

Politecnico di Torino

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica Magistrale

Tesi di Laurea



**Riqualificazione energetica del condominio Via Nizza 26 a
Torino; utilizzo dell'indicatore SRI per la valutazione dei
risultati conseguiti.**

Relatore
Prof.ssa Cristina Becchio

Candidato
Malvicino Andrea

Dicembre 2023

Riqualificazione energetica del condominio Via Nizza 26 a Torino; utilizzo dell'indicatore SRI per la valutazione dei risultati conseguiti.

Abstract	7
Glossario	9
<i>IL contesto: le direttive EPBD, Il parco immobiliare e gli strumenti per la riqualificazione energetica.</i> ..	11
Le direttive EPBD – dal 2002 ad oggi	11
EPBD: il Recast del 2018	12
Energy strategy union	14
L'importazione energetica italiana	16
Smart grid.....	17
Il Parco immobiliare Europeo ed italiano	18
Riqualificazione ed efficientamento energetico in Italia.	21
La rivoluzione SMART	29
<i>Tecnologie per l'efficientamento energetico</i>	33
L'involucro edilizio	33
La Pompa di calore	34
<i>Il Caso studio: Via Nizza 26, Torino.</i>	43
Isolamento termico	43
Il nuovo impianto	48
Energie rinnovabili: il fotovoltaico.....	51
Il sistema di telegestione e building automation	52
<i>Efficienza energetica, i consumi dell'impianto.</i>	55
<i>L'indicatore SRI.</i>	61
Multi criteria method	62
Metodi A - B - C	62
Definizione di impatti e domini	65
Procedura di calcolo	67
<i>Calcolo dell'indicatore SRI per il condominio Via Nizza 26.</i>	72
Risultati indicatore SRI	79
Confronto con stato pre -retrofit.....	82
<i>Implementazioni e miglioramenti energetici e funzionali in fase di studio.</i>	87
<i>Conclusioni</i>	89
Figure	91
Tabelle	92
Bibliografia	93

Abstract

Una delle sfide più grandi che accompagnano i primi decenni del ventunesimo secolo è quella di sviluppare soluzioni in grado di diminuire l'impatto dell'esistenza e dell'attività dell'uomo sul nostro pianeta, riducendo lo sfruttamento delle risorse che lo stesso ci mette a disposizione e raggiungendo la neutralità carbonica. Ogni attività dell'uomo, allo stato attuale, ha un'elevata impronta in termini di inquinamento, dall'industria ai trasporti, passando per le attività di costruzione, estrazione, produzione di energia elettrica e al condizionamento climatico degli ambienti in cui viviamo e lavoriamo.

Il lavoro di tesi si concentra su quest'ultimo punto e vuole dimostrare come un intervento di riqualificazione energetica completo possa contribuire a contenere i fabbisogni energetici e dunque l'impatto dell'edificio sull'ambiente, garantendo al tempo stesso elevati livelli di comfort e benessere per gli occupanti. Il caso studio è un edificio residenziale multifamiliare situato a Torino, in via Nizza 26, sottoposto tra il 2021 ed il 2022 ad un ampio intervento di retrofit comprendente:

- ◇ l'isolamento dell'involucro edilizio con nuovi serramenti ed una facciata ventilata per limitare le dispersioni termiche verso l'esterno.
- ◇ Il rifacimento degli impianti di riscaldamento, raffrescamento e produzione acqua calda sanitaria con pompe di calore per sfruttare al meglio le caratteristiche dell'edificio e poter utilizzare energie rinnovabili.
- ◇ La realizzazione di un impianto fotovoltaico sulla copertura dell'edificio, dotato di batteria di accumulo.

- ◇ La posa di un sistema di Building Automation che permetta agli utenti di interagire con il sistema edificio-impianto, usufruendo dei servizi nel modo più congeniale, ricevendo informazioni sui suoi consumi ed ottimizzando la produzione di energia termica.

Per verificare i miglioramenti tecnologici e di efficientamento energetico si è proceduto con il calcolo dello Smart Readiness Indicator SRI, introdotto con la direttiva EPBD del 2018 dalla commissione Europea, con lo scopo di misurare i livelli di intelligenza tecnologica degli edifici. I risultati restituiti dall'indicatore sono messi a confronto con lo stato dell'edificio prima dell'intervento di riqualificazione evidenziandone i miglioramenti in termini di efficientamento energetico, di qualità della vita degli occupanti e di gestione degli impianti.

L'utilizzo del sistema di BA e telegestione dell'impianto permette inoltre di monitorare e regolare le condizioni di temperatura negli appartamenti e di rilevare i dati di consumo delle singole utenze e della centrale termica, permettendo un confronto diretto con i risultati energetici previsti per l'edificio durante la fase di progettazione della riqualificazione.

Infine, è stato svolto uno studio atto ad evidenziare nuove aree di intervento per migliorare ulteriormente la prestazione energetica del fabbricato in oggetto.

Glossario

EPBD energy performance of buildings directive

BMS Building management system.

SRI Smart readiness indicator

BA Building automation

AI artificial intelligence

BSO Building Stock Observatory (Unione Europea)

SBEI Smart building environment indicator

BPIE Bulding performance institute Europe

PDC pompa di calore

APE Attestato di prestazione energetica.

VC Ventilconvettore

ACS Acqua calda sanitaria

FV fotovoltaico

COP Coefficient of performance

EER Energy efficiency ratio

IL contesto: le direttive EPBD, Il parco immobiliare e gli strumenti per la riqualificazione energetica.

Le direttive EPBD – dal 2002 ad oggi.

Le EPBD, o Energy performance of building directory sono direttive europee rilasciate dalla Commissione europea con l'obiettivo di indicare le linee guida da seguire per raggiungere gli obiettivi di contenimento dell'innalzamento delle temperature entro un massimo di 1,5° C, di azzeramento delle emissioni inquinanti entro il 2050 e di indipendenza dalle fonti energetiche derivate dal carbonio.

La prima EPBD è stata rilasciata dalla commissione Europea nel 2002 ed è stata seguita dagli aggiornamenti del 2010, 2018 e 2023.

Duranti i vari aggiornamenti son stati in via progressiva introdotti nuovi strumenti per la valutazione energetica degli edifici e son stati posti obiettivi energetici a medio e lungo termico, come la riduzione del 40% delle emissioni di gas serra entro il 2030 (rispetto ai valori del 1990).

La prima edizione “Directive 2002/91/EC” venne rilasciata dalla commissione europea il 16 dicembre del 2002 e rese obbligatoria la redazione dei certificati di prestazione energetica per gli edifici APE. Con la direttiva 2010/31/EU, il secondo recast dell'EPBD, vennero introdotti i concetti della Cost Optimal approach e degli edifici NZEB. Il cost optimal approach (COA) permette di valutare i costi all'interno del ciclo di vita di un investimento energetico (tipicamente 20-30 anni) permettendo una migliore selezione e programmazione degli interventi

necessari, mentre gli edifici NZEB sono gli edifici ad impatto ambientale nullo; necessari ai fini del raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Con il rilascio del 2018 “directive 2018/844/EU”, su cui ci concentreremo maggiormente durante questo lavoro di tesi, l’attenzione viene spostata dall’edificio all’utente. Gli edifici devono poter essere un ambiente confortevole, monitorabile e gestibile; viene posta l’attenzione sugli “Smart building” e viene introdotto l’indicatore SRI che permette di verificare il grado di prontezza tecnologica degli edifici.

Infine, con la terza recast del 2023, vengono prefissati obiettivi per la riqualificazione degli edifici con prestazioni energetiche più scadenti e viene introdotta una nuova metodologia di calcolo per gli APE. [1][2][3]

EPBD: il Recast del 2018.

Una delle novità introdotte nella EPBD del 2018 è una maggiore attenzione e considerazione verso l’occupante dell’edificio; secondo la direttiva è importante nell’ambito della riqualificazione energetica tenere in considerazione gli aspetti legati alla qualità della vita, al comfort e al benessere degli occupanti, oltre che all’efficienza dell’involucro e dell’impianto.

Le linee guida dell’OMS (organizzazione mondiale della sanità) del 2009 stabiliscono che gli edifici più efficienti dal punto di vista energetico garantiscono una migliore qualità dell’aria interna, migliorando il comfort e il benessere agli occupanti e diminuendo i rischi legati alla salute. Ponti termici, isolamento inadeguato e infiltrazioni d’aria dall’esterno possono generare temperature localizzate al di sotto della temperatura di rugiada dell’aria con formazione di umidità.

È opportuno dunque prevedere una progettazione integrata del sistema edificio-ambiente andando a migliorare l'isolamento dell'edificio, (sempre tenendo in considerazione il comfort interno), implementando l'efficienza degli impianti (riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda centralizzata, illuminazione, ventilazione), garantendo l'apporto e l'utilizzo di fonti rinnovabili e sistemi di controllo e automazione che permettano di controllare la temperatura, l'illuminazione e la ventilazione in ogni singolo vano dell'edificio, al fine di ottimizzare i consumi energetici e i costi finali per l'utente. Al fine di ridurre l'utilizzo di fonti energetiche a basi di carbonio è dunque necessario prevedere un utilizzo di fonti energetiche rinnovabili quanto più possibile localizzato e promuovere investimenti importanti sulle infrastrutture elettriche delle città, prevedendo carichi elettrici maggiori per gli edifici residenziali e non e per il trasporto di merci e persone, migliorando la rete di ricarica per veicoli elettrici. La realizzazione e la predisposizione di infrastrutture elettriche adeguate ai carichi in crescente aumento garantirà in futuro una maggiore rapidità ed efficienza nell'installazione di sistemi di ricarica per i veicoli e macchine per la conversione dell'energia elettrica in energia termica per i servizi di riscaldamento e di raffrescamento degli edifici.

Nell'ambito della direttiva Europea EPBD 2018, in modo da poter misurare con un solo strumento il grado di prontezza tecnologica di un edificio, la sua efficienza energetica, integrazione con l'ambiente e la rete esterna e la sua attenzione all'occupante che all'interno di esso vive o lavora, è stato introdotto l'indicatore SRI, Smart Readiness Indicator. L'indicatore di prontezza all'intelligenza restituisce un risultato percentuale ricavato dall'analisi dei sistemi dell'edificio ed è lo strumento che verrà utilizzato in questo lavoro di tesi per valutare i

risultati ottenuti con l'intervento di rinnovamento su un edificio residenziale condominiale.

L'EPBD del 2018 inoltre, per promuovere la riqualificazione degli edifici più datati e meno efficienti, al fine del raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione e il contenimento dell'aumento delle temperature, stabilisce che il rinnovamento del parco immobiliare dovrà avvenire con un tasso del 3% all'anno. Per raggiungere questo obiettivo, gli stati membri dovranno fornire linee guida, orientamenti e promuovere un accesso paritario a sistemi di finanziamento, in particolare per i settori caratterizzati dalle prestazioni energetiche peggiori e per i consumatori in condizioni di povertà energetica, in modo da garantire l'accessibilità economica agli interventi. [3]

Energy strategy union

Per conseguire gli obiettivi a medio-lungo termine descritti nel 2015 la EPRS impostò la "energy strategy union" [4] che prevede la creazione di un'unione energetica con lo scopo di supportare un radicale cambiamento nel sistema energetico europeo, garantendo un flusso di energia sicuro, affidabile, pulito ed economicamente accessibile. Il fulcro della rivoluzione è la creazione di un unico sistema energetico integrato "continentale" basato sulla libera circolazione di energia tra i vari stati. Il sistema si basa su cinque elementi cardine:

- i. Energia sicura e affidabile: basato sulla differenziazione delle fonti energetiche e delle forniture; oltre il 53% dell'energia primaria europea è dovuta a forniture dall'estero, con il 67% di gas naturale e l'85% di prodotti a base petrolifera importati. Paesi come Italia, Belgio, Irlanda e Lituania sono dipendenti per oltre il 75% dall'estero in un mercato sempre più instabile a livello geopolitico.

- ii. Mercato energetico integrato: la creazione di un mercato interno libero ed integrato
- iii. Efficienza energetica: mitigare la richiesta energetica interna, migliorando l'efficienza nei processi di conversione di energia nelle sue varie forme, nell'utilizzo dell'energia per riscaldamento, raffrescamento, trasporti ed industria.
- iv. Decarbonizzazione del sistema economico: ridurre l'elevata dipendenza dalle fonti fossili, prevalentemente importate ed inquinanti, con l'obiettivo al 2050 di ridurre del 90% le emissioni di gas serra rispetto al 1990
- v. Ricerca ed innovazione; per lo sfruttamento ottimale di fonti di energia rinnovabili e per il loro stoccaggio, la creazione di reti e sistemi energetici, l'ottimizzazione in produzione, stoccaggio e consumo di energia grazie a sistemi di controllo e sistemi di "building automation"; la realizzazione di edifici energy-neutral e la sostenibilità nei trasporti.

L'importazione energetica italiana

L'Italia, secondo i dati Terna, [5] ha un consumo annuo di circa 308'000 GWh di energia elettrica, con potenze picco di quasi 60 GW nelle ore più calde delle giornate estive, quando è necessario ricorrere abbondantemente all'energia elettrica per il raffrescamento ambientale.

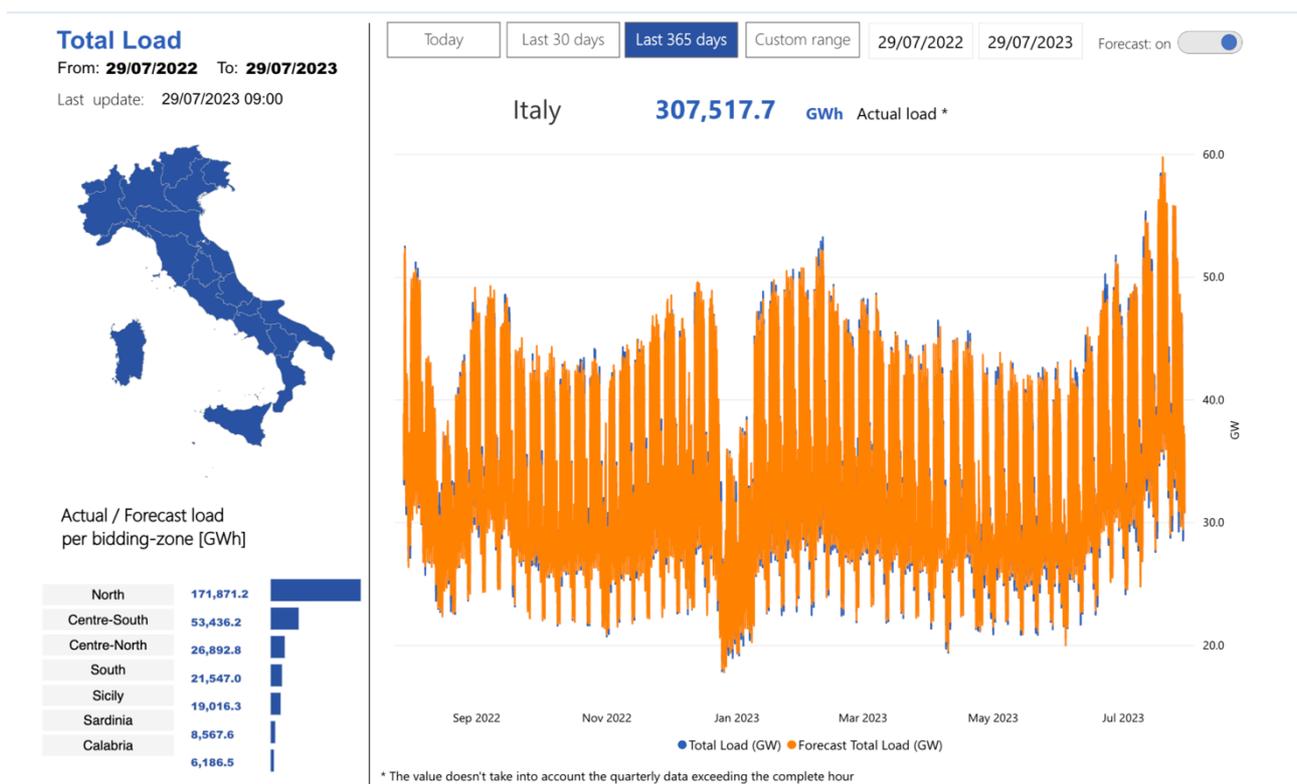


Figura 1: Il consumo di energia elettrica in Italia da Luglio 2022 a Luglio 2023

Circa la metà dell'elettricità prodotta in Italia deriva dalla combustione di gas Naturale (49,9% nel 2021) con un'efficienza media di conversione del 55,4%.

Il metano è il principale attore anche nel mercato residenziale, con oltre il 54% dei 205478 GWh di energia utilizzati, forniti dalla combustione del gas naturale. [6]. Oltre il 96% del gas metano utilizzato in Italia, pari a circa 70 miliardi di metri cubi l'anno, viene importato dall'estero.

È dunque evidente che, per diminuire la dipendenza dalle importazioni di gas metano, nonché dai prodotti di origine petrolifera, sia necessario ricorrere ad un'ampia progettazione integrata e condivisa del sistema energetico nazionale ed europeo, sfruttando le migliori fonti energetiche disponibili in base alla collocazione geografica e alla disponibilità delle risorse, seguendo il processo:

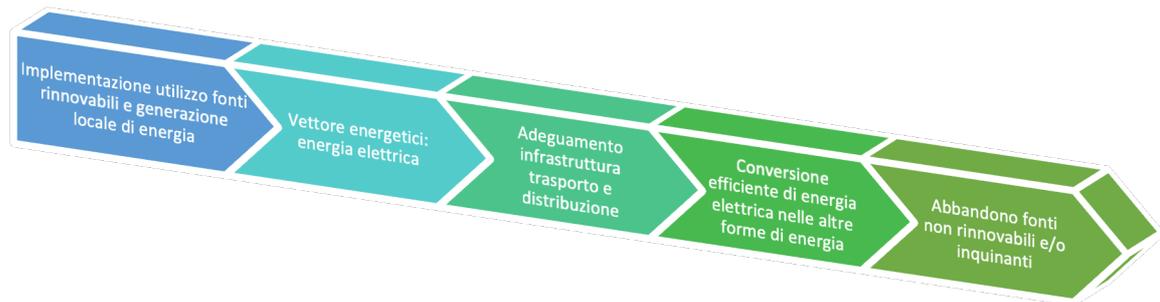


Figura 2: processo di sviluppo energetico

Smart grid

Un ulteriore aspetto da considerare è la generazione localizzata e distribuita di energia, utilizzando le risorse presenti in loco (es: impianto fotovoltaico/solare termico, pozzi geotermici, microturbine eoliche) e creando reti capillari ed integrate, cambiando il modello da uno di produzione centralizzata ed utenze distribuite, ad uno più misto, in cui gli utilizzatori siano anche produttori e rivenditori, creando una struttura integrata ed informatizzata detta “smart grid”.

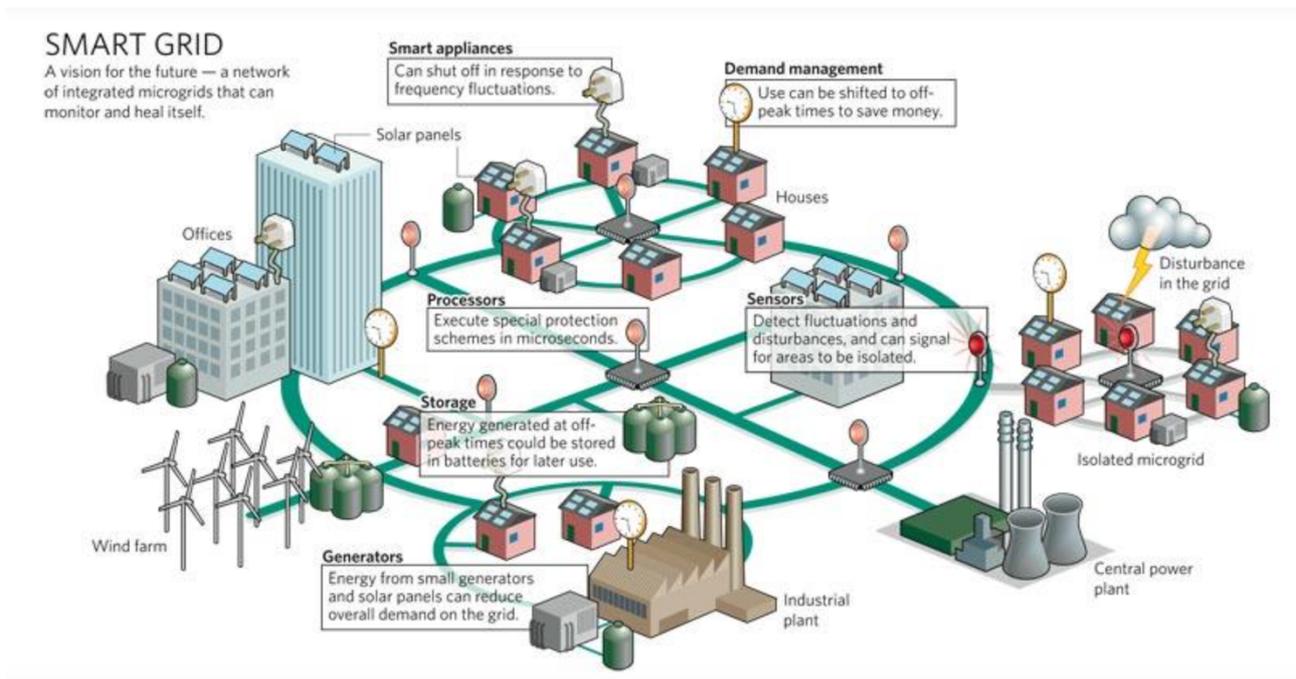


Figura 3: smart grid [reteclima/smartgrid]

Il Parco immobiliare Europeo ed italiano

Nell'ambito dell'unione europea, il parco immobiliare è responsabile per il 40% del consumo energetico dell'unione e per il 36% dell'emissioni di gas serra. Il settore degli edifici è infatti il più grande consumatore di energia del continente, mentre l'energia utilizzata per i servizi di riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria rappresenta l'80% dell'energia consumata dai cittadini.

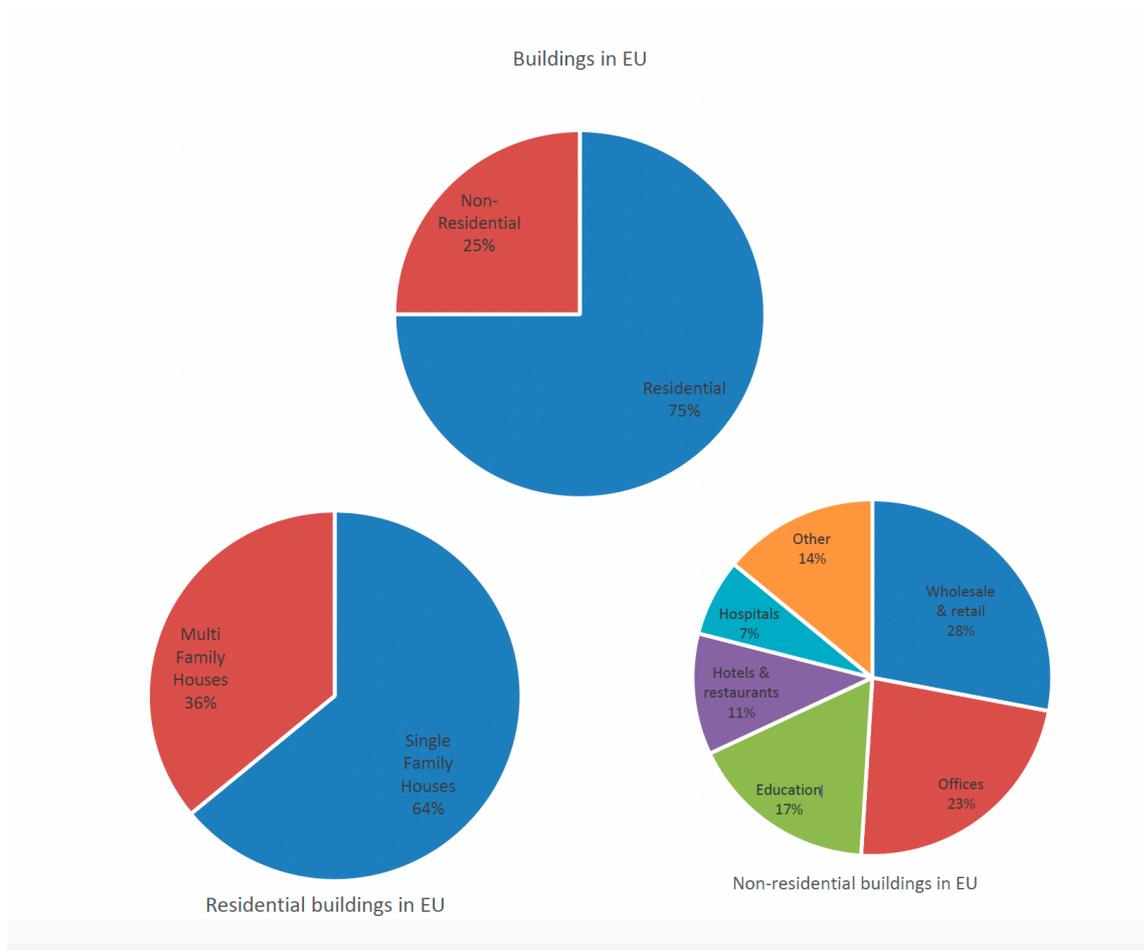


Figura 4: First technical study, Gli edifici in Europa

Dai dati raccolti dalla commissione Europa, il 35% degli edifici presenti nell'unione europea ha più di 50 anni, mentre il 75% degli edifici viene considerato inefficiente dal punto di vista energetico. [7] Il tasso di riqualificazione annuo degli edifici, auspicato al 3% nella direttiva EPBD del 2018, è fermo all'1%.

È importante sottolineare come, gli investimenti realizzati nel settore energetico diano un importante impulso all'economia, specialmente per quanto riguarda il settore delle costruzioni che raccoglie oltre 18 milioni di lavoratori all'interno dell'UE e costituisce il 9% del suo prodotto interno lordo. Gli interventi di riqualificazione energetica inoltre aumentano il valore economico degli edifici in cui sono realizzati. Nella tabella sottostante, sono riportate le percentuali di

edifici rinnovati ed in buone condizioni di efficienza energetica rispetto a quelli che necessitano di opere di riqualificazione nelle cinque macroaree dell'Unione.

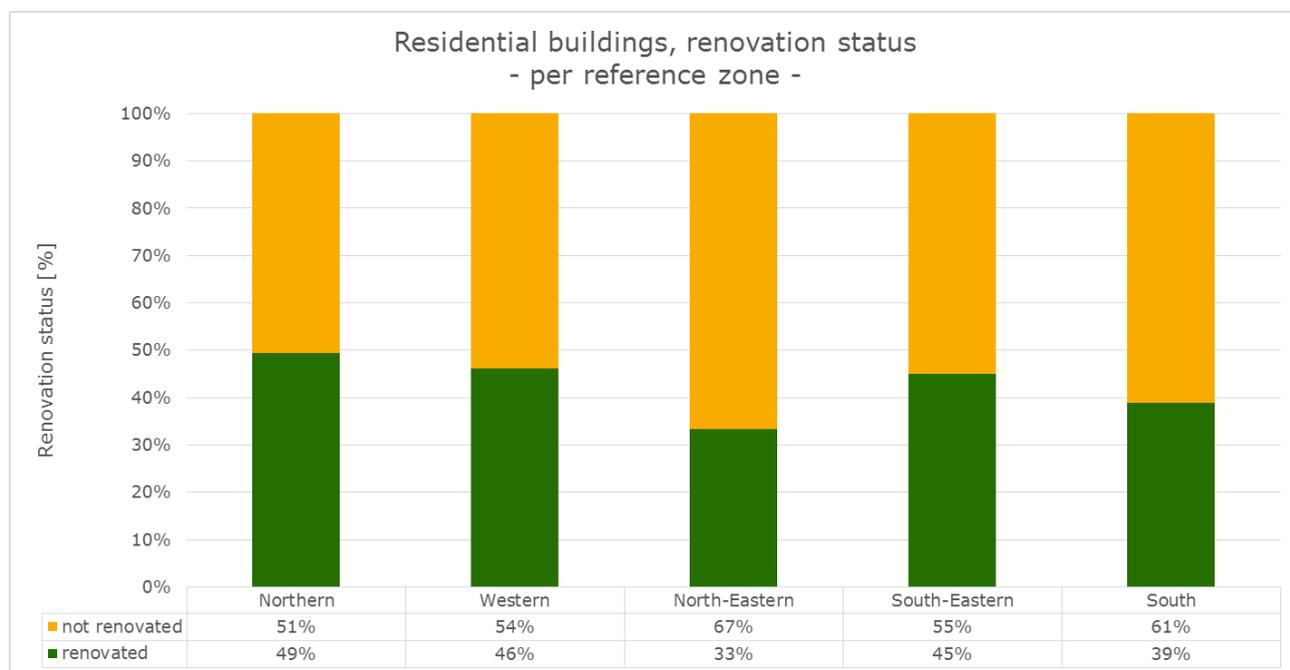


Figura 5: First Technical study, edifici rinnovati e non rinnovati nelle diverse zone Europee

Pensando al settore residenziale ed in generale degli edifici, è importante sottolineare come ad oggi, circa il 50% degli edifici in Italia [8] sia nelle classi di prestazione energetica G ed F, in assoluto le più basse e meno efficienti e presenti, dunque, la necessità di ricorrere ad interventi di miglioramento degli involucri edilizi, per diminuire le dispersioni termiche ed efficientare la produzione di energia. La situazione è peggiore per quanto riguarda gli edifici di tipo residenziale, con oltre il 62% degli edifici nelle due classi peggiori (G ed F) e solo una piccola frazione, inferiore al 10% di edifici in classe B o nelle diverse Classi A. È anche importante notare che il rateo di riqualificazione annuale a livello italiano, ma anche a livello Europeo, è eccessivamente basso rispetto agli obiettivi proposti dalla EPBD, attualmente, infatti, il

tasso di riqualificazione è di circa lo 0,4-1,2%. Molti di questi interventi, per giunta, sono interventi superficiali e non sufficienti a garantire un risparmio energetico e un'efficienza idonea a raggiungere gli obiettivi dell'unione.

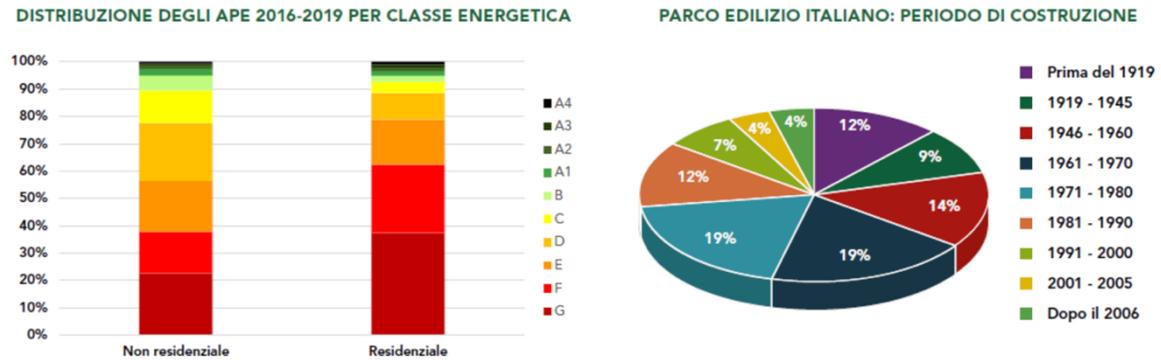


Figura 6: parco immobili nazionale.

Riqualificazione ed efficientamento energetico in Italia.

Interventi di riqualificazione edilizia ed efficientamento energetico sono spesso in parte finanziati tramite strumenti economico-finanziari chiamati Ecobonus. Essi permettono di detrarre fiscalmente, negli anni successivi all'intervento una certa percentuale del capitale investito; es 50% per la sostituzione del generatore di calore con uno più efficiente. Nel maggio del 2020, è stato introdotto in Italia il Superbonus 110%, con l'obiettivo di riqualificare ed efficientare gli edifici meno moderni e di risollevare il settore edile, gravemente colpito dopo l'epidemia di COVID 19. Per accedere al bonus e alla detrazione fiscale del 110%, gli interventi devono rispettare requisiti minimi in termini di impatto ambientale, efficienza energetica e permettere all'edificio un miglioramento minimo di due classi di prestazione energetica. Dai dati raccolti annualmente nei report [9][10] dell'ENEA, l'agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico

sostenibile, è possibile trarre alcune considerazioni sui principali interventi di riqualificazione eseguiti sul territorio nazionale e sulla direzione in cui si muovono gli interventi di efficientamento energetico.

Ecobonus

L'ecobonus racchiude diverse tipologie di intervento di efficientamento energetico, come l'isolamento dell'involucro, la posa di nuovi serramenti, l'adozione di schermature solari, posa pannelli solari termici per la produzione di ACS, interventi per la climatizzazione invernale, building automation o riqualificazioni globali dell'edificio.

Tabella 1: Tipologie di interventi oggetto di Ecobonus 2014-2020 e 2021 – parte 1 - ENEA

Tecnologia/intervento	2014 – 2020 (M€)	2014 – 2020 (%)	2021 (M€)	2021 (%)	TOTALE (M€)	TOTALE (%)
Pareti verticali	2.680,9	11,5%	298,6	4,0%	2.979,5	9,7%
Pareti orizzontali e inclinate	3.354,1	14,4%	452,9	6,0%	3.807,0	12,3%
Serramenti	10.006,8	42,9%	2.571,8	34,1%	12.578,6	40,8%
Solare termico	386,0	1,7%	73,9	1,0%	459,9	1,5%
Schermature solari	964,5	4,1%	515	6,8%	1.479,7	4,8%
Caldaia a condensazione	3.994,2	17,1%	2.431,2	32,3%	6.425,4	20,8%
Pompa di calore	1.299,5	5,6%	945,1	12,5%	2.244,6	7,3%
Building automation	90,3	0,4%	30	0,4%	120,1	0,4%
Altro *	544,8	2,3%	218,5	2,9%	763,3	2,5%
Totale	23.321,2	100%	7537	100%	30.858,2	100%

* Impianti geotermici, impianti a biomassa, scaldacqua a pompa di calore per ACS, generatori di aria calda, microgeneratori e sistemi ibridi

Fonte: ENEA

Nella tabella riportata, tabella 3-5 del report ENEA per gli interventi svolti nel 2021, si evidenziano gli investimenti eseguiti nel periodo 2014-2020 e quelli svolti nel 2021. È possibile evidenziare come gli interventi sui serramenti e la posa di caldaie a condensazione si pongono ai primi posti rispettivamente con 12,6 e 6,4 miliardi di euro investiti, pari al 40,8 e al 20,8% del totale, restano più staccati gli interventi di coibentazione delle pareti orizzontali/inclinate

(coibentazioni sottotetti, piano pilotis) le pareti verticali e l'installazione di pompe di calore 7,3%.

Gli investimenti con ecobonus eseguiti in tale periodo, per un totale di circa 30,9 miliardi di euro, hanno portato ad un risparmio annuale complessivo di 11000 GWh di energia, dovuto per il 35,5% agli interventi sui serramenti, per il 27% alla posa di nuove caldaie a condensazione e per il 25% alla coibentazione di pareti. Di questi un totale di 7,54 miliardi di € sono stati investiti nel solo 2021 per la realizzazione di poco più di 1 milione di interventi con un risparmio stimato annuo di energia pari a 2650 GWh.

Tabella 2: Tipologie di interventi oggetto di Ecobonus 2014-2020 e 2021 – parte 2 - ENEA

Tecnologia/intervento	2014 – 2020 (GWh/anno)	2014 – 2020 (%)	2021 (GWh/anno)	2021 (%)	TOTALE (GWh/anno)	TOTALE (%)
Pareti verticali	1.013,5	12,1%	123,5	4,7%	1.137,0	10,3%
Pareti orizzontali e inclinate	1.413,0	16,9%	240,3	9,1%	1.653,3	15,0%
Serramenti	3.288,3	39,4%	620,1	23,4%	3.908,4	35,5%
Solare termico	282,1	3,4%	64,7	2,4%	346,8	3,2%
Schermature solari	110,9	1,3%	13,1	0,5%	124,0	1,1%
Caldaia a condensazione	1.641,4	19,7%	1.324,7	50,0%	2.966,1	27,0%
Pompa di calore	402,6	4,8%	190,5	7,2%	593,1	5,4%
Building automation	30,7	0,4%	5,4	0,2%	36,1	0,3%
Altro *	167,5	2,0%	69,4	2,6%	236,9	2,2%
Totale	8.350,0	100%	2.651,7	100%	11.001,7	100%

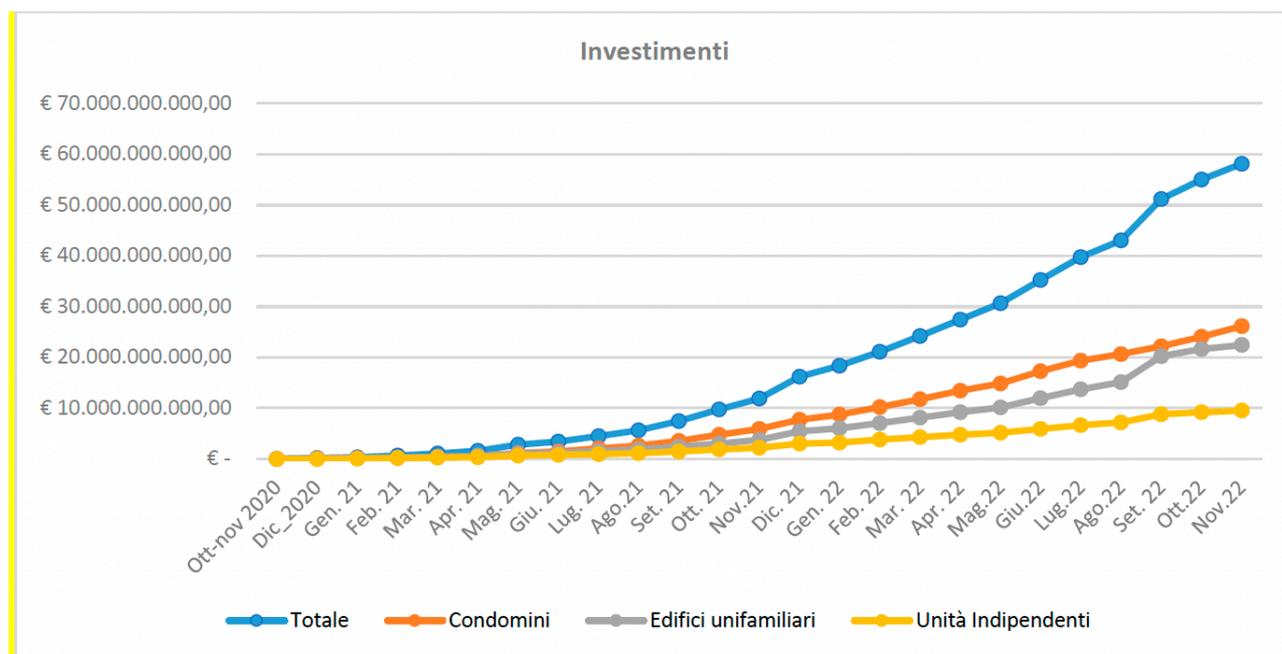
* Impianti geotermici, impianti a biomassa, scaldacqua a pompa di calore per ACS, generatori di aria calda, microgeneratori e sistemi ibridi

Fonte: ENEA

Superbonus 110

Per quanto riguarda gli interventi finanziati con superbonus 110%, è importante contestualizzare la portata economica maggiore degli investimenti realizzati; a novembre 2022, è possibile contare un totale di quasi 60 miliardi di euro investiti, su poco meno di 350'000 asseverazioni aperte. Circa 27 miliardi di euro sono stati investiti sui condomini, per un numero di poco inferiore ai 50'000 interventi eseguiti.

Tabella 3: Andamento investimenti 110% - ENEA



Fonte: ENEA

L'investimento medio eseguito su un condominio, con superbonus, nel 2021, è di circa 547'000 €, l'investimento medio eseguito con superbonus 110% è di 172'000€ contro i 7'500€ di investimento medio eseguito nel 2021 con Ecobonus.

È possibile dunque notare la caratura diversa degli interventi, causate dalla realizzazione di interventi di riqualificazione più complessi e che utilizzino tecnologie più costose alla ricerca di maggiore efficienza e risparmio energetico. La maggior complessità dell'intervento è dovuta principalmente alla necessità di ottenere, per usufruire dell'incentivo fiscale, il passaggio di due classi di prestazione energetiche dell'edificio, il che richiede, specialmente nei casi in cui l'edificio abbia già una caldaia a condensazione, la realizzazione di importanti interventi di isolamento termico, l'adozione di nuove tecnologie o la produzione di energia da fonti rinnovabili.

Ciò è riscontrabile anche nelle diverse tipologie di interventi finanziate tramite Superbonus 110%.

Tabella 4: Investimenti Superbonus 110% - 2021 - ENEA

Tipo di intervento	Superficie [m ²] Pot. [kW]		R.E. (#) [GWh/anno]	%	Totale Costi	%
Involucro	25.964.139,40	81,4%	1.428,23	62,26%	9.530.663.580,13 €	61,7%
Impianto termico	2.951.872,59	9,3%	811,28	35,37%	2.758.977.588,27 €	17,9%
Collettori solari	162.553,96	0,5%	40,72	1,78%	309.985.960,80 €	2,0%
Building automation	2.822.935,56	8,8%	13,58	0,59%	181.805.485,14 €	1,2%
Fotovoltaico, Accumulo, Colonnine Ricarica					2.571.838.457,44 €	16,7%
Eliminazione delle barriere architettoniche					92.334.624,46 €	0,6%
Totale	31.901.501,51	100,0%	2.293,81	100,0%	15.445.605.696,24 €	100,0%

Analizzando i dati pubblicati dall'ENEA riferiti agli interventi di riqualificazione realizzati nel 2021, è possibile notare come gli interventi realizzati sugli involucri edilizi rappresentino il 61,7% dei costi e il 62,3% del risparmio energetico stimato con 1428 GWh di

energia in meno consumata ogni anno. Gli interventi per la realizzazione degli impianti termici, con il 18% del totale degli investimenti ed il 35% di consumo annuo in meno ed infine gli interventi finalizzati alla produzione di energia elettrica attraverso impianti fotovoltaici, l'utilizzo di batterie di accumulo e l'installazione di colonnine per la ricarica elettrica dei veicoli completano la panoramica delle principali voci di spesa. Nelle tabelle sottostanti vengono riportati con dettaglio i dati riguardanti la riqualificazione degli involucri e degli impianti termici.

Tabella 5: Investimenti per l'involucro edilizio - Superbonus 110% - ENEA -2021

Intervento	Num. Interventi	Superficie [m2]	%	R.E. (#) (GWh/anno)	%	Totale Costi	%
Pareti Verticali (PV)	57.111	14.898.061,38	57,4%	744,57	52,1%	4.122.333.431,83 €	43,3%
Soffitti e tetti disperdenti (PO)	39.834	5.294.445,65	20,4%	291,26	20,4%	1.333.197.819,45 €	14,0%
Pareti orizzontali (PS) (Pavimenti)	17.495	1.873.023,75	7,2%	87,81	6,1%	487.519.907,23 €	5,1%
Sostituzione infissi	116.452	2.038.455,63	7,9%	283,09	19,8%	2.887.698.298,78 €	30,3%
Pareti orizzontali (Tetti non disperdenti) (POND)	6.214	1.029.432,32	4,0%			287.726.259,16 €	3,0%
Schermature solari – chiusure oscuranti	28.373	489.116,50	1,9%	16,03	1,1%	290.622.432,03 €	3,0%
Schermature solari- tende – veneziane	19.011	341.604,17	1,3%	5,47	0,4%	121.565.431,65 €	1,3%
Totale	284.490,0	25.964.139,40	100,0%	1.428,23	100,0%	9.530.663.580,13 €	100,0%

Per quanto riguarda gli interventi sugli involucri edilizi, rispetto agli interventi finanziati con Ecobonus di riqualificazione edilizia o bonus facciate crescono molto i finanziamenti di rivestimenti di pareti verticali, soffitti, tetti e pavimenti con un investimento complessivo superiore ai 6 miliardi di euro ed una superficie totale rivestita di circa

22 milioni di metri quadri. Anche gli infissi godono di investimenti elevati, pari al 30% del capitale investito sugli involucri.

Tabella 6: Investimenti impianti termotecnici - Superbonus 110% - 2021 - ENEA

SuperEcobonus: Interventi sull'impianto		Dati Nazionali Complessivi (*)				31 dicembre 2021		
Intervento	Numero di pezzi/int.	Pot. Term.[kW]	%	R.E. (#) [GWh/anno]	%	Totale Costi	%	
Teleriscaldamento	45	1.821	0,1%	0,99	0,12%	1.662.716,92 €	0,1%	
Caldaie a condensazione	42.916	1.115.616	37,8%	109,85	13,54%	565.070.157,68 €	20,5%	
Pompe di calore a compr. di vapore elettriche	50.851	469.677	15,9%	255,08	31,44%	850.125.463,69 €	30,8%	
Pompe di calore ad assorbimento o azionate da motore primo	787	6.908	0,2%	2,52	0,31%	11.658.839,40 €	0,4%	
Sistemi ibridi	Potenza term. Caldaia	48.438	1.267.337	42,9%	403,34	49,72%	1.197.278.451,31 €	43,4%
	Potenza della PDC		407.733					
Scaldacqua a pompa di calore	12.737	40.463	1,4%	20,48	2,52%	76.249.996,52 €	2,8%	
Generatori di aria calda a condensazione	131	1.088	0,04%	0,05	0,01%	897.010,28 €	0,0%	
Impianti a biomassa	1.961	43.317	1,5%	17,94	2,21%	41.995.541,63 €	1,5%	
Microgeneratori	Potenza termica	183	0,2%	1,02	0,13%	14.039.410,84 €	0,5%	
	Potenza elettrica							2.217
Totale	158.049	2.951.873	100,0%	811,3	100,00%	2.758.977.588,27 €	100,0%	

Rispetto agli Ecobonus, crescono maggiormente gli interventi su soluzioni impiantistiche più complesse ed innovative; rispetto ai 42916 interventi per l'installazione di caldaie a condensazione, si registrano oltre 50850 installazioni di pompe di calore a compressione di vapore, 787 pompe di calore ad assorbimento di gas o azionate da motore ed oltre 48000 nuovi gruppi ibridi installati in cui la percentuale di energia termica prodotta dalla pompa di calore è il 32% di quella prodotta dalle caldaie a condensazione. Importanti sono i risultati raggiunti anche per quanto riguarda l'installazione di scaldacqua a pompa di calore con 12737 interventi. Queste tecnologie sono importanti per la produzione efficiente di ACS o per la sostituzione di impianti ACS centralizzati poco efficienti con produzione domestica localizzata. Gli interventi di natura impiantistica rappresentano 2,76 miliardi di euro di investimento e si stima che possano generare un risparmio annuale di energia di 811 GWh. Inoltre, è necessario notare che l'installazione di impianti ibridi o a pompe di calore abbinate alla produzione di energia elettrica tramite

impianti fotovoltaici permette piuttosto agevolmente il passaggio delle due classi energetiche richieste per l'accesso al superbonus.

Infine, è importante notare che in ambito superbonus 110%, sono realizzati interventi più consistenti riguardo l'installazione di collettori solari per la produzione di acqua calda sanitaria, di impianti fotovoltaici con accumulo e di sistemi di building automation per la termoregolazione evoluta e la gestione degli ambienti da parte dell'utente.

Nonostante la natura più complessa degli interventi realizzati e le spese maggiori conseguite nell'ambito della realizzazione di riqualificazioni energetiche con superbonus, è importante però notare che il risparmio energetico stimato ottenuto a parità di spese sostenute è minore rispetto al risparmio energetico ottenibile con Ecobonus.

Il Risparmio energetico raggiunto con Superbonus 110% nell'anno 2021 = 0,149 kWh – anno per ogni euro investito, mentre il risparmio energetico raggiunto con Ecobonus edilizio o di efficientamento energetico nell'anno 2021: 0,352 kWh – anno per ogni euro investito; il che implica che per ottenere un risparmio energetico annuo pari ad 1 kWh di energia sarà mediamente necessario spendere 6,70€ con interventi 110% e 2,84€ con Ecobonus. La differenza così elevata è frutto della maggiore complessità degli interventi realizzati, al maggior costo necessario per l'implementazione di tecnologie più innovative e ricercate nonché all'aumento dei prezzi di materie prime e manodopera dovute alla situazione di ripresa post pandemica e all'elevata domanda nel mercato residenziale.

Tabella 7: Confronto Costi Ecobonus - Superbonus

Confronto Ecobonus - Superbonus			
Strumento	Capitale investito [milioni di euro]	R.E. stimato [GWh - anno]	€/kWh - annuo
Ecobonus	7537,00	2651,70	2,84
Superbonus	15544,00	2293,81	6,78

La rivoluzione SMART

Considerando lo scenario energetico che abbiamo analizzato e tenendo in considerazione gli aspetti evidenziati dalla direttiva EPBD Del 2018 [3], è importante notare come non siano necessari esclusivamente interventi di riqualificazione ed efficientamento energetico bensì si tratta di iniziare una vera e propria rivoluzione tecnologica del sistema edificio che ponga al centro l'occupante e le sue necessità. L'edificio deve disporre delle seguenti caratteristiche:

- I. Efficienza, benessere e salute, l'edificio deve essere un luogo di benessere per l'utente; i sistemi devono poter mantenere le caratteristiche di temperatura ed umidità adeguata alla salute ed il comfort degli utenti.
- II. Operabilità dinamica; devono essere installati contatori elettronici intelligenti che evidenzino le informazioni all'utente, buone connessioni internet son raccomandabili (anche nell'ottica di periodi di smart-working, etc) e il mercato dell'energia deve essere flessibile, dinamico ed incoraggiare soluzioni efficienti e smart.
- III. Sistemi di controllo e gestione con sistemi di autoapprendimento (con il coinvolgimento di sistemi di intelligenza artificiale)
- IV. Utilizzo di fonti rinnovabili per l'autoproduzione di energia elettrica.

V. Pronto a rispondere alla domanda dell'utente: Edificio ed impianto devono cooperare, è preferibile utilizzare accumuli di energia termica intelligenti ed eventualmente favorire il passaggio dell'utente a veicoli elettrici predisponendo colonnine di ricarica, possibilmente alimentate da energia rinnovabile autoprodotta

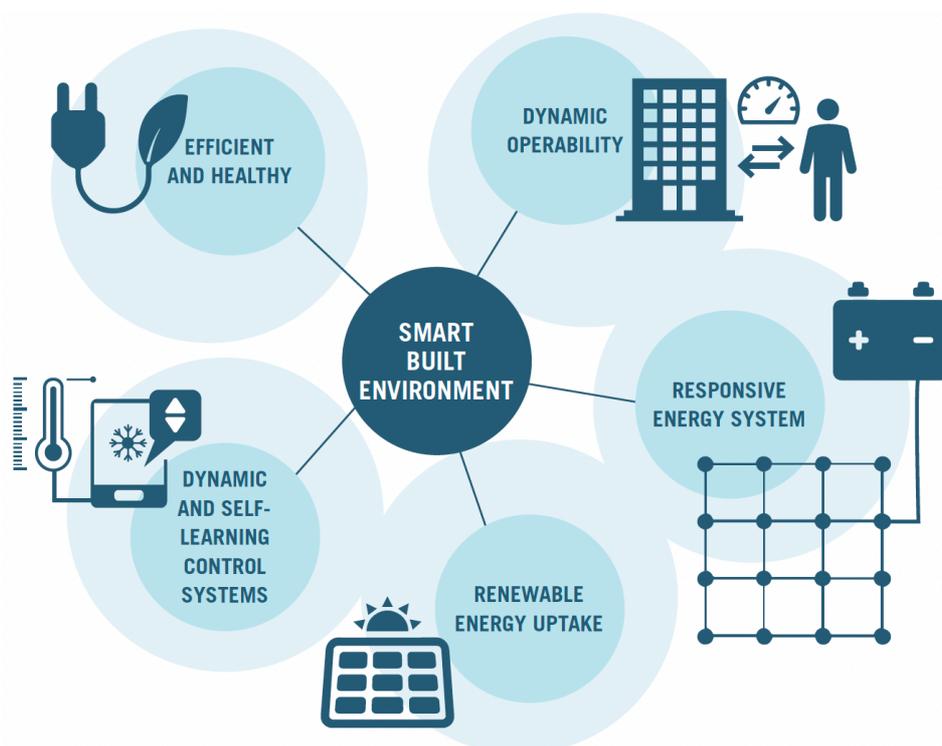
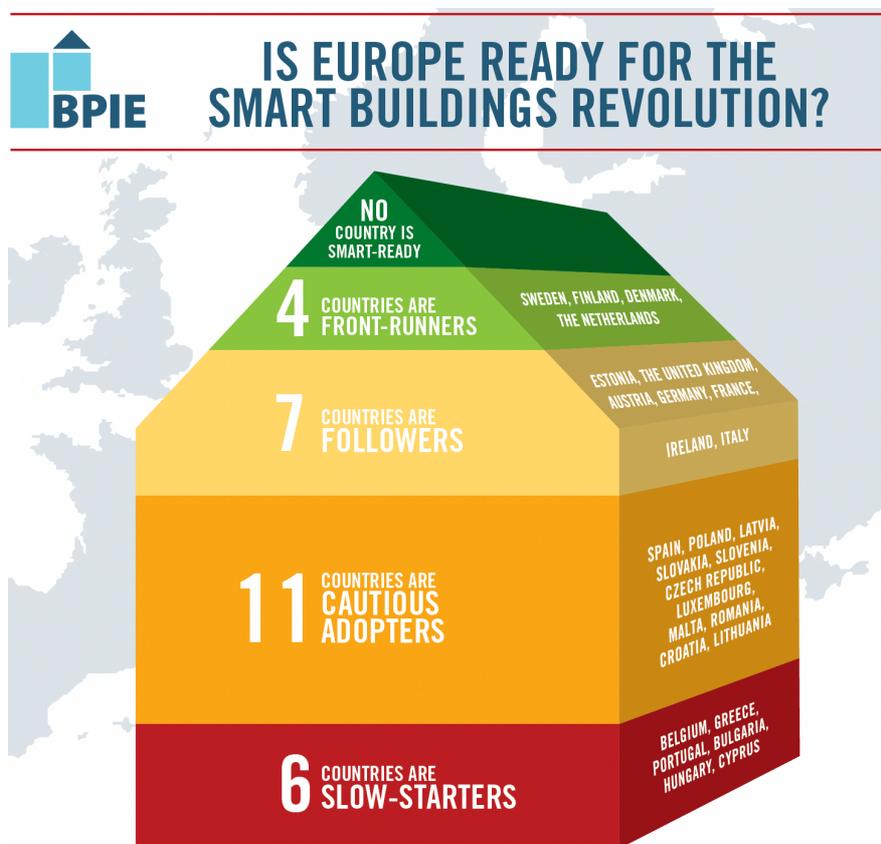


Figura 7: Smart Building environment, BPIE 2017

L'istituto BPIE, nel 2017 ha stilato un rapporto [11] con il quale, tramite un indice "SBEI", calcolava le prestazioni di intelligenza e prontezza tecnologica degli edifici dell'Unione Europea, rilevando che nessun paese membro è realmente tecnologicamente pronto o sta inseguendo rapidamente gli obiettivi della "Smart Revolution" per un edificio più sostenibile, de-carbonizzato ed intelligente. Alcuni paesi, specie quelli geograficamente a nord nell'Unione (Svezia, Finlandia, Danimarca e Olanda) sono più avanti di altri mentre la maggior parte dei paesi,

risultano adottare molto lentamente o non adottare le misure e le innovazioni tecnologiche descritte in precedenza.



Source: Buildings Performance Institute Europe, "Is Europe ready for the smart buildings revolution?", 2017, www.bpie.eu

Figura 8: Classificazione delle nazioni Europee, BPIE, 2017

Il report si è concentrato in seguito su alcuni indicatori chiave analizzando la performance degli edifici esistenti dell'unione, utilizzando dati provenienti dal BSO dell'unione, l'installazione dei contatori elettronici intelligenti per il monitoraggio del consumo energetico dell'utente, La Risposta alla domanda dell'utente e la condivisione di energia da fonti rinnovabili.

Per quanto riguarda il primo criterio, La performance degli edifici è emerso che gli stati settentrionali (repubbliche Baltiche, Danimarca, Finlandia e Svezia) hanno gli edifici più isolati termicamente e vengono

definiti come “front-runner”; gli stati centrali, principalmente Austria, Germania e Polonia hanno un buon livello di isolamento termico, mentre gli stati più occidentali e meridionali portano prestazioni di isolamento scarse, con valori di trasmittanza superiori a $1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$; con Italia, Grecia, Spagna e Cipro agli ultimi posti insieme al Belgio. La situazione del Belgio si riflette anche per quanto riguarda il consumo energetico in condizioni meteo standard, con oltre 250 kWh/m^2 ; consumi comparabili a Slovenia, Romania e alle settentrionali Estonia, Lettonia e Finlandia. Analizzando il consumo al metro quadro, ottengono buoni risultati Portogallo, Spagna Grecia e Bulgaria, in virtù delle temperature medie elevate e l’Olanda per il buon grado di Isolamento dei propri edifici.

L’installazione di Smart meters per misurare nel consumo di elettricità ha superato il 99% degli edifici in Italia, Svezia e Finlandia ed è a buon punto (50-99%) in Danimarca, Spagna ed Estonia. Particolarmente indietro e dunque definibili “Slow-starters in questa categoria” sono tra gli altri Belgio, Germania, Ungheria, Irlanda, Croazia, Portogallo, Lituania e Grecia”.

Tecnologie per l'efficientamento energetico

L'involucro edilizio

Una delle principali aree di intervento nelle riqualificazioni energetiche, nonché quella che consente di ottenere i risultati migliori in termini di risparmio energetico conseguito, è l'involucro edilizio. Gli interventi sull'involucro edilizio sono importanti ai fini di ridurre le dispersioni termiche dell'edificio, migliorando il suo isolamento e garantendo ottimi risultati in termini di consumo di energia per riscaldamento e/o raffrescamento.

La riqualificazione dell'involucro edilizio si basa principalmente sulle superfici piane ed orizzontali dell'edificio (pareti, piani pilotis o sottotetti) o sui serramenti.

Per quanto riguarda i serramenti, l'installazione di finestre a doppio o triplo vetro contribuisce a diminuire le dispersioni termiche complessive del serramento grazie allo strato d'aria interno che contribuisce a limitare il riscaldamento o il raffreddamento della superficie dei vetri esposti.

Per quanto riguarda il rivestimento degli involucri edilizi, i migliori risultati si ottengono con insufflaggi, realizzazione di cappotti termici o di facciate ventilate.

L'insufflaggio consiste nell'immissione di materiale isolante, come lana di roccia mineralizzata nelle intercapedini, spesso presenti nelle pareti degli edifici realizzati tra gli anni Sessanta e Novanta. Questa tecnica consente di evitare costosi e complicati interventi di rivestimento delle facciate esterne degli edifici ma è poco efficace rispetto ai ponti termici e la sua efficacia è direttamente proporzionale allo spazio presente nell'intercapedine.

La realizzazione di un cappotto termico sulle facciate esterne dell'edificio consente più libertà in termini di scelta dei materiali e degli spessori, nonché un maggiore controllo e gestione dei ponti termici che possono essere quasi completamente eliminati. Questa soluzione è tuttavia più costosa ed è tecnicamente più complessa nella realizzazione, in ultimo, la maggior inerzia termica dell'edificio riduce i ricambi d'aria tra l'esterno e l'interno dell'edificio con una degradazione della qualità dell'aria nei locali interni e la possibile formazione di umidità.

La realizzazione di una facciata ventilata consente, grazie alla presenza di un'intercapedine ventilata tra lo strato di materiale isolante applicato alla facciata e al rivestimento esterno dell'edificio, la circolazione naturale di aria tra lo strato di materiale isolante e i pannelli esterni. Questo comporta notevoli benefici in termini di qualità dell'aria interna, maggiore dissipazione del calore durante la stagione estiva e minore formazione di umidità, tuttavia, i telai per il fissaggio dei pannelli esterni e il gap necessario tra di essi, permette la presenza di ponti termici tra l'esterno e l'interno dell'edificio che ne riducono in parte la capacità isolante complessiva; infine, la facciata ventilata, consente generalmente maggior libertà in termini di aspetto estetico finale dell'edificio, grazie alla possibilità di realizzare rivestimenti esterni in pannelli di diverso materiale e forma. [12][13].

La Pompa di calore

La pompa di calore per il riscaldamento degli ambienti e per la produzione di acqua calda sanitaria è una delle soluzioni principali nell'ottica di decarbonizzazione dell'edificio e per il raggiungimento dell'obiettivo di zero emissioni nette di CO₂ per il 2050. Gli impianti in pompa di calore, secondo lo studio [14], oggi concorrono per il 10% della produzione di energia termica mondiale mentre per il 2030,

secondo il Net Zero Emissions scenario, dovranno concorrere per minimo il 20%.

La PDC è una macchina che, utilizzando l'energia elettrica ed un fluido refrigerante, è in grado di estrarre energia termica principalmente dall'aria o da una fonte d'acqua (ad esempio l'acqua di falda) ed utilizzarla per il riscaldamento o il raffrescamento degli ambienti. Essa è composta da 4 elementi fondamentali in cui vengono svolte le 4 fasi del ciclo di lavoro; per semplicità si descrive il ciclo utilizzato per il riscaldamento.

- I. Valvola di laminazione: Il “fluido” refrigerante, che si trova allo stato liquido, viene espanso tramite una valvola di laminazione. La pressione e la temperatura si abbassano.
- II. Evaporatore: il fluido refrigerante, che si trova ad una temperatura inferiore rispetto a quello dell'ambiente con cui viene a contatto, assorbe da esso energia termica e inizia ad evaporare.
- III. Compressore: Il fluido frigorifero, ora allo stato gassoso, viene compresso tramite un compressore mosso da un motore elettrico. In questa fase vengono innalzate la temperatura e la pressione del gas.
- IV. Condensatore: il gas refrigerante, che si trova ora ad una temperatura maggiore rispetto all'ambiente, cede energia termica al fluido termovettore (generalmente acqua o aria) e condensa tornando allo stato liquido.

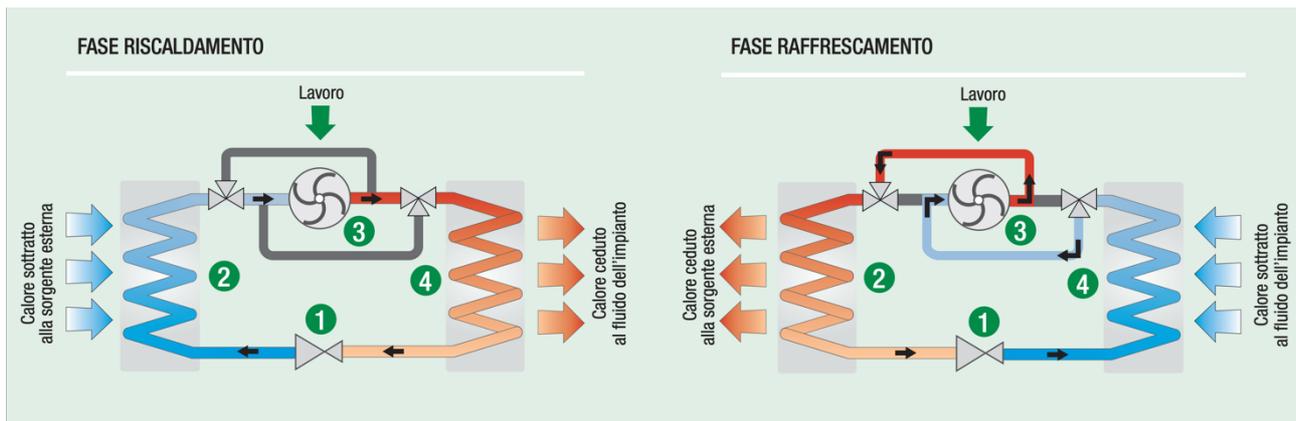


Figura 9: immagine tratta da Caleffi, magazine Idraulica 61, "gli impianti di pompa di calore aria-acqua"

Uno dei parametri fondamentali per comprendere il vantaggio della pompa di calore è il COP o coefficient of performance; esso esprime il rapporto tra la quantità di energia termica ceduta al fluido termovettore e la quantità di energia elettrica consumata dal motore elettrico per muovere il compressore. In condizioni ambientali esterne (T . ambiente 7°C) e di temperatura di mandata (40°C) le moderne pompe di calore hanno mediamente un COP tra 3,5 e 4; il che significa che per cedere al fluido termovettore (e di conseguenza all'ambiente) 10kWh di energia termica il motore elettrico consumerà tra $2,5\text{kWh}$ e $3,3\text{kWh}$ di energia elettrica.

Pompe di calore ad assorbimento per lo stoccaggio di energia elettrica, riscaldamento e acqua calda sanitaria, il mix energetico odierno e di domani.

La pompa di calore ad assorbimento è una macchina frigorifera in cui, nel ciclo di lavoro, la fase di compressione viene sostituita da una fase di assorbimento e una fase di rigenerazione. Nella fase di assorbimento un fluido entra a contatto con il fluido frigorifero e ne aumenta temperatura e pressione; successivamente avviene la separazione tra il

fluido frigorifero che prosegue il ciclo e il fluido assorbitore (tipicamente acqua) che viene rigenerato.

In uno studio del 2022 [15] gli autori hanno comparato l'efficienza complessiva nel ciclo di vita di 3 diverse tipologie di generatori di calore per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria; una moderna caldaia a condensazione, una pompa di calore assorbimento ed una pompa di calore tradizionale per edifici di diverso tipo (allo stato originale, sottoposto a retrofitting e di nuova realizzazione) alla luce del mix energetico presente nel 2020 e in previsione del mix energetico che sarà utilizzato intorno al 2030, mettendo in risalto l'importanza dell'idrogeno "verde", ossia l'idrogeno ottenuto dall'idrolisi dell'acqua utilizzando elettricità prodotta con fonti di energia rinnovabili. L'idrogeno verde è importante, come vettore energetico e per garantire l'immagazzinamento e l'eventuale trasporto di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili che altrimenti non verrebbe sfruttata.

Lo studio analizza l'intero ciclo di vita delle diverse macchine, dalla produzione dei componenti, assemblaggio, utilizzo e smantellamento finale, includendo l'energia utilizzata, combustibili, i trasporti e la manutenzione secondo i mix energetici 2020 e 2030. I 3 edifici sono rappresentati da diversi valori di trasmittanza e richiedono dunque carichi termici diversi differenti, inoltre hanno sistemi radianti diversi che richiedono differenti temperature di mandata (65° per i radiatori dell'edificio vecchio, 55° per i radiatori dell'edificio sottoposto a retrofitting e 35° per i pannelli radianti sottopavimento dell'edificio nuovo), sottoposti ad una curva climatica in funzione della temperatura esterna. Il mix energetico del 2020 e quello stimato del 2030 è rappresentato nella [seguinte tabella] e in seguito, nella [tabella numero] son mostrati i consumi e le performance energetiche stimate.

Tabella 8: mix energetico 2020 e stimato 2030 paesi UE

Source	2020 [GWh _{el}]	2020 [%]	2030 [GWh _{el}]	2030 [%]
Nuclear energy	772 986	23.0 %	777 743	22.0 %
Coal	767 262	22.9 %	562 741	16.0 %
Oil	21 835	0.7 %	19 341	0.5 %
Gas	580 999	17.3 %	654 930	18.6 %
Biomass-waste	213 112	6.3 %	283 469	8.0 %
Hydro	375 589	11.2 %	378 979	10.7 %
Wind	462 720	13.8 %	608 460	17.2 %
Solar	154 722	4.6 %	232 129	6.6 %
Geothermal	8 461	0.3 %	9 736	0.3 %
Total	3 357 685	100.0 %	3 527 528	100.0 %

Tabella 9: consumi e performance energetiche dei 3 edifici per caldaia a condensazione (CB), Pompa di calore ad assorbimento (GHP) e pompa di calore elettrica (EHP)

Indicator	CB	GHP	EHP
Electricity [kWh / (m ² year)]	0.6 (old)	7.4 (old)	117.9 (old)
	0.4 (renovated)	3.2 (renovated)	45.1 (renovated)
	0.4 (new)	2.1 (new)	22.0 (new)
Natural gas or Hydrogen [kWh / (m ² year)]	290.9 (old)	196.4 (old)	–
	107.2 (renovated)	71.2 (renovated)	–
	61.3 (new)	40.6 (new)	–
Seasonal Gas Utilization Efficiency (SGUE)	0.90 (old)	1.33 (old)	–
	0.90 (renovated)	1.35 (renovated)	–
	0.91 (new)	1.37 (new)	–
Seasonal Coefficient of Performance (SCOP) or Seasonal Auxiliary Energy Efficiency (SAEF)	403.4 (old)	35.2 (old)	2.21 (old)
	251.6 (renovated)	30.2 (renovated)	2.13 (renovated)
	155.5 (new)	26.2 (new)	2.52 (new)
HHV natural gas [kWh / Nm ³]	11.2	11.2	–
Density natural gas [kg / Nm ³]	0.80	0.80	–
HHV hydrogen [kWh / Nm ³]	3.54	3.54	–
Density hydrogen [kg / Nm ³]	0.09	0.09	–

I risultati ottenuti, con un coefficiente di performance stagionale maggiore di 2,1 per le pompe di calore elettriche tradizionale, le garantiscono il minor impatto ambientale mentre nel 2030, la pompa di calore ad assorbimento sarà la scelta ottimale per i 3 differenti edifici, in quanto è possibile l'utilizzo di idrogeno come gas nel ciclo di

assorbimento e una migliore curva climatica, più in linea con il mix energetico previsto per il prossimo decennio.

Inoltre è importante notare che per ognuno degli scenari analizzati, la parte del ciclo di vita più impattante a livello climatico è la fase di utilizzo della macchina (90% in media nel 2020 e 93% nel 2030), l'utilizzo di idrogeno verde per le macchine ad assorbimento oltre che come stoccaggio temporaneo di energia elettrica riduce la produzione di CO₂ per il riscaldamento e l'acqua calda da 0,20-0,28 a 0,07-0,09 kg CO₂ equivalente per kWh di energia; dove le diminuzioni migliori si hanno per le pompe di calore ad assorbimento e le minori si hanno per le caldaie a condensazione.

Abbinamento della PDC ad un impianto fotovoltaico.

Sebbene la Pompa di calore, sia più efficiente in termini assoluti di una moderna caldaia a condensazione, [16], è comunque una macchina funzionante con l'apporto di un'importante quantità di energia elettrica e, considerando il mix energetico Italiano ed Europeo, attualmente non permette di raggiungere l'obiettivo di completa decarbonizzazione dell'edificio ne, soprattutto nelle aree climatiche più critiche, consente un risparmio economico considerevole agli utenti, in quanto il prezzo dell'energia elettrica è intrinsecamente legato a quello del gas.

È dunque possibile, ai fini di conseguire questi obiettivi, legare la pompa di calore a sistemi di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, come impianti fotovoltaici e, dove possibile, turbine a vento, migliorando l'efficienza complessiva dell'impianto e riducendo considerevolmente la quantità di energia elettrica necessaria per l'importazione dalla rete elettrica. Qualora come nel caso del fotovoltaico, le curve di produzione e di utilizzo dell'energia elettrica non fossero sovrapponibile è necessario ricorrere a sistemi di accumulo dell'energia elettrica, con batterie o accumuli dell'energia termica come

batterie termiche o serbatoi d'acqua; questi ultimi permettono di scaldare una notevole quantità di fluido termovettore ad alta temperatura e di poterla utilizzare nel momento in cui l'utente la richiede, permettendo di ottimizzare i tempi di produzione sfruttando al massimo l'energia rinnovabile gratuita e minimizzare il prelievo di energia elettrica dalla rete.

In uno studio del 2021, Andreas Heinz e Renè Riberer [17] effettuano un'analisi economica ed energetica sull'installazione di un impianto fotovoltaico e di un accumulo d'acqua calda a sostegno di una pompa di calore aria-acqua su un edificio sottoposto ad intervento di riqualificazione ma che ha mantenuto i corpi radianti precedentemente installati adatti a lavorare ad alta temperatura. La sostituzione dei corpi radianti con radiatori ad alta superficie, ventilconvettori o impianti a pavimento, sarebbe uno strumento utile per adattare al meglio l'impianto alle basse temperature di mandata delle pompe di calore rispetto alle caldaie a condensazione o tradizionali; tuttavia, esso, a causa degli elevati costi e alla complessità degli interventi che possono scaturirne, spesso non viene preso in considerazione durante gli interventi di riqualificazione. Questo comporta la necessità, per le pompe di calore, di lavorare con temperature di mandata elevate rispetto a quelle economiche andando a compromettere il COP delle stesse e richiedendo una quantità di energia elettrica maggiore. Un impianto a pannelli radianti a pavimento richiede normalmente temperature di mandata di 35-40°C contro i 60-70°C dei radiatori convenzionali; questo a causa della maggior superficie di scambio termico con l'ambiente che garantisce lo stesso scambio termico con delta di temperatura minori. Secondo diversi studi citati, nonostante le alte temperature di esercizio, l'accoppiamento della PDC ad impianti fotovoltaici e accumuli termici è in grado di portare risparmi (di energia

elettrica prelevata dalla rete) dal 11% al 42% per edifici residenziali monofamiliari, a seconda del dimensionamento dell'accumulo e dell'impianto FV nonché della temperatura esterna media ambientale e dalla disponibilità di illuminamento solare durante la stagione termica.

Prendendo come riferimento un edificio residenziale monofamiliare di dimensioni medio-grandi (185 m²) collocato in Europa Centrale e sottoposto ad intervento di retrofitting per la riduzione delle dispersioni termiche, dotato di una PDC aria-acqua a propano (R290) per la produzione di acqua calda sanitaria e per il riscaldamento, ma con i sistemi radianti tradizionali, è stato possibile stabilire che abbinando alla Pompa di calore un impianto fotovoltaico e un accumulo da 1000 litri il prelievo di energia elettrica dalla rete sia circa pari o poco inferiore a quello dello stesso edificio, sottoposto allo stesso intervento di retrofitting, senza pannelli FV e accumulo ma con la sostituzione dei radiatori con un impianto a pavimento a bassa temperatura.

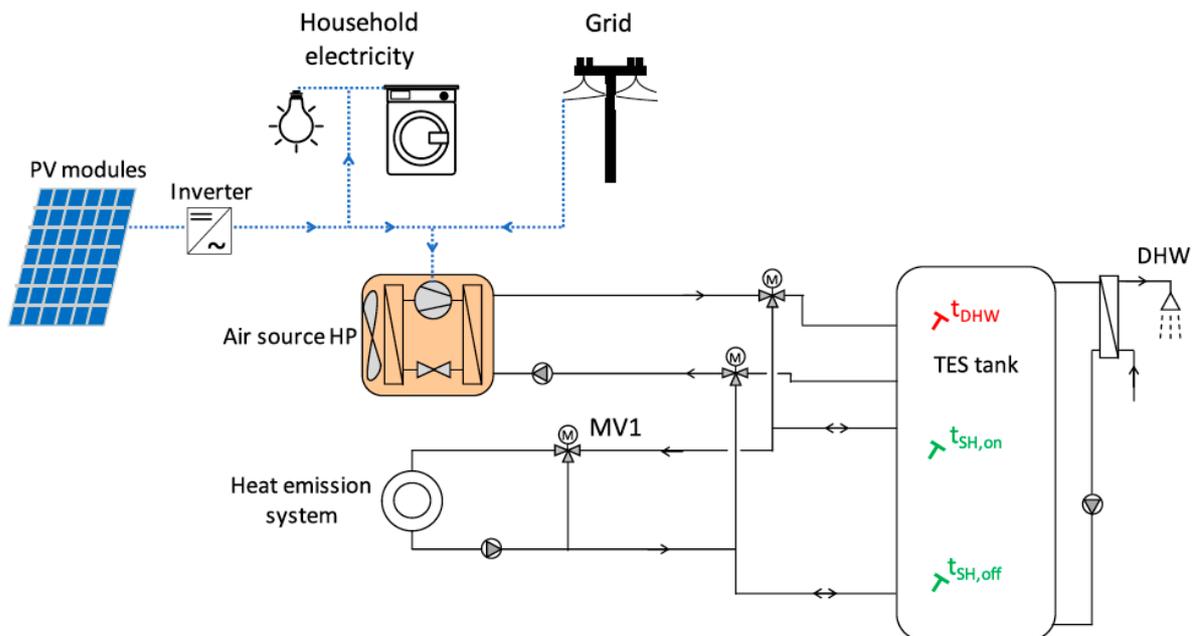


Figura 10: schema impianto PDC con fotovoltaico e accumulo [17].

L'accumulo termico è previsto in parallelo all'impianto di distribuzione del fluido termovettore, in modo da poter, tramite opportune valvole miscelatrici, prelevare fluido ad alta temperatura riducendo il lavoro della pompa di calore quando non si ha la possibilità di utilizzare energia proveniente dall'impianto fotovoltaico.

Pompe di calore a propano R290

Un'ulteriore aria di efficientamento e di studio delle pompe di calore è l'utilizzo del fluido refrigerante più idoneo per le diverse applicazioni [18] tenendo sotto controllo due fattori principali:

- Impatto ambientale del fluido refrigerante durante il suo ciclo di vita: produzione, vita utile, smaltimento, tenendo presente il rischio di eventuali dispersioni
- Temperature di utilizzo del fluido

_Il range delle temperature di utilizzo del gas propano R290 più elevato
_Possibilità di gestire temperature di mandata più elevate (70°C), mantenendo COP elevati e garantendo dunque un miglior utilizzo dell'energia primaria (utile quando l'edificio non dispone di sistemi radianti a bassa temperatura come pannelli radianti o radiatori ad alta superficie).

Il Caso studio: Via Nizza 26, Torino.

Via Nizza 26 è un caso studio ottimale in quanto è un intervento di retrofit completo di un edificio di tipo misto residenziale-ricettivo che va a toccare molti dei punti chiave delle direttive sopra descritte.

L'intervento, infatti, va in prima battuta a ridurre il fabbisogno di energia primaria dell'edificio per i servizi di riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria grazie alla facciata ventilata e ai nuovi serramenti, in secondo luogo va ad ottimizzare la produzione di energia con un impianto a pompa di calore che elimina le emissioni locali di CO₂, sfrutta una parte di energia rinnovabile, grazie all'apporto dell'impianto fotovoltaico installato ed infine è completamente controllabile e gestibile dall'utente finale grazie al sistema di building automation, che oltre a permettere all'utente di impostare le temperature ed i flussi d'aria nei propri locali, lo informa sui propri consumi, con l'obiettivo di sensibilizzarlo al risparmio energetico. L'edificio, grazie all'intervento di retrofitting, è passato alla classe di efficienza energetica A3, la seconda miglior classe tra quelle attualmente previste negli attestati di prestazione energetica e in cui rientrano meno del 5% degli edifici residenziali italiani. Il consumo annuale calcolato è di circa 83kWh/m² annuo e ha migliorato enormemente la sua funzionalità ed efficienza, diventando un edificio moderno, proiettato al futuro e che garantisca agli inquilini un ambiente confortevole, sicuro, adattabile e con spese e consumi ridotti.

Isolamento termico

Per quanto riguarda la diminuzione delle dispersioni l'impianto è stato rivisto l'involucro edilizio dotando l'edificio di una facciata ventilata sui quattro lati dello stesso e di nuovi serramenti a doppio vetro a sostituzione dei precedenti a singolo vetro.

Le 4 facciate dell'edificio sono caratterizzate da due principali pareti con due stratigrafie leggermente differenti:

La facciata principale, realizzata lungo le pareti principali dell'edificio e la facciata sotto serramento; collocata al di sotto dei serramenti dell'edificio stesso.



Figura 11: aspetto dell'edificio pre-retrofit

La facciata principale è costituita principalmente dallo strato in C.L.S armato che costituiva lo strato esterno dell'edificio precedentemente all'intervento di retrofit; all'interno dell'edificio è presente un sottile strato di lana di roccia ed un rivestimento in cartongesso dotato di intercapedine non ventilata. All'esterno dello strato in CLS è stato applicato un pannello in lana di vetro di circa 14cm di spessore. Tra il pannello in lana di vetro ed il rivestimento esterno in pannelli è presente un'intercapedine debolmente ventilata di 40mm. L'intercapedine debolmente ventilata facilita la circolazione dell'aria favorendo la dissipazione del calore in estate e ostacolando la formazione di aree umide.

Nella figura sottostante è riportata la stratigrafia della parete; gli strati da 1 a 5 costituiscono la parete originale mentre lo strato di lana di vetro (6), intonaco (7), intercapedine ventilata (8) e rivestimento (9) sono stati aggiunti nell'ambito dell'intervento di riqualificazione. [19]

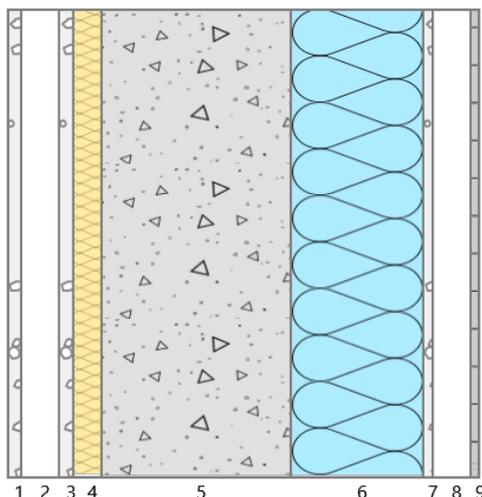


Figura 12: Stratigrafia parete principale

Tabella 10: Stratigrafia pareti principali

Num. Strato	Materiale	Spessore (mm)	Conducibilità (W/mK)
1	Cartongesso in lastre	15,00	0,25
2	Intercapedine non ventilata	40,00	0,22
3	Cartongesso in lastre	15,00	0,25
4	Lana di roccia esistente	30,00	0,04
5	C.L.S. Armato (2% acciaio)	200,00	2,50
6	Pannello in lana di vetro	140,00	0,03
7	Intonaco plastico per cappotto	10,00	0,30
8	Intercapedine debolmente Ventilata	40,00	0,00
9	Piastrelle in ceramica	10,00	1,30

La conducibilità complessiva della parete è di 0,178 (W/m²K) contro i 0,69(W/m²K) precedenti. Lo spessore della parete è stato mantenuto all'interno dei 0,5 metri.

Al di sotto dei serramenti dell'edificio, le pareti principali son sostituite da Tavelloni orizzontali rivestiti con intonaco di gesso e sabbia. La riqualificazione dell'edificio ha comportato il rivestimento con gli stessi materiali utilizzati per il resto dell'edificio usando come finitura una piastrella di rivestimento in colore più chiaro, per riprendere le caratteristiche estetiche del vecchio edificio.

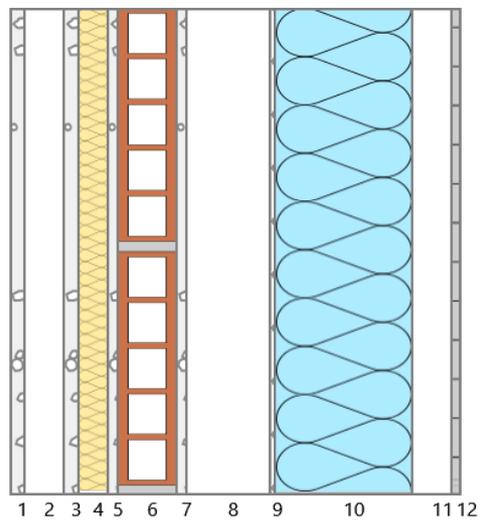


Figura 13: Stratigrafia parete sottofinestra

Tabella 11: stratigrafia pareti sotto-serramento

Num. Strato	Materiale	Spessore (mm)	Conducibilità (W/mK)
1	Cartongesso in lastre	15,00	0,25
2	Intercapedine non ventilata	40,00	0,22
3	Cartongesso in lastre	15,00	0,25
4	Lana di roccia esistente	30,00	0,04

5	Intonaco di gesso e sabbia	10,00	0,80
6	Tavellone strutture orizzontali	60,00	0,43
7	Intonaco di gesso e sabbia	10,00	0,80
8	Intercapedine non ventilata	85,00	0,47
9	Lamiera grecata	5,00	0,49
10	Pannello in lana di vetro	140,00	0,03
11	Intercapedine debolmente Ventilata	40,00	0,00
12	Piastrelle in ceramica	10,00	1,30

Anche in questo caso, è stato possibile mantenere uno spessore contenuto della parete, pari a 0,46 metri ottenendo caratteristiche di isolamento complessivo leggermente migliori rispetto alle pareti principali dell'edificio. La trasmittanza termica delle pareti è pari a 0,17 (W/m²K).

L'intervento ha comportato anche la sostituzione di tutti i serramenti dell'edificio con nuovi serramenti a doppio vetro. Ciò ha comportato la riduzione della trasmittanza per le superficie vetrate da 3,5-4 (W/m²K) a circa 1,2 (W/m²K).

L'edificio ha complessivamente mantenuto l'aspetto e la colorazione originale, ma è ora dotato di un rivestimento esterno in grado di garantire migliori performance energetiche.



Figura 14: Aspetto dell'edificio post-retrofit

Il nuovo impianto

L'impianto si basa su due pompe di calore aria-acqua da 110 kW ciascuna, installate sulla copertura piana dell'edificio; esse, tramite elettrovalvola deviatrice, possono alimentare indipendentemente il

circuito di riscaldamento (o raffrescamento) o il circuito di produzione di acqua calda sanitaria.

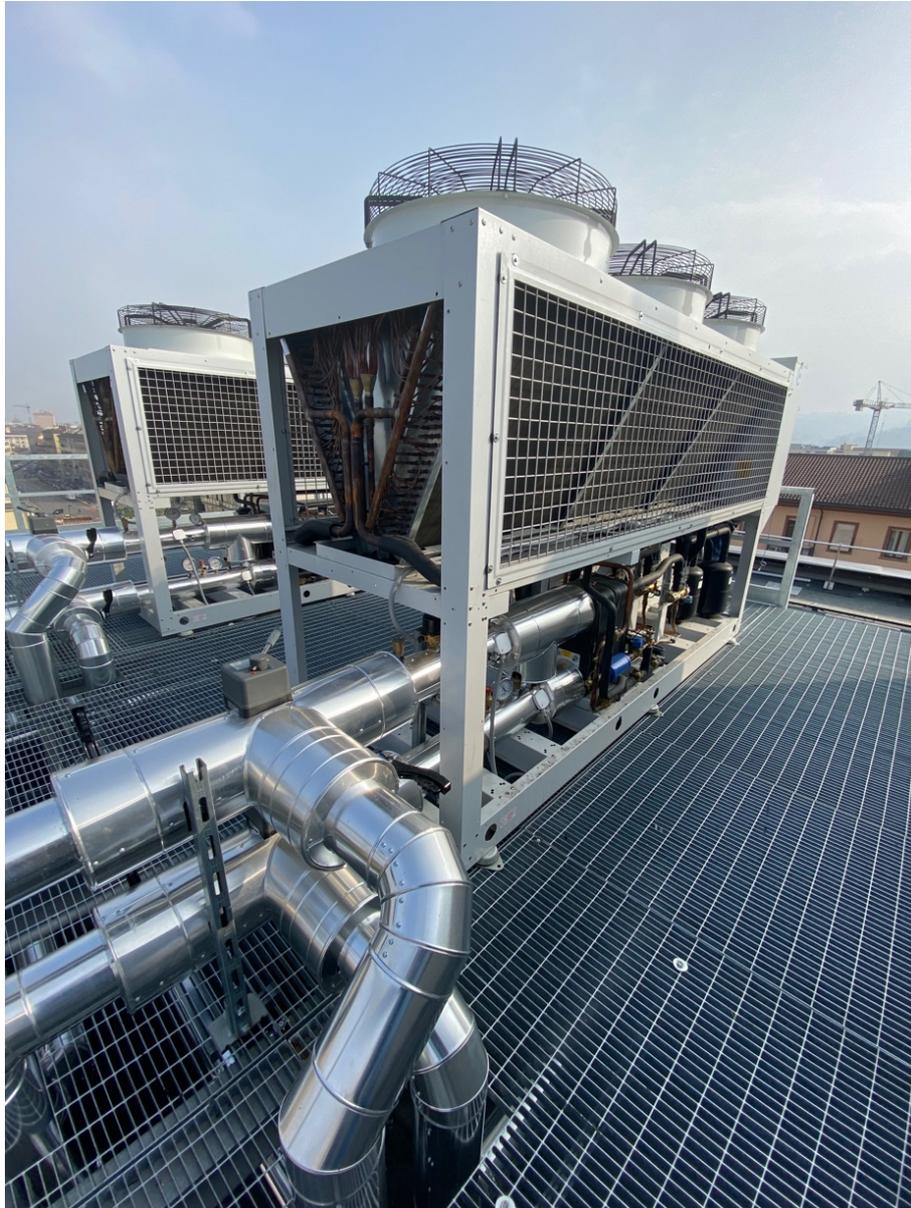


Figura 15: Le pompe di calore Thermocold installate in copertura

Il circuito di riscaldamento possiede, nella sottostazione al piano interrato un accumulo inerziale da 1000 litri e serve, tramite apposito collettore di mandata una rete di distribuzione per i fancoil (collocati

negli ambienti principali delle unità abitative) ed una rete di distribuzione per i radiatori e gli scaldasalviette collocati nei bagni.

Ogni singolo radiatore o Ventilconvettore è dotato di attuatore termostatico controllabile da una centralina installata negli appartamenti; l'utente può predisporre profili di temperatura nell'arco della giornata e della settimana per ogni singolo locale, la misurazione della temperatura è effettuata dalla centralina, posta nel locale principale dell'abitazione o dagli attuatori posizionati sui corpi scaldanti. L'utente, per i VC, può regolare la velocità della ventola, modificando il flusso e la circolazione dell'aria nei locali.

I dati vengono raccolti dalle centraline delle unità abitative e processati da un'unità BMS abbinata ad un sistema di telegestione dell'impianto. Il sistema regola la produzione per soddisfare al meglio le necessità delle singole utenze.

La produzione di ACS avviene tramite due bollitori da 1500 litri ciascuno. Essi dispongono resistenza elettrica integrata da 12kW utilizzabile per interventi quali trattamenti anti-legionella. I bollitori sono dotati di valvola di miscelazione sulla mandata per rendere possibile effettuare surriscaldamenti o mantenimenti dell'ACS a temperature più alte senza pregiudicare il comfort per gli utenti.



Figura 16: La sottostazione al piano interrato

Energie rinnovabili: il fotovoltaico

tramite posa di impianto fotovoltaico in copertura di potenza pari a 20kW.

L'impianto fotovoltaico è dotato di batteria d'accumulo. È in corso di integrazione, sui sistemi di domotica presenti nei locali e sul sistema di gestione dell'impianto un sistema di controllo sulla produzione di energia elettrica e sullo stato dell'accumulo. In questo modo si prevede

di riportare i dati di produzione dell'impianto, di consumo, immissione in rete e gli storici agli utenti e di programmare eventuali interventi energivori dell'impianto (surriscaldamenti dei bollitori, defrosting delle pdc nei momenti di massima disponibilità di energia elettrica) in modo da ridurre al minimo i prelievi dalla rete.

L'impianto di ventilazione preesistente, caratterizzato da un'unità di trattamento aria collocata in quella che è attualmente la sottostazione al piano interrato, è stato ritenuto non recuperabile ed abbandonato per la complessità tecnologica di una sua sostituzione ed i ridotti spazi a disposizione. Sarebbe stata necessaria la posa di una nuova UTA in copertura ma gli interventi ed i costi necessari per costruire una nuova rete di distribuzione hanno reso impossibile la sua realizzazione. È rimasto, tuttavia, l'impianto di estrazione dell'aria.

Il sistema di telegestione e building automation.

Uno dei punti cardine della riqualificazione è stata l'installazione del sistema di building automation per il governo e il controllo degli appartamenti. L'utente, tramite un cronotermostato digitale installato all'ingresso degli alloggi o con l'utilizzo di un'applicazione per smartphone, può interagire con le valvole elettroniche installate negli appartamenti, regolando le temperature desiderate e i profili orari delle valvole termostatiche di ventilconvettori e radiatori, la velocità della ventola (e dunque i flussi d'aria) e può consultare i suoi consumi, per capire in quali aree è possibile migliorare per ottenere un risparmio energetico ed economico. Ogni cronotermostato comunica tramite Wi-fi con le valvole elettroniche e i dispositivi di controllo quali i termogigrometri dell'appartamento nel quale è installato; inoltre, è connesso tramite una linea bus ad un quadro elettrico posto in centrale termica

dove i dati vengono elaborati da un'unità BMS dotata di intelligenza artificiale e trasmessi al server per essere messi a disposizione dell'utente. La BMS si interfaccia direttamente con il sistema di telegestione dell'impianto termico, fornendogli in tempo reale le informazioni di carico richieste dagli utenti e fornendo una termoregolazione rapida ed efficace dell'impianto. Il sistema rispetta i dettami della direttiva europea sull'efficienza energetica 2002/2018, rende disponibile, tramite un'applicazione per smartphone e tablet scaricabile dagli utenti, tutti i dati circa i propri consumi e permette la programmazione e il controllo dei dispositivi installati nel proprio appartamento anche da remoto.



Figura 17: I cronotermostati digitali installati presso le 78 unità immobiliari (CDOM06, PERRY)

Telegestione: la fine dei disservizi.

Durante i mesi autunnali nel 2023, un guasto ad una scheda elettronica ha iniziato ripetutamente a mandare in blocco le pompe di calore, anche più volte durante la giornata; la possibilità di ricevere in tempo reale gli allarmi dei guasti ed una diagnosi preliminare sugli stessi, ha permesso agli addetti alla manutenzione dell'impianto di intervenire tempestivamente, permettendo, anche grazie alle caratteristiche di inerzia termica e ridondanza dell'impianto, ma soprattutto all'isolamento dell'edificio, minime, se non trascurabili interruzioni del servizio.

06/11/2023 12:54	Via Nizza 26 PDC	Cessato	Blocco PDC 1	Allarme	   
06/11/2023 12:43	Via Nizza 26 PDC	Attivato	Blocco PDC 1	Allarme	   
04/11/2023 08:12	Via Nizza 26 PDC	Cessato	Blocco PDC 2	Allarme	   
04/11/2023 04:20	Via Nizza 26 PDC	Attivato	Blocco PDC 2	Allarme	   
01/11/2023 22:07	Via Nizza 26 PDC	Cessato	Blocco PDC 2	Allarme	   
01/11/2023 22:05	Via Nizza 26 PDC	Attivato	Blocco PDC 2	Allarme	   

Figura 18: Allarmi Pompe di calore, immagine tratta dal sistema di telegestione.

Efficienza energetica, i consumi dell'impianto.

A fronte dell'intervento di riqualificazione ed efficientamento energetico realizzato e della possibilità di monitorare i consumi attraverso il sistema di telegestione, è stato possibile realizzare una prima analisi consumi, mettendo a confronto i consumi dell'edificio prima e dopo l'intervento di riqualificazione.

I dati riferiti allo stato pre-retrofit sono stati ricavati dalle bollette energetiche fornite dall'amministrazione del condominio mentre i dati riferiti allo stato post-retrofit sono stati ricavati dalla telegestione dell'impianto che pubblica giornalmente sul server Computherm i valori registrati dai contatori di energia termica per raffrescamento, riscaldamento e produzione ACS in centrale ed elettrica sull'alimentazione delle pompe di calore.

Come prima cosa son stati valutati i consumi dell'impianto pre-retrofit; Avendo a disposizione le sole bollette energetiche relative all'energia elettrica ed il report relativo ai consumi di gas metano per la stagione termica 2021/2022 è stato necessario compiere alcune assunzioni:

- L'energia termica complessiva necessaria per i servizi di riscaldamento e acqua calda sanitaria è stata ottenuta considerando i metri cubi di gas metano consumato dalle 4 caldaie a condensazione, pari a 46000 metri cubi ed applicando il calcolo previsto dalla norma UNI 11300 per il gas metano, ottenendo un consumo pari a circa 435 MWh di energia termica.

- Si ritiene che circa il 75% dell'energia termica fosse destinata al servizio del riscaldamento, mentre il 25% fosse destinato alla produzione di acqua calda.

Tabella 12: Consumi riscaldamento pre-retrofit

Consumo	Pre-retrofit (kWh)
Totale	435000
Riscaldamento	335000
ACS	100000

- Per quanto riguarda il servizio di raffrescamento, grazie ad alcune bollette energetiche è stato possibile ricostruire i consumi elettrici e dunque l'energia termica consumata dall'impianto pre-retrofit per il periodo estivo 2021 corrispondente ai mesi di giugno, luglio, agosto e settembre. Si è stimato un EER medio pari a 3,3.

Tabella 13: Raffrescamento: Pre-retrofit

Periodo	Pre-retrofit (kWh_el)	Pre-retrofit (MWh_ter)
Giugno	6850	22,61
Luglio	8826	29,13
Agosto	8978	29,63
Settembre	7423	24,50

È dunque possibile confrontare l'energia termica consumata dall'edificio per il servizio del raffrescamento prima e dopo l'intervento di retrofit; L'utilizzo di energia termica per il servizio è diminuito mediamente del 30%; i picchi di consumo si sono riscontrati durante la seconda metà di agosto per via del considerevole aumento delle temperature medie.

Tabella 14: Raffrescamento, confronto pre-post-retrofit

RAFFRESCAMENTO			
Periodo	Consumi pre retrofit [MWh]	Consumi Post retrofit [MWh]	Variazione %
Giugno	22,61	17,99	20%
Luglio	29,13	21,53	26%
Agosto	29,63	24,37	18%
Settembre	24,50	10,79	56%

Per quanto riguarda il riscaldamento, sono stati calcolati i seguenti consumi riferiti all'edificio pre-retrofit, con i picchi di consumo nei mesi di dicembre e gennaio.

Tabella 15: Riscaldamento, consumi mensili pre-retrofit

RISCALDAMENTO – PRE-RETROFIT	
Mese	Pre-retrofit [MWh]
gennaio	92,46
febbraio	58,82
marzo	28,68
aprile	14,02
ottobre	12,32
novembre	46,72
dicembre	81,71
Totale	334,72

Il monitoraggio del servizio di riscaldamento è ancora in corso in quanto il collaudo dell'impianto, con l'allineamento dei contatori e la messa in funzione definitiva del sistema di telegestione dell'impianto è stato effettuato alla fine del mese di marzo 2023. Tuttavia, è stato possibile ricavare i seguenti consumi:

- I. Aprile 2023: 12 MWh termici

- II. Ottobre 2023: 8,3 MWh termici
- III. Novembre 2023: 20,8 MWh termici

Sebbene i dati siano ancora insufficienti per poter delineare un andamento consistente, è importante notare come nel mese di novembre sia registrabile una notevole diminuzione nel consumo di energia termica, dovuta alle migliori caratteristiche di isolamento termico dell'edificio e alle temperature esterne sopra la media del periodo.

Prendendo in considerazione i dati di consumo previsti in fase progettuale è evidenziabile una riduzione media del 28,35% dei consumi.

Tabella 16: riscaldamento, confronto pre-post-retrofit

RISCALDAMENTO		
Mese	Pre-retrofit [MWh]	Post-retrofit [MWh]
gennaio	96,46	69,26
febbraio	64,82	46,55
marzo	26,68	19,16
aprile	4,02	2,89
ottobre	8,32	5,98
novembre	48,72	34,99
dicembre	85,71	61,55
Totale	335	240

Riassumendo i risultati conseguiti dall'analisi consumi è evidenziabile una sensibile diminuzione dei consumi di energia termica utilizzata per il servizio di raffrescamento estivo dell'edificio, pari al 30%.

Inoltre, l'utilizzo di energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico dell'edificio garantisce in questo periodo un importante risparmio di energia primaria importata dalla rete per i servizi di raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria. Nelle tabelle sottostanti sono riportati la produzione di energia elettrica dal fotovoltaico prevista in fase progettuale e i consumi di energia elettrica registrati nell'estate 2023 per i servizi di raffrescamento e produzione ACS.

Tabella 17: Produzione prevista fotovoltaica mensile

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
812	1163	1839	2307	2835	3128	3429	2977	2185	1475	797	702

Tabella 18: Percentuale energia rinnovabile utilizzata

Periodo	Post-retrofit complessivo (kWh_el)	Post-retrofit rinnovabile (kWh_el)	% rinnovabile
Giugno	7187	3128	44%
Luglio	8961	3429	38%
Agosto	9943	2977	30%
Settembre	7186	2185	30%

La percentuale di energia rinnovabile utilizzata è maggiore nel mese di giugno, sfiorando il 45% dell'energia complessiva utilizzata. La percentuale va a diminuire sensibilmente nei mesi successivi per l'aumentare dei carichi elettrici richiesti per il raffrescamento e per la diminuzione dell'incidenza dei raggi solari sui pannelli fotovoltaici.

Per avere il quadro complessivo dei consumi registrati dall'impianto per i servizi di riscaldamento e acqua calda sanitaria sarà necessario attendere la fine della stagione termica 2023/2024 in modo da avere il quadro complessivo dei consumi dell'impianto nel periodo del riscaldamento e nell'anno per l'acqua calda sanitaria. I dati fino ad ora

registrati suggeriscono comunque consumi notevolmente inferiori rispetto ai valori pre-retrofit dell'edificio ed in alcuni frangenti, inferiori rispetto ai valori stimati in fase di progetto.

L'indicatore SRI

Con l'obiettivo di misurare la predisposizione, la prontezza tecnologica degli edifici, la EPBD del 2018 ha introdotto un indicatore comune europeo, chiamato SRI (Smart readiness indicator). Questo strumento assolve il compito di: "misurare la capacità degli edifici di usare le tecnologie dell'informazione e della comunicazione e i sistemi elettronici per adeguarne il funzionamento alle esigenze degli occupanti e alla rete e migliorare l'efficienza energetica e la prestazione complessiva degli edifici". L'obiettivo dell'indicatore è anche quello di sensibilizzare gli occupanti sull'automazione e sul monitoraggio degli edifici, rassicurandogli sui risparmi reali e aiutandoli a "ottimizzare" l'utilizzo dei servizi in base al comfort e al risparmio energetico ed economico. [3]

L'indicatore, dunque, misura la prontezza tecnologica degli edifici nei seguenti ambiti:

- ◇ Adattarsi alla necessità degli occupanti, tenendo comunque l'attenzione a mantenere un ambiente confortevole e salutare.
- ◇ Ottimizzare il consumo di energia e mantenere performance energetiche adeguate, anche con l'utilizzo di fonti rinnovabili.
- ◇ Prevedere guasti, manutenzioni e mantenere un funzionamento efficiente
- ◇ Adattarsi ed essere flessibile in risposta alla situazione elettrica esterna della rete

L'indicatore SRI è stato introdotto dalla Commissione Europea, con l'obiettivo di creare un unico indicatore per comparare il grado di prontezza tecnologica presente in un determinato edificio e promuoverne il miglioramento. Ogni stato membro ha il compito di

recepirlo e promuoverne l'utilizzo ai fini di delineare la direzione da seguire per raggiungere un adeguato grado di efficientamento energetico e flessibilità.

Multi criteria method

Come stabilito dal regolamento delegato UE 2020/2155 ad integrazione della direttiva 2010/31/UE del parlamento europeo [20], il calcolo dell'indice SRI è effettuato tramite un "metodo di valutazione multi criterio", che si basa sull'esame dei servizi smart presenti o in fase di progettazione, ponendo l'attenzione su quelli considerati importanti per determinati classi di edifici od unità immobiliare; il calcolo, è implementabile su edifici con caratteristiche non residenziali o residenziali, edifici multifamiliari e monofamiliari, di nuova realizzazione o sottoposti a intervento di riqualificazione. È importante considerare che il calcolo dell'indicatore SRI è slegato da indici di prestazione energetica eseguiti tramite APE.

Metodi A- B - C

Per effettuare il calcolo dell'indicatore sono stati definiti tre distinti metodi A, B, C classificati in base alla specializzazione dell'analisi e alla quantità di tempo impiegato [21]. Per edifici non particolarmente complessi, è possibile ottenere un risparmio di tempo e costi impiegando il metodo A, senza occorrere in particolari imprecisioni. Generalmente il metodo A viene utilizzato per piccoli edifici di natura residenziale mentre il metodo B per edifici residenziali complessi o edifici non residenziali. Il metodo C permette invece di analizzare nel dettaglio i sistemi più avanzati e complessi dell'edificio. I metodi A e B utilizzano, come si evince dalla tabella sottostante, un approccio di tipo checklist, differenziandosi per l'utilizzo di una lista più semplificata di

servizi (metodo A) o un catalogo completo (metodo B); entrambi i metodi possono essere auto-ese­guiti, il metodo B richiede che sia una persona esperta in materia per l’ese­cu­zione del calcolo e richiede altresì di effettuare sopralluoghi dell’edificio con un esperto qualificato per poter verificare e testare i servizi analizzati ed ottenere la certificazione del calcolo dell’indicatori.. Il metodo C si basa su dati misurati sull’edificio in uso, a volte su un gruppo ristretto di domini di interesse. Il calcolo viene eseguito basandosi sui dati ricavati da TBS e BA.

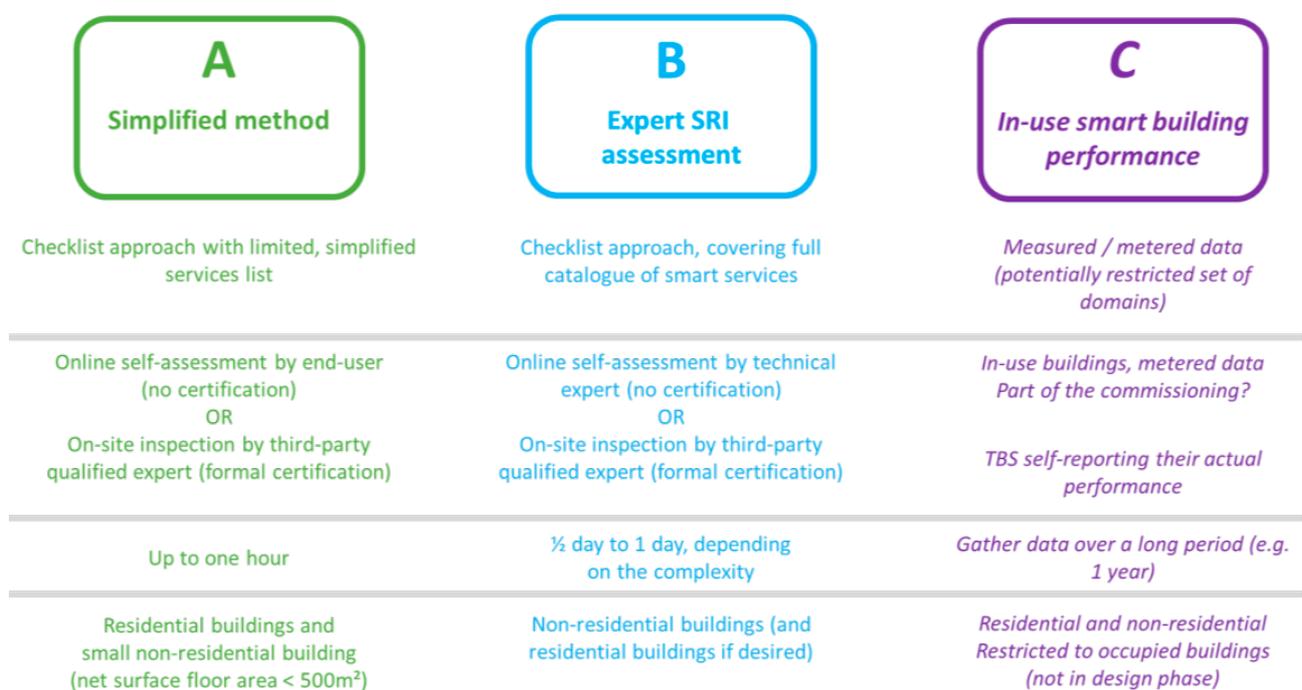


Figura 19: First technical study; i metodi A-B-C

I metodi variano anche per quanto riguardano le tempistiche, si parla di un’ora per quanto riguarda il metodo A, 1 giorno per quanto riguarda il metodo B e una lunga analisi (es. 1 anno) per quanto riguarda il metodo C.

I metodi B e C sono applicabili ad ogni tipologia di edificio (è necessario, per il metodo C che l’edificio sia occupato ed in uso) mentre è preferibile

applicare il metodo A solo su edifici residenziali e edifici non residenziali non particolarmente complessi e di piccole dimensioni, questo per non commettere errori grossolani utilizzando un metodo semplificato per il calcolo.

È importante considerare che lo SRI è uno strumento tutt'ora in fase di sviluppo ed evoluzione, è pertanto importante considerare la possibilità di adattarlo nel corso del tempo per includere nuovi servizi, domini o verificare i risultati in caso vengano proposte modifiche più o meno importanti; uno degli obiettivi dello strumento (SRI) è di evolversi in un più sofisticato e meno intrusivo processo di valutazione eventualmente in grado di utilizzare sistemi BIM (building information models), report dal sistema di BA ed eventualmente schemi di servizi preimpostati per indirizzare rapidamente l'operatore nella direzione più corretta durante lo svolgimento della valutazione.

Data la natura complessa, sebbene residenziale, dell'edificio oggetto del calcolo, con numerosi servizi considerabili e sistemi importanti, si è preferito utilizzare largamente il metodo B per il calcolo dell'indicatore SRI, effettuando solo un confronto con il calcolo semplificato A. Il calcolo è eseguito basandosi soprattutto sui dati di progetto dell'edificio, sul capitolato realizzato in cui sono descritti in maniera articolata i sistemi installati, il loro funzionamento e le loro possibilità e su ispezioni volte in sito per il collaudo dell'impianto in cui è stato possibile verificare il corretto funzionamento del sistema di BA e verificare il dialogo tra le varie componenti (domotica, telegestione, impianti).

Definizione di impatti e domini

Il metodo di calcolo proposto è strutturato su 9 domini tecnici e 7 criteri d'impatto. I 9 domini tecnologici da considerare sono i seguenti:

1. Riscaldamento
2. Raffrescamento
3. Produzione acqua calda sanitaria
4. Ventilazione
5. Illuminazione
6. Involucro edilizio dinamico
7. Energia elettrica
8. Ricarica dei veicoli elettrici
9. Monitoraggio e controllo

Per ognuno dei domini presentati, sono disponibili liste di servizi che possono essere presenti ed applicati nell'edificio. Per il dominio: Riscaldamento, ad esempio sono presenti 10 servizi valutabili; compito dell'operatore è individuare i servizi presenti, valutare se competono alla determinazione complessiva dell'indice SRI ed assegnare un livello di funzionalità da 0 a 2 (3,4) a seconda della complessità del servizio. Alcuni dei dieci servizi associati al dominio riscaldamento sono i seguenti, all'interno delle parentesi sono riportati i range di livelli di funzionalità possibili).

H1-a: controllo delle emissioni di calore (0-4)

H2-d: controllo dei generatori di calore (per PDC) (0-3)

H3: report di informazioni all'utente (0-4)

H4: flessibilità ed integrazione nella rete (0-4)

I 7 criteri, invece, visualizzabili nella figura 20 sono i seguenti:

1. Efficienza energetica
2. Manutenzione e previsione dei guasti
3. Comfort
4. Comodità
5. Salute, benessere e accessibilità
6. Informazione agli occupanti
7. Flessibilità energetica e stoccaggio dell'energia.

I 7 criteri possono per semplicità essere raccolti in 3 macro-criteri:

- I. Ottimizzazione, efficienza energetica e performance complessiva.
- II. Adattamento delle attività alle necessità degli occupanti.
- III. Adattamento ai segnali della rete (flessibilità energetica).



Figura 20: [da practical guide SRI calculation framework] - 7 criteri d'impatto.

Procedura di calcolo

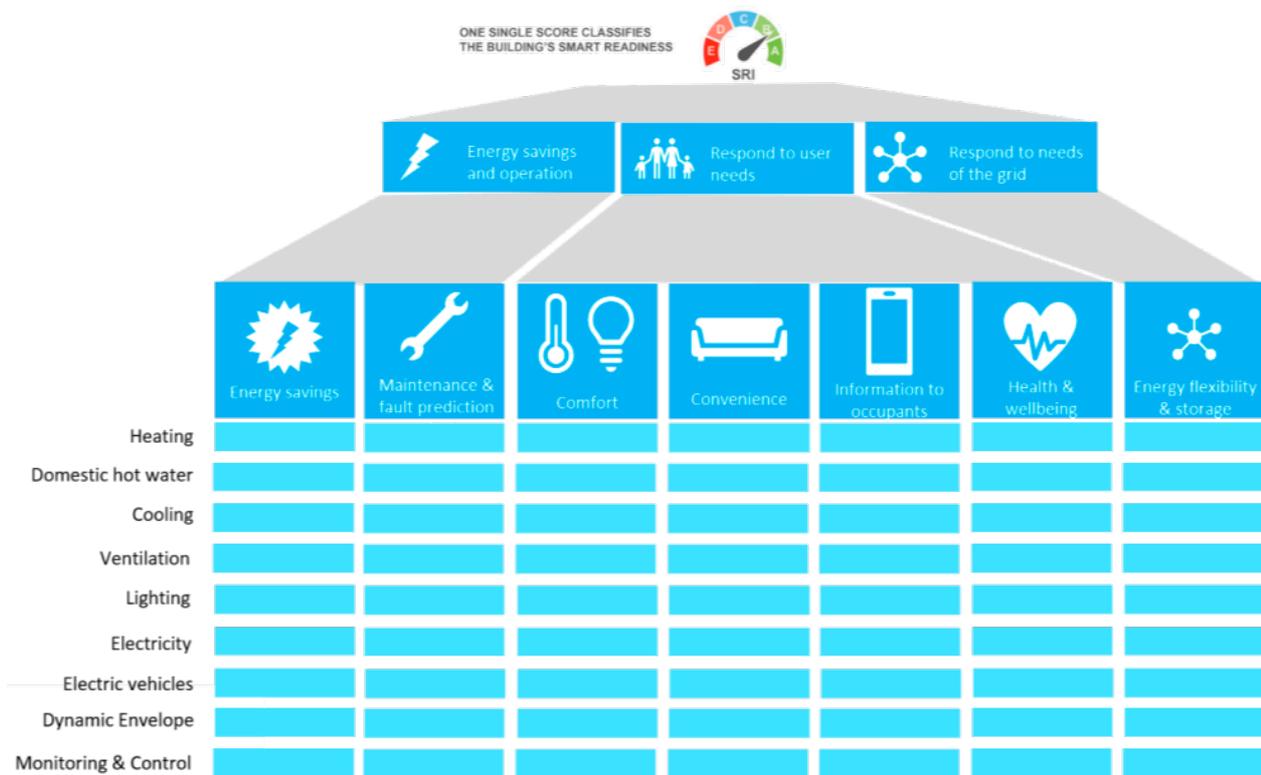


Figura 21: First technical study; impatti, domini SRI

Il primo passo nell'identificazione dello SRI, come descritto nel paragrafo precedente, è l'esame dei servizi forniti dai domini tecnologici e del loro livello di funzionalità per determinarne con sufficiente accuratezza la loro presenza, utilità e un punteggio specifico per ogni servizio. Più il punteggio è alto, più il servizio è Smart e più impatterà sul massimo punteggio ottenibile.

Una volta che l'impatto di tutti i servizi considerabili è stato valutato, viene calcolato un punteggio aggregato per ogni dominio considerato nel calcolo. Questo Punteggio è calcolato come percentuale tra il singolo punteggio dei domini e il massimo teorico punteggio dagli stessi.

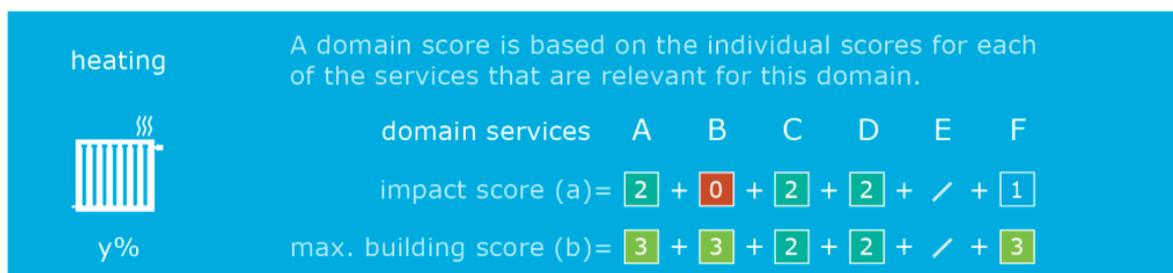


Figura 22: First Technical study; calcolo del punteggio per un dominio

Una volta calcolato il valore dei 9 domini, tramite una matrice di calcolo, si ottengono i valori dei 7 criteri di impatto dell'edificio. I 7 criteri di impatto sono sintetizzabili in 3 macroaree di impatto: Edificio, Utente, rete; queste tre categorie contribuiscono in egual peso all'indicatore SRI. Quando possibile, i pesi ponderati derivano da uno studio energetico dell'edificio; questo permette di dare più importanza a determinati domini a seconda della collocazione geografica dell'edificio, per un edificio collocato nel nord Europa il riscaldamento avrà un impatto e un peso specifico maggiore rispetto ad un edificio collocato nel sud dell'Europa, in cui avrà un peso specifico maggiore il raffrescamento degli ambienti. Oltre alla collocazione geografica, anche diverse tipologie di edifici (residenziali, uffici o attività produttive) avranno necessità differenti e dunque il metodo propone pesi specifici differenti.

Nelle figure sottostanti [n. figura] e [n. figura] è riportata una proposta di pesi specifici, è importante notare che alcuni di essi sono fissati, alcuni criteri di impatto sono ripartiti in modo equo tra i vari domini che li interessano mentre una parte è dipendente dalla zona climatica in cui sorge l'edificio. I valori contenuti in quest'area sono stati ottenuti dai dati statistici nazionali forniti dal BSO "Building Stock Observatory" e si basano sull'importanza e sull'impatto che ha un determinato servizio piuttosto che un altro. Le 5 aree geografiche definite sono le seguenti:

- ◇ Nord Europa: Danimarca, Finlandia, Islanda, Norvegia, Svezia
- ◇ Ovest Europa: Austria, Belgio, Francia, Germania, Irlanda, Lichtenstein, Lussemburgo, Olanda, Svizzera, Regno Unito
- ◇ Sud Europa: Cipro, Grecia, Italia, Malta, Portogallo, Spagna.
- ◇ Nordest Europa: Repubblica Ceca, Estonia, Lettonia, Lituania, Slovacchia.
- ◇ Sudest Europa: Bulgaria, Croazia, Ungheria, Romania, Slovenia.



Figura 23: First Technical Study; divisione aree climatiche UE (incluso regno Unito)

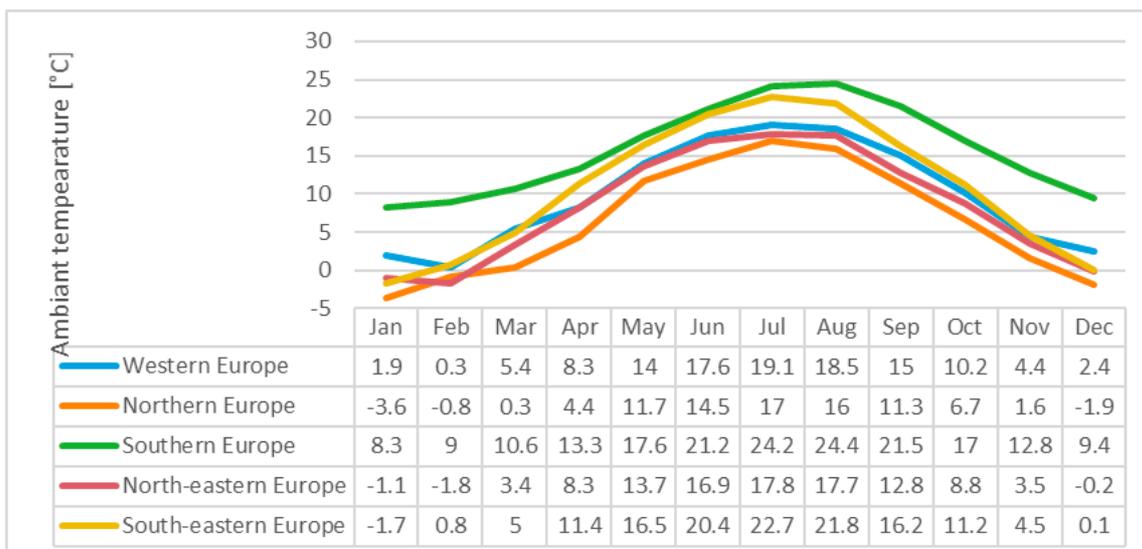


Figura 24: First Technical study; Temperature medie nelle zone climatiche considerate

Nei fogli di calcolo utilizzati per la determinazione dello SRI per il caso studio di Via Nizza 26, è comunque possibile, modificare i singoli pesi assegnati in base a servizi specifici e particolari necessità degli occupanti o dell'edificio. È anche possibile, tra le altre cose, modificare la lista di servizi considerati considerando servizi aggiuntivi non compresi nella lista standard ed eliminando dal procedimento servizi non ritenuti obbligatoriamente necessari ed impattanti sull'utilizzo dell'edificio.

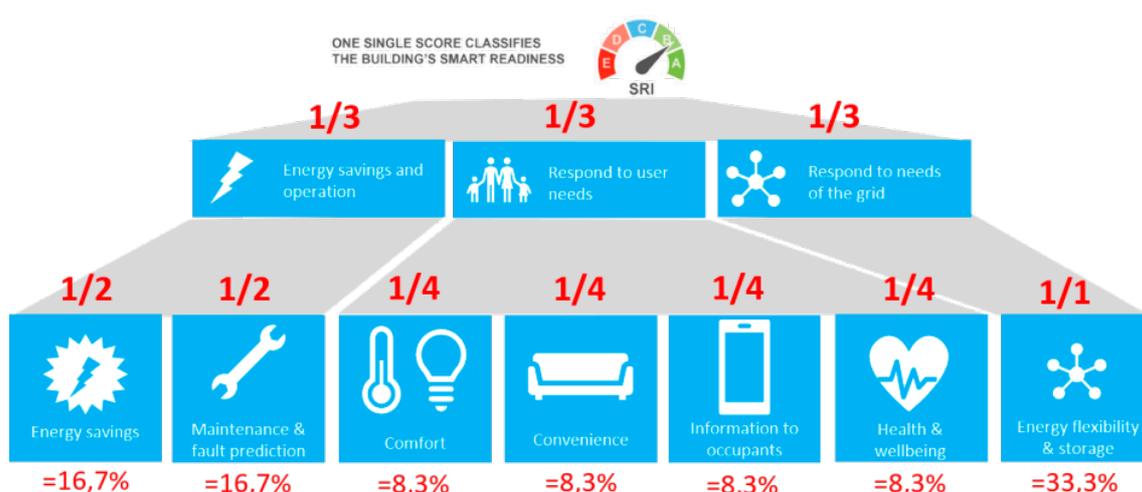


Figura 25: First Technical Study, i pesi percentuali dei diversi impatti

ONE SINGLE SCORE CLASSIFIES
THE BUILDING'S SMART READINESS

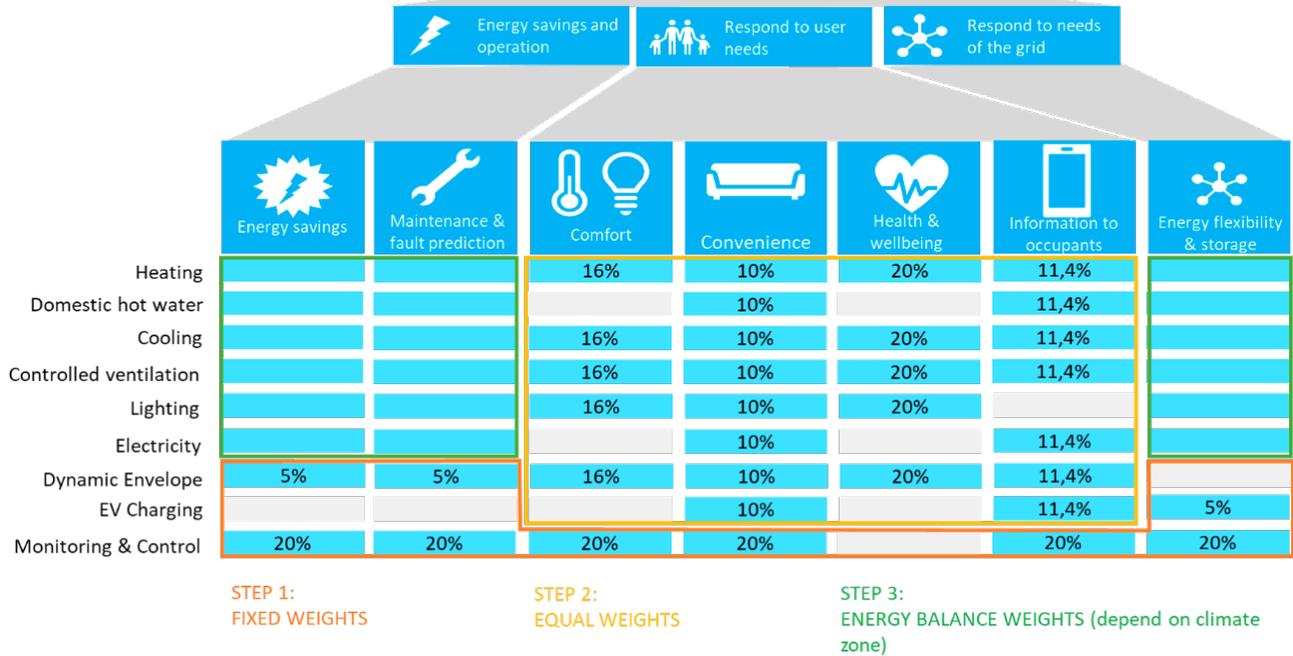


Figura 26: First technical study, la matrice di calcolo

Calcolo dell'indicatore SRI per il condominio Via Nizza 26.

Per il calcolo dell'indice SRI del caso studio, sono stati utilizzati i fogli di calcolo excel preparati e messi a disposizione dal EU Survey della commissione europea; sono stati inizialmente inseriti i dati e le informazioni principali dell'edificio, dopo di che è stato selezionato il catalogo di servizi previsto per il metodo B. Tra i 9 domini tecnologici presi in considerazione nel calcolo dell'indicatore, sono presenti nell'edificio i seguenti:

- ⇒ Riscaldamento
- ⇒ Produzione ACS
- ⇒ Raffrescamento
- ⇒ Illuminazione
- ⇒ Schermatura dinamica
- ⇒ Elettricità
- ⇒ Sistemi di monitoraggio e controllo.

Risulta invece assente il sistema di ventilazione, che a causa degli spazi ristretti e delle difficoltà tecniche nell'adeguare l'impianto preesistente, e considerato che, grazie all'utilizzo di una facciata ventilata in luogo di un cappotto termico e che il nuovo impianto riesce a garantire comunque un adeguato livello di comfort e benessere, è stato in parte demolito mantenendo attive solo le reti di estrazione dell'aria.

Non sono presenti, inoltre, colonnine di ricarica per veicoli elettrici; eventualmente implementabili in interventi successivi nell'ampio piazzale e parcheggio di cui dispone l'edificio; il decreto legislativo

257/2016 [22] prevede che per le nuove costruzioni con più di dieci unità immobiliare vengano almeno predisposte le canalizzazioni per la successiva installazione delle colonnine elettriche, mentre non prevede alcun obbligo per le riqualificazioni come quello oggetto di caso studio. È importante notare che, sebbene siano a disposizione strumenti di schermatura (tende e serramenti) all'interno degli appartamenti, essi sono completamente manuali.

Per ogni dominio, sono stati studiati e valutati i servizi disponibili nell'edificio tra quelli presenti nel catalogo B. Nella seguente tabella verranno riportati i servizi considerati per ogni dominio ed il livello di funzionalità loro assegnato:

Tabella 19: Valutazione dei livelli di funzionalità per ogni servizio.

Riscaldamento	H1-a controllo emissione calore	3/4
	H1-b controllo emissione per TABS	NP
	H1-c controllo delle temperature nel circuito di distribuzione	2/2
	H1-d controllo pompe di distribuzione	4/4
	H1-f accumulo energia termica	0/4
	H2-a generazione calore (no PDC)	NP
	H2-b generazione calore (PDC)	2/3
	H2-d sequenziamento generatori	0/4
	H4 report informazioni sulle performance generazione del calore	4/4
	H4 flessibilità ed interazione con rete	3/4
Acqua Calda Sanitaria	DHW-1a controllo carico dei bollitori tramite resistenze elettriche	1/3
	DHW-1b controllo carico dei bollitori tramite produttori di ACS	2/3

	DHW-1d controllo carico dei bollitori usando collettori solari	NP
	DHW-2b sequenziamento generatori	2/4
	DHW-3 Report informazioni su performance ACS	4/4
Raffrescamento	C-1a controllo raffrescamento	3/4
	C-1b controllo emissione da TABS	NP
	C-1c controllo delle temperature nel circuito di distribuzione	2/2
	C-1d controllo pompe di distribuzione	4/4
	C-1f evitare di scaldare e raffreddare contemporaneamente un ambiente	1/2
	C-1g accumulo energia termica	0/4
	C-2a controllo dei generatori per raffrescamento	2/3
	C-2b sequenziamento generatori	0/4
	C-3 Report informazioni sulle performance del sistema	4/4
	C-4 flessibilità ed interazione con rete	3/4
Ventilazione	Dominio e servizi non attivi	NP
Illuminazione	L-1a controllo luci interne	0/3
	L-2 controllo intensità luci artificiali basato sull'illuminazione diurna	NP
Schermatura dinamica	DE-1 Tende da finestra (solo manuali)	0/4
	DE-2 Apertura/chiusura finestre (solo manuali)	0/3
	DE-3 Report informazioni sulla performance	NP
Elettricità	E-2 Report informazioni su produzione locale di energia elettrica	3/4

	E-3 Accumulo energia elettrica generata localmente	3/4
	E-4 Ottimizzazione dell'autoconsumo	1/3
	E-5 Controllo di impianto combinato calore ed energia	NP
	E-8 Supporto operazioni (micro)grid	NP
	E-11 Report informazioni riguardo l'accumulo elettrico	2/4
	E-12 Report informazioni riguardo consumi elettrici	3/4
Ricarica veicoli elettrici	Dominio e servizi non attivi	NP
Monitoraggio e controllo	MC-3 Gestione del sistema HVAC	NP
	MC-4 Rilevamento guasti e diagnosi	2/3
	MC-9 Rilevamento occupazione locali	0/2
	MC-13 Report performance dell'edificio e utilizzo energia	2/3
	MC-25 Interazione con smart grid	0/2
	MC-28 Report informazioni riguardo DSM performance	2/2
	MC-29 Sovrapassare DSM	4/4
	MC-30 Piattaforma singola di gestione e controllo	2/3

I livelli di servizio sono stati assegnati analizzando le varie possibilità e scegliendo quella corrispondente alle possibilità dell'impianto; ad esempio per quanto riguarda il riscaldamento al livello H1-A corrispondente al controllo dell'emissione di calore è stato assegnato un livello 3/4 in quanto esso descrive un controllo individuale per ogni

locale con comunicazione della domanda tramite il sistema di building automation e la telegestione dell'impianto; il controllo delle pompe di distribuzione H-1D ha ottenuto un punteggio di 4/4 in quanto i circolatori installati, a rotore bagnato e a velocità variabile oltre ad essere controllate dal sistema di gestione dell'impianto dispongono di un'unità interna in grado di regolare la velocità della pompa, fino ad arrestarla a seconda della portata d'acqua necessaria. L'accumulo di energia termica, per quanto riguarda il dominio di riscaldamento H-1f ha ottenuto un livello di funzionalità basso 0/4 in quanto non vi è un vero e proprio accumulo parallelo all'impianto ma un serbatoio da 1000 litri che funge da separatore e volano termico posto tra le pompe di calore e l'impianto.

Il sequenziamento dei generatori per i domini di riscaldamento e raffrescamento è effettuato solo in casi particolari; normalmente una PDC lavora sempre sul raffrescamento/riscaldamento ed una alimenta i serbatoi per la produzione di ACS; Tuttavia, in casi di picchi di temperature sia estive che invernali particolarmente elevati è possibile utilizzare la PDC destinata all'acqua calda in parallelo a quella destinata al riscaldamento/raffrescamento. È importante notare che, durante l'estate, questo processo richiede il tempo necessario e la spesa extra di energia per riscaldare o raffrescare l'acqua dell'impianto a seconda dell'inversione effettuata.

Per quanto riguarda la produzione di acqua calda sanitaria, essendo presenti nei bollitori le resistenze elettriche oltre agli scambiatori per il riscaldamento tramite PDC, è possibile un sequenziamento tra le due tipologie di generazioni dando la precedenza alla produzione di ACS tramite Pompe di calore e utilizzando le resistenze elettriche, meno efficienti, solo per operazioni e condizioni straordinarie (trattamenti anti-legionella, surriscaldamenti disinfettanti o temporanei malfunzionamenti/blocchi della PDC dedicata). Le informazioni

riportate riguardo ai tre domini citati (riscaldamento, raffrescamento e produzione ACS) sono consultabili e modificabili tramite un portale web dedicato.

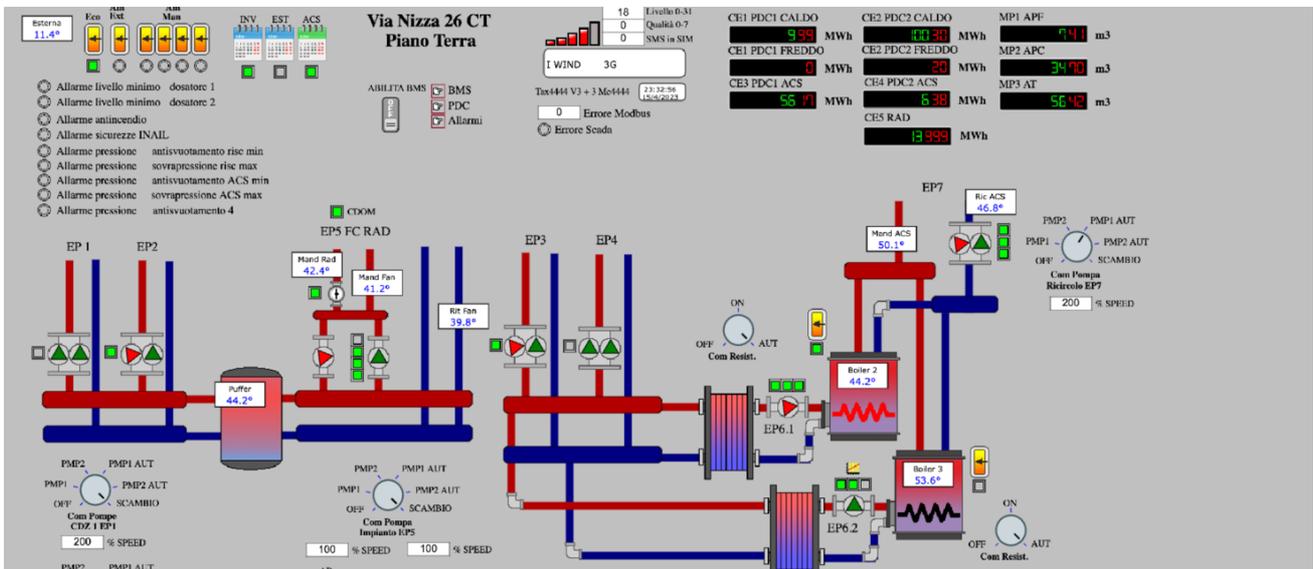


Figura 27: sinottico principale impianto, sono rappresentati circolatori, serbatoi e linee di distribuzione. In alto a destra sono presenti le letture dei contatori di energia (caldo, freddo e ACS per ogni PDC).

Dal portale è possibile controllare lo stato dei sistemi, le temperature nelle varie aree dell'impianto (tubazioni di mandata e ritorno, serbatoi di accumulo, ricircolo) ricevere e visualizzare gli allarmi dai generatori, dai circolatori o dalle centraline installate negli appartamenti, consultare gli andamenti di temperature e i consumi termici per raffrescamento, riscaldamento e acqua calda sanitaria.

È inoltre possibile intervenire direttamente sull'impianto sovrascrivendo le curve climatiche, impostando i calendari, gli orari di accensione e spegnimento dell'impianto e delineando le caratteristiche e le modalità di funzionamento delle due PDC, delle valvole deviatrici e dei circolatori. La centralina riceve dunque i dati in ingresso dagli appartamenti e si adatta per soddisfare nel modo più efficiente

possibile la domanda energetica in base alle istruzioni ricevute dal gestore dell'impianto.

Per eseguire il calcolo si è selezionata la matrice dei pesi per l'area geografica "South-Europe" in cui ricade l'Italia. Il valore dell'indicatore SRI è dato per il 33,3% dal criterio impatto "flessibilità energetica e stoccaggio"; il 16,7% del peso dell'indicatore è dovuto ad efficienza energetica e da manutenzione e previsione di guasti, il restante terzo di peso è dato dagli ultimi 4 domini (comfort, convenienza, salute-benessere-accessibilità ed informazione agli occupanti). Per ogni criterio di impatto i 9 domini, che raggruppano i singoli servizi analizzati e valutati concorrono per un determinato peso.

Ad esempio, nel criterio di impatto "efficienza energetica" concorre per il 31,7% il dominio "riscaldamento", per il 10% la produzione di acqua calda sanitaria, per il 6,9% il raffrescamento e via dicendo lungo le colonne.

Tabella 20: matrice fattori di peso di impatti e criteri

DOMAIN WEIGHTINGS							
	Energy efficiency	Energy flexibility and storage	Comfort	Convenience	Health, well-being and accessibility	Maintenance and fault prediction	Information to occupants
Heating	31,7%	37,6%	16,0%	10,0%	16,0%	32,8%	11,4%
Domestic hot water	10,0%	11,9%	0,0%	10,0%	0,0%	10,3%	11,4%
Cooling	6,9%	8,2%	16,0%	10,0%	16,0%	7,1%	11,4%
Ventilation	9,2%	0,0%	16,0%	10,0%	16,0%	9,5%	11,4%
Lighting	2,7%	0,0%	16,0%	10,0%	16,0%	0,0%	0,0%
Electricity	14,6%	17,3%	0,0%	10,0%	0,0%	15,1%	11,4%
Dynamic building envelope	5,0%	0,0%	16,0%	10,0%	16,0%	5,0%	11,4%
Electric vehicle charging	0,0%	5,0%	0,0%	10,0%	0,0%	0,0%	11,4%
Monitoring and control	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%
	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
IMPACT WEIGHTINGS							
	Energy efficiency	Energy flexibility and storage	Comfort	Convenience	Health, well-being and accessibility	Maintenance and fault prediction	Information to occupants
	16,7%	33,3%	8,3%	8,3%	8,3%	16,7%	8,3%
NOTE: some cells are set to zero and cannot be changed. This means that for these domains, the services have no impact on the given impact criterion. => no weight should be attributed.							

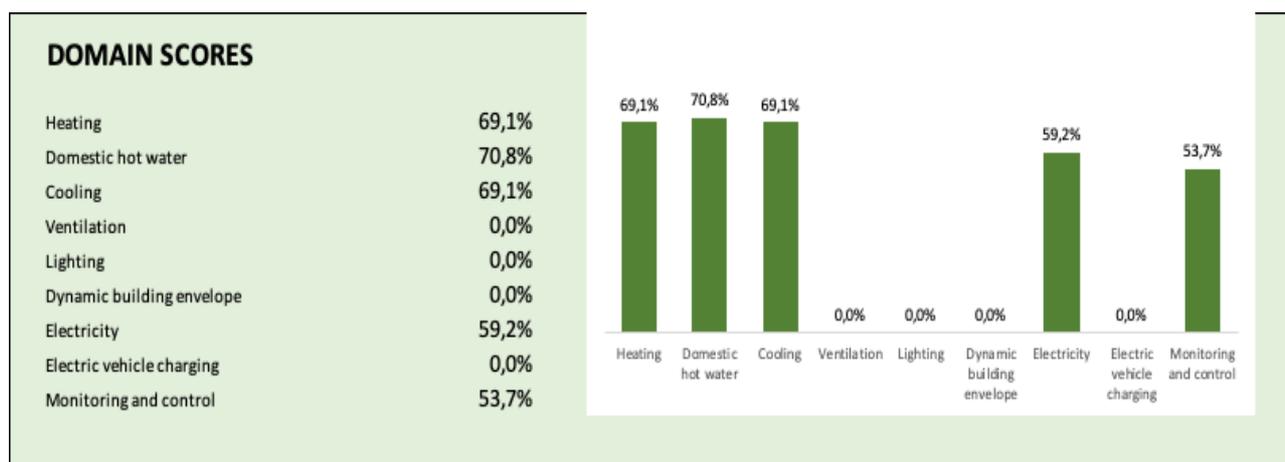
È importante notare che alcuni domini, come "monitoraggio e controllo" impattano in modo fisso (il 20%) su ogni criterio di impatto; la maggior parte dei fattori di peso dei criteri di impatto "efficienza

energetica”, “flessibilità energetica e accumuli” e “manutenzione e previsione di guasti” sia impostata con pesi specifici differenti e vari in base alla zona climatica. I criteri di impatto rimanenti, corrispondenti a “comfort, convenienza, salute-benessere-accessibilità e informazione agli occupanti” hanno fattori di peso suddivisi equamente tra tutti i domini che concorrono, ad eccezione di quelli che non concorrono, pari a zero e di “monitoraggio e controllo” come accennato in precedenza.

Risultati indicatore SRI

Le possibilità tecnologiche e funzionali offerte dal sistema di building automation permettono all'impianto di ottenere buoni risultati per quanto riguarda i domini di riscaldamento, raffrescamento e acqua calda e contribuisce ampiamente al buon punteggio ottenuto in “monitoraggio e controllo”; quest'ultimo dominio non è al pari degli altri considerati a causa di una ancora debole integrazione tra il sistema di building automation dell'impianto e la gestione dell'impianto fotovoltaico; quest'aspetto è ancora in fase di studio ed implementazione e porterà probabilmente ad un miglioramento del punteggio complessivo dell'indicatore nel momento in cui verrà completata l'integrazione. Il dominio “elettricità” ha ottenuto un buon punteggio in quanto è presente l'impianto fotovoltaico in copertura che contribuisce ampiamente a soddisfare i fabbisogni energetici delle pompe di calore installate e dell'impianto. Gli occupanti hanno al momento la possibilità di consultare dati riguardo alla produzione fotovoltaica e al proprio consumo elettrico.

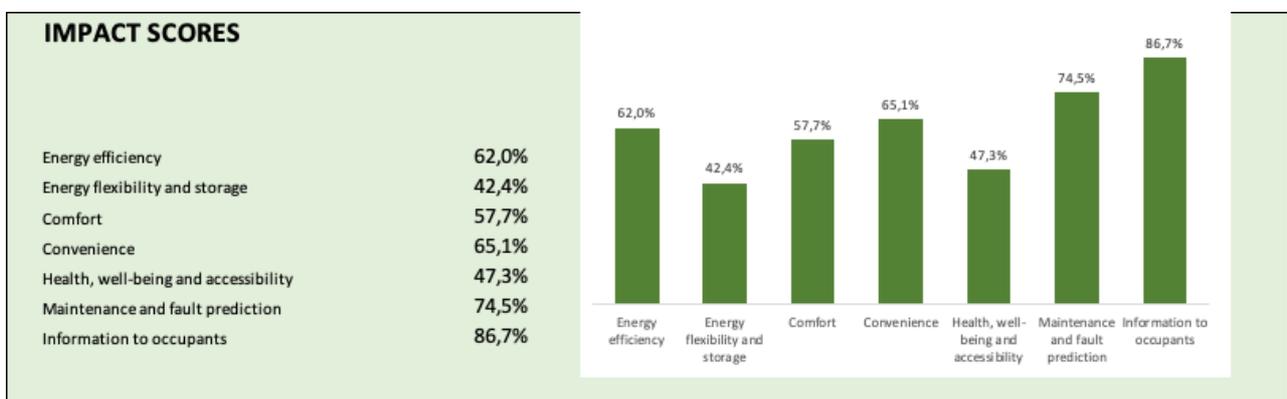
Tabella 21: I punteggi dei domini



Per quanto riguarda i criteri di impatto, è importante sottolineare l'ottimo risultato ottenuto dall'area di "informazione agli occupanti". Il residente o l'ospite della struttura ha la possibilità di tenere sotto controllo i propri consumi energetici suddivisi per zona, ossia per ogni vano in cui è installato un corpo scaldante (fancoil per le stanze principali, radiatori per i bagni). Oltre a questo, ha la possibilità di consultare le temperature e l'umidità presenti e regolare l'impianto secondo le proprie esigenze in termini di temperatura e velocità della ventola nel caso dei fancoil. Il sistema di building automation fornisce anche all'utente, tramite applicazione per smartphone o tablet e tramite accesso diretto alla centralina C.dom la possibilità di confrontare i suoi consumi rispetto ai benchmark, valutare le serie storiche e rilevare le aree in cui sta consumando eccessivamente ed eventualmente correggere i suoi comportamenti. Infine, ha a disposizione anche il consumo elettrico dell'appartamento e la produzione dell'impianto fotovoltaico. Buoni risultati sono ottenuti per gli altri criteri, è particolarmente elevato anche il campo di manutenzione e previsione dei guasti, grazie al complesso sistema di telegestione con segnalazione degli allarmi, l'efficienza energetica, il comfort e la convenienza.

Risultati sotto la media si ottengono per la flessibilità energetica e lo stoccaggio d'energia; Questo è dovuto al singolo sistema di produzione di energia termica (le PDC) e agli accumuli di energia termica; inoltre, l'edificio lavora indipendentemente dall'ambiente esterno, non fa rete con gli edifici e le infrastrutture circostanti. Il livello nel criterio di Salute, benessere e accessibilità è invece influenzato dall'assenza di sistemi automatizzati di schermatura dinamica o illuminazione artificiale e dall'assenza di un impianto di ventilazione meccanica dell'aria, eliminato per i motivi riportati in precedenza.

Tabella 22: I Punteggi degli impatti



Aggregando i criteri di impatto nelle tre macrocategorie suggerite dal first technical study [21] si ottengono ottimi risultati riguardo le funzionalità chiave “edificio” e “utilizzatore” mentre un risultato inferiore è ottenuto dalla funzionalità “rete” a causa della minore integrazione e flessibilità energetica.

Tabella 23: I punteggi aggregati chiave per gli impatti

AGGREGATED SCORES	
Key functionality 1 - building	68,2%
Key functionality 2 - user	64,2%
Key functionality 3 - grid	42,4%

Il risultato complessivo ottenuto dal calcolo dell'indicatore SRI, pesando i vari impatti analizzati, è del 58,3%.

TOTAL SRI SCORE	58,3%	SRI CLASS Between 50% and 65%
------------------------	--------------	--------------------------------------

Il risultato ottenuto è importante nel panorama sia italiano che dell'Unione Europea, l'edificio è da considerarsi "smart ready" e l'intervento di riqualificazione eseguito è conforme alle linee guida dettate dall' EPBD del 2018. [3]

Confronto con stato pre-retrofit

L'importanza della trasformazione tecnologica è ancora più evidente confrontando i risultati ottenuti dall'edificio in seguito al calcolo dell'indicatore SRI rispetto alla simulazione di punteggio ottenibile prima della riqualificazione.

L'edificio, prima di essere sottoposto a retrofit, era contraddistinto da caldaie a gas a condensazione, in cascata, per il servizio di riscaldamento e per l'acqua calda sanitaria, mentre un'unica pompa di calore era attiva durante la stagione estiva per il raffrescamento degli ambienti.

Spillamenti dai generatori a gas e dalla pompa di calore alimentavano un'unità di trattamento aria, cuore dell'impianto di areazione dell'edificio, oggi rimosso.

Negli appartamenti erano presenti Ventilconvettori analoghi a quelli attuali ma senza possibilità di intervenire sulla velocità della ventola mentre nei bagni erano presenti radiatori.

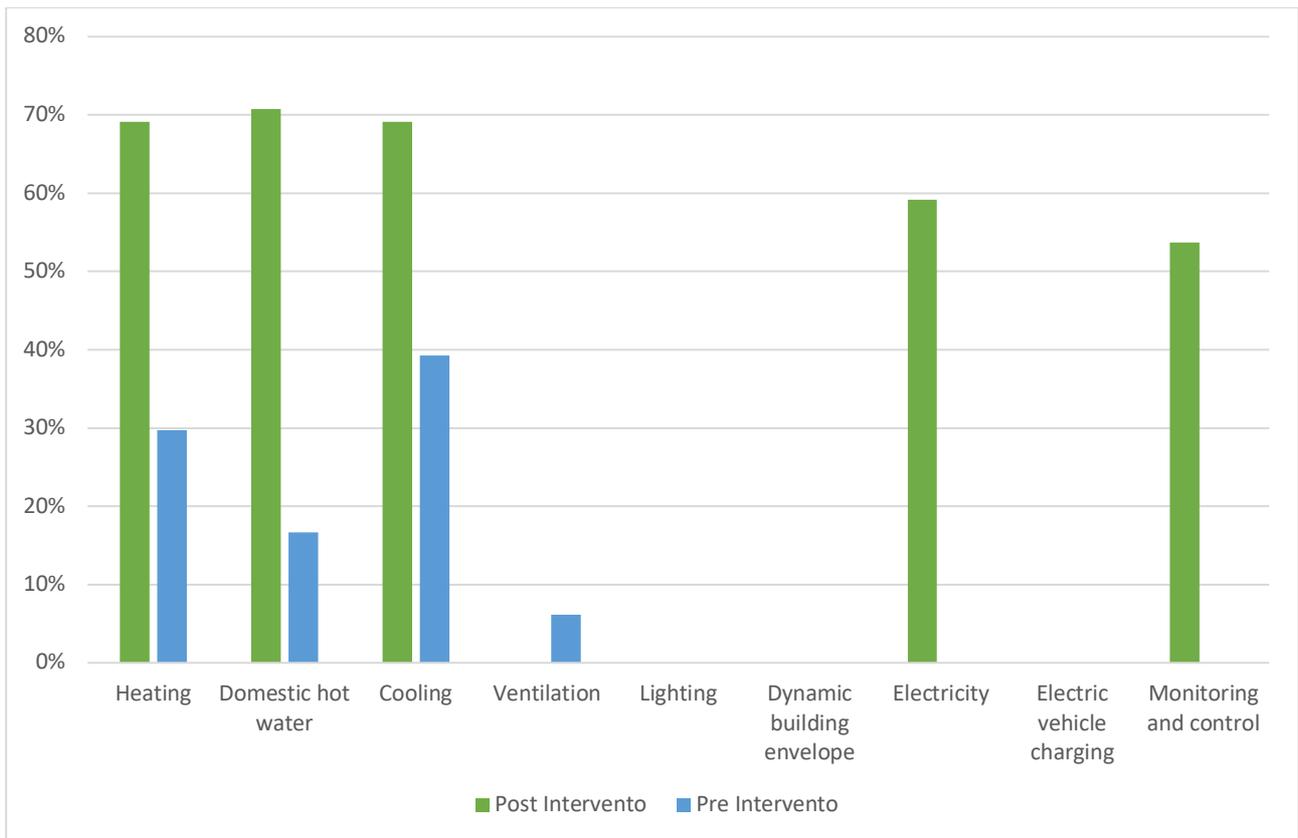
La termoregolazione era effettuata manualmente tramite l'utilizzo di valvole termostatiche. Non erano presenti sistemi BACS e non esisteva dunque un'interfaccia attiva tra utente ed impianto.

Infine, non vi era alcun apporto diretto di energia rinnovabile.

L'insieme di questi fattori è ben evidenziabile andando a confrontare i punteggi ottenuti per i domini dell'edificio.

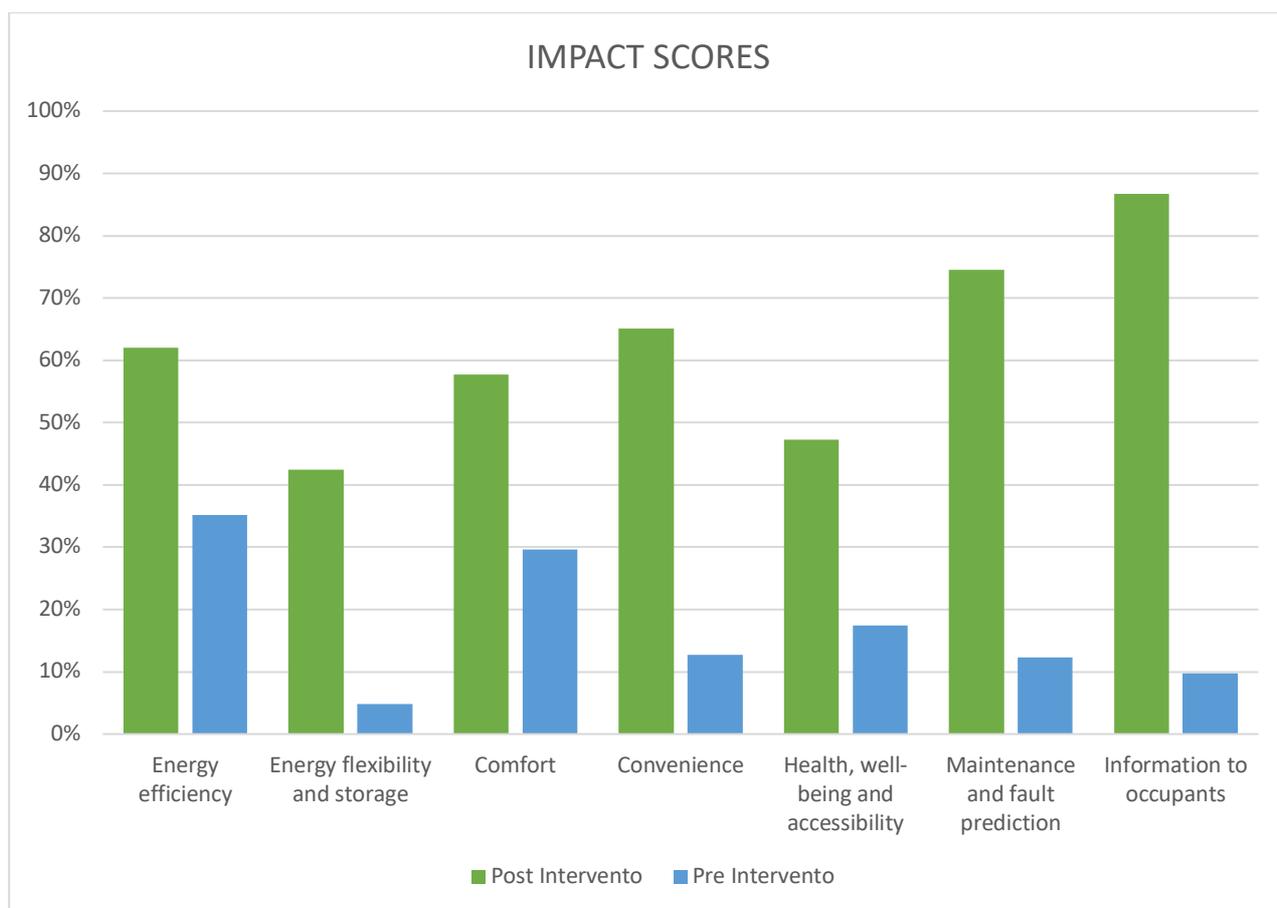
Nell'immagine sotto, in blu sono mostrati i livelli di servizio pre-retrofit mentre in verde sono rappresentati i dati ottenuti post-retrofit. È importante notare come, grazie alla riqualificazione eseguita, l'edificio riesca a realizzare punti in aree in cui prima non si distingueva, come il dominio dell'elettricità e del "monitoraggio e controllo". Il condominio, che è migliorato anche nei servizi Riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria perde però nell'area della ventilazione, in quanto, data la presenza di una facciata ventilata e data la verifica eseguita tramite calcolo igrometrico dell'edificio, è stato ritenuto possibile abbandonare l'impianto di ventilazione dell'edificio, complicato da rifunzionalizzare a causa della mancanza degli spazi necessari nei locali tecnici al piano interrato e dell'impossibilità di realizzare nuove condutture verticali di distribuzione dell'aria trattata.

Tabella 24: Confronto domini pre-post-retrofit



Effettuando il calcolo, si può notare come sugli impatti dell'edificio la forbice sia ancora più evidente. In questo caso è importante notare come l'impianto faccia segnare valutazioni migliori in tutte le aree di impatto, in modo particolare per quanto riguarda le informazioni che vengono date agli occupanti e la possibilità di prevedere guasti e ricevere allarmi e diagnosi in tempo reale.

Tabella 25: Confronto impatti pre-post-retrofit



Il punteggio complessivo SRI per l'edificio pre-retrofit è di 15,8%

Tabella 26: Risultati aggregati Pre-retrofit

Key functionality 1 - Edificio	23,7%
Key functionality 2 - Utente	17,4%
Key functionality 3 - Rete	4,8%

Mentre in seguito all'intervento, il punteggio di 58,3% lo colloca tra gli edifici residenziali più tecnologicamente pronti ed avanzati.

Tabella 27: Risultati aggregati post-retrofit

Key functionality 1 - Edificio	23,7%
Key functionality 2 - Utente	17,4%
Key functionality 3 - Rete	4,8%

Il punteggio SRI ottenuto è simile a quello di altri edifici sottoposti ad interventi di retrofit comparabili in Europa, su edifici di natura condominiale o case singole. Riqualificazioni integrate con interventi su multipli sistemi dell'edificio portano l'indicatore globale intorno al 60-65%, con punte superiori dove son presenti servizi ulteriori quali impianti di ventilazione, serramenti dinamici, illuminazione automatica o gestione di produzione di energia termica e stoccaggio in base alla disponibilità di fonti energetiche esterne.

Tuttavia, è importante notare che il miglioramento dell'indicatore SRI ottenuto per l'intervento di riqualificazione caso di studio, pari a 42,5% è migliore rispetto alla maggioranza degli altri casi presenti in letteratura, il cui miglioramento si aggira intorno al 30-35%. [23] [24].

Implementazioni e miglioramenti energetici e funzionali in fase di studio.

Il miglioramento tecnologico ottenuto grazie alla riqualificazione consente, come si sta attualmente verificando con le fatture di consumo ricevute e con i dati ricavati dalla BA un notevole risparmio energetico ed economico; tuttavia, sono in fase di studio e di attuazione ulteriori misure per migliorare ulteriormente la gestione energetica dell'edificio e i consumi dello stesso.

Una delle azioni in fase di studio è quella di utilizzare l'energia elettrica in eccesso, prodotta dall'impianto fotovoltaico durante le giornate più assolate, oltre che per ricaricare le batterie di accumulo, per surriscaldare e mantenere a temperature più elevate i bollitori per la produzione di acqua calda sanitaria in previsione dei picchi di consumo serale, in modo da richiedere meno energia elettrica dalla rete quando l'impianto fotovoltaico non è in grado di produrne per l'assenza di illuminazione solare. I bollitori, in quanto dotati di valvola miscelatrice, per la regolazione della temperatura di mandata dell'ACS, possono essere mantenuti a temperature più elevate di quelle previste di legge; tuttavia, è necessario considerare le massime temperatura di mandata delle pompe di calore installate, pari a circa 60° C e l'aumento delle dispersioni termiche dei bollitori in centrale termica, direttamente proporzionali all'aumento della temperatura negli stessi. Qualora la soluzione possa risultare conveniente, sarà possibile utilizzare anche le resistenze integrate nei bollitori per il surriscaldamento dell'acqua a temperature maggiori rispetto a quelle ottenibili con le pompe di calore.

Alcune soluzioni applicabili all'edificio che aumenterebbero l'efficienza energetica dello stesso e al tempo stesso il comfort per l'utente sono:

- ⇒ L'installazione di sistemi di illuminazione automatica nelle aree comuni come scale, corridoi e atrio, regolabili automaticamente in base alla luce naturale presente ed in grado di rilevare la presenza di persone ed accendersi di conseguenza.
- ⇒ La sostituzione dei sistemi di schermatura, tendaggi e tapparelle con serramenti dinamici automatici, in grado di migliorare l'efficienza energetica dei serramenti, andando a schermare automaticamente le finestre in estate, qualora vengano colpite direttamente dal sole, o sfruttandone l'intensità in inverno per ottenere un ulteriore apporto energetico e ridurre il fabbisogno di energia per il riscaldamento.
- ⇒ Infine, l'installazione nel piazzale posteriore all'edificio di colonnine per la ricarica dei veicoli elettrici, in ottica e a favore della transizione energetica e dell'abbandono di veicoli dotati di motore a combustione interna.

Gli interventi evidenziati, permetterebbero un ulteriore miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio, garantendo un ulteriore risparmio sia energetico che economico per l'utente del condominio.

Le azioni intraprese consentirebbero inoltre di passare da un tipo di produzione per l'acqua calda sanitaria "a domanda" ad una produzione basata sulla disponibilità di fonti energetiche rinnovabili, migliorando ulteriormente il punteggio ottenuto per l'indicatore SRI.

Conclusioni

L'intervento di riqualificazione intrapreso presso il condominio di via Nizza 26, inquadrato nell'ambito del superbonus 110% ha consentito, grazie all'adozione di tecnologie innovative, integrate e complementari di conseguire un notevole risparmio energetico ed economico per gli utenti, ancora parzialmente in fase di studio e quantificazione, migliorandone al contempo il comfort.

L'utilizzo dell'indicatore SRI sul condominio ha altresì permesso di valutarne il livello di prontezza tecnologica raggiunta, di valutarne i punti di forza e di debolezza e il miglioramento complessivo ottenuto attraverso l'intervento di retrofit realizzato.

L'indicatore SRI, passato dal 15,8% dell'edificio pre-retrofit al 58,3% dell'edificio post-retrofit colloca il condominio di via Nizza 26 tra gli edifici tecnologicamente più pronti ed all'avanguardia in Europa, specie in ambito residenziale.

Infine, grazie all'analisi delle caratteristiche dei servizi dell'edificio è stato possibile delineare alcune aree di intervento, come l'illuminazione o i serramenti dinamici sul quale sarebbe ancora possibile intervenire al fine di migliorare prestazioni energetiche e il comfort per gli utenti.

Figure

FIGURA 1: IL CONSUMO DI ENERGIA ELETTRICA IN ITALIA DA LUGLIO 2022 A LUGLIO 2023.....	16
FIGURA 2: PROCESSO DI SVILUPPO ENERGETICO	17
FIGURA 3: SMART GRID [RETECLIMA/SMARTGRID].....	18
FIGURA 4: FIRST TECHNICAL STUDY, GLI EDIFICI IN EUROPA.....	19
FIGURA 5: FIRST TECHNICAL STUDY, EDIFICI RINNOVATI E NON RINNOVATI NELLE DIVERSE ZONE EUROPEE	20
FIGURA 6: PARCO IMMOBILI NAZIONALE.....	21
FIGURA 7: SMART BUILDING ENVIRONMENT, BPIE 2017	30
FIGURA 8: CLASSIFICAZIONE DELLE NAZIONI EUROPEE, BPIE, 2017	31
FIGURA 9: IMMAGINE TRATTA DA CALEFFI, MAGAZINE IDRAULICA 61, "GLI IMPIANTI DI POMPA DI CALORE ARIA-ACQUA"	36
FIGURA 10: SCHEMA IMPIANTO PDC CON FOTOVOLTAICO E ACCUMULO [17].	41
FIGURA 11: ASPETTO DELL'EDIFICIO PRE-RETROFIT	44
FIGURA 12: STRATIGRAFIA PARETE PRINCIPALE	45
FIGURA 13: STRATIGRAFIA PARETE SOTTOFINESTRA	46
FIGURA 14: ASPETTO DELL'EDIFICIO POST-RETROFIT	48
FIGURA 15: LE POMPE DI CALORE THERMOCOLD INSTALLATE IN COPERTURA	49
FIGURA 16: LA SOTTOSTAZIONE AL PIANO INTERRATO.....	51
FIGURA 17: I CRONOTERMOSTATI DIGITALI INSTALLATI PRESSO LE 78 UNITÀ IMMOBILIARI (CDOM06, PERRY)	53
FIGURA 18: ALLARMI POMPE DI CALORE, IMMAGINE TRATTA DAL SISTEMA DI TELEGESTIONE.	54
FIGURA 19: FIRST TECHNICAL STUDY; I METODI A-B-C.....	63
FIGURA 20: [DA PRACTICAL GUIDE SRI CALCULATION FRAMEWORK] - 7 CRITERI D'IMPATTO.	66
FIGURA 21: FIRST TECHNICAL STUDY; IMPATTI, DOMINI SRI	67
FIGURA 22: FIRST TECHNICAL STUDY; CALCOLO DEL PUNTEGGIO PER UN DOMINIO.....	68
FIGURA 23: FIRST TECHNICAL STUDY; DIVISIONE AREE CLIMATICHE UE (INCLUSO REGNO UNITO).....	69
FIGURA 24: FIRST TECHNICAL STUDY; TEMPERATURE MEDIE NELLE ZONE CLIMATICHE CONSIDERATE	70
FIGURA 25: FIRST TECHNICAL STUDY, I PESI PERCENTUALI DEI DIVERSI IMPATTI	70
FIGURA 26: FIRST TECHNICAL STUDY, LA MATRICE DI CALCOLO.....	71
FIGURA 27: SINOTTICO PRINCIPALE IMPIANTO, SONO RAPPRESENTATI CIRCOLATORI, SERBATOI E LINEE DI DISTRIBUZIONE. IN ALTO A DESTRA SONO PRESENTI LE LETTURE DEI CONTATORI DI ENERGIA (CALDO, FREDDO E ACS PER OGNI PDC).	77

Tabella

TABELLA 1: TIPOLOGIE DI INTERVENTI OGGETTO DI ECOBONUS 2014-2020 E 2021 – PARTE 1 - ENEA	22
TABELLA 2: TIPOLOGIE DI INTERVENTI OGGETTO DI ECOBONUS 2014-2020 E 2021 – PARTE 2 - ENEA	23
TABELLA 3: ANDAMENTO INVESTIMENTI 110% - ENEA	24
TABELLA 4: INVESTIMENTI SUPERBONUS 110% - 2021 - ENEA.....	25
TABELLA 5: INVESTIMENTI PER L'INVOLUCRO EDILIZIO - SUPERBONUS 110% - ENEA -2021.....	26
TABELLA 6: INVESTIMENTI IMPIANTI TERMOTECNICI - SUPERBONUS 110% - 2021 - ENEA	27
TABELLA 7: CONFRONTO COSTI ECOBONUS - SUPERBONUS	29
TABELLA 8: MIX ENERGETICO 2020 E STIMATO 2030 PAESI UE.....	38
TABELLA 9: CONSUMI E PERFORMANCE ENERGETICHE DEI 3 EDIFICI PER CALDAIA A CONDENSAZIONE (CB), POMPA DI CALORE AD ASSORBIMENTO (GHP) E POMPA DI CALORE ELETTRICA (EHP)	38
TABELLA 10: STRATIGRAFIA PARETI PRINCIPALI	45
TABELLA 11: STRATIGRAFIA PARETI SOTTO-SERRAMENTO.....	46
TABELLA 12: CONSUMI RISCALDAMENTO PRE-RETROFIT	56
TABELLA 13: RAFFRESCAMENTO: PRE-RETROFIT	56
TABELLA 14: RAFFRESCAMENTO, CONFRONTO PRE-POST-RETROFIT	57
TABELLA 15: RISCALDAMENTO, CONSUMI MENSILI PRE-RETROFIT.....	57
TABELLA 16: RISCALDAMENTO, CONFRONTO PRE-POST-RETROFIT.....	58
TABELLA 17: PRODUZIONE PREVISTA FOTOVOLTAICA MENSILE	59
TABELLA 18: PERCENTUALE ENERGIA RINNOVABILE UTILIZZATA	59
TABELLA 19: VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI FUNZIONALITÀ PER OGNI SERVIZIO.	73
TABELLA 20: MATRICE FATTORI DI PESO DI IMPATTI E CRITERI	78
TABELLA 21: I PUNTEGGI DEI DOMINI	80
TABELLA 22: I PUNTEGGI DEGLI IMPATTI	81
TABELLA 23: I PUNTEGGI AGGREGATI CHIAVE PER GLI IMPATTI	81
TABELLA 24: CONFRONTO DOMINI PRE-POST-RETROFIT	84
TABELLA 25: CONFRONTO IMPATTI PRE-POST-RETROFIT	85
TABELLA 26: RISULTATI AGGREGATI PRE-RETROFIT.....	85
TABELLA 27: RISULTATI AGGREGATI POST-RETROFIT	86

Bibliografia

- [1] DIRETTIVA 2002/91/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 16 dicembre 2002
- [2] DIRETTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 19 maggio 2010
- [3] DIRETTIVA (UE) 2018/844 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 30 maggio 2018
- [4] The energy union strategy (COM/2015/080)
- [5] <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/transparency-report>
- [6] Energy Saving, Energy Efficiency or Renewable Energy: Which Is Better for the decarbonization of the Residential Sector in Italy? *Marco Noro and Filippo Busato*
- [7] <https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/eu-building-stock-observatory>
- [8] STRATEGIA PER LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEL PARCO IMMOBILIARE NAZIONALE, DOCUMENTO PER LA CONSULTAZIONE PUBBLICA, Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
- [9] LE DETRAZIONI FISCALI PER L'EFFICIENZA ENERGETICA E L'UTILIZZO DELLE FONTI RINNOVABILI DI ENERGIA NEGLI EDIFICI ESISTENTI, AGENZIA NAZIONALE EFFICIENZA ENERGETICA (ENEA), executive summary, 2022.
- [10] ANALISI E RISULTATI DELLE POLICY DI EFFICIENZA ENERGETICA DEL NOSTRO PAESE, AGENZIA NAZIONALE EFFICIENZA ENERGETICA (ENEA), 2022.
- [11] is europe ready for the smart revolution, BPIE, *Maarten De Groot, Jonathan Volt, Frances Bea*
- [12] Energy performance of an open-joint ventilated facade compared with a conventional sealed cavity façade, *Carolina Aparicio-Fernández, José-Luis Vivancos, Pablo Ferrer-Gisbert, Rafael Royo-Pastor, 2014*

- [13] Energy performance of an open-joint ventilated facade compared with a conventional sealed cavity façade, *Cristina Sanjuan, Maria Jose Suarez, Marcos Gonzalez, Jorge Pistono, Eduardo Blanco, 2011*
- [14] An updated review on integration of solar photovoltaic modules and heat pumps towards decarbonization of building, *Mohammad Alhuyi Nazari, Jaroon Rungamornrat, Lukas Prokop, Vojtech Blazek, Stanislav Misak, Mohammed Al-Bahrani, Mohammad Hossein Ahmadi, 2023.*
- [15] heat pumps for space heating and dhw production in residential buildings, an environmental comparison in a present and future scenario, *Jacopo Famiglietti, Tommaso Toppi, Davide Bonalumi, Mario Motta, 2023*
- [16] Smart integration of photovoltaic production, heat pump and thermal energy storage in residential application. *Facci, A.L., Krastev, V.K. Falcucci, G., Ubertini, 2019*
- [17] Energetic and economic analysis of a PV-assisted air-to-water heat pump system for renovated residential buildings with high-temperature heat emission system, *Andreas Hinz, Renè Rieberer, 2021*
- [18] R290 (Propane) and R600a (Isobutane) as Natural Refrigerants for Residential Heat Pump Water Heaters, *Kashif Nawazi, Bo Shen, Ahmed Elatar, Van Baxter, Omar Abdelaziz.*
- [19] Legge 10, capitolato meccanico, relazioni tecniche di progetto riqualificazione energetica via Nizza 26, *Ing. Raniero Cosattini.*
- [20] REGOLAMENTO DELEGATO (UE) 2020/2155 DELLA COMMISSIONE del 14 ottobre 2020 che integra la direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio
- [21] First Technical study, FINAL REPORT ON THE TECHNICAL SUPPORT TO THE DEVELOPMENT OF A SMART READINESS INDICATOR FOR BUILDINGS, *Stijn Verbeke (VITO), Dorien Aerts (VITO), Glenn Reynders (VITO), Yixiao Ma (VITO), Paul Waide (WSEE).*
- [22] DECRETO LEGISLATIVO 16 dicembre 2016, n. 257, Disciplina di attuazione della direttiva 2014/94/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 22

ottobre 2014, sulla realizzazione di una infrastruttura per i combustibili alternativi.

[23] Smart readiness indicator evaluation and cost estimation of smart retrofitting scenarios - A comparative case-study in European residential buildings, *Vasilis Apostolopoulos **, *Paraskevi Giourka*, *Georgios Martinopoulos*, *Komninos Angelakoglou*, *Konstantinos Kourtzanidis*, *Nikolaos Nikolopoulos*

[24] Application of Smart Readiness Indicator for Mediterranean buildings in retrofitting actions, *Bahareh Ramezani*, *Manuel. Gameiro da Silva*, *Nuno Simões*.

Ringraziamenti

Giunto alla fine di questo lungo percorso e di questo lavoro di tesi è giusto spendere poche parole per ringraziare le persone che hanno reso possibile tutto questo.

In primis ringrazio la mia relatrice, la professoressa Cristina Becchio, per la disponibilità, la professionalità, l'esperienza e per ogni singolo consiglio ed insegnamento datomi in questi mesi.

Ringrazio il professor Marco Carlo Masoero, con cui avevo iniziato questo percorso di tesi e con cui ho frequentato il corso "impianti termotecnici" che mi ha definitivamente convinto ad intraprendere questa carriera lavorativa.

Ringrazio il dott. Roberto Galimberti, Nicolò e Raffaele della Perry per il supporto e gli insegnamenti che mi hanno trasmesso in questi mesi.

Ringrazio l'ingegner Cosattini, il progettista dell'impianto oggetto di questa tesi.

Ed infine, ringrazio tutti i colleghi e le colleghe della Guazzotti Energia e del gruppo Badano con i quali ormai da più di anno condivido questo bellissimo lavoro nel mondo dell'energia. Gli ringrazio per la pazienza, gli incoraggiamenti e il supporto datomi in questi mesi.

Non potrei però terminare questa tesi senza spendere qualche parola per i veri artefici di questo risultato. Maurizio, Graziella e mio fratello Lorenzo, che in tutti questi anni mi hanno supportato, mi hanno insegnato, mi son stati vicini e mi hanno reso quello che oggi sono. Non esiste parola per descrivere quanto mi senta fortunato nel far parte di questa famiglia.

Ringrazio infine i miei zii Patrizia, Mauro, i miei cugini e cuginetti e tutti coloro che purtroppo non son più con noi oggi.

Un grazie va anche a tutti gli amici e le persone fantastiche che ho conosciuto in questi anni di università o che mi accompagnano da una vita.

È giunta la fine di questo bellissimo percorso chiamato università, che sia l'inizio di una nuova avventura.

