

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Analisi prestazionale e riqualificazione energetica di un edificio condominiale tramite l'utilizzo dell'agevolazione fiscale Superbonus 110%



Relatore

Professor Enrico Fabrizio

Correlatore

Professore emerito Giovanni Vincenzo Fracastoro

Candidato:

Enrico Casassa Vigna

Anno accademico 2022-2023

Indice

1. Sommario.
2. Stato di fatto della situazione energetica italiana e quadro normativo vigente.
 - 2.1. Inquadramento dei consumi energetici per settore economico italiano.
 - 2.2. Obiettivi e sviluppi futuri in tema di energia per il 2030.
 - 2.3. Evoluzione legislativa italiana in tema di energia nel settore residenziale.
3. Introduzione al Superbonus 110%.
 - 3.1. Cos'è?
 - 3.2. Cosa comprende?
 - 3.3. A chi interessa?
 - 3.4. Requisiti per gli interventi annessi all'agevolazione fiscale.
 - 3.5. Alternativa alla detrazione.
 - 3.6. Variazione legislativa dal 2023.
4. Superbonus 110%. Analisi dei costi-benefici al termine del suo percorso legislativo.
 - 4.1. Bilancio economico del dispositivo di legge a marzo 2023.
 - 4.2. Bilancio dei traguardi energetici ambientali ottenuti.
5. Caso Studio
 - 5.1. Inquadramento urbanistico e territoriale.
 - 5.2. Edificio ante intervento.
 - 5.2.1. Superfici verticali opache.
 - 5.2.2. Superfici orizzontali opache.
 - 5.2.3. Serramenti.
 - 5.3. Impianti di climatizzazione.
 - 5.3.1. Impianto di climatizzazione invernale e acqua calda sanitaria
 - 5.3.2. Impianto di climatizzazione estiva
 - 5.4. Analisi energetica dello stato Ante Intervento
 - 5.4.1. Calcolo delle dispersioni termiche
 - 5.4.2. Calcolo del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale.
 - 5.4.3. Calcolo del fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS)
 - 5.4.4. Calcolo del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva.
 - 5.4.5. Analisi del fabbisogno energetico elettrico
 - 5.4.6. Definizione della classe energetica
 - 5.5. Interventi migliorativi adottati sull'involucro
 - 5.5.1. Coibentazioni delle superfici opache verticali
 - 5.5.2. Coibentazioni delle superfici opache orizzontali
 - 5.5.3. Sostituzione dei serramenti
 - 5.6. Sostituzione degli impianti di climatizzazione
 - 5.6.1. Impianto di climatizzazione invernale
 - 5.6.2. Dimensionamento del sistema d'emissione
 - 5.6.3. Sistema di regolazione

- 5.6.4. Impianti di climatizzazione estiva
- 5.7. Impianto fotovoltaico
- 5.8. Analisi energetica dello stato Post Intervento
 - 5.8.1. Superfici opache verticali coibentate
 - 5.8.2. Superfici opache orizzontali coibentate
 - 5.8.3. Analisi prestazionale dei nuovi serramenti
 - 5.8.4. Fabbisogno energetico dell'edificio efficientato
 - 5.8.5. Risultati della producibilità dell'impianto fotovoltaico
 - 5.8.6. Determinazione della nuova classe energetica
 - 5.8.7. Edificio nZEB (nearly Zero Energy Building)
- 5.9. Analisi economica preliminare
 - 5.9.1. Analisi del costo d'investimento iniziale
 - 5.9.2. Sviluppo del ritorno economico privo d'incentivazioni fiscali
 - 5.9.3. Sviluppo del ritorno economico tramite possibili varianti dell'incentivazione fiscale
- 6. Conclusione

Lista delle Figure

Fig.1: Andamento dei consumi energetici italiani negli ultimi trent'anni

Fig.2: Immagine esemplificativa dello sviluppo legislativo italiano

Fig.3: Distribuzione temporale della realizzazione degli edifici su territorio nazionale

Fig.4: Scadenze e percentuali del Dlgs 28/2011

Fig.5: Situazione nazionale investimenti e detrazioni fiscali a marzo 2023

Fig.6: Parco immobiliare italiano e distribuzione degli investimenti a marzo 2023.

Fig.7: Distribuzione della percezione dell'aumento dei prezzi tra i campioni

Fig.8: Distribuzione regionale degli interventi effettuati.

Fig.9: Analisi del contributo al Pil del Superbonus, secondo Censis.

Fig.10: Distribuzione delle frodi fiscali nelle incentivazioni fiscali.

Fig.11: Valore ambientale ed energetico del Superbonus al 31/10/2022.

Fig.12: Inquadramento satellitare del sito estratto da Google Earth.

Fig.13: Inquadramento dell'edificio.

Fig.14: Inquadramento urbanistico dell'edificio, secondo il P.R.G. comunale vigente.

Fig.15: Zonizzazione italiana per fasce climatiche e relativi gradi giorno.

Fig.16: Stratigrafia superfice opaca verticale.

Fig.17: Stratigrafia superfice opaca orizzontale.

Fig.18: Stratigrafia copertura in laterocemento.

Fig.19: Caldaia Unical AG MODEL, nell'immagine è mostrato il modello più recente attualmente in commercio

Fig.20: Unità esterna dell'impianto a pompa di calore Emmeti.

Fig.21: Logo del software Termo di Namirial S.p.a.

Fig.22: Principali strutture disperdenti dell'edificio.

Fig.23: Incidenza percentuale dei subalterni sul fabbisogno di riscaldamento complessivo

Fig.24: Incidenza percentuale dei subalterni sul fabbisogno di energia per ACS complessivo.

Fig.25: Incidenza percentuale dei subalterni sul fabbisogno di energia per raffrescamento complessivo.

Fig.26: Logo del software Polysun di Vela

Fig.27: Schema concettuale della stima del fabbisogno energetico giornaliero riportato sulla rivista "L'Energia Elettrica" .

Fig.28: Consumo e prelievo di energia elettrica dalla rete nazionale.

Fig.29: Suddivisione energetica estrapolata dal programma Termo.

Fig.30: Immagine del "FKLG EPS 030 150 GRIGIO" estrapolata dalla scheda tecnica.

Fig.31: Schema applicativo proposto dalla Ferritherm estrapolato dalla scheda tecnica.

Fig.32: Immagine del "XPS K-FOAM C350 LJ" estrapolata dalla scheda tecnica.

Fig.33: Sezione del profilo del serramento NEFERIA, estrapolata dal catalogo del produttore

Fig.34: Rappresentazione dello schema di funzionamento di un doppio vetro basso emissivo.

Fig.35: Lucernari modello GGLS presentati da Velux.

Fig.36: A sinistra le pompe di calore modello "NXHM", mentre a destra la caldaia a condensazione modello "Family".

Fig.37: Schema di funzionamento di una pompa di calore

Fig.38: Principio di funzionamento di una caldaia a condensazione.

Fig.39: Analisi di operatività del sistema ibrido.

Fig.40: Collettore solare termico modello "RPS 25/2 EVO".

Fig.41: Principio di un collettore solare termico.

Fig.42: Schema monoblocco del sistema ibrido pompa di calore/caldaia a condensazione.

Fig.43: Schema monoblocco del sistema collettore solare termico e pompa di calore.

Fig.44: Tecnologia della struttura a piastre integrate con l'ausilio delle ventole.

Fig.45: Dati tecnici generali della tipologia di radiatore.

Fig.46: Pannello di comando, modello REC10MH, estrapolato dalla scheda tecnica dell'impianto.

Fig.47: Elementi di base che compongono una valvola termostatica.

Fig.48: A sinistra è riportato il modello "X-REVO 1819D", mentre a destra il "X-REVO 1419T-21".

Fig.49: Inquadramento satellitare della struttura utilizzata per l'installazione dell'impianto elettrico.

Fig.50: Immagine del modulo fotovoltaico adottato, estrapolata dalla scheda tecnica.

Fig.51: Differenza tra una cella fotovoltaica standard (a sinistra) e una cella PERC (a destra).

Fig.52: Schema di collegamento tipo "shingled".

Fig.53: Singolo modulo dell'accumulatore "Weco 5K3 XP".

Fig.54: Inverter trifase "3PH HYD5000 ZSS".

Fig.55: Stratigrafia superficie opaca verticale coibentata.

Fig.56: Stratigrafia superficie opaca orizzontale coibentata.

Fig.57: Stratigrafia copertura coibentata.

Fig.58: Nuovi valori di dispersione mostrati dalle strutture coibentate.

Fig.59: Ripartizione dei carichi per il fabbisogno di energia per il riscaldamento.

Fig.60 Ripartizione dei carichi per il fabbisogno di energia per la produzione di ACS.

Fig.61: Diagrammi comparativi Ante e Post intervento.

Fig.62: Valore del PMG nel 2023 secondo ARERA.

Fig.63: Diagrammi dimostrativi delle varie prestazioni dell'impianto fotovoltaico dedicato alla centrale termica.

Fig.64: Nuova suddivisione energetica estrapolata dal software Termo.

Fig.65: Analisi del ritorno economico nei due scenari, senza la presenza di incentivi fiscali.

Fig.66: Confronto del ritorno economico delle due possibilità d'incentivazione nel 2019.

Fig.67: Confronto del ritorno economico delle due possibilità d'incentivazione nel 2023.

Lista delle Tabelle

- Tab.1: Dettaglio dei consumi energetici italiani negli ultimi trent'anni per settore economico.
- Tab.2: Valori di trasmittanza massimi consentiti per l'accesso alle detrazioni.
- Tab.3: Coefficienti di prestazioni minime delle pompe di calore elettriche.
- Tab.4: Suddivisione asseverazioni e investimenti a fine 2022.
- Tab.5: Principali proprietà termodinamiche della parete da 40 cm e calcolo della trasmittanza termica.
- Tab.6: Principali proprietà termodinamiche del solaio e calcolo trasmittanza termica.
- Tab.7: Principali proprietà termodinamiche della copertura e calcolo trasmittanza termica.
- Tab.8: Trasmittanza termica dei principali elementi costitutivi dei serramenti.
- Tab.9: Elenco di tutti i serramenti oggetti d'intervento e relative trasmittanze termiche.
- Tab.10: Rendimenti dei sottosistemi di generazione.
- Tab.11: Variazione del EER.
- Tab.12: Temperatura media mensile nella provincia di Torino.
- Tab.13: Irradianza media globale nella provincia di Torino.
- Tab.14: Dimensionamento delle dispersioni termiche in ogni subalterno.
- Tab.15: Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale.
- Tab.16: Fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria.
- Tab.17: Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva.
- Tab.18: Fabbisogno elettrico per gli impianti di climatizzazione del fabbricato .
- Tab.19: Suddivisione delle classi energetiche.
- Tab.20: Classe energetica dell'edificio in analisi.
- Tab.21: Principali proprietà termiche dell'isolante proposto, estrapolate dalla scheda tecnica.
- Tab.22: Principali proprietà termiche dell'isolante proposto, estrapolate dalla scheda tecnica.
- Tab.23: Principali proprietà termiche del vetro adottato.
- Tab.24: Principali proprietà termiche del vetro adottato.
- Tab.25: Principali dati prestazionali della pompa di calore adottata.
- Tab.26: Prestazioni a pieno carico della pompa di calore.
- Tab.27: Principali dati prestazionali della caldaia a condensazione adottata.
- Tab.28: Principali dati prestazionali del collettore adottato.
- Tab.29: Potenze erogate dal radiatore secondo la normativa EN 442-1.
- Tab.30: Dimensionamento delle nuove dispersioni termiche e relativi radiatori.
- Tab.31: Riduzione percentuale delle dispersioni termiche nell'edificio.
- Tab.32: A sinistra i valori del modello "X-REVO 1819D", mentre a destra i valori di "X-REVO 1419T-21".

- Tab.33: Dati prestazionali del modulo adottato, estrapolati dalla scheda tecnica.
- Tab.34: Principali proprietà termodinamiche della parete e calcolo della trasmittanza termica.
- Tab.35: Verifica dei fattori di temperatura dei componenti verticali opachi.
- Tab.36: Principali proprietà termodinamiche del solaio e calcolo della trasmittanza termica.
- Tab.37: Principali proprietà termodinamiche della copertura e calcolo della trasmittanza termica.
- Tab.38: Trasmittanza termica dei nuovi principali elementi costitutivi dei serramenti.
- Tab.39: Elenco di tutti i serramenti oggetti d'intervento e le nuove relative trasmittanze termiche.
- Tab.40: Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale dell'immobile.
- Tab.41: Fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria.
- Tab.42: Fabbisogno di energia primaria per la produzione della climatizzazione estiva dell'immobile.
- Tab.43: Principali parametri di funzionamento degli impianti fotovoltaici.
- Tab.44: Principali parametri di funzionamento dell'impianto fotovoltaico dedicato alla centrale termica.
- Tab.45: Analisi dello sviluppo parametrico dell'impianto simulato.
- Tab.46: Nuove classi energetiche determinate.
- Tab.47: Verifica dei parametri per l'attribuzione della classe nZEB.
- Tab.48: Stima del costo iniziale d'investimento e massimali Superbonus 110%.
- Tab.49: Confronto tra i prezzi di acquisto e vendita di gas ed elettricità per il 2019 e il 2023 secondo le statistiche di Eurostat e di ARERA.
- Tab.50: Confronto tra i guadagni della situazione post interventi nei due scenari 2019 e 2023 .

Sommario

Il presente trattato affronta la tematica della riqualificazione energetica di un edificio di tipologia condominiale situato sul confine del centro storico della Città di Ciriè, a nord della provincia di Torino.

Il tema dell'elaborato principale verte attorno all'utilizzo dell'incentivo fiscale Superbonus 110% e su come questo possa essere applicato nel caso studio per massimizzarne le prestazioni energetiche.

Per poter comprendere al meglio l'importanza di un tale dispositivo di legge, il trattato è stato suddiviso in due parti principali. Nella prima parte viene affrontata, a titolo di premessa, una digressione sullo sviluppo del tema dei consumi energetici in ambito residenziale. Viene quindi presentata una prima analisi dello stato di fatto dell'andamento del fabbisogno energetico residenziale italiano negli ultimi trent'anni, per poi spostarsi su quelli che sono gli obiettivi climatici italo-europei per il 2030, ed infine affrontare quello che è stato lo sviluppo legislativo in tema d'energia, sempre nel medesimo settore.

Sempre nella prima parte dell'elaborato viene successivamente mostrato l'aspetto tecnico legislativo del dispositivo di legge, ovvero cosa comporta, come poterlo sfruttare, in che limiti e infine come questo è cambiato dalla sua entrata in vigore in particolar modo riferito all'anno presente. Come ultimo aspetto, viene presentata un'analisi in cui in primo luogo si evidenzia come l'incentivo fiscale abbia inciso sull'economia del Paese dal 2020 ad oggi, e successivamente quella che è stata anche la sua incidenza in tema di salvaguardia climatica.

La seconda parte del trattato verte, invece, sull'attenta analisi del caso studio preso in considerazione. Viene dunque dettagliatamente presentato lo stato di fatto dell'edificio sia dal punto di vista impiantistico e dei relativi fabbisogni primari, andando quindi ad evidenziare le principali criticità della struttura. A seguire sono state riportate tutte le ipotesi e le considerazioni effettuate, finalizzate a determinare quali tipologie d'intervento fossero più idonee per la struttura, con l'obiettivo di massimizzare l'efficiamento energetico. L'analisi, quindi, tratterà principalmente l'integrazione della pompa di calore con l'installazione dell'impianto fotovoltaico e di come questi sistemi permettano, di raggiungere considerevoli obiettivi in tema di risparmio energetico.

Un'ultima considerazione, sempre incentrata sul caso studio, riguarda lo sviluppo di un'analisi preliminare di fattibilità economica, in cui viene in primo luogo evidenziato il costo iniziale d'investimento, e successivamente il suo ritorno economico ipotizzando possibili soluzioni alternative al Superbonus 110%.

L'elaborato è stato realizzato grazie ad uno stage curriculare presso la società d'ingegneria Metroquadro Snc, studio tecnico che vanta anni di esperienza nel settore della progettazione di strutture edili con una particolare attenzione alla riqualificazione energetica dell'attuale patrimonio edilizio italiano.

Tutti i calcoli svolti nel trattato sono stati resi possibili tramite l'utilizzo di alcuni software dedicati come Termo di Namirial S.p.a, Polysun di Vela Solaris e infine Excel di Microsoft.

2. Stato di fatto della situazione energetica italiana e quadro normativo vigente.

2.1. Inquadramento dei consumi energetici per settore economico italiano

Negli ultimi anni, uno degli aspetti che più ha interessato il mercato, con maggior attenzione da un punto di vista economico-politico, è sicuramente stato il settore energetico.

Ambito d'interesse estremamente eterogeneo, coinvolge lo sviluppo di un Paese dagli aspetti più tecnici e ingegneristici fino agli argomenti più sociali, in quanto l'approvvigionamento energetico è da sempre una delle necessità primarie dell'uomo.

La crescente attenzione verso tale settore, negli ultimi decenni, è dovuta principalmente ad una politica più attenta e scrupolosa in tema consumo energetico, in quanto è stato appurato che le principali risorse energetiche di origine fossile sono limitate e il continuo aumento della richiesta e di consumo ha comportato una sempre più rapida traslazione verso il loro esaurimento.

Un secondo aspetto, ma non certamente meno importante, che ha favorito un più cauto sviluppo energivoro è dovuto sicuramente alla sempre più massiccia presenza in atmosfera di gas che comportano un incremento dell'effetto serra e al contempo un maggiore tasso di tossicità dell'aria che quotidianamente viene respirata. L'eccessiva presenza di queste sostanze è causa, soprattutto per i gas serra, di un considerevole e costante cambiamento climatico che ha portato ad un innalzamento delle temperature medie ed a eventi climatici sempre più impetuosi con ripercussioni sia sociali che economiche, assolutamente non trascurabili.

Questa concomitanza di eventi ha indotto le Nazioni maggiormente sviluppate ad incrementare la ricerca e lo studio su forme di sviluppo più sostenibili dal punto di vista energetico ambientale. Ciò ha portato negli anni all'introduzione nel mercato di tecnologie per la produzione d'energia che sfruttano fonti d'origine rinnovabile, come quella solare adottata dai sistemi fotovoltaici o dai collettori solari termici. La loro presenza, sempre più incisiva sul mercato, ha reso necessario, ad esempio in Europa, lo sviluppo di politiche pluridecennali che evidenziano come obiettivo principale l'affermazione sempre più massiccia di queste fonti alternative nel quadro generale della produzione energetica mondiale, e sempre più in sostituzione delle fonti ad alto tasso d'inquinamento; così da raggiungere obiettivi concreti sulla riduzione delle emissioni in atmosfera di sostanze inquinanti.

I consumi energetici vengono divisi in base al settore economico di rispettivo interesse. Prima di approfondire nel dettaglio gli aspetti e il caso studio di questa analisi, è importante introdurre delle considerazioni e ricerche in merito allo stato di fatto della attuale situazione dei consumi energetici, quantomeno italiana; analisi utile al fine di capire meglio il perché della necessità di attuare dispositivi di legge che hanno il fine di facilitare l'efficientamento energetico generale ed in particolare per il settore residenziale; argomento principale della presente analisi. Altresì utile, sarà, successivamente, una breve digressione su quello che è stato il principale sviluppo legislativo in tema di energia dello Stato italiano, in ambito residenziale, partendo dalle prime linee guida da seguire fino alle attuali politiche di incentivazione ed efficientamento.

Di seguito verranno mostrate alcuni grafici e tabelle che evidenziano l'andamento temporale dei consumi energetici in Italia suddivisi per settore economico di appartenenza. I risultati evidenziati dalle analisi svolte da ENEA e ARERA, sulla base dei dati Eurostat, sono riportati in Ktep o Mtep; unità di misura particolarmente utile per indicare grandi consumi di energia [1]. Un *tep* indica, dunque, l'energia rilasciata dalla combustione di una tonnellata di petrolio, ovvero circa 42 GJ.

Settore	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
	ktep															
Agricoltura e pesca	3.109	3.252	3.164	3.321	3.288	3.177	3.085	3.122	2.940	2.924	2.824	2.785	2.776	2.851	2.871	2.918
Industria	34.093	33.888	37.585	37.212	36.145	35.908	34.528	28.553	29.015	27.745	26.949	25.354	24.739	24.853	25.089	24.926
Siderurgia	5.657	5.383	4.933	4.811	4.800	4.700	4.569	3.275	3.651	3.843	4.011	3.560	3.635	3.547	3.681	3.597
Estrattive	139	147	167	181	190	181	176	149	151	174	123	116	121	111	122	113
Metalli non ferrosi	826	817	965	964	982	947	931	858	843	944	764	639	644	625	655	694
Meccanica	3.268	4.003	5.129	5.272	5.285	5.226	5.119	4.144	4.394	4.094	3.865	3.721	3.689	3.755	3.828	3.922
Agroalimentare	2.104	2.784	3.496	3.444	3.292	3.191	3.289	2.995	2.777	2.726	2.677	2.657	2.737	2.708	2.824	2.853
Tessile e abbigliamento	1.975	2.461	2.708	2.383	2.258	1.908	1.655	1.384	1.340	1.191	1.201	1.167	1.138	1.106	1.099	1.163
Minerali non metalliferi	7.448	6.936	8.090	8.893	8.153	8.123	8.218	5.943	5.948	5.842	5.396	4.984	4.487	4.971	4.622	4.193
Chimica e petrolchimica	6.844	6.649	6.162	5.425	5.180	5.674	4.718	4.365	4.242	4.098	4.112	4.137	3.723	3.292	3.506	3.654
Cartaria e grafica	1.825	2.403	2.640	2.736	2.771	2.837	2.567	2.433	2.412	2.246	2.356	2.020	2.244	2.372	2.314	2.286
Altre manifatturiere	3.885	2.102	3.091	2.892	3.027	2.915	3.081	2.816	3.054	2.155	2.062	1.992	1.969	2.017	2.083	2.069
Edilizia	122	202	204	210	206	205	203	192	203	433	383	361	353	350	355	381
Trasporti	32.707	36.615	39.692	41.839	42.217	42.315	40.707	39.131	38.566	38.572	36.349	35.701	37.009	36.374	35.815	34.525
Altri Settori	34.614	36.734	39.300	49.137	48.129	47.637	50.756	51.102	52.531	48.277	50.438	50.214	44.324	48.029	47.780	51.242
Residenziale	26.061	26.324	27.592	33.922	32.424	32.340	33.612	34.041	35.393	32.378	34.348	34.231	29.546	32.494	32.185	32.899
Servizi ¹	8.174	9.817	11.542	15.053	15.569	15.182	17.019	16.919	16.979	15.751	15.931	15.847	14.667	15.391	15.440	18.242
altri settori	379	593	166	162	137	116	125	141	160	147	159	137	111	143	155	102
Consumi finali	104.522	110.488	119.742	131.509	129.778	129.036	129.077	121.908	123.053	117.518	116.559	114.054	108.848	112.108	111.555	113.611
Usi non energetici	10.424	9.787	8.429	8.611	9.006	8.934	8.909	8.488	9.560	9.187	7.880	6.339	7.188	6.605	6.306	7.915
Differenze statistiche	148	538	594	-528	-1.947	-1.418	-1.103	426	-885	-1.093	-2.569	306	-2.078	-1.085	-1.107	-352
Disponibile per il consumo finale	115.095	120.813	128.765	139.592	136.837	136.553	136.884	130.822	131.728	125.612	121.870	120.700	113.958	117.629	116.754	121.174
Trasformazioni e perdite	31.522	38.419	42.947	46.857	47.908	47.643	44.853	38.753	41.949	42.330	39.470	34.691	32.812	34.934	34.228	34.920
Aviazione interna	1.517	1.959	2.827	2.997	3.212	3.412	3.293	2.997	3.167	3.250	3.101	3.001	3.076	3.166	3.296	3.419
Consumo interno lordo	148.134	161.191	174.540	189.445	187.956	187.607	185.029	172.572	176.845	171.192	164.441	158.391	149.846	155.730	154.278	159.513

Fonte: MSE, ENEA

Legenda:
¹ I consumi degli acquedotti sono inseriti nel settore Servizi

Tab. 1: Dettaglio dei consumi energetici italiani negli ultimi trent'anni per settore economico [1].

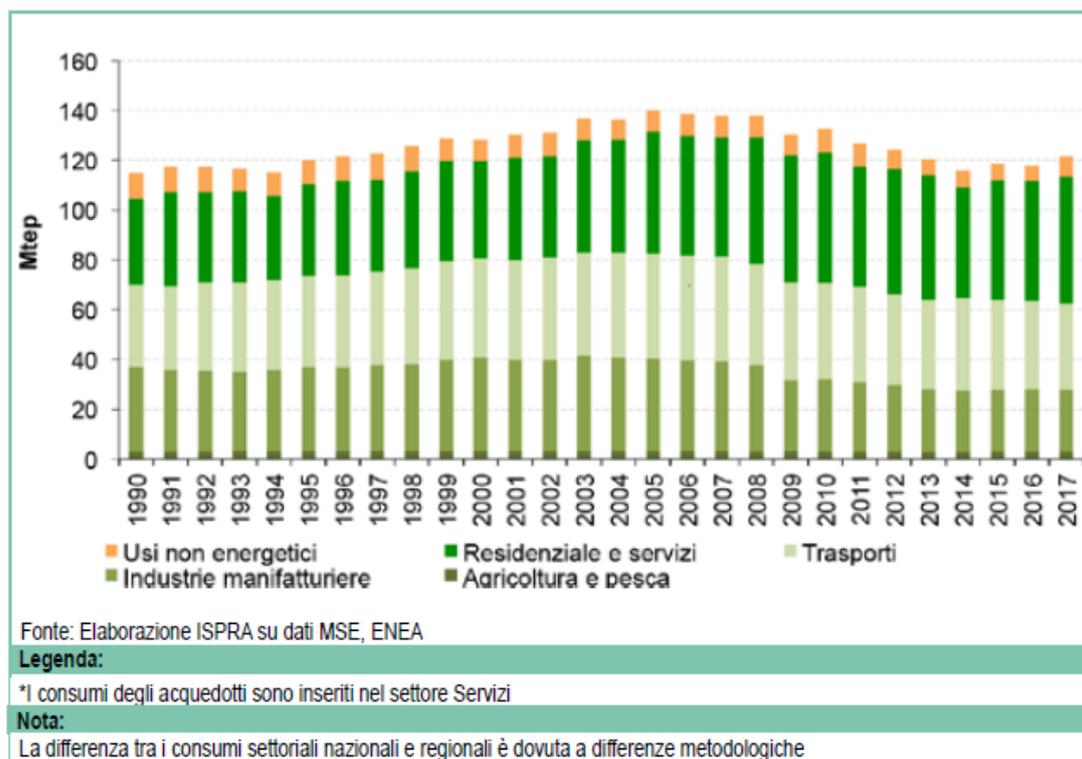


Fig.1: Andamento dei consumi energetici italiani negli ultimi trent'anni [1].

Come viene chiaramente messo in evidenza nel grafico precedente, a differenza del settore industriale e dei trasporti che hanno mostrato un andamento dei consumi in parziale decrescita, il settore residenziale e dei servizi mostra invece uno sviluppo crescente o perlomeno costante. Questi dati evidenziano come questo settore negli anni sia diventato tra i più energivori, e pertanto necessita di un maggior monitoraggio e soprattutto di politiche d'incentivazione e miglioramento in termini di prestazioni energetiche.

Questo basso livello di prestazione energetica nelle strutture edilizie deriva principalmente da interi decenni di progettazione strutturale senza la corrispettiva presenza di una normativa chiara sulla qualificazione energetica. Pertanto, ad oggi, risulta normale che sul territorio italiano, la maggioranza delle strutture edili, presenti un'inadeguata pianificazione energetica a monte della sua progettazione, come ad esempio la mancanza di sistemi di isolamento nelle strutture ai fini di diminuirne le dispersioni, oppure l'utilizzo di sistemi di alimentazione dell'impianto riscaldante obsoleti ed alimentati interamente a metano o gasolio. Solamente le strutture di più recente costruzione presentano delle tecnologie per migliorare le prestazioni energetiche in quanto soggetti alle più recenti e stringenti normative; tuttavia, questi rappresentano solamente una piccolissima parte rispetto alla presenza sul territorio di edifici necessitanti una ristrutturazione.

2.2. Obiettivi e sviluppi futuri in tema di energia per il 2030

Explicitata brevemente l'evoluzione del consumo energetico italiano negli ultimi trent'anni, prima di entrare più nel dettaglio di quella che è stata l'evoluzione della normativa italiana in tema di efficientamento energetico residenziale; è bene fare una delucidazione invece su quello che sarà il futuro della situazione energetica ed ambientale generale. Per poter svolgere tale analisi, è bene focalizzarsi non tanto su quello che sarà il futuro italiano, ma più che altro su quello europeo, in quanto la Comunità Europea impone degli obiettivi a cui tutti gli Stati membri devono sottostare per non incorrere in sanzioni, e nel farlo attua politiche di incentivazione, principalmente economiche, che facilitano lo sviluppo, la ricerca e l'integrazione di sistemi efficienti e con un tasso d'impatto ambientale se non nullo, almeno trascurabile.

Per l'analisi in questione è sufficiente soffermarsi sugli obiettivi previsti per il 2030, in quanto rappresentano innanzitutto il primo grande traguardo per la transizione energetica ed in secondo luogo, le analisi statistiche sull'andamento degli sviluppi energetici risultano essere più facilmente prevedibili in un periodo di analisi più breve rispetto, ad esempio, al 2050 che rappresenta il secondo scoglio da raggiungere per la neutralità dell'emissioni nel settore.

I primi target inerenti a tal periodo sono stati presentati dalla Commissione Europea il 22 gennaio 2014, successivamente approvati nel 2015, attraverso il Quadro 2030 per le politiche dell'energia e del clima. Brevemente i capisaldi di questo primo quadro generale vertevano sull'obiettivo assolutamente vincolante di ridurre le emissioni di gas a effetto serra di almeno il 40% rispetto ai livelli registrati nel 1990, aumentare la quota generale di produzione energetica da fonti rinnovabili di almeno il 27% ed infine di raggiungere un target di miglioramento della sicurezza energetica e soprattutto dell'efficienza pari almeno ad un ulteriore 27% [2].

Successivamente nel 2016, è stato proposto un pacchetto di modifiche legislative, denominato Clean Energy Package, approvato nel 2018, con il fine di ridisegnare il profilo del mercato elettrico europeo. In particolare, l'Unione Europea ha voluto intervenire sull'approvvigionamento elettrico aggiornando gli obiettivi sanciti nel 2015, andando quindi ad introdurre essenzialmente la fissazione dell'obiettivo del 32% di energia da fonti rinnovabili entro il 2030, ad opera della direttiva 2018/2001/UE; mentre un ulteriore fissazione dell'obiettivo del 32,5% di efficienza energetica, nel medesimo periodo, ad opera della direttiva 2018/2002 UE.

Dati questi importanti obiettivi, in particolare il target riguardante la riduzione del 40% delle emissioni dei gas serra, nel 2018, l'Unione europea ha emanato il Regolamento UE 1999/2018, comunemente noto come Legge europea sul Clima, la quale ribadisce a titolo di legge la vincolatività degli obiettivi sopra citati; pertanto, sancisce una base legislativa per le politiche di governo degli anni futuri sotto la chiave di lettura di uno sviluppo energetico sostenibile. Tali normative, inoltre sono in linea con l'accordo di Parigi [3], avvenuto nel 2015, in cui almeno 55 Paesi responsabili del 55% delle emissioni globali di gas serra, si impegnano a firmare un piano d'azione per limitare il riscaldamento globale che comprende le seguenti linee guida:

- un obiettivo a lungo termine, ovvero contenere l'aumento delle temperature entro e non oltre a 1,5°C;
- contributi NDC (determinanti a livello nazionale), ovvero piani d'azione nazionali in materia di clima;
- ambizione, ovvero raggiunto un primo step di miglioramento, gli Stati sono tenuti a proseguire verso un obiettivo ulteriormente più ottimale;
- trasparenza, ovvero gli Stati sono tenuti a comunicare ogni cinque anni gli obiettivi raggiunti;

- solidarietà, ovvero la necessità di fornire finanziamenti per il clima ai Paesi in via di sviluppo per aiutarli nella transizione energetica.

Nel dicembre 2019, la Commissione ha pubblica il Green Deal europeo che rappresenta una seconda strategia complessiva sullo sviluppo energetico e climatico europeo per non solo il 2030, ma in generale per il prossimo trentennio. Più nel dettaglio , si può riassumere quanto stabilito in alcuni punti chiave come un conseguimento, nuovamente, delle riduzioni di emissione di gas inquinanti in atmosfera compreso tra il 50 e il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli presenti nel 1990 e successivamente raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. Altri punti salienti della strategia riguardano la tutela e la salvaguardia delle vite umane, animali e vegetali dalle intemperie climatiche dovute all'inquinamento; aumentare lo share di attività e le imprese nello sviluppo dei relativi prodotti attraverso processi green e puliti ed infine contribuire ad una transizione equa, solidale e soprattutto inclusiva, ovvero che comprenda anche gli Stati ancora in via di sviluppo, permettendo loro di accedere direttamente alle tecnologie sostenibili.

Successivamente alla pubblicazione del Green Deal europeo, vi sono stati due procedimenti legislativi, eseguito in concomitanza ai fini di fissare i nuovi obiettivi citati. In primo luogo, vi è stato, giugno 2021, l'approvazione definitiva del Regolamento (UE) 2021/1119, varato come modifica della Legge europea sul Clima del 2018, il quale ha introdotto l'obiettivo del raggiungimento delle riduzioni delle emissioni climalteranti di almeno il 55% rispetto alla situazione di inizio anni Novanta, esattamente come proposto nel Green Deal a in via definitiva a titolo legislativo. In secondo luogo, è stato presentato, il 14 luglio 2021, il Pacchetto "Fit to 55", nel quale vengono centrati, nuovamente, ulteriori ambiziosi obiettivi strategici su temi quali clima, energia, trasporti e edilizia. In particolare, con il fine di raggiungere una riduzione del 55% delle emissioni, risulta fondamentale la necessità di incrementare le integrazioni di sistemi ad energia rinnovabili nel mix delle risorse europee, almeno ad una percentuale del 40%; risulta altresì fondamentale, aumentare ulteriormente l'efficienza energetica, in quanto risulta infattibile raggiungere gli obiettivi predisposti dal Fit to 55, se non avviene una riduzione dei consumi di almeno il 39% dell'energia primaria. Questa condizione obbliga a sviluppare sistemi a basso consumo così da permettere alle nuove tecnologie rinnovabili di operare alle condizioni ottimali [2].

A inizio 2022, in seguito alla crisi tra Russia e Ucraina, la Commissione europea ha predisposto un piano d'emergenza temporaneo da integrare ai processi legislativi citati finora, denominato Piano REPowerEU, che si propone di incrementare rapidamente il risparmio energetico, produrre energia pulita e diversificare l'attuale approvvigionamento energetico, in quanto, in quel momento i maggiori fornitori di gas naturale per l'alimentazione delle centrali a gas risultavano essere Algeria e Russia. Queste nuove considerazioni prevedono dunque una produzione europea solo da fonti rinnovabili di 1.236 GW di potenza entro il 2030, a fronte dei 1.607 GW previsti con il Pacchetto Fit to 55. Se si volesse fare una considerazione più pratica e diretta, sarebbe sufficiente sapere che nel caso del fotovoltaico, con queste nuove disposizioni, si porterebbe ad una produzione di 320 GW elettrici immessi nella rete europea entro il 2025 e a quasi 600 GW nel 2030; riducendo il consumo di gas naturale di circa 9 miliardi di m³ all'anno entro il 2027.

2.3. Evoluzione legislativa italiana in tema di energia nel settore residenziale

Introdotta questa breve digressione sugli obiettivi climatico/energetici dell'Europa e quindi dell'Italia, risulta altresì interessante soffermarsi su quella che è invece l'evoluzione della legislatura italiana in tema di energia, e più nello specifico nel settore residenziale come già anticipato precedentemente. Si sottolinea che alcuni aspetti risulteranno ridondanti in corrispettivo a ciò che è già stato menzionato pocanzi, in quanto svariate condizioni risultano essere niente poco di meno che l'applicazione di un piano di sviluppo europeo al contesto italiano; in quanto sicuramente il settore residenziale ampiamente rientra nella fascia in cui è necessario procedere con fasi d'incentivazione per migliorare lo stato attuale.

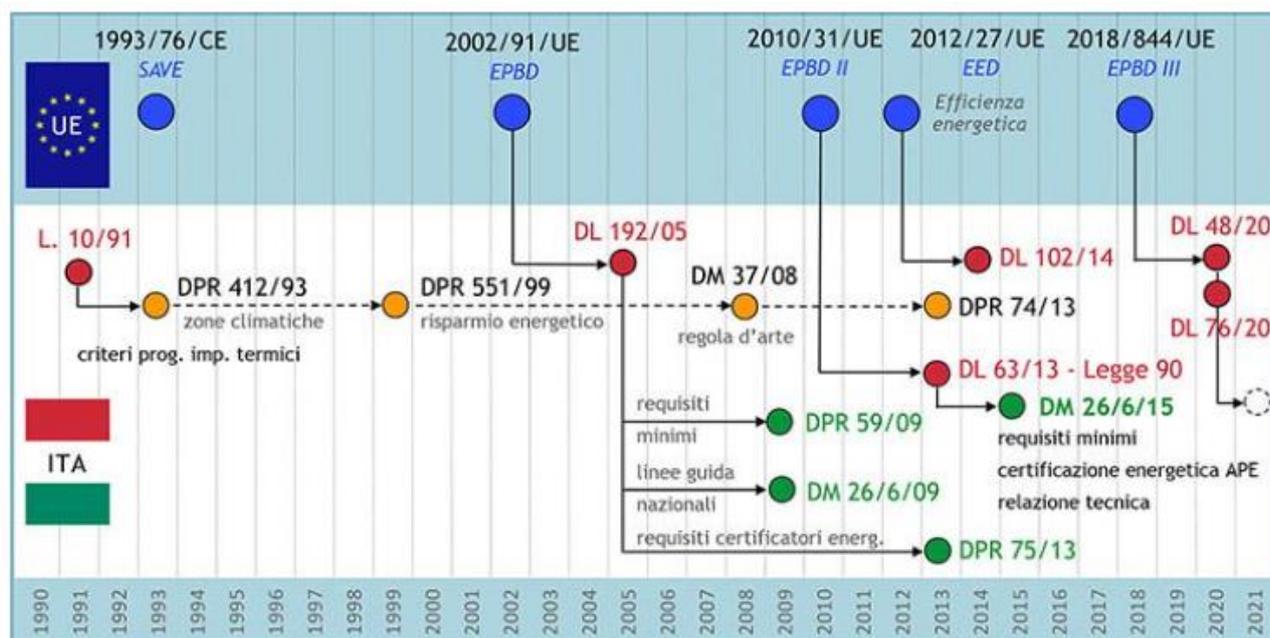


Fig.2: Immagine esemplificativa dello sviluppo legislativo italiano [4].

Il settore edilizio, come già mostrato in precedenza, è responsabile di circa il 40% del consumo energetico italiano, ed il responsabile di circa il 36% delle emissioni dei gas serra; ciò evidenzia come politiche d'intervento e riqualificazione risultino essere fondamentali. L'Italia, in parte seguendo le varie direttive europee, e in parte cercando un costante miglioramento autonomo, ha nel corso degli anni attuato norme finalizzate alla riduzione dei consumi e nell'ultimo periodo ha predisposti sistemi di incentivazione fiscale come l'Ecobonus, Sismabonus e il più recente Superbonus per concretizzare il più possibile processi di efficientamento energetico degli edifici più datati.

Il primo approccio legislativo in tema di risparmio energetico residenziale in Italia è stato varato nel 1976, attraverso la Legge 373/76 denominata "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici" [4], nella quale venivano introdotte delle linee guida sull'isolamento termico degli edifici e sulla progettazione degli impianti termici. Nata a causa dell'instabilità dei territori mediorientali, principali fornitori di materia prima energetica fossile, era sostanzialmente suddivisa in tre parti: la prima inerente alla progettazione degli impianti termici, la seconda incentrata sull'isolamento termico e la terza riguardava le sanzioni in caso di mancata osservanza della stessa. Attualmente risulta essere stata abrogata. Drammatica è la visione d'insieme, se si tiene in considerazione che circa il 70% degli edifici presenti sul territorio italiano ha più di 45 anni, pertanto potenzialmente precedente alla prima legge in tema di risparmio energetico edilizio. In Italia, mediamente, gli edifici residenziali

necessitano di un fabbisogno di energia primaria complessivo compreso tra i 160 e i 180 kWh/m² all'anno.

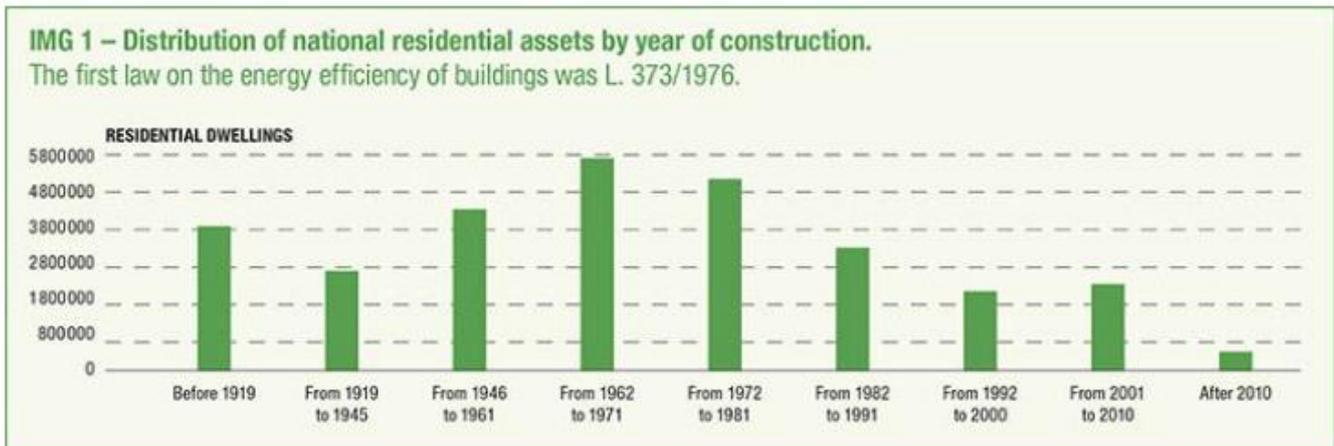


Fig.3: Distribuzione temporale della realizzazione degli edifici su territorio nazionale [4].

Successivamente la Legge 9 gennaio 1991 n.10, parte attuativa del Piano Energetico Nazionale, è stata la prima legge che regolamentava, e in parte tutt'ora lo fa, le modalità di progettazione e la gestione del sistema edificio/impianto. La sua attuazione è stata regolamentata dal DPR 412/93 e il successivo DPR 551/99 che disciplinavano in modo preciso i calcoli necessari, tra cui quello del FEN (fabbisogno energetico normalizzato) facendo riferimento alle norme UNI. Tramite questi DPR nasce il concetto dei Gradi Giorno e la suddivisione del territorio nazionale in zone climatiche.

L'inizio di un vero processo legislativo e di sensibilizzazione dei consumi energetici e delle emissioni di gas serra si deve all'Europa, che spinta dal Protocollo di Kyoto del 1997, ha emanato la Direttiva 2002/91/CE, anche nota come EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) inerente al rendimento energetico degli edifici. Tale direttiva, in Italia, è stata recepita tramite il Dlgs.192/2005 che stabiliva i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici con l'obiettivo di favorire lo sviluppo, valorizzazione e integrazione di fonti rinnovabili e la diversificazione energetica. Pertanto, vengono ora considerati tutti i consumi di energia per il calcolo del rendimento energetico, aspetto che prima risultasse essere limitato solamente agli impianti termici. Nasce ora l'obbligo in caso di costruzione o compravendita di fornire l'attestato di certificazione energetica (ACE) all'acquirente [4].

Nel 2010 viene approvata una nuova direttiva 2010/31/UE, anche nota come EPBD II "Recast", con il compito di sostituire la precedente del 2001. Tale provvedimento promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici tenendo in considerazione il benessere termo-igrometrico delle zone termiche in funzione del rendimento degli impianti di riscaldamento/raffrescamento. Viene inoltre stabilito che dal 1° gennaio 2021 tutti gli edifici di nuova costruzione rispecchino i parametri degli "edifici a energia quasi zero" (nZEB), in cui il fabbisogno energetico sia talmente basso da poter essere coperto per oltre il 60% interamente da fonti ad energia rinnovabile.

Successivamente tramite il Dlgs 28/2011, in particolare tramite l'Allegato 3, viene definito il quadro normativo relativo agli obblighi di installazione da fonti rinnovabili per soddisfare i bisogni termici ed elettrici degli edifici. Vengono inoltre definite, in base a quando vengono presentate le richieste del titolo edilizio; la percentuale di copertura da fonti rinnovabili dei consumi per la produzione di acqua calda sanitaria principalmente e in secondo piano il fabbisogno del mix energetico generale dell'edificio.

CALENDARIO DELLE SCADENZE ITALIANE E EUROPEE

	RINNOVABILI TERMICHE: obbligo di soddisfacimento		RINNOVABILI ELETTRICHE: obbligo di soddisfacimento
	Fabbisogno per l'acqua calda	Fabbisogno per l'acqua calda+riscaldamento+raf frescameta	Potenza elettrica degli impianti alimentati da fonti rinnovabili
dal 1° giugno 2012	50%	20%	1 kW per ogni unità abitativa, 5kW per gli edifici industriali da 100 mq
dal 1° gennaio 2014		35%	1,2 kW per ogni unità abitativa, 5kW per gli edifici industriali da 100 mq in su
dal 1° gennaio 2017		50%	1,6 kW

dal 1° Giugno 2012 Dlgs 28/2011

Gli obblighi dell'Allegato 3 del Dlgs 28/2011 sulle rinnovabili sono validi anche per gli edifici sottoposti a "ristrutturazioni rilevanti". Questi obblighi sono incrementati, per tutti gli edifici pubblici, del 10%.



Fig.4: Scadenze e percentuali del Dlgs 28/2011 [4].

Esattamente l'anno successivo, la Comunità Europea, emana una la nuova Direttiva 2012/27/UE, denominata anche EED, in cui viene stabilito il quadro comune di attività da intraprendere con l'obiettivo di incrementare l'efficienza energetica del 20% entro il 2020. Si prevede che ogni Stato membro debba assicurare che entro il 31 dicembre 2020, tutti i distributori di energia presentino un risparmio sui consumi del 1,5%. Viene inoltre stabilito che i prezzi, nei confronti dei clienti, di forniture energetico come elettricità o teleriscaldamento abbiano un andamento concorrenziale e che riflettano con precisione i consumi effettuati. Infine, viene appurata la grande necessità di mobilitare investimenti per ristrutturare il parco nazionale di edifici residenziali e commerciali. In Italia, tale Direttiva è stata recepita attraverso il DL 102/14, tramite cui, in primo luogo, sono stati avviati dei provvedimenti di riqualificazione degli edifici della Pubblica amministrazione. Successivamente il decreto-legge prevedeva che entro il 5 dicembre 2015, le aziende fossero tenute periodicamente a presentare delle diagnosi energetiche inerenti ai consumi per i processi industriali; inoltre vengono avviate analisi territoriali per facilitare le aziende che vogliono investire in impianti di teleriscaldamento superiori ai 20 MW termici [4].

Tra il 2013 e il 2015 avvengono importanti cambiamenti che porteranno a formare quella che è l'attuale analisi energetica residenziale. Tramite il Dlgs 63/13 viene introdotta quello che è oggi l'Attestato di Prestazione Energetica (APE) che sostituisce la precedente ACE, andando a ricalcare i suoi temi principali e integrandone altri come, ad esempio, l'analisi dei consumi per illuminazione (per il settore terziario) e ventilazione. Il 26 giugno 2015, attraverso il DM 26/06/2015 vengono definiti tre importanti provvedimenti che completano il quadro normativo in tema di efficienza energetica nel settore edilizio, ancora tutt'ora in opera. Vengono definiti i "Requisiti Minimi" dove si definiscono le nuove modalità di calcolo della prestazione energetica per i nuovi edifici e quelli soggetti a ristrutturazione. Vengono definite le Linee Guida APE, ovvero le nuove normative per la redazione di tale documento, e infine viene definita la Relazione Tecnica Legge 10 (massiccio aggiornamento della legge del 19 agosto 2005 n.192). Le opere vengono differenziate in:

- nuove costruzioni o ristrutturazioni importanti di primo livello, nZEB;

- ristrutturazione importante di secondo livello;
- riqualificazione energetica dei soli impianti tecnici.

Nel 2018 viene emanata la Direttiva UE 2018/844, nota come EPBD III. Tale direttiva fa parte del pacchetto di misure legislative noto come Clean Energy Package, già citato precedentemente. Tale direttiva mira ad accelerare la ristrutturazione efficiente a lungo termine degli edifici esistenti, promuovere l'uso di tecnologie informatiche come (ICT) per garantire agli edifici di consumare e operare in maniera quanto più possibile efficiente e infine promuove l'installazione di sistema per la domotica e lo sviluppo delle infrastrutture di ricarica residenziale per la mobilità elettrica. In Italia, tale direttiva è stata integrata tramite i Dlgs 48/2020 e il Dlgs 73/2020.

Per il presente trattato, è infine importato introdurre il decreto-legge n.34 del 19 maggio 2020, detto anche Decreto Rilancio Italia. In tale decreto vengono trattati vari temi attuali come la salute e sicurezza in quanto nel 2020, l'Italia si trovava in piena emergenza sanitaria dovuta alla pandemia Covid-19. Vengono inoltre trattati argomenti come la sicurezza sul lavoro e la situazione lavoro/famiglia. Di maggiore interesse per l'elaborato in questione riguarda la sezione dedicata agli incentivi e alle agevolazioni fiscali, in quanto viene introdotto il Superbonus 110%, una forma di detrazione fiscale molto particolare che può essere estesa fino al 110%, ovvero è possibile cedere l'intero credito d'imposta alle banche. Tale incentivazione ha compreso sia i precedenti Ecobonus e Sismabonus, ampliandone ulteriormente l'applicabilità. Inizialmente tale incentivazione era consentita solo per i lavori svolti tra il 1° luglio 2020 e il 31 dicembre 2021, successivamente la legge ha subito varie modifiche estendendone l'applicazione. Nel capitolo successivo verrà trattata questa forma di agevolazione più nel dettaglio.

3. Superbonus 110%

3.1. Cos'è?

Con l'approvazione del decreto di legge n. 34/2020, anche chiamato decreto Rilancio, è stato reso possibile incrementare l'aliquota delle detrazioni fiscali al 110% riguardo le spese sostenute per la realizzazione di interventi volti a migliorare l'efficienza degli edifici dal punto di vista energetico, per la riduzione del rischio sismico, per l'installazione di sistemi fotovoltaici e anche la possibile installazione di infrastrutture volte alla ricarica dei veicoli elettrici [5].

Le detrazioni al 110% fruibili attraverso il Superbonus vengono ulteriormente aggiunte a quelle già vigenti riguardanti le detrazioni dal 50 al 85% delle spese riguardanti gli interventi di:

- Recupero del patrimonio edilizio, inclusi quelli antisismici, regolamentati dall'articolo 16 del decreto-legge n. 63/2013, conosciuto anche come Sismabonus.
- Riqualificazione energetica degli edifici, regolamentati dall'articolo 14 del decreto-legge n. 63/2013, conosciuto anche con il nome di Ecobonus.

Vi è, inoltre, la possibilità generalizzata di optare per un contributo sotto forma di sconto dai fornitori dei beni o dei servizi (chiamato anche sconto in fattura), oppure per la cessione del credito corrispondente alla detrazione spettante. Riguardo queste forme di agevolazioni, se ne parlerà più nel dettaglio più avanti nell'analisi.

3.2. Cosa comprende?

Il Superbonus è usufruibile per le spese sostenute per interventi effettuati su parti comuni di edifici, su unità immobiliari funzionalmente indipendenti, site all'interno di edifici plurifamiliari oppure direttamente sulle singole unità immobiliari. Spesso più di una di queste condizioni si verifica durante una pratica in cui viene applicato il Superbonus.

La detrazione del 110% viene applicata per diverse tipologie di intervento, in particolare questi vengono classificati in Interventi trainanti e Interventi trainati [5]. Nella prima tipologia consideriamo, per quel che riguarda l'efficientamento energetico:

- Interventi riguardanti l'isolamento termico delle superfici opache verticali, orizzontali e inclinate che interessano il fabbricato, compresi anche quelli unifamiliari, con un'incidenza maggiore del 25% della superficie disperdente lorda dell'edificio stesso o dell'unità immobiliare interna di un edificio plurifamiliare. La coibentazione della copertura rientra nella detrazione senza limitare la superficie disperdente al solo locale sottotetto.
- Interventi riguardanti la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale con impianti centralizzati per il riscaldamento, raffrescamento e la fornitura di acqua calda sanitaria sulle parti comuni dell'edificio o sulle stesse singole unità immobiliari. Ovviamente il discorso vale anche per gli edifici unifamiliari.

Per quanto riguarda gli interventi detti trainati, questi possono sfruttare la detrazione al 110% purché vengano eseguiti congiuntamente ad almeno uno degli interventi di isolamento termico o di sostituzione degli impianti di climatizzazione. Di questi consideriamo:

- Tutti gli interventi di efficientamento energetico rientranti nell'ecobonus, sempre nei limiti di spesa previsti dalla legislazione vigente per ciascun intervento, come ad esempio la sostituzione degli infissi con serramenti aventi prestazioni energetiche migliori.
- Installazione di infrastrutture per la ricarica dei veicoli elettrici.
- Installazione di impianti solari fotovoltaici connessi alla rete elettrica sugli edifici o su strutture pertinenziali agli edifici.
- Installazione contestuale o successiva di sistemi di accumulo integrati negli impianti solari fotovoltaici agevolati.

Volendo entrare più nel dettaglio di cosa comportano le varie limitazioni delle detrazioni per le varie tipologie d'intervento si può riassumere nel seguente paragrafo.

a) Interventi Trainanti

Come detto precedentemente gli interventi che prevedono la coibentazione delle superfici opache verticali e orizzontali devono avere un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda e inoltre devono rispettare dei valori di trasmittanza U [W/m^2K], definiti dal decreto del Ministero dello Sviluppo Economico insieme al Ministero dell'Economia e delle Finanze, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e infine dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti il 6 Agosto 2020 [6]. Pertanto, per questa tipologia d'interventi, il Superbonus è calcolato su un quantitativo complessivo delle spese non eccedente a:

- 50000 €, per gli edifici unifamiliari o per le unità abitative immobiliari funzionalmente indipendenti site all'interno di edifici plurifamiliari.
- 40000 €, moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio, se lo stesso è composto da due a otto unità immobiliari.
- 30000 €, moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio, se lo stesso è composto da più di otto unità immobiliari.

Per quanto riguarda gli interventi sulla sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale sulle parti comuni, questi prevedono la sostituzione con impianti centralizzati dotati di:

- Generatori di calore a condensazione, con efficienza almeno pari alla classe A di prodotto prevista dal regolamento delegato (UE) n.811/2013 della Commissione del 18 febbraio 2013.
- Generatori a pompa di calore, ad alta efficienza, anche con sonde geotermiche.
- Apparecchi ibridi, costituiti da pompa di calore integrata con caldaia a condensazione, assemblati in fabbrica ed espressamente concepiti dal fabbricante per funzionare in abbinamento tra loro.
- Sistemi di microgenerazione, che conducano a un risparmio di energia primaria pari almeno al 20%
- Collettori solari

La detrazione, inoltre, spetta anche per le spese relative allo smaltimento e alla bonifica dell'impianto sostituito, con un ammontare delle spese non superiore a 20000 € per ogni unità immobiliare per edifici composti fino ad otto unità abitative, oppure 15000 € se quest'ultime sono più di otto.

Ovviamente queste detrazioni spettano anche agli edifici unifamiliari o sulle unità immobiliari site all'interno di edifici plurifamiliari, le quali siano funzionalmente indipendenti e dispongono di uno o più accessi autonomi dall'esterno.

b) Interventi Trainati

Interventi eseguiti congiuntamente ad almeno uno degli interventi trainanti citati precedentemente; vengono ammessi nella detrazione del Superbonus se le date delle spese sostenute per gli interventi trainati sono ricomprese nell'intervallo di tempo individuato dalla data di inizio e dalla data di fine dei lavori per la realizzazione degli interventi trainanti [5]. Negli interventi trainanti rientrano prevalentemente i lavori di efficientamento energetico previsti dall'articolo 14 del DL n.63/2013 come la sostituzione di finestre e infissi con relative schermature solari di nuova generazione oppure l'installazione di sistemi di termoregolazione evoluti di classi V, VI e VIII come il termostato d'ambiente modulante (classe V), le centraline di termoregolazione e sensore ambientale (classe VI) e infine il controllo della temperatura ambientale a sensori plurimi (classe VIII).

Importante sottolineare che questa tipologia interventi danno diritto al Superbonus anche se gli immobili dovessero essere sottoposti alla tutela disciplinata dal Codice dei beni culturali e del paesaggio (decreto legislativo n.42/2004), solo se questi assicurino il miglioramento di almeno 2 classi energetiche o, se non è possibile in quanto l'edificio è già in penultimo classe, il conseguimento della classe energetica più alta [5].

Un'altra tipologia d'interventi trainati sono quelli riguardanti l'installazione di impianti solari fotovoltaici connessi alla rete elettrica e sistemi d'accumulo. Affinché questi miglioramenti vengano conteggiati nel Superbonus, questi devono:

- Essere installati congiuntamente a uno degli interventi trainanti, come già citato precedentemente.
- La cessione in favore del Gestore dei Servizi Energetici (GSE) dell'energia non auto-consumata in sito o non condivisa per l'autoconsumo, nelle modalità previste dall'articolo 13, comma 3 del decreto legislativo n.387/2003.
- Per gli impianti solari fotovoltaici, la detrazione deve essere ripartita tra quattro quote annuali di pari importo, fino ad un massimale di 48000 € per unità immobiliare ed entro i 2400 € per ogni kW di potenza normale installati.
- Per i sistemi d'accumulo, la detrazione rientra nello stesso massimale di 48000 €, ma con un limite di spesa di 1000 € per ogni kWh di capacità di accumulo.

Infine, un'ultima tipologia di interventi trainati riguarda l'installazione di infrastrutture per la ricarica dei veicoli elettrici, applicabile sempre nel rispetto di alcuni limiti di spesa:

- 2000 €, per gli edifici unifamiliari o per le unità immobiliari situate all'interno di edifici plurifamiliari che siano funzionalmente indipendenti e dispongano di uno o più accessi autonomi dall'esterno.
- 1500 € per gli edifici plurifamiliari o i condomini che installino un numero massimo di otto colonnine.
- 1200 € per gli edifici plurifamiliari o i condomini che installino un numero superiore a otto colonnine.

L'agevolazione fa riferimento ad una sola colonnina per unità immobiliare.

3.3. A chi interessa?

Il superbonus spetta, nella misura del 110%, per le spese sostenute entro il 31 dicembre 2022, a condizione che alla data del 30 settembre 2022 siano stati effettuati lavori per almeno il 30% dell'intervento complessivo, per gli interventi effettuati su unità immobiliari dalle persone fisiche, al di fuori dell'esercizio di attività di impresa. Dal 1° gennaio 2022, inoltre, la detrazione va ripartita tra gli aventi diritto in 4 quote annuali di pari importo.

La detrazione del 110%, prevista fino al 30 giugno 2023, spetta anche per le spese sostenute entro il 31 dicembre 2023 se alla data del 2023 sono stati effettuati lavori per al 60% dell'intervento complessivo, per gli interventi effettuati:

- dagli Istituti autonomi case popolari (IACP), comunque denominati, nonché dagli enti aventi le stesse finalità sociali degli IACP;
- dalle cooperative di abitazione a proprietà indivisa;
- dalle società sportive e dilettantistiche.

3.4. Requisiti degli interventi ammessi al Superbonus

Per poter usufruire delle detrazioni fiscali del Superbonus, gli interventi di efficientamento energetico devono rispettare i requisiti minimi previsti dal decreto del 6 agosto 2020 del Ministero dello Sviluppo Economico [6] ed inoltre devono assicurare il miglioramento di almeno due classi energetiche dell'edificio o, nel caso non fosse possibile, il raggiungimento della classe più alta.

In particolare, i requisiti previsti dal decreto sopra citato, riguardano i valori accettabili di trasmittanze nella situazione ante e post-intervento, ovvero i valori ante intervento devono essere maggiori di quelli riportati nella tabella, mentre nella situazione post-intervento possono essere minori o uguali al valore riportato in tabella.

Tipologia di intervento	Requisiti tecnici di soglia per la tipologia di intervento	
	i. Strutture opache orizzontali: isolamento coperture (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 6946)	Zona climatica A
Zona climatica B		$\leq 0,27 \text{ W/m}^2\text{*K}$
Zona climatica C		$\leq 0,27 \text{ W/m}^2\text{*K}$
Zona climatica D		$\leq 0,22 \text{ W/m}^2\text{*K}$
Zona climatica E		$\leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{*K}$
Zona climatica F		$\leq 0,19 \text{ W/m}^2\text{*K}$
ii. Strutture opache orizzontali: isolamento pavimenti (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 6946)	Zona climatica A	$\leq 0,40 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica B	$\leq 0,40 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica C	$\leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica D	$\leq 0,28 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica E	$\leq 0,25 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica F	$\leq 0,23 \text{ W/m}^2\text{*K}$
iii. Strutture opache verticali: isolamento pareti perimetrali (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 6946)	Zona climatica A	$\leq 0,38 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica B	$\leq 0,38 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica C	$\leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica D	$\leq 0,26 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica E	$\leq 0,23 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica F	$\leq 0,22 \text{ W/m}^2\text{*K}$
iv. Sostituzione di finestre comprensive di infissi (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 10077-1)	Zona climatica A	$\leq 2,60 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica B	$\leq 2,60 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica C	$\leq 1,75 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica D	$\leq 1,67 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica E	$\leq 1,30 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica F	$\leq 1,00 \text{ W/m}^2\text{*K}$

Tab.2: Valori di trasmittanza massimi consentiti per l'accesso alle detrazioni [6].

Altri requisiti minimi sono inerenti all'installazione di pannelli solari.

- Devono essere in possesso della certificazione Solar Keymark.
- Devono avere valori di producibilità specifica espressa in termini di energia solare annua prodotta per unità di superficie lorda; in particolare nel caso di collettori piani, questa deve essere maggiore di 300 kWh/m^2 , mentre nel caso di collettori sottovuoto e collettori a tubi evacuati, deve essere maggiore di 400 kWh/m^2 . Infine, nel caso di collettori a concentrazione, la producibilità minima deve essere maggiore di 550 kWh/m^2 .
- I collettori devono essere garantiti per almeno cinque anni.
- La componentistica elettrica inerente deve essere garantita per almeno due anni.
- L'installazione dell'impianto è stata eseguita in conformità ai manuali d'installazione dei principali componenti.

Altri requisiti minimi inerenti alla sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale con caldaie a condensazione.

- Le caldaie a condensazione installate devono avere un'efficienza stagionale per il riscaldamento η_s maggiore o uguale al 90% pari al valore minimo della classe A di prodotto prevista dal regolamento delegato (UE) n.811/2013 della Commissione europea del 18 febbraio 2013 per le caldaie di potenza superiore a 400 kW e con un rendimento termico utile maggiore o uguale al 98.2%, misurato secondo la norma UNI EN 15502. Inoltre, i sistemi di controllo della temperatura devono appartenere alle classi V, VI, VIII citati nei paragrafi precedenti.

- Se la caldaia a condensazione ha potenza termica utile nominale non superiore a 100 kW, questa deve avere un bruciatore di tipo modulante, la regolazione climatica agisce direttamente sul bruciatore, deve essere stata installata una pompa di tipo elettronico a giri variabili o simile ed infine il sistema di distribuzione deve essere messo a punto in relazione alle portate.

Vi sono requisiti minimi riguardanti la sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di pompe di calore ad alto rendimento, in particolare per pompe di calore elettriche il coefficiente di prestazione istantanei (COP) deve essere pari almeno al valore dichiarato nella seguente tabella. Tale valore deve essere dichiarato dal costruttore attraverso delle prove effettuate in conformità alla UNI EN 14511.

Tipo di pompa di calore	Ambiente esterno [°C]	Ambiente interno [°C]	COP	EER
Ambiente esterno/interno				
aria/aria	Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata: 6	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido all'entrata: 15	3,9 ⁶	3,4
aria/acqua potenza termica utile riscaldamento ≤ 35 kW	Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata: 6	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	4,1	3,8
aria/acqua potenza termica utile riscaldamento >35 kW	Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata: 6	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	3,8	3,5
salamoia/aria	Temperatura entrata: 0	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido all'entrata: 15	4,3	4,4
salamoia/ acqua	Temperatura entrata: 0	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	4,3	4,4
acqua/aria	Temperatura entrata: 10 Temperatura uscita: 7	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido entrata: 15	4,7	4,4
acqua/acqua	Temperatura entrata: 10	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	5,1	5,1

Tab.3: Coefficienti di prestazioni minime delle pompe di calore elettriche [6].

Sono presenti, infine, dei requisiti minimi anche per quanto riguarda la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale con impianti ibridi [6].

- Il sistema ibrido deve essere costituito da pompa di calore e caldaia a condensazione, espressamente realizzati e concepiti dal fabbricante per operare in abbinamento tra loro.
- Il rapporto tra la potenza termica utile nominale della pompa di calore e la potenza termica utile nominale della caldaia è minore o uguale a 0,5.
- I limiti riguardanti la COP della pompa di calore sono i medesimi citati precedentemente.
- I vincoli inerenti alla caldaia a condensazione sono i medesimi citati precedentemente.

3.5. Alternativa alle detrazioni

Come prevista dall'articolo 121 del decreto Rilancio, i contribuenti che fino al 31 dicembre 2025 sostengono spese per gli interventi ammessi al Superbonus, oppure che negli anni 2020, 2021, 2022, 2023, 2024 effettuano spese per gli ulteriori interventi indicati nel comma 2 dell'articolo 121, possono optare, in luogo dell'utilizzo diretto della detrazione spettante, alternativamente a:

- un contributo sotto forma di sconto sul corrispettivo dovuto, di importo massimo non superiore al corrispettivo stesso, anticipato dal fornitore. Il fornitore recupera il contributo sotto forma di crediti d'imposta di importo pari alla detrazione spettante (sconto in fattura).
- cessione del credito d'imposta, corrispondente alla detrazione stessa, ad altri soggetti come istituti di credito, altri intermediari finanziari oppure persone fisiche, società ed enti.

I crediti d'imposta sono utilizzati in compensazione, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo n. 241/1997, attraverso il modello F24. Il credito d'imposta è fruito con la stessa ripartizione in quote annuali con la quale sarebbe stata utilizzata la detrazione. Se la quota del credito d'imposta non sarà utilizzata nell'anno corrente, non potrà essere fruita negli anni successivi, e inoltre non è possibile richiedere un rimborso [5].

3.6. Variazione legislativa dal 2023

L'incentivo subisce un netto rimodellamento nell'anno corrente, subendo in primo luogo una riduzione della quota ammissibile alle detrazioni, per tutti gli interventi in cui la domanda è stata presentata dal 1° gennaio 2023 non è più concesso applicare una detrazione fiscale al 110%, ma sarà possibile applicarla solamente al 90%. Ciò è stato stabilito dal Decreto Aiuti Quarter, in cui viene specificato che tale modifica vale per qualsiasi tipologia d'edificio, fatta eccezione per alcune casistiche ben specificate nella Legge di Bilancio 2023 [7].

Una seconda, quanto ancor più incisiva variazione, è stata portata con il Decreto-Legge 16 febbraio 2023 n.11, entrato in vigore il 17 febbraio. Tale decreto prevede, fatta eccezione per gli interventi in cui la comunicazione di inizio lavori asseverata risulti consegnata precedentemente il 17 febbraio, il blocco della possibilità di usufruire delle alternative alla detrazione fiscale, quali cessione del credito d'imposta e sconto in fattura; non solo per quel che concerne il Superbonus, ma anche per gli incentivi minori quali Sismabonus, Ecobonus, bonus-facciate, Bonus Facciate, etc... Risulta tuttavia inalterata la possibilità di usufruire degli incentivi come detrazioni fiscali in fase di dichiarazione dei redditi [7].

Tra le varie modifiche presentate tra il Decreto Aiuti Quarter e la Legge di Bilancio 2023, degna di nota risulta essere la nuova limitazione nell'applicazione della detrazione per le unità unifamiliari. Dal 1° gennaio 2023, è dunque possibile sfruttare l'incentivo al 90% solo se:

- si tratta della prima casa;
- il contribuente deve possedere un reddito inferiore ai 15.000 euro variabile in base al "quoziente familiare".

4. Superbonus 110%. Analisi dei costi-benefici al termine del suo percorso legislativo.

Il Superbonus 110% ha rappresentato, e rappresenta tutt'ora anche se più limitatamente, la più grande manovra legislativa in tema di incentivazioni fiscali nel settore dell'edilizia e dell'energetica. Nato nel pieno della pandemia mondiale Sars-COV2, denominata Covid-19, punta fin da subito a raggiungere due obiettivi fondamentali: rilanciare un settore economico da anni soggetti a cali di produttività e crisi economica ed infine venire incontro agli obiettivi per il 2030 imposti dalla Comunità Europea sul tema dei consumi energetici e della transizione verso le risorse green. Quest'ultimo obiettivo risulta essere quanto mai più sentito in Italia se si considera il vetusto patrimonio edilizio, mai realmente aggiornato dal punto di vista energetico.

Dato il radicale cambiamento che ha subito nei primi mesi del 2023, che l'hanno portato ad essere una più comune forma di detrazione fiscale; a fine 2022 è stato possibile redigere un sunto di quelli che sono stati gli aspetti positivi e negativi sia dal punto di vista energetico che economico del dispositivo di legge, che l'hanno portato ad essere una delle più dibattute e controverse disposizioni legislative degli ultimi anni.

Grazie alle indagini di Enea, sono state pubblicate, con cadenza mensile, i risultati relativi alla fruizione del Superbonus in funzione delle asseverazioni, degli investimenti e degli importi ammessi a detrazione. Tale raccolta, a fine 2022, è stata suddivisa in base alle tipologie edilizie sia su scala nazionale che regionale [8].

Superbonus 110%	Numero di asseverazioni depositate	Totale investimenti ammessi a detrazione [€]	Importi ammessi a detrazione (Lavori realizzati) [€]
Edifici condominiali	48087,00	€ 28.795.132.341,00	€ 20.166.789.149,00
Edifici unifamiliari	208622,00	€ 23.732.416.331,00	€ 18.269.088.952,00
Unità Immobiliari funzionalmente indipendenti	102725,00	€ 9.965.340.727,00	€ 8.194.122.318,00
Castelli aperti al pubblico	6,00	€ 840.409,00	€ 674.768,00
TOTALE	359440,00	€ 62.493.729.808,00	€ 46.630.675.187,00

Tab.4: Suddivisione asseverazioni e investimenti a fine 2022 [8].

Come è possibile notare dalla tabella sovrastante, a fronte di quasi 360 mila asseverazioni totali depositate, sono stati ammessi a detrazione 62,5 miliardi di euro d'investimenti, a fronte di quasi 47 miliardi di euro di lavori già realizzati. È possibile, ulteriormente notare, come il motore trainante di questa incentivazione siano gli edifici condominiali, in quanto rappresentano il 46% dell'intero parco d'investimento. Questo dato è particolarmente positivo se si tiene conto che, dal punto di vista energetico, i condomini rappresentano una sfida complessa per l'efficientamento in quanto presentano delle partizioni comuni spesso tali da non consentire l'installazione di risorse più efficienti. Basti pensare ad esempio ad un impianto fotovoltaico che necessita di un'area sulla falda non trascurabile, e spesso i condomini non dispongono di una superficie di copertura tale da garantire l'installazione di un numero sufficiente di pannelli per tutte le unità abitative presenti.

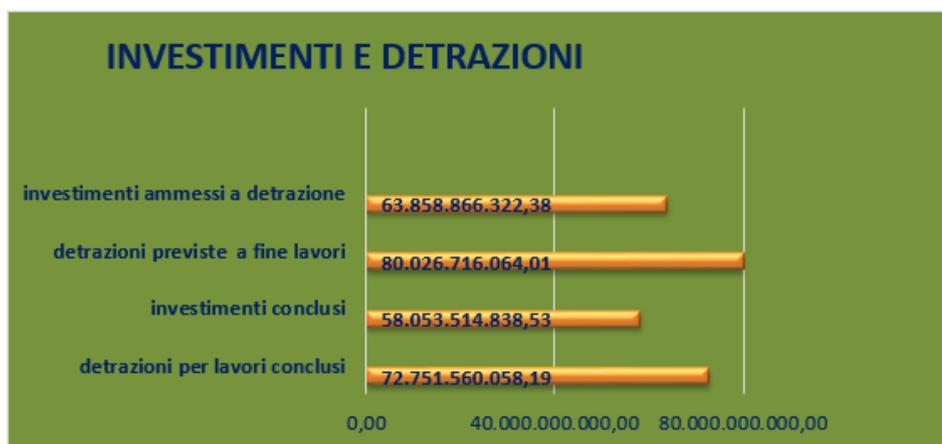
Tramite l'elaborazione dei dati, sempre di Enea, affrontata da Nomisma, entro fine 2022 ancora 7,3 milioni di famiglie risultavano interessate al Superbonus. In particolare, è stato possibile suddividerle in tre principali gruppi [9].

- Famiglie attendiste, circa il 47%, rappresentano tutti quei nuclei famigliari interessati all'uso dei bonus, ma che non hanno avviato una vera e propria iniziativa concreta, a causa principalmente o di una disinformazione riguardo al dispositivo di legge, fake news a cui purtroppo risulta essere sempre più facile accedere rispetto alle reali informazioni, oppure a causa di una diffidenza nella sicurezza legislativa dettata ad esempio dal continuo cambiare o aggiornare l'incentivo. Pertanto, a fine 2022, molte famiglie risultavano titubanti se iniziare o meno un percorso di analisi e successivamente i possibili lavori, proprio a causa della paura che, nel 2023, non risultasse garantita la possibilità di continuare l'opera con le modalità tipiche del Superbonus. Ad oggi, tali dubbi si sono dimostrati fondati in quanto dal 17 febbraio 2023 non è più possibile richiedere le forme di sconto in fattura o cessione del credito, che hanno reso il Superbonus tanto richiesto. Tuttavia, per chi ha presentato la pratica entro tale data, sono state mantenute le possibilità iniziali, ridotte per il 90% e non al 110%.
- Famiglie esplorative, circa il 44%, rappresentano tutti quei nuclei famigliari che risultano essere nell'intermezzo dell'intervento. Sono tutte quelle famiglie che sono nella fase ancora progettuale oppure nell'analisi di fattibilità ovvero la situazione antecedente l'inizio dei primi lavori. Altre famiglie invece, facente sempre parte di questa classificazione, sono quelle che sono in attesa della verifica di tutti i requisiti per poter avviare la pratica. Indipendentemente dalla situazione in cui risultano, questa classe serve ad indicare tutti i gruppi che comunque hanno deciso di approcciarsi al dispositivo di legge, affidandosi al tecnico progettista.
- Famiglie operative, solamente l'8%, sono tutti quei nuclei famigliari invece che sono alla conclusione della fase esecutiva e quindi al termine della pratica ed esecuzione dell'incentivazione. Importante sottolineare che la percentuale di questa classe risulta essere così piccola a causa semplicemente che nel momento in cui è stata svolta l'indagine statistica, molti lavori risultavano essere già ultimati; pertanto, non riconducibili a tale classificazione. Solo una piccola parte di questa percentuale risulta essere in ritardo con il termine dei lavori a causa delle varie modifiche in corso d'opera dell'apparato legislativo inerente al Superbonus, dettate dalle varie frodi fiscali sorte durante questi anni.

Svolta questa breve introduzione sull'impatto che ha avuto il Superbonus a fine 2022, è stata eseguita un'analisi più nel dettaglio dell'effettivo bilancio economico apportato, grazie sempre alla raccolta dati svolta da Enea, a marzo 2023. Tale studio è stato svolto e mirato esattamente per fare una chiara raccolta dati di quelli che sono stati gli aspetti negativi e positivi del Superbonus finché risultava possibile usufruirne con le metodologie agevolate come la cessione del credito. Seguendo tale filone, risulterà possibile redigere un ulteriore bilancio in futuro in cui si evidenzierà da una parte l'impatto economico e ambientale che ha avuto il superbonus fino alla fine del 2022, ovvero nella sua "forma la 110%", e dell'altra l'impatto che ha avuto nelle sue forme parzializzate, ovvero da inizio 2023 fino al 31 dicembre 2025.

4.1. Bilancio economico del dispositivo di legge a marzo 2023.

Per poter affrontare al meglio la tematica, è necessario introdurre brevemente ciò che è già stato mostrato precedentemente per la situazione a fine 2022. Risulta quindi fondamentale iniziare a mostrare quale sia lo stato degli investimenti e delle ammissioni alle detrazioni fiscali presenti a fine marzo 2023 [10].

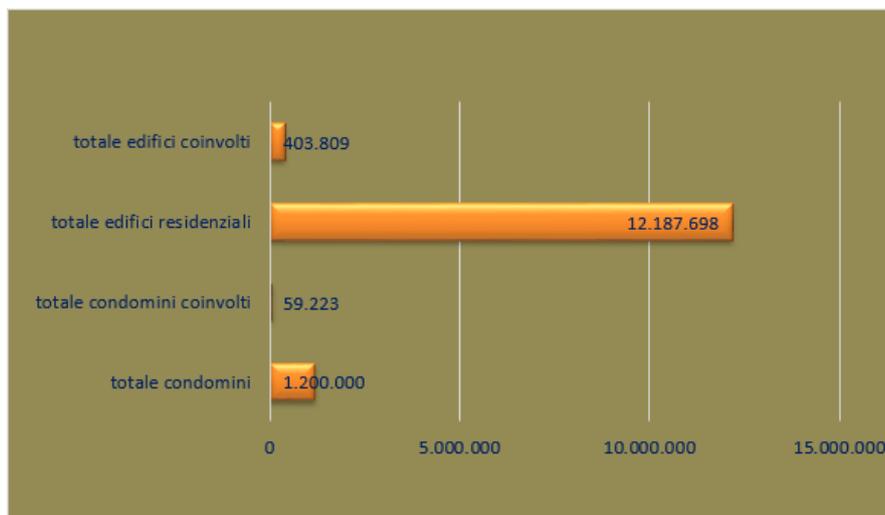


Fonte: elaborazioni su dati ENEA al 31 marzo 2023

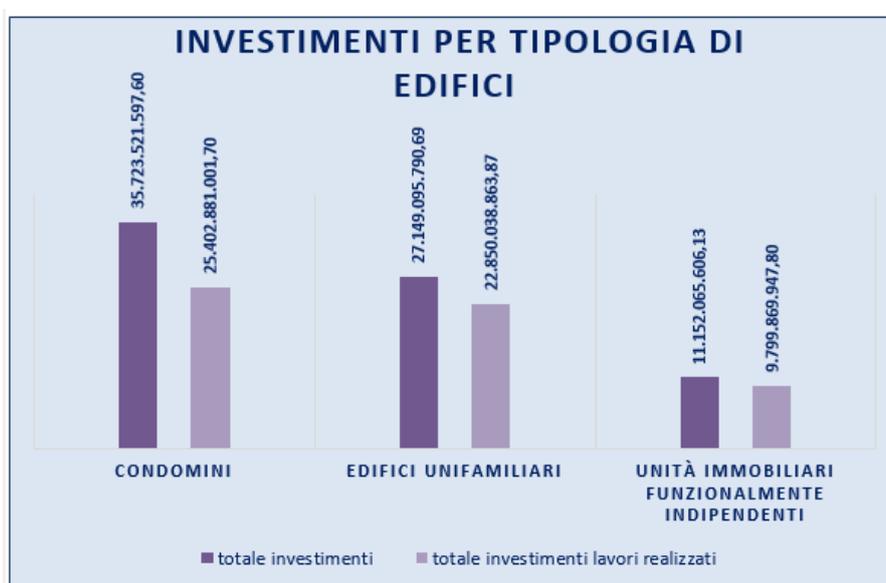
Fig.5: Situazione nazionale investimenti e detrazioni fiscali a marzo 2023 [10].

Dal grafico mostrato, gli investimenti a tale periodo risultavano essere circa 72,7 miliardi di euro, corrispondenti a circa 403.809 interventi edilizi effettuati, soggetti a incentivazione. Tali investimenti porteranno a circa a 80 miliardi di euro di detrazioni fiscali. Situazione molto simile a quella registrata a fine 2022, dettata principalmente dal fatto che i dati sono stati raccolti con periodi temporali non particolarmente distanti, in primo luogo; mentre un altro fattore che ha giocato un ruolo fondamentale nella riduzione delle richieste delle procedure autorizzative è sicuramente stato, come già anticipato, lo scetticismo popolare dettato dalle incertezze legislative inerenti al Superbonus.

È stato possibile, nuovamente, ripartire gli interventi in base alla tipologia di edificio interessato. Pertanto, è emerso che 59.223 sono i lavori condominiali avviati, di cui il (71,6% già ultimati), e rappresentano il 48,7% del totale degli investimenti. I lavori eseguiti sugli edifici unifamiliari sono stati 231.440 (86,6% già ultimati) e rappresentano il 36,3% del totale; mentre quelli eseguiti per gli edifici funzionalmente indipendenti sono stati 113.140 (di cui 89,7% già realizzati) e rappresentano il 15 % degli investimenti. Tuttavia, secondo i dati ISTAT, il numero totale di edifici residenziali presenti sul territorio nazionale è di circa 12.187.698 e di questi, 1,2 milioni, sono solamente i condomini. Pertanto, l'incentivo fiscale, nonostante la grande opportunità che ha rappresentato, ha intaccato solamente meno del 5% del totale dei condomini esistenti e meno del 3% del totale degli edifici residenziali [10].



Fonte: elaborazioni su dati ENEA al 31 marzo 2023



Fonte: elaborazione su dati ENEA al 31 marzo 2023

Fig.6: Parco immobiliare italiano e distribuzione degli investimenti a marzo 2023 [10].

È stato dunque possibile, grazie a questa integrazione dei dati rispetto allo stato di fine 2022, determinare quello che è l'investimento medio di efficientamento su tutte e tre le ripartizioni di classe:

- per gli interventi condominiali, sono stati investiti mediamente 603.203 euro;
- per gli interventi su edifici unifamiliari, sono stati investiti 117.305 euro;
- infine, per ciascun intervento su unità immobiliari funzionalmente indipendenti, sono stati investiti 98.568 euro.

Importante osservare come il numero di interventi approvati sugli edifici unifamiliari sia molto maggiore di quelli a livello condominiale nonostante la spesa di quest'ultimi sia decisamente maggiore rispetto a quella degli unifamiliari. Il contributo dal punto di vista dell'impatto energetico e soprattutto ambientale, ha un riscontro maggiormente positivo per gli interventi effettuati sui condomini piuttosto che sulle strutture indipendenti, in quanto in un contesto condominiale, un lieve aumento della taglia di un

impianto, ad esempio, costituisce la possibilità di sopperire ad un fabbisogno energetico delle utenze maggiore; aspetto non sempre verificato nelle singole abitazioni. Per mostrare un esempio ancora più esemplificativo basti pensare che l'installazione e l'utilizzo di una caldaia a condensazione di grossa taglia, a parità di efficienza, risulta meno inquinante, in termini di emissioni, che l'installazione di diverse caldaie di taglia minore che complessivamente erogano la medesima potenza termica.

Un'altra analisi svolta da Enea, ha tenuto in considerazione l'impatto che gli interventi d'efficientamento hanno avuto sul mercato immobiliare e sull'andamento dei prezzi per ristrutturare un edificio anche senza l'utilizzo delle incentivazioni. Tramite dei sondaggi forniti dalla Federazione Italiana Agenti Immobiliari Professionali (FIAIP), è stato possibile osservare che circa il 39,2% dei soggetti intervistati ha potuto notare un aumento particolarmente rilevante dei prezzi delle case da ristrutturare, percentuale che scende lievemente al 37,5% nel caso specifico di immobili di nuova realizzazione; mentre una considerevole percentuale (circa il 57,9%) sostiene di non aver percepito un impatto particolarmente rilevante. Tale resoconto viene evidenziato nel grafico seguente, dove l'istogramma posto nella parte alta fa riferimento alle ristrutturazioni, mentre quello posto in basso è riferito agli edifici di nuova costruzione [10].

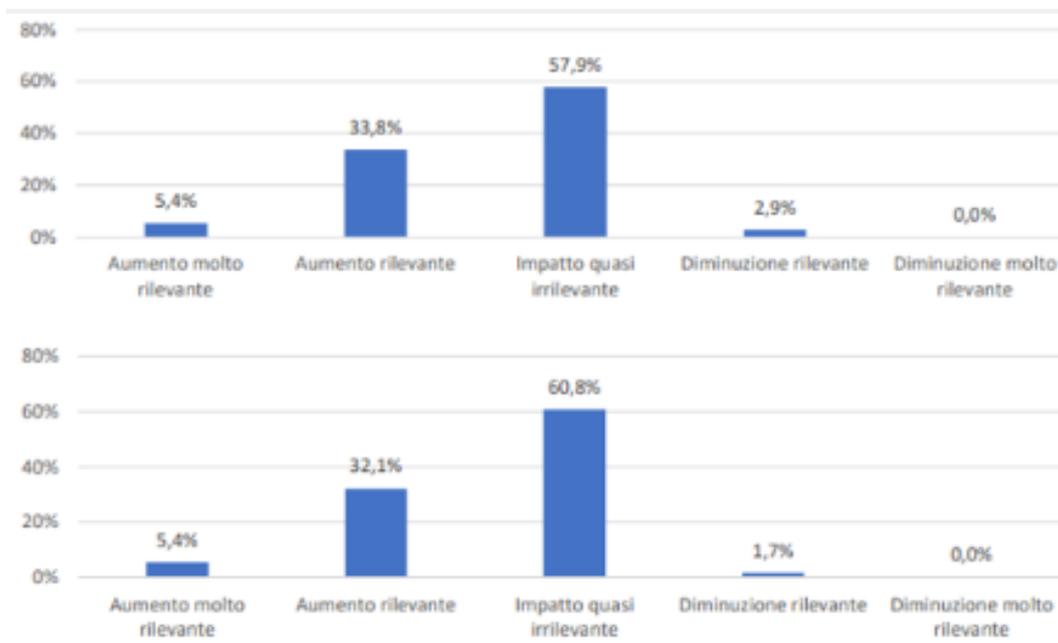


Fig.7: Distribuzione della percezione dell'aumento dei prezzi tra i campioni [10].

È risultato conveniente, sempre a fini statistici, eseguire una suddivisione regionale per comprendere meglio quale fosse la regione che ha presentato il maggior numero di asseverazioni e quindi d'investimenti per migliorare lo stato di fatto energetico edilizio. Il maggior numero di interventi avviati è stato registrato in Lombardia, con 63.983 edifici efficientati, per un investimento totale di 12,9 miliardi di euro. Al secondo posto si trova il Veneto, con 51.067 interventi e 7,2 miliardi di euro investiti; seguito poi dall'Emilia-Romagna con 35.053 interventi e 6,5 miliardi di euro. Nel grafico seguente viene mostrata l'esatta classificazione [10].



Fig.8: Distribuzione regionale degli interventi effettuati [10].

Altre considerazioni, assai importanti per la visione dell'impatto economico lasciato dal superbonus, sono sicuramente le analisi effettuate sulla sua incidenza in questi anni sul Prodotto Interno Lordo (PIL) nazionale. In merito a tali considerazioni, sono state condotte diverse ricerche presentate al Senato nella memoria del 3 marzo 2023. Tuttavia, queste risultano essere complesse e articolate per vari aspetti come innanzitutto il fatto che diversi interventi approvati nel 2022, e quindi soggetti ancora alla detrazione al 110%, non sono ancora stati portati a termine. E quindi risulta difficile stimare l'effetto complessivo di queste sul PIL. Altro aspetto è che sicuramente le condizioni al contorno che dettano l'effettivo valore di crescita sono fortemente condizionate dalle ipotesi di riferimento economico adottate e quindi risulta ulteriormente complesso poter dare una stima esatta adesso. Si è optato di riportare le conclusioni presentate dal Censis e dalla società Nomisma. Secondo il rapporto del primo, basato sulle ricerche del Centro Studi del CNI (Consiglio Nazionale Ingegneri) e dai dati di Enea e ISTAT, il dispositivo di legge tra il 2020 e il 2022 avrebbe portato un contributo alla crescita del PIL pari a circa 73 miliardi di euro; tuttavia, questo dato è aggiornato a circa fine ottobre 2022 [10].



Fig.9: Analisi del contributo al Pil del Superbonus, secondo Censis [10].

Le ricerche effettuate da Nomisma, aggiornati al 21 febbraio 2023, presentano valori decisamente differenti; infatti, si sostiene che l’impatto del settore edilizio sul Pil nazionale in questi anni sia stato di 195,2 miliardi di euro con una suddivisione in base agli effetti che questo avrebbe portato:

- effetto diretto pari a 87,7 miliardi di euro;
- 39,6 miliardi per effetti indiretti.

Un totale quindi di 127,3 miliardi di euro a cui vanno sommati 67,8 miliardi di indotti. Per quanto questa stima sembri particolarmente positiva, va detto che non tutto il settore edile in questo biennio ha sfruttato solamente le incentivazioni. Infatti, queste analisi tengono anche in considerazione gli investimenti effettuati senza il superbonus oppure quelli effettuati per opere pubbliche; pertanto, risulta sovrastimata.

Una valutazione più calmierata, che considera gli effetti del Superbonus, piuttosto che la crescita diretta del settore edile, risulta essere quella presentata dalla Corte dei conti. Secondo tale analisi, in termini di tassi di crescita del Pil reale si può sostenere che, tra il 2021 e il 2022, la crescita possa essersi aggirata intorno ai 1,8 punti percentuali, di cui 1,2 nel primo anno su circa 7 totali mentre 0,6 nel second’anno su 3,8 complessivi. Tali dati risultano essere confermati anche dal Ministero dell’Economia e Finanza [10].

Un’ultima valutazione anch’essa importate per poter attribuire una corretta sintesi degli effetti economici relativi all’incentivo fiscale è sicuramente riconducibile alla quantificazione del fenomeno delle frodi fiscali, riscontrate in quantità considerevole e distribuite tra i vari incentivi fiscali. L’Agenzia delle Entrate, insieme alla Guardia di Finanza, hanno segnalato ,nel biennio di applicazione dei bonus fiscali, di aver riscontrato un complessivo pari a 9 miliardi di euro di crediti d’imposta irregolari di cui 3,6 miliardi oggetto di sequestro dall’Autorità giudiziaria. Tali fenomeni hanno portato all’applicazione di diversi dispositivi di legge per contrastare il fenomeno, tra cui il più importate è sicuramente il Decreto-legge n.157/2021 “Misure urgenti per il contrasto alle frodi nel settore delle agevolazioni fiscali ed economiche”, in vigore dal 12 novembre 2021 [11]. Prevede l’estensione del visto di conformità anche all’utilizzo del Superbonus solamente come detrazione fiscale, mentre prima tale accertamento era richiesto solamente per l’utilizzo della cessione del credito e dello sconto in fattura; il decreto prevede

ulteriormente che l'Agenda delle Entrate, a fini di controllo preventivo, possano sospendere fino a 30 giorni la cessione del credito.

Tali precauzioni, rilevatesi fondamentali per non rischiare che l'incentivo fiscale si trasformasse da un'opportunità di rilancio ad un danno economico, hanno inevitabilmente comportato un rallentamento dello svolgimento delle opere ed un aumento considerevole dell'apparato burocratico annesso all'approvazione delle certificazioni. Questi aspetti hanno avuto ripercussioni sia lavorative che economiche sui professionisti

Di seguito è riportato un grafico in cui si evidenzia la distribuzione delle frodi fiscali in funzione della tipologia di bonus, in cui è possibile notare come il superbonus, anche grazie alla prevenzione legislativa, risulti solo per il 5% responsabile dell'ammontare complessivo degli illeciti, incidenza assai minore se paragonata a quella relativa al Bonus Facciate [10].

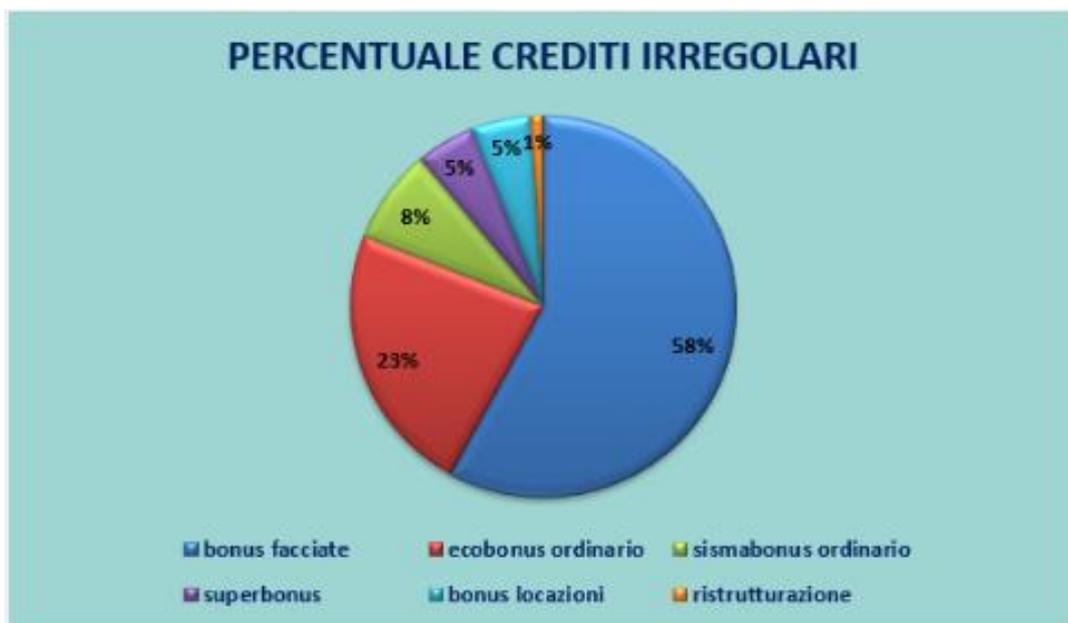


Fig.10: Distribuzione delle frodi fiscali nelle incentivazioni fiscali [10].

4.2. Bilancio sugli effetti energetico ambientali ottenuti e possibili traguardi raggiunti

Come già ampiamente citato più volte nel corso di questo elaborato, l'obiettivo principale per cui sono stati concepiti il Superbonus e l'Ecobonus, è sicuramente in primo luogo l'incrementare l'efficienza energetica e il risparmio delle risorse da parte di uno dei settori economici tra i più energivori in Italia e che costringe le singole utenze a doversi scontrare con costi di utilizzo ingenti. Queste incentivazioni fiscali mirano proprio a venire incontro a utenti che difficilmente in altri metodi sarebbero in grado di far fronte alle spese da sostenere per raggiungere dei livelli prestazionali tali per cui il futuro risparmio risorse, e quindi economico, sia tale da garantire oltre al ritorno dell'investimento anche un futuro guadagno.

In funzione di questi obiettivi, si ritiene, quindi giusto affrontare anche la questione di quali siano stati gli effettivi risultati raggiunti, in questo biennio, in termini di risparmio energetico grazie alla presenza di queste incentivazioni. Se l'Italia, insieme all'Europa, si pone di raggiungere determinati livelli di riduzione delle emissioni, risulta essere quantomeno scontato pensare che iniziative, come il Superbonus, non possano essere solo dei dispositivi temporanei, ma debbano cambiare la loro struttura, tali da non essere più eccessivamente gravanti sulle casse dello Stato, ma allo stesso tempo da permettere ad un numero decisamente più consistente di edifici di subire un processo di efficientamento.

È difficile stimare con esattezza il risparmio energetico effettivo o la riduzione della quantità di gas serra emessi in atmosfera ad oggi, in quanto, nonostante le incentivazioni siano cambiate a livello legislativo, è tutt'ora ancora in corso una quantità consistente d'interventi. Pertanto, risulterà più semplice eseguire in futuro delle valutazioni più precise ed accurate. Tuttavia, a titolo principalmente indicativo, è comunque possibile stimare quelli che sono stati i risultati raggiunti in parte ponderati a circa metà del 2022 e in parte alla fine del primo biennio d'applicazione.

Nuovamente secondo le analisi sviluppate dalla Fondazione Censis, nel primo biennio d'applicazione, il Superbonus ha prodotto un risparmio energetico di circa 11.700 GWh/anno. Risultato particolarmente positivo, se lo si tiene in considerazione assieme ai 143 GWh/anno di nuova potenza rinnovabile installati. Tali traguardi consentono quindi una incisiva riduzione del consumo di gas naturale, ad esempio per il riscaldamento, condizione che è stata particolarmente sentita anche a causa della crisi Russia-Ucraina. Si è stimato che il risparmio è ammontato a circa 1,1 miliardi di metri cubi di metano, risparmio che ammonta ulteriormente a circa 2 miliardi di metri cubi se vengono considerati anche gli altri incentivi oltre al Superbonus, ed alla riduzione di 15 giorni del periodo di accensione dei riscaldamenti con l'aggiunta dell'abbassamento della temperatura massima [12].

Questo risparmio energetico è quantificabile ovviamente anche in termini di riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera, che ammontano a circa 1,4 milioni di tonnellate evitate. Questi valori rappresentano un ottimo punto di svolta per il corretto sviluppo delle risorse incentrate verso la neutralità dal carbone per il prossimo trentennio. Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva degli obiettivi finora raggiunti [12].

Stima riduzione delle emissioni di CO ₂	1,4 milioni di t di CO ₂
Energia rinnovabile installata*	143 GW/anno*
Stima Risparmio energetico complessivo	11.695 GWh/anno
Stima risparmio di Gas equivalente	1,1 miliardi di metri cubi

*a giugno 2022

Fonte: elaborazioni Censis su dati Enea, Ance e Nomisma

Fig.11: Valore ambientale ed energetico del Superbonus al 31/10/2022 [12].

Oltre a questi aspetti diretti del risparmio energetico, riconducibili al Superbonus, è importante tenere in considerazione anche tutti quelli indiretti. Infatti, non solo il risparmio energetico è un obiettivo fondamentale di queste tipologie d'intervento, ma ovviamente anche il mantenimento, e possibilmente il miglioramento, del comfort abitativo rappresenta una importante linea guida da seguire in fase progettuale. È stimato che nel 2021, 3,5 milioni di famiglie italiane hanno dichiarato di avere problemi di umidità (13,7% del totale), 2,8 milioni di vivere in abitazioni con problemi strutturali (11,1%) e 2,2 milioni di non riuscire a riscaldare adeguatamente la propria abitazione (8,6%) [12].

5. Caso Studio

5.1. Inquadramento urbanistico e territoriale

L'edificio in analisi, situato nel Comune di Ciriè (TO), ad uso puramente residenziale, ricade esattamente sul confine della zona omogena A (centro storico) secondo il P.R.G. comunale.

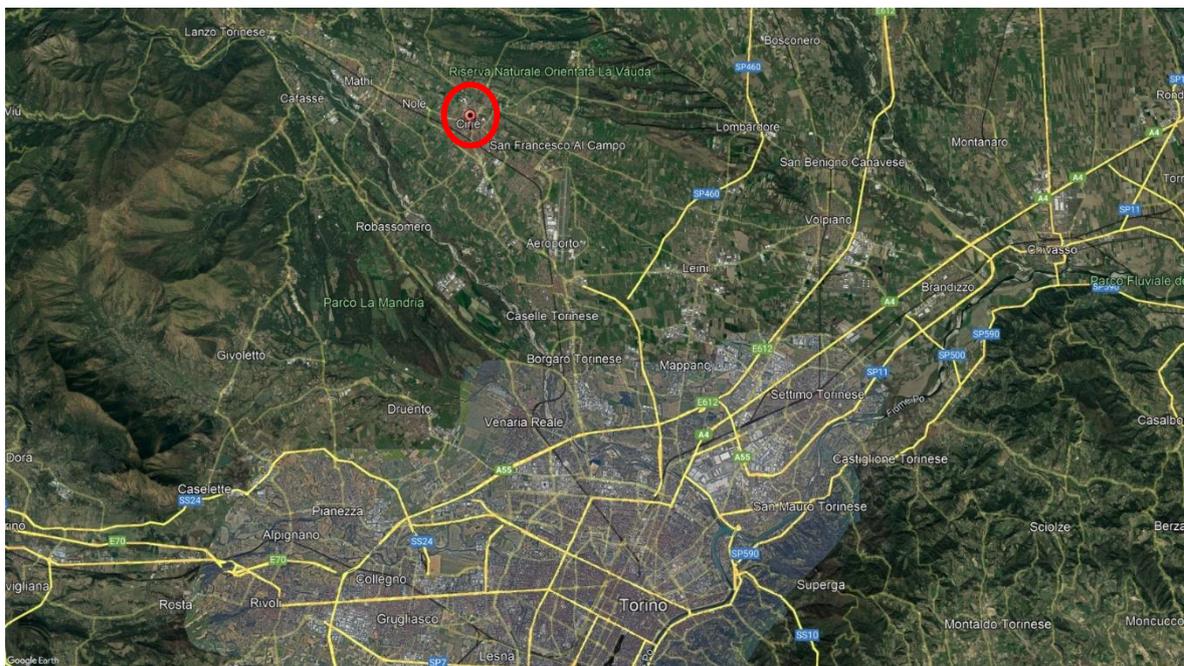


Fig.12: Inquadramento satellitare del sito estratto da Google Earth.



Fig.13: Inquadramento dell'edificio.

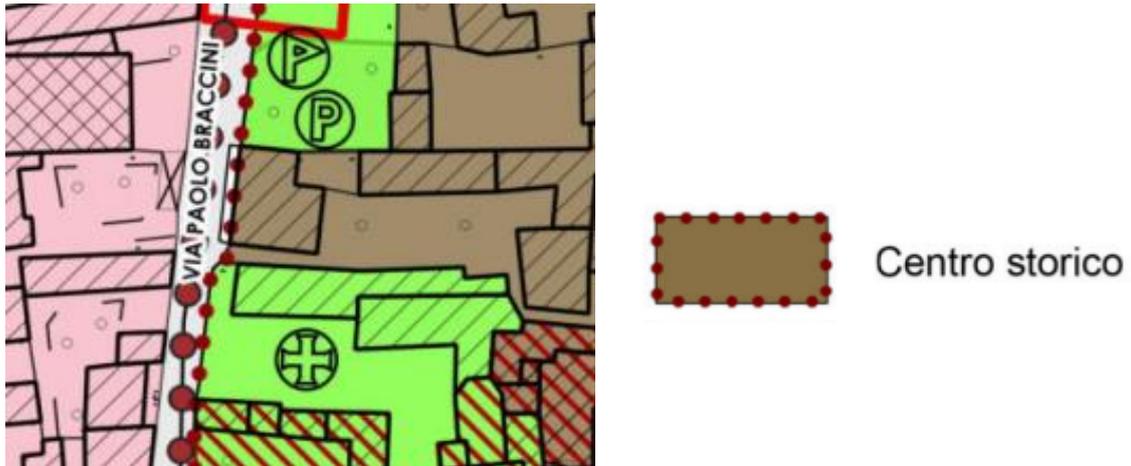


Fig.14: Inquadramento urbanistico dell'edificio, secondo il P.R.G. comunale vigente.

Trattasi di un edificio sviluppato su quattro piani di cui uno interrato e tre fuori terra. Presenta al suo interno sei unità abitative, tre al piano terreno, due al primo e uno nel sottotetto.

L'edificio, risalente a circa metà degli anni 60, ha subito nel corso degli anni svariati processi di modifica. Inizialmente fu costruito per ospitare tre appartamenti, nella fattispecie uno al piano terra e i due al piano primo, insieme a due negozi posti al piano terra. Una successiva modifica portò alla ristrutturazione del sottotetto rendendolo abitabile e quindi all'inserimento di un nuovo appartamento. Infine, vi è stato un cambio di destinazione d'uso dei negozi ad uno residenziale con una lieve ristrutturazione interna per la redistribuzione delle stanze.

Secondo il Cons. di Stato 855/2014, le zone omogenee A non rientrano tra le aree tutelate per legge da vincoli urbanistici, a meno che sugli edifici d'interesse non vengano applicate delle limitazioni paesaggistiche di notevole interesse pubblico, emanate dal Ministero. Per quanto riguarda l'edificio in analisi, non è sottoposto a vincoli per notevole interesse pubblico, né interagisce direttamente con altri fabbricati sottoposti a tali limitazioni; pertanto, non è limitato nella possibile modifica della struttura o delle facciate [13].

Il fabbricato è stato realizzato principalmente in muratura forata con intercapedine per le pareti esterne, mentre per le pareti interne la struttura cambia a seconda dello spessore della parete stessa. Le tramezzature con spessori più ridotti presentano la classica struttura in mattoni pieni, mentre quelle con spessori maggiori presentano anch'esse una muratura forata con la possibilità di intercapedine. I solai sono caratterizzati principalmente due strutture differenti: il solaio tra il piano interrato e il piano terra è stato realizzato in calcestruzzo e tavelloni, mentre i due solai d'interpiano tra il piano terra e il piano primo e tra quest'ultimo e il sottotetto sono stati realizzati in laterocemento.

Gli infissi presenti sono al piano terra in metallo senza taglio termico con vetro doppio, mentre al piano primo per la maggior parte sono costituiti da un doppio serramento in legno duro composto da un doppio vetro più interno e un vetro singolo più esterno.

L'impianto di climatizzazione invernale è composto da una caldaia centralizzata alimentata a gasolio che svolge anche la funzione di produzione dell'acqua calda sanitaria. L'emissione del calore avviene tramite dei radiatori di ghisa.

Secondo il DPR 412/93, l'edificio si trova in fascia climatica E date le sue posizioni geografiche:

- latitudine: 45° 14' 09".60;
- longitudine: 07° 35' 59".64;
- altitudine sul livello del mare: 344 m;
- comune di Ciriè, Città Metropolitana di Torino;
- gradi Giorno: 2870;
- numero di giorni di riscaldamento: 183;
- temperatura esterna invernale di progetto: -8.6 °C;
- temperatura esterna estiva di progetto: 30.7 °C;
- temperatura interna invernale di progetto: 20 °C;
- temperatura interna estiva di progetto: 26°C.

Le sei zone climatiche in Italia



Legenda: GG = gradi giorno

- Zona A**
GG ≤ 600 (Lampedusa, Porto Empedocle)
- Zona B**
601 ≤ GG ≤ 900 (Agrigento, Reggio Calabria, Messina, Trapani)
- Zona C**
901 ≤ GG ≤ 1400 (Napoli, Imperia, Taranto, Cagliari)
- Zona D**
1401 ≤ GG ≤ 2100 (Firenze, Foggia, Roma, Ancona, Oristano)
- Zona E**
2101 ≤ GG ≤ 3000 (Aosta, Torino, Milano, Bologna, L'Aquila)
- Zona F**
GG ≥ 3001 (Belluno, Cuneo)

Fig.15: Zonizzazione italiana per fasce climatiche e relativi gradi giorno [14].

5.2. Edificio Ante Intervento

Nel seguente capitolo, è stato riportato quello che viene chiamato "Stato di fatto" dell'opera, ovvero la situazione antecedente gli interventi di efficientamento. Si è svolta, quindi, un'analisi su quelle che erano le stratigrafie e le relative trasmittanze delle superfici opache, sia verticali che orizzontali, soggette ad interventi di riqualificazione. Successivamente, sono stati analizzati tutti i serramenti andando quindi studiare le prestazioni sia del telaio che del componente trasparente, considerando inoltre la presenza di oscuranti e, eventualmente, dei cassonetti.

In secondo luogo, si è effettuato uno studio su quelle che sono le prestazioni degli impianti di climatizzazione invernali ed estivi presenti, andando a considerare quali sono i sottosistemi di distribuzione ed emissione.

Attraverso queste ricerche, è stato possibile andare a stimare quale fosse il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e il raffrescamento delle diverse unità immobiliari ed in particolare dell'edificio. Si è stimato, inoltre, il fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda sanitaria ed infine il fabbisogno di energia elettrico sia per le utenze generiche, composte principalmente dai vari dispositivi elettrici presenti in una struttura a fini residenziali, sia dai componenti termici alimentati elettricamente o che necessitano di ausiliari elettrici.

All'interno della procedura per la stima del fabbisogno di energia primaria, vi è stata anche la quantificazione di quelle che sono le principali dispersioni termiche e in quali strutture o elementi queste avvengono in maggior entità. Queste considerazioni sono fondamentali, in quanto permettono di capire su quali strutture, e in che modo agire negli interventi di efficientamento.

Come ultima questione, sempre tramite lo studio prestazionale dell'edificio, è stato possibile determinare quale fosse la sua classe energetica, così, come previsto dal Decreto Ministeriale del 26 giugno del 2009 e successivamente dal Decreto interministeriale del 26 giugno 2015, poter catalogare gli edifici e accertarne la prestazione attraverso l'Attestato di Prestazione Energetica (APE).

5.2.1. Superfici verticali opache

L'edificio presenta una struttura portante in cemento armato, mentre le pareti verticali presentano la struttura denominata "a cassa vuota". Tipologia strutturale tipica degli anni 60 e 70, ancora oggi utilizzata, composta da due strati più o meno distanziati di simile spessore, spesso composti da blocchi forati in laterizio. Tra i due strati di viene interposta un'intercapedine d'aria di spessore variabile tra i 5 fino a 30 cm, che ha la funzione principale di isolare termicamente e acusticamente la struttura, ma anche di proteggere i blocchi più interni dalle intemperie climatiche in quanto ha anche la funzione di assorbire l'acqua. Nonostante questi primi aspetti positivi, le sue prestazioni come isolante termico, se paragonate a quelle che si potrebbero ottenere attraverso l'interposizione di un materiale isolante, sono molto ridotte; infatti, è pratica comune sfruttare la presenza dell'intercapedine per inserire pannelli rigidi o schiume isolanti tramite insufflaggio [15].

Per quanto riguarda la struttura delle pareti perimetrali inerenti al sottotetto, essendo stato inizialmente costruito per non essere considerato abitabile presenta una più semplice muratura portante in mattoni pieni, pertanto anche un maggiore spessore.

Di seguito è riportata un'immagine della tipologia struttura, a titolo di esempio in quanto tutte presentano la medesima suddivisione a meno di differenze negli spessori. Successivamente vengono riportate le varie tabelle con le stratigrafie inerenti alle varie strutture.

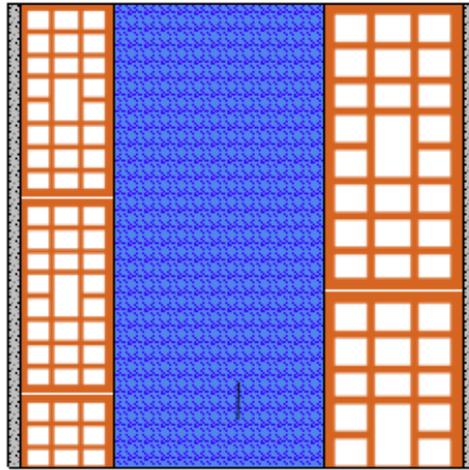


Fig.16: Stratigrafia superficie opaca verticale.

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	δ [kg/m ³]	$\delta_p \cdot 10^{12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]	
Parete esterna da 40 cm								
1	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	19	0,014	
2	Mattoni forati (800 kg/m ³) spessore 80	8,0		5,000	800	28	0,200	
3	Intercapedine d'aria flusso orizzontale 18	18,0		5,423	1	193	0,184	
4	Mattoni forati (800 kg/m ³) spessore 120	12,0		3,226	800	28	0,310	
5	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	19	0,014	
Spessore totale		40,0						
							Resistenza superficiale interna	0,130
							Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]		1,120					Resistenza termica totale	0,893
Parete esterna da 46 cm								
1	Intonaco di calce e gesso	2,0	0,700		1400	19	0,029	
2	Mattoni forati (800 kg/m ³) spessore 80	8,0		5,000	800	28	0,200	
3	Intercapedine d'aria flusso orizzontale 23	23,0		5,423	1	193	0,184	
4	Mattoni forati (800 kg/m ³) spessore 120	12,0		3,226	800	28	0,310	
5	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	19	0,014	
Spessore totale		46,0						
							Resistenza superficiale interna	0,130
							Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]		1,102					Resistenza termica totale	0,907
Parete esterna da 27 cm								
1	Intonaco di calce e gesso	1,5	0,700		1400	19	0,021	
2	Mattoni forati (800 kg/m ³) spessore 120	12,0		3,226	800	28	0,310	
3	Mattoni forati (800 kg/m ³) spessore 120	12,0		3,226	800	28	0,310	
4	Intonaco di calce e gesso	1,5	0,700		1400	19	0,021	
Spessore totale		27,0						
							Resistenza superficiale interna	0,130
							Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]		1,201					Resistenza termica totale	0,833
Parete esterna del Sottotetto da 56 cm								
1	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	19	0,014	
2	Mattoni pieni	54,0	0,720		1800	28	0,75	
3	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	19	0,014	
Spessore totale		56,0						
							Resistenza superficiale interna	0,130
							Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]		1,054					Resistenza termica totale	0,949

Tab.5: Principali proprietà termodinamiche della parete da 40 cm e calcolo della trasmittanza termica.

5.2.2. Superfici orizzontali opache

L'edificio presenta due tipologie differenti di solai e una copertura. Il solaio che separa il piano interrato e il piano terra presenta una struttura a tavelloni; configurazione più massiva con un maggiore spessore di calcestruzzo, composta da un primo strato di laterizi detti tavelloni che hanno il compito d'alleggerimento del solaio, in cui ad ognuno di questi è interposta una putrella in acciaio. Successivamente a questo strato vi è un getto di calcestruzzo ad alta densità, seguito da un secondo massetto sempre in calcestruzzo ma alleggerito, di spessore minore rispetto al getto precedente.

I solai successivi mostrano tutti la medesima composizione, ovvero trattasi di strutture in laterocemento. Si presentano come elementi strutturali misti costituiti da elementi in calcestruzzo armato, comunemente composti da travi, ed elementi di alleggerimento in laterizio, tipicamente note come pignatte. Quest'ultime possono essere "non collaboranti" o "collaboranti". Nel primo caso si tratta di elementi che hanno il solo scopo di alleggerimento o, se costituite da polistirene espanso, anche da isolante termico; mentre nel secondo caso, hanno la funzione anche di incrementare la resistenza flessionale. Successivamente, i solai in laterocemento presentano un sottile massetto in calcestruzzo alleggerito prima della pavimentazione [16].

La copertura del sottotetto, dopo i lavori per rendere quest'ultimo abitabile, mostra anch'essa una struttura in laterocemento, ma senza la presenza di un successivo massetto, sostituito invece dai travetti in legno per la posa dei coppi in terracotta.

Di seguito, sono stati riportati solamente i solai su cui sono stati effettuati interventi di efficientamento, ovvero il solaio d'interpiano tra il piano interrato, piano terra e la copertura. Gli altri non sono stati trattati in quanto separano zone termiche poste alla stessa temperatura; quindi, non vi è la necessità di isolarli. In questo caso, sono stati riportati singolarmente in quanto tutte e due le strutture presentano una stratigrafica completamente differente.

- Solaio interpiano tra il piano interrato e il piano terra.

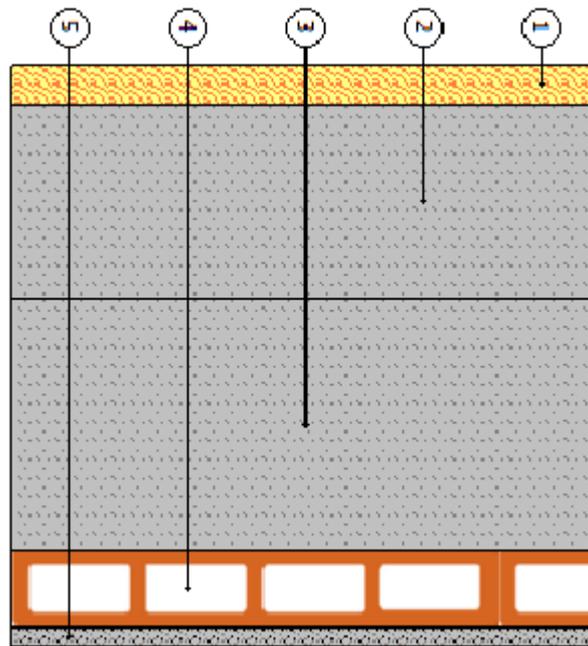


Fig. 17: Stratigrafia superfice opaca orizzontale.

N	Descrizione dall'alto verso il basso	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	δ [kg/m ³]	$\delta_p \cdot 10^{12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]	
1	Piastrelle in ceramica/porcellana	2,0	1,300		2300	0	0,015	
2	Massetto in calcestruzzo alleggerito (1600 kg/m ³)	10,0	1,080		1600	2	0,093	
3	Calcestruzzo (2400 kg/m ³) - Alta densità	13,0	2,000		2400	1	0,065	
4	Tavellone per strutture orizzontali (250*40*1200) spessore 40	4,0		8,333	800	21	0,120	
5	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	19	0,014	
Spessore totale		30,0						
							Resistenza superficiale interna	0,170
							Resistenza superficiale esterna	0,170
Trasmittanza termica [W/m ² K]		1,545			Resistenza termica totale		0,647	

Tab.6: Principali proprietà termodinamiche del solaio e calcolo trasmittanza termica.

- Copertura in laterocemento.

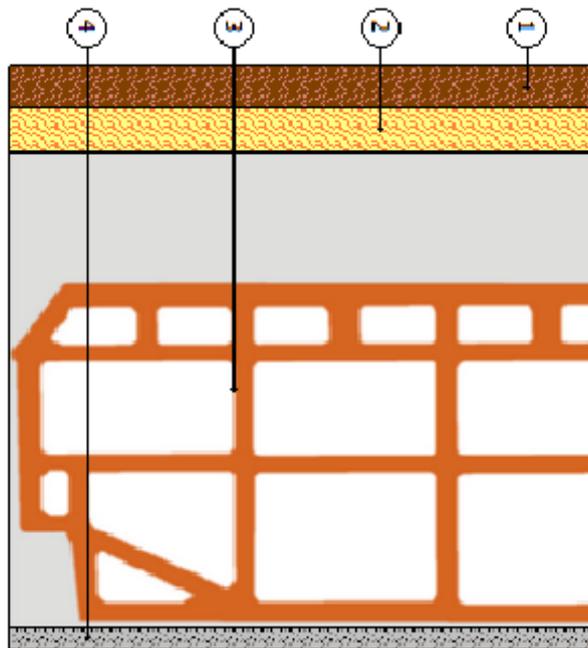


Fig.18: Stratigrafia copertura in laterocemento.

N	Descrizione dall'alto verso il basso	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	δ [kg/m ³]	$\delta_p \cdot 10^{12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]	
1	Terracotta	2,0	1,000		2000	5	0,020	
2	Truciolato (300 kg/m ³)	2,0	0,100		300	4	0,200	
3	Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo) 160 + malta di cemento 20 + calcestruzzo	22,0		3,03	1273	21	0,330	
4	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	19	0,014	
Spessore totale		27,0						
							Resistenza superficiale interna	0,100
							Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m ² K]		1,420				Resistenza termica totale	0,704	

Tab.7: Principali proprietà termodinamiche della copertura e calcolo trasmittanza.

5.2.3. Serramenti.

L'edificio presenta diverse tipologie di serramenti, tutte oggetto d'intervento, differenti per costituzione del telaio o struttura del serramento stesso. In particolare, i serramenti situati al piano terreno presentano tutti una composizione a vetro doppio senza trattamento basso emissivo costituiti da due strati da 4 mm di vetro e 6 mm di vetrocamera, con telaio in legno duro da 50 mm, tranne alcune portefinestre che presentano un telaio in metallo senza taglio termico. Al primo piano, invece, i serramenti presentano una struttura doppia composta da un vetro singolo più esterno e uno doppio più interno. Anche in questo caso la maggioranza degli infissi presenta un telaio in legno duro, ad eccezione di alcune portefinestre che presentano un telaio un metallo senza taglio termico.

Tutti i serramenti, in entrambi i piani sono dotati, come oscuranti, di tapparelle avvolgibili esterne in alluminio, evidenziando quindi la presenza di un cassonetto per ognuna di loro, non coibentato.

Per quanto riguarda il sottotetto, sono stati installati diversi lucernari per consentire l'illuminazione naturale degli alloggi, oltre alla presenza di quattro abbaini. Entrambe le tipologie presentano una struttura a vetro singolo con telaio in legno duro, mentre a differenza dei serramenti posti nei piani precedenti, gli oscuranti sono delle tende avvolgibili interne per i lucernari e delle tende a raccoglimento per gli abbaini.

Vi è infine la presenza di serramenti Hooper per l'illuminazione naturale del seminterrato, composte da un vetro singolo e telaio in metallo senza taglio termico; tuttavia, queste non sono soggette ad intervento in quanto non poste in zone termiche non riscaldate.

Nella tabella seguente, sono stati riportati l'elenco dei principali componenti costituenti l'elemento serramento e le loro relative trasmittanze, valori definiti dal prospetto B.2 UNI/TS 11300-1:2014.

Elemento costitutivo	Trasmittanza [W/m ² K]
Vetro singolo verticale	5,70
Vetro doppio (argon 90%) 4-6-4	3,00
Vetro doppio (argon 90%) 4-6-4 interno	2,40
Vetro singolo orizzontale	6,90
Legno duro spessore 50 mm	2,20
Metallo senza taglio termico (alluminio)	7,00
Cassonetto non isolato	6,00

Tab.8: Trasmittanza termica dei principali elementi costitutivi dei serramenti.

Nella successiva tabella, è invece riportato l'elenco di tutti i serramenti oggetti d'intervento, in particolar modo è elencato in sequenza:

- la tipologia d'infisso, quindi se si tratta di una finestra o una portafinestra;
- la tipologia di serramento, se singolo o doppio;
- le dimensioni comprendenti sia il vetro che il telaio;
- la tipologia di vetro utilizzato sia nel caso di serramento singolo o doppio;
- la tipologia di telaio utilizzato;
- la quantità di queste finestre per piano;
- la trasmittanza complessiva del singolo serramento.

Piano	Tipologia	Serramento	Dimensioni [m]	Vetro serramento esterno	Vetro serramento interno	Telaio	Quantità	Trasmittanza [W/m ² K]
Piano Terra	finestra	singolo	1,40*1,55	doppio	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	2	2,946
	finestra	singolo	0,90*1,55	doppio	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	4	2,930
	finestra	singolo	1,15*1,55	doppio	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	1	2,939
	finestra	singolo	1,25*1,55	doppio	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	2	2,942
	finestra	singolo	2,10*1,55	doppio	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	1	3,067
	finestra	singolo	1,45*1,55	doppio	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	1	3,067
	finestra	singolo	0,60*1,55	doppio	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	1	3,075
	finestra	singolo	0,80*1,55	doppio	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	1	3,063
	finestra	singolo	1,60*1,55	doppio	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	1	3,063
	finestra	singolo	1,25*1,55	doppio	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	1	3,073
	portafinestra	singolo	0,80*2,50	doppio	nessuno	Metallo senza taglio termico	3	3,826
	finestra	singolo	0,95*1,60	doppio	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	1	3,088
	finestra	singolo	0,70*1,55	doppio	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	1	3,111
	portafinestra	singolo	1,30*2,50	doppio	nessuno	Metallo senza taglio termico	1	4,073
	finestra	singolo	0,65*1,60	doppio	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	1	3,071
finestra	singolo	0,40*1,60	doppio	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	1	3,128	
Piano Primo	portafinestra	doppio	1,00*2,45	singolo	doppio	Metallo senza taglio termico	4	2,193
	finestra	doppio	1,50*1,60	singolo	doppio	Legno duro spessore 50 mm	2	1,688
	finestra	doppio	1,00*1,50	singolo	doppio	Legno duro spessore 50 mm	1	1,712
	finestra	doppio	1,35*1,60	singolo	doppio	Legno duro spessore 50 mm	1	1,687
	finestra	doppio	1,25*1,60	singolo	doppio	Legno duro spessore 50 mm	1	1,707
	portafinestra	doppio	0,80*2,50	singolo	doppio	Metallo senza taglio termico	1	2,264
	finestra	doppio	1,80*1,60	singolo	doppio	Legno duro spessore 50 mm	1	1,721
	portafinestra	doppio	0,80*2,55	singolo	doppio	Metallo senza taglio termico	1	2,237
	portafinestra	doppio	1,00*2,55	singolo	doppio	Metallo senza taglio termico	1	2,235
	finestra	doppio	1,00*1,60	singolo	doppio	Legno duro spessore 50 mm	1	1,712
	finestra	doppio	0,80*0,85	singolo	doppio	Legno duro spessore 50 mm	1	1,714
Sottotetto	lucernario grande	singolo	1,88*1,40	singolo	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	8	5,868
	lucernario piccolo	singolo	0,78*0,98	singolo	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	6	6,124
	abbaino	singolo	0,85*1,20	singolo	nessuno	Legno duro spessore 50 mm	4	5,495

Tab.9: Elenco di tutti i serramenti oggetti d'intervento e relative trasmittanze termiche.

5.3. Impianti di climatizzazione.

5.3.1. Impianto di climatizzazione invernale e acqua calda sanitaria

L'impianto di climatizzazione invernale ha subito alcune modifiche nel corso degli anni. Inizialmente costituito da un sistema autonomo per ogni unità immobiliare composto da una caldaia a gasolio per il riscaldamento e un bollitore elettrico ad accumulo per l'acqua calda sanitaria. Successivamente, con la riqualificazione del sottotetto e l'aumento delle unità immobiliari, l'impianto ha subito una modifica, diventando un sistema centralizzato composto da un'unica caldaia alimentata a gasolio di tipo standard con la funzione sia di impianto di climatizzazione invernale, sia per la produzione di acqua calda sanitaria.



Fig.19: Caldaia Unical AG MODEL, nell'immagine è mostrato il modello più recente attualmente in commercio [17].

Volendo analizzare più nel dettaglio le prestazioni dell'impianto, questo è composto da una caldaia Unical AG modello MODEL avente, da scheda tecnica, le seguenti caratteristiche:

- Alimentazione a gasolio
- Generatore in acciaio di tipo standard, monostadio con bruciatore atmosferico
- Potenza al focolare nominale pari a 128 kW
- Potenza utile nominale pari a 116 kW
- Rendimento termico al 100% di carico pari a 88.1 %, mentre al 30% di carico 86.2%
- Efficienza energetica stagionale per il riscaldamento d'ambiente η_s pari a 82.0%

Attraverso la UNI/TS 11300-2-Metodo B2-Analitico, integrato nel software Termo, è stato possibile determinare, con buona approssimazione, quelli che sono i parametri del generatore:

- Potenza assorbita dalle pompe: 332 W
- Potenza assorbita dal bruciatore: 57 W
- Perdite al mantello ($P_{gn,env}$): 3.20%
- Perdite al camino a bruciatore acceso ($P_{ch,on}$): 12.00%
- Perdite al camino a bruciatore spento ($P_{ch,off}$): 1.20%

L'impianto di distribuzione ed emissione, annesso alla caldaia, è rimasto il medesimo presente fin dalla costruzione dell'edificio, trattasi di tubazioni in rame con isolamento termico scadente con distribuzione monotubo a temperatura costante e portata variabile; radiatori in ghisa con temperatura di progetto in mandata di 70.0°C e 55.0°C in ritorno, posti in maggioranza su pareti perimetrali non isolati o eventuali sottofinestra .

Il sottosistema di regolazione è costituito dalle valvole manuali presenti nei radiatori che consentono una regolazione di zona dei vari subalterni, con banda di regolazione proporzionale a 2°C, ovvero significa che il sistema è in grado di regolare la temperatura nell'ambiente con una variazione al limite di $\pm 1^\circ\text{C}$.

Tramite queste considerazioni è stato possibile determinare per ogni subalterno, in base al numero di radiatori presenti, i rispettivi rendimenti di emissione, regolazione e distribuzione. I valori sono stati riportati nella seguente tabella.

Subalterno	Numero di terminali	Rendimento emissione	Rendimento regolazione	Rendimento distribuzione
1	6	93,0%	94,0%	95,4%
2	12	93,0%	94,0%	95,4%
3	13	93,0%	94,0%	95,4%
4	14	93,0%	94,0%	95,4%
5	6	93,0%	94,0%	95,4%
6	6	93,0%	94,0%	95,4%

Tab.10: Rendimenti dei sottosistemi di generazione.

Come possibile notare, essendo l'impianto centralizzato, si è supposto che tutti i subalterni presentino le medesime condizioni prestazionali. In particolare, il rendimento d'emissione, non essendo soggetto al numero di radiatori presenti nell'unità immobiliare, ma solo alle prestazioni e posizione del singolo radiatore, si è supposto di uguagliarlo per tutti i subalterni; considerando inoltre la sua correzione dovuta alle pareti esterne non isolate.

Il rendimento di distribuzione è stato calcolato tramite la UNI/TS 11300-2-Prospetti 21/22/23-Semplificato, andando a considerare i parametri sopra citati e una differenza di temperatura di progetto di 42.5°C.

5.3.2. Impianto di climatizzazione estiva

L'edificio presenta, per ogni subalterno, un impianto di raffreddamento autonomo costituito da una pompa di calore aria/aria della marca Emmeti modello XECO-1813, costituito da una unità esterna ed un'unica unità interna (mono-split), alimentato elettricamente, avente una potenza termica nominale di 5.30 kW.

La seguente tabella mostra i valori di Energy Efficiency Ratio (EER) del dispositivo al variare del fattore di carico.

Fattore di carico	EER
100%	3,270
75%	3,470
50%	4,110
25%	6,080

Tab.11: Variazione del EER.

Per ogni subalterno, la tipologia d'impianto prevede un sottosistema di emissione con unità interne split, quindi di tipologia ventilconvettori, con un rendimento d'emissione del 97.0%. La potenza necessaria agli ausiliari è stata calcolata sulla base della portata d'aria richiesta, tenendo conto di un fattore di ricambio naturale dell'aria pari a 0.5 m³/h; pertanto, per tutti i subalterni è stata richiesta una portata fino a 200 m³/h, approssimando quindi la potenza degli ausiliari a 40 W per climatizzatore. L'unica eccezione è costituita dal subalterno 4, situato nel sottotetto, che necessita di una portata d'aria compresa tra i 200 e 400 m³/h, approssimando quindi la potenza a 50 W.

Il sottosistema di regolazione, invece, è costituito da un sistema a regolazione di zona con tipologia ON-OFF, prevedendo quindi un rendimento del 93%.



Fig.20: Unità esterna dell'impianto a pompa di calore Emmeti [18].

5.4. Analisi energetica dello stato Ante Intervento.

5.4.1. Calcolo delle dispersioni termiche

Per il calcolo delle dispersioni termiche e nei paragrafi successivi, anche per il calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio sono stati considerati i parametri di temperatura medie mensili, di progetto e le irradiazioni medie mensili ottenute dai dati dell'ENEA.

Mese	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Temperatura [°C]	-0,2	2,5	6,7	10,2	15,8	19,9	21,8	20,7	15,9	10,8	5	-0,6

Tab.12: Temperatura media mensile nella provincia di Torino.

Mese	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Irradianza media globale [kWh/m ²]	53,6	65,9	115	138	175	183	183	152	117	83,2	51,8	42,3

Tab.13: Irradianza media globale nella provincia di Torino.

Il calcolo delle dispersioni viene eseguito, in conformità alle normative UNI, tenendo conto delle perdite per trasmissione, nelle quali vengono contate quelle attraverso le superfici opache verticali, orizzontali e trasparenti. Successivamente vengono calcolate le perdite relative a ventilazione e ripresa per compensare gli effetti di riscaldamento intermittente, per ogni singolo locale di ogni subalterno, tenendo conto di una temperatura interna di progetto (θ_{int}) di 20°C.

L'analisi è stata effettuata tramite il software Termo di Namirial, che esegue il calcolo per ogni zona termica, andando poi a stimare le dispersioni per l'intero edificio e a riportare in forma grafica, per ogni elemento strutturale, quelle che sono le relative dispersioni.



Fig.21: Logo del software Termo di Namirial S.p.a [19].

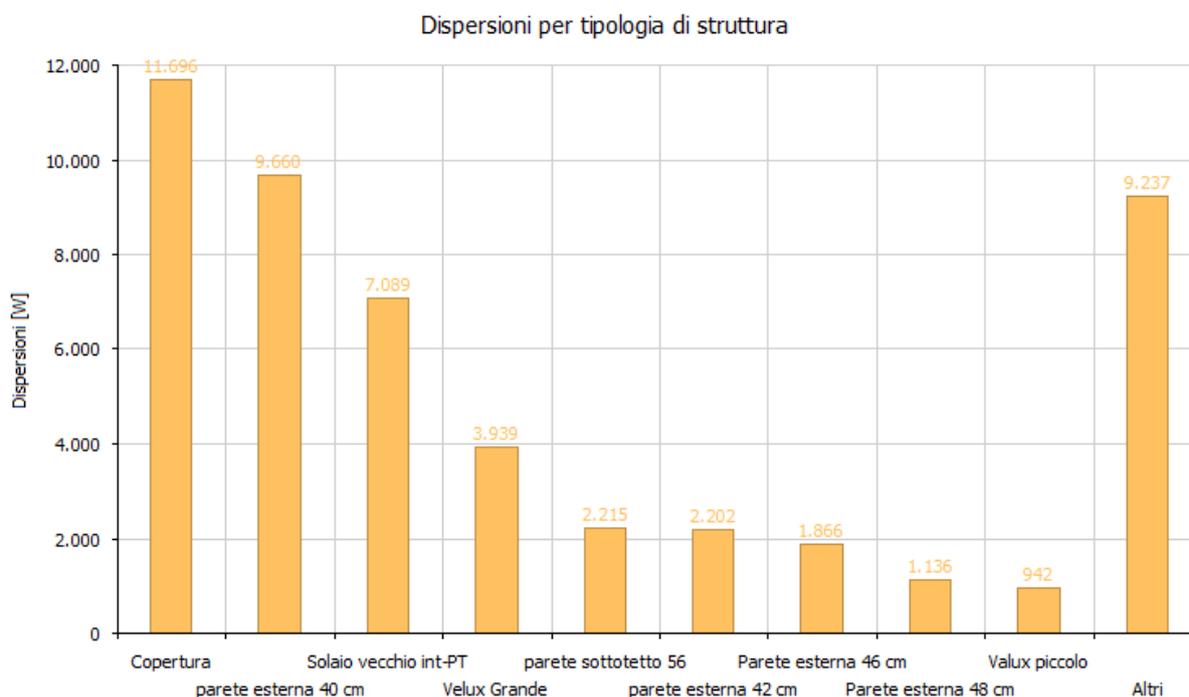
Nelle tabelle seguenti, vengono riportate le dispersioni; dove sarà possibile notare i parametri sopra citati. In particolare, il calcolo delle perdite per ripresa è stato eseguito impostando, per ogni zona termica, un fattore di ripresa (f_{RH}) pari a 6 W/m²; questo parametro deriva dalle considerazioni fatte sulla caduta di temperatura per attenuazione, pari a 1°C, e dal tempo di ripresa, pari a 2 ore.

Locale	θ_{int}	P_t [W]	P_v [W]	P_{RH} [W]	P [W]
Subalterno 1					
Disimpegno	20	182,65	54,89	24,88	262,42
Cucina/Soggiorno	20	3083,12	452,86	203,78	3739,76
Bagno	20	584,39	92,87	41,93	719,2
Camera	20	2178,88	291,68	131,43	2601,99
Subalterno 2					
Ingresso/Disimpegno	20	0,00	269,66	94,08	363,74
Rip	20	0,00	23,98	8,52	32,5
Camera piccola	20	0,00	118,52	42,37	160,88
Bagno	20	355,19	123,79	42,99	521,97
Soggiorno	20	1710,88	482,43	167,32	2360,63
Cucina	20	514,91	211,04	73,33	799,27
Camera	20	1887,28	478,65	165,77	2531,71
Disimpegno	20	0	37,74	13,96	51,7
Subalterno 3					
Soggiorno	20	2546,39	629,8	217,85	3394,04
Cucina	20	785,96	312,6	108,79	1207,35
Bagno	20	281,46	129,07	45,17	455,70
Camera	20	1333,04	284,81	98,6	1716,45
Ingresso/Disimpegno	20	0,00	153,88	55,3	209,18
Camera	20	1587,53	320,12	111,15	2018,80
Ripostiglio	20	0,00	53,45	18,7	72,15
Subalterno 4					
Disimpegno	20	213,43	44,24	22,36	280,03
Camera	20	3683,03	453,24	183,1	4319,37
Bagno	20	578,21	36,1	11,41	625,72
Cucina	20	4473,54	510,71	209,17	5193,42
Camera	20	3267,90	308,07	129,92	3705,89
Ripostiglio	20	537,86	56,67	26,24	620,77
Bagno	20	1413,97	98,76	37,84	1550,57
Antibagno	20	5624,29	725,49	291,65	6641,43
Soggiorno/Studio	20	227,31	48,69	26,55	302,55

Subalterno 5					
Cucina	20	2108,35	179,93	81,93	2370,21
Soggiorno	20	2168,65	314,93	145,37	2628,95
Bagno	20	538,74	72,81	32,93	644,48
Camera	20	886,14	119,85	55,24	1061,23
Ripostiglio	20	228,34	66,5	30,1	324,94
Subalterno 6					
Soggiorno	20	3090,84	402,03	181,52	3674,39
Camera	20	1029,56	143,15	65,03	1237,74
Bagno	20	1192,47	78,15	35,32	1305,94
Cucina	20	1687,68	328,88	148,91	2165,47
TOTALE		49982	8510,04	3380,51	61872,54

Tab.14: Dimensionamento delle dispersioni termiche in ogni subalterno.

Nelle immagini seguenti vengono mostrate quali sono le strutture più disperdenti e con il maggior impatto sulle prestazioni dell'edificio; permettendo quindi di comprendere su quali strutture andare principalmente ad intervenire durante le operazioni di riqualificazione.



Dispersioni per tipologia di struttura

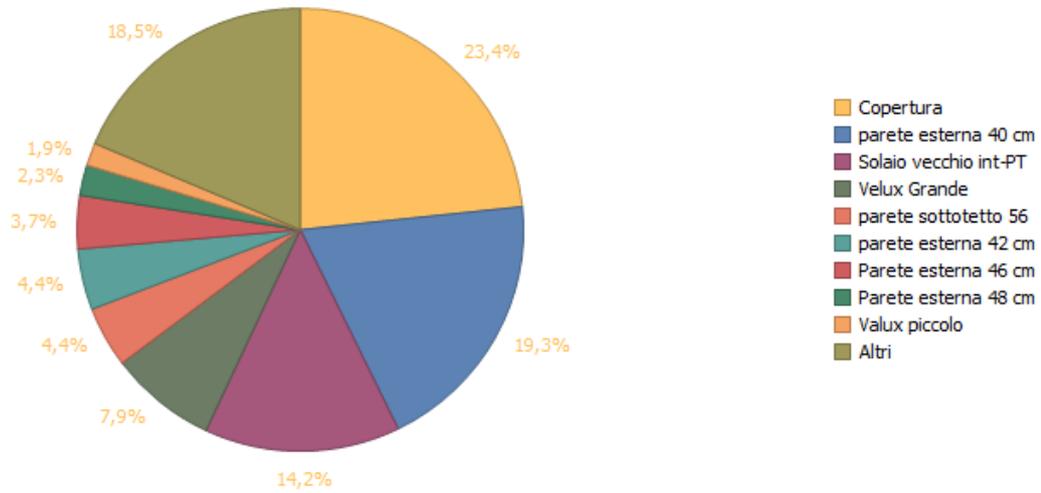


Fig.22: Principali strutture disperdenti dell'edificio.

Come è possibile notare, il maggior contributo alla dispersione energetica è dato principalmente dalla copertura, dalla parete esterna da 40 cm e dal solaio interpiano che separa il piano seminterrato dal primo piano fuori terra. Questa conclusione si è dimostrata particolarmente prevedibile, già in fase di modellazione sul software Termo, in quanto queste tre strutture rappresentano la maggior parte delle superfici opache esposte alle condizioni esterne.

Un altro interessante contributo alle dispersioni è dettato dai lucernari di dimensioni 1,88x1,40 m, essendo la loro struttura, composta solamente da un vetro singolo non trattato, comporta un valore di trasmittanza particolarmente elevati anche in rapporto ai valori degli altri serramenti.

Infine, altri contributi particolarmente non trascurabili, sono dettati dalle strutture "parete sottotetto 56 cm" e "parete esterna 42 cm". Queste superfici opache mostrano valori di trasmittanza generalmente elevati; tuttavia, la loro incidenza sul complessivo delle dispersioni risulta meno impattante se paragonata alle strutture precedentemente citate, in quanto meno presenti nel complessivo strutturale dell'edificio.

5.4.2. Calcolo del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale

Il calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento è stato eseguito, in conformità alla normativa UNI/TS 11300-1, tenendo in considerazione, come citato nel paragrafo precedente, le temperature medie mensili a cui è soggetto il fabbricato. Nello sviluppare l'analisi, si è voluto nuovamente andare a calcolare nel dettaglio il carico necessario, per ogni mese del periodo di riscaldamento, andando infine a dimensionare il fabbisogno dell'edificio.

È importante andare a specificare, prima di entrare nel dettaglio dell'esposizione numerica, quali sono i principali componenti dell'analisi che permettono di arrivare alla stima del fabbisogno mensile e infine annuale. Di seguito, ne viene riportato un elenco:

- $Q_{H_{tr}}$ [kWh] inerente allo scambio termico per trasmissione.
- $Q_{H_{ve}}$ [kWh] inerente allo scambio termico per ventilazione.
- $Q_{H_{int}}$ [kWh] inerente agli apporti termici interni.
- $Q_{H_{solw}}$ [kWh] inerente agli apporti termici solari attraverso superfici trasparenti.
- $Q_{H_{solop}}$ [kWh] inerente agli apporti termici solari attraverso le superfici opache.
- $Q_{H_{nd}}$ [kWh] inerente al fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio.
- $Q_{H_{gnout}}$ [kWh] inerente all'energia termica in uscita dal sottosistema di generazione.
- $Q_{P_{nrenH}}$ [kWh] fabbisogno di energia primaria non rinnovabile del sistema edificio-impianto.
- $Q_{P_{renH}}$ [kWh] fabbisogno di energia primaria rinnovabile del sistema edificio-impianto.
- $Q_{P_{totH}}$ [kWh] fabbisogno di energia primaria totale del sistema edificio-impianto.

Nella tabella seguente, sono riportati i valori numerici dei vari parametri appena citati, per ogni unità immobiliare del fabbricato.

Mese	QHtr	QHve	QHint	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Subalterno 1										
Gennaio	3.094,20	353,5	311,8	131,8	89,9	3.004,80	3.807,70	5.037,80	6,7	5.044,50
Febbraio	2.377,10	276,7	281,6	183,9	128,4	2.190,20	2.773,70	3.675,30	4,9	3.680,20
Marzo	1.952,50	233	311,8	253,1	187,7	1.627,40	2.057,70	2.757,50	3,7	2.761,10
Aprile	737,9	89,8	150,9	126	94,7	557,6	703,5	977,3	1,3	978,6
Ottobre	884,8	102,8	171	71,2	58,7	748,1	944,9	1.264,20	1,7	1.265,90
Novembre	2.228,10	254,2	301,7	99,8	70,6	2.082,10	2.635,70	3.491,50	4,6	3.496,20
Dicembre	3.166,20	360,5	311,8	105,3	73,4	3.110,10	3.941,40	5.212,60	6,9	5.219,50
Subalterno 2										
Gennaio	2.386,40	449,1	316,4	208,6	132,4	2.311,10	2.926,00	3.871,20	5,1	3.876,30
Febbraio	1.800,20	351,5	285,8	279,6	188,9	1.588,40	2.008,80	2.661,80	3,5	2.665,40
Marzo	1.440,40	296	316,4	367,9	275,3	1.062,40	1.339,50	1.795,00	2,4	1.797,40
Aprile	533	114,1	153,1	180,3	138,3	325,7	408,9	567,9	0,8	568,7
Ottobre	669,6	130,7	173,5	112,8	86,3	517	651,2	871,2	1,2	872,4
Novembre	1.719,40	323	306,2	158,2	103,9	1.579,00	1.996,20	2.644,40	3,5	2.647,90
Dicembre	2.450,50	458	316,4	168,3	108,2	2.424,10	3.069,60	4.059,60	5,4	4.065,00
Subalterno 3										
Gennaio	3.192,30	573,1	335,7	123,8	93,6	3.306,00	4.188,10	5.541,00	7,4	5.548,40
Febbraio	2.452,40	448,6	303,2	176,8	141,9	2.421,30	3.065,30	4.061,60	5,4	4.067,00
Marzo	1.992,60	377,7	335,7	292,2	243,5	1.744,90	2.204,70	2.954,50	3,9	2.958,40
Aprile	733,6	145,7	162,5	169,3	141	552	695,4	966	1,3	967,3
Ottobre	913,5	166,7	184,1	85,9	71,7	811,1	1.023,70	1.369,60	1,8	1.371,40
Novembre	2.297,70	412,1	324,9	107,8	80,4	2.277,50	2.881,70	3.817,40	5,1	3.822,50
Dicembre	3.264,00	584,4	335,7	97	74,3	3.415,70	4.327,50	5.723,10	7,6	5.730,70
Subalterno 4										
Gennaio	9.721,80	694,3	334,8	546,6	420,8	9.536,00	12.368,40	16.363,90	21,7	16.385,70
Febbraio	7.394,60	543,4	302,4	849,4	672,5	6.793,00	8.807,40	11.670,30	15,5	11.685,80
Marzo	5.903,40	457,6	334,8	1.499,10	1.185,60	4.580,30	5.932,00	7.949,50	10,6	7.960,10
Aprile	2.116,60	176,4	162	863,6	688,2	1.342,70	1.735,70	2.411,10	3,2	2.414,30
Ottobre	2.780,30	202	183,6	424,8	338,2	2.381,90	3.084,40	4.126,40	5,5	4.131,90
Novembre	7.014,70	499,3	324	475,9	366,2	6.716,30	8.706,70	11.533,90	15,3	11.549,20
Dicembre	9.943,50	708	334,8	415,5	327,4	9.901,90	12.843,50	16.985,80	22,5	17.008,30

Subalterno 5										
Gennaio	3.239,90	227,8	255,1	148,4	50,1	3.065,50	3.973,30	5.256,80	7	5.263,80
Febbraio	2.512,80	178,3	230,4	199	73	2.264,70	2.934,00	3.887,70	5,2	3.892,90
Marzo	2.088,70	150,2	255,1	300,3	113,5	1.694,20	2.192,30	2.938,00	3,9	2.941,90
Aprile	794,5	57,9	123,4	164,7	60,6	575,5	743,6	1.032,90	1,4	1.034,30
Ottobre	936,5	66,3	139,9	90,7	34,7	775,9	1.003,30	1.342,20	1,8	1.344,00
Novembre	2.332,50	163,8	246,9	125,5	40,6	2.126,10	2.753,50	3.647,60	4,8	3.652,50
Dicembre	3.308,40	232,3	255,1	115,8	40,5	3.170,70	4.110,00	5.435,50	7,2	5.442,70
Subalterno 6										
Gennaio	3.537,50	289,7	291,3	87,2	48,4	3.449,60	4.470,90	5.915,20	7,9	5.923,00
Febbraio	2.746,00	226,8	263,1	123,1	73,9	2.588,20	3.353,00	4.442,90	5,9	4.448,80
Marzo	2.275,50	190,9	291,3	188,7	129	1.991,90	2.577,70	3.454,40	4,6	3.459,00
Aprile	858,7	73,6	140,9	102,8	75,6	694,1	896,9	1.245,90	1,7	1.247,60
Ottobre	1.022,50	84,3	159,7	55,9	37,7	893,5	1.155,40	1.545,70	2,1	1.547,80
Novembre	2.545,60	208,3	281,9	71,7	42	2.401,80	3.110,40	4.120,30	5,5	4.125,80
Dicembre	3.611,20	295,4	291,3	69,6	38,3	3.546,40	4.596,70	6.079,20	8,1	6.087,20
Edificio										
Gennaio	25.172,10	2.587,50	1.845,10	1.246,40	835,2	24.672,90	31.734,20	41.985,90	55,7	42.041,70
Febbraio	19.283,20	2.025,40	1.666,50	1.811,80	1.278,70	17.845,80	22.942,20	30.399,70	40,4	30.440,10
Marzo	15.653,00	1.705,50	1.845,10	2.901,30	2.134,60	12.701,20	16.303,90	21.848,90	29	21.877,90
Aprile	5.774,40	657,6	892,8	1.606,70	1.198,50	4.047,60	5.184,10	7.201,10	9,6	7.210,60
Ottobre	7.207,10	752,8	1.011,80	841,3	627,3	6.127,50	7.862,90	10.519,30	14	10.533,30
Novembre	18.138,10	1.860,80	1.785,60	1.038,90	703,7	17.182,70	22.084,10	29.255,20	38,8	29.294,10
Dicembre	25.743,70	2.638,60	1.845,10	971,6	662	25.568,90	32.888,70	43.495,80	57,7	43.553,50
TOTALE	116.971,60	12.228,20	10.892,00	10.418,00	7.440,00	108.146,60	139.000,10	184.705,90	245,20	184.951,20

Tab.15:Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale.

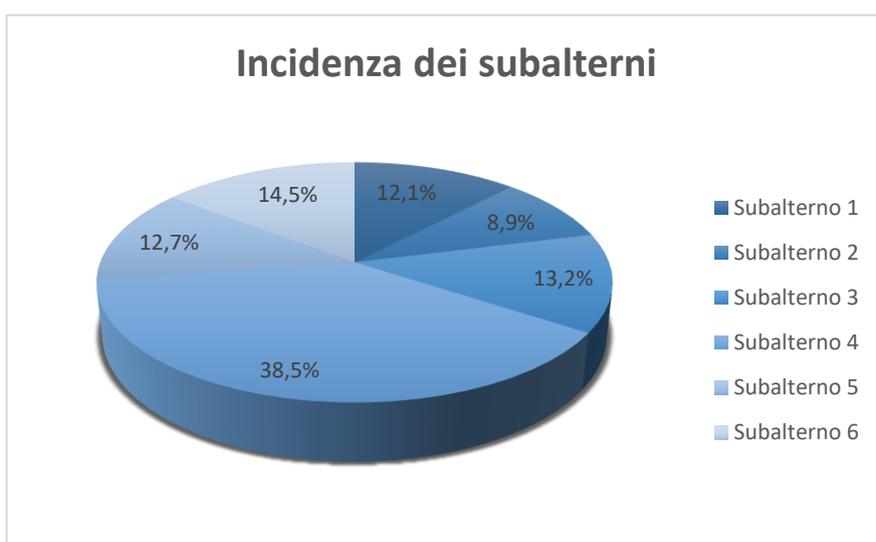


Fig.23: Incidenza percentuale dei subalterni sul fabbisogno di riscaldamento complessivo.

Come è possibile notare nel grafico mostrato nella pagina precedente, tutti i subalterni mostrano un'incidenza sul complessivo simili, con uno scarto solamente di qualche punto percentuale, nonostante presentino volumi differenti.

Un'eccezione, a quanto appena citato, è mostrata dal subalterno quattro situato nel sottotetto, a causa del suo volume maggiore e soprattutto a causa delle notevoli dispersioni a cui è sottoposto, dovute principalmente alla copertura e ai relativi serramenti.

Quest'analisi evidenzia quanto, durante gli interventi di efficientamento, sia fondamentale concentrarsi sul miglioramento energetico di questa unità immobiliare per poter incrementare con maggior impatto la riqualificazione dello stesso edificio.

5.4.3. Calcolo del fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS)

Esattamente come svolto precedentemente, sempre in conformità della normativa UNI/TS 11300-2, è stata svolta l'analisi per il calcolo del fabbisogno di energia per l'acqua calda sanitaria. Il calcolo è stato nuovamente eseguito per ogni subalterno presente, così da poter sviluppare il fabbisogno complessivo dell'intero fabbricato.

È importante evidenziare i principali fattori che intervengono per lo sviluppo della componente numerica:

- Q_W [kWh] riguarda il fabbisogno ideale di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria. In particolare, riguardo a questo componente, è importante notare che, come indicato dalla normativa, è funzione di un insieme di parametri non strettamente connessi all'edificio e quindi alle dispersioni.

$$Q_W = \sum_{i=1}^{n_{\text{subalterni}}} \frac{gg_i * V_{W_i} * c_{pW} * (\theta_0 - \theta_{er})}{3600}$$

In questa formula si sottolinea il significato di fattori come gg_i , ovvero i giorni di produzione dell'ACS di quel determinato mese, V_{W_i} , ovvero il fabbisogno giornaliero di acqua e infine θ_0 che è la temperatura di utilizzo dell'acqua. Questi parametri non sono legati all'edificio nella sua struttura, ma solamente tramite l'impianto di produzione, in quanto sono relegati al numero di occupanti presenti durante tutto l'anno.

- $Q_{gn_{out}}$ [kWh] riguarda l'energia termica per il fabbisogno d'acqua calda sanitaria in uscita dal sottosistema di generazione.
- $Q_{p_{nren,W}}$ [kWh] riguarda il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile del sottosistema edificio-impianto.
- $Q_{p_{ren,W}}$ [kWh] riguarda il fabbisogno di energia primaria rinnovabile del sottosistema edificio-impianto.
- $Q_{p_{tot,W}}$ [kWh] riguarda il fabbisogno di energia primaria totale del sottosistema edificio-impianto.

Prima di evidenziare l'aspetto numerico, è interessante sottolineare che, trattandosi dell'analisi ante intervento, il fattore $Q_{p_{ren,W}}$ è sostanzialmente approssimabile a 0, in quanto non vi sono risorse di origine rinnovabile per la produzione dell'acqua calda sanitaria. Quindi, in buona approssimazione, il fabbisogno di energia primaria totale coincide con il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile.

Mese	QW	QWgn.out	Qp.nren,W	Qp.tot,W
Subalterno 1				
Gennaio	132	147,8	179,6	179,6
Febbraio	119,2	133,5	162,3	162,3
Marzo	132	147,8	179,6	179,6
Aprile	127,7	143	173,9	173,9
Maggio	132	147,8	179,6	179,6
Giugno	127,7	143	173,9	173,9
Luglio	132	147,8	179,6	179,6
Agosto	132	147,8	179,6	179,6
Settembre	127,7	143	173,9	173,9
Ottobre	132	147,8	179,6	179,6
Novembre	127,7	143	173,9	173,9
Dicembre	132	147,8	179,6	179,6
Subalterno 2				
Gennaio	135,4	151,6	184,3	184,3
Febbraio	122,3	136,9	166,5	166,5
Marzo	135,4	151,6	184,3	184,3
Aprile	131	146,7	178,3	178,3
Maggio	135,4	151,6	184,3	184,3
Giugno	131	146,7	178,3	178,3
Luglio	135,4	151,6	184,3	184,3
Agosto	135,4	151,6	184,3	184,3
Settembre	131	146,7	178,3	178,3
Ottobre	135,4	151,6	184,3	184,3
Novembre	131	146,7	178,3	178,3
Dicembre	135,4	151,6	184,3	184,3
Subalterno 3				
Gennaio	161,9	181,4	220,4	220,4
Febbraio	146,3	163,8	199,1	199,1
Marzo	161,9	181,4	220,4	220,4
Aprile	156,7	175,5	213,3	213,3
Maggio	161,9	181,4	220,4	220,4
Giugno	156,7	175,5	213,3	213,3
Luglio	161,9	181,4	220,4	220,4
Agosto	161,9	181,4	220,4	220,4
Settembre	156,7	175,5	213,3	213,3
Ottobre	161,9	181,4	220,4	220,4
Novembre	156,7	175,5	213,3	213,3
Dicembre	161,9	181,4	220,4	220,4

Subalterno 4				
Gennaio	215	240,8	292,7	292,7
Febbraio	194,2	217,5	264,4	264,4
Marzo	215	240,8	292,7	292,7
Aprile	208,1	233,1	283,3	283,3
Maggio	215	240,8	292,7	292,7
Giugno	208,1	233,1	283,3	283,3
Luglio	215	240,8	292,7	292,7
Agosto	215	240,8	292,7	292,7
Settembre	208,1	233,1	283,3	283,3
Ottobre	215	240,8	292,7	292,7
Novembre	208,1	233,1	283,3	283,3
Dicembre	215	240,8	292,7	292,7
Subalterno 5				
Gennaio	103,7	116,1	141,1	141,1
Febbraio	93,6	104,9	127,5	127,5
Marzo	103,7	116,1	141,1	141,1
Aprile	100,3	112,4	136,6	136,6
Maggio	103,7	116,1	141,1	141,1
Giugno	100,3	112,4	136,6	136,6
Luglio	103,7	116,1	141,1	141,1
Agosto	103,7	116,1	141,1	141,1
Settembre	100,3	112,4	136,6	136,6
Ottobre	103,7	116,1	141,1	141,1
Novembre	100,3	112,4	136,6	136,6
Dicembre	103,7	116,1	141,1	141,1
Subalterno 6				
Gennaio	119,7	134,1	162,9	162,9
Febbraio	108,1	121,1	147,2	147,2
Marzo	119,7	134,1	162,9	162,9
Aprile	115,8	129,7	157,7	157,7
Maggio	119,7	134,1	162,9	162,9
Giugno	115,8	129,7	157,7	157,7
Luglio	119,7	134,1	162,9	162,9
Agosto	119,7	134,1	162,9	162,9
Settembre	115,8	129,7	157,7	157,7
Ottobre	119,7	134,1	162,9	162,9
Novembre	115,8	129,7	157,7	157,7
Dicembre	119,7	134,1	162,9	162,9
Edificio				
Gennaio	867,7	971,8	1.181,20	1.181,20
Febbraio	783,7	877,7	1.066,90	1.066,90
Marzo	867,7	971,8	1.181,20	1.181,20
Aprile	839,7	940,4	1.143,10	1.143,10
Maggio	867,7	971,8	1.181,20	1.181,20
Giugno	839,7	940,4	1.143,10	1.143,10
Luglio	867,7	971,8	1.181,20	1.181,20
Agosto	867,7	971,8	1.181,20	1.181,20
Settembre	839,7	940,4	1.143,10	1.143,10
Ottobre	867,7	971,8	1.181,20	1.181,20
Novembre	839,7	940,4	1.143,10	1.143,10
Dicembre	867,7	971,8	1.181,20	1.181,20
TOTALE	10216,4	11441,9	13907,7	13907,7

Tab.16: Fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria.

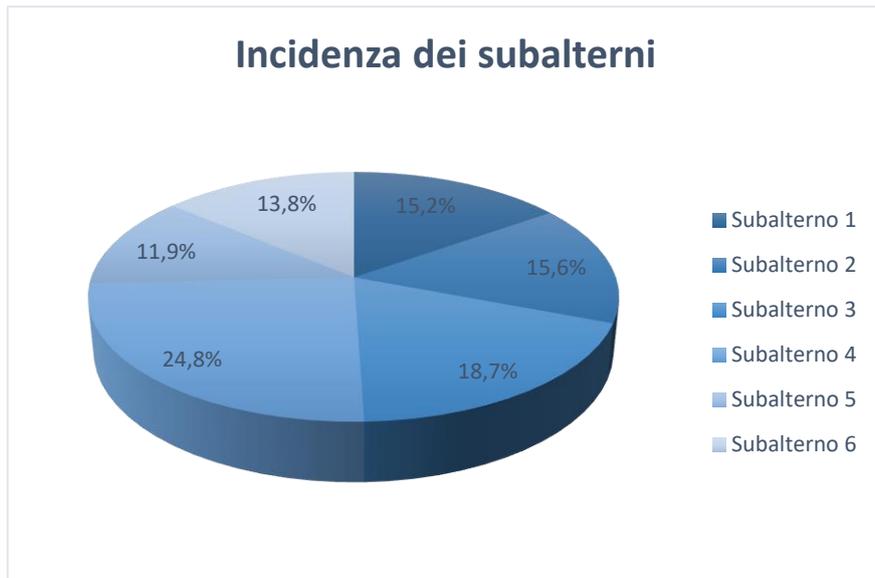


Fig.24: Incidenza percentuale dei subalterni sul fabbisogno di energia per ACS complessivo.

Ciò che è stato detto precedentemente, è nuovamente riportato dal grafico qui sopra, dove è possibile notare come, a differenza del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento, il fabbisogno di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria, non è strettamente collegato alle caratteristiche termiche dell'edificio. È chiaramente evidente che l'incidenza dei singoli fabbricati sul complessivo è indicativamente equilibrata, in quanto questi mostrano valori relativamente simili tra loro, a meno di qualche punto percentuale; nonostante tra alcuni di questi vi sia una notevole differenza di volumetria.

È corretto ipotizzare che, essendo il subalterno quattro il più voluminoso, necessiti anche solo parzialmente di un fabbisogno giornaliero d'acqua maggiore; pertanto, è ragionevole pensare che la sua incidenza sia maggiorata di qualche punto percentuale.

5.4.4. Calcolo del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva

Come svolto nei paragrafi precedenti, il calcolo del fabbisogno di energia per il raffrescamento estivo, conforme alla normativa UNI/TS 11300-1, è stato anch'esso svolto per ogni subalterno in riferimento ai mesi del periodo di raffrescamento.

A differenza dei casi precedenti, in questa analisi sono state eseguite delle considerazioni aggiuntive. In primo luogo, per poter eseguire il dimensionamento in modo più accurato possibile, è stato necessario andare a ipotizzare quelli che vengono definiti carichi estivi. Nel farlo, è stato necessario andare a ipotizzare il numero di occupanti, la tipologia di attività svolta all'interno dell'unità immobiliare e la loro permanenza oraria, così da dimensionare i carichi sensibili e latenti. Con la medesima procedura, sono stati calcolati i carichi dovuti alle apparecchiature all'interno di ogni zona termica e al sistema di illuminazione e il loro relativo periodo di attività.

Una seconda considerazione degna di nota riguarda l'analisi numerica svolta per il subalterno uno e il subalterno sei, dove è possibile notare che il software non restituisce alcun valore per il fabbisogno di energia per il raffrescamento; inoltre restituisce un valore pari a 0 per l'indice di prestazione energetica per climatizzazione estiva di origine non rinnovabile ($EP_{C_{nren}}$), ovvero un parametro che indica il fabbisogno energetico, espresso in kWh, rapportato alla superficie utile della zona termica considerata per un periodo di misurazione di un anno $\left[\frac{kWh}{m^2 \text{ anno}}\right]$. Il motivo per cui il software mostra a schermo un valore nullo è dovuto principalmente al fatto che, essendo l'edificio eccessivamente energivoro, gli apporti solari gratuiti e gli apporti interni citati precedentemente, nel periodo estivo vengono bilanciati dalle dispersioni per ventilazione e trasmissione, rendendo il suo fabbisogno ideale di energia per il raffrescamento nullo. Questa condizione particolare non viene nuovamente a verificarsi nel momento in cui l'edificio verrà isolato, in quanto le sue dispersioni e gli apporti esterni gratuiti verranno drasticamente ridotti; andando quindi a rendere necessario un fabbisogno di energia per il raffrescamento.

Come mostrato nei paragrafi precedenti, prima di entrare nel dettaglio dell'analisi numerica, è importato evidenziare nuovamente quali sono i principali parametri agenti:

- $Q_{C_{tr}}$ [kWh] inerente allo scambio termico per trasmissione.
- $Q_{C_{ve}}$ [kWh] inerente allo scambio termico per ventilazione.
- $Q_{C_{int}}$ [kWh] inerente agli apporti termici interni.
- $Q_{C_{solw}}$ [kWh] inerente agli apporti termici solari attraverso le superfici trasparenti.
- $Q_{C_{solop}}$ [kWh] inerente agli apporti termici solari attraverso le superfici opache.
- $Q_{C_{nd}}$ [kWh] inerente al fabbisogno ideale di energia termica.
- $Q_{C_{gnout}}$ [kWh] inerente all'energia termica in uscita dal sottosistema di generazione.
- $Q_{p_{nrenC}}$ [kWh] inerente al fabbisogno di energia primaria non rinnovabile del sistema edificio-impianto.
- $Q_{p_{renC}}$ [kWh] inerente al fabbisogno di energia primaria rinnovabile del sistema edificio-impianto.
- $Q_{p_{totC}}$ [kWh] inerente al fabbisogno di energia primaria globale del sistema edificio- impianto.

Mese	QCtr	QCve	QCint	QCsol,w	QCsol,op	QC,nd	QCgn,out	Qp,nren,C	Qp,ren,C	Qp,tot,C
Subalterno 2										
Giugno	398,1	103,5	244,9	350,2	264,8	116,8	132,1	96,8	23,3	120,1
Luglio	271,4	94,1	316,4	452,4	360,5	403,6	456,5	204	49,2	253,1
Agosto	377,4	99	255,1	322,4	264,6	120,7	136,6	102,2	24,6	126,8
Subalterno 3										
Giugno	342,3	88,5	184,1	284,2	240,4	66,4	75,5	64,9	15,6	80,5
Luglio	371,7	120,1	335,7	513,8	448,7	359,3	408,5	189,5	45,7	235,2
Agosto	305,3	74,8	173,3	224,3	195,1	48,4	55	57,4	13,8	71,3
Subalterno 4										
Maggio	170,7	18,1	21,6	164,5	129,4	22	24,9	10,6	2,6	13,2
Giugno	1.690,60	203,9	324	2.543,50	2.034,80	1.009,30	1.141,70	398,1	95,9	494
Luglio	697,9	145,5	334,8	2.693,70	2.185,50	2.185,30	2.471,90	1.115,10	268,8	1.383,90
Agosto	1.338,70	145,4	259,2	1.721,70	1.393,20	551,1	623,3	225,2	54,3	279,5
Subalterno 5										
Giugno	48,2	3,8	16,5	30,2	10,9	4,3	4,8	10	2,4	12,4
Luglio	579	47,7	255,1	455,6	173,7	137,5	155,5	182,7	44	226,7
Agosto	45,1	3,5	16,5	26,2	10,3	3,6	4	10	2,4	12,4
Edificio										
Maggio	170,7	18,1	21,6	164,5	129,4	22	24,9	10,6	2,6	13,2
Giugno	2.479,20	399,6	769,5	3.208,20	2.551,00	1.196,80	1.354,10	569,7	137,3	707
Luglio	1.920,00	407,4	1.242,00	4.115,60	3.168,50	3.085,70	3.492,40	1.691,30	407,6	2.099,00
Agosto	2.066,50	322,8	704,1	2.294,60	1.863,10	723,8	819	394,8	95,1	489,9
TOTALE	6636,4	1147,9	2737,2	9782,9	7712	5028,3	5690,4	2666,4	642,6	3309,1

Tab.17: Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva.

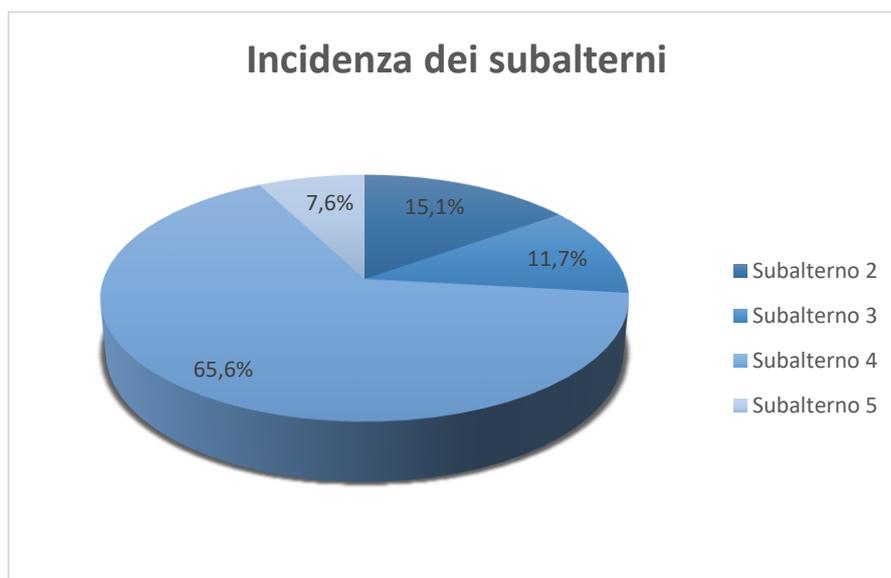


Fig.25: Incidenza percentuale dei subalterni sul fabbisogno di energia per raffrescamento complessivo.

Nel grafico precedente, è evidente notare come il subalterno con maggiore incidenza sul fabbisogno sia nuovamente il quarto. Esattamente come per il fabbisogno invernale, le strutture perimetrali di questo subalterno, non essendo isolate, permettono un'eccessiva trasmissione del calore dall'esterno verso l'interno. In secondo luogo, i serramenti presenti, essendo in vetro singolo non trattato con processi basso emissivi, permettono alle radiazioni solari di attraversarli piuttosto che rifletterli.

5.4.5. Analisi del fabbisogno energetico elettrico

Il paragrafo seguente è stato svolto in modalità differente rispetto a quella seguita finora per l'analisi dei parametri sopra riportati.

Secondo le Linee Guida del DM. 26 giugno 2015, durante la stesura di un Attestato di Prestazione Energetica (APE) con il fine di poter classificare l'immobile in una delle dieci classi energetiche introdotte, il calcolo del fabbisogno di energia per l'illuminazione è da considerarsi trascurabile se l'unità immobiliare risulta essere nella classe di destinazione d'uso E.1, ovvero edifici adibiti a residenza e assimilabili; condizione che non si verifica nelle altre classi.

L'edificio in analisi è composto da sei unità immobiliari, tutte predisposte ad essere di tipologia residenziale E.1, pertanto, fatta la premessa di cui sopra, il calcolo del fabbisogno energetico per i carichi elettrici, al fine della classificazione energetica risulta essere superfluo. Tuttavia, nel tentare di eseguire un'analisi quanto più accurata possibile su ogni aspetto del fabbisogno energetico dell'edificio, è stato comunque eseguito uno studio sul consumo elettrico dell'immobile.

I consumi elettrici delle unità immobiliari, a differenza dei parametri precedenti, non sono stati determinati tramite il software Termo di Namirial, in quanto, avendo impostato nella modellazione la tipologia di destinazione d'uso citata, non dava la possibilità di modellare anche il fabbisogno elettrico. Si è optato, quindi, per l'utilizzo del software Polysun di Vela Solaris, software principalmente concepito per lo sviluppo e l'analisi dell'integrazione impiantistica di collettori solari termici negli edifici per la produzione di acqua calda sanitaria; tuttavia, consente comunque di eseguire delle analisi accurate sui fabbisogni elettrici delle utenze, e le possibili analisi dell'integrazione di sistemi fotovoltaici negli edifici.



Fig.26: Logo del software Polysun di Vela Solaris [20].

Non avendo a disposizione l'esatto consumo annuo di energia elettrica impiegata da ogni unità immobiliare, con il fine di voler dimensionare i consumi elettrici e quindi la quota di energia prelevata dalla rete elettrica nazionale, è stata particolarmente utile una ricerca pubblicata sulla rivista scientifica "L'Energia Elettrica" [21], tra i mesi di luglio e agosto 2014, in cui venivano mostrati i risultati di un'indagine statistica volta a evidenziare i grandi vantaggi che possono derivare dalla flessibilità della domanda di energia elettrica in un futuro sempre più indirizzato verso le figure del prosumer e delle smart grid. Degna di nota, ai fini del dimensionamento dei consumi dell'edificio in analisi, è stata l'analisi statistica presentata nella ricerca, in cui è stato selezionato un campione di mille famiglie, distribuite in modo omogeneo sia dal punto di vista geografico sul territorio italiano, sia per struttura e

composizione familiare, con l'obiettivo di modellare quella che può essere approssimata la "famiglia consumatrice media italiana".

Con il fine di raggiungere questo obiettivo, i carichi elettrici residenziali sono stati suddivisi in categorie così da poter dare loro un valore meglio approssimato possibile:

- Carichi non controllabili: comprendono tutti i carichi elettrici che non offrono un livello automatico di controllo del fabbisogno energetico, se non a scapito di una forte riduzione del livello di servizio reso all'utente. Rientrano in questa tipologia ad esempio l'illuminazione, i forni elettrici, i televisori o i computer. Questi dispositivi comportano un consumo medio giornaliero cumulato di circa 3 kWh/giorno.
- Carichi controllabili: comprendono tutti quei consumi che offrono una flessibilità energetica e la possibilità di automatizzazione del controllo senza impatto sul livello di servizio reso all'utente, o comunque estremamente ridotto. In questa categoria sono considerati tutti gli elettrodomestici caratterizzati da un ciclo di funzionamento temporalmente regolabile, anche detti "carichi spostabili", come la lavatrice o la lavastoviglie. Sono, altresì, considerati in questa categoria anche gli elettrodomestici il cui funzionamento è reso possibile attraverso l'utilizzo di un ciclo termico modulabile in ampiezza, detti anche "carichi modulabili", come ad esempio i frigoriferi e i freezer. Questi carichi corrispondono a circa il 60% del consumo giornaliero e quantitativamente è stato attribuito un valore di consumo medio giornaliero di 1,5 kWh/giorno per i carichi spostabili e 3,5 kWh/giorno per i carichi modulabili.

Questa ricerca ha permesso la stima di quanto sia il consumo complessivo medio giornaliero di energia elettrica, pari a circa 8 kWh/giorno, che trasformato in fabbisogno annuo diventa 2920 kWh/anno, arrotondabile con buona approssimazione a 3000 kWh/anno [21].

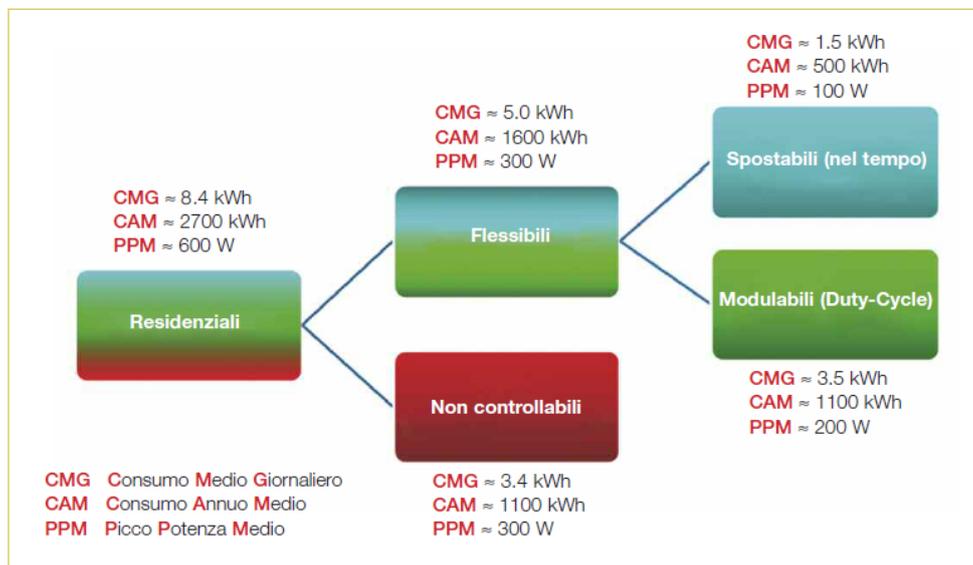


Fig.27: Schema concettuale della stima del fabbisogno energetico giornaliero riportato sulla rivista "L'Energia Elettrica" [21].

Tramite i dati ottenuti dalla ricerca sopra citata, è stato possibile, tramite il software Polysun, modellare un edificio composto da 6 unità abitative le quali, necessitano tutte di un fabbisogno di energia elettrica pari a 3000 kWh/anno ciascuna. Il software, avendo questi dati in input, simula il comportamento dei carichi elettrici durante l'arco di una giornata di un'utenza con fine residenziale, e fornisce un risultato ogni 15 minuti per un'analisi complessiva di durata un anno; infine, calcola una media mensile dei parametri sotto analisi.

È importante sottolineare che il software permette di inserire l'esatta posizione geografica del fabbricato, così, attraverso latitudine e longitudine, calcola l'esatta posizione del sole, rispetto all'edificio in considerazione, durante il trascorrere della giornata, determinando con esattezza le effettive ore di luce naturale disponibili.

Un altro aspetto fondamentale da tenere in considerazione per la corretta esecuzione dell'analisi consiste nel sommare, al valore stimato di consumo elettrico annuo, il valore di carico elettrico che il software Termo restituisce a causa della presenza dei condizionatori a pompa di calore per il condizionamento estivo e per i vari consumi degli ausiliari elettrici degli impianti per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria. Questo fabbisogno aggiuntivo (Q_{el}), in riferimento all'edificio nel suo interno e non ai singoli subalterni, è mostrato nella tabella seguente:

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Q_{el} [kWh]	119,1	86,3	62,2	20,8	5,9	292,6	867,8	202,9	0,5	30,2	83,1	123,3

Tab.18:Fabbisogno elettrico per gli impianti di climatizzazione del fabbricato .

Considerando che l'edificio, nel suo stato di fatto, non dispone di alcuna risorsa per la produzione d'energia elettrica da fonti rinnovabili, è lecito supporre che, l'intero fabbisogno di energia elettrica sia sopperito dalla rete elettrica nazionale a cui l'edificio è connesso; pertanto, di dati ottenuto sull'andamento dei consumi delle unità abitative, fornite da Polysun, coincidono con la quantità di energia elettrica prelevata dalla rete. Di seguito, viene riportato il grafico dell'energia elettrica prelevata dalla rete, fornita dal software.

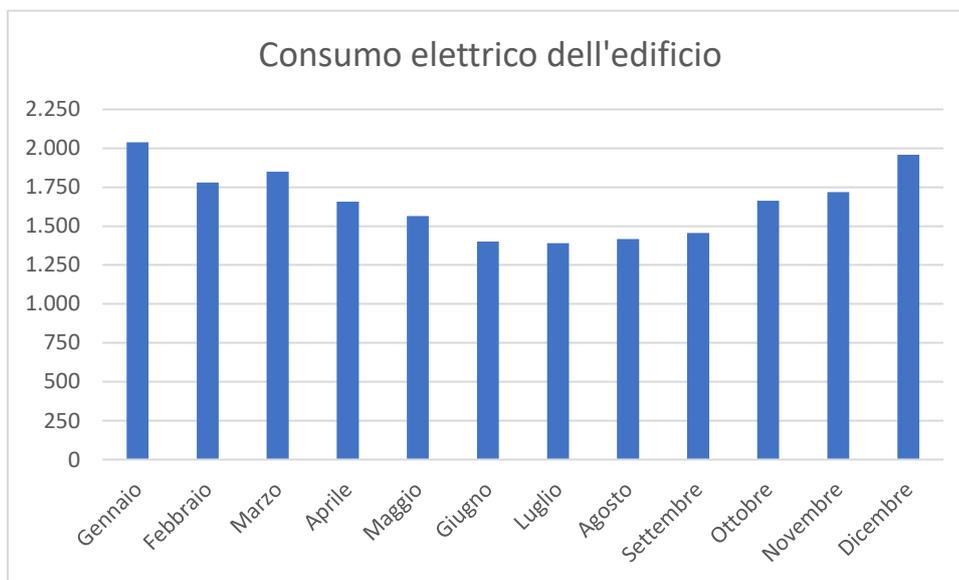


Fig.28: Consumo e prelievo di energia elettrica dalla rete nazionale.

Come è possibile notare, i carichi elettrici diminuiscono nel periodo estivo grazie all'elevato numero di ore di luce naturale disponibili, nonostante il carico aggiuntivo sopra citato. I carichi tendono, successivamente, ad aumentare con il sopraggiungere del periodo invernale; a causa della diminuzione delle ore di luce disponibili e, anche se con un'incidenza minore, con l'aumentare del fabbisogno energetico degli ausiliari del sistema di climatizzazione invernale.

Come citato a inizio paragrafo, quest'analisi è stata svolta con il fine di sviluppare sotto ogni aspetto quello che è il fabbisogno energetico dell'edificio. Non verrà, quindi, considerata nello studio per la definizione della classe energetica.

5.4.6. Definizione della classe energetica.

Come sancito dall'Allegato I, in riferimento all'Art.4 Comma 4 del Decreto Interministeriale del 26 giugno 2015, per la stesura di una APE è necessario classificare l'edificio all'interno di una "classe energetica".

Questa suddivisione viene effettuata attraverso l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio ($EP_{gl,nren}$), ottenibile attraverso la seguente formula:

$$EP_{gl,nren} = \frac{Q_{p_{nren,H}} + Q_{p_{nren,W}} + Q_{p_{nren,C}}}{S_{utile}} \left[\frac{kWh}{m^2 \text{ anno}} \right]$$

Questo indice tanto più è elevato, tanto più alti sono i consumi energetici dell'edificio; pertanto, un edificio con un valore elevato di $EP_{gl,nren}$, tanto più è energivoro e tanto è più bassa la sua classe energetica.

La caratterizzazione delle classi viene effettuata calcolando un valore di $EP_{gl,nren}$ di riferimento, chiamato appunto $EP_{gl,nren,rif}$, stabilito dall'Allegato I, capitolo tre del medesimo decreto. Successivamente, vengono applicati dei coefficienti di riduzione/maggiorazione al valore di riferimento, creando con questa modalità una serie di intervalli contigui nei quali è possibile collocare il valore di $EP_{gl,nren}$ dell'edificio in questione. L'intervallo, a cui viene attribuito l'edificio, determina la classe energetica di quest'ultimo.

Le classi previste dall'Allegato I sono in tutto dieci, distribuite in ordine alfabetico dalla G, la meno efficiente, fino alla A, la più prestante. Quest'ultima, in particolare, si suddivide ulteriormente in altre quattro classi, partendo dalla A1 fino alla A4. Di seguito è riportata la tabella mostrata nell'Allegato I, nella quale vengono evidenziati i coefficienti per la suddivisione delle classi.

	Classe A4	$\leq 0,40 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$0,40 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe A3	$\leq 0,60 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$0,60 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe A2	$\leq 0,80 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$0,80 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe A1	$\leq 1,00 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$1,00 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe B	$\leq 1,20 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$1,20 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe C	$\leq 1,50 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$1,50 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe D	$\leq 2,00 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$2,00 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe E	$\leq 2,60 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$2,60 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe F	$\leq 3,50 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
	Classe G	$> 3,50 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$

Tab.19: Suddivisione delle classi energetiche [22].

Nella tabella seguente viene mostrato la classe energetica di ogni subalterno con i rispettivi indici di prestazione energetica, e infine viene mostrata la classe energetica dell'intero edificio.

	$EP_{H,nren}$	$EP_{W,nren}$	$EP_{C,nren}$	$EP_{gl,nren}$	Classe
Subalterno 1	271,1	25,6	0,0	296,7	F
Subalterno 2	192,2	25,3	4,7	222,2	E
Subalterno 3	223,6	23,8	2,9	250,3	F
Subalterno 4	454,3	22,0	11,2	487,5	G
Subalterno 5	408,7	28,9	3,5	441,1	G
Subalterno 6	373,8	24,7	0,0	398,5	G
Edificio	327,8	24,7	4,7	357,2	F

Tab.20: Classe energetica dell'edificio in analisi.

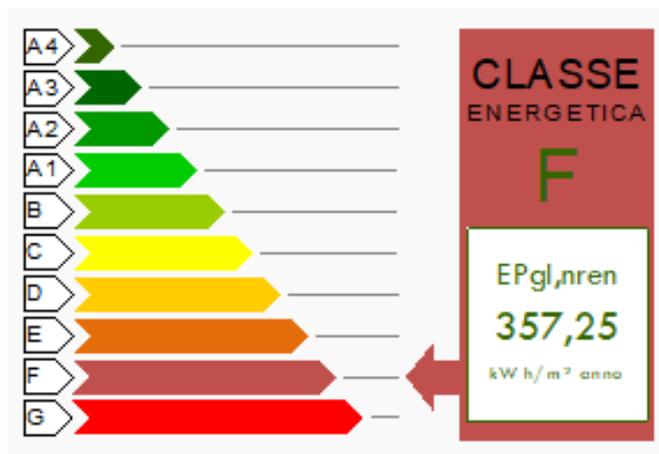


Fig.29: Suddivisione energetica estrapolata dal programma Termo.

La classe energetica a cui è stato attribuito l'edificio, prima degli interventi di efficientamento, risulta essere la classe F. Questo esito risulta essere particolarmente negativo se paragonato alla media delle classi energetiche di edifici di circa il medesimo periodo di costruzione, in quanto questi risultano tipicamente essere di una o due classi superiore. È lecito dedurre che questo valore sia una conseguenza diretta di alcuni elementi:

- L'elevata volumetria della struttura, che quindi comporta genericamente una quantità di maggiore di energia per raggiungere il livello di temperature interne desiderato.
- Le eccessive dispersioni delle strutture, in particolar modo, come si è potuto notare nelle analisi dei paragrafi precedenti, la copertura e i relativi serramenti comportano un'incidenza preponderante nelle dispersioni generali dell'edificio.
- La presenza di un unico impianto centralizzato generalmente, quando si parla di fabbisogno termico per fini "condominiali", è un aspetto positivo, in quanto riduce il quantitativo di produzione di gas serra rispetto all'utilizzo di sistemi autonomi. Tuttavia, il sistema presente risulta essere a bassa efficienza, interamente alimentato a gasolio e privo di sistemi d'accumulo, che per far fronte al fabbisogno energetico delle varie unità abitative, deve operare per periodi lunghi senza poter eseguire fasi di intermittenza.

5.5. Interventi migliorativi adottati sull'involucro

Dallo studio effettuato per l'edificio nel suo stato di fatto, è stato possibile tracciare quali siano le principali linee guida da seguire per la migliore configurazione progettuale mirante all'efficientamento del fabbricato. La struttura necessita, in primo luogo, di una coibentazione delle strutture perimetrali principali, come evidenziato nei paragrafi precedenti.

Successivamente, risulta altrettanto importante eseguire degli interventi di sostituzione degli infissi. Entrando più nel dettaglio di questa considerazione, è doveroso sottolineare che i serramenti posti al piano terra e al piano primo presentano già nel loro stato di fatto delle strutture energeticamente più efficienti, come ad esempio l'utilizzo del vetro doppio, rispetto ai serramenti presenti nel sottotetto che mostrano una struttura a vetro singolo, energeticamente più incisa. Tuttavia, è importante sottolineare, che tutte le strutture trasparenti mostrano comunque valori di trasmittanza non idonei al conseguimento delle detrazioni fiscali usufruibili.

Effettuati gli interventi di riduzione delle dispersioni termiche del fabbricato, è stato necessario eseguire uno studio sui sistemi di climatizzazione, sia invernale che estiva. La trattazione, si è rivolta principalmente su quale fosse la strategia migliore da seguire per la sostituzione dell'impianto di climatizzazione invernale presente con uno che mostrasse valori di efficienza più elevata e che fosse alimentato per la maggior percentuale delle ore d'impiego da risorse d'origine rinnovabile. La medesima analisi è stata svolta sugli impianti di climatizzazione estiva.

Infine, ci si è interrogati su quali fossero le possibili implementazioni di sistemi ad energia rinnovabile installabili. Sono state eseguite svariate simulazioni sull'inserimento di sistemi di produzione d'energia rinnovabile sia in singolo che in combinato con altre risorse; in particolare ci si è soffermati su quali potessero essere le interazioni di questi sistemi con quelli citati precedentemente e in quale modo queste possano andare a sopperire, anche solo in parte, ai carichi ai quali i sistemi di climatizzazione sono sottoposti durante il loro esercizio.

Nei paragrafi successivi, verranno mostrate nel dettaglio quali sono state le scelte adottate e il perché di queste, andando ad evidenziare quali sono le prestazioni dei materiali e dei sistemi impiegati e in che modo questi siano in grado di cooperare.

5.5.1. Coibentazioni delle superfici opache verticali

Il primo intervento migliorativo consiste nella coibentazione delle strutture opache verticali perimetrali maggiormente esposte alle condizioni esterne.

L'intervento di coibentazione avviene attraverso l'inserimento di un materiale isolante nella struttura principale della parete, andando ad aumentare notevolmente la resistenza termica della stessa; quindi di conseguenza diminuire drasticamente la trasmittanza della superficie. La quantità di materiale isolante da inserire nella stratigrafia è funzione del livello di efficienza che si vuole raggiungere, va sottolineato, tuttavia, che il rapporto tra spessore e riduzione della trasmittanza non è lineare, ma tende ad attenuarsi superato uno spessore soglia.

La prima strategia ipotizzata si è incentrata sullo sfruttare la presenza dell'intercapedine d'aria per l'inserimento del materiale isolante tramite la tecnica dell'insuflaggio.

Questa tecnica di coibentazione si basa dell'inserimento del materiale isolante all'interno della struttura tramite l'applicazione di una serie di piccole perforazioni nel laterizio, raggiungendo l'intercapedine. Una volta eseguita la trapanatura, l'isolante viene "iniettato" nella cassa vuota attraverso un apposito macchinario a pompaggio. Va da sé che questa tipologia di coibentazione richieda l'utilizzo di isolanti prevalentemente a base schiumosa come la vermiculite, il polistirene o l'argilla espansa. Questa tecnica risulta essere una delle più utilizzate in Italia, quando si deve intervenire su strutture ad intercapedine, in quanto permette di raggiungere buoni livelli di efficientamento energetico, con un costo particolarmente basso, opere di realizzazione poco invasive e tempi di realizzazione estremamente limitati [23].

Questa tecnica, tuttavia, mostra degli svantaggi non trascurabili. In primo luogo, non permette la completa rimozione dei ponti termici presenti nella struttura. Per essere più chiari, un ponte termico è un effetto dispersivo che si viene a creare nella struttura nel momento in cui è presente una discontinuità geometrica o, più importante, una discontinuità nel materiale. Nelle strutture a cemento armato, come quella in analisi, questo effetto viene verificarsi in presenza dei pilastri perimetrali, in quanto appunto sono caratterizzati da una struttura differente rispetto a quella della parete. Dato che la tecnica dell'insuflaggio non permette una posa ben distribuita e controllata in tutta la zona d'applicazione del materiale isolante, vi è il rischio che questo non aderisca in maniera completa alla struttura in calcestruzzo armato, andando così a lasciare inalterato il ponte termico. Questa mancata possibilità di controllo comporta, oltre che ad una difficile futura manutenzione, una eterogeneità della distribuzione non solo nei pressi dei pilastri, ma anche nella muratura stessa.

Un altro aspetto negativo della tecnica è dovuto al rischio di formazione di condensa all'interno dell'intercapedine, in quanto la muratura più esterna, durante le fasi di riduzione della temperatura, rischia una maggiore esposizione a questo fenomeno, che se prolungato nel tempo, porta alla formazione di muffe interne alla struttura [23].

A causa di questa serie d'aspetti negativi, nonostante la presenza di un'intercapedine idonea all'applicazione, questa tecnica è stata scartata in favore della seconda strategia di coibentazione: il cappotto esterno.

Il cappotto termico esterno è una tra le soluzioni di coibentazione degli edifici più utilizzata attraverso le detrazioni fiscali del Superbonus 110%, in quanto rappresenta una delle migliori tecniche di isolamento degli edifici esistente. La peculiarità del cappotto termico consiste nell'applicazione del materiale isolante, normalmente in lastre o pannelli di dimensioni prefissate, direttamente sulla struttura opaca, andando quindi a "rivestire" la parete interessata. Si parla di cappotto termico esterno quando i pannelli vengono installati sul lato esterno della parete, oppure interno nel caso opposto; quest'ultima

applicazione è decisamente meno utilizzata, soprattutto nel campo delle riqualificazioni energetiche, a causa del suo alto tasso di invasione degli spazi abitativi.

Dal punto di vista prestazionale, il cappotto termico mostra livelli di efficienza molto alti, dato che permette di ridurre notevolmente la trasmittanza delle pareti e allo stesso tempo aumenta l'inerzia termica. Quest'ultimo parametro è molto importante in quanto rappresenta la predisposizione di un materiale, o in questo caso di una struttura nel suo insieme, a cambiare la propria temperatura nel tempo se sollecitata. Più semplicemente è un indice di quanto velocemente una struttura permette che un cambiamento di temperatura si propaghi in essa. Pareti con alti valori di inerzia termica significa che necessitano di tempi lunghi per permettere la variazione di temperatura le attraversi, viceversa nel caso di strutture con bassa inerzia termica.

Altri aspetti positivi importanti dell'implementazione del cappotto termico riguardano la quasi completa eliminazione dei ponti termici, in quanto l'intero lato esterno della parete viene isolato impedendo in tale maniera al calore di attraversare la struttura, anche se questa presenta delle discontinuità di materiale al suo interno. Questo è importante perché permette che non si vengano a formare delle "zone fredde" nel componente che comporterebbero una possibile formazione di condensa interstiziale e successivamente la formazione di muffe [24].

L'applicazione del cappotto permette inoltre di avere ampio margine di scelta sulla tipologia di materiale isolante da utilizzare, a differenza della tecnica precedentemente citata che necessitava di isolanti prevalentemente schiumosi; infatti, è possibile applicare materiali di origine sintetica come il polistirene espanso (EPS), di origine rocciosa come la classica lana di roccia oppure di origine vegetale, esistenti solo da pochi anni, come la fibra di legno. Va sottolineato che nel caso si stia operando con strutture datate, come nel caso di una ristrutturazione, la scelta principale su quale materiale utilizzare, ricade essenzialmente sulle prime due tipologie, in quanto garantiscono una migliore risposta termoigrometrica anche su strutture originariamente non progettate per contenere quel materiale; mentre l'utilizzo di materiali d'origine naturale viene maggiormente implementato in strutture di nuova costruzione.

Principali aspetti negativi di questa tecnica riguardano la necessità di rivestire, con altri materiali protettivi, l'isolante in quanto è soggetto alle intemperie climatiche. Altri aspetti non da sottovalutare, riguardano sostanzialmente il costo in quanto risulta essere un'operazione particolarmente costosa e anche la necessità di utilizzare ponteggi e altre strutture che rendono l'intervento decisamente più invasivo rispetto all'insuflaggio. Il problema economico è aggirabile se si ha la facoltà di poter predisporre degli incentivi come appunto il Superbonus 110% [24].

È evidente come la scelta adotta per gli interventi d'efficientamento sia ricaduta sul cappotto termico esterno. In particolare, è stato scelto per la coibentazione delle strutture opache verticali un pannello termoisolante prodotto dalla "Ferritherm" denominato "FKLG EPS 030 150 GRIGIO". Trattasi di pannelli in polistirene espanso sinterizzato di colore grigio grafite. La scelta è ricaduta su questo modello di lastre in quanto presentano sulla superficie esterna una "goffatura", ovvero in fase di realizzazione vengono applicati delle microincisioni sul blocco in modo da favorire l'adesione del pannello ai collanti rasanti e inoltre migliora le prestazioni di resistenza agli effetti climatici e alle sollecitazioni termiche a cui viene sottoposto.

Di seguito sono state riportate alcune immagini relative all'isolante adottato:

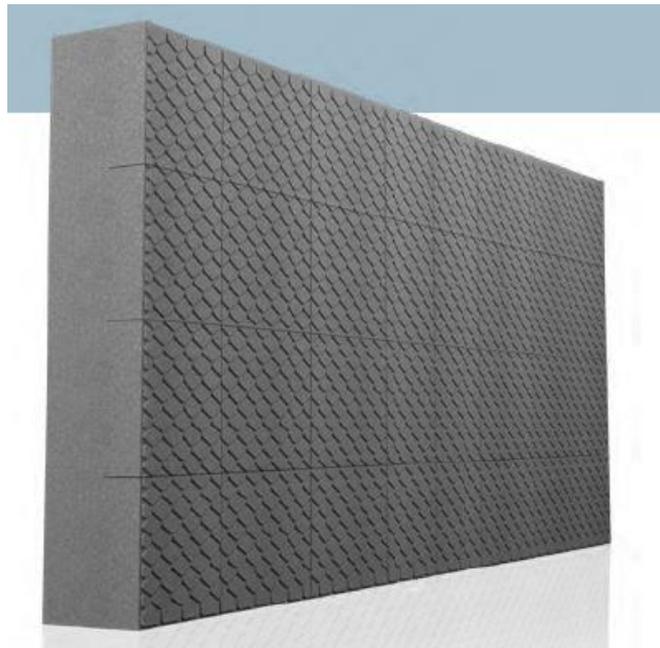


Fig.30: Immagine del "FKLG EPS 030 150 GRIGIO" estrapolata dalla scheda tecnica [25].

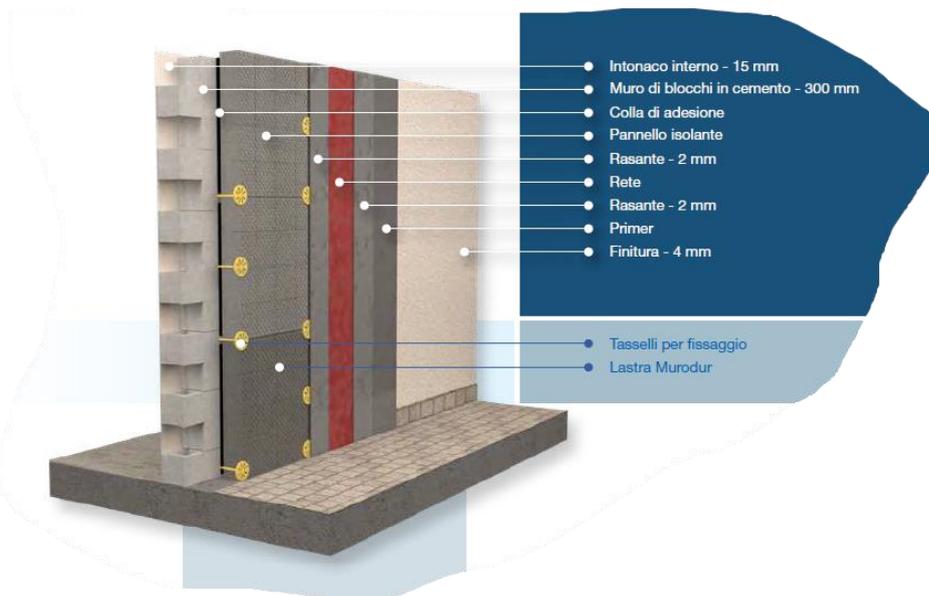


Fig.31: Schema applicativo proposto dalla Ferritherm estrapolato dalla scheda tecnica [25].

Nella tabella seguente sono state riportate le principali proprietà termiche del materiale proposto:

Caratteristiche	Norma	Unità di Misura	Cod. UNI EN 13163	Valore
Conducibilità termica dichiarata	EN 12667	W/mK	λ	0,03
Reazione al fuoco	EN 13501-1	-	Euroclasse	E
Calore specifico	EN 10456	J/kgK	C	1450
Coefficiente di dilatazione termica lineare	EN 10456	K^{-1}	-	$65 \cdot 10^{-5}$
Densità	-	kg/m ³	ρ	16
Permeabilità al vapore	EN 13163	mg/(Pa*h*m)	δ	0,018

Tab.21: Principali proprietà termiche dell'isolante proposto, estrapolate dalla scheda tecnica.

Secondo quanto previsto dal Decreto Rilancio, per poter usufruire delle detrazioni fiscali inerenti al Superbonus 110% è necessario eseguire interventi classificati "trainanti" come, ad esempio, la coibentazione delle superfici opache disperdenti per almeno il 25% della superficie disperdente lorda complessiva. Nel caso in questione, le superfici opache verticali che sono state soggette a coibentazione sono quelle principalmente riportate nell'analisi delle dispersioni mostrata nel capitolo precedente:

- Parete esterna da 40 cm, sui cui sono stati inseriti 11 cm di isolante.
- Parete esterna da 46 cm, su cui sono stati inseriti 11 cm di isolante.
- Parete esterna da 27 cm, su cui sono stati inseriti 11 cm di isolante.
- Parete sottotetto da 56 cm, su cui sono stati inseriti 11 cm di isolante.

5.5.2. Coibentazione delle superfici opache orizzontali

Il secondo intervento trainante eseguito sulla struttura è incentrato sulla coibentazione delle superfici opache orizzontali disperdenti.

Essendo già stata implementata la tecnica del cappotto termico sulle superfici verticali, si è optato per utilizzare questa soluzione anche nella coibentazione dei solai, in quanto garantisce di poter evitare la formazione di condense interstiziali e muffe.

In primo luogo, è stato necessario valutare quali siano i solai che necessitano di essere coibentati per ridurre le principali dispersioni generali dell'edificio. Dalle analisi effettuate nei capitoli precedenti, è stato chiaramente possibile dedurre che le superfici che presentano la percentuale maggiore di dispersioni nell'edificio risultano essere la copertura, il solaio d'interpiano tra il piano interrato e il piano terra e infine il basamento posto appunto nel piano interrato. Quest'ultimo, tuttavia, non presenta una vera soluzione di efficientamento in quanto comporterebbe il miglioramento di una struttura disperdente agente su una zona termica non riscaldata; dunque, la sua efficacia nel miglioramento generale risulterebbe trascurabile.

Per la realizzazione dell'opera si è optato di utilizzare dei pannelli isolanti in polistirene espanso denominati "XPS K-FOAM C350 LJ" della "Knauf Insulation" con profilo frastagliato per favorire la coesione del materiale; il quale presenta un ottimo compromesso tra isolamento e densità in modo da non gravare eccessivamente sulla qualità strutturale del solaio.

Per l'esecuzione sono state scelte due tipologie differenti d'integrazione nelle strutture a seconda del solaio in opera. Per l'isolamento del solaio d'interpiano si è scelto di sfruttare l'altezza del piano interrato avente valore compreso tra i 2,9 m e i 3,05 m, andando quindi ad applicare i pannelli isolanti sul lato rivolto verso la zona non riscaldata. Questa strategia ha permesso di raggiungere il valore di coibentazione desiderato, senza andare a svolgere invasive opere di modifica del piano rivolte verso le zone occupate dagli utenti, inoltre non si è andati ad intaccare l'agibilità del piano interrato in quanto rimangono imperturbate le altezze minime della struttura.

Per l'isolamento della copertura, invece, si è optato per l'implementazione opposta, ovvero si è scelto di andare ad inserire l'isolante rivolto verso il lato esterno della struttura, andando quindi a rimuovere lo strato adibito ai coppi e ai listelli, inserendo in primo luogo uno strato di "barriera al vapore" di 0,5 mm per impedire la formazione di condense interstiziali nella struttura.

Eseguita l'opera di riqualificazione, la copertura è stata rivestita con i coppi aventi le medesime proprietà visive di quelle rimosse in modo da non modificare l'aspetto estetico dell'edificio.

Di seguito sono riportate un'immagine del materiale utilizzato e una tabella delle sue principali proprietà termodinamiche.



Fig.32: Immagine del "XPS K-FOAM C350 LJ" estrapolata dalla scheda tecnica [26].

Caratteristiche	Norma	Unità di Misura	Cod. UNI EN 13163	Valore
Conducibilità termica dichiarata	EN 12667	W/mK	λ	0,035
Reazione al fuoco	EN 13501-1	-	Euroclasse	E
Calore specifico	EN 10456	J/kgK	C	1700
Densità	EN 13164	kg/m ³	ρ	32
Resistenza al vapore	EN 13164	-	μ	100

Tab.22: Principali proprietà termiche dell'isolante proposto, estrapolate dalla scheda tecnica.

Essendo la fabbricazione dei pannelli modulare con valori di spessore già predisposti, per poter raggiungere i valori d'isolamento previsti dal Decreto Rilancio, sono stati utilizzati due pannelli consecutivi, interposti da una maglia di rete rigida per l'adesione del materiale; il primo da 10 cm e il secondo da 4 cm, creando così uno spessore totale d'isolante di 14 cm, nel caso del solaio d'interpiano; mentre un primo strato di 10 cm e uno secondo di 5 cm per la copertura.

5.5.3. Sostituzione dei serramenti

Il primo intervento trainato eseguito sulla struttura riguarda la sostituzione dei serramenti e la coibentazione dei cassonetti contenenti gli oscuranti, per ridurre drasticamente le dispersioni sulle superfici verticali trasparenti.

L'edificio, come mostrato nei paragrafi precedenti, mostrava già implementate delle soluzioni efficientamento energetico quali vetro doppio o addirittura doppio serramento. Questi sistemi permettono di ottenere una riduzione della trasmittanza complessiva, tuttavia, queste tecniche sono state implementate con serramenti non idonei al risparmio energetico come il legno duro o ancor peggio i telai in alluminio senza taglio termico che riducono l'effetto positivo implementato ad esempio dal doppio vetro. Infine, le trasmittanze risultano non idonee all'ottenimento delle detrazioni fiscali.

Appurata la necessità di riqualificare gli infissi della struttura, si è optato di uniformare l'intero fabbricato, andando a sostituire tutti i serramenti che interagivano con zone riscaldate, con infissi in PVC e un sistema a triplo vetro con trattamento basso emissivo; nel tentativo di massimizzare le prestazioni energetiche sia nella situazione invernale che estiva, senza ridurre il confort luminoso.

La scelta su quale serramento utilizzare è ricaduta sulla proposta della "Rehau" con il modello "NEFERIA"; trattasi di un serramento in PVC a sei camere vuote con tripla guarnizione di battuta che permette l'inserimento di un triplo vetro, di classe A. La struttura presenta un valore di trasmittanza medio pari a $1 \text{ W/m}^2\text{K}$, decisamente più prestante se si pensa ai precedenti telai in alluminio senza taglio termico con un valore mediamente pari a $7 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Fig.33: Sezione del profilo del serramento NEFERIA, estrapolata dal catalogo del produttore [27].

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche del triplo vetro adottato.

Caratteristiche	Vetro 1	Intercapedine 1	Vetro 2	Intercapedine 2	Vetro 3
spessore [mm]	4	8	4	8	4
Conduttività [W/mK]	1	-	1	-	1
Emissività	0,059	-	0,837	-	0,059
Gas	-	Argon	-	Argon	-
Concentrazione	-	90%	-	90%	-

Tab.23: Principali proprietà termiche del vetro adottato.

Come citato precedentemente, è stato implementato un vetro basso emissivo, trattasi di una tecnica di miglioramento dell'efficienza energetica delle superfici trasparenti. Andando a modificare le caratteristiche spettro fotoniche del materiale inserendo ossidi e metalli particolarmente selettivi nella struttura molecolare del vetro in modo interstiziale, si permette così la riflessione della radiazione puramente termica, senza ridurre l'effetto luminoso. [28] Nel caso in questione, sono stati rivestiti il lato interno del primo e del terzo vetro, lasciando inalterato quello centrale, in quanto anche il suo rivestimento non comporterebbe un miglioramento della riflessione termica.

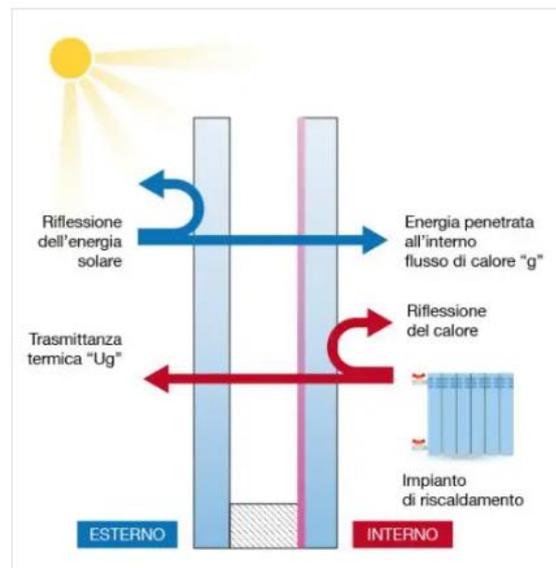


Fig.34: Rappresentazione dello schema di funzionamento di un doppio vetro basso emissivo [28].

L'analisi trattata è stata effettuata applicando i vetri della "Saint-Gobain", in particolare il modello ad uso residenziale "Planitherm 4S+" [29], che è stato implementato con il telaio mostrato precedentemente. Di seguito sono riportate alcune sue proprietà ottiche, estrapolate dalla scheda tecnica.

Caratteristica	
Trasmissione luminosa (Ti)	69%
Riflessione Luminosa (RLe)	21%
Riflessione Luminosa Interna (RLi)	20%
Fattore Solare g (EN410)	43%

Tab.24: Principali proprietà termiche del vetro adottato [29].

Un'implementazione simile è stata adottata anche per i lucernari posti nella copertura, in quanto risultavano essere una delle principali cause di dispersione termica della struttura inclinata.

La soluzione proposta risulta essere la medesima adottata fino ad ora, ma il telaio viene sostituito con il modello "GGLS" [30] presentato da "Velux", trattasi nuovamente di un serramento in PVC a sei camere cave con circa le stesse proprietà termodinamiche viste per la precedente struttura. L'azienda produce il medesimo modello sia in versione a tre ante che in versione singola, in linea con la situazione ante intervento.



Fig.35: Lucernari modello GGLS presentati da Velux [30].

Come ultima operazione eseguita, vi è stata la coibentazione dei cassonetti, in quanto tutte le finestre poste al piano terra e al piano primo presentano delle chiusure avvolgibili in plastica. Questo accorgimento permette una riduzione netta delle dispersioni termiche del componente che presenta inizialmente un valore di trasmissione standard di $6 \text{ W/m}^2\text{K}$, raggiungendo un valore standard finale di $0.674 \text{ W/m}^2\text{K}$.

5.6. Sostituzione degli impianti di climatizzazione

Il secondo intervento trainato implementato nell'edificio in analisi consiste nella sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva. L'obiettivo di questa modifica è incentrato sull'implementazioni di sistemi che permettano di raggiungere la situazione di confort desiderata nell'arco dell'anno, andando però ad aumentare il livello di efficienza nel sottosistema di generazione, permettendo quindi un minore fabbisogno di energia primaria da fornire in ingresso all'impianto.

Un altro traguardo importante di quest'analisi riguarda ridurre il consumo di risorse non rinnovabili come gasolio e metano, nel tentativo di rispettare gli obiettivi predisposti dall'Unione Europea sulla riduzione d'emissioni di CO₂ in atmosfera come, ad esempio, la "Fit for 55" che si impone di raggiungere una riduzione del 55% delle emissioni del gas serra entro il 2030, già presentata a inizio trattato.

Sempre mantenendo come primo obiettivo il massimizzare l'efficiamento dell'edificio, nel tentativo di interpolare i vari traguardi citati precedentemente, si è optato per il mantenimento di un sistema centralizzato, ma di taglia minore ed a elevata efficienza, così da poter operare a carichi ridotti o parziali, minimizzando il fabbisogno energetico.

Nella coscienza di voler installare un impianto fotovoltaico, che verrà trattato nei paragrafi successivi, la scelta su quale impianto fosse più idoneo da installare è ricaduta sull'utilizzo di un sistema ibrido basato su una caldaia a condensazione ad alta efficienza e una pompa di calore aria/acqua sia per il fabbisogno di riscaldamento, sia per la produzione di acqua calda sanitaria. La scelta è stata ponderata sulla base del voler installare un sistema di accumulo per l'acqua calda sanitaria, in modo da non dover necessariamente richiedere ai generatori di operare a carichi elevati per una produzione istantanea, condizione inoltre non idonea ad una sola pompa di calore.

Altro aspetto che ha portato al voler installare un sistema ibrido, piuttosto che un sistema a sola pompa di calore, è stato il non voler sostituire il sistema d'emissione a radiatori con sistemi come i pannelli radianti, nonostante questi risultino essere particolarmente idonei per questa tipologia di macchina, in quanto l'operazione d'installazione sarebbe risultata particolarmente invasiva per i condomini, oltre che avrebbe postato al rischio di eccedere oltre i limiti consentiti per l'ottenimento delle detrazioni fiscali. Si è, comunque, optato per la sostituzione dei radiatori presenti con altri di nuova generazione in grado di permettere il raggiungimento della temperatura di confort operando con ΔT ridotti. Ciò permette essenzialmente due aspetti fondamentali per il risparmio energetico: il primo risulta essere banale in quanto lavorando a temperature ridotte, l'impianto favorisce l'utilizzo della pompa di calore; mentre il secondo riguarda il fatto che minore temperatura di lavoro del sistema d'emissione, comporta anche una riduzione della temperatura dei fumi della caldaia a condensazione, quando anche questa deve operare, andando quindi a massimizzare l'effetto di recupero di calore tipico di questo sistema a combustione.

Un'ultima implementazione impiantistica riguarda l'installazione di un sistema a collettori solari per la produzione di acqua calda sanitaria. Il motivo dell'aver scelto questa installazione si è incentrato sull'agevolare l'operato della pompa di calore nella produzione di ACS, aspetto per il quale la macchina risulta essere poco consigliata se si considera che deve operare con grandi quantità d'acqua per periodi prolungati ad una temperatura medio-alta, comportano così una riduzione dell'efficienza.

Grazie all'inserimento del sistema a collettori solari, l'impianto generale può essere così predisposto:

- Caldaia a condensazione che opera solo nei mesi invernali e solo con la funzione di fornire energia per il riscaldamento.

- Pompa di calore che opera tutto l'anno sia con la funzione di fornire energia per il riscaldamento, sia per la produzione di acqua calda sanitaria.
- Sistema a collettori solari, operanti tutto l'anno, con la funzione di produzione di sola ACS.

Un aspetto positivo dell'utilizzo dei collettori solari riguarda il fatto che, durante la fase estiva, sopperiscono alla maggior parte del carico per la produzione di ACS, permettendo alla pompa di calore di lavorare a COP maggiori. Essendo quest'ultima alimentata da un sistema fotovoltaico, che verrà trattato in seguito, l'operare a COP elevati permette di ottenere consumi elettrici assai ridotti che, se sommati al fatto che la fase estiva risulta essere il periodo di maggiore producibilità dell'impianto, si avrà una grande quota della corrente elettrica generata, immessa in rete, ottenendo così una remunerazione maggiore da parte del GSE.

Queste scelte progettuali, in combinazione alla coibentazione delle strutture, permettono di raggiungere la temperatura desiderata e di mantenerla per un lungo periodo, senza sottoporre il generatore a carichi elevati per molto tempo.

Riguardo agli impianti di climatizzazione estiva, si è optato di sostituire gli impianti esistenti con altri più recenti della medesima tipologia, ovvero pompe di calore aria/aria con sistemi split, ma con livelli di efficienza più elevati; in sui sono stati inseriti sistemi dual-split per tutti le unità immobiliari, eccetto il sottotetto in cui è stato inserito un sistema triplo-split, nel tentativo di massimizzare l'uniformità dell'emissione dell'aria fredda.

5.6.1. Impianti di climatizzazione invernale

Tra l'ampia scelta riguardate i modelli di sistemi ibridi, la scelta è ricaduta sull'opzione presentata da "Riello". Trattasi ovvero di una caldaia murale a condensazione da 35 kW modello "Family 35 IS", accoppiata ad una pompa di calore aria-acqua monoblocco da 14 kW modello "NXHM 014".



Fig.36: A sinistra le pompe di calore modello "NXHM", mentre a destra la caldaia a condensazione modello "Family".

Il dimensionamento dei modelli pompa di calore e caldaia è stato scelto in quanto, eseguendo svariate analisi e tenendo conto dei nuovi fabbisogni di riscaldamento dell'edificio una volta coibentato, questa

configurazione risultava essere la più idonea a massimizzare l'operato della pompa di calore durante l'anno e a ridurre il più possibile la necessità di dover utilizzare la caldaia a condensazione. Altro aspetto che è stato considerato riguardava i vincoli imposti per l'ottenimento delle detrazioni fiscali imposti dal Superbonus riguardo al rapporto di potenza tra la pompa di calore e la caldaia a condensazione, in quanto è previsto che tra i due componenti debba esserci un rapporto di 1:2, ovvero ad esempio se la pompa di calore risulta essere tarata per erogare una potenza termica di 15 kW, allora la caldaia deve essere in grado di erogarne almeno 30kW. Un'ulteriore riduzione della potenza termica erogata dalla pompa di calore sarebbe risultata poco conveniente in quanto avrebbe necessitato di un maggiore intervento da parte del sistema a combustione.

Volendo descrivere brevemente le principali caratteristiche di questi due componenti, si può riportare che per la pompa di calore opera attraverso un ciclo chiuso con R32 come fluido termovettore, compressore Twin-rotary con inverter che permette di operare a carichi modulari per adattarsi al carico presente. Presenta un range di applicazione che va da una temperatura esterna di -20°C fino ad una temperatura del fluido in mandata di $+65^{\circ}\text{C}$, ciò le permette di adattarsi a tutti i sistemi di emissioni oggi presenti sul mercato, dai radiatori fino ai pannelli radianti; tuttavia, più si opera con un range ampio e maggiore sarà la perdita di prestazione. Infine, la centralina elettrica di controllo, composta da un master e sei slave permette di erogare in cascata contemporaneamente fino a sei unità con potenze differenti [31].

È utile specificare brevemente quale sia il principio di funzionamento che permette ad una pompa di calore di operare, così da capire meglio perché questa tipologia d'impianto risulta essere notevolmente conveniente. Una pompa di calore è una macchina termica che opera con un ciclo termodinamico, principalmente chiuso, in cui all'interno vi è un fluido termovettore con proprietà termodinamiche che gli consentono di evaporare o condensare a temperature relativamente basse.

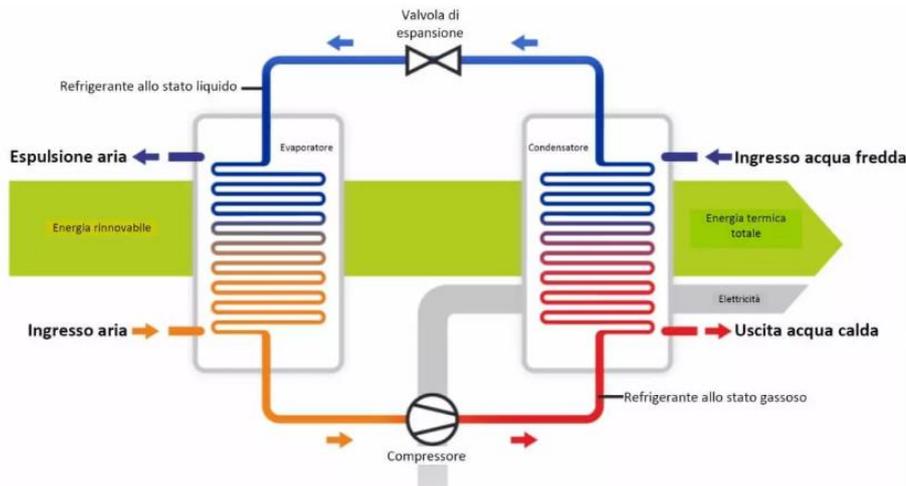


Fig.37: Schema di funzionamento di una pompa di calore [32].

Il fluido termovettore subisce delle trasformazioni fisiche inizialmente nell'evaporatore dove, essendo in ingresso allo stato liquido ma a bassa temperatura e pressione, acquisisce calore dalla sorgente esterna, denominata "fredda", subendo quindi un processo di evaporazione. Successivamente il liquido evaporato subisce un processo di compressione tramite un compressore alimentato elettricamente. In questa fase il fluido è sottoposto a un notevole aumento della propria temperatura. A questo punto il fluido è sottoposto a una fase di raffreddamento fino al raggiungimento della fase di condensazione all'interno del condensatore che asporta calore dal fluido per cederlo al fluido di alimentazione che

permette di riscaldare l'edificio (tipicamente acqua). Come ultima fase, prima di ricominciare il ciclo, il fluido attraversa una valvola di espansione che ne abbassa la pressione, riportandolo alle condizioni iniziali [32].

Le pompe di calore risultano essere, così, particolarmente convenienti in quanto non si basano sul principio della "generazione di calore" come ad esempio opera una caldaia, ma piuttosto sullo "spostamento del calore" da una sorgente fredda a una calda, necessitando quindi di una quantità di energia elettrica assai più ridotta rispetto al calore spostato.

Di seguito sono riportate alcune immagini estrapolate dalla scheda tecnica fornita dall'azienda produttrice che evidenziano le caratteristiche prestazionali della macchina.

Modello	UM	NXHM 012	NXHM 014	NXHM 016	NXHM 012T	NXHM 014T	NXHM 016T
DATI PRESTAZIONALI IN RISCALDAMENTO							
Prestazioni in riscaldamento (A7°C; W35°C)							
Capacità nominale	kW	12,10	14,50	15,90	12,10	14,50	15,90
Potenza assorbita	kW	2,44	3,15	3,53	2,44	3,15	3,53
COP		4,95	4,60	4,50	4,95	4,60	4,50
SCOP (Zona temperata)		4,81	4,72	4,62	4,81	4,72	4,62
Efficienza energetica stagionale	%	189	186	182	189	186	182
Classe energetica		A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++
Prestazioni in riscaldamento (A7°C; W45°C)							
Capacità nominale	kW	12,30	14,10	16,00	12,30	14,10	16,00
Potenza assorbita	kW	3,32	3,92	4,57	3,32	3,92	4,57
COP		3,70	3,60	3,50	3,70	3,60	3,50
Prestazioni in riscaldamento (A7°C; W55°C)							
Capacità nominale	kW	11,90	13,80	16,00	11,90	13,80	16,00
Potenza assorbita	kW	3,90	4,68	5,61	3,90	4,68	5,61
COP		3,05	2,95	2,85	3,05	2,95	2,85
SCOP (Zona temperata)		3,45	3,47	3,41	3,45	3,47	3,41
Efficienza energetica stagionale	%	136	137	134	136	137	134
Classe energetica		A++	A++	A++	A++	A++	A++

Tab.25: Principali dati prestazionali della pompa di calore adottata [31].

Prestazioni a pieno carico						
T _w [°C]	35		45		55	
T _a [°C]	kW	COP	kW	COP	kW	COP
-7	12	2,85	11,8	2,35	11	2,05
2	11	3,6	11,5	2,85	12,4	2,45
7	14,5	4,6	14,1	3,6	13,8	2,95
12	11,51	5,46	11,69	4,12	10,28	3,35
15	11,6	5,67	11,9	4,25	9,84	3,41
20	11,1	6,27	11,5	4,87	9,53	3,74
35	11,8	8,63	12	6,1	10,1	4,93

Tab.26: Prestazioni a pieno carico della pompa di calore .

Per quanto riguarda, invece, brevemente la descrizione della caldaia a condensazione, questa risulta essere particolarmente conveniente per le sue ridotte dimensioni, idonee per il montaggio a parete, e le sue alte efficienze dovute al sistema di modulazione che gli consente di operare anche a carichi molto ridotti così da minimizzare il fabbisogno di energia primaria. In particolare, è importante menzionare che una caldaia a condensazione rispetto ad una caldaia standard, sfrutta il recupero del calore dal processo di condensazione del vapore acqueo presente nei fumi esausti. Ovvero quando i fumi,

scendendo di temperatura, raggiungono la temperatura di rugiada del vapore al loro interno, che nel caso di combustione a gas risulta essere intorno ai 56°C, questo condensa liberando calore che viene recuperato per preriscaldare l'acqua di ritorno dal sistema d'emissione. L'implementazione di questo sistema a recuperatore può portare un risparmio energetico anche del 25% rispetto alle caldaie tradizionali [33].

Normalmente questa operazione, con il sistema di riscaldamento classico a radiatori che utilizzano una temperatura di mandata tra i 65/70 °C è usufruibile solo in modo parziale in quanto la temperatura dei fumi risulta essere nella fase iniziale dello scambiatore di calore maggiore della temperatura di rugiada, pertanto la caldaia opera inizialmente come un modello tradizionale, in cui vi è il preriscaldamento dell'acqua di mandata ma senza il sfruttare il calore latente del vapore presente fino al raggiungimento della temperatura ideale. Va sottolineato, comunque, che rimane pur sempre un sistema generazione di calore tramite un processo di combustione, processo chimico non particolarmente conveniente quando si parla di risparmi energetici e riduzione delle emissioni di inquinanti.

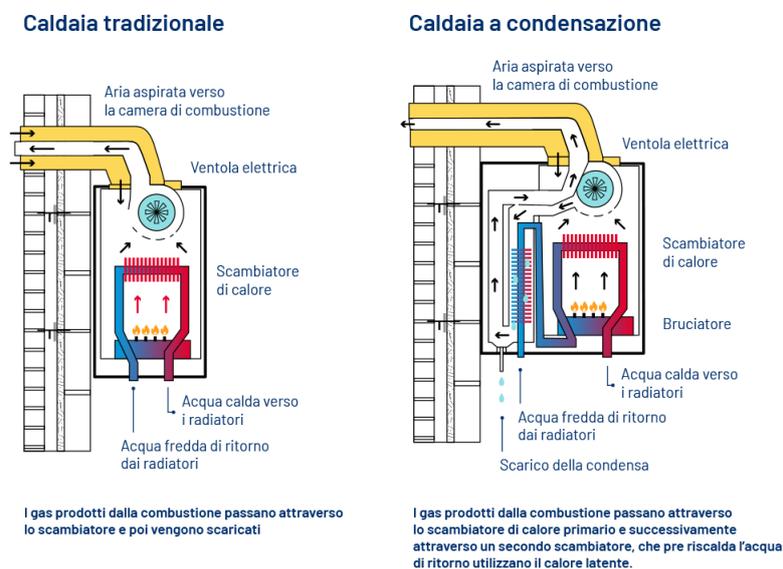


Fig.38: Principio di funzionamento di una caldaia a condensazione [33].

Di seguito viene riportata una tabella con le principali caratteristiche prestazioni della caldaia trattata, estrapolate dalla scheda tecnica fornita dal produttore.

DATI TECNICI ERP

PARAMETRO	SIMBOLO	25 KIS - 25 IS	30 KIS	35 KIS - 35 IS	UNITÀ
Classe di efficienza energetica stagionale del riscaldamento d'ambiente	-	A	A	A	-
Classe di efficienza energetica di riscaldamento dell'acqua (solo KIS)	-	A	A	A	-
Potenza nominale	Pnominale	19	24	29	kW
Efficienza energetica stagionale del riscaldamento d'ambiente	η_S	93	93	93	%
POTENZA TERMICA UTILE					
Alla potenza termica nominale e a un regime di alta temperatura (*)	P4	19,5	24,3	29,2	kW
Al 30% della potenza termica nominale e a un regime di bassa temperatura(**)	P1	6,5	8,1	9,7	kW
EFFICIENZA					
Alla potenza termica nominale e a un regime di alta temperatura (*)	η_4	87,6	87,3	87,6	%
Al 30% della potenza termica nominale e a un regime di bassa temperatura(**)	η_1	97,7	97,6	97,5	%
CONSUMI ELETTRICI AUSILIARI					
A pieno carico	elmax	28,0	28,0	28,0	W
A carico parziale	elmin	14,0	14,0	14,0	W
In modalità Standby	PSB	3,0	3,0	3,0	W
ALTRI PARAMETRI					
Perdite termiche in modalità standby	Pstby	34,0	32,0	32,0	W
Consumo energetico della fiamma pilota	Pign	-	-	-	W
Consumo energetico annuo	QHE	36	45	53	GJ
Livello della potenza sonora all'interno	LWA	50	50	52	dB
Emissioni di ossidi d'azoto	NOx	46	32	37	mg/kWh
PER GLI APPARECCHI DI RISCALDAMENTO COMBINATI:					
Profilo di carico dichiarato		XL	XL	XXL	
Efficienza energetica di riscaldamento dell'acqua	η_{wh}	87	86	85	%
Consumo giornaliero di energia elettrica	Qelec	0,155	0,135	0,156	kWh
Consumo giornaliero di combustibile	Qfuel	22,129	22,779	28,446	kWh
Consumo annuo di energia elettrica	AEC	34	30	34	kWh
Consumo annuo di combustibile	AFC	17	17	22	GJ

(*) Regime di alta temperatura: 60°C al ritorno e 80°C alla mandata della caldaia.

(**) Regime di bassa temperatura: per caldaie a condensazione 30°C, per caldaie a bassa temperatura 37°C, per altri apparecchi di riscaldamento 50°C di temperatura di ritorno

Tab.27: Principali dati prestazionali della caldaia a condensazione adottata [34].

Trattati gli aspetti prestazionali singoli dei due componenti del sistema ibrido, è necessaria una trattazione di quella che è la loro configurazione ibrida.

In primo luogo, va ribadito che l'obiettivo di questo sistema è cercare di massimizzare l'operato della pompa di calore per le varie caratteristiche già ampiamente trattate, dunque la caldaia assume solo una funzione integrativa nei momenti di massimo carico. Un altro aspetto importante dell'analisi si incentra sull'eseguire delle simulazioni con il fine di trovare il range di operatività che consenta alla pompa di calore di modulare i carichi affinché operi a COP alti.

Svolgendo appunto varie simulazioni, la configurazione che massimizza l'efficienza della macchina termica risulta essere:

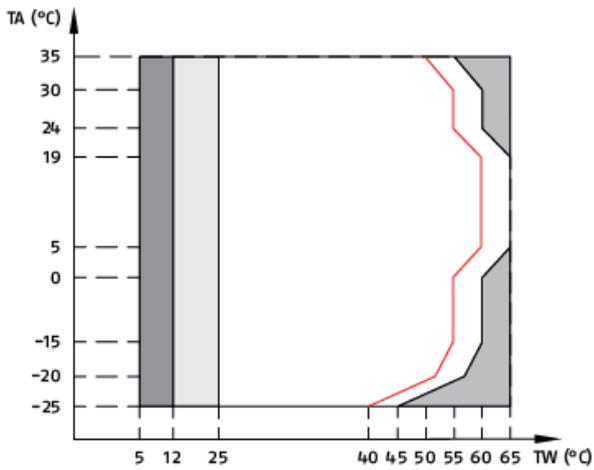
- La temperatura limite di funzionamento (TOL) impostata ad un valore di -2°C. Questa temperatura rappresenta il valore in cui avviene lo spegnimento della pompa di calore a causa del raggiungimento di una temperatura della sorgente esterna troppo fredda.
- Temperatura bivalente pari a 0°C. Questa temperatura indica il valore in cui il carico della pompa di calore ha raggiunto il massimo e quindi necessita dell'integrazione di una sorgente esterna, ma non ne sancisce lo spegnimento.

Indicati questi due parametri è possibile impostare come temperatura minima di operatività, sia per la fase di riscaldamento ($\theta_{H,cut-off,min}$) che per la fase di produzione di acqua calda sanitaria ($\theta_{W,cut-off,min}$), 0 °C. Importante sottolineare che la pompa di calore smette di erogare energia per il riscaldamento una volta raggiunta la temperatura interna della zona termica pari a 20 °C.

Queste considerazioni, abbinate all'aver installato dei sistemi d'emissione a temperatura di circolazione ridotta e la coibentazione delle strutture, permette al sistema ibrido di raggiungere gli obiettivi predisposti a discapito dell'intervento della caldaia solo per la funzione di riscaldamento esclusivamente nei mesi invernali.

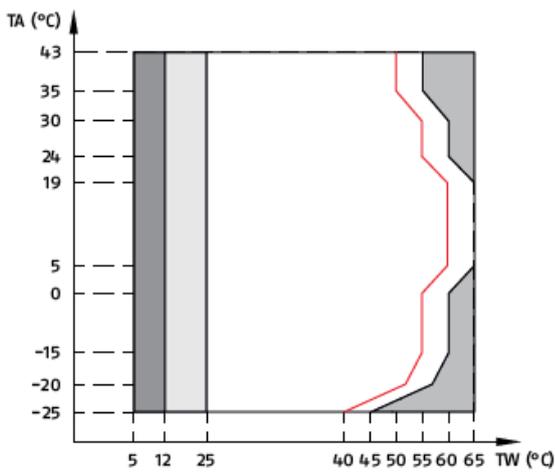
Nelle seguenti immagini vengono riportati i range di operatività della pompa di calore, in funzione delle temperature esterne e di circolazione del fluido termovettore uscente, all'interno dei quali viene specificato se la pompa di calore è in grado di garantire il servizio desiderato o necessita di un ausiliario esterno.

MODALITÀ RISCALDAMENTO



- TA Temperatura aria esterna.
- TW Temperatura mandata acqua.
- Range di funzionamento mediante pompa di calore con possibile limitazione e protezione.
- La pompa di calore si spegne, si accende solo la sorgente di calore esterna.
- Se l'impostazione sorgente di calore esterna è attiva, si accende solo sorgente di calore esterna.
- Se l'impostazione sorgente di calore esterna non è attiva, si accende solo la pompa di calore; si potrebbero verificare dei casi di limitazione e protezione durante il funzionamento della pompa di calore.
- Linea di temperatura massima dell'acqua in ingresso per il funzionamento della pompa di calore.

MODALITÀ ACS



- TA Temperatura aria esterna.
- TW Temperatura mandata acqua.
- Range di funzionamento mediante pompa di calore con possibile limitazione e protezione.
- La pompa di calore si spegne, si accende solo la sorgente di calore esterna.
- Se l'impostazione sorgente di calore esterna è attiva, si accende solo sorgente di calore esterna.
- Se l'impostazione sorgente di calore esterna non è attiva, si accende solo la pompa di calore; si potrebbero verificare dei casi di limitazione e protezione durante il funzionamento della pompa di calore.
- Linea di temperatura massima dell'acqua in ingresso per il funzionamento della pompa di calore.

Fig.39: Analisi di operatività del sistema ibrido [31].

Per ridurre i consumi generali del sistema ibrido, l'integrazione dei collettori solari termici risulta essere una soluzione ausiliaria efficiente in quanto, la produzione dell'acqua calda sanitaria da parte loro, riduce ulteriormente il carico a cui viene sottoposta la pompa di calore. Questa integrazione è stata resa possibile grazie all'utilizzo di un accumulatore a doppio scambiatore che consente il supplemento energetico anche da un ulteriore risorsa esterna, come in questo caso.

La scelta su quali generatori solari termici adottati per la riqualificazione energetica è ricaduta sempre su modelli proposti dalla "Riello", in particolare sul modello "RPS 25/2 EVO", collettore residenziale vetrato che mostra capacità di assorbimento della irradiazione solare alte (95%) nonostante la una superficie captante modesta (2,3 m²) e uno strato di isolamento di 40 mm di lana di vetro. La soluzione adottata prevede l'installazione di quattro moduli collegati in serie, collocati su una falda dell'edificio inclinata di 23° rispetto all'orizzontale, orientata a Sud-Est. L'inserimento di un numero inferiore di collettori non comporta un contributo sufficientemente considerevole per favorire l'operato della pompa di calore a carichi ridotti; mentre l'inserimento di un numero maggiore di pannelli avrebbe portato un rischio per l'eccessiva sollecitazione strutturale per i carichi a sbalzo del tetto, in quanto ogni collettore a vuoto pesa 41,5 kg.



Fig.40: Collettore solare termico modello "RPS 25/2 EVO" [36].

Prima di introdurre le principali caratteristiche prestazionali dei collettori, è utile spiegare brevemente il principio di funzionamento che permette a questa tecnologia di operare efficientemente.

Il principio di funzionamento di un collettore solare si basa principalmente su delle celle solari un cui avviene la conversione dell'energia dell'onda elettromagnetica in energia termica. Ognuna di queste celle è composta da un vetro in cui una percentuale ridotta della radiazione viene riflessa, mentre la maggior parte viene assorbita dalla piastra captante, una superficie nera isolata in cui l'onda cede calore al fluido termovettore che vi scorre dentro. La piastra captante è strutturata affinché una volta che l'irradiazione vi entri, essa venga riflessa svariate volte al suo interno e ad ogni riflessione vi è una cessione del calore al fluido, massimizzando l'assorbimento [35].

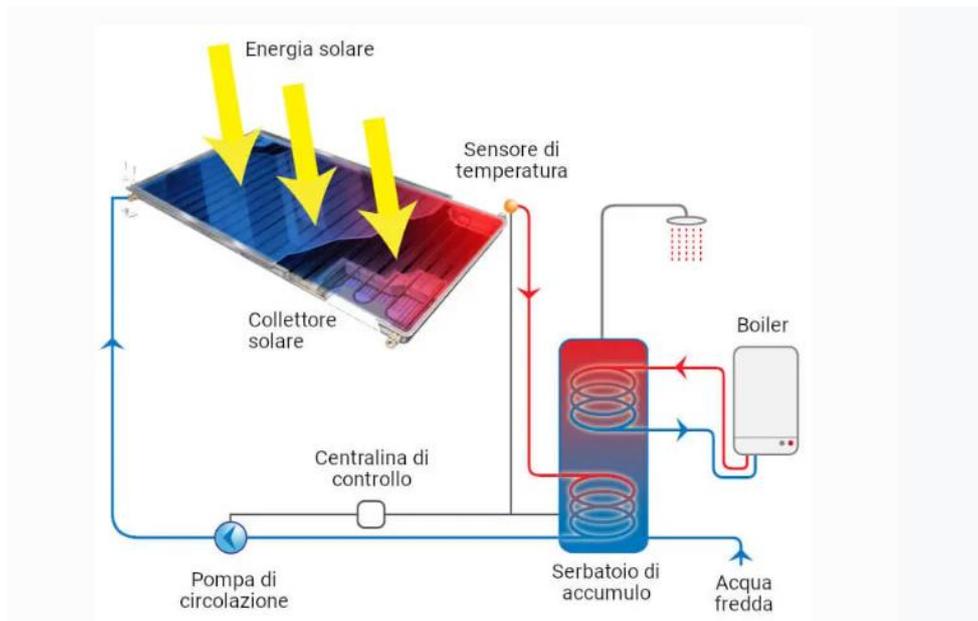


Fig.41: Principio di un collettore solare termico [35].

Di seguito vengono riportate le caratteristiche principali del collettore in questione.

DATI TECNICI

DESCRIZIONE		RPS 25/2 EVO
Superficie complessiva	m ²	2,301
Superficie di apertura	m ²	2,152
Superficie effettiva assorbitore	m ²	2,141
Collegamenti	Ø	1" M / 1" F
Peso a vuoto	kg	41,5
Contenuto liquido	l	1,6
Portata consigliata per linea per m ² di pannello	l (h x m ²)	30
Portata minima per linea per m ² di pannello	l (h x m ²)	12
Portata massima per linea per m ² di pannello	l (h x m ²)	60
Spessore vetro	mm	3,2
Spessore isolamento lana di vetro	mm	40
Assorbimento (α)	%	95
Emissività (ε)	%	4
Pressione massima ammessa	bar	10
Temperatura di stagnazione	°C	198
Massimo numero di pannelli collegabili in linea	n°	6
Installazione	-	Verticale
Classe del vetro	-	X1
Resa Würzburg Tm 25°C	kWh/anno	1685
Resa Würzburg Tm 50°C	kWh/anno	1076
Resa Würzburg Tm 75°C	kWh/anno	652
Rendimento ottico (η ₀) (*)	%	82,1
Coefficiente di dispersione termica (a1) (*)	W/(m ² K)	4,41
Coefficiente di dispersione termica (a2) (*)	W/(m ² K)	0,0060
IAM (50°) (*)	-	0,94
Rendimento del collettore (η _{col}) (**)	%	63,5

Tab.28: Principali dati prestazionali del collettore adottato [36].

Come già citato, il sistema d'accumulo utilizzato per lo stoccaggio dell'acqua calda sanitaria, sempre della "Riello" modello "7200 800 HP", bollitore vetrificato, con capacità d'accumulo di 700 litri, presenta una serpentina di scambio maggiorata per consentire una maggiore superficie di scambio termico e quindi una capacità di operare anche a basse temperature, rendendolo perfettamente idoneo all'abbinamento con pompa di calore. Presenta la possibilità di installare una seconda serpentina sempre a bassa temperatura per l'integrazione termica da una seconda risorsa come in questo caso il collettore termico; permettendo, quindi, la tecnologia della stratificazione, che massimizza la capacità d'accumulo. L'isolamento termico è stato realizzato con del poliuretano morbido dello spessore di 100 mm [37].

Il dimensionamento è stato scelto andando a considerare che non vi sono modifiche ai sistemi di erogazione dell'acqua calda rispetto alla condizione precedente all'intervento, che possano portare a un maggiore fabbisogno di portata; pertanto, è stata scelta una capacità che soddisfacesse il fabbisogno medio giornaliero di 50 litri/giorno per persona presente nella struttura.

La temperatura media di lavoro del bollitore è settata per 45°C, ma in casi di necessità si può spingere fino ad un massimo di 99°C a 10 bar di pressione.

Infine, un ulteriore sistema d'accumulo è stato integrato nell'impianto. Trattasi sempre di una tipologia dell'azienda "Riello", modello "7000 ACI PLUS 120", con la funzione di accumulatore per la fase di riscaldamento; in questo modo la generazione del calore da parte delle macchine termiche avviene principalmente con lo scopo di reintegrare il calore ceduto dal sistema di emissione una volta che il vaso d'accumulo risulti essere ad una temperatura non più sufficiente al corretto svolgimento del suo operato.

Dato che il sistema di riscaldamento risulta essere un ciclo chiuso, a differenza del sistema d'accumulo per l'acqua calda sanitaria, è sufficiente utilizzare un bollitore con una capacità ridotta, per ottenere dei risultati considerevole. Sotto questa ipotesi, il modello scelto presenta una capacità di 123 litri e quindi ovviamente delle dimensioni ridotte. Presenta due serpentine di scambio separate, che consentono al bollitore di ricevere calore da due sorgenti esterne, come nel caso in analisi, quali pompa di calore e caldaia a condensazione. Presenta infine la possibilità di installarvi una resistenza elettrica, così da permettergli di operare in caso di necessità come un sistema di backup elettrico d'emergenza.

Di seguito sono riportati i due schemi di funzionamento complessivo indicativi del sistema di climatizzazione invernale finora trattati.

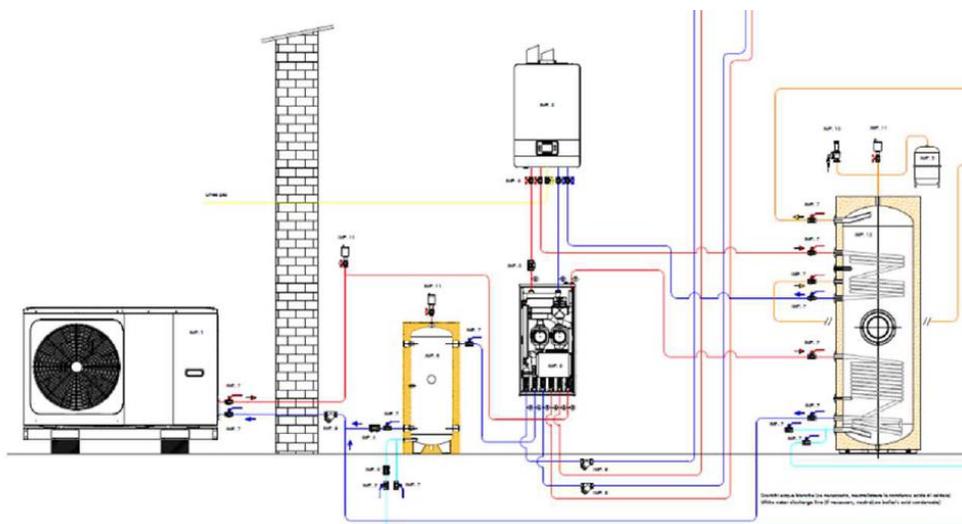


Fig.42: Schema monoblocco del sistema ibrido pompa di calore/caldaia a condensazione.

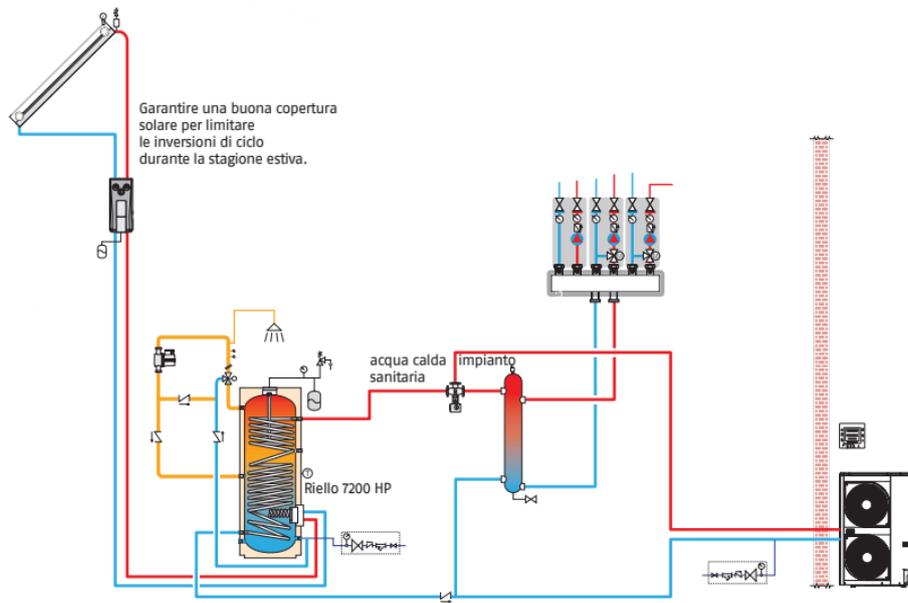


Fig.43: Schema monoblocco del sistema collettore solare termico e pompa di calore [36].

5.6.2. Dimensionamento del sistema d'emissione

Come già anticipato, il sistema d'emissione presente nell'edificio, caratterizzato da radiatori in ghisa con temperatura di mandata intorno ai 70°C e di ritorno interno ai 55°C, risulta non essere compatibile con la nuova configurazione dell'impianti di riscaldamento, in quanto richiederebbe un operato ingente del generatore a combustione, andando contro agli obiettivi fondamentali di questa riqualificazione; pertanto, risulta necessaria una sostituzione dell'intero sistema.

Il criterio con cui si è scelto i nuovi dispositivi disperdenti si è basato sul trovare una soluzione che permettesse di integrarsi con la nuova soluzione impiantistica, ma che contemporaneamente non comportasse interventi troppo invasivi per i condomini e anche particolarmente onerosi dal punto di vista economico.

La soluzione migliore, dal punto di vista energetico, avrebbe dovuto essere l'installazione di sistemi a pannelli radianti integrati nel pavimento. Questa tipologia d'emissione risulta essere la migliore quando si parla di riscaldamento tramite pompa di calore, in quanto consente di operare a temperature di mandata intorno ai 35°C e di ritorno intorno ai 30°C, massimizzando quindi la COP oltre a garantire una distribuzione del calore molto equilibrata e uniforme. Tuttavia, questa soluzione, per quanto possa essere conveniente sul lungo periodo, comporta delle operazioni di installazione particolarmente invasive come, ad esempio, la completa rimozione del primo strato calpestabile (es: piastrelle), la posa della soletta su cui si andranno a posare le tubature e l'installazione di collettore di mandata e ritorno in ogni stanza interessata. Altro aspetto da considerare, riguarda la portata necessaria per ottenere lo stesso scambio termico; infatti, essendo un sistema a bassa temperatura, richiede un aumento considerevole della quantità d'acqua da utilizzare; pertanto, risulta essere necessario svolgere un'analisi sul sistema di distribuzione dell'acqua calda all'interno dell'edificio in quando non è garantito che le condotte preesistenti sia idonee al passaggio di quel valore di portata. Infine, la sua realizzazione risulta essere eccessivamente costosa e ciò avrebbe potuto risultare essere un problema con i limiti sulle detrazioni imposti dal Superbonus. Questa soluzione, per quanto efficiente, si propone per edifici adibiti ad abitazione residenziale singola o simili, con sistemi di distribuzione dell'acqua calda semplificati.

La seconda possibilità, tenuta in considerazione, si è concentrata sulla sostituzione dei precedenti radiatori con sistemi a ventilconvettori con attacco a parete, in grado quindi di sfruttare il già presente sistema di distribuzione. Questa soluzione, meno efficiente energeticamente parlando rispetto ai pannelli radianti, risulta essere comunque idonea all'applicazione a media temperatura con una pompa di calore, in quanto la temperatura di mandata si aggira intorno ai 55°C; ciò comporterebbe una diminuzione nella COP ma non tale da compromettere l'operato della macchina. Tuttavia, questi componenti non sono strettamente consigliati per l'utilizzo residenziale se si tiene conto che il sistema di erogazione, composta da ventole, oltre ad essere sul lungo periodo dispendioso da punti di vista dell'energia elettrica, risulta essere discretamente rumoroso, soprattutto nei momenti di massimo carico che coincidono con l'attivazione del sistema di riscaldamento alla mattina. Tenendo conto di queste considerazioni, la tecnologia è stata scartata temendo il rischio di un eccessivo disagio nei condomini.

L'ultima possibilità considerata riguarda l'utilizzo di una tecnologia che si è sviluppata solo nell'ultimo decennio. L'idea progettuale si è basata sull'identificare un sistema che permettesse di operare a temperature d'esercizio prossime a quelle dei ventilconvettori, che sfruttasse il già presente sistema di distribuzione, ma che presentasse gli stessi bassi livelli di rumorosità di un sistema basato sui radiatori. La scelta è ricaduta su sistemi d'emissione basati a radiatori a bassa temperatura. Questa tecnologia si basa sulla modellazione di radiatori che operano in modalità identiche a quelli finora utilizzati ma presentano delle migliorie progettuali che gli consentono di operare a temperature ridotte. In primo luogo, questo tipo di tecnologia sfrutta radiatori in alluminio o in acciaio piuttosto che in ghisa, questo perché essendo la temperatura di mandata ridotta, per poter scambiare lo stesso flusso termico

precedente, è necessario che l'area di scambio di questi elementi sia maggiore. Questi materiali permettono di dimensionare i radiatori con una struttura detta a "lamelle", ovvero permettono di modellare gli elementi del radiatore in modo più sottile ed aumentandone la larghezza; ciò consente di incrementare il numero di elementi con un aumento delle dimensioni, e di conseguenza dello spazio richiesto, non eccessivo; ideale quindi per una integrazione in un edificio riqualificato e non di nuova costruzione progettato fin dal principio con quella tipologia di radiatori.

Scelta la tipologia di tecnologia da utilizzare, l'opzione su quale offerta tra quelle presenti sul mercato è ricaduta sui radiatori della azienda "Emmeti" modelli "E2". Il motivo principale di questa scelta è ponderato sul fatto che il modello proposto combina la tecnologia del radiatore a bassa temperatura con quello del ventilconvettore; infatti, questa tipologia presenta la struttura del radiatore a piastre in acciaio descritto precedentemente, ma in aggiunta predispone delle ventole ausiliare in caso sia necessario aumentare temporaneamente la distribuzione del calore all'interno della struttura. Questa tecnologia, a cavallo tra le due tipologie, permette al radiatore di operare se lo si desidera anche a temperature dell'ordine dei pannelli radianti; tuttavia, questa configurazione necessita di un aumento della superficie disperdente eccessivo per la dimensione degli spazi disponibili dalla rimozione dei precedenti radiatori; pertanto, si è scelto di farli operare comunque ad una temperatura di mandata di 55°C. La funzione dinamica, esercitata operativamente insieme alle ventole, viene utilizzata solo in caso in cui la zona termica da riscaldare sia una stanza che non viene usata frequentemente e che quindi necessiti di un riscaldamento rapido. L'impostazione di base del radiatore risulta pertanto quella di operare in condizione statica (senza l'ausilio delle ventole) nella maggior parte delle casistiche, mentre la modalità dinamica solo se strettamente necessario, in quanto questa modalità aggiunge un fabbisogno elettrico di circa 15 W per ogni radiatore ed un aumento del livello sonoro che va da 20 dB per la modalità confort fino a 34 dB per la modalità boost [38].



Fig.44: Tecnologia della struttura a piastre integrate con l'ausilio delle ventole [38].

Di seguito viene riportata la tabella con i valori di potenza in funzione delle dimensioni desiderate del radiatore, estrapolate dalla scheda tecnica.

Dati tecnici

Modalità di funzionamento: solo riscaldamento

Alimentazione elettrica: 230 Vac / 50 Hz

Assorbimento max: 15 W

Connessioni idrauliche: n° 2 attacchi maschio G 3/4" in basso al centro (interasse 50 mm), e n° 4 attacchi femmina G 1/2"

Temperatura minima dell'acqua per l'attivazione delle ventole: 30 °C

Temperatura massima di esercizio: 60 °C

Pressione massima di esercizio: 10 bar

Livello di pressione sonora:

Comfort: da 20 a 25 dB / Boost: 34 dB

Questi valori sono stati calcolati in base alla distanza di 2 m prevista dalla normativa VDI 2081, "Produzione e riduzione del rumore in impianti di ventilazione e condizionamento" (Mod. 600x1000 mm).

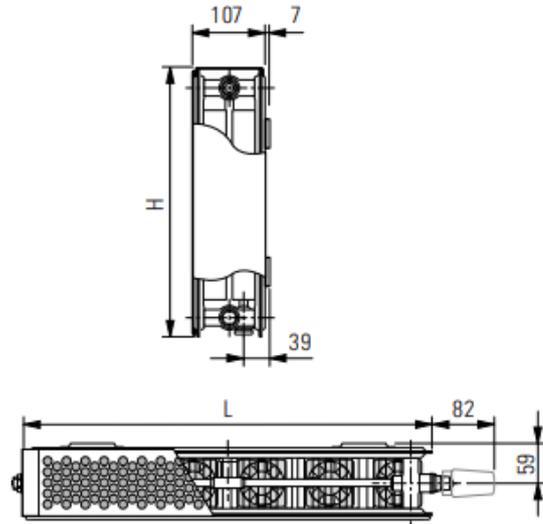


Fig.45: Dati tecnici generali della tipologia di radiatore [38].

Modello	H [mm]	L [mm]	Peso [kg]	Potenza termica [W]											
				(Tin / Tout / Tamb) 55 / 45 / 20 °C			(Tin / Tout / Tamb) 45 / 35 / 20 °C			(Tin / Tout / Tamb) 40 / 35 / 20 °C			(Tin / Tout / Tamb) 35 / 30 / 20 °C		
				Modalità di funzionamento Statica	Comfort	Boost	Modalità di funzionamento Statica	Comfort	Boost	Modalità di funzionamento Statica	Comfort	Boost	Modalità di funzionamento Statica	Comfort	Boost
E2 500-400	500	400	15,70	282	415	475	163	252	294	140	220	257	89	149	176
E2 500-600	500	600	22,43	424	622	713	245	379	440	210	331	385	134	224	263
E2 500-800	500	800	29,18	565	829	951	327	505	587	280	441	514	179	298	351
E2 500-1000	500	1000	36,11	706	1036	1189	409	631	734	349	551	642	224	373	439
E2 500-1200	500	1200	42,85	848	1243	1427	490	757	881	419	661	770	268	448	527
E2 500-1400	500	1400	49,69	989	1451	1664	572	883	1028	489	771	899	313	522	615
E2 500-1600	500	1600	56,53	1130	1658	1902	654	1010	1174	559	882	1027	358	597	702
E2 500-1800	500	1800	63,46	1272	1865	2139	735	1136	1321	629	992	1156	402	671	790
E2 500-2000	500	2000	70,20	1413	2072	2377	817	1262	1468	699	1102	1284	447	746	878
E2 600-400	600	400	17,59	322	446	507	184	272	317	157	238	277	100	162	189
E2 600-600	600	600	25,20	484	670	760	276	409	475	236	357	416	150	242	284
E2 600-800	600	800	32,82	645	893	1013	368	545	634	314	476	554	200	323	378
E2 600-1000	600	1000	40,62	806	1116	1266	460	681	792	393	595	693	250	404	473
E2 600-1200	600	1200	48,24	968	1339	1519	552	817	950	472	714	832	300	485	568
E2 600-1400	600	1400	55,94	1129	1562	1773	644	953	1109	550	833	970	350	566	662
E2 600-1600	600	1600	63,65	1290	1785	2026	736	1090	1267	629	952	1109	400	646	757
E2 600-1800	600	1800	71,45	1451	2008	2279	828	1226	1426	707	1071	1247	450	727	851
E2 600-2000	600	2000	79,07	1312	2231	2532	920	1362	1584	786	1190	1386	500	808	946
E2 900-400	900	400	25,19	411	536	606	233	324	375	198	238	277	126	189	225
E2 900-600	900	600	36,57	617	804	910	349	486	562	298	423	492	188	254	337
E2 900-800	900	800	47,95	823	1072	1213	466	648	750	397	564	656	251	378	450
E2 900-1000	900	1000	59,51	1028	1340	1517	582	810	937	496	705	820	314	473	562
E2 900-1200	900	1200	70,90	1234	1607	1820	698	972	1124	595	846	984	377	562	662
E2 900-1400	900	1400	82,37	1440	1875	2123	815	1134	1312	694	987	1148	440	662	787
E2 900-1600	900	1600	93,84	1645	2143	2427	931	1296	1499	794	1128	1312	502	757	899
E2 900-1800	900	1800	105,41	1851	2411	2730	1048	1458	1687	893	1269	1476	565	851	1012
E2 900-2000	900	2000	116,79	2057	2679	3033	1164	1620	1874	992	1410	1640	628	946	1124

☰ Irraggiamento + Convezione naturale ☰+☘ Irragg. + Convezione forzata ☰+☘+☘ Irragg. + Max Convezione forzata

Tin = Temperatura di Mandata / Tout = Temperatura di Ritorno / Tamb = Temperatura Ambiente

Tab.29: Potenze erogate dal radiatore secondo la normativa EN 442-1 [38].

Una seconda problematica che insorge nel voler affrontare questa tipologia di sostituzione riguarda la necessità di dover scegliere quali dimensioni utilizzare per questi nuovi radiatori, in quanto la scelta a disposizione risulta essere particolarmente ampia. Per far fronte a questa analisi, vi sono molteplici strade da seguire:

- La prima, meno ingegneristica, si basa semplicemente sul sovradimensionamento dei radiatori rispetto quello che è il reale fabbisogno, così da mantenere un ampio margine di sicurezza, ma allo stesso tempo un eccessivo utilizzo della risorsa oltre che un cattivo utilizzo della superficie utile disponibile.
- La seconda si incentra sullo sfruttare appieno lo spazio recuperato dalla rimozione dei precedenti radiatori, in quanto essendo i nuovi radiatori in grado di erogare più potenza per ogni elemento rispetto ai precedenti, l'utilizzo di radiatori della stessa dimensione comporta una sicurezza del raggiungimento del confort termico richiesto, a discapito di una cattiva pianificazione della superficie utile.
- L'opzione effettivamente scelta, invece, si incentra sul cercare il dimensionamento idoneo in funzione del fabbisogno termico così da garantire il raggiungimento della temperatura interna desiderata, senza necessariamente compromettere un negligente utilizzo della superficie calpestabile. Tuttavia, per adottare questa strategia è necessario andare a ricalcolare le dispersioni termiche della struttura una volta coibentata, in maniera tale da capire quale sia il carico delle zone termiche e tenendo conto del numero di radiatori precedentemente presenti e che quindi risulta essere possibile installare, andando quindi a dimensionare quest'ultimi. Va sottolineato, che per una maggiore sicurezza cautelativa, il fabbisogno determinato dalle varie zone termiche per i radiatori, viene incrementato del 15% affinché il dimensionamento possa far fronte anche a situazioni anomale di maggiore stress termico. Infine, va evidenziato ulteriormente che il dimensionamento viene effettuato solo nel considerare l'opzione di funzionamento in modalità statica, tale per cui non vi sia mai richiesto l'utilizzo in modalità dinamica, se non quanto strettamente necessario.

Di seguito sono riportate le tabelle con le nuove dispersioni termiche e il numero di radiatori che risulta possibile installare.

Locale	θ_{int}	P_t [W]	P_v [W]	P_{RH} [W]	P [W]	N° termina	Fabbisogno per terminale [W]	Fabbisogno +15% [W]	Radiatore utilizzato
Subalterno 1									
Disimpegno	20	35,29	54,89	16,59	106,76	2	404	464	E2-500-800
Cucina/Soggiorno	20	634,48	452,86	135,86	1223,2	2			
Bagno	20	117,28	92,87	27,96	238,13	1			
Camera	20	473,8	291,68	87,62	853,11	1			
Totale		1260,85	892,3	268,03	2421,2	6			
Subalterno 2									
Ingresso/Disimpeg	20	0,00	269,66	92,72	332,38	3	292	336	E2-500-600
Rip	20	0,00	23,98	5,68	29,66	3			
Camera piccola	20	0,00	237,03	28,24	265,28	1			
Bagno	20	128,64	123,79	28,66	281,09	-			
Soggiorno	20	480,41	482,43	111,56	1074,45	2			
Cucina	20	140,13	211,04	48,66	400,04	2			
Camera	20	487,61	477,1	110,16	1074,88	1			
Disimpegno	20	0	37,74	9,31	47,05	-			
Totale		1236,79	1862,77	434,99	3504,83	12			
Subalterno 3									
Soggiorno	20	726,23	629,8	145,14	1501,17	4	308	355	E2-500-600
Cucina	20	219,86	312,6	72,42	604,88	2			
Bagno	20	75,89	129,07	30,12	235,08	2			
Camera	20	311,18	284,81	65,73	661,72	2			
Ingresso/Disimpeg	20	0,00	153,88	36,87	190,75	2			
Camera	20	355,91	320,12	73,95	749,98	1			
Ripostiglio	20	0,00	53,45	12,46	65,91	-			
Totale		1689,07	1883,73	436,69	4009,49	13			

Subalterno 4							404	465	E2-500-800
Disimpegno	20	29,60	41,31	14,9	85,81	3			
Camera	20	552,19	418,73	110,07	1080,99	2			
Bagno	20	87,79	31,99	3,78	123,56	-			
						4			
Cucina	20	669,09	469,61	124,34	1263,04				
Camera	20	499,69	279,54	71,99	851,22	3			
Ripostiglio	20	76,51	51,85	15,54	143,90	-			
Bagno	20	220,80	88,12	19,26	328,18	1			
Soggiorno/Studio	20	843,13	670,27	176,16	1689,56	-			
Antibagno	20	31,52	45,05	17,7	94,27	1			
Totale		3010,32	2096,47	553,74	5660,53	14			
Subalterno 5							490	563	E2-600-800
Cucina	20	633,06	180,05	54,66	867,77	1			
Soggiorno	20	1015,86	314,93	97,02	1427,81	1			
Bagno	20	106,82	72,81	21,96	201,59	1			
Camera	20	168,1	119,85	36,83	324,78	1			
Ripostiglio	20	31,46	66,5	20,06	118,02	2			
Totale		1955,30	754,14	230,53	2939,97	6			
Subalterno 6							437	503	E2-500-800
Soggiorno	20	598,85	402,03	121,3	1122,18	2			
Camera	20	214,90	143,15	43,2	401,25	2			
Bagno	20	239,02	78,15	23,47	340,64	1			
Cucina	20	331,31	328,88	99,47	759,66	1			
Totale		1384,08	952,21	287,44	2623,73	6			

Tab.30: Dimensionamento delle nuove dispersioni termiche e relativi radiatori.

Dalle tabelle sopra riportate è possibile eseguire alcune considerazioni inerenti alle dispersioni.

In primo luogo, è possibile notare gli effetti benefici che ha portato l'introduzione dell'isolante nella struttura. Questo è possibile osservarlo nella netta riduzione delle perdite per trasmissione.

In secondo luogo, una seconda riduzione è avvenuta nelle perdite per ripresa in quanto aumentando l'inerzia termica, questa comporta dei tempi di ripresa maggiori (tre ore) e quindi il valore del fattore di ripresa (f_{RH}) è stato impostato a 4 W/m^2 . Questa riduzione, tuttavia ha un peso assai minore rispetto alle perdite citate precedentemente. Ultima considerazione va fatta per le dispersioni per ventilazione che sono rimaste immutate rispetto all'edificio di partenza in quanto non vi sono state modifiche del sistema di ventilazione o al tasso di ricambi d'aria.

Di seguito è riportata una tabella con l'incidenza delle riduzioni delle dispersioni dei vari subalterni sull'edificio complessivo.

	Subalterno 1	Subalterno 2	Subalterno 3	Subalterno 4	Subalterno 5	Subalterno 6	Edificio
Perdite ante intervento [W]	7323,37	6822,4	9073,67	23239,75	7029,81	8383,54	61872,54
Perdite post intervento [W]	2421,2	3504,83	4009,49	5660,53	2939,97	2623,73	21159,75
Riduzione [%]	66,9	48,6	55,8	75,6	58,2	68,7	65,8

Tab.31: Riduzione percentuale delle dispersioni termiche nell'edificio.

5.6.3. Sistema di regolazione

La sostituzione degli impianti di climatizzazione ha comportato, ovviamente, anche la sostituzione dei precedenti sistemi di regolazione, introducendone dei nuovi con controllo elettronico basati sulla climatizzazione del singolo ambiente e in concomitanza della regolazione climatica. Questo nuovo impianto permette dunque una regolazione proporzionale a un range di $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, andando così a incrementare il precedente valore di efficienza del sistema di regolazione, portandolo al 99%.

Il nuovo sottosistema di regolazione si suddivide in due principali componenti che cooperano sinergicamente in base alle esigenze degli utenti:

- Un pannello di controllo centrale, per ogni subalterno, che interagisce direttamente con il sistema ibrido, il quale eroga calore basandosi su una prima regolazione di tipo climatico, ovvero l'impianto tramite una sonda misura la temperatura esterna e ne calcola di conseguenza il fabbisogno termico in base anche alla temperatura interna desiderata, che per comodità di analisi è stata scelta fissa a 20°C .

Pannello di comando

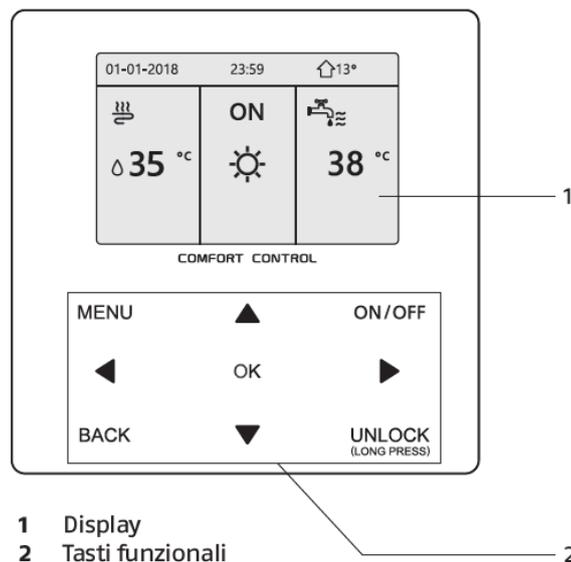


Fig.46: Pannello di comando, modello REC10MH, estrapolato dalla scheda tecnica dell'impianto [31].

- Un secondo sistema di regolazione, basato su un controllo di singolo ambiente, interviene grazie alla presenza di valvole termostatiche inserite in ogni radiatore, con il fine di regolare la potenza erogata dal componente in funzione della temperatura interna di ogni stanza. La loro presenza risulta essere fondamentale in quanto tiene conto di possibili apporti interni o una maggiore irradiazione solare a cui una stanza può essere soggetta rispetto ad un'altra, andando così a massimizzare il benessere termico dell'area e il risparmio energetico.

È importante spiegare brevemente, così da semplificare la lettura del paragrafo, il principio di funzionamento di una valvola termostatica. Questa tecnologia risulta essere un sistema di regolazione ideale che basa il suo funzionamento su un principio fisico piuttosto semplice. Una valvola termostatica si divide principalmente in un primo componente detto "testa" e in un secondo detto "corpo". Quando la temperatura in una stanza aumenta, la capsula termosensibile contenuta nella testa inizia ad espandersi, spostando lo spillo contenuto nel corpo, andando a chiudere parzialmente la valvola riducendo la portata circolante nel radiatore. Processo inverso avviene la temperatura della stanza scende [39].

Rimane comunque impostabile manualmente, la modalità dinamica se lo si ritiene necessario.

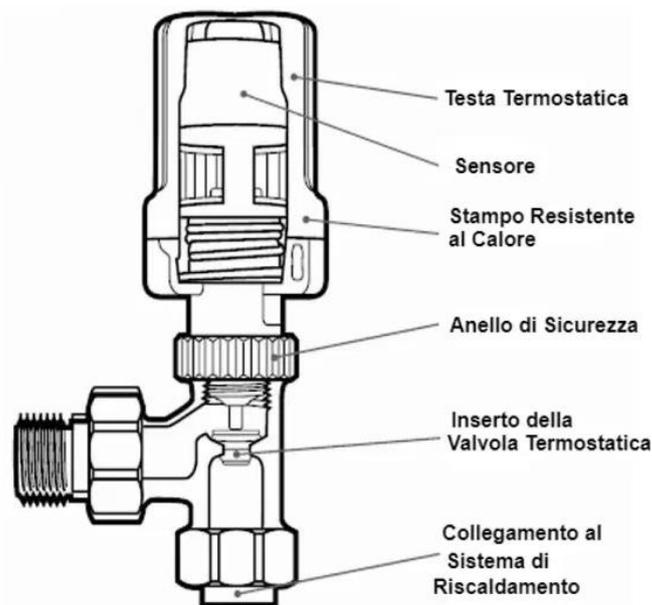


Fig.47: Elementi di base che compongono una valvola termostatica [39].

Volendo brevemente riassumere la regolazione del sistema di riscaldamento questo avviene tramite le seguenti fasi:

- Il sistema di regolazione climatica calcola il fabbisogno, in funzione della temperatura esterna, e attiva il sistema ibrido, che inizia ad alimentare il bollitore d'accumulo per il riscaldamento, che viene riscaldato in base alla temperatura ideale interna per tutta l'unità immobiliare.
- L'erogazione del calore in ogni stanza viene regolamentata dalle valvole termostatiche che aumentano o diminuiscono la portata circolante nei radiatori.
- Quando la sonda presente nel bollitore rileva che la temperatura media è scesa sotto un valore prestabilito, il sistema ibrido si attiva nuovamente, riportando la temperatura alla condizione ideale di pescaggio, così da poter operare a carichi modulati e a intermittenza.

5.6.4. Impianti di climatizzazione estiva

Una soluzione decisamente più semplificata, è stata adottata per la sostituzione del sistema di climatizzazione estiva, in quanto, l'impianto presente precedentemente risultava già essere la tipologia d'impianto idonea per la struttura. Tuttavia, presentava valori di efficienza non sufficienti al raggiungimento degli obiettivi preposti per quest'opera.

Si è scelto quindi di continuare ad optare per la tipologia d'impianto autonomo piuttosto che focalizzarsi nuovamente su un impianto centralizzato, in quanto l'operato del sistema di raffrescamento è inerente ai soli mesi estivi e, essendo la struttura in una fascia climatica di tipo E, risulta essere meno incisivo rispetto ad altre località italiane. Altro aspetto che ha favorito la scelta di svariati sistemi autonomi riguarda semplicemente la già predisposizione degli alloggi ad ospitare questa tipologia di struttura essendo già presente precedentemente.

Oltre alla bassa efficienza energetica dei precedenti sistemi, la scelta di voler sostituire anche gli impianti di climatizzazione estiva è stata smossa in quanto i sistemi precedenti risultavano essere delle pompe di calore aria-aria mono-split, che, se implementate in alloggi relativamente di ridotta volumetria (come, ad esempio, il subalerno 1 o 5) permettevano comunque una discreta distribuzione omogenea dell'aria raffreddata e deumidificata nelle stanze limitrofe all'unità interna. Tuttavia, in unità immobiliari di maggior volume, come il subalerno 4, questo effetto non riusciva a verificarsi andando a creare una eterogeneità nella distribuzione della temperatura della zona termica in cui stanze adiacenti all'area di erogazione subivano una parziale climatizzazione ed altre, più distanti, presentavano temperature troppo alte, non confortevoli alla permanenza.

L'opzione è dunque ricaduta sui sistemi di climatizzazione della "Emmeti" modello "X-REVO 1819D" [40] dual-split con una potenza di 5,20 kW termici, per tutti i subalterni ad eccezione del quarto. In quest'ultimo è stato inserito il modello "X-REVO 2419T-21" [41] tri-split con una potenza di 7 kW termici, essendo il subalerno con maggior volumetria e maggiormente esposto nel periodo estivo in quanto situato nel sottotetto.



Fig.48: A sinistra è riportato il modello "X-REVO 1819D" [40], mentre a destra il "X-REVO 1419T-21" [41].

Questa nuova configurazione, oltre a mostrare un incremento del costo moderato rispetto alla sostituzione degli impianti con altri semplici mono-split, permette di raggiungere un maggiore equilibrio termico in tutta la struttura andando a creare, durante le ore diurne, una situazione di confort omogenea in tutto l'alloggio.

La maggiore efficienza energetica di questi sistemi permette di utilizzare più unità interne aumentando in maniera marginale i consumi rispetto alla condizione di partenza che presentava dei consumi lievemente ridotti ma una resa in tema di confort termo-igrometrico degli utenti decisamente più ridotto.

Altro aspetto positivo del sistema riguarda il sistema di regolazione (efficienza maggiore del 98%) interno alla macchina in grado, una volta raggiunta la temperatura interna di 26°C e anche l'umidità relativa, operano a regime modulante con fasi di accensione e spegnimento grazie alle sonde presenti nelle unità interne. Questa sistema di operare, reso possibile anche grazie alla coibentazione delle strutture e soprattutto dall'inserimento di serramenti con vetrate basso emissive, permette alla macchina di operare a intermittenza e a bassi carichi permettendo alla pompa di calore di operare a consumi ridotti. Questa tipologia di regolazione comporta, tuttavia, un aumento dei consumi elettrici del sistema di ventilazione, in quanto la fase di accensione delle ventole risulta essere il momento di massimo consumo di quest'ultime.

Di seguito sono riportati i valori del Energy Efficiency Ratio (EER) in funzione dei fattori di carico dei due modelli.

Fattore di carico	EER	Fattore di carico	EER
100%	6,300	100%	6,200
75%	7,000	75%	6,700
50%	7,500	50%	7,000
25%	7,900	25%	7,200

Tab.32: A sinistra i valori del modello "X-REVO 1819D", mentre a destra i valori di "X-REVO 1419T-21".

Un'osservazione degna di nota riguarda la possibilità di far operare questi sistemi, come ormai tutti i condizionatori presenti in commercio, anche in fase di riscaldamento essendo in grado di operare sia a ciclo diretto che a ciclo inverso. Nonostante ciò, questa operazione è stata scartata in quanto la loro efficienza in tale operazione risulta essere ridotta, oltre a non essere necessaria grazie all'impianto di riscaldamento già ampiamente trattato, se non come possibile sistema alternativo di emergenza.

Un'ultima considerazione riguarda la possibilità di utilizzare i nuovi radiatori anche come sistema refrigerante, facendo circolare acqua fredda nelle piastre ed utilizzare la configurazione dinamica per erogare aria fredda, operando con la stessa modalità di un ventilconvettore. Tuttavia, anche questa opzione è stata scartata in quanto si renderebbe necessario l'installazione di una vasca di raccoglimento della condensa in ogni elemento, oltre al fatto che la resa termica di questo sistema è nettamente inferiore rispetto all'installazione dei modelli precedentemente citati. Questa opzione resta comunque disponibile come sistema d'emergenza in caso di guasto di questi dispositivi.

5.7. Impianto fotovoltaico

L'ultimo intervento trainato, effettuato sulla struttura, si è incentrato sull'installazione di sistemi fotovoltaici per aumentare l'indipendenza energetica dell'edificio e ridurre i costi delle bollette a cui i condomini erano sottoposti, ora maggiorati dal fatto che l'impianto di riscaldamento necessita di un fabbisogno di energia primaria principalmente elettrica.

In primo luogo, per poter sfruttare questa risorsa è stato necessario eseguire un'analisi preliminare riguardo alla possibile ubicazione di questo intervento, in quanto, esattamente come per il solare termico, i moduli fotovoltaici necessitano di un'area libera non indifferente su cui essere installati e possibilmente esposta a Sud. I primi problemi riscontrati riguardavano l'esposizione delle falde del tetto; essendo quelle utili per questa tipologia d'impianto orientate a Sud-Est, già occupate dai nuovi pannelli solari termici. Altro problema, ancora più incidente, riguardava il fatto che essendo il sottotetto abitabile, la presenza di abbaini e lucernari minimizzava la possibilità di realizzare delle stringhe contigue che avrebbero massimizzato lo spazio disponibile. Questa serie d'impedimenti ha reso infattibile la realizzazione di un impianto fotovoltaico sul tetto dell'edificio con un dimensionamento tale da renderlo idoneo ai consumi del condominio.

Nonostante questa prima analisi negativa, una seconda possibilità d'installazione è sorta grazie alla presenza di un fabbricato, appartenente sempre alla struttura analizzata, situato adiacente ad essa. L'edificio in questione, adibito a garage per i condomini, presenta una struttura idonea alla installazione di diversi impianti fotovoltaici, in quanto oltre ad avere una struttura portante del tetto inclinato adeguata, presenta un'ampia falda orientata a Sud-Ovest, avente inclinazione di 23° rispetto all'orizzonte e un'altezza che va da un valore minimo di 3,00 m fino al valore massimo presente sul colmo di 5,15 m. Questa altezza risulta favorevole per la fase di irraggiamento durante il moto del Sole nella volta celeste sovrastante la copertura, in quanto l'edificio confinante con il condominio analizzato, posto in direzione frontale rispetto alla falda in questione, risulta essere ad una distanza approssimativa di 15 m; andando a creare un cono d'ombra che non influenza l'attività dell'impianto elettrico.



Fig.49: Inquadramento satellitare della struttura utilizzata per l'installazione dell'impianto elettrico.

Avendo ora avuto modo di poter localizzare la posizione dell'impianto, il secondo passo che è stato svolto, si è incentrato sul partizionare l'area d'interesse così da poter dimensionare gli impianti che si sarebbero successivamente andati a realizzare. Per finalizzare queste operazioni è stato necessario prima

scegliere il modello del modulo da installare così da poterne valutare producibilità e superficie occupante.

La scelta commerciale è ricaduta sul pannello proposto da “Hyundai Solar Module”, modello “VG Series HiE-S410VG”, modulo dalle alte prestazioni, per uso residenziale, entrato in commercio dal 2021, con una potenza di picco pari a 410 Wp [42].



Fig.50: Immagine del modulo fotovoltaico adottato, estrapolata dalla scheda tecnica [42].

Questa tipologia di generatori di corrente continua sfruttano due tecnologie combinate note come “PERC” e “shingled”. La tecnologia Passivated Emitter and Rear Cell, meglio nota come PERC, è una nuova tipologia di struttura della cella solare, di recente realizzazione, che differisce rispetto alla normale cella fotovoltaica soprattutto per i maggiori livelli d’efficienza raggiunti. Fino ad oggi la struttura generale di una cella fotovoltaica risultava essere composta una pasta d’argento serigrafata per i contatti elettrici, un rivestimento anti riflesso, il drogaggio superficiale del wafer di silicio con atomi di fosforo e boro per la giunzione P-N, uno strato posteriore d’alluminio e infine una pasta d’alluminio serigrafata. Oggi le celle PERC permettono l’emissione di un maggior numero di elettroni agevolando l’imprigionamento di una maggior quantità di luce grazie all’inserimento di un layer di nitruro di silicio (SiN_x) posto sul lato posteriore della cella [43].

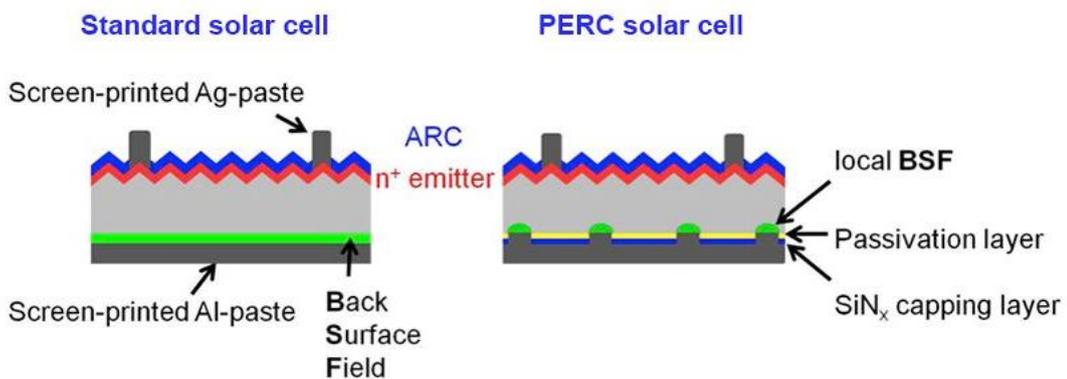


Fig.51: Differenza tra una cella fotovoltaica standard (a sinistra) e una cella PERC (a destra) [43].

Questa nuova configurazione può comportare un aumento dell'efficienza dell'interno pannello anche del 1%, risultato notevole se si tiene conto che l'efficienza media di un modulo fotovoltaico è intorno al 20%. L'aumento di efficienza comporta, oltre ad una maggiore produttività anche in condizioni di scarsa illuminazione, una diminuzione del costo di realizzazione del pannello, in quanto l'inserimento di un layer aggiuntivo consegue ad un aumento dei costi di produzione, ma la maggiore produttività ne permette il ritorno economico dell'investimento in tempi ridotti, riducendone quindi il costo iniziale di vendita [43].

La seconda tecnologia adottata viene denominata shingled. Trattasi di una tecnica di collegamento delle celle solari differente rispetto alla maggioranza di quelle trovate in commercio. Tipicamente le celle fotovoltaiche sono collegate tra loro tramite nastri elettroconduttori, chiamati "ribbon", che collegano il contatto "n" di una cella con il contatto "p" della cella successiva. La tecnica shingled connette le celle senza l'utilizzo di questi nastri, ma sovrapponendo i contatti in modo reciproco tra loro, andando così a massimizzare la superficie disponibile presente in un modulo, eliminando il divario presente tra ogni cella. Tramite questa innovazione, quasi il 100% della superficie captante del pannello è rivestito da celle fotovoltaiche [44].

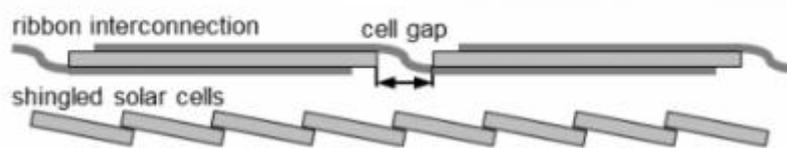


Fig.52: Schema di collegamento tipo "shingled" [44].

Electrical Characteristics		Mono-Crystalline Module(HIE-S____VG)				
		390	395	400	405	410
Nominal Output(Pmpp)	W	390	395	400	405	410
Open Circuit Voltage(Voc)	V	46.3	46.3	46.4	46.5	46.6
Short Circuit Current(Isc)	A	10.87	10.92	10.97	11.02	11.07
Voltage at Pmax(Vmpp)	V	38.5	38.5	38.6	38.7	38.8
Current at Pmax(Imp)	A	10.13	10.26	10.36	10.47	10.57
Module Efficiency	%	19.9	20.2	20.4	20.7	20.9
Cell Type	-	PERC Mono-Crystalline Silicon Shingled				
Maximum System Voltage	V	1,500				
Temperature Coefficient of Pmax	%/°C	-0.34				
Temperature Coefficient of Voc	%/°C	-0.27				
Temperature Coefficient of Isc	%/°C	0.04				

*All Data at STC (Standard Test Conditions). Above data may be changed without prior notice.
 *Tolerance of Pmax:0~+5W.
 *Performance deviation of Voc[V], Isc [A], Vm [V], and Im[A]:±3%.

Tab.33: Dati prestazionali del modulo adottato, estrapolati dalla scheda tecnica [42].

Il modulo selezionato, presenta una superficie captante complessiva di 1,96 m², mentre la superficie disponibile sulla falda esposta a Sud risulta essere di 190 m², avente dimensioni di 34,5 m² in lunghezza e 5,5 m² in inclinazione. Quest'ampio spazio consente di installare fino a 96 pannelli per una potenza complessiva di 39,36 kWp, andando ad occupare una superficie di circa 188 m².

La soluzione ingegneristica adotta, quindi, si è concentrata sul voler aumentare la quota di autosufficienza dei singoli condomini. Per fare questa implementazione, l'installazione di un singolo impianto comune di notevole dimensione non avrebbe portato al risultato richiesto, in quanto si sarebbe andati ad alimentare il fabbisogno delle compartizioni comuni a tutti i condomini nel fabbricato, ma non al fabbisogno del singolo.

Si è scelto quindi di suddividere l'impianto in sette sotto impianti di taglie minori, sei di questi ad uso privato di ogni singola unità immobiliare, e uno per sopperire ai carichi comuni del condominio, in particolar modo ad agevolare l'operato del sistema centralizzato. Il dimensionamento degli impianti privati, è stato scelto in funzione del consumo elettrico a cui questi erano sottoposti; pertanto, ad ogni impianto sono stati assegnati dodici moduli per una potenza complessiva di 4,92 kWp e usa superficie occupata di 23,52 m² ciascuno. Il dimensionamento dell'impianto comune invece è stato dimensionato tenendo conto del nuovo consumo elettrico presente dettato dall'operato della pompa di calore, e dalla superficie ancora disponibile sulla falda. Sono stati dunque installati ventiquattro moduli per una potenza complessiva di 9,80 kWp. Questa potenza non è ovviamente sufficiente a sopperire al fabbisogno della pompa di calore per via del dimensionamento maggiore di quest'ultima; tuttavia, si è scelto di proseguire in questa strategia per via del fatto che sarebbe risultato inutile ridurre la modellazione degli impianti privati ed aumentare quella comune se si tiene conto che la pompa di calore presenta uno sviluppo dei consumi opposto rispetto allo sviluppo di producibilità di un impianto fotovoltaico. Una pompa di calore necessita della maggior quantità di energia nel periodo invernale, mentre riduce drasticamente il suo fabbisogno nel periodo estivo; questa condizione risulta essere esattamente l'opposto per la producibilità elettrica dell'impianto fotovoltaico. Pertanto, l'unica condizione, affinché un impianto elettrico a energia solare riesca a sopperire interamente al fabbisogno di una pompa di calore, risulta essere necessario notevolmente sovradimensionare i generatori elettrico affinché anche in condizione di poca producibilità, questa risulti essere comunque maggiore del fabbisogno elettrico della macchina termica. Questa condizione, in un contesto residenziale, è difficilmente realizzabile a causa della grande necessità di spazio di cui si avrebbe bisogno per l'installazione dei moduli.

Per aumentare ulteriormente la percentuale di autosufficienza dell'immobile si è optato per l'installazione di sistemi di accumulo elettrico sia per gli impianti privati, sia per l'impianto comune nel tentativo di incrementare ulteriormente la quota auto consumata dalla pompa di calore.

Il modello di batteria utilizzato è quello proposto da "ZCS Azzurro" modello "Weco 5K3 XP" [45], trattasi di batteria che si basa sulla tecnologia Litio Ferro Fosfato (LiFePO₄), ovvero accumulatori a ioni di litio che sfruttano il Litio ferro Fosfato come catodo. Questa caratteristica le conferisce una totale atossicità e un costo ridotto per via dell'utilizzo del ferro. L'alta resistenza elettrica che comporta l'utilizzo di questo composto chimico viene eliminata grazie al rivestimento con nanoparticelle di carbonio altamente conduttive [46].



Fig.53: Singolo modulo dell'accumulatore "Weeco 5K3 XP" [45].

Il modello utilizzato, con una capacità nominale d'accumulo di 5,3 kWh e una profondità di scarica fino al 90%, permette l'installazione in parallelo di questi moduli fino ad un massimo di cinque per ogni BMS (Battery Management System) presente. Date le dimensioni degli impianti installati, si è optato di implementare due moduli in parallelo per ognuno degli impianti privati, mentre invece tre moduli per l'impianto comune.

L'ultima considerazione effettuata sull'installazione di questi generatori elettrici riguarda la selezione di un inverter idoneo alla tipologia d'impianto realizzata. Data la presenza anche del sistema d'accumulo, risulta necessario l'utilizzo di un inverter ibrido, della taglia idonea a favorire un rapporto tra corrente continua generata dai pannelli effettiva corrente alternata fornita all'unità immobiliare quanto più prossima a 1:1, condizione tali da poter sfruttare al meglio la quantità di energia elettrica generata.

Dato il già utilizzo di accumulatori della marca "ZCS Azzurro" si è preferito continuare ad utilizzare questa azienda andando a scegliere il modello "3PH HYD5000 ZSS" [47] per gli impianti privati. Questo inverter trifase consente una potenza in ingresso in corrente continua superiore ai 7,5 kWp e una potenza d'uscita massima in corrente alternata di 5 kW; raggiungendo quindi un'efficienza del 97,5 % con questa configurazione. Il dispositivo elettrico dispone di due MPPT (Maximum Power Point Tracker), aventi efficienza ciascuno del 99,9%, permettendo quindi di suddividere l'impianto in due stringhe da sei pannelli ciascuna andando così a rientrare perfettamente nei parametri di operatività dell'inverter in termini di tensioni minime e massime di lavoro.



Fig.54: Inverter trifase "3PH HYD5000 ZSS".

Per quanto riguarda l'impianto in comune, si è utilizzato il modello "3PH HYD10000 ZSS". Quest'altro inverter trifase permette una potenza in ingresso fino a 15 kWp in corrente continua e permette un'uscita in alternata fino a 10 kW, con un'efficienza del 97,7 %. Anch'esso presenta due MPPT che consentono quindi la realizzazione di due stringhe da dodici pannelli ciascuna rientrando anche in questa casistica nei parametri di operatività predisposti dal dispositivo.

5.8. Analisi energetica dello stato Post Intervento

In questo nuovo capitolo sono trattati i risultati ottenuti per ogni subalterno, e più in generale sull'edificio nel suo complessivo, dopo l'applicazione degli interventi migliorativi precedentemente presentati. Alcuni di questi risultati sono già stati mostrati, con il fine di essere utilizzati per il calcolo di qualche altro aspetto trattato, come ad esempio la riduzione delle dispersioni nella struttura; calcolo utile al dimensionamento della tipologia di radiatori da installare.

Verrà mostrato, facendo i giusti paragoni con l'edificio nel suo stato precedente, come l'efficientamento energetico abbia permesso di ridurre:

- le trasmittanze delle strutture opache, sia verticali che orizzontali;
- le trasmittanze globali dei componenti trasparenti;
- il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento;
- il fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria;
- il fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento;
- come questi carichi siano stati meglio distribuiti tra i nuovi dispositivi termici affinché questi possano operare a regimi meno dispersivi ed energivori;
- e di come l'impianto fotovoltaico agisce, permettendo una maggiore indipendenza da punto di vista del fabbisogno elettrico.

Verrà infine trattato il calcolo della nuova classe energetica acquisita e il raggiungimento della classificazione a edificio nZEB (Nearly Zero Energy Buildings). Questa certificazione rappresenta un importante traguardo in quanto sancisce il raggiungimento degli obiettivi principali imposti alla base di questa analisi, come il massimizzare l'efficienza dei nuovi sistemi e la riduzione delle emissioni di gas serra rilasciate dall'edificio nel suo stato antecedente.

5.8.1. Superfici opache verticali coibentate

Come mostrato nel capitolo inerente all'edificio nella sua situazione ante intervento, di seguito verranno mostrate le strutture verticali una volta coibentate e i relativi valori di trasmittanza raggiunti che hanno reso possibile ottenere i nuovi valori di dispersione termica. Importate sottolineare che il valore scelto per lo spessore dello strato isolante è dettato innanzitutto dal raggiungimento del valore soglia per l'ottenimento delle detrazioni fiscali ($0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$), ma anche funzione di un criterio estetico in quanto vi sono strutture che avrebbero raggiunto il valore predisposto dal Superbonus anche con uno spessore ridotto rispetto a quello riportato, ma si è comunque scelto di mantenere uno spessore uniforme così da evitare la possibile formazione di discontinuità nel profilo della struttura, particolarmente antiestetici.

Un secondo aspetto molto importante che verrà evidenziato, riguarda lo studio della verifica termoigrometrica della struttura, in quanto, nel momento in cui si esegue una coibentazione di una struttura è importante focalizzarsi, oltre alla riduzione della trasmittanza termica, anche sulla possibile formazione di condense interstiziali e/o muffe nello strato di smorzamento della conducibilità termica; secondo la normativa UNI EN ISO 13788. È molto importante che questi fenomeni non si verifichino in modo tale da evitare un più rapido deterioramento dei nuovi materiali integrati e pertanto una minore garanzia dell'effetto che questi dovrebbero portare. Questa analisi è ulteriormente fondamentale in quanto rappresenta uno dei punti di cui è necessaria la verifica secondo il D.M. 26/06/2015, anche detto "Decreto Requisiti Minimi", per l'ottenimento dell'approvazione e realizzazione delle opere fino ad ora descritte.

Tale verifica viene effettuata andando a considerare il fattore di temperatura del mese più critico ($f_{Rsi,max}$) e il fattore di temperatura del componente opaco (f_{Rsi}). Affinché non vi siano formazioni di condense interstiziali il valore della struttura coibentata deve essere maggiore del valore previsto per il

mese più critico. Tale verifica viene svolta esclusivamente per i componenti che hanno subito un processo di efficientamento.

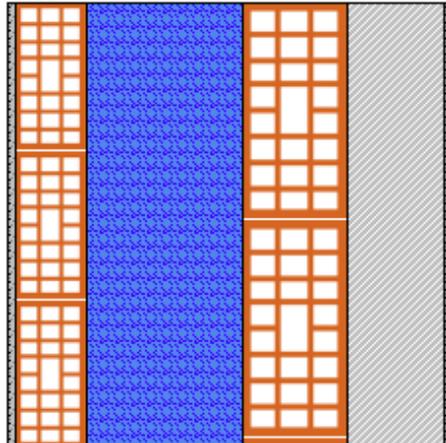


Fig.55: Stratigrafia superfice opaca verticale coibentata.

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	δ [kg/m ³]	$\delta_p \cdot 10^{12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]	
Parete esterna 51 cm (precedente parete esterna da 40 cm)								
1	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	19	0,014	
2	Mattoni forati (800 kg/m ³) spessore 80	8,0		5,000	800	28	0,200	
3	Intercapedine d'aria flusso orizzontale 18 cm	18,0		5,423	1	193	0,184	
4	Mattoni forati (800 kg/m ³) spessore 120	12,0		3,226	800	28	0,310	
5	EPS O30 150 T grigio CAM	11,0	0,030		16	4	3,667	
6	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	19	0,014	
Spessore totale		51,0						
							Resistenza superficiale interna	0,130
							Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]		0,219					Resistenza termica totale	4,560
Parete esterna 57 cm (precedente parete esterna da 46 cm)								
1	Intonaco di calce e gesso	2,0	0,700		1400	19	0,029	
2	Mattoni forati (800 kg/m ³) spessore 80	8,0		5,000	800	28	0,200	
3	Intercapedine d'aria flusso orizzontale 23 cm	23,0		5,423	1	193	0,184	
4	Mattoni forati (800 kg/m ³) spessore 120	12,0		3,226	800	28	0,310	
5	EPS O30 150 T grigio CAM	11,0	0,030		16	4	3,667	
6	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	19	0,014	
Spessore totale		57,0						
							Resistenza superficiale interna	0,130
							Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]		0,219					Resistenza termica totale	4,574
Parete esterna 38 cm (precedente parete esterna da 27 cm)								
1	Intonaco di calce e gesso	1,5	0,700		1400	19	0,021	
2	Mattoni forati (800 kg/m ³) spessore 120	12,0		3,226	800	28	0,310	
4	Mattoni forati (800 kg/m ³) spessore 120	12,0		3,226	800	28	0,310	
5	EPS O30 150 T grigio CAM	11,0	0,030		16	4	3,667	
6	Intonaco di calce e gesso	1,5	0,700		1400	19	0,021	
Spessore totale		38,0						
							Resistenza superficiale interna	0,130
							Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]		0,222					Resistenza termica totale	4,499
Parete sottotetto 67 cm								
1	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	19	0,014	
2	Mattoni pieni	54,0	0,720		800	28	0,750	
3	EPS O30 150 T grigio CAM	11,0	0,030		16	4	3,667	
4	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	19	0,014	
Spessore totale		67,0						
							Resistenza superficiale interna	0,130
							Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]		0,217					Resistenza termica totale	4,615

Tab.34: Principali proprietà termodinamiche della parete e calcolo della trasmittanza termica.

È possibile osservare, dalle tabelle mostrate, una riduzione media complessiva di circa 80% del valore della trasmittanza termica, rispetto alla condizione di partenza.

Di seguito è riportata una tabella che mostra la verifica termoigrometrica dei componenti opachi fino ad ora riportati, in cui la cella "Verificato" indica che non vi è la formazione di muffe o condense interstiziali, dannosi per il componente isolante.

Parete	f_{Rsi}	$f_{Rsi,max}$	Mese più critico	Stato
Parete esterna 51 cm	0,94658	0,76256	Dicembre	Verificato
Parete esterna 57 cm	0,94674	0,76256	Dicembre	Verificato
Parete esterna 37,5 cm	0,9458	0,40822	Novembre	Verificato
Parete sottotetto 67 cm	0,9472	0,76256	Dicembre	Verificato

Tab.35: Verifica dei fattori di temperatura dei componenti verticali opachi.

5.8.2. Superfici opache orizzontali coibentate

Esattamente come per le strutture verticali, verranno mostrati risultati della coibentazione dei due componenti opachi orizzontali precedentemente soggetti al maggior quantitativo di dispersione.

Va sottolineato che per l'isolamento della copertura, è risultato necessario l'inserimento di uno strato di materiale avente la funzione di barriera al vapore. Trattasi di un materiale, tipicamente molto sottile e leggero, con una altissima resistenza al passaggio del vapore acqueo. Tale elemento risulta fondamentale in quanto la copertura è la struttura maggiormente sottoposta alle precipitazioni meteorologiche, ciò comporta un rischio del passaggio del vapore acqueo attraverso il componente fino al raggiungimento dello strato isolante, che a causa del suo effetto di smorzamento termico, una volta superato rischia la formazione di muffe o condense. A tal proposito, infatti, il software Termo non consente la verifica termoigrometrica della struttura se a questa viene solamente applicato lo strato isolante, impedendo quindi la verifica di uno dei punti del D.M 26/06/2015, precedentemente citato.

Nel caso d'interesse, l'inserimento dell'isolante nella struttura, non risulta visibile esternamente, e quindi non soggetto anche a un giudizio estetico; l'efficientamento si è incentrato esclusivamente sulla riduzione della trasmittanza termica, fino al raggiungimento del valore imposto per l'ottenimento delle detrazioni fiscali, ovvero 0,25 w/m²K per il solaio interno e 0,20 W/m²K per la copertura.

- Solaio d'interpiano tra il piano interrato e il piano terra coibentata

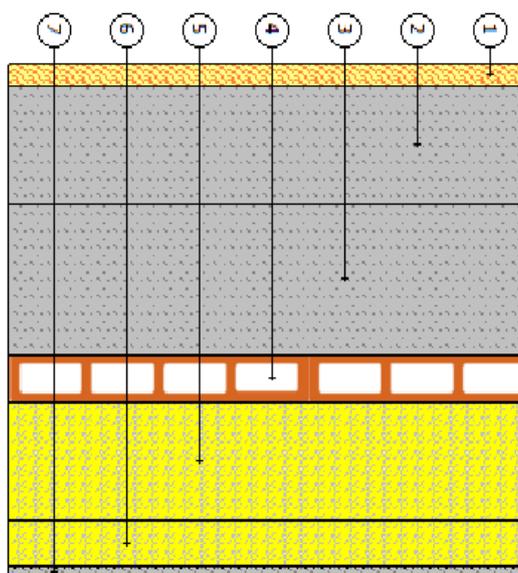


Fig.56: Stratigrafia superficie opaca orizzontale coibentata.

N	Descrizione dall'alto verso il basso	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	δ [kg/m ³]	$\delta_p \cdot 10^{12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]	
1	Piastrelle in ceramica/porcellana	2,0	1,300		2300	0	0,015	
2	Massetto in calcestruzzo alleggerito (1600 kg/m ³)	10,0	1,080		1600	2	0,093	
3	Calcestruzzo (2400 kg/m ³) - Alta densità	13,0	2,000		2400	1	0,065	
4	Tavellone per strutture orizzontali (250*40*120)	4,0		8,333	800	21	0,120	
5	XPS- Polistirene estruso - 100 mm	10,0		0,357	30	2	2,801	
6	XPS- Polistirene estruso - 40 mm	4,0		0,8	30	2	1,250	
7	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	19	0,014	
Spessore totale		44,0						
							Resistenza superficiale interna	0,170
							Resistenza superficiale esterna	0,170
Trasmittanza termica [W/m²K]		0,213				Resistenza termica totale	4,698	

Tab.36: Principali proprietà termodinamiche del solaio e calcolo della trasmittanza termica.

- Copertura coibentata

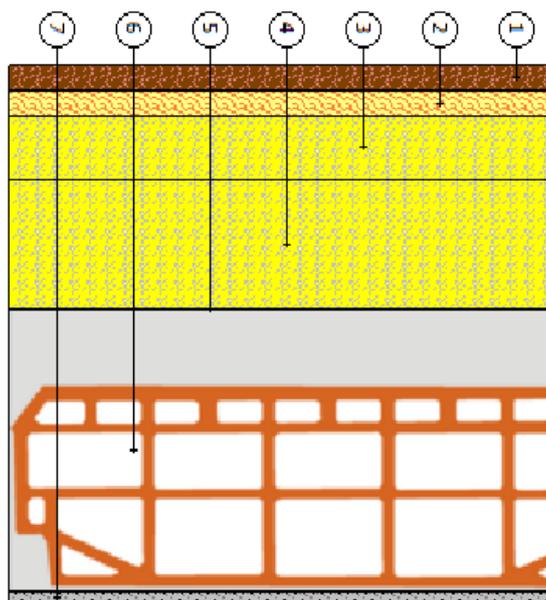


Fig.57: Stratigrafia copertura coibentata.

N	Descrizione dall'alto verso il basso	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	δ [kg/m ³]	$\delta_p \cdot 10^{12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Terracotta	2,0	1,000		2000	5	0,020
2	Truciolato (300 kg/m ³)	2,0	0,100		300	4	0,200
3	XPS- polistirene Estruso- 50 mm	5,0		0,645	30	2	1,550
4	XPS- polistirene Estruso- 100 mm	10,0		0,357	30	2	2,801
5	Isotec Tetto	0,05	0,022		38	0	0,023
6	Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calce)	22,0		3,03	1273	21	0,330
7	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	19	0,014
Spessore totale		42					
						Resistenza superficiale interna	0,100
						Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]		0,197			Resistenza termica totale		5,079

Tab.37: Principali proprietà termodinamiche della copertura e calcolo della trasmittanza termica.

Per questa tipologia di componenti, la riduzione della trasmittanza è stata raggiunta con migliori risultati, con una media percentuale del 86% del valore precedente. Questa situazione è essenzialmente dettata dalle condizioni più stringenti imposte dal Superbonus 110%. Necessaria, quindi è stata l'introduzione di uno spessore maggiore di isolante.

L'analisi termoigrometrica è stata svolta solamente per la copertura. Questa considerazione riguarda il fatto che il solaio d'interpiano non presenta esposizioni con l'ambiente esterno; quindi, l'analisi risulterebbe sempre verificata in quanto il fattore di temperatura del mese più critico presenta sempre valore pari a 0. La copertura, grazie anche allo strato di barriera al vapore "Isotec", mostra un fattore di temperatura pari a 0,95219, mentre il fattore di temperatura del mese più critico risulta essere 0,74677, a novembre. La struttura risulta quindi verificata.

5.8.3. Analisi prestazionale dei nuovi serramenti

In questo paragrafo vengono mostrati i valori di trasmittanza ottenuti per merito della sostituzione nei serramenti, in particolare grazie alla sostituzione delle vetrature precedenti con tecnologie a triplo vetro basso emissivi e all'introduzione di telai in PVC a sei camere cave che riducono drasticamente le dispersioni dei componenti.

Essendo i vari componenti stati unificati per tutte le strutture, non ci si soffermerà per ogni finestra, andando a riportare la tipologia di vetro e la tipologia del telaio, come invece è stato eseguito nella situazione ante intervento. Verranno invece mostrati i singoli valori di trasmittanza ottenuti dall'intero componente opaco, evitando così inutili ripetizioni.

Tutti i componenti sono stati scelti affinché permettessero il raggiungimento di una trasmittanza che consentisse l'accesso alle detrazioni fiscali ($1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$). I valori dei seguenti componenti sono stati estrapolati in parte dalle schede tecniche e in parte dal prospetto B.2 UNI/TS 11300-1:2014.

Elemento costitutivo	Trasmittanza [W/m ² K]
Vetro triplo (emis 0,05 - argon 90%) 4-8-4-8-4	1,00
PVC (profilo vuoto) sei camere cave	1,00
Cassonetto isolato	0,67

Tab.38: Trasmittanza termica dei nuovi principali elementi costitutivi dei serramenti.

Piano	Tipologia	Dimensioni [m]	Quantità	Trasmittanza [W/m ² K]
Piano Terra	finestra	1,40*1,55	2	1,152
	finestra	0,90*1,55	4	1,259
	finestra	1,15*1,55	1	1,168
	finestra	1,25*1,55	2	1,161
	finestra	2,15*1,55	1	1,223
	finestra	1,45*1,55	1	1,222
	finestra	0,60*1,55	1	1,252
	finestra	0,80*1,55	1	1,208
	finestra	1,60*1,55	1	1,208
	finestra	1,25*1,55	1	1,245
	portafinestra	0,80*2,50	3	1,186
	finestra	0,95*1,60	1	1,296
	finestra	0,70*1,55	1	1,300
	portafinestra	1,30*2,50	1	1,255
Piano Primo	finestra	0,65*1,60	1	1,237
	finestra	0,40*1,60	1	1,300
	portafinestra	1,00*2,45	4	1,300
	finestra	1,50*1,60	2	1,285
	finestra	1,00*1,50	1	1,712
	finestra	1,35*1,60	1	1,300
	finestra	1,25*1,60	1	1,243
	portafinestra	0,80*2,50	1	1,186
	finestra	1,80*1,60	1	1,192
	portafinestra	0,80*2,55	1	1,300
Sottotetto	portafinestra	1,00*2,55	1	1,268
	finestra	1,00*1,60	1	1,285
	finestra	0,80*0,85	1	1,300
	lucernario grande	1,88*1,40	8	0,938
	lucernario piccolo	0,78*0,98	6	0,932
	abbaino	0,85*1,20	4	0,775

Tab.39: Elenco di tutti i serramenti oggetti d'intervento e le nuove relative trasmittanze termiche.

Esattamente come mostrato nel a inizio analisi, rimane importate mostrare quali siano le attuali nuove strutture che, nonostante gli interventi di coibentazione, mostrino i valori più alti di perdite; affinché sia possibile prestare maggiore attenzione ai consumi.

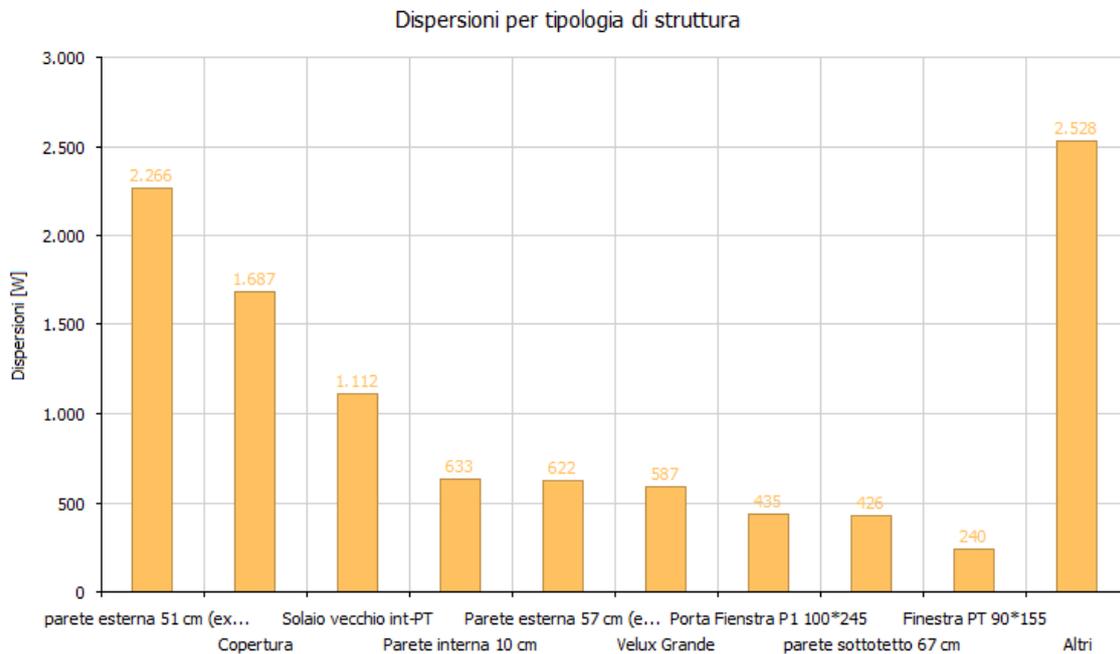


Fig.58: Nuovi valori di dispersione mostrati dalle strutture coibentate.

Come è possibile notare, nonostante le coibentazioni eseguite, le strutture come la copertura e la precedente parete verticale esterna da 40 cm, continuano ad essere le strutture maggiormente sottoposte alle dispersioni termiche. Queste considerazioni, esattamente come nello stato ante intervento, risultano essere banali in quanto queste strutture rimangono comunque le due superfici con la maggior metratura esposta all'ambiente esterno. Una netta riduzione, invece, è stata ottenuta per il lucernario di maggiore dimensione, aspetto importate in quanto precedentemente, a parità di superficie risultava essere la quarta struttura più disperdente dell'edificio.

5.8.4. Fabbisogno energetico dell'edificio efficientato

I risultati ottenuti grazie alle coibentazioni, hanno mostrato come conseguenza diretta, una notevole riduzione del fabbisogno termico generale dell'edificio (circa l'87%). In particolare, il fabbisogno di energia per il riscaldamento ha subito una drastica riduzione, tale da renderlo idoneo all'abbinamento dei nuovi impianti mostrati oltre che permettere loro di distribuire i carichi alla stregua di minimizzare i componenti a combustione.

Il fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda sanitaria invece è aumentato di circa il 14%. L'inserimento del sistema d'accumulo fa sì che vi sia una maggiore quantità d'acqua da scaldare, allo stesso tempo questo elemento permette ai generatori di gestire quest'accumulo a livelli di consumi ridotti rispetto alla generazione istantanea presente nel precedente impianto. L'intero fabbisogno energetico viene sopperito dalla pompa di calore e dal sistema collettori solari. Tale impianto permette dunque di ridurre al minimo il fabbisogno di energia non rinnovabile per tale sistema.

Nelle tabelle seguenti vengono mostrati i valori ottenuti per il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria, espressi in kWh.

Mese	QHtr	QHve	QHint	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Subalterno 1										
Gennaio	597,20	271,5	280,3	83,8	16,7	505,00	532,90	463,20	183,7	646,90
Febbraio	458,70	212,5	253,1	116,7	23,9	303,30	319,00	191,40	197,2	388,70
Marzo	376,00	178,9	280,3	159,1	35,1	134,10	138,80	10,80	141	151,80
Aprile	141,9	69	135,6	79,3	17,8	23,1	22,6	1,3	23,7	25
Ottobre	170,3	79	153,7	44,5	11	59,6	60,9	2	62,1	64
Novembre	429,70	195,2	271,2	63,3	13,1	291,80	306,40	138,80	276,3	415,10
Dicembre	611,20	276,8	280,3	66,8	13,6	541,20	571,30	533,00	180,6	713,60
Subalterno 2										
Gennaio	569,30	530,7	332,5	120,3	23,8	647,30	679,80	590,90	234,3	825,20
Febbraio	433,20	415,4	300,2	159,3	33,9	389,40	407,40	244,50	251,9	496,40
Marzo	350,40	349,8	332,5	203,9	49,5	173,10	178,10	13,90	180,9	194,80
Aprile	130,9	134,9	160,9	99,3	24,9	26,9	25,3	1,4	26,6	28,1
Ottobre	160,8	154,4	182,3	62,5	15,5	75,1	76	2,5	77,4	79,9
Novembre	409,80	381,6	321,7	91,1	18,7	378,90	395,80	179,30	356,9	536,20
Dicembre	583,80	541,2	332,5	96,4	19,4	696,10	731,40	682,40	231,2	913,60
Subalterno 3										
Gennaio	750	572,6	335,7	70,9	17,8	916	966,2	839,9	333	1.172,90
Febbraio	577,9	448,2	303,2	99,5	26,9	623,5	658	394,9	406,8	801,7
Marzo	472	377,4	335,7	162,2	46,2	353	375	29,2	381	410,2
Aprile	175,2	145,5	162,4	94,5	26,8	71,2	77	4,3	81	85,4
Ottobre	214,8	166,6	184,1	47,8	13,6	150,4	158,6	5,1	161,5	166,6
Novembre	539,5	411,8	324,9	62,6	15,3	563,8	593,9	269,1	535,6	804,6
Dicembre	766,7	584	335,7	55,1	14,1	959,8	1.012,20	944,3	320	1.264,30
Subalterno 4										
Gennaio	1.493,20	637,8	334,8	304,8	63,8	1.491,50	1.578,40	1.372,10	544	1.916,10
Febbraio	1.132,40	499,3	302,4	490,9	101,5	839,2	887,3	532,5	548,6	1.081,10
Marzo	724,6	336,3	259,2	653,3	132	194,4	201,7	15,7	204,9	220,6
Ottobre	421,9	185,6	183,6	247,6	50,9	183,2	193,2	6,3	196,8	203
Novembre	1.074,70	458,7	324	267,3	55,3	942,1	998	452,1	900	1.352,10
Dicembre	1.529,50	650,4	334,8	230,9	49,7	1.614,30	1.708,40	1.593,80	540,1	2.133,90

Subalterno 5										
Gennaio	975,8	228	255,2	91	8,9	857,8	908,5	789,7	313,1	1.102,80
Febbraio	759,2	178,5	230,5	119,6	13	588,3	624,4	374,7	386	760,8
Marzo	633,4	150,3	255,2	179	20,1	356,2	383,1	29,8	389,2	419,1
Aprile	242,1	57,9	123,5	97,5	10,7	90,7	102,3	5,8	107,6	113,4
Ottobre	282,2	66,3	140	54,9	6,2	156,9	168,2	5,4	171,3	176,8
Novembre	701,9	163,9	247	77,8	7,2	541,9	574,6	260,3	518,2	778,5
Dicembre	996,2	232,5	255,2	70,5	7,2	903,1	956,1	892	302,3	1.194,30
Subalterno 6										
Gennaio	653,4	289,9	291,4	55,8	9,4	596,3	627,8	545,8	216,4	762,2
Febbraio	506,6	227	263,2	79	14,4	392	412,5	247,6	255	502,6
Marzo	418,6	191,1	291,4	120,7	25,2	204,9	215,6	16,8	219,1	235,9
Aprile	157,5	73,7	141	65,9	14,8	39,7	41,8	2,4	43,9	46,3
Ottobre	188,3	84,4	159,8	35,6	7,4	82,1	85,2	2,8	86,7	89,5
Novembre	470	208,5	282	45,9	8,2	351,3	368,7	167	332,4	499,5
Dicembre	667,3	295,7	291,4	44,5	7,4	627,1	660,3	616	208,8	824,8
Edificio Complessivo										
Gennaio	5.039,00	2.530,50	1.829,90	726,5	140,3	5.013,90	5.293,60	4.601,70	1.824,50	6.426,20
Febbraio	3.868,00	1.980,80	1.652,80	1.064,90	213,6	3.135,80	3.308,50	1.985,70	2.045,50	4.031,30
Marzo	2.975,00	1.583,80	1.754,30	1.478,30	308,1	1.415,70	1.492,30	116,2	1.516,10	1.632,30
Aprile	847,6	481	723,4	436,4	95	251,7	268,9	15,2	282,9	298,1
Ottobre	1.438,40	736,2	1.003,50	492,9	104,5	707,2	742,2	24	755,7	779,8
Novembre	3.625,50	1.819,80	1.770,80	608	117,8	3.069,90	3.237,30	1.466,60	2.919,30	4.385,90
Dicembre	5.154,60	2.580,50	1.829,90	564,2	111,5	5.341,50	5.639,90	5.261,40	1.783,00	7.044,50
TOTALE	22.948,10	11.712,60	10.564,60	5.371,20	1.090,80	18.935,70	19.982,70	13.470,80	11.127,00	24.598,10

Tab.40: Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale dell'immobile.

Mese	QW	QWgn.out	Qp,nren,W	Qp,ren,W	Qp,tot,W
Subalterno 1					
Gennaio	114,3	143,5	83,3	143,8	227,1
Febbraio	103,2	129,3	47,4	138,8	186,1
Marzo	114,3	142,5	0	164,1	164,1
Aprile	110,6	137,4	0	155	155
Maggio	114,3	141,2	0	155,3	155,3
Giugno	110,6	136,1	0	148,2	148,2
Luglio	114,3	140,3	0	151,7	151,7
Agosto	114,3	140,5	0	154,6	154,6
Settembre	110,6	136,6	0	153,1	153,1
Ottobre	114,3	141,9	0	167,5	167,5
Novembre	110,6	138,1	86,6	143,3	229,9
Dicembre	114,3	143,6	105,8	135,9	241,7
Subalterno 2					
Gennaio	153	192	111,4	192,4	303,9
Febbraio	138,2	173	63,4	185,8	249,1
Marzo	153	190,7	0	219,6	219,6
Aprile	148	183,9	0	207,4	207,4
Maggio	153	188,9	0	207,8	207,8
Giugno	148	182,1	0	198,3	198,3
Luglio	153	187,8	0	203	203
Agosto	153	188	0	206,9	206,9
Settembre	148	182,8	0	204,9	204,9
Ottobre	153	189,9	0	224,2	224,2
Novembre	148	184,9	115,9	191,8	307,7
Dicembre	153	192,1	141,6	181,9	323,5
Subalterno 3					
Gennaio	161,8	203,2	117,9	203,6	321,5
Febbraio	146,2	183	67,1	196,5	263,6
Marzo	161,8	201,8	0	232,4	232,4
Aprile	156,6	194,6	0	219,4	219,4
Maggio	161,8	199,9	0	219,9	219,9
Giugno	156,6	192,6	0	209,8	209,8
Luglio	161,8	198,7	0	214,8	214,8
Agosto	161,8	198,9	0	218,9	218,9
Settembre	156,6	193,4	0	216,8	216,8
Ottobre	161,8	200,9	0	237,2	237,2
Novembre	156,6	195,6	122,6	202,9	325,5
Dicembre	161,8	203,3	149,8	192,4	342,2

Subalterno 4					
Gennaio	194,8	244,6	141,9	245,1	387
Febbraio	176	220,3	80,7	236,6	317,3
Marzo	194,8	242,9	0	279,8	279,8
Aprile	188,5	234,2	0	264,2	264,2
Maggio	194,8	240,7	0	264,7	264,7
Giugno	188,5	231,9	0	252,6	252,6
Luglio	194,8	239,2	0	258,6	258,6
Agosto	194,8	239,5	0	263,6	263,6
Settembre	188,5	232,9	0	261	261
Ottobre	194,8	241,9	0	285,6	285,6
Novembre	188,5	235,5	147,6	244,3	391,9
Dicembre	194,8	244,7	180,4	231,6	412
Subalterno 5					
Gennaio	103,7	130,2	75,6	130,5	206,1
Febbraio	93,7	117,3	43	126	168,9
Marzo	103,7	129,3	0	148,9	148,9
Aprile	100,4	124,7	0	140,6	140,6
Maggio	103,7	128,1	0	140,9	140,9
Giugno	100,4	123,5	0	134,5	134,5
Luglio	103,7	127,3	0	137,7	137,7
Agosto	103,7	127,5	0	140,3	140,3
Settembre	100,4	124	0	138,9	138,9
Ottobre	103,7	128,8	0	152,1	152,1
Novembre	100,4	125,4	78,6	130,1	208,6
Dicembre	103,7	130,3	96	123,3	219,4
Subalterno 6					
Gennaio	119,8	150,4	87,2	150,7	237,9
Febbraio	108,2	135,4	49,6	145,4	195,1
Marzo	119,8	149,3	0	172	172
Aprile	115,9	144	0	162,4	162,4
Maggio	119,8	147,9	0	162,7	162,7
Giugno	115,9	142,6	0	155,3	155,3
Luglio	119,8	147	0	159	159
Agosto	119,8	147,2	0	162	162
Settembre	115,9	143,2	0	160,4	160,4
Ottobre	119,8	148,7	0	175,6	175,6
Novembre	115,9	144,8	90,7	150,2	240,9
Dicembre	119,8	150,4	110,9	142,4	253,3
Edificio					
Gennaio	847,4	1.063,90	617,3	1.066,10	1.683,40
Febbraio	765,4	958,4	351,1	1.029,10	1.380,20
Marzo	847,4	1.056,50	0	1.216,80	1.216,80
Aprile	820,1	1.018,80	0	1.148,90	1.148,90
Maggio	847,4	1.046,80	0	1.151,40	1.151,40
Giugno	820,1	1.008,70	0	1.098,70	1.098,70
Luglio	847,4	1.040,30	0	1.124,80	1.124,80
Agosto	847,4	1.041,50	0	1.146,50	1.146,50
Settembre	820,1	1.012,90	0	1.135,10	1.135,10
Ottobre	847,4	1.052,10	0	1.242,30	1.242,30
Novembre	820,1	1.024,20	642,1	1.062,50	1.704,60
Dicembre	847,4	1.064,40	784,6	1.007,50	1.792,10
TOTALE	9977,6	12388,5	2395,1	13429,7	15824,8

Tab.41: Fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria.

Come è possibile osservare tramite le tabelle riportate sopra, il fabbisogno di energia per il riscaldamento, nei mesi dove la temperatura dell'ambiente esterno è più bassa, come gennaio e dicembre, la pompa di calore eroga solamente circa il 57% dell'energia che invece viene erogata dal sistema a combustione; ciò significa che dell'intero fabbisogno energetico, solamente circa il 37% è sopperito da tale componente. Di tale percentuale termica, nuovamente, solo una parte è stato possibile erogarla tramite il sistema fotovoltaico, mentre la restante è stata fronteggiata prelevando energia elettrica dalla rete nazionale; condizione non ottimale, in quanto il software reputa questa tipologia di fonte d'energia come non rinnovabile, ma comunque avente un impatto ambientale e soprattutto economico assai più conveniente. Pertanto, durante tale periodo è possibile osservare una quota di fabbisogno energetico non rinnovabile maggiore rispetto alla quota rinnovabile.

Con il graduale aumento della temperatura esterna nei restanti mesi in cui è necessario riscaldare l'immobile, è possibile notare una traslazione dell'erogazione termica, ovvero la pompa di calore inizia ad essere il componente principale; infatti, vi è una costante riduzione della quota non rinnovabile ed un aumento dell'altra. Condizione dettata anche dall'aumento delle ore di luce disponibile durante le giornate; stato ideale per la produzione del fotovoltaico. Se si tiene conto di tali considerazioni e possibile verificare che, nell'arco dell'intero periodo di riscaldamento, la quota di energia non rinnovabile risulta essere maggiore della quota rinnovabile solo del 9,53%.

Per quanto riguarda la produzione di acqua calda sanitaria, il discorso è completamente differente, in quanto il sistema è alimentato solamente dalla pompa di calore, in parallelo ai collettori solari termici. Se il fabbisogno di tale sistema è lievemente variato, è notevolmente variata invece la distribuzione delle fonti energetiche.

La pompa di calore sopperisce nei mesi invernali in parte prelevando dall'impianto fotovoltaico, ma soprattutto dalla rete elettrica, condizione per la quale viene riportata una quota di energia d'origine non rinnovabile. I collettori in tale periodo restano quasi totalmente inattivi a causa ovviamente delle condizioni climatiche; per fare un esempio, nel mese di gennaio i collettori erogano solamente il 6,4% dell'energia erogata per l'intero fabbisogno di ACS. Ovviamente questa condizione di operatività tende ad assottigliarsi man mano che ci si sposta verso il periodo estivo, dove avviene una redistribuzione del carico di lavoro verso i collettori solari e sempre meno incisiva diventa la richiesta di energia elettrica da parte della pompa di calore. Questa transazione stagionale, come già citato, porta con sé anche un aumento della produzione elettrica dal sistema fotovoltaico, minimizzando il prelievo dalla rete. Nel mese di luglio, l'impianto solare termico sopperisce al circa il 74% dell'intera richiesta d'energia.

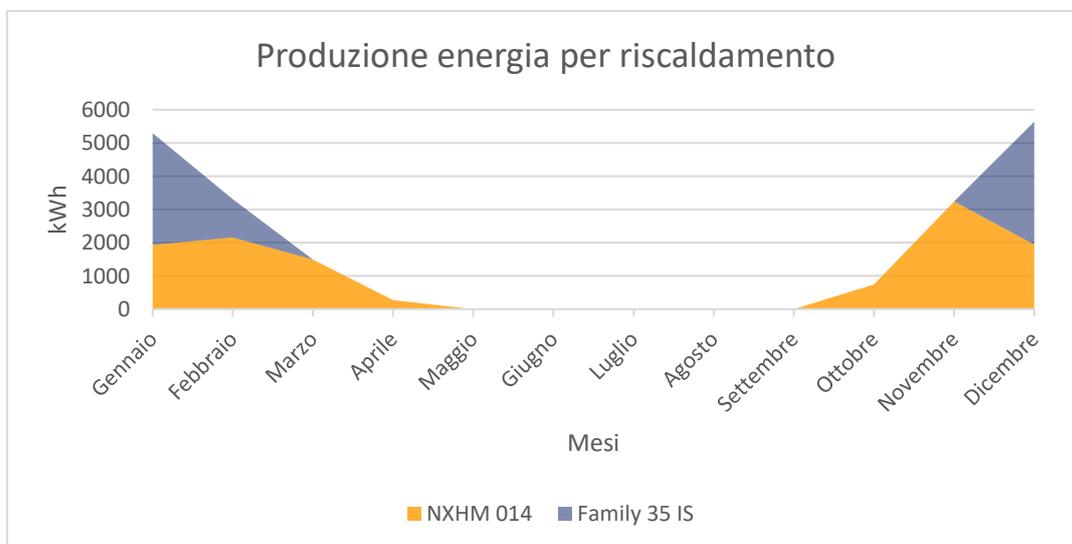


Fig.59: Ripartizione dei carichi per il fabbisogno di energia per il riscaldamento.

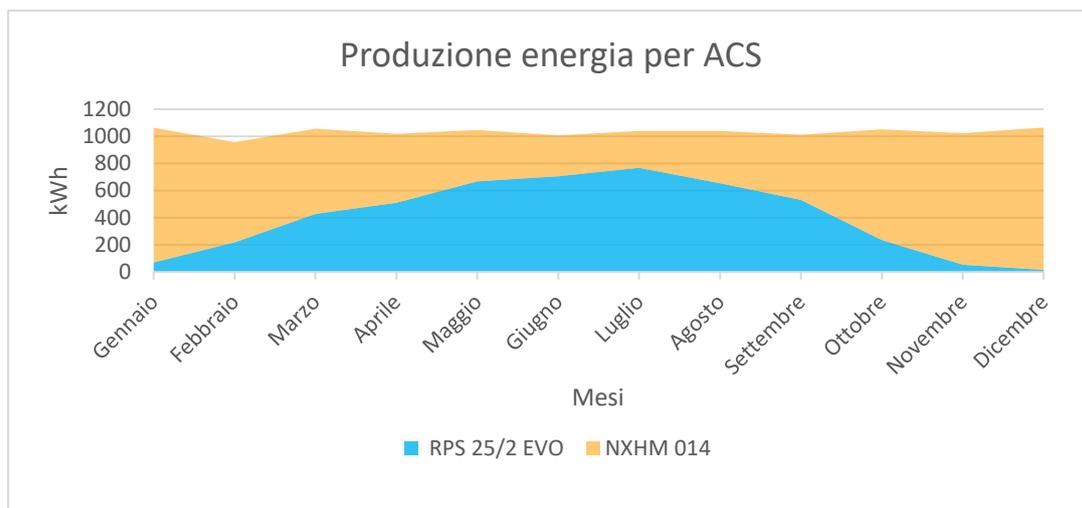


Fig.60 Ripartizione dei carichi per il fabbisogno di energia per la produzione di ACS.

Esattamente come il fabbisogno per il riscaldamento, anche la necessità energetica per il raffrescamento ha subito una riduzione (circa il 21%) sia grazie alla riduzione delle dispersioni verso l'ambiente esterno, sia grazie alla presenza di vetrate basso emissive che riducono drasticamente eccessivi apporti esterni. Di seguito sono riportati i valori ottenuti per il fabbisogno di energia primaria per il periodo estivo, espressi in kWh.

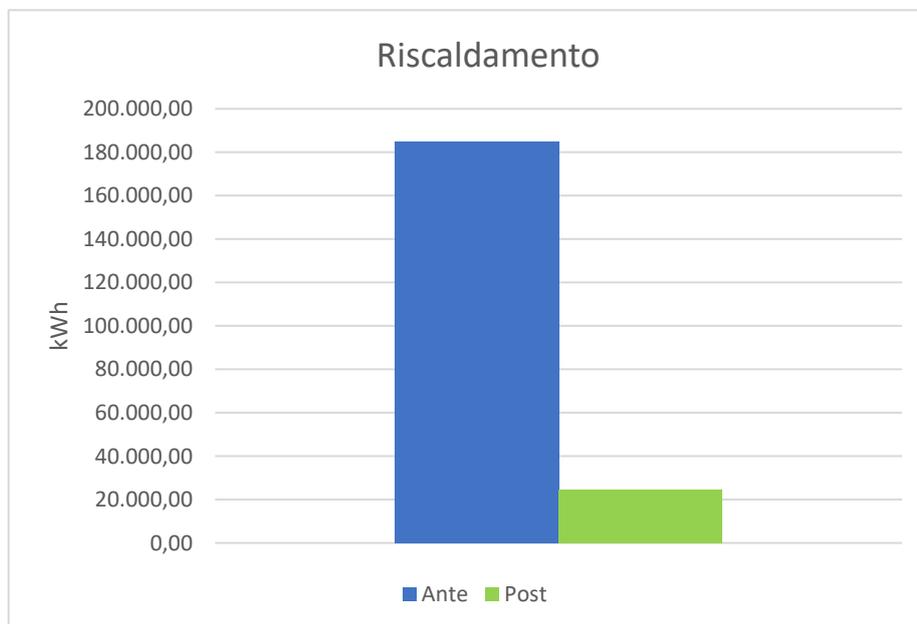
Mese	QCtr	QCve	QCint	QCsol,w	QCsol,op	QC,nd	QCgn,out	Qp,nren,C	Qp,ren,C	Qp,tot,C
Subalterno 1										
Maggio	211,5	105,9	226	150,5	34,4	67,1	72	0	31,5	31,5
Giugno	149,3	79,7	271,2	184,4	43,1	226,7	243,3	0	58,7	58,7
Luglio	93,7	56,9	280,3	190,6	47,2	320,2	343,7	0	72,4	72,4
Agosto	132,8	71,6	280,3	168,1	42	244	261,9	0	62,8	62,8
Settembre	173,7	86,7	189,9	113,2	26,8	50,3	54	0	25,4	25,4
Subalterno 2										
Maggio	173,8	187,3	246,7	179,9	43,7	71,2	76,4	0	30,3	30,3
Giugno	131,7	155,8	321,7	239,8	59,1	274	294,2	0	63,7	63,7
Luglio	76,2	111,2	332,5	247,7	64,9	392,7	421,5	0	80	80
Agosto	115,8	140	332,5	213,3	58,3	290	311,3	0	67,6	67,6
Settembre	139,8	150,6	203,8	130,1	34,2	49,4	53	0	23,6	23,6
Subalterno 3										
Maggio	157,7	142,5	184,1	148,7	41,8	41,9	45	0	20,7	20,7
Giugno	168	168,1	324,9	276	79,9	264,8	284,2	0	62,8	62,8
Luglio	98,6	120	335,7	283,8	85,1	401	430,4	0	81,1	81,1
Agosto	158,2	151,1	335,7	226	68,2	252,4	271	0	63,4	63,4
Settembre	71,5	62,2	86,6	52,6	15,3	12,4	13,3	0	9,1	9,1
Subalterno 4										
Aprile	470,7	234,9	172,8	616,6	123,1	109,3	117,3	0	35,7	35,7
Maggio	559,2	322,7	334,8	1.440,90	284,6	893,9	959,5	0	151,1	151,1
Giugno	242,3	187,3	324	1.518,50	303,4	1.412,90	1.516,70	0	230,8	230,8
Luglio	90,1	133,7	334,8	1.611,90	325,9	1.722,90	1.849,40	0	286,1	286,1
Agosto	241,4	168,3	334,8	1.297,90	263	1.223,00	1.312,80	0	207,5	207,5
Settembre	479,4	250,7	270	841,4	170,7	383	411,1	0	80,9	80,9
Subalterno 5										
Maggio	158,2	38,6	98,8	101,6	10,8	21,3	22,9	0	36,8	36,8
Giugno	269,1	66,9	247	261,4	28,2	174,8	187,7	0	107,3	107,3
Luglio	184,1	47,8	255,2	268,1	30,5	291,4	312,8	0	126,6	126,6
Agosto	242,5	60,2	255,2	218,6	26	172,9	185,6	0	111,2	111,2
Settembre	75	18,2	49,4	40,9	4,7	7,6	8,2	0	18,1	18,1

Subalterno 6										
Maggio	187,1	91,9	197,4	124,3	28,9	50,7	54,4	0	65,3	65,3
Giugno	162,1	85,1	282	186,3	45,3	221,1	237,4	0	113,7	113,7
Luglio	103,7	60,8	291,4	192,1	48,1	319	342,4	0	129,1	129,1
Agosto	150,3	76,5	291,4	155,1	38,1	219,7	235,9	0	117,3	117,3
Settembre	131,6	62,8	141	68,9	15,4	24,6	26,4	0	45,9	45,9
Edificio										
Aprile	470,7	234,9	172,8	616,6	123,1	109,3	117,3	0	35,7	35,7
Maggio	1.447,50	888,9	1.287,80	2.146,00	444,1	1.146,10	1.230,30	0	335,7	335,7
Giugno	1.122,50	743	1.770,80	2.666,40	559,1	2.574,40	2.763,40	0	636,9	636,9
Luglio	646,5	530,3	1.829,90	2.794,10	601,9	3.447,20	3.700,30	0	775,3	775,3
Agosto	1.040,90	667,8	1.829,90	2.279,10	495,6	2.402,00	2.578,40	0	629,8	629,8
Settembre	1.071,00	631,2	940,6	1.247,10	267,2	527,3	566	0	203,1	203,1
TOTALE	5799,1	3696,1	7831,8	11749,3	2491	10206,3	10955,7	0	2616,5	2616,5

Tab.42: Fabbisogno di energia primaria per la produzione della climatizzazione estiva dell'immobile.

Come è possibile immediatamente notare, oltre ad una riduzione del fabbisogno energetico, in quanto ora gli impianti di climatizzazione possono operare a carichi parziali, riducendo i consumi; ciò che risalta principalmente è il fatto che l'intero fabbisogno energetico dei vari impianti è interamente sopperita da energia rinnovabile. Questa considerazione è ampiamente dimostrata dal fatto che, ovviamente, gli impianti in questione operano solamente nel periodo estivo, e come ripetuto già in precedenza, la producibilità del sistema fotovoltaico in quel periodo è massima. Inoltre, tale situazione si verifica con maggior facilità rispetto ad un'ipotetica stessa situazione ma con ancora la presenza dei precedenti condizionatori; questo perché le EER di questi impianti sono decisamente più alte; pertanto, permetto di ridurre il fabbisogno elettrico per lo svolgimento delle loro funzionalità.

Di seguito sono riportati dei grafici riepilogativi delle riduzioni dei vari fabbisogni analizzati per l'intero edificio.



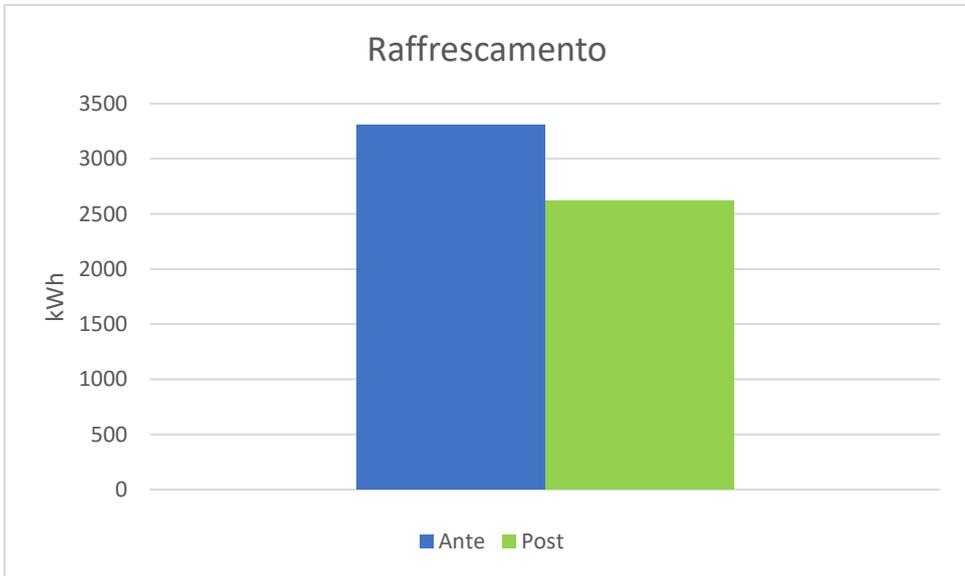
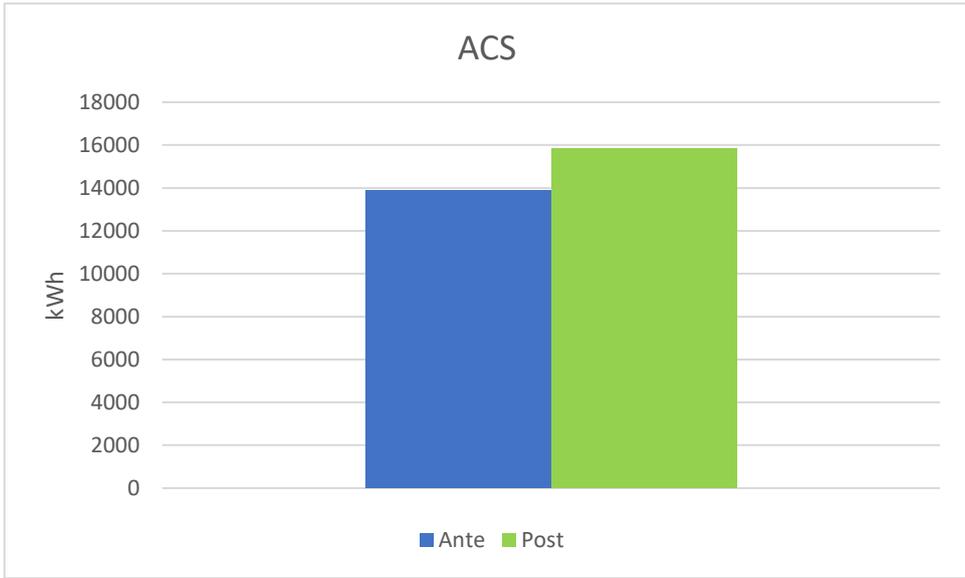


Fig.61: Diagrammi comparativi Ante e Post intervento .

5.8.5. Risultati della producibilità dell'impianto fotovoltaico

Come già citato nel capitolo precedenti, si era andati a svolgere un'analisi sui consumi complessivi dell'edificio in quanto, ogni subalterno mostrava indicativamente lo stesso fabbisogno energetico per l'alimentazione elettrica e l'unica fonte di tale servizio risultava essere la rete elettrica nazionale.

Ora, con l'implementazione dei vari impianti fotovoltaici, si è voluto, sempre tramite il software Polysun, entrare maggiormente nel dettaglio di quelli che fossero i reali andamenti di consumi e autosufficienza di ogni singolo impianto, ed in particolare dell'impianto adibito all'alimentazione del nuovo sistema termico centralizzato.

L'obiettivo di tale analisi è stato quello di massimizzare l'autosufficienza dei vari subalterni piuttosto che aumentarne l'immissione in rete. A tal proposito si è ritenuto più conveniente sfruttare l'impianto per una riduzione dei canoni in bolletta piuttosto che lo sfruttamento per la remunerazione fornita dal GSE (Gestore Servizi Energetici), soprattutto se si considera che un impianto fotovoltaico realizzato con le detrazioni fiscali del Superbonus 110%, obbliga i proprietari a firmare un contratto denominato "Ritiro Dedicato" piuttosto dello "Scambio sul Posto". Questa tipologia di contratto prevede che l'immissione della corrente elettrica in rete venga retribuita dal GSE secondo un prezzario che oscilla in funzione del mercato della Borsa Elettrica. Nel momento della stipula del contratto, al cliente vengono fornite due opzioni su quali prezzi aderire [48]:

- Prezzo orario (PO), dove l'energia viene valutata al prezzo zonale orario in funzione dell'articolo 6 della Delibera 280/07 e delle misure rilevate dal Gestore della Rete.
- Prezzo minimo garantito (PMG), dove in questo caso viene stabilito un prezzo minimo di vendita garantito con il GSE, per impianti fino a 100 kWp, che viene aggiornato ogni anno. Questa risulta essere la scelta più adottata da chi usufruisce delle detrazioni fiscali, per avere un margine di sicurezza garantito ogni anno.

Prezzi minimi garantiti per l'anno 2023		
Fonte	Quantità di energia elettrica ritirata su base annua	Prezzo minimo garantito [€/MWh]
<i>Biogas e biomasse, esclusi i biocombustibili liquidi a eccezione degli oli vegetali puri tracciabili ex regolamento europeo CE n. 73/09</i>	fino a 2.000.000 kWh	104,1
<i>Gas da discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biocombustibili liquidi a</i>	fino a 1.500.000 kWh	55,2
<i>Eolica</i>	fino a 1.500.000 kWh	55,2
Solare fotovoltaica	fino a 1.500.000 kWh	44,0
<i>Geotermica</i>	fino a 1.500.000 kWh	57,7
<i>Idrica</i>	fino a 250.000 kWh	169,7
	oltre 250.000 kWh e fino a 500.000 kWh	115,8
	oltre 500.000 kWh e fino a 1.000.000 kWh	72,0
	oltre 1.000.000 kWh e fino a 1.500.000 kWh	62,0
<i>Fonti rinnovabili diverse dalle fonti sopra elencate</i>	fino a 1.500.000 kWh	44,0

Fig.62: Valore del PMG nel 2023 secondo ARERA.

Come appena evidenziato, questa tipologia di contratto risulta essere dunque economicamente meno conveniente rispetto al precedente “Scambio sul Posto” dove la remunerazione è più incentivata. Risulta, quindi, fondamentale pensare che l’impianto, in primo luogo, debba cercare di massimizzare l’autoconsumo per avere così un netto vantaggio di taglio ai costi delle bollette.

Tramite il software, è stata eseguita un’analisi per ogni subalterno, andando a considerare mensilmente sia i consumi elettrici, il prelievo/immissione in rete e l’autoproduzione in cui viene considerata anche l’energia proveniente dallo scaricamento delle batterie. Di seguito è riportata una tabella in cui vengono evidenziati i parametri sopra citati.

		Annuale	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Subalterno 1														
Grado di autosufficienza	%	76,9	53,6	63	81,8	94,9	93,8	95	94,5	94,2	91,7	79	55,5	50,4
Immissione in rete	kWh	2.501	53,3	70,2	159	225	332	400	439	380	241	118	54,8	28,7
Prelievo dalla rete	kWh	765	154	108	56,4	17,4	19,4	15	15	15,8	22,2	58,9	125	159
Autoproduzione e scaricamento batteria	kWh	6.592	353	375	578	646	711	732	773	729	607	475	319	294
Consumo elettrico	kWh	3.280	340	296	305	271	256	229	227	232	238	274	286	327
Subalterno 2														
Grado di autosufficienza	%	67,3	42,2	49,6	64	83,5	88,9	95	94,6	94,2	81,8	59,8	43,2	41,3
Immissione in rete	kWh	2.916	104	120	232	265	345	403	444	384	278	176	98,7	66,5
Prelievo dalla rete	kWh	1.065	193	146	108	44,4	30,5	13,8	14,2	15,5	43,7	109	159	188
Autoproduzione e scaricamento batteria	kWh	6.296	315	337	526	618	700	733	774	730	586	426	285	265
Consumo elettrico	kWh	3.323	343	300	310	276	258	231	229	234	242	280	290	330
Subalterno 3														
Grado di autosufficienza	%	67,6	42,4	50	64,5	84	89,3	94,9	94,5	94,2	82,5	60,2	43,5	41,5
Immissione in rete	kWh	2.934	105	121	233	266	347	406	447	388	279	177	99,4	67,2
Prelievo dalla rete	kWh	1.043	189	143	106	42,5	29,1	13,8	14,2	15,6	41,7	106	156	185
Autoproduzione e scaricamento batteria	kWh	6.295	315	337	527	618	700	732	773	729	587	426	286	265
Consumo elettrico	kWh	3.284	339	296	306	272	255	228	226	231	239	277	287	326
Subalterno 4														
Grado di autosufficienza	%	62,1	38,3	44,9	57,8	75,6	80,9	95,8	95,1	86,8	71,1	53,7	38,8	37,3
Immissione in rete	kWh	2.626	89,7	106	213	241	321	347	391	355	260	161	87,2	53,9
Prelievo dalla rete	kWh	1.503	251	195	155	80,3	59,9	15,3	16,5	38,3	83,6	153	209	245
Autoproduzione e scaricamento batteria	kWh	6.303	311	333	521	614	699	755	796	733	576	422	281	260
Consumo elettrico	kWh	4.049	417	364	377	337	317	281	279	286	297	340	353	401
Subalterno 5														
Grado di autosufficienza	%	66,3	41,4	48,7	62,7	81,8	87,3	95,2	94,7	94,4	79,6	58,6	42,4	40,4
Immissione in rete	kWh	2.860	101	118	228	260	340	393	435	375	275	173	96,7	64,2
Prelievo dalla rete	kWh	1.136	203	154	117	50,7	35,4	13,9	14,4	15,7	50,8	116	167	198
Autoproduzione e scaricamento batteria	kWh	6.301	314	336	525	617	700	737	778	735	584	425	285	264
Consumo elettrico	kWh	3.449	356	311	322	286	269	239	238	242	252	290	301	343
Subalterno 6														
Grado di autosufficienza	%	65,8	41	48,1	62,1	80,9	86,5	95,3	94,8	94,2	78	57,9	41,8	40
Immissione in rete	kWh	2.830	99,9	116	226	258	337	387	429	372	273	172	95,5	62,9
Prelievo dalla rete	kWh	1.179	208	159	121	54,3	38,2	14	14,5	16,6	55,8	121	172	204
Autoproduzione e scaricamento batteria	kWh	6.302	314	335	525	617	700	739	780	736	582	424	284	263
Consumo elettrico	kWh	3.522	363	317	328	293	274	244	243	248	257	297	307	350

Tab.43:Principali parametri di funzionamento degli impianti fotovoltaici.

Come è possibile osservare dalla presente tabella, ogni subalterno mostra un grado di autosufficienza annuale superiore al 60% con valori minimi nel periodo invernale, intorno al 40%, e valori massimi nel periodo estivo, sopra il 90%. Questi dati mostrano che è stata svolta una corretta analisi di dimensionamento, in quanto questi impianti permettono quasi di dimezzare i costi dell’energia elettrica nel periodo invernale, risultato assolutamente non scontato se si tiene conto della scarsissima producibilità di quel periodo, fino ad arrivare ad azzerarli nel periodo estivo. La tabella mostra infatti come la maggioranza dell’energia disponibile venga impiegata dalla struttura mentre solo circa il 40% di questa venga immessa in rete.

Discorso molto diverso riguarda, invece l'autosufficienza dell'impianto fotovoltaico comune, in quanto come già citato, questo è sottoposto principalmente ai carichi della pompa di calore, tutti i carichi ausiliari del sistema centralizzato e i carichi elettrici generali presenti all'interno del condominio, come l'illuminazione comune, sia interno che esterna. Tale combinazione non risulta particolarmente favorevole se si tiene conto che la producibilità del fotovoltaico è minima nei mesi in cui è massimo il profilo di carico della pompa di calore. In tale situazione, si è obbligati a considerare l'impianto più per la quantità di corrente elettrica che immette in rete piuttosto che per l'autosostentamento. Come già anticipato nei capitoli precedenti, affinché un sistema costituito da una pompa di calore e un impianto fotovoltaico possa essere in grado di riscaldare un ambiente sempre autonomamente, è necessario che il generatore elettrico sia notevolmente sovradimensionato rispetto alla macchina termica, in tal caso anche nel periodo invernale il fabbisogno elettrico sarebbe comunque minore della produzione della fonte solare, condizione difficilmente verificabile nei contesti residenziali. Altra casistica possibile, riguarda l'aumentare della quota di energia termica generata da un altro componente così da ridurre il carico sulla pompa di calore; ma nel caso in analisi ciò comporterebbe un aumento del consumo di metano da parte della caldaia a condensazione, situazione ancora più sfavorevole.

La scelta adottata si è dunque focalizzata su cercare di ridurre parzialmente il fabbisogno energetico del sistema, così da permettere comunque una riduzione del costo dell'energia, e in secondo luogo cercare di immettere in rete la maggior parte dell'energia non utilizzata così da ridurre ulteriormente la spesa annuale dei condomini. Per questa configurazione, si è optato di visualizzare i dati anche tramite un grafico, in quanto mostrano più direttamente la differenza di resa tra il periodo invernale ed estivo.

Fotovoltaico comune-realizzato		Annuale	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Grado di autosufficienza	%	30,8	15,7	18,6	29,6	66,5	96	97	96,8	96,5	95,6	61,7	19	15,9
Immissione in rete	kWh	8.139	240	320	621	783	1.009	1.112	1.195	1.091	812	542	257	158
Prelievo dalla rete	kWh	6.079	1.564	1.105	664	127	9,9	6,8	7,4	6,9	9,1	120	962	1.496
Autoproduzione e scaricamento batteria	kWh	11.886	600	647	1.015	1.154	1.309	1.372	1.451	1.350	1.095	847	555	493
Consumo elettrico	kWh	8.810	1.865	1.364	948	376	215	193	187	182	186	311	1.194	1.788

Tab.44:Principali parametri di funzionamento dell'impianto fotovoltaico dedicato alla centrale termica.

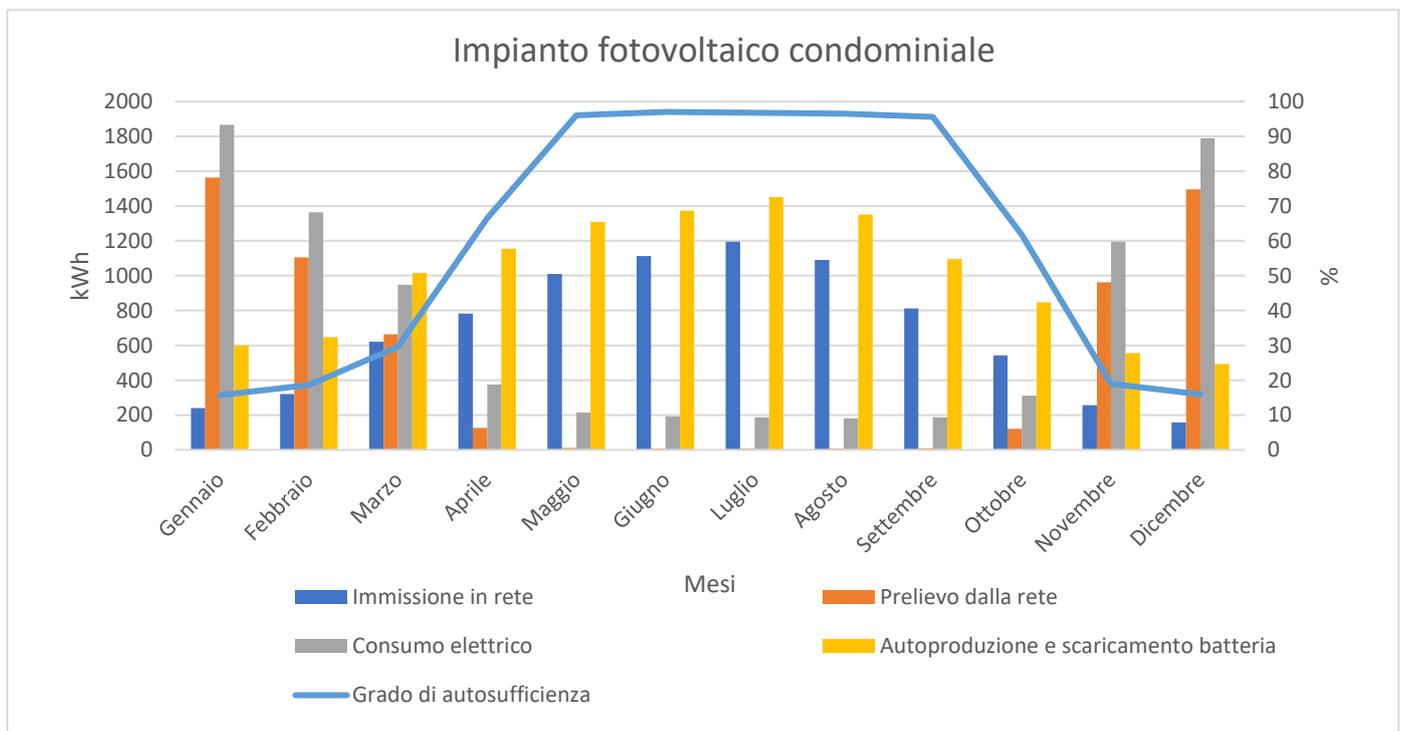


Fig.63 : Diagrammi dimostrativi delle varie prestazioni dell'impianto fotovoltaico dedicato alla centrale termica.

Come ovviamente è possibile osservare, l'impianto presenta tassi di autosufficienza molto bassi nel periodo invernale, circa il 16% mentre valori di circa il 97% nel periodo estivo; pertanto, nei mesi strettamente invernali il prelievo dalla rete risulta essere molto maggiore e di conseguenza anche i costi, mentre in tutti gli altri mesi l'edificio non presenta più costi dovuti ai carichi elettrici condominiali.

Per una maggiore trasparenza nei confronti degli utenti, si è scelto di simulare comunque quanto sarebbero cambiate le prestazioni di tale sistema se si fosse ipotizzato un unico impianto che comprendesse tutta la superficie a disposizione, pertanto un impianto da 39,36 kWp. Considerando il dimensionamento del generatore elettrico, si è supposto di utilizzare un sistema di accumulo che permettesse una capacità complessiva di 50 kWh. Si è ulteriormente supposto circa il medesimo profilo di carico elettrico, con un consumo annuale complessivo di circa 8790 kWh (dato ottenuto in concomitanza alle simulazioni dei software Termo e Polysun).

I risultati della simulazione hanno mostrato un tasso di autosufficienza nel mese di gennaio del 38,3% e nel mese di dicembre del 41.7%. Per quanto un aumento di circa il 25% del tasso di autosufficienza risulti essere un ottimo risultato, va evidenziato che tale traguardo è stato possibile ottenerlo andando a dimensionare un impianto più di quattro volte superiore rispetto a quello impostato precedentemente. Nel realizzarlo, è stato necessario utilizzare tutti gli impianti privati dei condomini, ciò comporta che ogni singola unità abitativa torna ad essere nuovamente soggetta ai costi delle bollette elettriche dell'intero anno ed a questi vanno sommati i costi dell'energia prelevata dalla rete per la restante parte di consumo dei componenti termici. Va comunque sottolineato che un impianto di grandi dimensioni, immetterebbe in rete una quantità di kWh maggiore e pertanto presenterebbe una maggiore retribuzione; tuttavia, tale remunerazione, al prezzo di vendita mostrato da ARERA, non risulterebbe economicamente conveniente sui condomini.

Fotovoltaico comune- simulazione			Annuale	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Grado di autosufficienza	Raut	%	57,1	38,3	51,5	69,7	90,6	97,6	97,8	97,7	97,2	96,6	94,1	52,9	41,7
Immissione in rete	Eteg	kWh	39.213	1.443	1.617	2.971	3.924	4.756	5.095	5.411	4.988	3.891	2.739	1.329	1.048
Prelievo dalla rete	Efeg	kWh	3.775	1.145	659	287	36,5	6,7	5,2	5,6	5,9	7,4	19,8	560	1.037
Autoproduzione e scaricamento batteria	Eacpb	kWh	47.309	2.624	2.812	4.159	4.461	5.032	5.332	5.641	5.225	4.149	3.207	2.432	2.235
Consumo elettrico	Ecs	kWh	8.792	1.862	1.360	946	376	215	193	187	182	186	310	1.191	1.785

Tab.45: Analisi dello sviluppo parametrico dell'impianto simulato.

5.8.6. Determinazione della nuova classe energetica

In parallelo a quanto è stato svolto nel capitolo inerente alla situazione ante intervento, anche per l'edificio efficientato è stata svolta l'analisi che ha permesso il nuovo calcolo della classe energetica, sia per le singole unità abitative, sia per l'edificio nel suo insieme. Come già ampiamente delucidato, si è andati a quantificare nuovamente la stima degli indici di energia primaria *EP* non rinnovabile delle varie tipologie di operatività del sistema: riscaldamento ($EP_{H,nren}$), acqua calda sanitaria ($EP_{W,nren}$) e raffrescamento ($EP_{C,nren}$). Si ribadisce che tali parametri vengono determinati andando a considerare il rapporto tra l'energia d'origine non rinnovabile necessaria per il raggiungimento del set termometrico desiderato e la superficie utile dell'edificio interessato.

Nuovamente, per lo svolgimento di tali calcoli non si tiene conto del fabbisogno elettrico dell'unità immobiliare avendo tutte la destinazione d'uso unicamente residenziale.

U.I.	Unità di misura	$EP_{H,nren}$	$EP_{W,nren}$	$EP_{C,nren}$	$EP_{gl,nren}$	Classe
Subalterno 1	kWh/m ²	20,0	4,8	0,0	24,8	A4
Subalterno 2	kWh/m ²	16,9	4,3	0,0	21,2	A4
Subalterno 3	kWh/m ²	22,8	4,2	0,0	27,0	A4
Subalterno 4	kWh/m ²	28,7	4,0	0,0	32,7	A4
Subalterno 5	kWh/m ²	40,9	5,1	0,0	46,0	A4
Subalterno 6	kWh/m ²	22,2	4,7	0,0	26,9	A4
Edificio	kWh/m ²	24,7	4,4	0,0	29,1	A4

Tab.46: Nuove classi energetiche determinate.

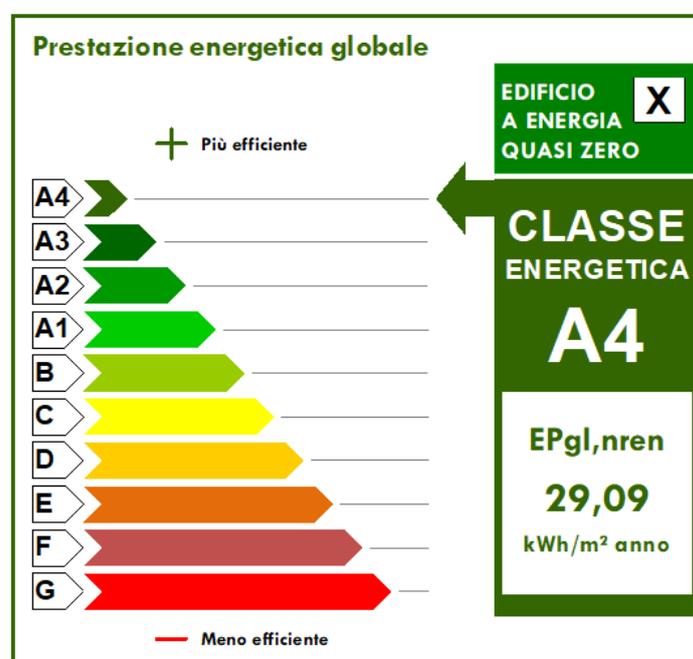


Fig.64 : Nuova suddivisione energetica estrapolata dal software Termo.

Come ci si poteva aspettare, l'analisi ha mostrato un innalzamento drastico della classe energetica dell'edificio. Il fattore che maggiormente influenza l'indice di prestazione energetica è sicuramente il fabbisogno di energia per il riscaldamento, in quanto si può notare una riduzione media oltre un ordine di grandezza di tale parametro. Particolarmente interessante risulta essere il quinto subalterno in quanto presenta un indice di valore quasi doppio rispetto alla media delle altre unità. Questo risulta essere imputabile alla presenza nel subalterno cinque sia di un vano scala che unisce il piano terra al piano interrato, sia per le pareti confinanti con il disimpegno comune d'ingresso del condominio. Tali strutture non sono state soggette ad interventi di coibentazione, per cui presenta una maggiore dispersione verso queste zone termiche non riscaldate.

5.8.7. Edificio nZEB (nearly Zero Energy Building)

È possibile notare, in Fig.64, via sia la presenza della spunta alla sezione “Edificio a energia quasi zero”. Tale appellativo, comunemente conosciuto come “nZEB”, è indice di un edificio a basso fabbisogno energetico sia durante il periodo invernale che durante il periodo estivo grazie all’installazione di impianti che utilizzano fonti rinnovabili.

Entrando più nel dettaglio, il D.L. 63/2013, convertito in Legge n.90 del 3 agosto 2013, definisce un edificio nZEB come: *“edificio ad altissima prestazione energetica, calcolata conformemente alle disposizioni del presente decreto, che rispetta i requisiti definiti al decreto di cui all’articolo 4, comma 1 (ovvero il D.M. 26/06/2015, cd. “Requisiti Minimi”). Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta all’interno del confine del sistema (in situ)”* [49].

Tali edifici, dunque, sono caratterizzati da alte prestazioni energetiche dovute all’utilizzo di materiali idonei alla coibentazione, alla riduzione delle dispersioni e degli apporti gratuiti; ma in particolare sono ideati per sopperire a gran parte dei loro fabbisogni energetici grazie all’installazione ed all’utilizzo di sistemi di produzione energetica d’origine rinnovabile localizzati nei pressi della struttura. Tali strutture, quindi, basano le loro prestazioni sul bilancio energetico complessivo dell’edificio.

Il paragrafo 3.4 dell’allegato 1 del D.M. 26/06/2015 (cd “Requisiti Minimi”), definisce i parametri da rispettare per gli nZEB. Il software Termo agevola tale analisi, in quanto presenta una sezione dedicata in cui calcola automaticamente se l’edificio soddisfa i criteri richiesti dal decreto ministeriale:

- coefficiente medio globale di scambio termico ($H'T$) deve essere inferiore al valore limite ($< 0,55 \frac{W}{m^2K}$);
- l’area solare equivalente estiva per unità di superficie utile deve essere inferiore al valore limite ($< 0,030$);
- $l'EP_{Hnd}$, indice di prestazione termica utile per riscaldamento, deve essere inferiore al limite di ($< 38,663 \frac{kWh}{m^2}$);
- $l'EP_{Cnd}$, indice di prestazione termica utile per raffrescamento, deve essere inferiore al limite ($< 21,555 \frac{kWh}{m^2}$);
- $l'EP_{gtot}$, indice di prestazione termica globale, deve essere inferiore al limite di ($< 132,419 \frac{kWh}{m^2}$);
- l’efficienza dell’impianto di riscaldamento (η_H) deve essere superiore al limite ($> 0,6131$);
- l’efficienza dell’impianto di acqua calda sanitaria (η_W) deve essere superiore al limite ($> 0,4166$);
- l’efficienza dell’impianti di raffrescamento (η_C) deve essere superiore al limite ($> 0,8471$);
- l’utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia termica è in grado di coprire almeno il 60,0% del fabbricato annuo di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria;
- l’utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia termica è in grado di coprire almeno il 60,0% del fabbisogno annuo di energia richiesta dall’utenza per il riscaldamento, il raffrescamento e la produzione di acqua calda sanitaria;
- la potenza elettrica degli impianti alimentati da fonti rinnovabili deve essere superiore al valore limite di 6,9 kWp.

Di seguito viene riportata una tabella che espone se tali vincoli sono stati rispettati.

Parametro	Unità di misura	Valore limite	Edificio	Varificato
$H'T$	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	< 0,55	0,24	<i>Si</i>
$\frac{A_{sol,est}}{A_{sol,utile}}$	[-]	≤ 0,030	0,030	<i>Si</i>
EP_{Hnd}	$\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$	< 38,663	34,718	<i>Si</i>
EP_{Cnd}	$\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$	< 21,555	18,713	<i>Si</i>
EP_{gltot}	$\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$	< 132,419	78,912	<i>Si</i>
η_H	[-]	> 0,6131	0,7698	<i>Si</i>
η_W	[-]	> 0,4166	0,6305	<i>Si</i>
η_C	[-]	> 0,8471	3,9007	<i>Si</i>
Copertura ACS da fonti rinnovabili	[-]	> 60%	84,9%	<i>Si</i>
Copertura totale da fonti rinnovabili	[-]	> 60%	63,1%	<i>Si</i>
Potenza elettrica installata	[kWp]	6,9 kWp	39,3 kWp	<i>Si</i>

Tab.47: Verifica dei parametri per l'attribuzione della classe nZEB.

5.9. Analisi economica preliminare

Trattata con dettaglio l'analisi energetica dell'efficientamento, è quantomeno importante poter effettuare un'analisi preliminare dell'incidenza economica che ha comportato l'intervento, al fine di stimare l'ordine di grandezza della spesa sostenuta e se questa rientra nei massimali di detrazione fiscali limite imposti dalla normativa del Superbonus.

In primo luogo, è importante chiarire la motivazione per la quale si è scelto di riportare solamente uno studio preliminare e non uno più accurato come è stato svolto per l'analisi energetica. Tale scelta è stata ponderata in quanto tale elaborato avrebbe potuto riportare informazioni sensibili e riservate dello studio associato Metroquadro S.N.C.; pertanto si è optato di svolgere una ricerca che permettesse principalmente di stimare se fosse possibile realizzare interamente l'intervento tramite l'incentivo fiscale oppure se una parte di esso abbia comportato un superamento dei limiti imposti.

5.9.1. Analisi del costo d'investimento iniziale

Per la stima della quota massima detraibile e anche per l'ammontare massimo di spesa sono state svolte alcune ipotesi di partenza che hanno permesso di semplificare la trattazione ma allo stesso tempo hanno garantito il mantenimento dell'affidabilità dei valori trovati:

- essendo che sia l'analisi che la realizzazione dell'intervento sono avvenute entro il 31 dicembre 2022, è stato possibile considerare come massimali di spesa detraibile quelli imposti dal Superbonus prima che subisse le modifiche avvenute a inizio 2023;
- per quanto riguarda il calcolo dell'effettiva spesa sostenuta, potendo riportare con esattezza i reali valori di costo, si è optato per eseguire una stima di ogni intervento basandosi su quelli che sono dei prezzi indicativi di riferimento presenti attualmente sul mercato. Questa soluzione permette comunque di determinare, con un margine d'errore ridotto, l'ordine di grandezza dell'importo complessivo, permettendo quindi il raggiungimento dell'obiettivo della stima. Si è scelto ulteriormente di considerare oltre all'importo effettivo delle opere, anche l'importo IVA inclusa, aggiungendo quindi un 10% ai valori effettivi. Come ultima considerazione, al fine di tener conto del costo della manodopera, si è optato di incrementare ulteriormente tutti gli importi trovati di un ulteriore 25%.

Nella tabella sottostante è possibile visualizzare i risultati che ha portato l'analisi preliminare della fattibilità economica dell'intero intervento.

SCHEMA QUADRO ECONOMICO DELL'INTERVENTO						
TIPOLOGIA D'INTERVENTO		MASSIMO DETRAIBILE TRAMITE IL BONUS			IMPORTO SPESE	
N.	TIPOLOGIA D'INTERVENTO	Massimale per UI/kW	n. UI/kW	MASSIMO IMPORTO DETRAIBILE	IMPORTO LAVORI IVA ESCLUSA	IMPORTO LAVORI IVA INCLUSA (10%)
1	Primo intervento trainante: CAPPOTTO ISOLAMENTO INVOLUCRO	€ 40.000,00	6	€ 240.000,00	€ 101.003,01	€ 111.103,31
2	Secondo intervento trainante: SOSTITUZIONE CENTRALE TERMICA	€ 20.000,00	6	€ 120.000,00	€ 56.750,00	€ 62.425,00
3	Primo intervento trainato: SOSTITUZIONE SERRAMENTI	€ 54.545,45	6	€ 327.272,70	€ 71.696,63	€ 78.866,29
4	Secondo intervento trainato: IMPIANTO FOTOVOLTAICO	€ 2.400,00	39,32	€ 94.368,00	€ 78.640,00	€ 86.504,00
5	Terzo intervento trainato: ACCUMOLO ELETTRICO	€ 1.000,00	79,5	€ 79.500,00	€ 56.250,00	€ 61.875,00
TOTALE				€ 861.140,70	€ 364.339,64	€ 400.773,61

Tab.48: Stima del costo iniziale d'investimento e massimali Superbonus 110%.

Come è possibile osservare, l'importo complessivo di tutte le opere copre solamente per il 46,5 % l'ammontare detraibile tramite l'incentivo fiscale. Anche in caso l'analisi fosse stata eseguita sottostimando i reali costi d'intervento, risulterebbe comunque disponibile un ampio margine prima di sfiorare i limiti imposti dal dispositivo di legge. Risulta, tuttavia necessario in caso tale condizione fosse verificata, prestare particolare attenzione per gli interventi riguardanti l'impianto fotovoltaico e il relativo sistema d'accumulo in quanto il valore stimato risulta essere inferiore al valore limite solamente per 8,3% nel caso dell'impianto elettrico e del 22,2% nel caso delle batterie.

5.9.2. Sviluppo del ritorno economico privo d'incentivazioni fiscali

Oltre allo sviluppo delle considerazioni che hanno portato alla stima dell'investimento iniziale, interamente coperto dall'incentivo fiscale; di altrettanto interesse risulta essere l'analisi di un ipotetico ritorno economico del medesimo investimento, se questo dovesse essere affrontato in mancanza di un effettivo incentivo fiscale.

Si suppone quindi uno studio economico incentrato piuttosto che sull'obiettivo di comprendere se l'ammontare della spesa rientri in qualche massimale imposto da un qualche dispositivo di legge, ma più focalizzato sul comprendere se quell'ipotetico investimento comporti effettivamente un guadagno tale da garantire un recupero della spesa in un lasso temporale coerente con le tecnologie installate.

Trattandosi di un'analisi ipotetica, sono stati supposti diversi possibili scenari basati principalmente su prezzi di vendita e acquisto dell'energia differenti in funzione dell'anno considerato.

- In primo luogo va evidenziato che per la trattazione, l'immissione dell'energia elettrica generata dai sistemi fotovoltaici non è stata considerata tenendo conto della formulazione basata sui prezzi minimi garantiti del ritiro dedicato, come invece considerato durante la trattazione dell'impianto fotovoltaico, bensì ci si è basati sul prezzo zonale orario in quanto non prevede la possibilità di un conguaglio dei prezzi a fine anno, che semplifica la trattazione dei dati forniti mensilmente da ARERA.
- Si è tenuto conto, come opzioni di sviluppo e approvvigionamento dati, una situazione più conservativa, basata sui dati di compravendita di energia sotto forma di gas e luce del 2019, principalmente con lo scopo di andare a creare una simulazione basata su valori non soggetti agli effetti dovuti alla pandemia SARS-CoV-2 e alla crisi Russia-Ucraina. Una seconda opzione tiene invece conto dei valori del primo e secondo trimestre 2023, andando inoltre ad ipotizzare un'oscillazione simile per i mesi successivi. Tale analisi risulta, ovviamente, essere la più attendibile oltre che attuale in quanto i suoi valori sono frutto dei cambiamenti sociopolitici avvenuti nei successivi quattro anni rispetto al precedente scenario.

Di seguito viene presentato lo sviluppo analitico e concettuale alla base delle varie analisi e i relativi risultati ottenuti.

Come già stata ampiamente trattato nei precedenti capitoli, lo scopo principale dell'efficientamento energetico presentato riguarda il ridurre il più possibile i consumi e di conseguenza i relativi fabbisogni di energia che i vari impianti devono fornire ai sottosistemi, focalizzandosi quindi in primo luogo sull'autoconsumo e solo successivamente sulla cessione dell'energia. Pertanto, il ritorno economico, a differenza di un normale impianto per la produzione d'energia, non è dettato da un guadagno dovuto ad una vendita ma dalla necessità di dover acquistare una quantità di energia notevolmente minore rispetto alla situazione ante intervento.

La determinazione di un effettivo guadagno annuale, è stato dunque reso possibile andando a considerare il fabbisogno di energia primaria annuale della caldaia per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria, nella situazione ante intervento. Determinata tale quantità di energia è stato considerato il prezzo di vendita del gas per l'utilizzo residenziale secondo le statistiche di Eurostat per il 2019 e, invece è stata considerata una media dei prezzi del primo e secondo trimestre 2023 presentati da ARERA. Attraverso tale valore è stato possibile determinare il costo annuale che l'edificio avrebbe dovuto sostenere prima di essere efficientato per poter far fronte al periodo invernale e alla produzione di acqua sanitaria.

Medesime considerazioni sono state effettuate per il fabbisogno elettrico, sia tenendo conto della climatizzazione estiva erogata dai condizionatori sia del fabbisogno di energia elettrica per le singole utenze, determinato attraverso il software Polysun. Il prezzo di acquisto della corrente elettrica è stato determinato nel medesimo modo considerato per il gas. La somma di questi due parametri costituisce quindi il costo annuale totale che l'edificio avrebbe dovuto affrontare per l'intero approvvigionamento energetico.

	Gas [€/kWh]	Elettricità [€/kWh]	Ritiro dedicato 2019 [€/kWh]
Prezzo Eurostat/ARERA 2019	0,076912	0,2301	0,053569188
Prezzo ARERA 2023	0,083027	0,3843	0,13917787

Tab.49: Confronto tra i prezzi di acquisto e vendita di gas ed elettricità per il 2019 e il 2023 secondo le statistiche di Eurostat e di ARERA.

Se si considera, ora la situazione della struttura post intervento il fabbisogno di energia primaria sia per la climatizzazione invernale che estiva subisce una riduzione, mentre vi è un aumento della necessità di energia per la produzione di acqua calda sanitaria. Vi è inoltre una redistribuzione della produzione energetica, maggiormente focalizzata intorno alla pompa di calore piuttosto che sulla caldaia a metano. Pertanto, è possibile osservare un aumento dei consumi elettrici che però vengono in parte sopperiti dalla produzione fotovoltaica.

Andando quindi a contabilizzare la quantità di energia acquistata sotto forma di corrente elettrica e gas è possibile notare come il costo annuale subisca una grande riduzione, principalmente dettato dal grande risparmio di acquisto di gas e dalla quota di energia elettrica immessa in rete che viene retribuita. La differenza tra il fabbisogno energetico nella situazione ante intervento e quello post-intervento, generano il ricavo netto annuale che l'efficientamento ha portato alla struttura.

SPESE ANNUALI						
		Acquisto gas [€]	Acquisto elettricità [€]	Immissione in rete [€]	CONSUMO TOTALE ANNUALE [€]	GUADAGNO NETTO [€]
2019	Edificio Ante Intervento	€ 15.241,22	€ 5.155,39	€ 0,00	€ 20.396,61	€ 18.082,17
	Edificio Post Intervento	€ 704,90	€ 2.938,38	€ 1.328,84	€ 2.314,44	
2023	Edificio Ante Intervento	€ 16.452,99	€ 8.610,24	€ 0,00	€ 25.063,23	€ 22.847,22
	Edificio Post Intervento	€ 760,94	€ 4.907,51	€ 3.452,45	€ 2.216,01	

Tab.50: Confronto tra i guadagni della situazione post interventi nei due scenari 2019 e 2023 .

Determinata il ricavo netto che l'edificio risparmia grazie alle opere di efficientamento, è stato possibile aggiornare negli anni tale valore andando quindi a determinare il valore attuale netto, rendendo quindi possibile stimare un tempo di ritorno dell'investimento in entrambi gli scenari. Per dimensionare tali valori, è tuttavia necessario stimare un tasso attualizzazione; parametro fondamentale e particolarmente

complesso da determinare, che tiene conto contemporaneamente di svariati aspetti economici strettamente connessi ad un investimento come l'inflazione, la tipologia d'investimento e la relativa opportunità che rappresenta, il rischio che comporta e il metodo con cui si decide di investire. In contesti quali investimenti nel settore delle rinnovabili, in particolare quando queste hanno solamente lo scopo di immettere energia per la rete nazionale, il tasso di attualizzazione assume valori dell'ordine di qualche punto percentuale (mediamente tra il 2% e il 4%), aspetto principalmente dovuto alla stagionalità e all'influenza degli aspetti meteorologici delle fonti rinnovabili. Questo indice, nel contesto in analisi, assume valori ancora più ridotti, circa 0,5% in quanto l'investimento in questione, a meno del sistema fotovoltaico e del solare termico, è soggetto a un rischio di non produttività pressoché nullo, essendo in grado di operare indipendentemente dalla fonte di approvvigionamento energetico [50].

Avendo messo, ora, in evidenza tutte le premesse e le considerazioni effettuate per lo sviluppo del flusso monetario, vengono di seguito mostrati gli andamenti dei due scenari, supponendo un periodo temporale di 25 anni, coerente con la stima di vita media di alcuni sistemi installati, come ad esempio l'impianto fotovoltaico.

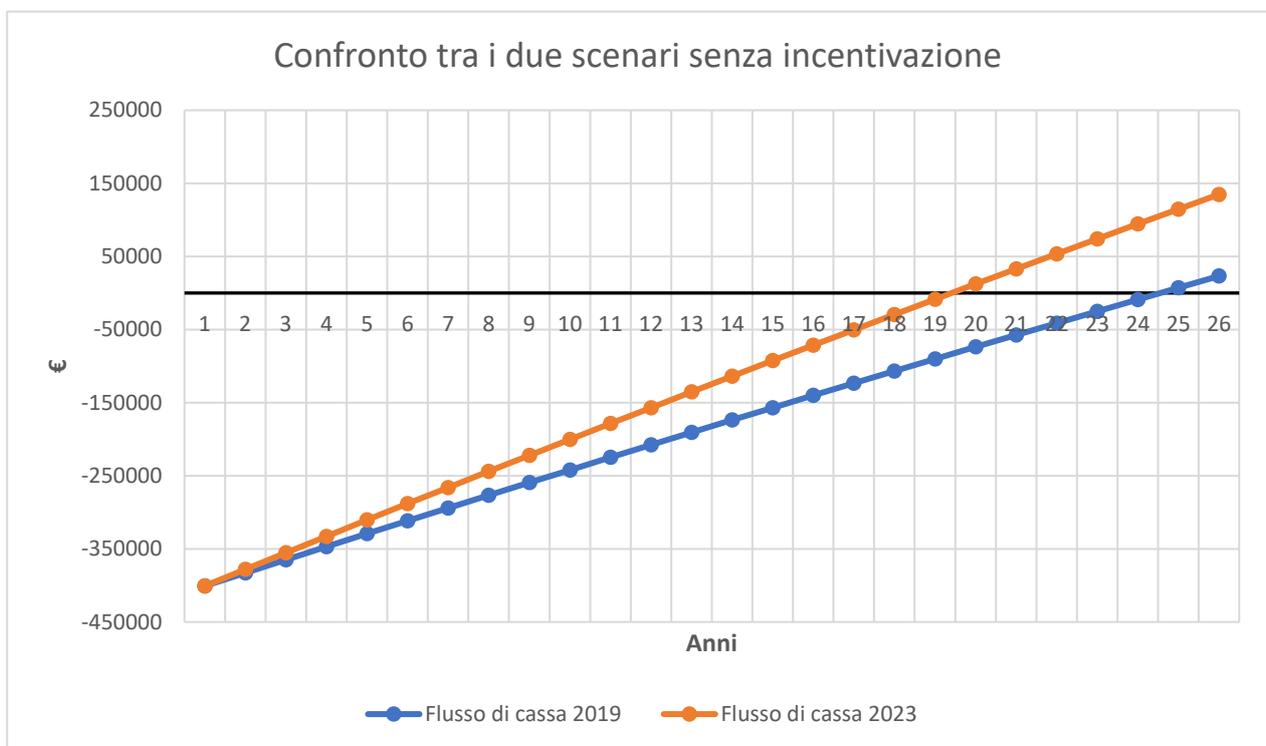


Fig.65 : Analisi del ritorno economico nei due scenari, senza la presenza di incentivi fiscali.

Come è possibile notare, i risultati mostrano un andamento più conservativo per lo scenario del 2019, nel quale è possibile stimare un tempo di ritorno pari a 23,4 anni; mentre il senario contemporaneo mostra uno sviluppo di crescita maggiore, consentendo un tempo di rientro dell'investimento iniziale pari a 18,4 anni. Queste conclusioni risultavano essere già facilmente intuibili una volta determinato il guadagno annuale, in cui è evidente che il periodo attuale risulta essere più economicamente conveniente.

Rimane, tuttavia, evidente come i risultati mostrino un generale tempo recupero della spesa non idoneo ad una reale ed effettiva realizzazione dell'intervento senza alcuna tipologia di incentivo fiscale. Quest'aspetto è dovuto principalmente alla considerazione che tale tipologia d'intervento mira, come già detto, a ridurre il costo d'esercizio piuttosto che alla cessione dell'energia come invece accade per

impianti di potenza che mirano a quel settore del mercato sfruttando la presenza di incentivi che garantiscono un recupero dell'investimento mediamente intorno ai primi dieci anni dalla realizzazione. È, quindi, evidente come la presenza di forme d'incentivazione fiscale risultino essere fondamentali per lo sviluppo e il proseguimento dello sviluppo energetico sostenibile nel settore dell'edilizia.

5.9.3. Sviluppo del ritorno economico tramite possibili varianti dell'incentivazione fiscale

La necessità sul territorio di incentivi fiscali nel settore in analisi non implica comunque la necessità di disporre di dispositivi di legge che garantiscano un rientro totale dell'investimento già fin dal primo anno, come appunto il Superbonus 110%. A tal proposito, si è optato di sviluppare un'ulteriore analisi che miri a determinare un tasso di incentivazione fiscale tale da consentire un rientro economico dell'investimento pari a dieci anni. Tale possibilità risulterebbe essere un ottimo sviluppo futuro rispetto all'attuale situazione, che garantirebbe un guadagno considerevole per l'utente il quale, dopo i primi dieci anni, disporrebbe di un altrettanto periodo di rendita tale da consentire un ulteriore investimento dei dispositivi che risultassero eccessivamente usurati alla fine del periodo considerato. Tale possibilità risulterebbe vantaggiosa anche per lo Stato che necessiterebbe di finanziamenti meno incisivi.

Considerando entrambi gli scenari visti in precedenza, si è considerato di ipotizzare due possibili forme di incentivazione fiscale:

- la prima prevede un nuovo ipotetico "Superbonus", con la possibilità di usufruire nuovamente dello sconto in fattura o della cessione del credito ma con un massimale detraibile inferiore;
- la seconda, invece, risulta essere una più semplice detrazione fiscale, che garantisca quindi nei primi dieci anni, oltre al normale guadagno netto dovuto agli interventi anche un'ulteriore entrata dovuta all'incentivo.

Il grafico seguente, mostra che per il raggiungimento del ritorno economico in dieci anni, risulta essere necessario, nel caso più conservativo (2019), usufruire di un incentivo di circa il 60% dell'investimento; condizione economicamente sfavorevole in un prossimo futuro dove la presenza di bonus con alti tassi di detrazione, come Superbonus ed Ecobonus, sarà notevolmente più limata.

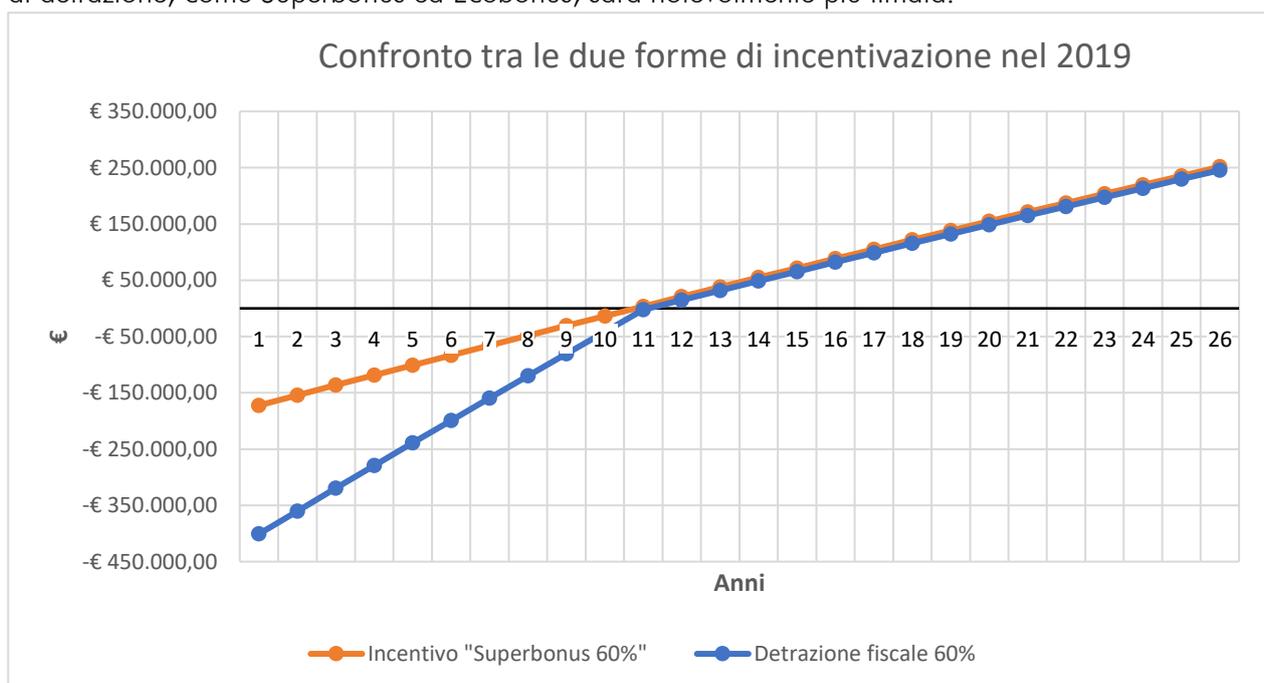


Fig. 66 : Confronto del ritorno economico delle due possibilità d'incentivazione nel 2019.

Situazione differente risulta essere lo scenario attuale (2023), dove per il conseguimento del medesimo obiettivo, risulta essere necessaria la presenza di un incentivo al massimo del 45%, il quale rappresenterebbe uno scenario futuro decisamente più coerente con gli sviluppi legislativi attuali.

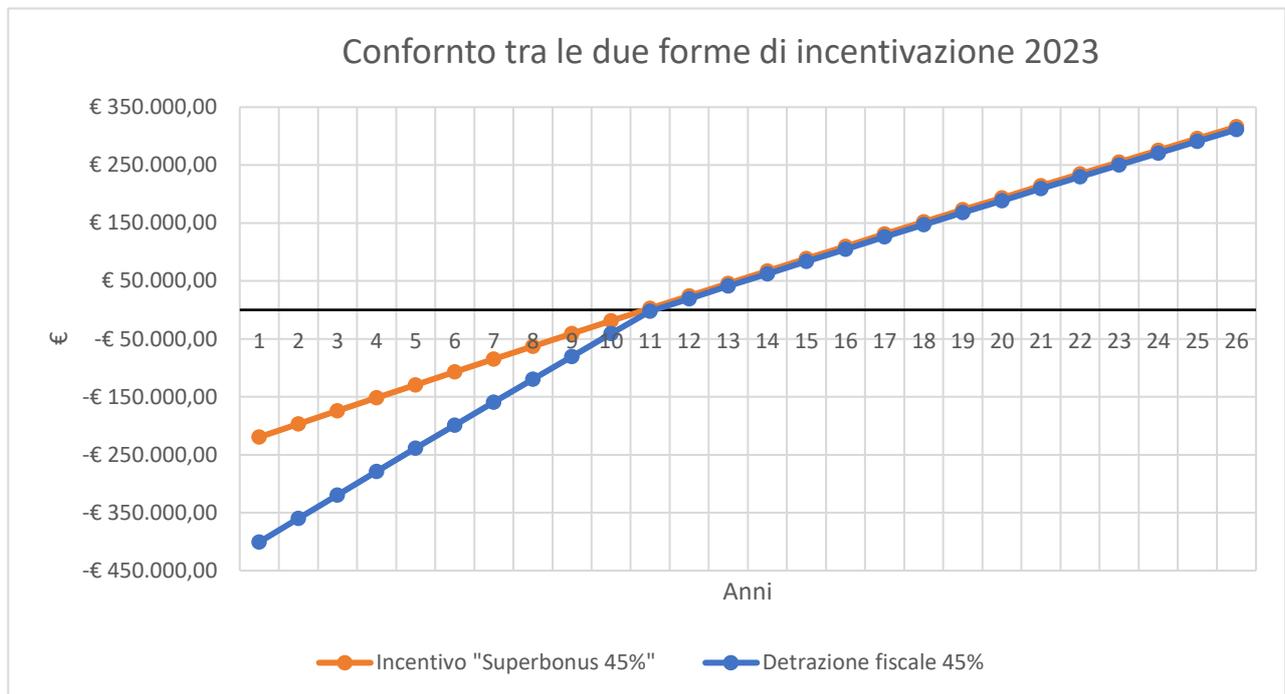


Fig.67 :Confronto del ritorno economico delle due possibilità d’incentivazione nel 2023.

Esattamente come per l’analisi senza incentivazione, lo scenario dell’anno corrente mostra ovviamente un margine di crescita maggiore sempre dovuto alla presenza di un ricavo netto annuale maggiore. Le due soluzioni mostrate, indipendentemente dall’anno in analisi, risultano essere vantaggiose in maniera simmetrica se ci si pone dal punto di vista degli utenti o dello Stato. Nel caso degli utenti, è altamente probabile che questi preferiscano una forma di incentivazione fiscale più simile al modello del “Superbonus” piuttosto che alla semplice detrazione fiscale in quanto comporta la necessità di effettuare un investimento ridotto a parità del medesimo guadagno economico alla fine del periodo considerato. Nel caso, invece, dal punto di vista dello Stato, sicuramente una forma d’incentivazione più incentrata sulla detrazione fiscale risulta essere ideale, in quanto comporta l’erogazione di una quota monetaria minore, ridistribuita inoltre in dieci anni.

6. Conclusione

Durante la stesura del trattato è stato possibile osservare nel dettaglio come lo studio e la conoscenza di differenti risorse possano integrarsi e cooperare tra loro sinergicamente al fine di massimizzare il risultato, raggiungendo ampiamente gli obiettivi preposti.

Come riportato nelle fasi iniziali del capitolo 5, l'analisi mostrata si è posta come traguardi il raggiungimento di un sistema complesso che garantisse, quanto più possibile, una riduzione dei consumi e dell'energia richiesta dall'intera struttura; in secondo luogo, tali migliorie avrebbero necessariamente comportato una netta riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera. Giunti ora, alla conclusione del trattato, è possibile notare come lo studio abbia pienamente raggiunto tali risultati evidenziando una nuova e promettente autosufficienza del complesso residenziale ed una complessiva riduzione delle emissioni di gas serra del 94%. Questi aspetti permettono di affermare come la nuova struttura rappresenti una linea guida da seguire per lo sviluppo e la riqualificazione sostenibile del patrimonio edilizio del Paese; caratteristica fondamentale in un futuro sempre più incentrato sulla ristrutturazione dell'esistenze piuttosto che sulle nuove costruzioni.

Ulteriore conferma del raggiungimento dei punti focali del trattato, viene rappresentato dall'attestazione della classificazione a edificio nZEB, che sancisce, oltre al rispetto delle normative vigenti nel campo della riqualificazione energetica, anche l'indipendenza della struttura dalle risorse esterne, siano queste rinnovabili o meno, dovuta dalla massiccia autoproduzione da fonti sostenibili.

Se da un lato sono stati raggiunti grandi traguardi dal punto di vista impiantistico energetico; risultati purtroppo meno rosei sono stati evidenziati dal punto di vista economico. Si è messo in luce come interventi di questo calibro comportino spese iniziali ingenti, difficilmente fattibili per le singole utenze a meno, come in questo caso, della presenza di incentivi fiscali che agevolino l'erogazione finanziaria.

È stato possibile osservare come l'assenza di agevolazioni, comporti un aumento del tempo di ritorno dell'investimento, non incentivando la realizzazione delle opere, in quanto comporterebbe un recupero della spesa in linea con la dismissione di alcune componentistiche installate, come ad esempio il sistema fotovoltaico. Tali analisi mostrano come la presenza sul territorio di incentivi economici, più o meno ingenti, che favoriscano lo sviluppo di tali interventi siano fondamentali per garantire il proseguimento delle politiche volte al raggiungimento della neutralità delle emissioni. Tali incentivi, tuttavia, non necessariamente devono garantire la totale ed immediata copertura della quota investita, come ad esempio è stato per il Superbonus 110%, in quanto, agevolazioni di tale calibro, comportano un ingente spesa per le casse dello Stato, un aumento dei tentativi di frode e soprattutto una maggiore non curanza da parte dei progettisti nel settore a focalizzarsi sul corretto dimensionamento degli interventi.

Quest'ultima affermazione rappresenta nello specifico uno dei principali punti deboli del Superbonus 110%; infatti è stato possibile notare che, negli ultimi anni in cui l'incentivo ha svolto un ruolo fondamentale sul mercato, vi è stata una tendenza a trascurare il corretto dimensionamento degli interventi, focalizzandosi più facilmente sul sovradimensionamento, ignorando totalmente la componente economica. Ciò ha comportato un aumento delle spese pubbliche e di conseguenza continue varianti dei dispositivi di legge, portandoli verso un futuro dove sarà possibile assistere a una loro sempre più ristretta presenza. Con quanto citato pocanzi, tale situazione comporterebbe un rallentamento dello sviluppo sostenibile e ad una visione di queste agevolazioni più come un "occasione" da sfruttare sul momento, piuttosto che un vero e proprio strumento strutturato nel tempo ed economicamente stabile.

Bibliografia e Sitografia

- [1] « Energia »; Autori: Antonio Caputo, Francesca Giordano, Giulia Iorio; Fonti: ISPRA, ARERA, ENEA.
- [2] « Quadro 2030 per il clima e l'energia »; sito online: <https://energia.regione.emilia-romagna.it/piani-programmi-progetti/politiche-europee/quadro-2030>
- [3] « Accordo di Parigi sui cambiamenti climatici »; sito online:
<https://www.consilium.europa.eu/it/policies/climate-change/paris-agreement/>
- [4] « Storia normativa energetica del settore edilizio: genesi e prospettive »; Autore: Arch. Emanuele Meloni; sito online: <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/storia-normativa-energetica-settore-edilizio/>
- [5] « Superbonus 110% »; sito online:
https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/documents/20143/233439/Guida_Superbonus_110_2022.pdf/21e9100a-9d7e-f582-4f76-2edcf1797e99
- [6] « Decreto legislativo 6 agosto 2020 »; sito online:
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/10/05/20A05394/sg%20decreto%206%20agosto%202020>
- [7] « Superbonus 2023 da 110 a 90%: guida con novità cessione e sconto in fattura »; sito online: <https://www.ticonsiglio.com/superbonus-2023/>
- [8] « Report dati mensili 31/12/2022 »; Fonte: ENEA; sito online:
https://www.energiaenergetica.enea.it/images/detrazioni/Avvisi/Report_dati_mensili_31_12_2022.pdf
- [9] « Positivo il bilancio economico, sociale e ambientale del Superbonus 110. Lo studio di Nomisma e Ance Emilia »; sito online: <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/positivo-bilancio-superbonus-nomisma/>
- [10] « La dimensione economica del Superbonus »; sito online: <https://temi.camera.it/leg19/post/la-dimensione-economica-del-superbonus.html>
- [11] « Superbonus 110%, la Circolare delle Entrate: cosa cambia »; sito online:
<https://www.leggioggi.it/superbonus-110-decreto-antifrode/>
- [12] « Ecobonus e Superbonus per la transizione energetica del Paese »; Fonte: CENSIS; sito online: https://www.censis.it/sites/default/files/downloads/4_Censis%20Superbonus_def-ok.pdf
- [13] « Centri storici non sono vincolati per legge, ma attraverso dichiarazione apposita »; Autore: Carlo Pagliai; sito online: <https://www.studiotecnicoPagliai.it/centri-storici-non-sono-vincolati-per-legge-ma-attraverso-dichiarazione/#:~:text=Un%20centro%20storico%2C%20per%20diventare,previsione%20nel%20piano%20paesaggistico%20regionale>
- [14] « Zone climatiche: Tabella A aggiornata D.P.R. 412/1993 »; sito online: <https://www.certifico.com/impianti/documenti-impianti/337-documenti-impianti-riservati/7099-zone-climatiche-tabella-a-aggiornata-d-p-r-412-1993>
- [15] « La muratura a cassa vuota »; sito online: <https://edilizia-in-un-click.starbuild.it/2019/06/la-muratura-a-cassa-vuota.html>
- [16] « Solaio in laterocemento »; sito online: https://it.wikipedia.org/wiki/Solaio_in_laterocemento
- [17] « Scheda tecnica Unical MODAL »; sito online:
https://www.unicalag.it/upload/blocchi/X315allegatoDEPLIANT1-1X_modal_05-2021_it.pdf

- [18] «Catalogo Emmeti»; sito online: <https://www.schede-tecniche.it/schede-tecniche-climatizzatori/EMMETI-catalogo-listino-climatizzazione-2018.pdf>
- [19] «Logo software Termo Namirial S.p.a »; sito online: <https://www.cadlinesw.com/wp-content/uploads/2021/11/logo-termo.png>
- [20] «Logo software PolySun di Vela Solaris »; sito online: <https://www.velasolaris.com/?lang=en>
- [21] «Analisi della flessibilità della domanda di energia elettrica residenziale in Italia»; Autori: Luca Barbierato, Valter Bella, Fabio Bellifemine, Massimo Gallanti, Simone Maggiore
- [22] «Allegato I, Articolo 4, Comma 4 del Decreto Interministeriale del 26 giugno 2015»
- [23] «Insufflaggio delle pareti: vantaggi e svantaggi»; sito online: <https://www.lucamarcenaro.it/blog-sul-risparmio-energetico-ed-energie-rinnovabili/28-insufflaggio-delle-pareti-vantaggi-e-svantaggi.html>
- [24] «Materiale didattico/Slide Professor Capozzoli»
- [25] «Scheda tecnica FKLG EPS 030 Ferritherm»
- [26] «Scheda tecnica K-FOAM C-350 LJ Knauf Insulation»
- [27] «Scheda tecnica serramenti REHAU»; sito online: <https://window.rehau.com/it-it/serramentisti/sistemi-finestre-risparmio-energetico>
- [28] «Vetro basso emissivo»; sito online: <https://biblus.acca.it/guida-al-vetro-in-edilizia-i-vetri-bassoemissivi/#:~:text=Vetro%20basso%20emissivo%2C%20caratteristiche,ottimale%20di%20luce%20dall'esterno>
- [29] «Scheda tecnica PLANITHERM 4S+ Saint-Gobain»; sito online: <https://www.saint-gobain-glass.it/it/planitherm4s-piu>
- [30] «Soluzione VELUX 3 in 1 – Scheda tecnica Velux»
- [31] «Scheda tecnica Pompa di Calore NXHM 004 ÷ 016»
- [32] «Pompa di calore: guida definitiva al funzionamento e altre info essenziali»; sito online: <https://lucegas.it/guida/efficienza-energetica/pompe-di-calore/funzionamento>
- [33] «Funzionamento caldaia a condensazione, caratteristiche e differenze»; sito online: <https://blog.blueenergygroup.it/funzionamento-caldaia-a-condensazione-caratteristiche-e-differenze#:~:text=Nella%20caldaia%20a%20condensazione%2C%20quando,viene%20poi%20sfruttato%20dagli%20scambiatori>
- [34] «Scheda tecnica caldaia murali a condensazione Family»
- [35] «Solare termico: come funziona, caratteristiche e costi»; sito online: <https://innovasol.it/solare-termico-come-funziona-e-costi/>
- [36] «Scheda tecnica collettore solare RIELLO RPS 25/2 EVO»
- [37] «Scheda tecnica accumulo termico RIELLO 7200 80 HP»
- [38] «Scheda tecnica radiatori a basse temperature Emmeti E2»; sito online: <https://www.schede-tecniche.it/schede-tecniche-radiatori/EMMETI-scheda-tecnica-radiatori-E2.pdf>
- [39] «Che cosa sono le valvole termostatiche e come funzionano?»; sito online: <https://it.hudsonreed.com/info/blog/cosa-sono-le-valvole-termostatiche-e-come-funzionano/>
- [40] «Scheda tecnica climatizzatore inverter X-REVO 1819D»
- [41] «Scheda tecnica climatizzatore trial inverter X-REVO 2419T-21»

- [42] «Scheda tecnica Hyunday Solar Module VG Series»
- [43] «Tecnologia PERC, una struttura della cella innovativa per una efficienza migliore»; sito online: <https://sun-earth.it/tecnologia-perc-una-struttura-della-cella-innovativa-per-una-efficienza-migliore/>
- [44] «Pannelli fotovoltaici con tecnologia Shingled »; sito online: <https://solarplace.net/articles/pannelli-con-tecnologia-shingled>
- [45] «Scheda tecnica batterie ZCS Azzurro Weco 5K3 XP »
- [46] «Accumulatore litio-ferro-fosfato»; sito online: https://it.wikipedia.org/wiki/Accumulatore_litio-ferro-fosfato
- [47] «Scheda tecnica ZCS Azzurro inverter 3PH HYD5000 ZSS »
- [48] «Ritiro dedicato Superbonus 110% e fotovoltaico»; sito online: <https://innovasol.it/ritiro-dedicato-superbonus-110-fotovoltaico/>
- [49] «Efficienza energetica: tutti gli edifici in nZEB dal 1° gennaio 2021»; sito online: <https://www.ingenioweb.it/articoli/efficienza-energetica-tutti-gli-edifici-in-nzeb-dal-1-gennaio-2021/>
- [50] «Materiale didattico/Slide Professor Leone»

Ringraziamenti

Al termine di questo mio lungo percorso, composto di sacrifici, dubbi, ansie ma anche di grandi gioie, speranze e soddisfazioni; dedico un mio pensiero a ringraziare tutte quelle persone che mi sono state a fianco e mi hanno sostenuto e supportato.

Ci tengo in primis a ringraziare la mia famiglia, senza la quale non avrei mai potuto affrontare né tanto meno iniziare quest'avventura. Ringrazio il Prof. Fracastoro e il Prof. Fabrizio per la pazienza e la gentilezza con la quale mi hanno aiutato a concludere quest'ultimo periodo.

Un ringraziamento speciale va all'Ing. Marco Suppo e al Geom. Luca Fontana per avermi dato la possibilità di avvicinarmi questo aspetto del mondo lavorativo, insieme a tutti i membri dello studio associato Metroquadro SNC, con i quali, anche se per un breve periodo, ho avuto la possibilità di conservare dei bellissimi ricordi.

Infine, ma non per importanza, un mio grandissimo Grazie va a tutti i miei amici con i quali ho avuto la fortuna di condividere tutte queste mie esperienze, e che sicuramente senza di loro, non sarei la persona che sono oggi.

Grazie!

Enrico