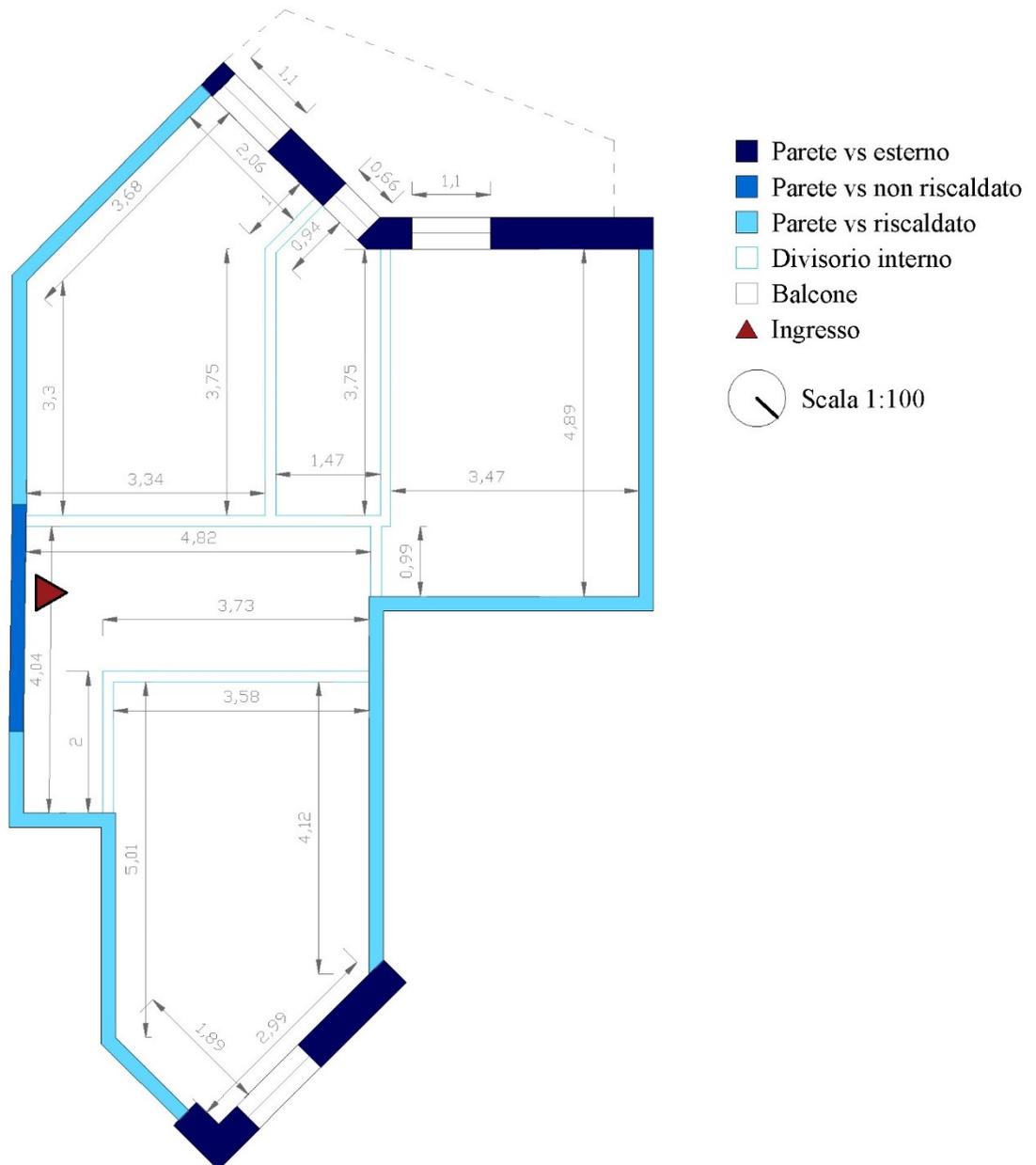
- **Appartamento 1** di 103 m² al quarto piano di Corso Francia, ** – Torino (TO);



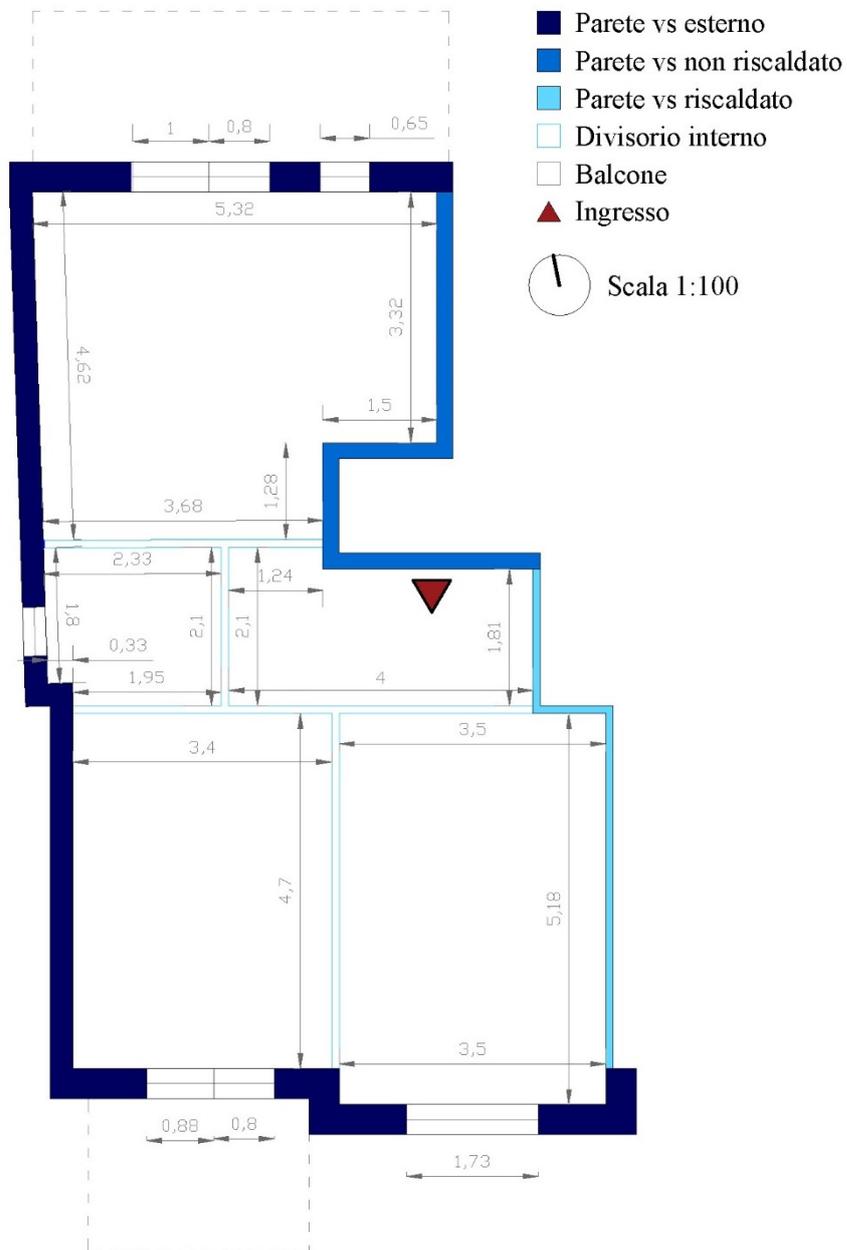
- Appartamento 2 di 100 m² al terzo piano di Via Ruggero Leoncavallo, ** – Torino (TO);



- Appartamento 3 di 69 m² al terzo piano di Via Monte Cengio, ** – Torino (TO);



- Appartamento 4 di 71 m² al terzo piano di Via Giambattista Pergolesi, ** – Torino (TO);



Una volta selezionati i quattro appartamenti come casi studio, si è condotta un'analisi comparativa delle loro caratteristiche morfologiche e distributive, ponendo l'attenzione sulle possibili ripercussioni in termini di dispersioni termiche e consumi energetici.

Caso studio	Indirizzo	Superficie (m ²)	Esposizione	Pareti disperdenti (m)	Rapporto S/V	Classe energetica
1	Corso Francia	103	Sud-Ovest	24	0.46	F
2	Via Leoncavallo	100	Sud-Est-Ovest	36	0.51	F
3	Via Monte Cengio	69	Nord-Est-Ovest	28	0.59	F
4	Via Pergolesi	71	Sud-Ovest	12	0.38	F

Tabella 8: Riepilogo caratteristiche dei casi studio selezionati

Il primo elemento di differenziazione riguarda la dimensione. Infatti, come anticipato precedentemente, due unità presentano una superficie di circa 100 m² (appartamenti 1 e 2), mentre le rimanenti due si assestano intorno ai 70 m² (appartamenti 3 e 4). Da un lato, un appartamento più ampio comporta un volume riscaldato superiore, con conseguente incremento del fabbisogno energetico, dall'altro, la dimensione, pur importante, non costituisce il solo fattore determinante; entrano infatti in gioco il numero di pareti perimetrali, la loro esposizione verso ambienti non climatizzati o direttamente all'esterno, nonché la forma stessa dell'unità immobiliare. L'analisi ha messo in luce, ad esempio, che l'appartamento 1, di dimensioni maggiori, confina solo su due lati con l'esterno, per una lunghezza di circa 24 m, limitando così le dispersioni termiche. L'appartamento 2, pur essendo paragonabile per superficie, è invece esposto su tre lati, per una lunghezza di 36 m, dunque vi sarà una perdita di calore più significativa. Un discorso simile vale per gli appartamenti di superficie minore; mentre l'appartamento 3, caratterizzato da tre lati lunghi verso l'esterno, con una lunghezza di circa 28 m, risulta meno efficiente dal punto di vista energetico a causa della maggiore superficie disperdente, l'appartamento 4, con appena due brevi tratti di pareti perimetrali, per un totale di circa 12 m, si presenta più compatto e di conseguenza meno soggetto a dispersioni di calore.

A giocare un ruolo centrale è inoltre la forma in pianta di ciascun appartamento, che influisce in modo diretto sul rapporto tra superficie esterna disperdente e volume interno (S/V). Le piante più regolari e prive di sporgenze o rientranze permettono infatti di minimizzare le dispersioni, mentre conformazioni più articolate possono produrre un incremento, anche se lieve, dei fabbisogni energetici. Nei casi analizzati, ciascun appartamento è tendenzialmente compatto, con differenze geometriche di dettaglio che potranno comunque manifestarsi nelle fasi di calcolo, sebbene in misura meno rilevante rispetto al fattore dimensionale e al numero di lati esposti.

Un ulteriore fattore che può incidere sensibilmente sui consumi energetici di un appartamento è l'orientamento dei suoi ambienti rispetto ai punti cardinali. In particolare, l'orientamento condiziona la quantità di radiazione solare incidente su pareti e superfici vetrate, influenzando tanto gli apporti gratuiti di calore invernali quanto il rischio di surriscaldamento estivo.

Nel periodo invernale, un'esposizione orientata verso sud o sud-ovest, come nel caso degli appartamenti 1, 2 e 4, tende a favorire un maggior guadagno solare, permettendo di ridurre il fabbisogno di riscaldamento. All'opposto, le pareti e le finestre rivolte a nord sono generalmente penalizzate, poiché ricevono poca o nessuna radiazione solare e disperdono più calore, soprattutto se non adeguatamente isolate. Durante la stagione estiva, invece, gli ambienti esposti a ovest sono spesso soggetti a surriscaldamenti significativi nelle ore pomeridiane, mentre le superfici orientate a sud possono andare incontro a picchi di radiazione a mezzogiorno. In queste situazioni, strategie di ombreggiamento (tende, persiane, frangisole) assumono un ruolo decisivo per ridurre il fabbisogno di raffrescamento.

3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO

Gli interventi pensati per effettuare la riqualificazione energetica degli appartamenti sono quattro: isolamento termico delle pareti, sostituzione dei serramenti, installazione di un impianto di ventilazione meccanica controllata (VMC) e sostituzione dell'impianto di riscaldamento.

3.1 Isolamento termico delle pareti

Una delle operazioni più vantaggiose ai fini di migliorare l'efficienza energetica degli edifici esistenti è l'isolamento termico delle pareti perimetrali confinanti con l'esterno. La soluzione più performante, almeno dal punto di vista prettamente tecnico, è il cosiddetto "cappotto esterno": esso consiste nell'applicazione di strati isolanti sulla facciata, riducendo in maniera drastica le dispersioni termiche dell'involucro. Tuttavia, nonostante l'indiscutibile efficacia, l'installazione di un cappotto esterno può risultare complicata sotto vari aspetti: oltre ai costi iniziali elevati, spesso serve il consenso di tutti i condomini, circostanza che rallenta o addirittura ostacola la realizzazione dell'intervento.

Per questi motivi, in molti casi, compreso quello degli appartamenti analizzati in questa tesi, si preferisce ipotizzare la tecnica dell'insufflaggio. In concreto, l'insufflaggio prevede l'inserimento di materiale isolante sfuso nelle intercapedini delle murature perimetrali, creando uno strato coibente direttamente all'interno della parete. Questa soluzione presenta svariati vantaggi: in primo luogo, è rapida da eseguire e comporta un costo complessivo generalmente contenuto; in secondo luogo, può essere realizzata su singoli appartamenti in modo relativamente indipendente, senza dover intervenire in maniera estensiva sull'intero condominio.

In pratica si praticano piccoli fori a distanze regolari sulla parete, attraverso i quali si "soffia" il materiale coibente nella camera d'aria. Al termine, i fori vengono richiusi e intonacati, con impatto minimo sulla finitura della parete. Prima dell'intervento è buona norma effettuare un'analisi della stratigrafia del muro (ad esempio, tramite piccole ispezioni endoscopiche) per accertarsi che ci sia una vera e propria intercapedine e che non vi siano ostruzioni o elementi che possano intralciare il riempimento.

La scelta del materiale da insufflare è, ovviamente, cruciale per ottimizzare i risultati. Nel presente studio, si è ipotizzato l'impiego di "Supafil Cavity Wall 034", una lana minerale di vetro che offre ottime prestazioni isolanti (conducibilità termica dichiarata $\lambda = 0,034$ W/mK). La composizione in vetro ne garantisce sia la stabilità dimensionale, sia la resistenza al fuoco, rendendola una delle soluzioni più affidabili sul mercato per questo tipo di intervento. La scheda tecnica riportata di seguito ne evidenzia anche la buona resistenza all'umidità e la durabilità nel tempo, due fattori fondamentali affinché l'isolante mantenga intatte le sue proprietà per l'intera vita utile dell'edificio.

KNAUFINSULATION

www.knaufinsulation.it

SUPAFIL CAVITY WALL 034

Lana minerale di vetro per insufflaggio



Descrizione

Lana minerale di vetro per insufflaggio (formato fiocchi), priva di leganti e prodotta con altissima percentuale di materiale proveniente da riciclo (fino al 90%).

Supafil Cavity Wall 034 è un prodotto incombustibile (**euroclasse A1**) e non igroscopico: grazie alla sua stabilità dimensionale mantiene il proprio volume invariato nel tempo, garantendo performance termo-acustiche e benefici costanti durante la vita utile dell'edificio.

Vantaggi

- Ottimo isolamento termico (λ_D **0,034 W/mK**) ed acustico
- Prodotto non idrofilo: stabilità dimensionale e durabilità delle performance
- Incombustibile (**euroclasse A1**)

Dati tecnici

CARATTERISTICHE	VALORE	NORMA
Conducibilità termica λ_D	0,034 W/mK	EN 14064-1 - EN 12667
Reazione al fuoco (Euroclasse)	A1	EN 13501-1
Resistenza al passaggio del vapore acqueo μ	1	EN 12086
Assorbimento d'acqua a breve termine - WS	$\leq 1,0$	EN 1609
Classe di assestamento	S1 ($\leq 1\%$)	EN 14064-1
Calore specifico (Cp)	1.030 J/kg K	EN 10456
Densità nominale	35 +/- 5 Kg/m ³	-
Codice DOP	B4220BPCR	-

Figura 6: Scheda tecnica del prodotto isolante Supafil Cavity Wall 034 – lana minerale di vetro per insufflaggio (Fonte: Knauf Insulation, 2024)

3.2 Sostituzione dei serramenti

Un intervento ampiamente diffuso e particolarmente efficace per limitare le dispersioni termiche e incrementare significativamente l'efficienza energetica di un appartamento consiste nella sostituzione dei vecchi serramenti con infissi più performanti. Nei casi studio analizzati, la trasmittanza termica dei serramenti esistenti, realizzati prevalentemente in legno con vetro singolo, risultava pari a circa $4,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ (come emerso nel capitolo 2.3.2). Tale valore risulta decisamente elevato rispetto agli standard attuali e comporta perdite di calore considerevoli, influenzando negativamente i consumi energetici e di conseguenza determinando costi maggiori per il riscaldamento.

Per risolvere questa problematica, si è previsto di installare nuovi serramenti ad alta efficienza energetica, caratterizzati da un telaio in PVC abbinato a doppio vetro basso emissivo, in cui la camera d'aria tra i vetri viene riempita con un gas inerte come l'argon. Questa soluzione tecnica consente di ottenere una trasmittanza termica complessiva estremamente contenuta, con valori dell'ordine di $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, permettendo così una drastica riduzione delle dispersioni rispetto agli infissi originali. È importante sottolineare come tale valore risulti perfettamente conforme ai requisiti stabiliti dall'Allegato E del Decreto Ministeriale "Requisiti 2020", applicabile alla zona climatica E in cui ricade la città di Torino. Infatti, per tale zona, il limite massimo previsto è pari a $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

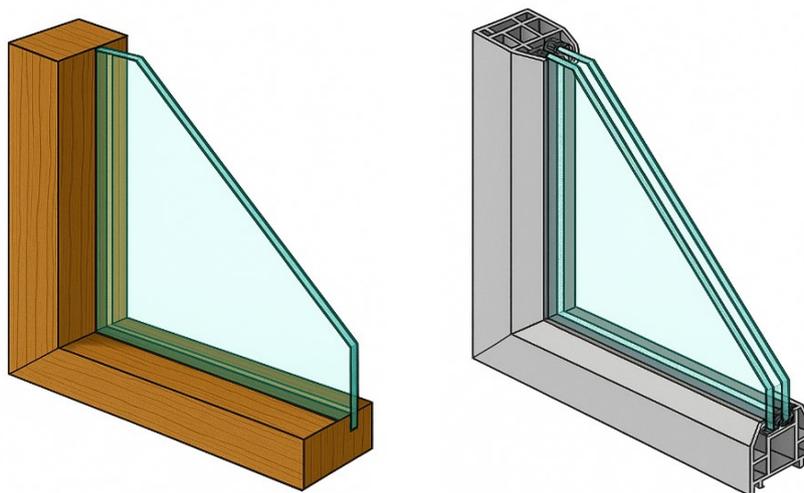


Figura 7: Confronto tra vecchio serramento in legno con vetro singolo e nuovo serramento in PVC con vetrocamera (Fonte: rielaborazione grafica dell'autore)

Oltre ai benefici strettamente legati al miglioramento delle prestazioni termiche e ai conseguenti risparmi economici in bolletta, la sostituzione dei serramenti incide positivamente anche su ulteriori aspetti di rilevanza per la qualità abitativa complessiva. Infatti, i nuovi

modelli di serramenti offrono vantaggi significativi in termini di comfort acustico grazie alle migliori proprietà di isolamento dai rumori esterni. Questo fattore contribuisce a creare un ambiente interno più tranquillo e rilassante, specialmente in contesti urbani caratterizzati da elevati livelli di rumore. Infine, ma non meno importante, l'adozione di infissi moderni dotati di sistemi di chiusura avanzati incrementa significativamente la sicurezza dell'abitazione, rendendola meno vulnerabile a tentativi di intrusione e migliorando così la tranquillità e la percezione di protezione da parte degli occupanti.

3.3 Ventilazione meccanica controllata

Un aspetto spesso trascurato ma essenziale per l'efficienza energetica e il comfort di un appartamento riguarda la corretta gestione dei ricambi d'aria. In genere, la ventilazione avviene aprendo periodicamente le finestre oppure tramite infiltrazioni non controllate dagli infissi, generando importanti dispersioni energetiche, specialmente durante le stagioni più fredde. Per risolvere queste problematiche, si è ipotizzata l'adozione di un sistema decentralizzato di ventilazione meccanica controllata, più comunemente noto come VMC puntuale. Questa soluzione risulta particolarmente idonea poiché permette interventi mirati sui singoli appartamenti senza ricorrere a complessi sistemi canalizzati che spesso richiedono il consenso condominiale unanime e interventi invasivi nella struttura dell'edificio.

In dettaglio, per ciascuna delle unità abitative analizzate è stata prevista l'installazione di due apparecchi di VMC puntuale, posizionati generalmente nelle stanze più critiche dal punto di vista della qualità dell'aria interna e della presenza di umidità: il bagno, luogo in cui si produce molta condensa e umidità, e la camera da letto principale, in quanto resta spesso chiusa e ci si trascorre un periodo significativo della giornata. È tuttavia importante sottolineare che tale disposizione potrebbe variare in funzione delle esigenze abitative specifiche e delle peculiarità distributive di ciascun appartamento.

La VMC puntuale garantisce numerosi benefici in termini di comfort abitativo e salute degli occupanti, in quanto assicura un ricambio d'aria costante e controllato. Ciò consente non solo di limitare le dispersioni energetiche ma anche di ridurre efficacemente la concentrazione di sostanze inquinanti interne, quali composti organici volatili (VOC), anidride carbonica e altri inquinanti atmosferici, migliorando sensibilmente la qualità dell'aria indoor. Tale miglioramento comporta una minore incidenza di disturbi legati alla qualità dell'aria, quali allergie e affezioni respiratorie. Inoltre, questo sistema di ventilazione contribuisce significativamente al controllo dell'umidità interna, prevenendo il ristagno di condensa sulle superfici e contrastando la formazione di muffe e funghi. Tale effetto risulta particolarmente vantaggioso in ambienti tipicamente umidi, come bagni e locali ciechi, o in appartamenti esposti a climi freddi dove il rischio di condensa e muffe è elevato.

Per i calcoli energetici ed economici della presente analisi è stato preso come riferimento il dispositivo VL-100EU5-E di Mitsubishi Electric, un recuperatore di calore a parete con sistema filtrante integrato. Questo apparecchio, adatto a contesti residenziali, è caratterizzato da una buona efficienza energetica e un funzionamento silenzioso. È inoltre dotato di filtri per

garantire una qualità dell'aria ottimale, limitando la presenza di polveri e altri inquinanti negli ambienti interni. La macchina presenta un buon livello di efficienza nello scambio termico, con un rendimento che raggiunge l'80%, consentendo di contenere efficacemente le dispersioni energetiche dovute alla ventilazione. Dal punto di vista dell'installazione, il modello è progettato per essere collocato a parete con minime opere murarie, favorendo così interventi semplici e poco invasivi. Inoltre, grazie alle dimensioni contenute e ad un design discreto, l'apparecchio può integrarsi facilmente all'interno di diversi contesti abitativi.

VL-100EU₅-E RECUPERATORE DI CALORE A PARETE



Filtro di serie (in dotazione al prodotto)	Filtro opzionale
G3 (Coarse 35%)	M6 (ePM10 70%)

* vedi tabella pagina 86

Ideale per...

Unità interna a parete per immissione di aria di rinnovo ed espulsione di aria viziata completa di sistema filtrante e recuperatore di calore totale Lossnay.

Recuperatore di calore a parete

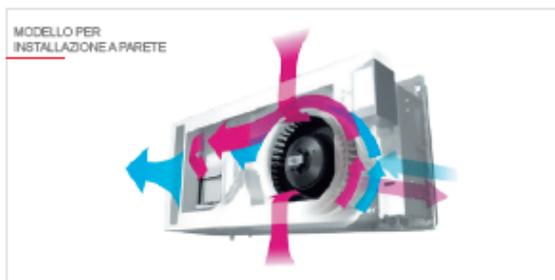
Trattare l'aria esterna per immetterla all'interno degli ambienti permette di rinnovare l'aria e di ripristinare la corretta quantità di ossigeno, controllare gli agenti inquinanti e contribuire al controllo dei livelli di temperatura e di umidità dell'ambiente. Un risultato che si ottiene col ventilatore meccanico a recupero di calore.

Nelle nuove abitazioni dove l'isolamento termico è ad alta efficienza e non c'è quindi un ricambio d'aria naturale, diventa fondamentale l'utilizzo di sistemi di ventilazione meccanica controllata.

Lossnay VL-100EU5-E è l'ideale per ambienti residenziali con superfici fino a 80m² e offre massimo comfort grazie al deflettore regolabile, alla distribuzione ottimale dell'aria e alla massima silenziosità con appena 25dB. La presenza di un filtro Coarse 35% (G3 secondo EN779) oppure di un

filtro (opzionale) e PM10 70% (M6 secondo EN779) permette di eliminare le polveri sottili depurando l'aria e restituendo un ambiente sano. L'elevata efficienza di scambio termico arriva fino all'80%.

Grazie alla raffinatezza estetica data dall'elegante pannello flat bianco lucido, moderno ed essenziale e alle dimensioni compatte per garantire il minimo ingombro, il recuperatore si abbina perfettamente a ogni ambiente domestico. L'installazione è semplice e intuitiva: bastano due fori da 85 mm di diametro e non servono interventi invasivi o controsoffitti.



SCHEMA RECUPERO CALORE



Specifiche tecniche

MODELLO	SET	VL-100EU ₅ -E	
Alimentazione	V/Fase/Hz	220-240 / MONOFASE / 50	
Classe di consumo energetico specifico* (S.E.C.)		B (-28,8)	
Dati ErP ¹	Portata d'aria max	m ³ /h	100
	Potenza sonora max	dB(A)	52
Velocità del ventilatore		Alta	Bassa
Intensità corrente	A	-	-
Potenza assorbita	W	31	15
Volume d'aria trattato	m ³ /h	105	80
Pressione statica esterna	Pa	-	-
Efficienza di scambio termico sensibile	%	73	80
Filtro standard	EN 779 (ISO 16890)	G3 (Coarse 35%)	
Livello pressione sonora	dB(A)	37	25
Peso	kg	7,5	
Dimensioni (LxAxP)	mm	620x265x200	

* Secondo il regolamento 1254/2014

Figura 8: Recuperatore di calore a parete Mitsubishi VL-100EU5-E per ventilazione meccanica controllata (Fonte: Mitsubishi Electric, Scheda tecnica prodotto, 2024)

3.4 Sostituzione impianto di riscaldamento

Negli appartamenti analizzati, l'impianto di riscaldamento originario era costituito da una caldaia tradizionale alimentata a gas metano, sistema ampiamente diffuso nell'edilizia residenziale italiana costruita nel secondo dopoguerra. Questo tipo di impianto, sebbene ancora oggi molto utilizzato, risulta poco efficiente in termini di rendimento stagionale e comporta un rilevante consumo di combustibili fossili, con conseguenti emissioni di anidride carbonica in atmosfera. Inoltre, la produzione di acqua calda sanitaria (ACS) avveniva spesso in modo separato, mediante boiler elettrici o caldaie istantanee, con ulteriori sprechi energetici. L'intervento di sostituzione dell'impianto con una pompa di calore rappresenta un cambio radicale; infatti, a differenza della caldaia a metano, non genera calore tramite combustione, ma trasferisce energia termica dall'aria esterna all'interno dell'abitazione, attraverso un ciclo termodinamico. Si tratta quindi di un sistema a energia elettrica, che consente di sfruttare fonti rinnovabili (direttamente o tramite integrazione con impianti fotovoltaici) e che si presta particolarmente bene a essere applicato negli interventi di riqualificazione energetica profonda.

Nel caso in esame si è ipotizzata l'installazione di più pompe di calore aria-acqua, modello NIBE F2120 da 20 kW, collegate ad un sistema centralizzato per la climatizzazione invernale e la produzione di ACS. A seconda del fabbisogno termico complessivo dell'edificio, è stato possibile ipotizzare più unità in parallelo, garantendo così continuità e adeguatezza della fornitura energetica anche nei periodi più rigidi dell'anno. Dal punto di vista operativo, la sostituzione non comporta particolari complicazioni strutturali. Le unità esterne delle pompe di calore vengono posizionate su basamenti adeguati all'esterno dell'edificio, mentre all'interno si interviene sui collegamenti idraulici e, dove necessario, sulla distribuzione del calore (che può avvenire tramite radiatori, pannelli radianti o ventilconvettori). L'intervento è compatibile anche con edifici esistenti, purché venga garantito un corretto dimensionamento del sistema e un adeguato volume tecnico per la gestione dell'impianto.

I vantaggi principali di questa sostituzione sono molteplici. Dal punto di vista ambientale, l'eliminazione della combustione del gas riduce le emissioni locali e contribuisce alla decarbonizzazione del settore residenziale. Dal punto di vista economico, l'elevata efficienza della pompa di calore, soprattutto nelle mezze stagioni, si traduce in un minor consumo di energia primaria e in un risparmio diretto sulle spese per il riscaldamento e la produzione di ACS. Inoltre, trattandosi di un sistema alimentato elettricamente, l'impianto è pronto per una futura integrazione con fonti rinnovabili, come il fotovoltaico, e si adatta perfettamente alle nuove logiche di gestione smart dell'energia domestica. Infine, dal punto di vista della qualità

dell'abitare, l'adozione della pompa di calore permette una regolazione più precisa e omogenea della temperatura interna, una maggiore silenziosità e l'eliminazione dei rischi legati alla presenza di gas combustibili all'interno dell'abitazione.



Pompa di calore aria/acqua NIBE F2120

La NIBE F2120 è la pompa di calore più installata in Svizzera ed è sinonimo di massima efficienza nelle nuove costruzioni, nei progetti di ammodernamento o nella sostituzione dell'impianto di riscaldamento esistente.

Costi operativi ridotti al minimo
Gamma di potenza ottimale grazie alla tecnologia inverter

Opzione combinata
fino a 8 pompe di calore in cascata

Pietra miliare dell'efficienza
Con uno SCOP superiore a 5,0

Uno spazio di lavoro per ogni clima
Temperatura di mandata fino a 65 °C

Panoramica e stato di avanzamento
La connessione internet di NIBE myUplink vi permette di avere il pieno controllo e monitoraggio, anche a distanza

A+++ 35 °C

A+++ 55 °C

F2120		16	20
Etichetta del prodotto Classe di efficienza riscaldamento 35 °C / 55 °C		A+++ / A+++	
Etichetta composita ¹ Classe di efficienza di riscaldamento 35 °C / 55 °C		A+++ / A+++	
Potenza termica / COP / frequenza a pieno carico A-7/W35	kW / COP / Hz	10.20 / 3.05 / 90	13.5 / 2.90 / 112
Potenza termica / COP a pieno carico A-7/W55	kW / COP	10.85 / 2.35	14.15 / 2.20
Potenza termica / COP / frequenza con funzionamento ridotto A-7/W35	kW / COP / HZ	8.5 / 3.2 / 70	
Potenza di riscaldamento / COP / frequenza per A-7/W35 modalità notturna	kW / COP / HZ	6.0 / 3.35 / 45	6.8 / 3.30 / 53
Potenza termica con acqua calda alta / bassa	kW	12.0 / 8.0	15.0 / 10.0
Capacità di raffreddamento / EER a pieno carico A35/W18	kW / COP	8.19 / 2.90	9.26 / 2.54
Limite di applicazione circuito di riscaldamento	°C	25 - 65	
Limite di applicazione sorgente di calore	°C	-25 - 43	
SCOP secondo EN 14825 a 35 °C / 55 °C	SCOP	5.05 / 3.90	
P _{design} secondo EN 14825 a 35 °C / 55 °C	kW	11.0 / 12.3	
Livello di potenza sonora giorno massimo / ridotto / notte	dB(A)	62 / 61 / 55	64 / 61 / 56
Circuito di riscaldamento Portata volumetrica (dimensionamento tubazione) / volume min. dell'accumulatore tecnico	l/h / l	2160 / 160	2700 / 200
Perdita di pressione del circuito di riscaldamento ΔP / portata volumetrica	bar / l/h	0.070 / 2160	0.118 / 2700
Quantità di refrigerante/riempimento	... / kg	R410A / 3.0	
Codifica tensione / Protezione con fusibili della pompa di calore		3-N/PE/400V / C13 A	
Codifica tensione / protezione tensione di controllo		SMO S40 1-/N/PE/230 V / C13 A VVM 310 3-/N/PE/400 V / C20 A VVM S320 e VVM 500 3-/N/PE/400 V / C16 A	
Corrente di avviamento / corrente massima della macchina / fattore di potenza	A / A / cos Φ	< 5 / 9.5 / 0.72	< 5 / 11 / 0.72
Dimensioni H x L x P / altezza di montaggio minima richiesta	mm	1165 x 1280 x 612 / 2165	

Figura 9: Pompa di calore aria/acqua NIBE F2120 ad alta efficienza per la climatizzazione invernale (Fonte: NIBE, Scheda tecnica prodotto, 2024)

4. ANALISI DEI COSTI DI INTERVENTO

Per ognuno degli interventi ipotizzati e per ognuno dei casi studio scelti è stata fatta un'analisi dei costi.

4.1 Isolamento termico delle pareti

L'intervento di isolamento termico delle pareti perimetrali, effettuato mediante insufflaggio, come illustrato precedentemente, consiste nel riempimento delle intercapedini murarie esistenti con un materiale isolante sfuso, in questo caso specifico con la lana minerale di vetro denominata "Supafil Cavity Wall 034", selezionata per le sue eccellenti proprietà isolanti e la capacità di garantire prestazioni stabili nel tempo. Per effettuare questa operazione, la ditta specializzata procede alla realizzazione di fori sulle pareti, distanziati regolarmente, attraverso i quali il materiale isolante viene inserito mediante specifiche apparecchiature. Al termine dell'insufflaggio, i fori praticati vengono richiusi e adeguatamente intonacati, ripristinando l'aspetto originale delle superfici interessate dall'intervento.

Il costo per questo intervento è stato determinato tramite un preventivo fornito da una ditta specializzata, che ha valutato il prezzo in 180 €/m³ comprensivo di manodopera e materiali necessari. Tale costo andrà quindi moltiplicato per il volume delle intercapedini di tutte le pareti perimetrali degli appartamenti in esame. Per quanto riguarda invece i costi di manutenzione, risultano nulli, in quanto questo tipo di intervento non richiede manutenzione se effettuato nella maniera corretta.

Di seguito sono riportati i risultati dei calcoli per ciascun appartamento analizzato nei casi studio:

	APP1 CORSO FRANCIA	APP2 VIA LEONCAVALLO	APP3 VIA MONTE CENGIO	APP4 VIA PERGOLESI	
Perimetro	13.15	21.6	M1 8.25	6.75	m
			M2 11.7		
Spessore intercapedine	0.26	0.24	M1 0.19	0.23	m
			M2 0.09		
Altezza	3				m
Costo	180.00				€/m ³
Costo TOT	1846.26	2799.36	1415.07	838.35	€

Tabella 9: Calcolo dei costi totali dell' intervento di isolamento termico delle pareti tramite insufflaggio

4.2 Sostituzione dei serramenti

Un ulteriore intervento fondamentale per il miglioramento dell'efficienza energetica degli appartamenti presi in esame è la sostituzione dei serramenti esistenti con modelli più performanti dal punto di vista termico. La stima del costo complessivo è avvenuta tramite realizzazione di un computo metrico estimativo, eseguito tramite il software "Primus", facendo riferimento al prezzario DEI 2024, una delle fonti ufficiali più utilizzate per la determinazione dei costi in edilizia. Le tabelle seguenti mostrano una sintesi del computo metrico per ciascuno dei 4 appartamenti analizzati, riportando: le principali lavorazioni, le dimensioni e la tipologia di aperture sostituite e il prezzo unitario e totale di ogni intervento. Anche in questo caso non troviamo costi di manutenzione in quanto, se i serramenti vengono mantenuti puliti con regolarità, non è necessario alcun intervento.

APP1 - CORSO FRANZIA

COSTI SOSTITUZIONE INFISSI	Quantità		Prezzo unitario (€)	Totale (€)
Smontaggio infissi esistenti	20	m ²	20.22	404.2
Smontaggio avvolgibili esistenti	20	m ²	26.97	539.13
Trasporto a discarica	1.4	m ³	57.79	80.91
Fornitura e posa portafinestra 2 ante	7.5	m ²	601.33	4497.95
Fornitura e posa portafinestra 1 anta	6.1	m ²	595.16	3612.62
Fornitura e posa finestra 2 ante	4.4	m ²	589.57	2594.11
Fornitura e posa finestra 1 anta	2	m ²	601.07	1226.18
Fornitura e posa avvolgibili	20	m ²	111.11	2221.09
TOTALE				15176.19

APP2 - VIA LEONCAVALLO

COSTI SOSTITUZIONE INFISSI	Quantità		Prezzo unitario (€)	Totale (€)
Smontaggio infissi esistenti	15.45	m ²	20.22	312.4
Smontaggio avvolgibili esistenti	15.45	m ²	26.97	416.69
Trasporto a discarica	1.08	m ³	57.79	62.41
Fornitura e posa portafinestra 1 anta	4.58	m ²	595.16	2725.83
Fornitura e posa finestra 2 ante	5.92	m ²	589.57	3490.25
Fornitura e posa finestra 1 anta	4.95	m ²	601.07	2975.3
Fornitura e posa avvolgibili	15.45	m ²	111.11	1716.65
TOTALE				11699.53

APP3 - VIA MONTE CENGIO

COSTI SOSTITUZIONE INFISSI	Quantità		Prezzo unitario (€)	Totale (€)
Smontaggio infissi esistenti	11.61	m ²	20.22	234.75
Smontaggio avvolgibili esistenti	11.61	m ²	26.97	313.12
Trasporto a discarica	0.81	m ³	57.79	46.81
Fornitura e posa portafinestra 1 anta	4.08	m ²	595.16	2428.25
Fornitura e posa finestra 2 ante	4.15	m ²	589.57	2446.72
Fornitura e posa finestra 1 anta	3.38	m ²	601.07	2031.62
Fornitura e posa avvolgibili	11.61	m ²	111.11	1289.99
TOTALE				8791.26

APP4 - VIA PERGOLESI

COSTI SOSTITUZIONE INFISSI	Quantità		Prezzo unitario (€)	Totale (€)
Smontaggio infissi esistenti	8.3	m ²	20.22	167.83
Smontaggio avvolgibili esistenti	8.3	m ²	26.97	223.85
Trasporto a discarica	0.59	m ³	57.79	34.1
Fornitura e posa portafinestra 2 ante	5.28	m ²	601.33	3175.02
Fornitura e posa finestra 2 ante	1.95	m ²	589.57	1149.66
Fornitura e posa finestra 1 anta	1.07	m ²	601.07	643.14
Fornitura e posa avvolgibili	8.30	m ²	111.11	922.21
TOTALE				6315.81

Tabella 10: Sintesi dei computi metrici estimativi dell' intervento di sostituzione dei serramenti

4.3 Ventilazione meccanica controllata

Per la determinazione del costo dell'installazione di un sistema di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC) puntuale si è fatto riferimento a un preventivo reale fornito da una ditta specializzata, che include tre specifiche voci di costo per l'installazione di ciascun dispositivo:

- Costruzione della linea di alimentazione elettrica a servizio della VMC;
- Realizzazione di fori con carotatrice sulla parete esterna dell'edificio per il prelievo dell'aria di ricircolo;
- Fornitura e posa di un recuperatore di calore VMC puntuale a parete, modello VL-100 MITSUBISHI o similare.

Il preventivo ricevuto mostra un costo complessivo per la realizzazione di un singolo impianto VMC puntuale di 960,00 €, importo al quale deve essere aggiunta l'IVA del 22%.

Sulla base delle esigenze progettuali e di comfort abitativo, è stato ipotizzato di installare due dispositivi per ciascun appartamento, collocati generalmente nei locali con maggiore necessità di ventilazione, tipicamente un bagno e una camera da letto principale. Dunque il costo complessivo per ogni appartamento analizzato, tenendo conto di due apparecchi VMC puntuali con l'aggiunta dell'IVA al 22%, è pari a 2.342,40 €. Per quanto riguarda la manutenzione invece, si è stimato un costo di 160 € l'anno, valore che si basa sul costo medio per la sostituzione dei filtri (stimato circa 20 € per filtro, con due filtri per macchina e due sostituzioni all'anno).

4.4 Sostituzione impianto di riscaldamento

Per la stima dei costi relativi all'intervento di sostituzione dell'impianto di riscaldamento con pompa di calore, è stato preso come riferimento un preventivo reale fornito da un'azienda specializzata nel settore, relativo alla fornitura dei macchinari principali e degli accessori necessari per l'installazione. In questo spazio verrà inserito uno stralcio del preventivo:

Cod. Art.	Articolo	UM	Qta	Prezzo
NIBE F2120 Trifase Pompa di calore aria/acqua				
064141	Pompa di calore Nibe F2120 - 20 kW T	nr	7	144.592,00 €
<p>NIBE F2120 è una pompa di calore aria/acqua mono o trifase per riscaldamento, il raffrescamento e l'acqua calda sanitaria. E' predisposta per la connessione in parallelo fino a 8 pompe di calore.</p> <p>Proprietà:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nuovo ed efficiente compressore scroll che funziona a temperature fino a -25 °C, - Elevato range di temperatura: Temperatura di mandata di 65 °C a -10 °C e di 63 °C a -25 °C, - Dotata di compressore con controllo inverter. <p>Per il funzionamento è indispensabile abbinare la macchina ad un modulo interno (VVM) o al sistema di controllo NIBE SMO 20/S40.</p> <p>Collegando la macchina ad internet, tramite il servizio Nibe Uplink è possibile ottenere una rapida panoramica sui parametri di funzionamento, controllare e modificare le impostazioni operative anche da remoto.</p> <p>Applicazione SG Ready integrata.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vasca dell'acqua di condensa integrata che, unitamente al tubo dell'acqua di condensa KVR 10, previene il congelamento, - Controller elettronico integrato che gestisce tutte le funzioni necessarie per il funzionamento della pompa di calore. Esso controlla pertanto lo sbrinamento, l'arresto alla temperatura massima/minima, il collegamento del riscaldatore del compressore, l'abilitazione del riscaldatore della vasca di gocciolamento, il monitoraggio della protezione del motore e i pressostati. E' inoltre possibile leggere il numero di avviamenti e il tempo di funzionamento. Il controller integrato viene impostato durante l'installazione e può essere utilizzato durante la manutenzione. In condizioni di normale funzionamento, non è necessario che il proprietario acceda al controller. - Sensore elettronico integrato della linea di ritorno, che limita la temperatura di ritorno. <p>ETICHETTATURA ENERGETICA A+++</p>				

Figura 10: Stralcio di preventivo dell'intervento di sostituzione dell'impianto con pompa di calore aria/acqua (Fonte: Fornitore commerciale, 2024)

Il preventivo ricevuto riguarda esclusivamente la componente impiantistica (pompe di calore, centraline, bollitori, accessori), pertanto per ottenere una stima complessiva dell'investimento sono stati aggiunti: scontistica riservata agli installatori, manodopera e onorario tecnico.

Essendo un intervento di tipo centralizzato, ovvero riguardante l'intero impianto comune del condominio, i costi non sono da attribuire singolarmente al singolo appartamento, ma devono essere suddivisi proporzionalmente tra tutti i condomini. Ai fini di questa analisi, per consentire un confronto con gli altri interventi, si è scelto di dividere il costo totale stimato per il numero di unità abitative presenti nell'edificio analizzato, ottenendo così una stima indicativa della spesa unitaria per ciascun proprietario.

Nelle tabelle di calcolo sono riportate tutte le voci di spesa considerate, con il relativo dettaglio e i totali calcolati.

APP1 - CORSO FRANCIA

COSTI IMPIANTO DI RISCALDAMENTO	Quantità	Costo
N. appartamenti	14	/
Pompa di calore Nibe F2120 - 20 kW T	7	144'592.00 €
Circolatore per PDC Aria/Acqua	7	4'438.00 €
Coibentazione Circ. L180 MM	7	280.00 €
Modulo di controllo SMO S40	1	1'987.00 €
Scheda di controllo AXC50	2	1'368.00 €
Serbatoio di accumulo STA 1000	4	9'296.00 €
Stazione sanitaria ECO SAN 80	1	6'209.00 €
Valvola a tre vie con servomotore	6	5'772.00 €
Sconto	40%	- 69'576.80 €
Manodopera (2 operai, 10 giorni)	160 ore	5'600.00 €
Stima costi tecnici accessori	4%	4'398.61 €
Totale condominio		114'363.81 €
Totale appartamento		8'168.84 €

APP2 - VIA LEONCAVALLO

COSTI IMPIANTO DI RISCALDAMENTO	Quantità	Costo
N. appartamenti	36	/
Pompa di calore Nibe F2120 - 20 kW T	18	371'808.00 €
Circolatore per PDC Aria/Acqua	18	11'412.00 €
Coibentazione Circ. L180 MM	18	720.00 €
Modulo di controllo SMO S40	2	3'974.00 €
Scheda di controllo AXC50	4	2'736.00 €
Serbatoio di accumulo STA 1000	9	20'916.00 €
Stazione sanitaria ECO SAN 80	1	6'209.00 €
Valvola a tre vie con servomotore	14	13'468.00 €
Sconto	40%	- 172'497.20 €
Manodopera (4 operai, 12 giorni)	384 ore	13'440.00 €
Stima costi tecnici accessori	4%	10'887.43 €
Totale condominio		283'073.23 €
Totale appartamento		7'863.15 €

APP3 - VIA MONTE CENGIO

COSTI IMPIANTO DI RISCALDAMENTO	Quantità	Costo
N. appartamenti	8	/
Pompa di calore Nibe F2120 - 20 kW T	4	82'624.00 €
Circolatore per PDC Aria/Acqua	4	2'536.00 €
Coibentazione Circ. L180 MM	4	160.00 €
Modulo di controllo SMO S40	1	1'987.00 €
Scheda di controllo AXC50	2	1'368.00 €
Serbatoio di accumulo STA 1000	3	6'972.00 €
Stazione sanitaria ECO SAN 80	1	6'209.00 €
Valvola a tre vie con servomotore	4	3'848.00 €
Sconto	40%	- 42'281.60 €
Manodopera (2 operai, 7 giorni)	112 ore	3'920.00 €
Stima costi tecnici accessori	4%	2'693.70 €
Totale condominio		70'036.10 €
Totale appartamento		8'754.51 €

APP4 - VIA PERGOLESI

COSTI IMPIANTO DI RISCALDAMENTO	Quantità	Costo
N. appartamenti	40	/
Pompa di calore Nibe F2120 - 20 kW T	20	413'120.00 €
Circolatore per PDC Aria/Acqua	20	12'680.00 €
Coibentazione Circ. L180 MM	20	800.00 €
Modulo di controllo SMO S40	2	3'974.00 €
Scheda di controllo AXC50	4	2'736.00 €
Serbatoio di accumulo STA 1000	10	23'240.00 €
Stazione sanitaria ECO SAN 80	1	6'209.00 €
Valvola a tre vie con servomotore	16	15'392.00 €
Sconto	40%	- 191'260.40 €
Manodopera (4 operai, 14 giorni)	448 ore	15'680.00 €
Stima costi tecnici accessori	4%	12'102.82 €
Totale condominio		314'673.42 €
Totale appartamento		7'866.84 €

Tabella 11: Sintesi dei costi relativi all'intervento di sostituzione dell'impianto di riscaldamento centralizzato

Si è stimato un costo annuo di 100 € per la manutenzione dell'impianto termico, sulla base di una ripartizione tra gli appartamenti del costo complessivo di una pompa di calore centralizzata, che in media richiede 150–250 € all'anno. La cifra è quindi proporzionata e coerente con i casi studio, dove l'impianto è condiviso tra più unità immobiliari.

5. ANALISI DEI BENEFICI

5.1 Consumi energetici e risparmio in bolletta

Per valutare come gli interventi di riqualificazione influenzeranno i costi legati ai consumi di gas metano e di energia elettrica si è fatta un'analisi basata sui dati ottenuti tramite il software EdilClima e sui prezzi dei vettori energetici forniti da ARERA, considerando tre scenari: la situazione iniziale, dopo i primi tre interventi e infine dopo la sostituzione dell'impianto di riscaldamento.

Il primo passo è stato individuare i prezzi unitari dei vettori energetici, metano ed energia elettrica, aggiornati all'anno 2024. Questi sono stati ricavati dal sito ufficiale dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA), che fornisce regolarmente i dati aggiornati sui prezzi dell'energia per gli utenti domestici. I valori presi come riferimento ad oggi sono:

- Gas naturale: 100,54 centesimi di euro al metro cubo (€/m³)
- Energia elettrica: 25,24 centesimi di euro al kilowattora (€/kWh)

Utilizzando i consumi energetici forniti dal software EdilClima, è stato possibile determinare il fabbisogno annuale di metano e di energia elettrica per ciascun appartamento, nello stato di fatto, dopo i primi tre interventi e infine con l'aggiunta dell'intervento sulla sostituzione dell'impianto di riscaldamento. Moltiplicando questi valori per i rispettivi prezzi dei vettori energetici, si sono ottenuti i costi energetici annui corrispondenti all'anno 0.

APP1

CORSO FRANCIA	<i>Stato di fatto</i>	<i>Post 3 interventi</i>	<i>Post 4 interventi</i>	
Consumo Gas Metano	1468.4	699.4	0.0	Nm ³ /anno
Consumo Energia Elett.	2578	2515	2493	kWh/anno
Costo Gas Metano	1476.30	703.15	0.00	€/anno
Costo Energia Elett.	650.69	634.79	629.23	€/anno
Costo Tot	2126.98	1337.94	629.23	€/anno

APP2

VIA LEONCAVALLO	<i>Stato di fatto</i>	<i>Post 3 interventi</i>	<i>Post 4 interventi</i>	
Consumo Gas Metano	1168.5	349.7	0.0	Nm ³ /anno
Consumo Energia Elett.	2625	2470	1464	kWh/anno
Costo Gas Metano	1174.83	351.58	0.00	€/anno
Costo Energia Elett.	662.55	623.43	369.51	€/anno
Costo Tot	1837.38	975.00	369.51	€/anno

APP3

VIA MONTE CENGIO	<i>Stato di fatto</i>	<i>Post 3 interventi</i>	<i>Post 4 interventi</i>	
Consumo Gas Metano	882.1	246.8	0.0	Nm ³ /anno
Consumo Energia Elett.	1914	1859	1177	kWh/anno
Costo Gas Metano	886.89	248.17	0.00	€/anno
Costo Energia Elett.	483.09	469.21	297.07	€/anno
Costo Tot	1369.99	717.38	297.07	€/anno

APP4

VIA PERGOLESI	<i>Stato di fatto</i>	<i>Post 3 interventi</i>	<i>Post 4 interventi</i>	
Consumo Gas Metano	435.1	110.0	0.0	Nm ³ /anno
Consumo Energia Elett.	1911	1881	846	kWh/anno
Costo Gas Metano	437.48	110.56	0.00	€/anno
Costo Energia Elett.	482.34	474.76	213.53	€/anno
Costo Tot	919.82	585.33	213.53	€/anno

Tabella 12: Simulazione dei consumi energetici e dei costi annuali per i quattro appartamenti nei tre scenari

Si osserva che nel passaggio dal terzo al quarto intervento si verifica un cambiamento sostanziale nel consumo associato ai vettori energetici, conseguenza diretta dell'adozione della pompa di calore aria-acqua come nuovo sistema di riscaldamento e di produzione di ACS. Ciò infatti comporta, un azzeramento completo del consumo di gas metano, poiché tale tecnologia non ne prevede più l'utilizzo, e una riduzione sostanziale del consumo di energia elettrica in quanto non vengono più utilizzati boiler elettrici per la produzione di acqua calda sanitaria.

Dalla differenza tra i costi annuali nello stato di fatto e quelli successivi agli interventi si ottengono i risparmi netti annui in bolletta. Tali risparmi sono stati calcolati separatamente per lo scenario con i primi tre interventi e per quello che include anche la sostituzione dell'impianto. Si riportano di seguito i valori ottenuti:

APP1 - CORSO FRANCIA	<i>Post 3 interventi</i>	<i>Post 4 interventi</i>
Risparmio Gas Metano	52.4%	100.0%
Risparmio Energia Elett.	2.4%	3.3%
Risparmio Tot	37.1%	70.4%

APP2 - VIA LEONCAVALLO	<i>Post 3 interventi</i>	<i>Post 4 interventi</i>
Risparmio Gas Metano	70.1%	100.0%
Risparmio Energia Elett.	5.9%	44.2%
Risparmio Tot	46.9%	79.9%

APP3 - VIA MONTE CENGIO	<i>Post 3 interventi</i>	<i>Post 4 interventi</i>
Risparmio Gas Metano	72.0%	100.0%
Risparmio Energia Elett.	2.9%	38.5%
Risparmio Tot	47.6%	78.3%

APP4 - VIA PERGOLESI	<i>Post 3 interventi</i>	<i>Post 4 interventi</i>
Risparmio Gas Metano	74.7%	100.0%
Risparmio Energia Elett.	1.6%	55.7%
Risparmio Tot	36.4%	76.8%

Tabella 13: Risparmio percentuale sui consumi e sui costi annuali per i quattro appartamenti, nei due scenari

Ai fini di una maggior precisione dell'analisi, si è deciso di considerare anche l'evoluzione futura dei prezzi dell'energia. A tal fine, sono stati analizzati i dati storici ARERA relativi ai prezzi del gas naturale (2009–2024) e dell'energia elettrica (2004–2024), da cui si è calcolato l'incremento percentuale medio annuo per ciascun vettore:

EE		Gas Metano	
Anno	2004	Anno	2009
Prezzo	12.27	Prezzo	68.13
Anno	2024	Anno	2024
Prezzo	25.24	Prezzo	100.54
Incremento	3.7%	Incremento	2.6%

Tabella 14: Variazione dei prezzi medi dell'energia elettrica e del gas metano nel periodo 2004–2024 (Fonte: ARERA)

Applicando questi tassi di incremento ai prezzi iniziali, è stato possibile stimare i risparmi futuri in bolletta su un orizzonte temporale di 10 anni. Per ciascun appartamento sono stati proiettati i risparmi attesi anno per anno, distinguendo tra lo scenario con soli tre interventi e quello completo. I risultati sono riassunti nelle tabelle seguenti:

APP1 - CORSO FRANCIA

Post 3 interventi

Anno	Metano	E.elett	Risparmio annuo	Risparmio cumulato
0	773.15 €	15.90 €	789.05 €	789.05 €
1	793.47 €	16.49 €	809.95 €	1'599.00 €
2	814.32 €	17.09 €	831.41 €	2'430.41 €
3	835.72 €	17.72 €	853.44 €	3'283.85 €
4	857.69 €	18.37 €	876.06 €	4'159.91 €
5	880.23 €	19.04 €	899.27 €	5'059.18 €
6	903.36 €	19.74 €	923.11 €	5'982.28 €
7	927.10 €	20.47 €	947.57 €	6'929.86 €
8	951.47 €	21.22 €	972.69 €	7'902.55 €
9	976.48 €	22.00 €	998.48 €	8'901.02 €
10	1'002.14 €	22.81 €	1'024.95 €	9'925.97 €

Post 4 interventi

Anno	Metano	E.elett	Risparmio annuo	Risparmio cumulato
0	1'476.30 €	21.45 €	1'497.75 €	1'497.75 €
1	1'515.10 €	22.24 €	1'537.34 €	3'035.09 €
2	1'554.92 €	23.06 €	1'577.98 €	4'613.06 €
3	1'595.78 €	23.91 €	1'619.69 €	6'232.75 €
4	1'637.72 €	24.78 €	1'662.51 €	7'895.26 €
5	1'680.77 €	25.69 €	1'706.46 €	9'601.72 €
6	1'724.94 €	26.64 €	1'751.58 €	11'353.30 €
7	1'770.27 €	27.61 €	1'797.89 €	13'151.18 €
8	1'816.80 €	28.63 €	1'845.43 €	14'996.61 €
9	1'864.55 €	29.68 €	1'894.23 €	16'890.84 €
10	1'913.55 €	30.77 €	1'944.32 €	18'835.17 €

APP2 - VIA LEONCAVALLO

Post 3 interventi

Anno	Metano	E.elett	Risparmio annuo	Risparmio cumulato
0	823.26 €	39.12 €	862.38 €	862.38 €
1	844.90 €	40.56 €	885.45 €	1'747.83 €
2	867.10 €	42.05 €	909.15 €	2'656.98 €
3	889.89 €	43.59 €	933.48 €	3'590.46 €
4	913.28 €	45.19 €	958.47 €	4'548.94 €
5	937.28 €	46.85 €	984.13 €	5'533.07 €
6	961.91 €	48.57 €	1'010.49 €	6'543.56 €
7	987.20 €	50.36 €	1'037.55 €	7'581.11 €
8	1'013.14 €	52.21 €	1'065.35 €	8'646.45 €
9	1'039.77 €	54.12 €	1'093.89 €	9'740.34 €
10	1'067.10 €	56.11 €	1'123.21 €	10'863.55 €

Post 4 interventi

Anno	Metano	E.elett	Risparmio annuo	Risparmio cumulato
0	1'174.83 €	293.04 €	1'467.87 €	1'467.87 €
1	1'205.71 €	303.80 €	1'509.51 €	2'977.38 €
2	1'237.40 €	314.95 €	1'552.35 €	4'529.73 €
3	1'269.92 €	326.52 €	1'596.44 €	6'126.17 €
4	1'303.30 €	338.51 €	1'641.81 €	7'767.97 €
5	1'337.55 €	350.94 €	1'688.49 €	9'456.46 €
6	1'372.70 €	363.83 €	1'736.53 €	11'192.99 €
7	1'408.78 €	377.19 €	1'785.97 €	12'978.96 €
8	1'445.81 €	391.04 €	1'836.84 €	14'815.80 €
9	1'483.80 €	405.40 €	1'889.20 €	16'705.01 €
10	1'522.80 €	420.29 €	1'943.09 €	18'648.09 €

APP3 - VIA MONTE CENGIO

Post 3 interventi

Anno	Metano	E.elett	Risparmio annuo	Risparmio cumulato
0	638.72 €	13.88 €	652.60 €	652.60 €
1	655.51 €	14.39 €	669.90 €	1'322.50 €
2	672.74 €	14.92 €	687.66 €	2'010.16 €
3	690.42 €	15.47 €	705.89 €	2'716.04 €
4	708.56 €	16.04 €	724.60 €	3'440.64 €
5	727.18 €	16.63 €	743.81 €	4'184.45 €
6	746.30 €	17.24 €	763.53 €	4'947.98 €
7	765.91 €	17.87 €	783.78 €	5'731.76 €
8	786.04 €	18.52 €	804.57 €	6'536.33 €
9	806.70 €	19.20 €	825.90 €	7'362.23 €
10	827.90 €	19.91 €	847.81 €	8'210.04 €

Post 4 interventi

Anno	Metano	E.elett	Risparmio annuo	Risparmio cumulato
0	886.89 €	186.02 €	1'072.91 €	1'072.91 €
1	910.20 €	192.85 €	1'103.05 €	2'175.96 €
2	934.12 €	199.93 €	1'134.05 €	3'310.02 €
3	958.67 €	207.27 €	1'165.95 €	4'475.96 €
4	983.87 €	214.88 €	1'198.75 €	5'674.72 €
5	1'009.73 €	222.78 €	1'232.50 €	6'907.22 €
6	1'036.26 €	230.96 €	1'267.22 €	8'174.44 €
7	1'063.50 €	239.44 €	1'302.94 €	9'477.38 €
8	1'091.45 €	248.23 €	1'339.68 €	10'817.06 €
9	1'120.14 €	257.35 €	1'377.48 €	12'194.54 €
10	1'149.58 €	266.80 €	1'416.37 €	13'610.91 €

APP4 - VIA PERGOLESI

Post 3 interventi

Anno	Metano	E.elett	Risparmio annuo	Risparmio cumulato
0	326.92 €	7.57 €	334.49 €	334.49 €
1	335.51 €	7.85 €	343.36 €	677.85 €
2	344.33 €	8.14 €	352.47 €	1'030.31 €
3	353.38 €	8.44 €	361.81 €	1'392.13 €
4	362.66 €	8.75 €	371.41 €	1'763.54 €
5	372.20 €	9.07 €	381.26 €	2'144.80 €
6	381.98 €	9.40 €	391.38 €	2'536.18 €
7	392.02 €	9.75 €	401.76 €	2'937.94 €
8	402.32 €	10.10 €	412.42 €	3'350.37 €
9	412.89 €	10.48 €	423.37 €	3'773.74 €
10	423.74 €	10.86 €	434.61 €	4'208.34 €

Post 4 interventi

Anno	Metano	E.elett	Risparmio annuo	Risparmio cumulato
0	437.48 €	268.81 €	706.29 €	706.29 €
1	448.98 €	278.68 €	727.66 €	1'433.94 €
2	460.78 €	288.91 €	749.69 €	2'183.63 €
3	472.89 €	299.52 €	772.41 €	2'956.04 €
4	485.32 €	310.52 €	795.84 €	3'751.87 €
5	498.07 €	321.92 €	819.99 €	4'571.87 €
6	511.16 €	333.74 €	844.91 €	5'416.77 €
7	524.60 €	346.00 €	870.60 €	6'287.37 €
8	538.38 €	358.70 €	897.09 €	7'184.46 €
9	552.53 €	371.88 €	924.41 €	8'108.87 €
10	567.06 €	385.53 €	952.59 €	9'061.45 €

Tabella 15: Proiezione decennale del risparmio economico annuo e cumulato nei tre scenari di intervento

Le analisi condotte mostrano come gli interventi non solo producano un risparmio economico immediato, ma generino anche un effetto amplificato nel tempo, grazie all'aumento progressivo dei prezzi dell'energia. I risparmi calcolati a 10 anni evidenziano una riduzione sostanziale delle spese energetiche, rendendo ancora più evidente la convenienza economica dell'investimento.

5.2 Incremento del valore dell'immobile

Uno degli effetti più significativi e concreti degli interventi di riqualificazione energetica è l'incremento del valore dell'immobile sul mercato. Migliorare la classe energetica di un'abitazione significa ridurre i consumi, migliorare il comfort interno e rendere l'immobile più attrattivo in fase di vendita. Questo aspetto, spesso sottovalutato, rappresenta invece un beneficio concreto e duraturo per il proprietario.

A supporto di questa considerazione si può citare lo studio "The capitalization of energy labels into house prices. Evidence from Italy" pubblicato dalla Banca d'Italia (Novembre 2023), il quale ha analizzato un vasto database di annunci immobiliari per stimare quanto incida la classe energetica sul prezzo al metro quadro degli immobili. I risultati dell'indagine mostrano in modo chiaro come, a parità di condizioni, il prezzo di vendita aumenti all'aumentare dell'efficienza energetica. Per stimare l'impatto economico concreto di questo miglioramento si è fatto riferimento alla Tabella A1 contenuta nello studio, in cui sono riportati i coefficienti derivanti dall'analisi di regressione.

Table A1: CAPITALIZATION OF ENERGY LABELS. ROBUSTNESS

	Price €/sm (logarithm)					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Full country	Climate zone				
		Zone A-B	Zone C	Zone D	Zone E	Zone F
Energy label: A	0.222*** (0.015)	0.109*** (0.014)	0.134*** (0.017)	0.138*** (0.015)	0.279*** (0.016)	0.282*** (0.028)
Energy label: B	0.182*** (0.010)	0.121*** (0.021)	0.113*** (0.012)	0.117*** (0.015)	0.218*** (0.012)	0.266*** (0.022)
Energy label: C	0.135*** (0.007)	0.095*** (0.012)	0.091*** (0.009)	0.093*** (0.010)	0.162*** (0.011)	0.190*** (0.016)
Energy label: D	0.098*** (0.007)	0.075*** (0.011)	0.046*** (0.006)	0.070*** (0.010)	0.120*** (0.011)	0.140*** (0.012)
Energy label: E	0.066*** (0.006)	0.041*** (0.009)	0.038*** (0.005)	0.040*** (0.007)	0.087*** (0.009)	0.103*** (0.012)
Energy label: F	0.031*** (0.005)	0.017** (0.008)	0.020*** (0.004)	0.019*** (0.005)	0.046*** (0.006)	0.071*** (0.011)
Observations	15,905,156	636,065	2,136,654	4,339,142	8,359,457	433,838
R ²	0.840	0.744	0.838	0.856	0.821	0.835
Within R ²	0.145	0.120	0.121	0.119	0.180	0.133
Census tract	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Year-Month	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Year-Semester-Maintenance status	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Year-Semester-Density-NUTS1	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Figura 11: Capitalizzazione delle etichette energetiche sul prezzo al metro quadro in funzione della zona climatica (Fonte: *The Value of Energy Efficiency: Evidence from Italian Housing Market*, 2023).

A partire da tali coefficienti, che esprimono la variazione logaritmica del prezzo al metro quadro rispetto alla classe G (di riferimento), è stato possibile calcolare la variazione percentuale effettiva. Nel caso specifico, tutti gli appartamenti analizzati partono da una classe energetica F. Dopo i primi tre interventi (isolamento, serramenti e VMC) vi è un passaggio alla classe energetica C per tutti gli appartamenti tranne il primo che si ferma alla classe D; con l'aggiunta della sostituzione dell'impianto di riscaldamento invece, tutti raggiungono la classe A3. Va considerato inoltre, che lo studio della Banca d'Italia aggrega le diverse sottoclassi A (da A1 ad A4) in un'unica categoria.

Sulla base dei coefficienti riportati nella tabella dello studio e utilizzando la formula sopra citata, si sono determinati i seguenti incrementi percentuali:

Da G -> A	I% =	32.18%
Da G -> C	I% =	17.58%
Da G -> D	I% =	12.75%
Da G -> F	I% =	4.71%

Da F -> A	I% =	27.47%
Da F -> C	I% =	12.88%
Da F -> D	I% =	8.04%

Tabella 16: Incremento percentuale del valore di mercato in funzione del miglioramento della classe energetica

È importante sottolineare che il valore attuale degli immobili, ovvero prima dell'esecuzione degli interventi, è stato stimato facendo riferimento ai principali portali immobiliari, tenendo conto della zona, della metratura e dello stato conservativo degli appartamenti. Dunque, applicando tali percentuali ai valori immobiliari iniziali dei quattro appartamenti analizzati, è stato possibile stimare il valore finale dell'immobile dopo l'effettuazione dei tre interventi e, successivamente, dopo tutti e quattro.

VALORE IMMOBILE	Attuale	Post 3 interventi	Post 4 interventi
APP1 - CORSO FRANCIA	284'000.00 €	320'570.98 €	362'014.71 €
APP2 - VIA LEONCAVALLO	116'000.00 €	130'937.44 €	147'865.16 €
APP3 - VIA MONTE CENGIO	85'000.00 €	95'945.54 €	108'349.47 €
APP4 - VIA PERGOLESÌ	70'000.00 €	79'013.98 €	89'228.98 €

Tabella 17: Stima del valore immobiliare ante e post-interventi per i quattro casi studio

5.3 Incentivi applicabili al caso studio

In questo paragrafo si analizza la cornice normativa, fiscale e tecnica degli incentivi applicabili agli interventi di riqualificazione energetica eseguiti nei casi studio. L'obiettivo è stimare la detrazione teorica spettante, verificarne la compatibilità con il profilo fiscale del contribuente tipo e valutare l'effettivo vantaggio economico.

Tutti gli interventi considerati risultano ammissibili nell'Ecobonus. In particolare, l'isolamento termico delle pareti perimetrali, la sostituzione dei serramenti e l'installazione della ventilazione meccanica controllata rientrano nella categoria degli interventi di riqualificazione energetica globale ovvero qualsiasi intervento diretto alla riduzione del fabbisogno di energia primaria necessaria. La sostituzione dell'impianto centralizzato con una pompa di calore ad alta efficienza, invece, rientra negli interventi di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale. Avendo ipotizzato che tutti gli interventi vengano eseguiti su abitazioni principali, beneficiano di un'aliquota del 50%.

Va specificato che tutti gli importi stimati per i singoli interventi rientrano nei massimali di spesa stabiliti dalla legge: 100.000 euro per gli interventi sull'involucro edilizio e 30.000 euro per la sostituzione dell'impianto termico. Va specificato inoltre, che nel caso della ventilazione meccanica controllata, pur non essendo elencato come intervento incentivabile, facendo riferimento alla FAQ 16.D pubblicata da ENEA, si chiarisce che la VMC può rientrare nell'Ecobonus purché sia realizzata contestualmente ad interventi di coibentazione o sostituzione dell'impianto termico, e sia accompagnata da relazione tecnica che ne giustifichi la necessità (ad esempio per migliorare la qualità dell'aria indoor). Nei casi studio proposti dunque, questa condizione risulta pienamente soddisfatta.

Passando al calcolo delle detrazioni, le tabelle seguenti riepilogano i costi, le aliquote applicabili e la detrazione totale e in rata annuale per ciascun intervento:

APP1 - CORSO FRANCIA

Intervento	Spesa	Massimale	Aliquota	Detrazione tot	Rata annua x10
Isolamento termico	1'846.26 €	100'000.00 €	50%	923.13 €	92.31 €
Sostituzione infissi	15'176.19 €			7'588.10 €	758.81 €
Ventilazione meccanica controllata	2'342.40 €			1'171.20 €	117.12 €
Sostituzione impianto termico	8'168.84 €	30'000.00 €		4'084.42 €	408.44 €
				TOT	1'376.68 €

APP2 - VIA LEONCAVALLO

Intervento	Spesa	Massimale	Aliquota	Detrazione tot	Rata annua x10
Isolamento termico	2'799.36 €	100'000.00 €	50%	1'399.68 €	139.97 €
Sostituzione infissi	11'699.53 €			5'849.77 €	584.98 €
Ventilazione meccanica controllata	2'342.40 €			1'171.20 €	117.12 €
Sostituzione impianto termico	7'863.15 €	30'000.00 €		3'931.57 €	393.16 €
				TOT	1'235.22 €

APP3 - VIA MONTE CENGIO

Intervento	Spesa	Massimale	Aliquota	Detrazione tot	Rata annua x10
Isolamento termico	1'415.07 €	100'000.00 €	50%	707.54 €	70.75 €
Sostituzione infissi	8'791.26 €			4'395.63 €	439.56 €
Ventilazione meccanica controllata	2'342.40 €			1'171.20 €	117.12 €
Sostituzione impianto termico	8'754.51 €	30'000.00 €		4'377.26 €	437.73 €
				TOT	1'065.16 €

APP4 - VIA PERGOLESI

Intervento	Spesa	Massimale	Aliquota	Detrazione tot	Rata annua x10
Isolamento termico	838.35 €	100'000.00 €	50%	419.18 €	41.92 €
Sostituzione infissi	6'315.81 €			3'157.91 €	315.79 €
Ventilazione meccanica controllata	2'342.40 €			1'171.20 €	117.12 €
Sostituzione impianto termico	7'866.84 €	30'000.00 €		3'933.42 €	393.34 €
				TOT	868.17 €

Tabella 18: Calcolo delle detrazioni fiscali applicabili per ciascun intervento nei quattro appartamenti

Per valutare la possibilità effettiva di recuperare tale importo attraverso la dichiarazione dei redditi, sono stati presi in considerazione tre profili fiscali rappresentativi, quello di un soggetto singolo, quello di un nucleo familiare e quello di una persona anziana. In particolare, sono stati assunti dei redditi imponibili annui, in linea con i dati Istat, tutti rientranti nel primo scaglione IRPEF previsto dalla Legge di Bilancio 2024, con un'aliquota del 23%.

IRPEF Fasce di reddito e aliquote dal 2024	
fino a 28000 €	23%
da 28001 € a 50000 €	35%
oltre 50000 €	43%

Soggetto singolo

Reddito medio imponibile	24'830.00 €
IRPEF LORDA	5'710.90 €

Nucleo familiare

Reddito medio imponibile	37'511.00 €
IRPEF LORDA	8'627.53 €

Persona anziana

Reddito medio per contribuente	18'000.00 €
IRPEF LORDA	4'140.00 €

Tabella 19: Fasce IRPEF e calcolo dell'IRPEF lorda in base al reddito imponibile

Bisogna inoltre specificare che, nel caso del nucleo familiare, pur essendo il reddito complessivo maggiore di 28.000 euro, per il conteggio dell'IRPEF lorda si deve tener conto dei redditi pro capite che rientrano entrambi nella prima fascia di reddito.

L'IRPEF lorda, nel peggiore dei casi considerati, ammonta quindi a 4.140,00 euro; questo valore risulta ampiamente superiore alle rate annue calcolate precedentemente, rendendo il contribuente perfettamente in grado di usufruire dell'intera detrazione Ecobonus, senza incorrere in perdite per insufficiente capienza fiscale. Anche ipotizzando alcune detrazioni accessorie (per lavoro dipendente, familiari a carico, ecc.), resta uno spazio fiscale sufficiente a coprire le dieci rate annuali previste.

6. Analisi dei risultati

Nel presente capitolo vengono analizzati e commentati i risultati derivanti dagli interventi di riqualificazione energetica proposti, approfondendo sia gli aspetti tecnici, sia quelli economici relativi ai quattro casi studio torinesi.

6.1 Analisi energetica e ambientale

Prima di procedere all'analisi dettagliata, si presentano le tabelle riassuntive per ciascun scenario (stato iniziale, dopo tre interventi, dopo tutti e quattro), contenenti la classe energetica e i dati sui fabbisogni energetici totali, rinnovabili e non rinnovabili, le emissioni di CO₂ corrispondenti per ciascun appartamento e anche il fabbisogno di energia termica destinata specificamente al riscaldamento e al raffrescamento. Questi dati offrono un quadro sintetico utile a comprendere le trasformazioni energetiche e ambientali prodotte dagli interventi.

APP1 - CORSO FRANCIA		Stato di fatto	Post 3 interventi	Post 4 interventi	U.M.
Classe energetica		F	D	A3	
Fabbisogno energia primaria	Q _{p,TOT}	25615	15309	12812	kWh
Fabbisogno energia primaria non rinnovabile	Q _{p,ren}	24404	14127	4861	kWh
Fabbisogno energia primaria rinnovabile	Q _{p,ren}	1212	1182	7951	kWh
Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento	Q _{H,nd}	127.54	61.15	61.15	kWh/m ² ·anno
Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento	Q _{C,nd}	6.89	13.3	13.3	kWh/m ² ·anno
Emissioni CO ₂		5061	3001	2009	Kg/anno

APP2 - VIA LEONCAVALLO		Stato di fatto	Post 3 interventi	Post 4 interventi	U.M.
Classe energetica		F	C	A3	
Fabbisogno energia primaria	Q _{p,TOT}	21.771	10588	7375	kWh
Fabbisogno energia primaria non rinnovabile	Q _{p,ren}	20537	9427	2855	kWh
Fabbisogno energia primaria rinnovabile	Q _{p,ren}	1234	1161	4520	kWh
Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento	Q _{H,nd}	103.4	30.79	30.79	kWh/m ² ·anno
Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento	Q _{C,nd}	17.44	28.68	28.68	kWh/m ² ·anno
Emissioni CO ₂		4291	2058	673	Kg/anno

APP3 - VIA MONTE CENGIO		Stato di fatto	Post 3 interventi	Post 4 interventi	U.M.
Classe energetica		F	C	A3	
Fabbisogno energia primaria	$Q_{p,TOT}$	16272	7757	5367	kWh
Fabbisogno energia primaria non rinnovabile	$Q_{p,ren}$	15373	6883	2296	kWh
Fabbisogno energia primaria rinnovabile	$Q_{p,ren}$	900	874	3071	kWh
Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento	$Q_{H,nd}$	110.01	30.11	30.11	kWh/m ² ·anno
Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento	$Q_{C,nd}$	18.49	29.74	29.74	kWh/m ² ·anno
Emissioni CO2		3208	1506	542	Kg/anno

APP4 - VIA PERGOLESI		Stato di fatto	Post 3 interventi	Post 4 interventi	U.M.
Classe energetica		F	C	A3	
Fabbisogno energia primaria	$Q_{p,TOT}$	10368	6004	3443	kWh
Fabbisogno energia primaria non rinnovabile	$Q_{p,ren}$	9470	5120	1651	kWh
Fabbisogno energia primaria rinnovabile	$Q_{p,ren}$	898	884	1792	kWh
Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento	$Q_{H,nd}$	49.38	11.87	11.87	kWh/m ² ·anno
Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento	$Q_{C,nd}$	24.88	35.36	35.36	kWh/m ² ·anno
Emissioni CO2		2028	1155	389	Kg/anno

Tabella 20: Indicatori energetici e ambientali per ciascun appartamento nei tre scenari di intervento.

Dall'analisi complessiva emerge un trend molto chiaro: gli interventi permettono un drastico abbattimento del fabbisogno di energia primaria, specialmente non rinnovabile, e delle emissioni di CO₂. Questo è evidente in tutti e quattro i casi studio, con un salto di classe energetica che passa in media da F a C fino ad A3.

Un dato particolarmente interessante è la distribuzione tra energia primaria rinnovabile e non rinnovabile. In tutti gli appartamenti, la componente non rinnovabile è dominante nello stato di fatto, ma si riduce drasticamente dopo i primi interventi, grazie all'efficientamento dell'involucro. L'adozione della pompa di calore, il quarto intervento, inverte in alcuni casi il rapporto tra le due fonti, portando la quota rinnovabile a coprire oltre il 60% del fabbisogno.

Dal punto di vista termico, i valori dei fabbisogni di energia termica utile per garantire il comfort invernale ($Q_{H,nd}$) mostrano una riduzione netta in tutti i casi: anche gli appartamenti più energivori, come quello in Corso Francia e in via Monte Cengio, passano da valori superiori a 100 kWh/m²·anno a poco più di 30. In alcuni casi, come in via Pergolesi, si osserva addirittura un peggioramento del fabbisogno di raffrescamento ($Q_{C,nd}$) dopo gli interventi, segno che l'isolamento termico può migliorare le prestazioni invernali, ma va gestito con attenzione nel periodo estivo.

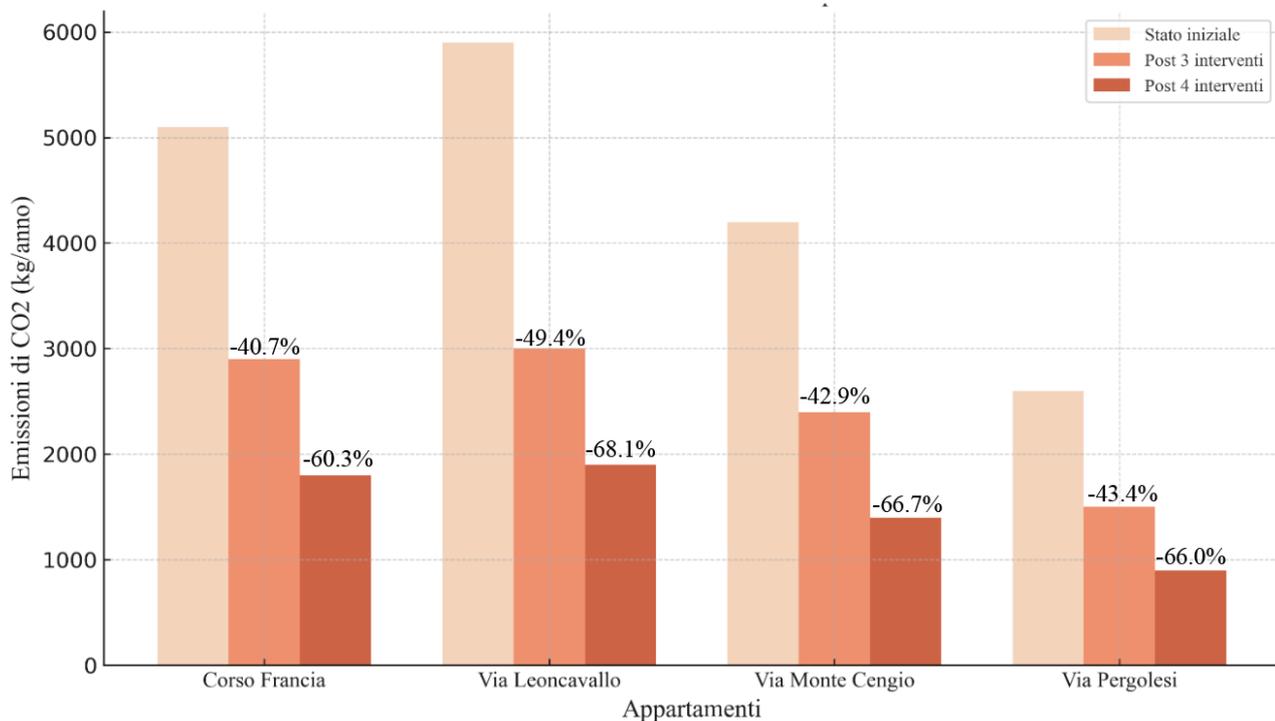


Figura 12: Riduzione delle emissioni di CO₂ nei quattro casi studio nei tre scenari analizzati. Le percentuali indicano la diminuzione rispetto allo stato iniziale

Per quanto riguarda le emissioni, il grafico comparativo chiarisce come, in media, ciascun appartamento abbia ridotto tra il 60% e l'80% la propria emissione di CO₂ annuale. Il dato è ancora più concreto se contestualizzato: risparmiare, ad esempio, 3023 kg di CO₂ l'anno come nel caso dell'appartamento di Corso Francia è equivalente, a circa 25.000 chilometri percorsi in auto a benzina, oppure a quanto assorbirebbero 150 alberi adulti in un anno.

Dal confronto tra i casi studio emergono alcune differenze legate principalmente alla superficie, alla tipologia costruttiva e all'efficienza iniziale. L'appartamento di Corso Francia parte da una situazione particolarmente energivora quindi beneficia in modo evidente dell'ultimo intervento, probabilmente perché l'impianto di riscaldamento preesistente era molto inefficiente rispetto agli altri casi; di conseguenza la sostituzione con una pompa di calore ha determinato un forte abbattimento dei consumi non rinnovabili e delle emissioni. L'appartamento in via Pergolesi, al contrario, ha una configurazione più compatta e una domanda iniziale più contenuta, per cui la percentuale di miglioramento è inferiore, pur raggiungendo comunque prestazioni finali ottimali. Nel complesso, l'analisi dimostra che gli interventi di riqualificazione energetica e le tecnologie ipotizzate portano a risultati rilevanti sia in termini ambientali, sia di comfort abitativo. La prossima sezione invece esaminerà gli aspetti economici connessi, per valutare anche la sostenibilità dell'investimento nel tempo.

6.2 Analisi economica

Dopo aver analizzato nel dettaglio gli effetti energetici e ambientali degli interventi, è il momento di affrontare il tema della sostenibilità economica. In questa parte della tesi, l'obiettivo non è soltanto verificare se l'investimento ripaga entro un determinato periodo di tempo, ma anche capire in che misura i risultati cambiano da un caso all'altro, quali variabili influenzano maggiormente la convenienza economica e che tipo di logica emerge dal confronto tra le diverse soluzioni adottate. Seguono le tabelle con l'analisi economica impostata su un arco temporale di 10 anni.

APPI - CORSO FRANZIA

Post 3 interventi

COSTI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Isolamento termico	1'846,26 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sostituzione infissi	15'176,19 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilazione	2'342,40 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €
TOT	19'364,85 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €
TOT cumulado	19'364,85 €	19'524,85 €	19'684,85 €	19'844,85 €	20'004,85 €	20'164,85 €	20'324,85 €	20'484,85 €	20'644,85 €	20'804,85 €

RISPARMI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Bollette	789,05 €	809,95 €	831,41 €	853,44 €	876,06 €	899,27 €	923,11 €	947,57 €	972,69 €	998,48 €
Detrazioni fisc.	968,24 €	968,24 €	968,24 €	968,24 €	968,24 €	968,24 €	968,24 €	968,24 €	968,24 €	968,24 €
TOT	1'757,29 €	1'778,19 €	1'799,65 €	1'821,68 €	1'844,30 €	1'867,51 €	1'891,35 €	1'915,82 €	1'940,93 €	1'966,72 €
TOT cumulado	1'757,29 €	3'535,48 €	5'335,14 €	7'156,82 €	9'001,12 €	10'868,63 €	12'759,98 €	14'675,80 €	16'616,73 €	18'583,45 €

Saldo cumulado	- 1'7607,56 €	- 1'5989,37 €	- 1'4349,71 €	- 1'2688,03 €	- 1'1'003,73 €	- 9'296,22 €	- 7'564,87 €	- 5'809,05 €	- 4'028,12 €	- 2'221,40 €
FLUSSSI 1	- 1'7607,56 €	1'618,19 €	1'639,65 €	1'661,68 €	1'684,30 €	1'707,51 €	1'731,35 €	1'755,82 €	1'780,93 €	1'806,72 €
VANI	-4'206,50 €									
Δ Val. immobiliare										36'570,98 €
FLUSSSI 2	- 1'7607,56 €	1'618,19 €	1'639,65 €	1'661,68 €	1'684,30 €	1'707,51 €	1'731,35 €	1'755,82 €	1'780,93 €	38'377,70 €
VAN2	23'005,74 €									

Post 4 interventi

COSTI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Isolamento termico	1'846,26 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sostituzione infissi	15'176,19 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilazione	2'342,40 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €
Impianto PDC	8'168,84 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €
TOT	27'533,69 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €
TOT cumulado	27'533,69 €	27'793,69 €	28'053,69 €	28'313,69 €	28'573,69 €	28'833,69 €	29'093,69 €	29'353,69 €	29'613,69 €	29'873,69 €

RISPARMI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Bollette	1'497,75 €	1'537,34 €	1'577,98 €	1'619,69 €	1'662,51 €	1'706,46 €	1'751,58 €	1'797,89 €	1'845,43 €	1'894,23 €
Detrazioni fisc.	1'376,68 €	1'376,68 €	1'376,68 €	1'376,68 €	1'376,68 €	1'376,68 €	1'376,68 €	1'376,68 €	1'376,68 €	1'376,68 €
TOT	2'874,44 €	2'914,02 €	2'954,66 €	2'996,37 €	3'039,19 €	3'083,14 €	3'128,26 €	3'174,57 €	3'222,11 €	3'270,91 €
TOT cumulado	2'874,44 €	5'788,46 €	8'743,12 €	11'739,49 €	14'778,68 €	17'861,83 €	20'990,09 €	24'164,66 €	27'386,78 €	30'657,69 €

Saldo cumulado	- 24'659,26 €	- 22'005,23 €	- 19'310,57 €	- 16'574,20 €	- 13'795,01 €	- 10'971,87 €	- 8'103,61 €	- 5'189,03 €	- 2'226,92 €	784,00 €
FLUSSSI 1	- 24'659,26 €	2'654,02 €	2'694,66 €	2'736,37 €	2'779,19 €	2'823,14 €	2'868,26 €	2'914,57 €	2'962,11 €	3'010,91 €
VANI	-2'636,87 €									
Δ Val. immobiliare										78'014,71 €
FLUSSSI 2	- 24'659,26 €	2'654,02 €	2'694,66 €	2'736,37 €	2'779,19 €	2'823,14 €	2'868,26 €	2'914,57 €	2'962,11 €	81'025,63 €
VAN2	55'413,41 €									

APP2 - VIA LEONCAVALLO

Post 3 interventi

COSTI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Isolamento termico	2799.36 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sostituzione infissi	11699.53 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilazione	2342.40 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €
TOT	16841.29 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €
TOT cumulado	16841.29 €	17001.29 €	17161.29 €	17321.29 €	17481.29 €	17641.29 €	17801.29 €	17961.29 €	18121.29 €	18281.29 €

RISPARMI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Bollette	862.38 €	885.45 €	909.15 €	933.48 €	958.47 €	984.13 €	1010.49 €	1037.55 €	1065.35 €	1093.89 €
Detrazioni fisc.	842.06 €	842.06 €	842.06 €	842.06 €	842.06 €	842.06 €	842.06 €	842.06 €	842.06 €	842.06 €
TOT	1704.44 €	1727.52 €	1751.21 €	1775.55 €	1800.54 €	1826.20 €	1852.55 €	1879.62 €	1907.41 €	1935.96 €
TOT cumulado	1704.44 €	3431.96 €	5183.18 €	6958.72 €	8759.26 €	10585.46 €	12438.01 €	14317.62 €	16225.03 €	18160.99 €

Saldo cumulado	- 15136.85 €	- 13569.33 €	- 11978.11 €	- 10362.57 €	- 8722.03 €	- 7055.83 €	- 5363.28 €	- 3643.67 €	- 1896.26 €	- 120.30 €
FLUSS1 1	- 15136.85 €	1567.52 €	1591.21 €	1615.55 €	1640.54 €	1666.20 €	1692.55 €	1719.62 €	1747.41 €	1775.96 €
VANI	-2121.90 €									
Δ Val. immobiliare										14937.44 €
FLUSS1 2	- 15136.85 €	1567.52 €	1591.21 €	1615.55 €	1640.54 €	1666.20 €	1692.55 €	1719.62 €	1747.41 €	16713.40 €
VAN2	8992.97 €									

Post 4 interventi

COSTI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Isolamento termico	2799.36 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sostituzione infissi	11699.53 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilazione	2342.40 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €	160.00 €
Impianto PDC	7863.15 €	100.00 €	100.00 €	100.00 €	100.00 €	100.00 €	100.00 €	100.00 €	100.00 €	100.00 €
TOT	24704.44 €	260.00 €	260.00 €	260.00 €	260.00 €	260.00 €	260.00 €	260.00 €	260.00 €	260.00 €
TOT cumulado	24704.44 €	24964.44 €	25224.44 €	25484.44 €	25744.44 €	26004.44 €	26264.44 €	26524.44 €	26784.44 €	27044.44 €

RISPARMI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Bollette	1467.87 €	1509.51 €	1552.35 €	1596.44 €	1641.81 €	1688.49 €	1736.53 €	1785.97 €	1836.84 €	1889.20 €
Detrazioni fisc.	1235.22 €	1235.22 €	1235.22 €	1235.22 €	1235.22 €	1235.22 €	1235.22 €	1235.22 €	1235.22 €	1235.22 €
TOT	2703.09 €	2744.73 €	2787.57 €	2831.66 €	2877.03 €	2923.71 €	2971.75 €	3021.19 €	3072.07 €	3124.42 €
TOT cumulado	2703.09 €	5447.82 €	8235.39 €	11067.05 €	13944.08 €	16867.79 €	19839.54 €	22860.73 €	25932.80 €	29057.22 €

Saldo cumulado	- 22001.34 €	- 19516.61 €	- 16989.04 €	- 14417.38 €	- 11800.35 €	- 9136.64 €	- 6424.89 €	- 3663.70 €	- 851.64 €	2012.79 €
FLUSS1 1	- 22001.34 €	2484.73 €	2527.57 €	2571.66 €	2617.03 €	2663.71 €	2711.75 €	2761.19 €	2812.07 €	2864.42 €
VANI	-1260.95 €									
Δ Val. immobiliare										31865.16 €
FLUSS1 2	- 22001.34 €	2484.73 €	2527.57 €	2571.66 €	2617.03 €	2663.71 €	2711.75 €	2761.19 €	2812.07 €	2864.42 €
VAN2	22449.73 €									

APP3 - VIA MONTE CENGIO

Post 3 interventi

COSTI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Isolamento termico	1'415.07 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sostituzione infissi	8'791.26 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilazione	2'342.40 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €
TOT	12'548.73 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €
TOT cumulado	12'548.73 €	12'708.73 €	12'868.73 €	13'028.73 €	13'188.73 €	13'348.73 €	13'508.73 €	13'668.73 €	13'828.73 €	13'988.73 €

RISPARMI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Bollette	652.60 €	669.90 €	687.66 €	705.89 €	724.60 €	743.81 €	763.53 €	783.78 €	804.57 €	825.90 €
Detrazioni fisc.	627.44 €	627.44 €	627.44 €	627.44 €	627.44 €	627.44 €	627.44 €	627.44 €	627.44 €	627.44 €
TOT	1'280.04 €	1'297.34 €	1'315.09 €	1'333.32 €	1'352.04 €	1'371.25 €	1'390.97 €	1'411.22 €	1'432.00 €	1'453.34 €
TOT cumulado	1'280.04 €	2'577.38 €	3'892.47 €	5'225.79 €	6'577.83 €	7'949.07 €	9'340.04 €	10'751.26 €	12'183.26 €	13'636.60 €

Saldo cumulado	- 1'1268.69 €	- 10'131.35 €	- 8976.26 €	- 7802.94 €	- 6610.90 €	- 5399.66 €	- 4168.69 €	- 2917.47 €	- 1'645.47 €	- 352.13 €
FLUSS1 1	- 1'1268.69 €	1'137.34 €	1'155.09 €	1'173.32 €	1'192.04 €	1'211.25 €	1'230.97 €	1'251.22 €	1'272.00 €	1'293.34 €
VANI	-1'800.35 €									
Δ Val. immobiliare										10945.54 €
FLUSS1 2	- 1'1268.69 €	1'137.34 €	1'155.09 €	1'173.32 €	1'192.04 €	1'211.25 €	1'230.97 €	1'251.22 €	1'272.00 €	1'293.34 €
VAN2	6'344.16 €									12'238.88 €

Post 4 interventi

COSTI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Isolamento termico	1'415.07 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sostituzione infissi	8'791.26 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilazione	2'342.40 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €
Impianto PDC	8'754.51 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €
TOT	21'303.24 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €
TOT cumulado	21'303.24 €	21'563.24 €	21'823.24 €	22'083.24 €	22'343.24 €	22'603.24 €	22'863.24 €	23'123.24 €	23'383.24 €	23'643.24 €

RISPARMI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Bollette	1'072.91 €	1'103.05 €	1'134.05 €	1'165.95 €	1'198.75 €	1'233.50 €	1'267.22 €	1'302.94 €	1'339.68 €	1'377.48 €
Detrazioni fisc.	1'065.16 €	1'065.16 €	1'065.16 €	1'065.16 €	1'065.16 €	1'065.16 €	1'065.16 €	1'065.16 €	1'065.16 €	1'065.16 €
TOT	2'138.07 €	2'168.21 €	2'199.22 €	2'231.11 €	2'263.92 €	2'297.67 €	2'332.38 €	2'368.10 €	2'404.84 €	2'442.64 €
TOT cumulado	2'138.07 €	4'306.29 €	6'505.50 €	8'736.61 €	11'000.53 €	13'298.19 €	15'630.58 €	17'998.68 €	20'403.52 €	22'846.16 €

Saldo cumulado	- 19'165.17 €	- 17'256.96 €	- 15'317.74 €	- 13'346.63 €	- 11'342.71 €	- 9'305.05 €	- 7'232.67 €	- 5'124.57 €	- 2'979.72 €	- 797.08 €
FLUSS1 1	- 19'165.17 €	1'908.21 €	1'939.22 €	1'971.11 €	2'003.92 €	2'037.67 €	2'072.38 €	2'108.10 €	2'144.84 €	2'182.64 €
VANI	-3'230.09 €									
Δ Val. immobiliare										23'349.47 €
FLUSS1 2	- 19'165.17 €	1'908.21 €	1'939.22 €	1'971.11 €	2'003.92 €	2'037.67 €	2'072.38 €	2'108.10 €	2'144.84 €	2'182.64 €
VAN2	14'144.11 €									25'532.12 €

APP4 - VIA PERGOLESI

Post 3 interventi

COSTI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Isolamento termico	838,35 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sostituzione infissi	6315,81 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilazione	2342,40 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €
TOT	9496,56 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €
TOT cumulado	9496,56 €	9656,56 €	9816,56 €	9976,56 €	10136,56 €	10296,56 €	10456,56 €	10616,56 €	10776,56 €	10936,56 €

RISPARMI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Bollette	334,49 €	343,36 €	352,47 €	361,81 €	371,41 €	381,26 €	391,38 €	401,76 €	412,42 €	423,37 €
Detrazioni fisc.	474,83 €	474,83 €	474,83 €	474,83 €	474,83 €	474,83 €	474,83 €	474,83 €	474,83 €	474,83 €
TOT	809,32 €	818,19 €	827,29 €	836,64 €	846,24 €	856,09 €	866,21 €	876,59 €	887,25 €	898,20 €
TOT cumulado	809,32 €	1627,50 €	2454,80 €	3291,44 €	4137,68 €	4993,77 €	5859,98 €	6736,57 €	7623,82 €	8522,02 €

Saldo cumulado	- 8687,24 €	- 8029,06 €	- 7361,76 €	- 6685,12 €	- 5998,88 €	- 5302,79 €	- 4596,58 €	- 3879,99 €	- 3152,74 €	- 2414,54 €
FLUSS1 1	- 8687,24 €	658,19 €	667,29 €	676,64 €	686,24 €	696,09 €	706,21 €	716,59 €	727,25 €	738,20 €
VANI	-3180,48 €									
Δ Val. immobiliare										9013,98 €
FLUSS1 2	- 8687,24 €	658,19 €	667,29 €	676,64 €	686,24 €	696,09 €	706,21 €	716,59 €	727,25 €	738,20 €
VAN2	3526,77 €									9752,17 €

Post 4 interventi

COSTI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Isolamento termico	838,35 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sostituzione infissi	6315,81 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilazione	2342,40 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €
Impianto PDC	7866,84 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €
TOT	17363,40 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €	260,00 €
TOT cumulado	17363,40 €	17623,40 €	17883,40 €	18143,40 €	18403,40 €	18663,40 €	18923,40 €	19183,40 €	19443,40 €	19703,40 €

RISPARMI	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Bollette	706,29 €	727,66 €	749,69 €	772,41 €	795,84 €	819,99 €	844,91 €	870,60 €	897,09 €	924,41 €
Detrazioni fisc.	868,17 €	868,17 €	868,17 €	868,17 €	868,17 €	868,17 €	868,17 €	868,17 €	868,17 €	868,17 €
TOT	1574,46 €	1595,82 €	1617,86 €	1640,58 €	1664,01 €	1688,16 €	1713,08 €	1738,77 €	1765,26 €	1792,58 €
TOT cumulado	1574,46 €	3170,28 €	4788,14 €	6428,72 €	8092,72 €	9780,89 €	11493,96 €	13232,73 €	14997,98 €	16790,56 €

Saldo cumulado	- 15788,94 €	- 14453,11 €	- 13095,26 €	- 11714,68 €	- 10310,67 €	- 8882,51 €	- 7429,43 €	- 5950,67 €	- 4445,41 €	- 2912,83 €
FLUSS1 1	- 15788,94 €	1335,82 €	1357,86 €	1380,58 €	1404,01 €	1428,16 €	1453,08 €	1478,77 €	1505,26 €	1532,58 €
VANI	-4550,62 €									
Δ Val. immobiliare										19228,98 €
FLUSS1 2	- 15788,94 €	1335,82 €	1357,86 €	1380,58 €	1404,01 €	1428,16 €	1453,08 €	1478,77 €	1505,26 €	1532,58 €
VAN2	9757,54 €									20761,56 €

Tabella 21: Analisi economica decennale per i quattro casi studio

Un primo aspetto importante è la scelta del periodo di analisi. Si è deciso di limitare la valutazione a un orizzonte temporale di dieci anni. Tuttavia, è bene chiarire che questa finestra temporale, pur utile per uniformare il confronto tra i casi studio, influenza direttamente la valutazione economica. Molti interventi mostrano infatti benefici più marcati nel medio-lungo periodo, e diversi appartamenti avrebbero probabilmente raggiunto il pareggio economico superando di poco questo limite. In particolare, nei casi in cui il saldo cumulato al decimo anno è negativo ma in forte risalita, è ragionevole ipotizzare che un ritorno dell'investimento possa avvenire intorno all'undicesimo o dodicesimo anno.

I dati mostrano una tendenza piuttosto netta: nei quattro casi studio, nessuno degli appartamenti raggiunge il pareggio economico entro i dieci anni con i soli primi tre interventi (isolamento, infissi e ventilazione) e senza considerare l'incremento dei valori degli immobili. Nonostante ciò, la quota per rientrare nell'investimento al decimo anno, varia molto a seconda del caso; ad esempio, gli appartamenti di Via Monte Cengio e Via Leoncavallo chiudono il decimo anno con un saldo rispettivamente di circa -350 € e -120 €, dunque risulterebbe positivo nell'anno successivo. Al contrario, Corso Francia e Via Pergolesi restano più lontani, a conferma del fatto che i risultati economici sono fortemente condizionati sia dalla combinazione tra costi iniziali e risparmi ottenibili, ma anche dalle caratteristiche dell'abitazione prima degli interventi. In realtà, ciò che emerge con chiarezza è che in molti casi ci troviamo a un passo dal rientro e che i risultati negativi non sono sintomo di un insuccesso, ma piuttosto la conseguenza di una fascia temporale ristretta. I numeri cambiano notevolmente quando si introduce il quarto intervento, la sostituzione dell'impianto di riscaldamento. In questi casi ritroviamo sia costi, che risparmi molto più elevati. L'appartamento di Corso Francia e quello di via Leoncavallo rientrano completamente entro i dieci anni, con un saldo positivo e un miglioramento evidente del bilancio. Gli appartamenti di Via Monte Cengio e Via Pergolesi invece, rimangono leggermente sotto lo zero, ma mostrano un andamento che lascia intendere un rientro imminente.

A rendere evidente la convenienza economica degli interventi è l'introduzione della rivalutazione immobiliare, legata al miglioramento della classe energetica. In questo scenario infatti, ipotizzando di vendere l'appartamento al decimo anno, riscontriamo un ritorno economico molto elevato, con il VAN che diventa positivo per tutti gli appartamenti in tutti gli scenari. La differenza è particolarmente marcata in Corso Francia, dove il VAN salta da -4.206 € con solo 3 interventi e senza rivendita, a oltre +55.000 € con l'inserimento del quarto intervento e della rivalutazione. Si tratta dell'appartamento che parte dalla condizione

energetica peggiore e che beneficia maggiormente della sostituzione dell'impianto. Una situazione simile si osserva anche a Via Leoncavallo in cui vediamo un deciso miglioramento del VAN, che passa da -2.121 € a +22.449 €. L'appartamento in Via Monte Cengio invece, conferma una logica intermedia; infatti il miglioramento dei flussi economici generati dai risparmi combinati con le detrazioni, e soprattutto con la rivalutazione finale, portano il VAN da negativo ad ampiamente positivo (+14.144 €). Via Pergolesi, infine, è il caso più cauto: i costi sono bassi, ma anche i risparmi lo sono. Nessuno dei due scenari permette di raggiungere il pareggio entro i dieci anni, escludendo la rivalutazione dell'immobile. Tuttavia, se invece la considerassimo, il VAN migliorerebbe sensibilmente, passando da -3.180 € a +9.757 €, dimostrando che anche in contesti con margini di miglioramento più contenuti l'investimento può risultare economicamente sostenibile se accompagnato da una rivalutazione immobiliare, oppure se inserito in una prospettiva più ampia.

Nel complesso, emerge una dinamica chiara: l'investimento in riqualificazione energetica ha un comportamento economico "graduale", con benefici che aumentano nel tempo. I risultati mostrano che la riduzione della bolletta dovuta ai primi 3 interventi, pur rappresentando un beneficio tangibile e immediato, da sola non è sufficiente a garantire un rientro completo dell'investimento entro dieci anni. Solo quando si interviene anche sull'impianto termico, ampliando l'efficienza complessiva dell'edificio, i risparmi diventano tali da avvicinarsi concretamente a un equilibrio economico in tempi contenuti. Tuttavia, quando si considera anche il valore immobiliare acquisito e dunque si ipotizza di vendere il proprio immobile, la prospettiva cambia del tutto. La rivalutazione legata alla classe energetica raggiunta ha un peso determinante e trasforma interventi altrimenti non redditizi in operazioni vantaggiose.

Conclusioni

La presente tesi ha tentato di analizzare il potenziale della riqualificazione energetica nel contesto urbano torinese, mettendo in luce l'importanza e la necessità di un intervento immediato e strutturato sugli edifici residenziali esistenti. Attraverso casi studio è stato evidenziato come interventi tecnicamente fattibili possano generare miglioramenti profondi nelle performance dell'appartamento, consentendo salti significativi di classe energetica. Tali miglioramenti si traducono concretamente in una notevole riduzione del fabbisogno di energia primaria e delle emissioni di CO₂, che in alcuni casi hanno raggiunto una diminuzione pari all'80%. Tuttavia, nonostante l'efficacia di queste soluzioni, emerge chiaramente un limite: i primi tre interventi individuati (isolamento termico delle pareti, sostituzione dei serramenti e installazione di un impianto di ventilazione) possono essere effettuati anche dal singolo proprietario di un appartamento, mentre l'intervento più incisivo, ovvero la sostituzione dell'impianto di riscaldamento centralizzato, necessita obbligatoriamente della collaborazione di tutto il condominio. Tutto ciò dunque, spesso porta a criticità importanti che rendono evidente la necessità di una forte sensibilizzazione collettiva e di politiche mirate.

Anche l'analisi economica effettuata ha dimostrato che ipotizzare i soli interventi individuali comporta un limite: infatti i tempi di ritorno degli investimenti possono non risultare attrattivi, al contrario di un approccio completo che cambia le prospettive economiche, trasformando una spesa apparentemente onerosa in un investimento vantaggioso nel medio-lungo termine. In entrambi i casi comunque, ipotizzando una futura rivendita e quindi considerando la rivalutazione che subisce l'immobile, gli interventi portano sempre a buoni risultati economici e valorizzazione dell'investimento. Va però anche considerato che gli investimenti in efficientamento, seppure incentivati dall'Ecobonus, continuano a non rientrare spesso nelle possibilità dei nuclei familiari in povertà energetica, che abitano immobili con scarse prestazioni energetiche. Una possibile soluzione potrebbe essere l'istituzione di un fondo pubblico dedicato, con accesso semplificato, destinato specificamente a queste famiglie, magari affiancato da una rete di sportelli locali che forniscano supporto durante tutto il processo di riqualificazione.

Se consideriamo le prospettive future relative alla riqualificazione energetica, queste sono strettamente legate alla capacità delle istituzioni di offrire un quadro normativo chiaro e duraturo. Attualmente, la politica degli incentivi è caratterizzata da incertezze normative e continui cambiamenti, che generano insicurezza e rallentano gli interventi concreti. È essenziale quindi, adottare politiche di incentivazione più strutturate e lungimiranti, basate sulla

stabilità e sull'efficienza burocratica, capaci di guidare e accompagnare i cittadini nel percorso di transizione. Un sistema realmente efficace dovrebbe premiare interventi profondi e integrati, prevedendo anche supporti per affrontare le difficoltà condominiali. Ad esempio, si potrebbe introdurre una figura professionale incaricata di mediare tra i diversi attori coinvolti (condomini, tecnici, imprese, istituzioni), con l'obiettivo di semplificare il processo decisionale. Un'altra ipotesi migliorativa potrebbe essere l'adozione di piattaforme digitali pubbliche per la gestione degli interventi, che rendano possibile eseguire simulazioni, ottenere preventivi e monitorare l'iter burocratico. Parallelamente, è fondamentale anche promuovere programmi di sensibilizzazione e formazione, affinché la sostenibilità sia percepita come una scelta naturale e conveniente nella vita quotidiana, non solo legata a interessi economici, ma come parte integrante di uno stile di vita più attento, responsabile e orientato al benessere collettivo.

I cambiamenti climatici rappresentano una sfida reale e sempre più presente, che coinvolge direttamente anche il nostro modo di abitare. Un patrimonio edilizio inefficiente non comporta solo costi elevati, ma contribuisce significativamente all'impatto ambientale complessivo, con ricadute tangibili sulla qualità della vita. Con questa tesi si è provato a proporre uno spunto realistico per comprendere meglio le dinamiche della riqualificazione energetica, evidenziando sia le criticità attuali, che le opportunità esistenti.

BIBLIOGRAFIA

Consiglio delle Comunità Europee, *Direttiva 93/76/CEE del 13 settembre 1993 – Direttiva SAVE*, Gazzetta Ufficiale L 237 del 22 settembre 1993.

Lattanzi V., *La direttiva europea 2002/91/CE: stato e problematiche di attuazione*, 2002.

Parlamento Europeo e Consiglio dell'Unione Europea, *Attuazione della direttiva (UE) 2018/844 concernente la prestazione energetica nell'edilizia e l'efficienza energetica*, Schema di decreto legislativo - Atto del Governo n. 158, 2020.

ENEA, *La consistenza del parco immobiliare nazionale*, report tecnico, [PDF], s.l., s.d.

ENEA – Comitato Termotecnico Italiano (CTI), *Rapporto annuale sulla certificazione energetica degli edifici – 2024*, Roma, 2024.

ENEA – Dipartimento Unità per l'Efficienza Energetica, *Rapporto annuale sulle detrazioni fiscali – 2024*, Roma, 2024.

Gabetti Lab – Ufficio Studi Gabetti, *Report Q1 2022 – Riqualificazione energetica: i numeri di una politica fiscale che guarda al futuro*, Milano, 2022.

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, *Le emissioni di gas serra in Italia. Obiettivi di riduzione al 2030 – Rapporto 399/2024*, Roma, 2024.

ENEA, *Rapporto annuale sul sistema degli attestati di prestazione energetica – Edizione 2024*, Roma, 2024.

ENEA – Dipartimento Efficienza Energetica, *Nuovi limiti alla fruizione delle detrazioni fiscali – Note operative*, Roma, marzo 2025.

Agenzia delle Entrate – Osservatorio del Mercato Immobiliare, *Statistiche regionali 2024. Il mercato immobiliare residenziale in Piemonte*, Roma, giugno 2024.

Politecnico di Torino – Dipartimento Energia, *TABULA Typology Brochure – Italy*, Torino, 2012.

Corgnati, S. P., Fabrizio, E., Filippi, M., Monetti, V., *Reference buildings for cost optimal analysis: Method of definition and application*, in: «Applied Energy», Vol. 102, 2013.

Knauf Insulation, *Supafil Cavity Wall 034 – Scheda tecnica della lana minerale per insufflaggio*, Volpiano (TO), aprile 2022.

Mitsubishi Electric, *VL-100EU5-E – Recuperatore di calore a parete – Scheda tecnica*, s.l., s.d.

NIBE, *F2120 – Pompa di calore aria/acqua – Scheda tecnica prodotto*, Eschlikon (CH), edizione 2024.

DEI – Tipografia del Genio Civile, *Prezzario nazionale delle opere edili – Edizione 2024*, Roma, 2024.

ARERA – Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, *Andamento del prezzo del gas naturale per un consumatore domestico tipo in regime di tutela*, Milano, giugno 2025.

ARERA – Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, *Andamento del prezzo dell'energia elettrica per il consumatore in maggior tutela*, Milano, giugno 2025.

Loberto, M., Mistretta, A., Spuri, M., *The capitalization of energy labels into house prices. Evidence from Italy*, in: «Questioni di Economia e Finanza», n. 818, Banca d'Italia, Roma, novembre 2023.

SITOGRAFIA

Dasa-Rägister, *EED – Energy Efficiency Directive*, disponibile su: <https://www.dasa-raegister.com/eed-energy-efficiency-directive/> .

INSIC, *Direttiva efficienza energetica: la Dir. 2023/1791 e gli obblighi europei*, disponibile su: <https://www.insic.it/edilizia-e-progettazione/direttiva-efficienza-energetica-la-dir-2023-1791-e-gli-obblighi-europei/> .

Tuttitalia.it, *Classificazione climatica dei comuni italiani – Torino*, disponibile su: <https://www.tuttitalia.it/piemonte/72-torino/classificazione-climatica/> .

La Stampa – Finanza, *Torino tra le città più inquinate d'Europa*, 2 luglio 2024, disponibile su: <https://finanza.lastampa.it/News/2024/07/02/torino-tra-le-citta-piu-inquinanti-deuropa-piacenza-al-ventiduesimo-posto-globale> .

ENEA, *SIAPE – Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica*, disponibile su: <https://siape.enea.it/> .