

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Meccanica, Aerospaziale, dell'Autoveicolo e della Produzione

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Meccanica**

Tesi di Laurea Magistrale

Lavori di efficientamento energetico di un immobile per civile abitazione usufruendo del Superbonus 110%



**Politecnico
di Torino**

Relatore

Prof. Marco Carlo Masoero

Candidato

Giovanni Occhipinti

Ottobre 2022

INDICE

INTRODUZIONE.....	5
CAPITOLO 1: IL SUPERBONUS 110%.....	7
1.1 INTRODUZIONE AL SUPERBONUS	7
1.2 L'AGEVOLAZIONE.....	8
1.3 CHI PUÒ USUFRUIRNE.....	10
1.4 LA MISURA DELLA DETRAZIONE	11
1.5 INTERVENTI AGEVOLABILI.....	12
1.5.1 INTERVENTI PRINCIPALI O TRAINANTI	12
1.5.2 INTERVENTI AGGIUNTIVI O TRAINATI	13
1.6 REQUISITI DEGLI INTERVENTI AMMESSI AL SUPERBONUS.....	16
1.7 ALTERNATIVE ALLE DETRAZIONI	20
CAPITOLO 2 – EDIFICIO ANTE INTERVENTO.....	21
2.1 CARATTERIZZAZIONE DELL'EDIFICIO OGGETTO DI INTERVENTO	21
2.1.1 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO	21
2.1.2 CARATTERIZZAZIONE SPAZIALE.....	22
2.1.3 CARATTERIZZAZIONE CLIMATICA	22
2.2 STRATIGRAFIA SUPERFICI DISPERDENTI.....	23
2.2.1 SUPERFICI OPACHE VERTICALI.....	24
2.2.2 SUPERFICI OPACHE ORIZZONTALI.....	31
2.2.3 SERRAMENTI.....	39
2.3 IMPIANTI.....	41
2.3.1 IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE	41
2.3.2 IMPIANTI PER LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA.....	43
2.4 DISPERSIONI INVERNALI	44
2.4.1 DISPERSIONI ATTRAVERSO L'INVOLUCRO	44
2.4.2 DISPERSIONI TOTALI.....	46

2.5 CALCOLO DELLA CLASSE ENERGETICA DELL'EDIFICIO	48
2.5.1 FABBISOGNO DI ENERGIA PER IL RISCALDAMENTO	49
2.5.2 FABBISOGNO DI ENERGIA PER L'ACQUA CALDA SANITARIA.....	50
2.5.3 FABBISOGNO DI ENERGIA PER IL RAFFRESCAMENTO	52
2.5.4 FABBISOGNO DI ENERGIA PER L'ILLUMINAZIONE	53
2.5.5 CLASSE ENERGETICA EDIFICIO.....	54
CAPITOLO 3 – INTERVENTI MIGLIORATIVI	56
3.1 ISOLAMENTO TERMICO DELLE SUPERFICI OPACHE	56
3.1.1 SUPERFICI OPACHE VERTICALI.....	57
3.1.2 SUPERFICI OPACHE ORIZZONTALI.....	60
3.2 INFISSI	63
3.3 IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE INVERNALE	65
3.3.1 POMPA DI CALORE AD ALTA EFFICIENZA	65
3.3.2 SISTEMA IBRIDO	67
3.4 SCALDA ACQUA A POMPA DI CALORE.....	71
3.5 DISPOSITIVI DI REGOLAZIONE EVOLUTI.....	73
3.5.1 VALVOLE TERMOSTATICHE	73
3.5.2 CONTROLLO AMBIENTALE EVOLUTO.....	74
3.6 SOLARE TERMICO	75
3.7 IMPIANTO FOTOVOLTAICO	77
3.8 ASCENSORE	79
3.9 RIEPILOGO RISPARMI DI ENERGIA	80
CAPITOLO 4 – EDIFICIO POST INTERVENTO.....	81
4.1 STRATIGRAFIA SUPERFICI DISPERDENTI	82
4.1.1 SUPERFICI OPACHE VERTICALI.....	82
4.1.2 SUPERFICI OPACHE ORIZZONTALI	85
4.1.3 SERRAMENTI	88

4.2 IMPIANTI.....	89
4.2.1 IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE	89
4.2.2 IMPIANTI PER LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA.....	91
4.3 DISPERSIONI INVERNALI	92
4.3.1 DISPERSIONI ATTRAVERSO L'INVOLUCRO	92
4.3.2 DISPERSIONI TOTALI.....	94
4.4 CALCOLO DELLA CLASSE ENERGETICA DELL'EDIFICIO	96
4.4.1 FABBISOGNO DI ENERGIA PER IL RISCALDAMENTO	96
4.4.2 FABBISOGNO DI ENERGIA PER L'ACQUA CALDA SANITARIA.....	98
4.4.3 FABBISOGNO DI ENERGIA PER IL RAFFRESCAMENTO	100
4.4.4 FABBISOGNO DI ENERGIA DELL'EDIFICIO.....	102
4.4.5 CLASSE ENERGETICA EDIFICIO.....	103
CONCLUSIONE	105
RINGRAZIAMENTI	107
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	108
ALLEGATI.....	110

INTRODUZIONE

Con il decreto Rilancio (DL 34/2020) è stato introdotto il Superbonus 110%, con il fine di rilanciare rapidamente il settore dell'edilizia e come risposta al “Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima” (PNIEC) grazie al quale l'aliquota di detrazione, per specifici interventi di efficientamento energetico e adeguamento antisismico, è stata incrementata al 110%.



Figura 1 - Logo Superbonus 110% [9]

L'elaborato si basa su un'applicazione del Super Ecobonus, è stato preso in esame un caso reale di ristrutturazione e sono stati valutati gli interventi migliorativi da eseguire al fine di migliorare l'efficienza energetica dell'edificio e rientrare nei parametri stabiliti dal Superbonus.

In particolare, l'elaborato si articola in:

- CAPITOLO 1. Introduzione al Superbonus: soggetti che possono beneficiarne, tipologie di intervento agevolabili, limiti di spesa, modalità di erogazione e requisiti da rispettare;
- CAPITOLO 2. Descrizione dell'edificio oggetto della ristrutturazione: caratterizzazione termica e geografica dell'edificio, presentazione delle superfici disperdenti e degli impianti esistenti. Una volta elencati tutti i dati necessari ai calcoli e presentati i risultati, ottenuti tramite software, è stata determinata la classe energetica dell'edificio;
- CAPITOLO 3. Analisi degli interventi migliorativi da realizzare al fine di migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio;
- CAPITOLO 4. Calcolo della nuova classe energetica e verifica che tutti i requisiti della normativa vigente siano stati rispettati al fine di poter usufruire della detrazione. È stato infine verificato il miglioramento dell'efficienza energetica dell'edificio tramite un confronto dei consumi energetici tra ante e post intervento;

- **CONCLUSIONE.** Resoconto dell'intervento svolto e presentazione dei pro e dei contro dovuti all'introduzione del Superbonus.

Lo studio di fattibilità e l'intervento sull'edificio in esame è stato effettuato in collaborazione con lo Studio Tecnico Giannone, responsabile della parte di calcolo energetico e progettazione degli impianti, e alla Dione Edilizia S.R.L., impresa edile che si è occupata della realizzazione dei lavori e ha permesso di effettuare dei sopralluoghi in cantiere.



Figura 2 - Logo Studio Tecnico Giannone



Figura 3 - Logo Dione Edilizia S.R.L.

CAPITOLO 1: IL SUPERBONUS 110%

1.1 INTRODUZIONE AL SUPERBONUS

Con il decreto Rilancio (DL 34/2020), tra le misure introdotte a sostegno del lavoro e dell'economia, l'aliquota di detrazione per le spese relative a specifici interventi, quali il miglioramento dell'efficienza energetica, la riduzione del rischio sismico e l'installazione di impianti fotovoltaici e di infrastrutture per la ricarica dei veicoli elettrici negli edifici, è stata incrementata al 110% per spese sostenute nel periodo dal 1° luglio 2020 al 31 dicembre 2021.

Le disposizioni introdotte col Superbonus si aggiungono alle detrazioni già esistenti per:

- Recupero del patrimonio edilizio (Sismabonus)
- Riqualificazione energetica degli edifici (Ecobonus)

Successivamente, con la legge di bilancio 2021 (legge n.178 del 30 dicembre 2020), il Superbonus è stato prorogato fino al 30 giugno 2022 e, in determinate situazioni, fino al 30 giugno 2023.

1.2 L'AGEVOLAZIONE

La detrazione, dall'imposta lorda, è concessa, ai sensi dell'art. 119 del decreto Rilancio (DL 34/2020), nel caso in cui si eseguano specifici interventi di miglioramento dell'efficienza energetica o interventi antisismici su edifici esistenti.

In particolare, le seguenti tipologie di intervento beneficiano della detrazione maggiorata per spese sostenute dal 1° luglio 2020 al 30 giugno 2022:

- Interventi di isolamento termico su superfici opache che riguardino almeno il 25% della superficie disperdente lorda dell'edificio, siano esse verticali, orizzontali o inclinate. Nell'agevolazione rientrano anche gli interventi di isolamento termico del tetto, considerato come una superficie disperdente anche in presenza di un locale sottotetto non riscaldato.
- Interventi di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti, siano essi autonomi o centralizzati, con dei nuovi che abbiano una migliore efficienza energetica. Rientrano in questa categoria anche gli interventi sugli impianti di raffrescamento e produzione dell'acqua calda sanitaria.
- Interventi antisismici.

La detrazione viene inoltre concessa per altre tipologie di intervento, a condizione che vengano eseguiti congiuntamente ad almeno uno degli interventi elencati in precedenza.

In particolare, questi interventi riguardano:

- Interventi finalizzati alla rimozione delle barriere architettoniche, per migliorare la mobilità ad individui portatori di handicap o di età superiore a sessantacinque anni;
- Installazione di postazioni per la ricarica di veicoli elettrici;
- Installazione di impianti fotovoltaici connessi alla rete elettrica;
- Installazione di sistemi di accumulo integrati negli impianti fotovoltaici agevolati;

La detrazione è inoltre cumulabile con le agevolazioni già previste dalla legislazione vigente:

- Interventi di riqualificazione energetica, detrazione che va dal 50% al 85%, che non sono stati effettuati congiuntamente a quelli che danno diritto al Superbonus ma rientranti nell'Ecobonus;
- Installazione di impianti fotovoltaici e installazione, contestuale o successiva, di sistemi di accumulo collegati agli impianti fotovoltaici, non rientranti nell'Superbonus, ma che rientrano

negli interventi finalizzati al risparmio energetico, detrazione pari al 50% delle spese sostenute da ripartire in 10 quote annuali;

- Installazione di postazioni per la ricarica dei veicoli elettrici diversi da quelli che danno diritto al Superbonus, detrazione pari al 50%;

Per interventi che godono di differenti agevolazioni, il contribuente può avvalersi di una sola delle agevolazioni per le medesime spese.

Per la realizzazione di più interventi, rientranti in più categorie agevolabili, il contribuente può fruire di ciascuna agevolazione, sempre nei limiti di spesa e rispettando gli adempimenti previsti, a condizione che le spese, riferite ai diversi interventi, siano contabilizzate in modo distinto.

1.3 CHI PUÒ USUFRUIRNE

I soggetti che possono usufruire delle detrazioni previste dal Superbonus sono:

- I condòmini, nel caso di edifici composti da due a quattro unità immobiliari distintamente accatastate, per interventi sulle parti comuni degli edifici. Se alla data del 30 giugno 2022 è stato effettuato almeno il 60% dei lavori, allora la detrazione del 110% spetta anche per le spese sostenute entro il 31 dicembre 2022;
- Le persone fisiche, a condizione che nella singola unità immobiliare non siano svolte attività di impresa, arti o professioni;
- Gli Istituti autonomi case popolari (Iacp) e gli enti aventi le medesime finalità, per interventi su immobili, per edilizia residenziale pubblica, di loro proprietà o gestiti per conto dei Comuni;
- Le cooperative di abitazione a proprietà indivisa;
- Le organizzazioni non lucrative di utilità sociale e organizzazioni di volontariato;
- Le società sportive dilettantistiche, per interventi riguardanti immobili o parti di immobili adibiti a spogliatoi;

Per avere diritto alla detrazione i soggetti, che possiedono o detengono l'immobile, devono essere in possesso di un titolo idoneo che ne attesti la proprietà al momento dell'inizio dei lavori o al momento in cui vengono sostenute le spese.

Inoltre, nel caso di partecipazione alle spese per interventi trainanti effettuati sulle parti comuni di un condominio, anche i titolari di reddito d'impresa o professionale rientrano tra i beneficiari della detrazione.

1.4 LA MISURA DELLA DETRAZIONE

La detrazione del 110% delle spese sostenute per gli interventi è da ripartire, tra gli aventi diritto, in 5 quote annuali di pari importo, per spese sostenute dal 1° luglio 2020 al 30 giugno 2022, e in 4 quote annuali di pari importo per la parte di spesa sostenuta nell'anno 2022.

La detrazione è ammessa entro il limite dell'imposta annua derivante dalla dichiarazione dei redditi. La quota annua di detrazione eccedente l'imposta lorda, non può essere utilizzata nei periodi di imposta successivi né essere chiesta a rimborso.

Il Superbonus spetta per le spese sostenute da persone fisiche per gli interventi realizzati su un massimo di due unità immobiliari, per interventi su edifici unifamiliari, o edifici plurifamiliari funzionalmente indipendenti. Tale limitazione non è valida per gli interventi antisismici e per interventi effettuati su parti comuni dell'edificio (es. condominio).

Per l'applicazione dell'aliquota corretta bisogna fare riferimento:

- Alla data dell'effettivo pagamento per le persone fisiche e gli enti non commerciali (criterio di cassa);
- Alla data di ultimazione della prestazione per le imprese individuali e gli enti commerciali (criterio di competenza).

1.5 INTERVENTI AGEVOLABILI

1.5.1 INTERVENTI PRINCIPALI O TRAINANTI

1.5.1.1 Interventi di isolamento termico degli involucri edilizi

Sono interventi di isolamento delle superfici opache che delimitano i volumi riscaldati, verso l'esterno, verso il terreno o verso locali non riscaldati.

Il Superbonus spetta per interventi su superfici opache verticali, orizzontali e inclinate, che rientrano nei parametri di trasmittanza U [W/m^2K] stabiliti nel decreto del 6 agosto 2020 del Ministro dello Sviluppo Economico, con un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente totale dell'edificio.

I materiali utilizzati per migliorare l'isolamento termico dell'edificio devono inoltre rientrare nei criteri ambientali minimi stabiliti dal decreto del Ministro dell'ambiente e tutela del territorio e del mare del 11 ottobre 2017.

I limiti di spesa per tali interventi sono:

- 50.000 euro, per edifici unifamiliari o per unità immobiliari, site all'interno di edifici plurifamiliari, funzionalmente indipendenti.
- 40.000 euro, moltiplicato per il numero di unità immobiliari, per edifici composti da due a otto unità immobiliari.
- 30.000 euro, moltiplicato per il numero di unità immobiliari, per edifici composti da più di otto unità immobiliari.

1.5.1.2 Interventi di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale sulle parti comuni

Sono interventi di sostituzione di impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti di tipo centralizzato per riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria.

Gli impianti che godono dell'agevolazione sono composti da:

- Generatori di calore a condensazione (caldaie) che, come prevede il regolamento delegato (UE) n. 811/2013 della Commissione del 18 febbraio 2013, abbiano un'efficienza almeno pari alla classe A;
- Generatori a pompa di calore ad alta efficienza;
- Generatori ibridi, costituiti da una pompa di calore integrata ad una caldaia a condensazione, che siano stati concepiti dal produttore per funzionare in abbinamento tra loro ed assemblati in fabbrica;

- Sistemi di microgenerazione;
- Collettori solari;

I limiti di spesa per tali interventi sono:

- 20.000 euro, moltiplicato per il numero di unità immobiliari, per edifici composti da due a otto unità immobiliari.
- 15.000 euro, moltiplicato per il numero di unità immobiliari, per edifici composti da più di otto unità immobiliari.

1.5.1.3 Interventi di sostituzione di impianti di climatizzazione invernale su edifici unifamiliari o su unità immobiliari di edifici plurifamiliari

Per quanto riguarda gli interventi su edifici unifamiliari o plurifamiliari che siano funzionalmente indipendenti, questi sono i medesimi del caso di interventi sulle parti comuni di edifici plurifamiliari, con l'aggiunta della possibilità di installare delle caldaie a biomassa, con valori emissivi di classe di qualità 5 stelle, come previsto dal Decreto n.186 del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare del 7 novembre 2017.

Il limite di spesa è pari a 30.000 euro, per ogni unità immobiliare, e comprende anche le spese di smaltimento e bonifica dell'impianto sostituito.

1.5.2 INTERVENTI AGGIUNTIVI O TRAINATI

Oltre che per gli interventi trainanti, elencati in precedenza, il Superbonus spetta anche per le spese sostenute per ulteriori categorie di interventi, a patto che questi vengano eseguiti congiuntamente ad almeno uno degli interventi trainanti.

Affinché gli interventi trainati risultino eseguiti congiuntamente a quelli trainanti, è necessario che le date dei lavori per gli interventi trainati siano ricomprese nell'intervallo di tempo tra inizio e fine dei lavori per gli interventi principali.

Tipologie di interventi trainati ammessi dal Superbonus:

1. Interventi di efficientamento energetico:

Si tratta degli interventi di efficientamento energetico previsti dall'articolo 14 del DL n.63/2013, se eseguiti congiuntamente ad uno degli interventi trainanti.

In particolare, vengono agevolati interventi di:

- acquisto e posa in opera di finestre comprensive di infissi e relative schermature solari;
- Installazione di sistemi di termoregolazione evoluti, appartenenti alle classi V, VI e VIII della comunicazione della Commissione 2014/C 207/02;

I sistemi di termoregolazione evoluti che godono dell'agevolazione sono:

- Termostato d'ambiente modulante (classe V): termostato elettronico che, modulando l'uscita dall'apparecchio di riscaldamento, varia la temperatura del flusso dell'acqua in base alla temperatura ambientale misurata;
- Centralina di termoregolazione e sensore ambientale (classe VI);
- Controllo della temperatura ambientale a sensori plurimi (classe VIII);



Figura 1.1 - Termostato d'ambiente modulante [6]

Questa tipologia di interventi dà diritto al Superbonus, anche nel caso in cui non vengano eseguiti congiuntamente ad uno degli interventi trainanti, qualora gli immobili siano sottoposti alla tutela disciplinata dal Codice dei beni culturali e del paesaggio, che impedisce, in determinate situazioni, gli interventi di isolamento termico delle superfici opache e la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti.

Tuttavia, per avere diritto al Superbonus, è necessario che questi interventi portino al miglioramento di almeno due classi energetiche o al conseguimento della classe energetica più alta, qualora l'edificio si trovi già nella penultima classe energetica.

2. Eliminazione delle barriere architettoniche:

Si tratta di interventi finalizzati a favorire la mobilità, interna ed esterna all'abitazione, per le persone portatrici di handicap tramite l'eliminazione di barriere architettoniche e l'installazione di ascensori e montacarichi.

3. Installazione di impianti solari fotovoltaici e sistemi di accumulo:

Si tratta di interventi di installazione di impianti fotovoltaici, su strutture pertinenziali agli edifici, connessi alla rete elettrica e di interventi di installazione di sistemi di accumulo integrati negli impianti fotovoltaici agevolati.

Affinché questi interventi rientrino nelle detrazioni previste dal Superbonus è necessario che:

- L'installazione degli impianti venga eseguita contestualmente ad almeno uno degli interventi trainanti;
- La cessione dell'energia non auto-consumata in favore del Gestore dei Servizi Energetici (GSE), secondo le modalità stabilite dal DL n.387/2003 articolo 13, comma 3;

Il limite di spesa agevolabile per questa tipologia di intervento è di 48.000 euro per singola unità immobiliare e inoltre:

- la spesa per ogni kW di potenza nominale dell'impianto non deve superare i 2.400 euro;
- la spesa per ogni kWh di capacità di accumulo non deve superare i 1.000 euro;

La detrazione, da ripartire in cinque quote annuali di pari importo, non è cumulabile con altre agevolazioni di qualsiasi natura, siano esse previste dalla normativa europea, nazionale e regionale, compresi i fondi di garanzia e rotazione e gli incentivi per lo scambio sul posto.

4. Installazione di infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici:

Per questa tipologia di interventi, se eseguiti congiuntamente ad almeno uno degli interventi trainanti, si ha diritto alla detrazione del 110%, da ripartire in 5 quote annuali di pari importo.

I Limiti di spesa, per l'installazione di infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici, sono:

- 2.000 euro, per gli edifici unifamiliari o per le unità immobiliari funzionalmente indipendenti situate all'interno di edifici plurifamiliari;
- 1.500 euro, per i condomini che installino un numero massimo di 8 colonnine;
- 1.200 euro, per i condomini che installino un numero superiore a 8 colonnine;

L'agevolazione è riferita ad una sola colonnina di ricarica per unità immobiliare.

1.6 REQUISITI DEGLI INTERVENTI AMMESSI AL SUPERBONUS

Gli interventi di efficientamento energetico, per poter accedere al Superbonus, devono:

- Rispettare i requisiti previsti dal decreto del 6 agosto 2020 del Ministro dello Sviluppo Economico;
- Assicurare il miglioramento di almeno due classi energetiche dell'edificio o, nel caso non fosse possibile, il conseguimento della classe energetica più alta, anche congiuntamente agli interventi trainati.

I principali requisiti previsti dal decreto del 6 agosto 2020 del Ministro dello Sviluppo Economico, che influenzeranno la trattazione nei capitoli successivi, sono:

1. Interventi sull'involucro degli edifici esistenti:

La **Tabella 1.1** mostra i valori limite delle trasmittanze, nella situazione ante intervento i valori di trasmittanza devono risultare maggiori di quelli in tabella, nella situazione post intervento, invece, i valori delle trasmittanze devono essere minori o uguali a quelli in tabella.

Tabella 1.1 - Valori di trasmittanza massimi consentiti per l'accesso alle detrazioni [2]

Tipologia di intervento	Requisiti tecnici di soglia per la tipologia di intervento	
	Zona climatica	Valore
<i>i. Strutture opache orizzontali: isolamento coperture (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 6946)</i>	Zona climatica A	$\leq 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$
	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	$\leq 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>ii. Strutture opache orizzontali: isolamento pavimenti (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 6946)</i>	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	$\leq 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>iii. Strutture opache verticali: isolamento pareti perimetrali (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 6946)</i>	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	$\leq 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>iv. Sostituzione di finestre comprensive di infissi (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 10077-1)</i>	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	$\leq 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$

2. Interventi di installazione di pannelli solari:

- I collettori solari devono essere in possesso di certificazione Solar Keymark;
- I collettori devono avere valori di producibilità specifica superiori a: 300 kWh_t/m² anno per i collettori piani, 400 kWh_t/m² anno per i collettori sottovuoto e quelli a tubi evacuati, 500 kWh_t/m² anno per i collettori a concentrazione.

La producibilità specifica esprime la quantità di energia solare annua prodotta per unità di superficie lorda;

- I collettori devono essere garantiti per almeno cinque anni;
- I componenti elettrici ed elettronici e gli accessori devono essere garantiti per almeno due anni;

Il rispetto di questi parametri è certificato da asseverazione o da idonea documentazione prodotta dal costruttore.

3. Interventi di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di caldaie a condensazione:

- La caldaia a condensazione, che sostituisce l'impianto di climatizzazione invernale esistente, deve avere un'efficienza energetica stagionale per il riscaldamento d'ambiente η_s maggiore o uguale al 90%, cioè appartenente almeno alla classe A, per le caldaie a condensazione con potenza nominale inferiore a 400 kW.

Nel caso la potenza della caldaia a condensazione sia superiore a 400 kW, è richiesto un rendimento termico utile, misurato secondo la UNI EN 15502, maggiore o uguale a 98,2%;

- Il dispositivo di controllo della temperatura deve appartenere alle classi V, VI oppure VIII della Comunicazione della Commissione 2014/C 207/02, che sono stati presentati in precedenza;
- Se la caldaia a condensazione che viene installata ha una potenza termica utile superiore a 100 kW è inoltre necessario che:
 - I) Venga adottato un bruciatore di tipo modulante;
 - II) La regolazione climatica agisca direttamente sul bruciatore;
 - III) Il sistema di distribuzione venga messo a punto ed equilibrato in base alle portate;
 - IV) Venga installata una pompa di tipo elettronico a giri variabili;

4. Interventi di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di pompe di calore ad alto rendimento:

- Le pompe di calore devono avere un coefficiente di prestazione (COP/EER) maggiore o uguale a quelli indicati nella **Tabella 1.2**;
- Il sistema di distribuzione degli impianti di potenza superiore a 100 kW deve essere messo a punto ed equilibrato in relazione alle portate;

Tabella 1.2 - Coefficienti di prestazione minimi per pompe di calore elettriche [2]

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

5. Interventi di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di sistemi ibridi:

- La pompa di calore e la caldaia a condensazione, che costituiscono il sistema ibrido, devono essere concepite e realizzate dal fabbricante per funzionare in abbinamento tra loro;
- Il rapporto tra la potenza termica utile nominale della pompa di calore e la potenza termica utile nominale della caldaia deve essere minore o uguale a 0,5;
- Il coefficiente di prestazione (COP) della pompa di calore deve rispettare i limiti riportati nella **Tabella 1.2**;
- La caldaia deve essere del tipo a condensazione e deve avere un rendimento termico utile almeno pari a $93+2*\log(P_n)$, dove P_n è la potenza nominale della caldaia;
- Per caldaie con potenza utile superiore a 400 kW si usa un valore di P_n pari a 400 kW, che rappresenta il limite massimo;

- Se la caldaia a condensazione che viene installata ha una potenza termica utile superiore a 100 kW è inoltre necessario:
 - V) adottare un bruciatore di tipo modulante;
 - VI) che la regolazione climatica agisca direttamente sul bruciatore;
 - VII) che il sistema di distribuzione sia stato messo a punto ed equilibrato in base alle portate;
 - VIII) che sia stata installata una pompa di tipo elettronico a giri variabili;

1.7 ALTERNATIVE ALLE DETRAZIONI

I soggetti, che hanno sostenuto spese per interventi ammessi al superbonus negli anni 2020,2021,2022, possono optare, in sostituzione all'utilizzo diretto della detrazione, per:

1. Sconto in fattura: contributo sottoforma di sconto sul corrispettivo dovuto al fornitore di beni e servizi relativi agli interventi agevolati, di importo non superiore al corrispettivo stesso.
Il fornitore recupera il contributo anticipato sottoforma di credito d'imposta, sia esso pari alla detrazione spettante o solo ad una parte di essa, nel caso di "sconto parziale".
2. Cessione del credito d'imposta ad altri soggetti, quali:
 - Persone fisiche, società ed enti;
 - Istituti di credito e intermediari finanziari;

I crediti d'imposta sono utilizzati, ai sensi dell'articolo 17 del DL n.241/1997, attraverso il modello F24, con la stessa ripartizione in quote annuali con la quale sarebbe stata utilizzata la detrazione.

CAPITOLO 2 – EDIFICIO ANTE INTERVENTO

2.1 CARATTERIZZAZIONE DELL'EDIFICIO OGGETTO DI INTERVENTO

2.1.1 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO



Figura 2.1 – Vista frontale dell'edificio presa da Google Maps

L'immobile oggetto di intervento, con destinazione d'uso prevalente a residenziale, ricade in zona omogenea B3 del vigente P.R.G del Comune di Scicli.

L'edificio, distribuito su sette livelli, è realizzato in cemento armato con doppi tamponamenti e solai in latero cemento con copertura a falde.

Gli infissi sono in parte in alluminio a taglio freddo e in parte in legno, alcuni con vetro singolo e altri con vetrocamera, inoltre, come si può notare in **Figura 2.1**, sono presenti all'esterno delle persiane oscuranti in legno.

Gli impianti, tutti autonomi, sono di diversa tipologia, la più diffusa è quella costituita da caldaia di tipo standard a metano, utilizzata sia per la produzione di acqua calda sanitaria sia per alimentare dei radiatori in ghisa.

Sono inoltre presenti, in alcuni appartamenti, degli scaldi acqua elettrici per la produzione di acqua calda sanitaria e dei climatizzatori a pompa di calore che in alcuni appartamenti sostituiscono l'impianto a radiatori mentre in altri sono utilizzati esclusivamente per il raffrescamento.

In allegato sono riportate le planimetrie di ogni piano.

2.1.2 CARATTERIZZAZIONE SPAZIALE

COMUNE:	Scicli
PROVINCIA:	Ragusa
INDIRIZZO	Via dei Lilla, 46
LATITUDINE NORD	36°47'03.7"
LONGITUDINE EST	14°41'39.2"
ALTITUDINE S.L.M.	106 m

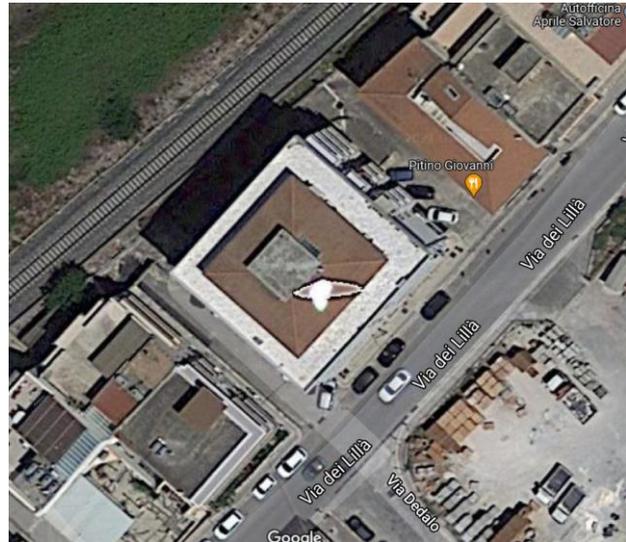


Figura 2.2 – Vista dall'alto dell'edificio presa da Google maps

2.1.3 CARATTERIZZAZIONE CLIMATICA

FASCIA CLIMATICA:	B
GRADI GIORNO:	899
GIORNI DI RISCALDAMENTO:	121

TEMPERATURE DI PROOGETTO

ESTERNA INVERNALE:	3,1 °C
ESTERNA ESTIVA:	35,8 °C
INTERNA INVERNALE:	20 °C
INTERNA ESTIVA:	26 °C

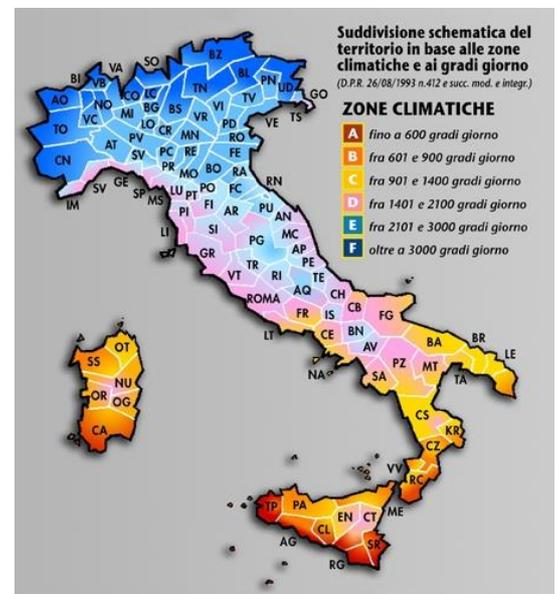


Figura 2.3 – Zone climatiche in Italia [7]

2.2 STRATIGRAFIA SUPERFICI DISPERDENTI

Calcolo delle trasmittanze termiche delle superfici opache:

$$U = \frac{1}{R_{ext} + R_{tot} + R_{int}}$$

Dove:

- U è la trasmittanza totale della parete [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
- R_{ext} è la resistenza superficiale esterna [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$];
- R_{int} è la resistenza superficiale interna [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$];
- R_{tot} è la resistenza termica totale della superficie opaca [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$];

Calcolo delle resistenze termiche delle superfici opache:

$$R_{tot} = \sum R_i$$

Dove:

- R_i è la resistenza termica dello strato i -esimo della parete [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$];

Calcolo delle resistenze termiche dei singoli strati:

$$R_i = \frac{s_i}{\lambda_i} = \frac{1}{C_i}$$

Dove:

- s_i è lo spessore dello strato i -esimo della parete [m];
- λ_i è il coefficiente conduttivo dello strato i -esimo della parete [W/mK];
- C_i è la conduttanza dello strato i -esimo della parete [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];

La conduttanza verrà utilizzata per il calcolo della resistenza termica di strati con spessore ben definito.

2.2.1 SUPERFICI OPACHE VERTICALI

1) Tramezzo 10

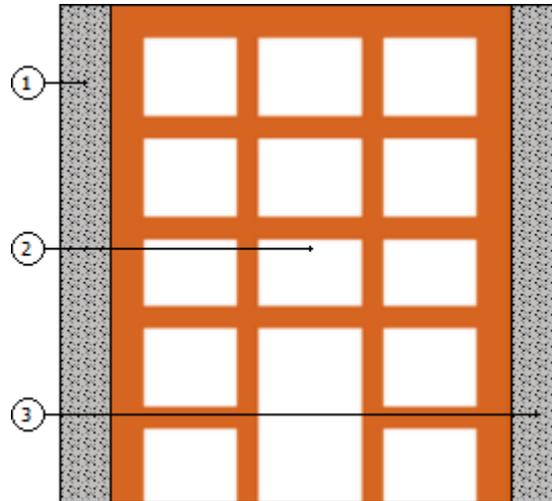


Figura 2.4 – Stratigrafia “Tramezzo 10”

Tabella 2.1 – Caratteristiche termiche della superficie opaca verticale “Tramezzo 10”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	0,014
2	Blocco forato di laterizio	8,0		5,000	800	0,200
3	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1400	0,014
Spessore totale		10,0	Resistenza superficiale interna		0,130	
			Resistenza superficiale esterna		0,130	
			Resistenza termica totale		0,489	
			Trasmittanza termica [W/m ² K]		2,047	

2) Parete interna 20

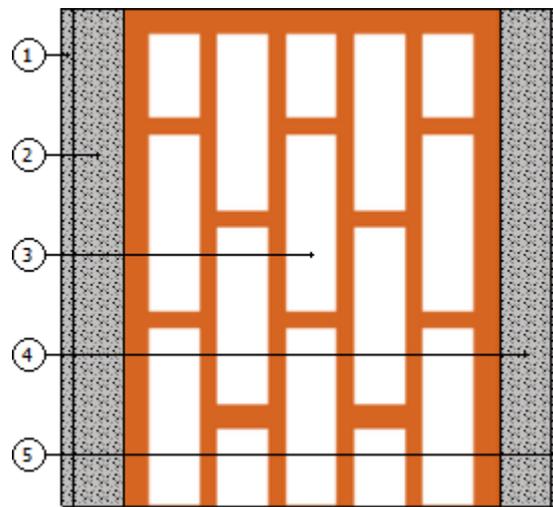


Figura 2.5 – Stratigrafia “Parete interna 20”

Tabella 2.2 – Caratteristiche termiche della superficie opaca verticale “Parete interna 20”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	0,5	0,700		1400	0,007
2	Malta di cemento	2,0	1,400		2000	0,014
3	Blocco forato di laterizio	15,0		2,222	760	0,450
4	Malta di cemento	2,0	1,400		2000	0,140
5	Intonaco di calce e gesso	0,5	0,700		1400	0,007
Spessore totale		20,0	Resistenza superficiale interna			0,130
			Resistenza superficiale esterna			0,130
			Resistenza termica totale			0,753
			Trasmittanza termica [W/m ² K]			1,328

3) Parete esterna 30

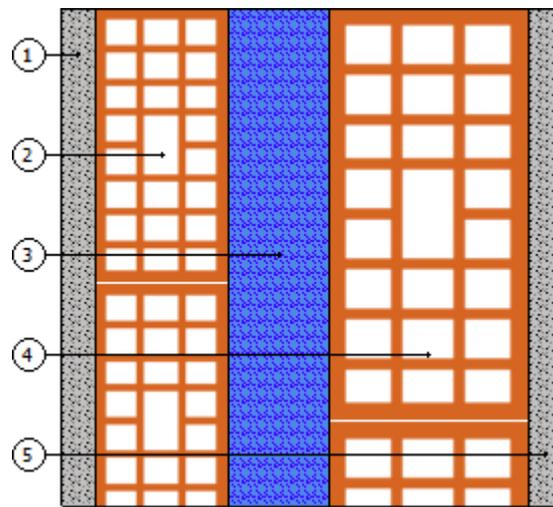


Figura 2.6 – Stratigrafia “Parete esterna 30”

Tabella 2.3 – Caratteristiche termiche della superficie opaca verticale “Parete esterna 30”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	2,0	0,700		1400	0,029
2	Blocco forato di laterizio	8,0		5,000	800	0,200
3	Aria intercapedine flusso orizzontale	6,0		5,423	1	0,184
4	Blocco forato di laterizio	12,0		3,226	800	0,310
5	Intonaco di calce e gesso	2,0	0,700		1400	0,029
Spessore totale		30,0	Resistenza superficiale interna		0,130	
			Resistenza superficiale esterna		0,040	
			Resistenza termica totale		0,922	
			Trasmittanza termica [W/m ² K]		1,085	

4) Parete esterna 25

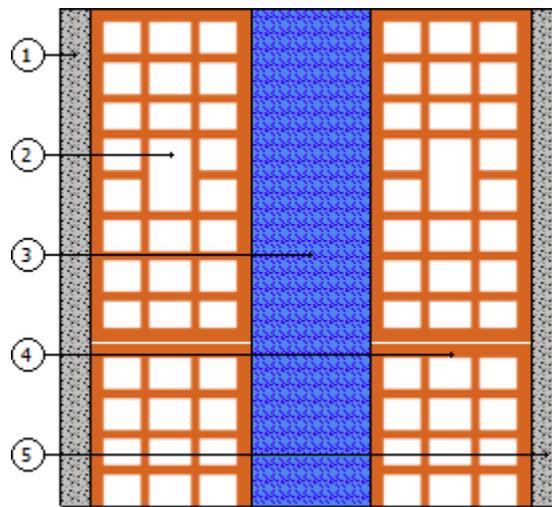


Figura 2.7 – Stratigrafia “Parete esterna 25”

Tabella 2.4 – Caratteristiche termiche della superficie opaca verticale “Parete esterna 25”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	1,5	0,700		1400	0,021
2	Blocco forato di laterizio	8,0		5,000	800	0,200
3	Aria intercapedine flusso orizzontale	6,0		5,423	1	0,184
4	Blocco forato di laterizio	8,0		5,000	800	0,200
5	Intonaco di calce e gesso	1,5	0,700		1400	0,021
Spessore totale		25,0	Resistenza superficiale interna		0,130	
			Resistenza superficiale esterna		0,040	
			Resistenza termica totale		0,797	
			Trasmittanza termica [W/m ² K]		1,254	

5) Parete interna 25

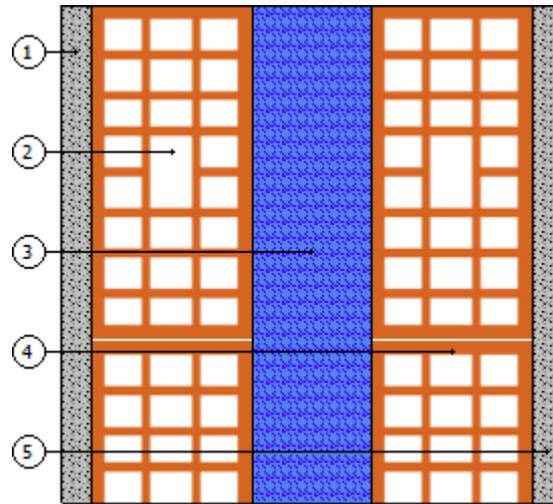


Figura 2.8 – Stratigrafia “Parete interna 25”

Tabella 2.5 – Caratteristiche termiche della superficie opaca verticale “Parete interna 25”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	1,5	0,700		1400	0,021
2	Blocco forato di laterizio	8,0		5,000	800	0,200
3	Aria intercapedine flusso orizzontale	6,0		5,423	1	0,184
4	Blocco forato di laterizio	8,0		5,000	800	0,200
5	Intonaco di calce e gesso	1,5	0,700		1400	0,021
Spessore totale		25,0	Resistenza superficiale interna		0,130	
			Resistenza superficiale esterna		0,130	
			Resistenza termica totale		0,887	
			Trasmittanza termica [W/m ² K]		1,127	

6) Parete interna 30

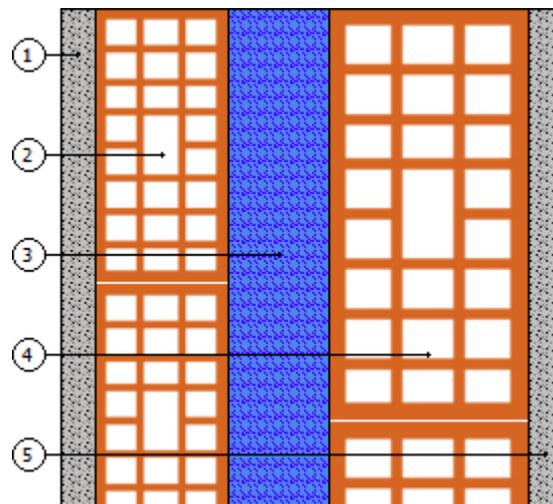


Figura 2.9 – Stratigrafia “Parete interna 30”

Tabella 2.6 – Caratteristiche termiche della superficie opaca verticale “Parete interna 30”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	2,0	0,700		1400	0,029
2	Blocco forato di laterizio	8,0		5,000	800	0,200
3	Aria intercapedine flusso orizzontale	6,0		5,423	1	0,184
4	Blocco forato di laterizio	12,0		3,226	800	0,310
5	Intonaco di calce e gesso	2,0	0,700		1400	0,029
Spessore totale		30,0	Resistenza superficiale interna		0,130	
			Resistenza superficiale esterna		0,130	
			Resistenza termica totale		1,012	
			Trasmittanza termica [W/m ² K]		0,989	

7) Parete esterna garage 30

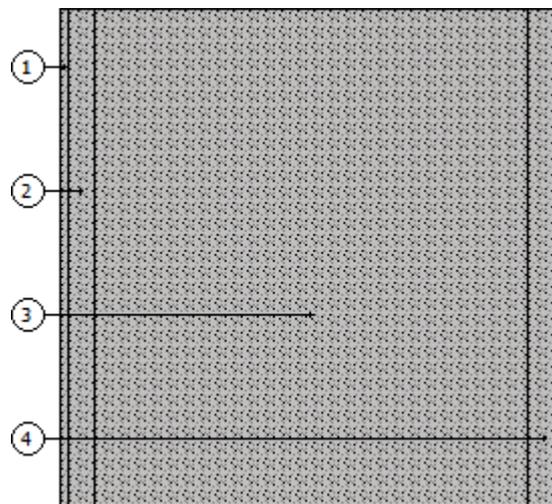


Figura 2.10 – Stratigrafia “Parete esterna garage 30”

Tabella 2.7 – Caratteristiche termiche della superficie opaca verticale “Parete esterna garage 30”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	0,5	0,700		1400	0,007
2	Malta di calce o di calce e cemento	1,5	0,900		1800	0,017
3	Calcare (1900 kg/m ³)	26,0	1,500		1900	0,173
4	Malta di calce o di calce e cemento	2,0	0,900		1800	0,022
Spessore totale		30,0	Resistenza superficiale interna		0,130	
			Resistenza superficiale esterna		0,040	
			Resistenza termica totale		0,389	
			Trasmittanza termica [W/m ² K]		2,568	

2.2.2 SUPERFICI OPACHE ORIZZONTALI

1) Basamento in calcestruzzo

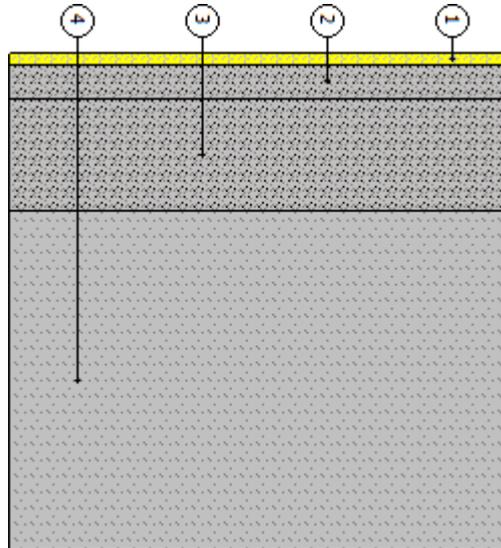


Figura 2.11 – Stratigrafia “Basamento in calcestruzzo”

Tabella 2.8 – Caratteristiche termiche della superficie opaca orizzontale “Basamento in calcestruzzo”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Pavimentazione interna - gres	1,0	1,470		1700	0,007
2	Malta di cemento	3,0	1,400		2000	0,021
3	Calcestruzzo con aggregato naturale (2000 kg/m ³)	10,0	1,160		2000	0,086
4	Ghiaia grossa senza argilla con umidità del 5%	30,0	1,200		1700	0,250
Spessore totale		44,0	Resistenza superficiale interna		0,170	
			Resistenza superficiale esterna		0,040	
			Resistenza termica totale		0,575	
			Trasmittanza termica [W/m ² K]		1,741	

2) Solaio in laterocemento

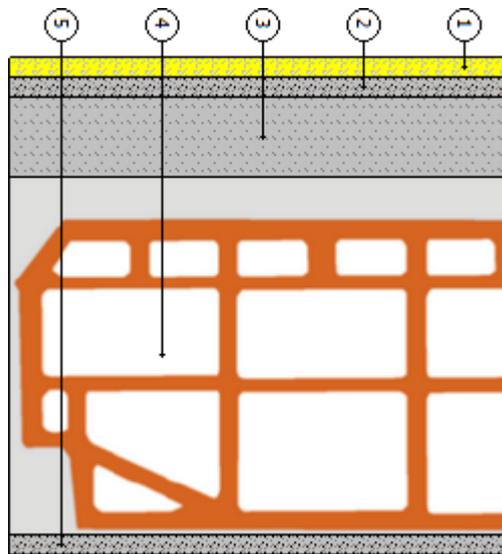


Figura 2.12 – Stratigrafia “Solaio in laterocemento”

Tabella 2.9 – Caratteristiche termiche della superficie opaca orizzontale “Solaio in laterocemento”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Pavimentazione interna - gres	1,0	1,470		1700	0,007
2	Malta di cemento	1,0	1,400		2000	0,007
3	Massetto in calcestruzzo alleggerito (900 kg/m ³)	4,0	0,580		900	0,069
4	Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo) 160 + malta di cemento 20	18,0		3,333	1022	0,300
5	Malta di calce o di calce e cemento	1,0	0,900	45,000	1800	0,011
Spessore totale		25,0	Resistenza superficiale interna		0,130	
			Resistenza superficiale esterna		0,130	
			Resistenza termica totale		0,654	
			Trasmittanza termica [W/m ² K]		1,529	

3) Solaio (Ascendente) in laterocemento

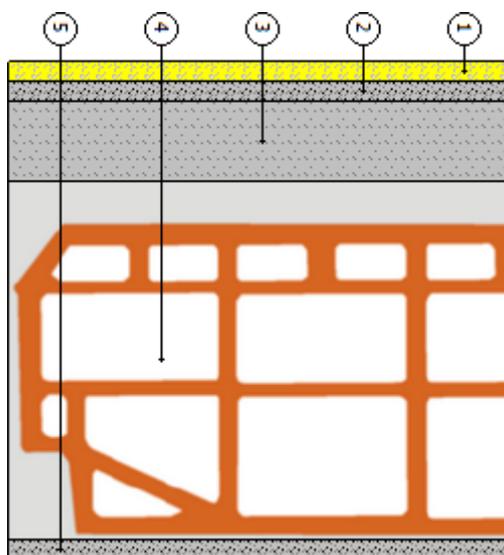


Figura 2.13 – Stratigrafia “Solaio (Ascendente) in laterocemento”

Tabella 2.10 – Caratteristiche termiche della superficie opaca orizzontale “Solaio (Ascendente) in laterocemento”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Pavimentazione interna - gres	1,0	1,470		1700	0,007
2	Malta di cemento	1,0	1,400		2000	0,007
3	Massetto in calcestruzzo alleggerito (900 kg/m ³)	4,0	0,580		900	0,069
4	Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo) 160 + malta di cemento 20	18,0		3,333	1022	0,300
5	Malta di calce o di calce e cemento	1,0	0,900		1800	0,011
Spessore totale		25,0	Resistenza superficiale interna		0,100	
			Resistenza superficiale esterna		0,100	
			Resistenza termica totale		0,594	
			Trasmittanza termica [W/m ² K]		1,683	

4) Solaio (Discendente) in laterocemento

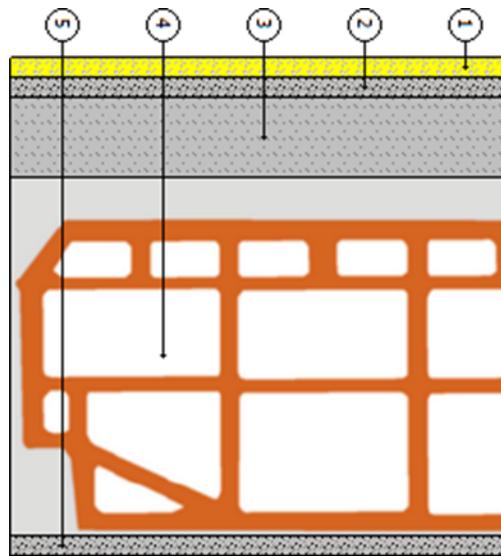


Figura 2.14 – Stratigrafia “Solaio (Discendente) in laterocemento”

Tabella 2.11 – Caratteristiche termiche della superficie opaca orizzontale “Solaio (Discendente) in laterocemento”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Pavimentazione interna - gres	1,0	1,470		1700	0,007
2	Malta di cemento	1,0	1,400		2000	0,007
3	Massetto in calcestruzzo alleggerito (900 kg/m ³)	4,0	0,580		900	0,069
4	Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo) 160 + malta di cemento 20	18,0		3,333	1022	0,300
5	Malta di calce o di calce e cemento	1,0	0,900		1800	0,011
Spessore totale		25,0	Resistenza superficiale interna		0,170	
			Resistenza superficiale esterna		0,170	
			Resistenza termica totale		0,734	
			Trasmittanza termica [W/m ² K]		1,362	

5) Copertura inclinata

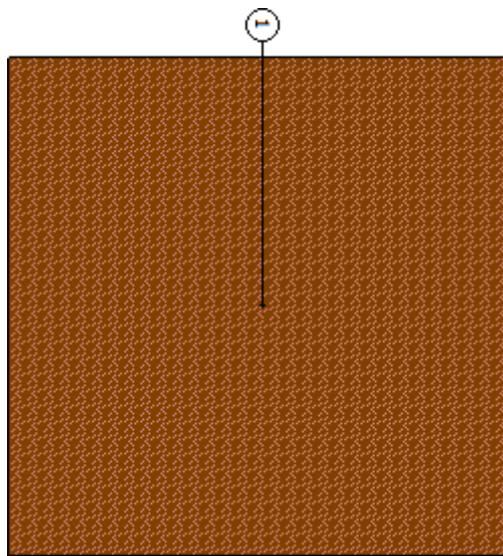


Figura 2.15 – Stratigrafia “Copertura inclinata”

Tabella 2.12 – Caratteristiche termiche della superficie opaca inclinata “Copertura inclinata”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Tegole tipo coppo	2,5	1,300		2300	0,019
Spessore totale		2,5	Resistenza superficiale interna			0,100
			Resistenza superficiale esterna			0,040
			Resistenza termica totale			0,159
			Trasmittanza termica [W/m ² K]			6,280

6) Copertura piana praticabile in laterocemento

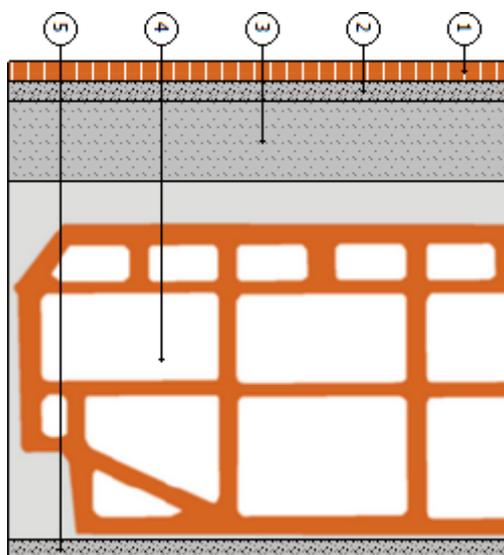


Figura 2.16 – Stratigrafia “Copertura piana praticabile in laterocemento”

Tabella 2.13 – Caratteristiche termiche della superficie opaca orizzontale “Copertura piana praticabile in laterocemento”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Pavimentazione esterna - klinker	1,0	0,700		1500	0,014
2	Malta di cemento	1,0	1,400		2000	0,007
3	Massetto in calcestruzzo alleggerito (900 kg/m ³)	4,0	0,580		900	0,069
4	Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo) 160 + malta di cemento 20	18,0		3,333	1022	0,300
5	Malta di calce o di calce e cemento	1,0	0,900		1800	0,011
Spessore totale		25,0	Resistenza superficiale interna		0,100	
			Resistenza superficiale esterna		0,040	
			Resistenza termica totale		0,542	
			Trasmittanza termica [W/m ² K]		1,847	

7) Copertura piana in laterocemento

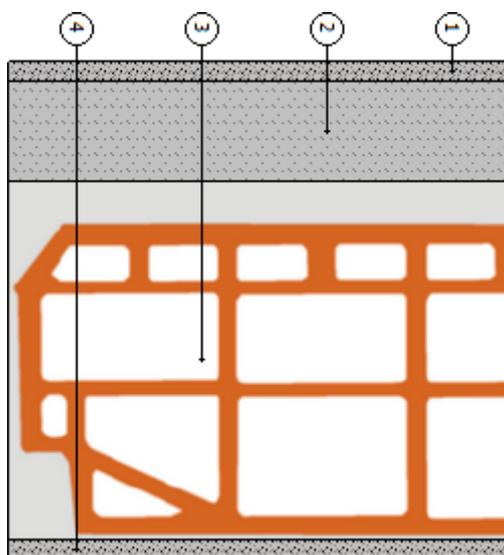


Figura 2.17 – Stratigrafia “Copertura piana in laterocemento”

Tabella 2.14 – Caratteristiche termiche della superficie opaca orizzontale “Copertura piana in laterocemento”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Malta di cemento	1,0	1,400		2000	0,007
2	Massetto in calcestruzzo alleggerito (900 kg/m ³)	5,0	0,580		900	0,069
3	Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo) 160 + malta di cemento 20	18,0		3,333	1022	0,300
4	Malta di calce o di calce e cemento	1,0	0,900		1800	0,011
Spessore totale		25,0	Resistenza superficiale interna		0,100	
			Resistenza superficiale esterna		0,040	
			Resistenza termica totale		0,542	
			Trasmittanza termica [W/m ² K]		1,847	

7) Solaio in laterocemento (verso sottotetto)

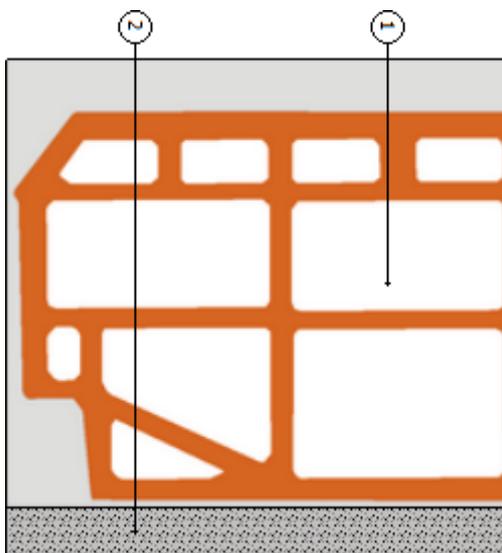


Figura 2.18 – Stratigrafia “Solaio in laterocemento (verso sottotetto)”

Tabella 2.15 – Caratteristiche termiche della superficie opaca orizzontale “Solaio in laterocemento (verso sottotetto)”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo) 160 + malta di cemento 20	18,0		3,333	1022	0,300
2	Malta di calce o di calce e cemento	2,0	0,900		1800	0,022
Spessore totale		20,0	Resistenza superficiale interna			0,100
			Resistenza superficiale esterna			0,100
			Resistenza termica totale			0,522
			Trasmittanza termica [W/m ² K]			1,915

2.2.3 SERRAMENTI

I serramenti presenti nell'edificio oggetto di intervento sono di tre tipologie:

1. Al piano terra sono presenti infissi in alluminio a taglio freddo e vetro singolo;
2. Negli appartamenti dei piani che vanno dal primo al quarto sono presenti infissi in legno duro e vetro singolo, corredati di persiane oscuranti in legno;
3. Nell'appartamento situato all'ultimo piano sono presenti degli infissi in legno con vetrocamera, corredati di persiane oscuranti in legno;
4. Sono inoltre presenti degli infissi interni interposti tra pozzo luce e appartamenti;

Nella **Tabella 2.16** sono riportate le trasmittanze di vetro e telaio, definiti secondo il prospetto B.2 UNI/TS 11300-1:2014, di cui sono composti gli infissi:

Tabella 2.16 – Caratteristiche termiche dei materiali per serramenti prospetto B.2 UNI/TS 11300-1:2014

Materiale	Trasmittanza [W/m^2K]
Legno duro	2,7
Alluminio	7,0
Vetro singolo	5,7
Vetro singolo interno	3,8
Vetro doppio 4-12-4	2,8

In **Tabella 2.17** sono elencati tutti gli infissi presenti nell'edificio ed in particolare è riportato:

- Tipologia di infisso;
- Dimensioni dell'infisso;
- Tipologia di vetro;
- Materiale di cui è fatto il telaio;
- Trasmittanza totale dell'infisso, che include telaio, vetro e relativo ponte termico;
- Quantità di infissi di quella tipologia installati in tutto l'edificio;
- Presenza o meno di chiusura oscurante e, in caso sia presente, relativa tipologia;

Tabella 2.17 – Elenco infissi presenti nell'edificio e relative caratteristiche

N.	Tipologia	Dimensioni [m]	Vetrata	Telaio	Trasmittanza [W/m ² K]	Quantità	Chiusura oscurante
1	Vetrina	2,25 x 2,2	Vetro singolo	Alluminio taglio freddo	5,880	4	Nessuna
2	Vetrina	2,3 x 2,2	Vetro singolo	Alluminio taglio freddo	5,878	4	Nessuna
3	Vetrina	2,4 x 2,2	Vetro singolo	Alluminio taglio freddo	5,875	2	Nessuna
4	Vetrina	1,95 x 2,2	Vetro singolo	Alluminio taglio freddo	5,893	7	Nessuna
5	Portoncino	1,66 x 2,3	Vetro singolo	Alluminio taglio freddo	6,023	1	Nessuna
6	Finestra	1,35 x 0,7	Vetro singolo	Alluminio taglio freddo	6,115	9	Nessuna
7	Portafinestra	1,22 x 2,330	Vetro singolo	Legno duro	4,761	19	Persiana legno
8	Portafinestra	1,22 x 2,335	Vetro singolo	Legno duro	4,762	22	Persiana legno
9	Portafinestra	1,22 x 2,280	Vetro singolo	Legno duro	4,758	2	Persiana legno
10	Portafinestra	1,22 x 2,310	Vetro singolo	Legno duro	4,760	5	Persiana legno
11	Portafinestra	1,22 x 2,315	Vetro singolo	Legno duro	4,761	9	Persiana legno
12	Portafinestra	1,22 x 2,325	Vetro singolo	Legno duro	4,761	5	Persiana legno
13	Portafinestra	1,22 x 2,370	Vetro doppio	Legno duro	2,990	8	Persiana legno
14	Finestra	0,825 x 1,37	Vetro singolo	Legno duro	4,837	16	Persiana legno
15	Finestra	1,22 x 1,37	Vetro singolo	Legno duro	4,655	2	Persiana legno
16	Finestra	1,22 x 1,37	Vetro doppio	Legno duro	3,004	2	Persiana legno
17	Finestra	1,47 x 1,37	Vetro doppio	Legno duro	2,982	1	Persiana legno
18	Finestra	0,82 x 1,37	Vetro doppio	Legno duro	2,971	1	Persiana legno
19	Portafinestra interna	0,82 x 2,37	Vetro singolo	Legno duro	3,526	1	Nessuna
20	Portafinestra interna	0,825 x 2,37	Vetro singolo	Legno duro	3,527	3	Nessuna
21	Finestra interna	2,0 x 0,45	Vetro singolo	Alluminio taglio freddo	5,432	9	Nessuna
22	Finestra interna	0,825 x 1,37	Vetro singolo	Legno duro	3,484	10	Nessuna
23	Finestra interna	0,820 x 1,37	Vetro singolo	Legno duro	3,483	1	Nessuna
24	Finestra interna	0,745 x 1,37	Vetro singolo	Legno duro	3,463	16	Nessuna

2.3 IMPIANTI

2.3.1 IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE

Tutti gli impianti di riscaldamento installati nell'edificio oggetto di intervento, riportati in **Tabella 2.18**, sono di tipo autonomo.

In particolare, in questo edificio abbiamo due tipologie di impianto:

1. Impianto a radiatori, composto da:

- Generatore di calore a combustione alimentato a metano di tipo standard (caldaia);
- Radiatori in ghisa, con numero di elementi proporzionale alle dimensioni del locale in cui sono installati in modo da soddisfarne il fabbisogno;
- Valvole di regolazione manuali dei radiatori;
- Tubazione in rame con isolamento termico;
- Collettore;

2. Impianto a pompa di calore, composto da:

- Unità interna di tipo ventilconvettore;
- Unità esterna;
- Tubazioni in rame con isolamento termico;



Figura 2.19 – Ventilconvettore



Figura 2.20 – Unità esterna pompa di calore

Tabella 2.18 – Elenco impianti di climatizzazione invernale

Subalterno	Tipologia	Combustibile	Marca	Modello	Terminali	Potenza riscaldamento [kW]	COP/ Rendimento termico	Potenza raffrescamento [kW]	EER
1	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3	Pompa di calore	Energia elettrica	Thermotec	SJDO-12	Ventilconvettori	2,84	3,50	2,56	3,40
4	Caldaia	Metano	Sant'Andrea	Graziella	Radiatori	23,20	0,929	/	/
5	Pompa di calore	Energia elettrica	Daikin	ARXN25NV1B9	Ventilconvettori	2,84	4,06	2,56	3,69
	Pompa di calore	Energia elettrica	Simat	B-MW07-HIA	Ventilconvettori	2,20	2,93	2,00	2,67
	Pompa di calore	Energia elettrica	Simat	B-MW07-HIA	Ventilconvettori	2,70	2,93	2,00	2,67
	Pompa di calore	Energia elettrica	Samsung	AR12NXFPEWQN	Ventilconvettori	4,00	3,28	3,50	3,10
6	Caldaia	Metano	Sant'Andrea	Millenium Star Gold	Radiatori	23,20	0,929	/	/
7	Caldaia	Metano	Ar Therm	EKM HOME 24 REC	Radiatori	24,00	0,958	/	/
8	Caldaia	Metano	Vaillant	VCW 20/3 T3 W HD	Radiatori	23,19	0,867	/	/
9	Caldaia	Metano	Vaillant	VCW 1242 EB	Radiatori	23,19	0,867	/	/
10	Pompa di calore	Energia elettrica	Daikin	FTY35GV1B	Ventilconvettori	3,60	2,95	3,25	2,73
11	Caldaia	Metano	Vaillant	VCW 1242 EB	Radiatori	23,19	0,867	/	/
	Pompa di calore	Energia elettrica	Feder	FC-12	Ventilconvettori	3,60	2,57	3,50	2,59
12	Pompa di calore	Energia elettrica	Gree	GWH09AGB	Ventilconvettori	2,80	3,85	2,70	3,67
13	Caldaia	Metano	Sant'Andrea	Graziella	Radiatori	23,20	0,929	/	/
14	Pompa di calore	Energia elettrica	Saunier Duval	14-036 HWO	Ventilconvettori	3,30	3,63	3,25	3,22
	Pompa di calore	Energia elettrica	Saunier Duval	14-036 HWO	Ventilconvettori	3,30	3,63	3,25	3,22
15	Caldaia	Metano	Sime	Murelle EV	Radiatori	23,00	0,900	/	/
	Pompa di calore	Energia elettrica	Mitsubishi	MSC-CA25VB	Ventilconvettori	3,00	3,75	2,65	3,31
	Pompa di calore	Energia elettrica	Mitsubishi	MSC-CA25VB	Ventilconvettori	3,00	3,75	2,65	3,31
	Pompa di calore	Energia elettrica	Mitsubishi	MSC-CA25VB	Ventilconvettori	3,00	3,75	2,65	3,31
	Pompa di calore	Energia elettrica	Mitsubishi	MSC-CA25VB	Ventilconvettori	3,00	3,75	2,65	3,31
	Pompa di calore	Energia elettrica	Emmeti	FMI 300 HP	Ventilconvettori	2,77	3,15	2,56	2,84
16	Caldaia	Metano	Sant'Andrea	Millenium Star Gold	Radiatori	23,20	0,929	/	/
	Pompa di calore	Energia elettrica	Saunier Duval	14-036 HWO	Ventilconvettori	3,30	3,63	3,25	3,22
	Pompa di calore	Energia elettrica	Saunier Duval	14-036 HWO	Ventilconvettori	3,30	3,63	3,25	3,22
	Pompa di calore	Energia elettrica	Saunier Duval	14-036 HWO	Ventilconvettori	3,30	3,63	3,25	3,22
17	Caldaia	Metano	Herman	Habitat 2	Radiatori	23,70	0,934	/	/
	Pompa di calore	Energia elettrica	Emmeti	FMI 300 HP	Ventilconvettori	2,77	3,15	2,56	2,84
	Pompa di calore	Energia elettrica	Emmeti	FMI 300 HP	Ventilconvettori	2,77	3,15	2,56	2,84
	Pompa di calore	Energia elettrica	Sekom	MSK-12AG9	Ventilconvettori	3,50	3,43	3,20	3,23
18	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOY-G09LLC	Ventilconvettori	3,20	3,70	2,50	3,36
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOY-G09LLC	Ventilconvettori	3,20	3,70	2,50	3,36
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOY-G09LLC	Ventilconvettori	3,20	3,70	2,50	3,36
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOY-G09LLC	Ventilconvettori	3,20	3,70	2,50	3,36
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOY-G09LVCA	Ventilconvettori	3,50	4,43	2,60	4,91
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOY-G09LVCA	Ventilconvettori	3,50	4,43	2,60	4,91
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOY-G09LVCA	Ventilconvettori	3,50	4,43	2,60	4,91
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOY-G12LLC	Ventilconvettori	4,00	3,70	3,40	3,35

Il simbolo “/” indica che i valori non sono disponibili.

2.3.2 IMPIANTI PER LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

La tipologia di impianti per la produzione di acqua calda sanitaria presente in ogni appartamento è riportata in **Tabella 2.19**.

In particolare, in questo edificio abbiamo due tipologie di impianto:

1. Bollitore elettrico ad accumulo, alimentato con energia elettrica;
2. Generatore di calore a combustione di tipo standard alimentato a metano (caldaia);



Figura 2.21 – Bollitore elettrico ad accumulo

Figura 2.22 – Caldaia di tipo standard

Tabella 2.19 – Elenco impianti per la produzione di acqua calda sanitaria

Subalterno	Tipologia	Combustibile	Marca	Modello	Potenza utile nominale [kW]	Rendimento di generazione
1	/	/	/	/	/	/
2	/	/	/	/	/	/
3	/	/	/	/	/	/
4	Caldaia	Metano	Sant'Andrea	Graziella	23,20	92,9%
5	Bollitore elettrico ad accumulo	Energia elettrica	Bandini	/	1,20	75,0%
6	Caldaia	Metano	Sant'Andrea	Millenium Star Gold	23,20	92,9%
7	Caldaia	Metano	Ar Therm	EKM HOME 24 REC	24,00	95,8%
8	Caldaia	Metano	Vaillant	VCW 20/3 T3 W HD	23,19	86,7%
9	Caldaia	Metano	Vaillant	VCW 1242 EB	23,19	86,7%
10	Bollitore elettrico ad accumulo	Energia elettrica	Ariston	/	1,20	75,0%
11	Caldaia	Metano	Vaillant	VCW 1242 EB	23,19	86,7%
12	Bollitore elettrico ad accumulo	Energia elettrica	/	/	1,20	75,0%
13	Caldaia	Metano	Sant'Andrea	Graziella	23,20	92,9%
14	Bollitore elettrico ad accumulo	Energia elettrica	Idropi	FV 80	1,20	75,0%
15	Caldaia	Metano	Sime	Murelle EV	23,00	90,0%
16	Caldaia	Metano	Sant'Andrea	Millenium Star Gold	23,20	92,9%
17	Caldaia	Metano	Herman	Habitat 2	23,70	93,4%
18	Bollitore elettrico ad accumulo	Energia elettrica	/	/	1,20	75,0%

Il simbolo “/” indica che i valori non sono disponibili.

2.4 DISPERSIONI INVERNALI

Per il calcolo delle prestazioni energetiche dell'edificio è stato utilizzato il software Namirial Termo, prodotto dalla Namirial S.p.a.



Figura 2.23 – Logo Namirial Termo

I calcoli effettuati dal software sono conformi ad una serie di normative UNI di cui è presente un elenco in allegato.

2.4.1 DISPERSIONI ATTRAVERSO L'INVOLUCRO

Le dispersioni attraverso l'involucro comprendono:

- Dispersioni attraverso le superfici opache verticali;
- Dispersioni attraverso le superfici opache orizzontali;
- Dispersioni attraverso le superfici vetrate;

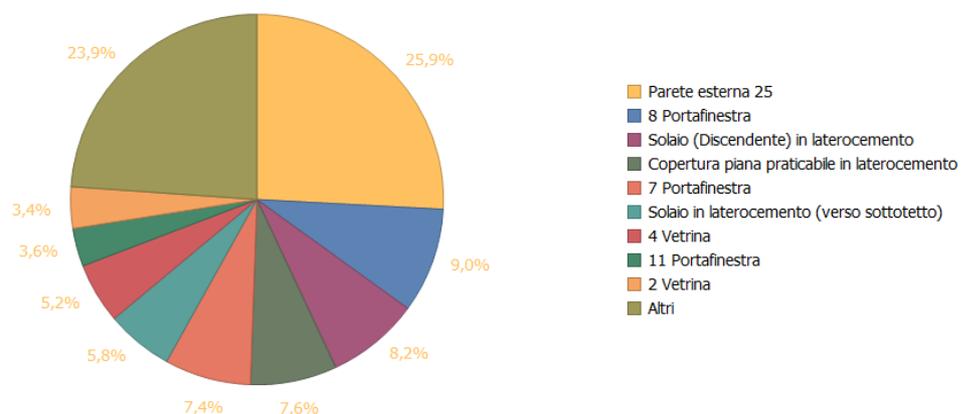


Figura 2.24 – Diagramma a torta delle dispersioni suddivise per tipologia di struttura

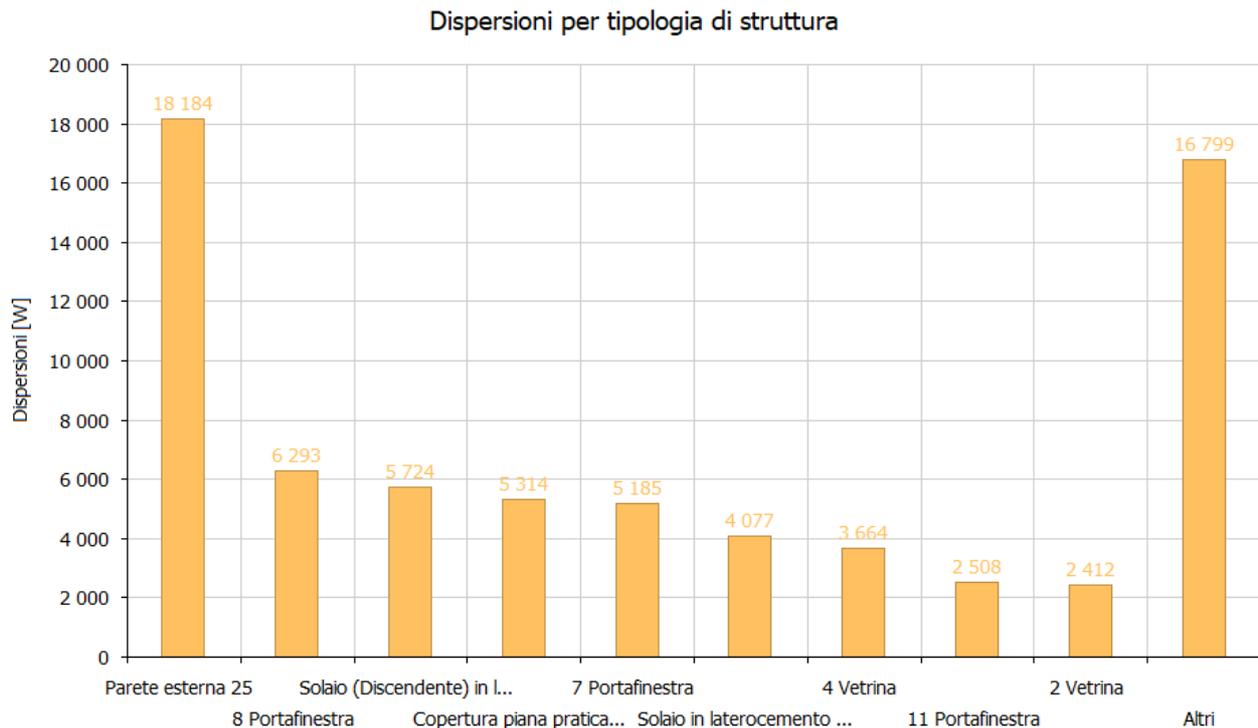


Figura 2.25 – Istogramma delle dispersioni suddivise per tipologia di struttura

Dai grafici si evince che la maggior parte delle dispersioni attraverso l'involucro avvengono attraverso la parete esterna da 25 cm, che è la parete esterna più diffusa nell'edificio.

Un importante contributo alle dispersioni attraverso l'involucro è dato dal solaio interpiano con flusso discendente, che corrisponde al solaio interposto tra il piano terra e il piano interrato, poiché questo è un locale non riscaldato, in quanto adibito a garage.

Sono inoltre rilevanti le dispersioni attraverso la copertura piana praticabile, che funge da copertura parziale agli appartamenti del quarto piano, e quelle attraverso il solaio interpiano con flusso ascendente, che corrisponde al solaio interposto tra il quinto piano e il sottotetto.

Le dispersioni attraverso la copertura inclinata non compaiono nel calcolo, poiché questa è interposta tra un ambiente non riscaldato, il sottotetto, e l'esterno.

2.4.2 DISPERSIONI TOTALI

In **Tabella 2.20** sono riportate le dispersioni totali dell'edificio oggetto di intervento calcolate come:

$$P_{tot} = P_t + P_v$$

Dove:

- P_{tot} è la potenza dispersa totale;
- P_t è la potenza dispersa per trasmissione, calcolata al paragrafo 2.4.1;
- P_v è la potenza dispersa per ventilazione;

La potenza persa per ventilazione è stata calcolata come:

$$P_{v,j} = \sum_{i=1}^{N_j} \frac{V_{locale,i,j} * n_{i,j}}{3600} * \rho_{aria} * c_{p,aria} (T_{int} - T_{est})$$

Dove:

- $P_{v,j}$ è la potenza dispersa per ventilazione dal subalterno j-esimo [W];
- $V_{locale,i,j}$ è il volume netto del locale i-esimo appartenente al subalterno j-esimo [m³];
- $n_{i,j}$ è il numero di ricambi d'aria [m³/h];
- ρ_{aria} è la densità dell'aria [kg/m³];
- $c_{p,aria}$ è il calore specifico dell'aria [J/(kg*K)];
- T_{int} è la temperatura interna di progetto [°C];
- T_{est} è la temperatura esterna di progetto [°C];
- N_j è il numero di locali di cui è composto il subalterno j-esimo

Infine, la potenza persa per ventilazione totale è stata calcolata come:

$$P_v = \sum_{j=1}^{18} P_{v,j}$$

Tabella 2.20 – Dispersioni invernali dell'edificio

Subalterno	P_t [W]	P_v [W]	P_{tot} [W]
1	10078,54	1466,30	11544,84
2	2815,44	549,59	3365,03
3	5173,64	499,84	5673,48
4	2290,72	654,81	2945,53
5	2261,89	652,95	2914,84
6	2277,87	627,14	2905,01
7	2430,40	629,18	3059,58
8	3986,95	1106,49	5093,44
9	2592,25	723,87	3316,12
10	2703,66	742,93	3446,59
11	1972,21	576,96	2549,17
12	2254,28	627,14	2881,42
13	2584,10	731,08	3315,18
14	2397,17	634,13	3031,30
15	6319,89	1106,27	7426,16
16	4138,63	727,70	4866,33
17	4123,99	741,07	4865,06
18	9756,90	1336,13	11093,03
Totale edificio	69688,59	14440,56	84292,11

2.5 CALCOLO DELLA CLASSE ENERGETICA DELL'EDIFICIO

Uno dei requisiti principali per accedere al Superbonus è che l'edificio, grazie agli interventi di miglioramento energetico agevolati, faccia un salto di almeno due classi energetiche. Per verificare ciò, verranno calcolate, in questo paragrafo, la classe energetica dell'edificio ante intervento, e nel **Capitolo 4** quella post intervento, per confrontarle.

Per il calcolo dei fabbisogni di energia dell'edificio è stata utilizzata la temperatura media mensile ricavata dai dati ENEA:

Tabella 2.21 – Temperatura media mensile

Mese	Temperatura [°C]
Gennaio	9,4
Febbraio	10
Marzo	11,7
Aprile	14,9
Maggio	19,5
Giugno	24,4
Luglio	27,4
Agosto	27,4
Settembre	22,6
Ottobre	20,8
Novembre	14,7
Dicembre	13,5

Tra i fabbisogni di energia, riportati nei paragrafi successivi, non è presente quello relativo al trasporto, dovuto alla presenza di un ascensore, in quanto la normativa utilizzata considera questo contributo trascurabile negli edifici ad uso residenziale.

2.5.1 FABBISOGNO DI ENERGIA PER IL RISCALDAMENTO

Per il calcolo del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento è stata utilizzata come temperatura esterna la temperatura media mensile.

Tabella 2.22 – Fabbisogno di energia per il riscaldamento

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,int}$ [kWh]	$Q_{H,sol,w}$ [kWh]	$Q_{H,sol,op}$ [kWh]	$Q_{H,nd}$ [kWh]	$Q_{H,gn,out}$ [kWh]	$Q_{p,nren,H}$ [kWh]
Gennaio	26445,3	16983,7	6374,8	8008,6	2475,8	29854,6	31795,5	32596,3
Febbraio	21987,3	14469,6	5757,9	9499,2	2940,0	22515,8	23856,0	24819,5
Marzo	19182,2	13289,3	6374,8	15184,2	4819,7	14782,6	15322,1	16870,9
Dicembre	15865,2	10398,1	6374,8	7825,8	2401,8	13908,1	14346,3	15327,6
Annuale	83480,0	55140,8	24882,2	40517,8	12637,3	81061,1	85319,9	89614,2

Dove:

- $Q_{H,tr}$ è l'energia scambiata per trasmissione dall'intero edificio;
- $Q_{H,ve}$ è l'energia scambiata per ventilazione dall'intero edificio;
- $Q_{H,int}$ sono gli apporti termici interni;
- $Q_{H,sol}$ sono gli apporti termici solari;
- $Q_{H,nd}$ è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per il riscaldamento;
- $Q_{H,gn,out}$ è l'energia termica in uscita dal sottosistema di generazione;
- $Q_{p,nren,H}$ è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio per il riscaldamento;
- gg sono i giorni di riscaldamento;

2.5.2 FABBISOGNO DI ENERGIA PER L'ACQUA CALDA SANITARIA

Il calcolo del fabbisogno di energia per l'acqua calda sanitaria è stato effettuato secondo la UNI/TS 11300-2:

$$Q_{W,i} = \sum_{j=1}^{18} \frac{gg_i * V_{W,j} * c_{p,W} * (\theta_0 - \theta_{er})}{3600}$$

Dove:

- $Q_{W,i}$ è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per la produzione di acqua calda sanitaria nel mese i-esimo;
- gg_i sono i giorni di produzione di acqua calda sanitaria nel mese i-esimo;
- $V_{W,j}$ è il fabbisogno giornaliero di acqua calda sanitaria del subalterno j-esimo espresso in litri [l];
- $c_{p,W}$ è il calore specifico dell'acqua espresso in [kJ/(kg*K)];
- θ_0 è la temperatura di utilizzo espressa in [°C];
- θ_{er} è la temperatura dell'acqua fredda espressa in [°C];

Tabella 2.23 – Fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda sanitaria

Mese	Q _W [kWh]	Q _{W,gn,out} [kWh]	Q _{p,nren,W} [kWh]
Gennaio	1755,9	1755,9	3939,2
Febbraio	1586,0	1586,0	3559,3
Marzo	1755,9	1755,9	3946,6
Aprile	1699,3	1699,3	4090,8
Maggio	1755,9	1755,9	4149,4
Giugno	1699,3	1699,3	4015,5
Luglio	1755,9	1755,9	4149,4
Agosto	1755,9	1755,9	4149,4
Settembre	1699,3	1699,3	4015,5
Ottobre	1755,9	1755,9	4149,4
Novembre	1699,3	1699,3	4096,9
Dicembre	1755,9	1755,9	3947,3
Annuale	20674,3	20674,3	48208,7

Dove:

- Q_W è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per la produzione di acqua calda sanitaria;
- $Q_{W,gn,out}$ è l'energia termica in uscita dal sottosistema di generazione;
- $Q_{p,nren,W}$ è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio per la produzione di acqua calda sanitaria;

2.5.3 FABBISOGNO DI ENERGIA PER IL RAFFRESCAMENTO

Anche per il calcolo del fabbisogno di energia termica per il raffrescamento è stata utilizzata come temperatura esterna la temperatura media mensile.

Tabella 2.24 - Fabbisogno di energia per il raffrescamento

Mese	$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$Q_{C,int}$ [kWh]	$Q_{C,sol,w}$ [kWh]	$Q_{C,sol,op}$ [kWh]	$Q_{C,nd}$ [kWh]	$Q_{C,gn,out}$ [kWh]	$Q_{p,nren,C}$ [kWh]
Aprile	1495,5	415,8	223,1	1481,6	121,5	320,6	340,8	246,3
Maggio	5281,3	3469,7	3055,5	8252,3	1969,1	3107,8	1537,4	1412,3
Giugno	1605,6	2274,9	5845,1	13364,9	4768,9	15330,5	7883,0	6006,3
Luglio	-4221,5	-2130,9	6040,0	14150,6	5144,9	26543,1	14235,2	9384,4
Agosto	-4271,0	-2130,9	6040,0	13357,8	4848,3	25700,7	13986,6	9197,3
Settembre	4812,9	4403,7	5622,0	10478,5	3518,7	7016,6	3612,9	3490,2
Ottobre	3586,0	2022,5	2118,0	4648,5	824,3	1710,1	1141,1	912,9
Novembre	156,2	45,5	29,1	144,9	10,6	30,8	32,7	27,2
Annuale	8445,1	8370,1	28972,9	65879,0	21206,4	79859,3	42769,6	30677,0

Dove:

- $Q_{C,tr}$ è l'energia scambiata per trasmissione dall'intero edificio;
- $Q_{C,ve}$ è l'energia scambiata per ventilazione dall'intero edificio;
- $Q_{C,int}$ sono gli apporti termici interni;
- $Q_{C,sol}$ sono gli apporti termici solari;
- $Q_{C,nd}$ è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per il raffrescamento;
- $Q_{C,gn,out}$ è l'energia termica in uscita dal sottosistema di generazione;
- $Q_{p,nren,C}$ è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio per il raffrescamento;
- gg sono i giorni di raffrescamento;

2.5.4 FABBISOGNO DI ENERGIA PER L'ILLUMINAZIONE

Il fabbisogno di energia per l'illuminazione è stato calcolato solo per i subalterni 1 e 2 in quanto, essendo la loro classificazione è di tipo E.2, il fabbisogno di energia per l'illuminazione non è trascurabile come per i subalterni classificati come E.1.

Tabella 2.25 – Fabbisogno di energia per l'illuminazione

Mese	$Q_{el,nd}$ [kWh]	$Q_{p,nren,L}$ [kWh]
Gennaio	451,6	880,6
Febbraio	397,4	774,9
Marzo	430,7	839,8
Aprile	411,5	802,5
Maggio	423,0	824,8
Giugno	410,9	801,2
Luglio	422,1	823,1
Agosto	425,1	828,9
Settembre	417,1	813,3
Ottobre	437,6	853,4
Novembre	432,5	843,5
Dicembre	455,0	887,2
Annuale	5114,5	9973,2

Dove:

- $Q_{el,nd}$ è il fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione;
- $Q_{p,nren,L}$ è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per l'illuminazione;

2.5.5 CLASSE ENERGETICA EDIFICIO

Per determinare la classe energetica dell'edificio è necessario calcolare l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile definito come rapporto tra il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile annuale e la superficie utile dell'edificio:

$$EP_{gl,nren} = \frac{Q_{p,nren,H} + Q_{p,nren,W} + Q_{p,nren,C} + Q_{p,nren,L}}{S_{utile}} = 93,73 \left[\frac{kWh}{m^2 anno} \right]$$

Dove:

- $EP_{gl,nren}$ è l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile;
- $Q_{p,nren,H}$ è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio per il riscaldamento;
- $Q_{p,nren,W}$ è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio per la produzione di acqua calda sanitaria;
- $Q_{p,nren,C}$ è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio per il raffrescamento;
- $Q_{p,nren,L}$ è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio per l'illuminazione;
- S_{utile} è la superficie utile dell'edificio;

Una volta calcolato l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio, questo potrà essere confrontato con i valori riportati in **Figura 2.26** per determinarne la classe energetica.

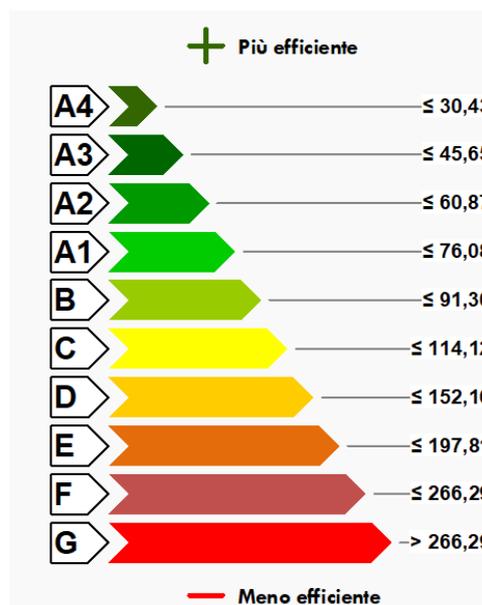


Figura 2.26 – Classi energetiche e valori di soglia

Dal confronto si evince che l'edificio ante intervento è di classe C.

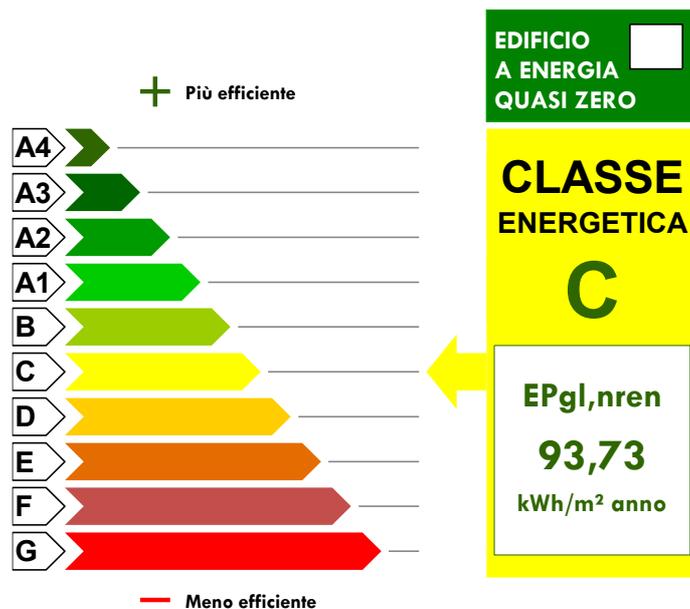


Figura 2.27 – Classe energetica dell'edificio ante intervento

In allegato è stata inserita la relazione di calcolo in cui sono esplicitati tutti i passaggi e i coefficienti utilizzati nella determinazione dei risultati.

CAPITOLO 3 – INTERVENTI MIGLIORATIVI

3.1 ISOLAMENTO TERMICO DELLE SUPERFICI OPACHE

Il primo intervento migliorativo che è stato effettuato riguarda l'isolamento termico delle superfici disperdenti opache orizzontali e verticali. Questa tipologia di intervento, detto anche “cappotto termico”, è uno dei metodi più efficaci per migliorare l'efficienza energetica degli edifici e consiste nell'avvolgere l'edificio con uno strato di materiale isolante che, limitando le dispersioni di calore sia nei mesi estivi che in quelli invernali, migliora il comfort abitativo e limita le emissioni di inquinanti grazie ad una riduzione del fabbisogno di energia per riscaldamento e raffrescamento.

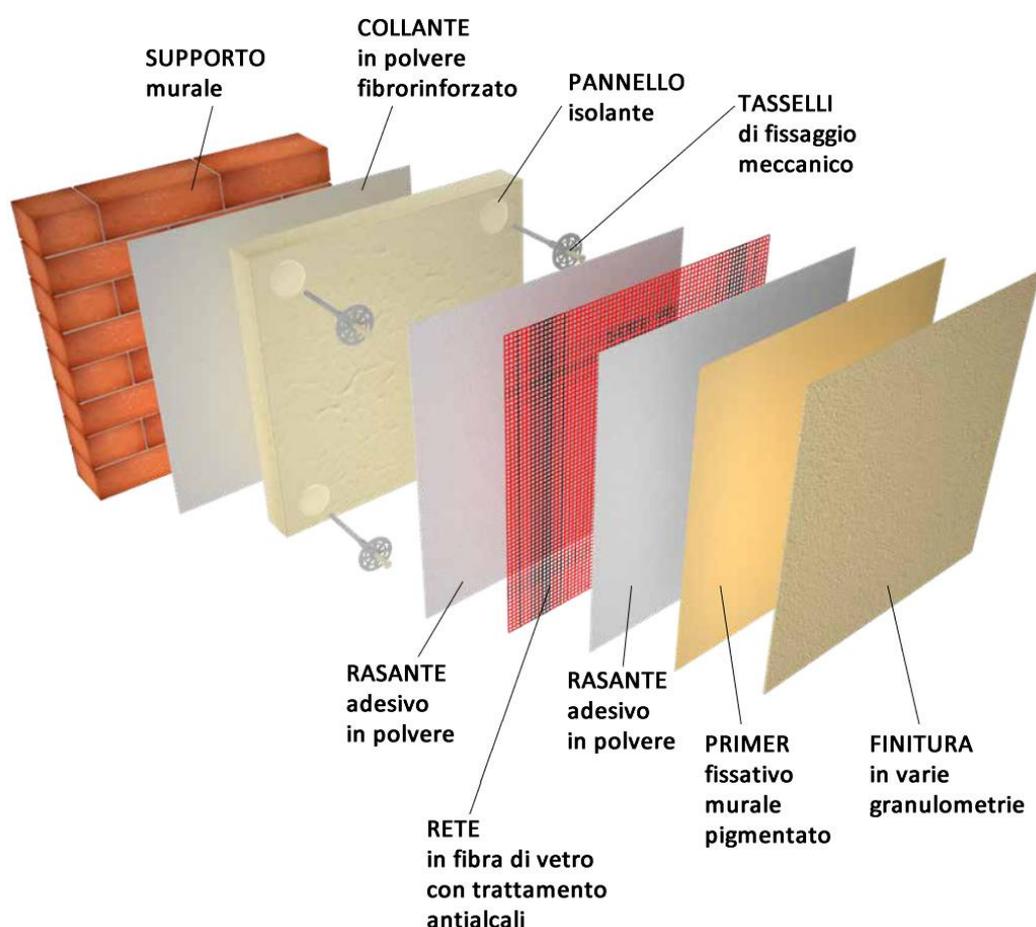


Figura 3.1 – Componenti del sistema a cappotto [25]

Questo intervento, avendo un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda complessiva, sarà quello trainante per il Superbonus 110% e, come discusso al **Paragrafo 1.5**, permetterà di effettuare contestualmente gli interventi trainati che verranno descritti successivamente.

3.1.1 SUPERFICI OPACHE VERTICALI

Per l'isolamento delle pareti verticali è stato scelto un pannello termoisolante, prodotto da IsolKappa e denominato "i-Grey Eco", in polistirene espanso sinterizzato a celle chiuse con ottime caratteristiche di stabilità dimensionale, planarità e tolleranza dimensionale garantite dal processo di detensionatura.

In **Tabella 3.1** sono riportate le principali proprietà termiche e fisiche del pannello isolante, rappresentato in **Figura 3.2**, che è stato installato sulle pareti verticali.

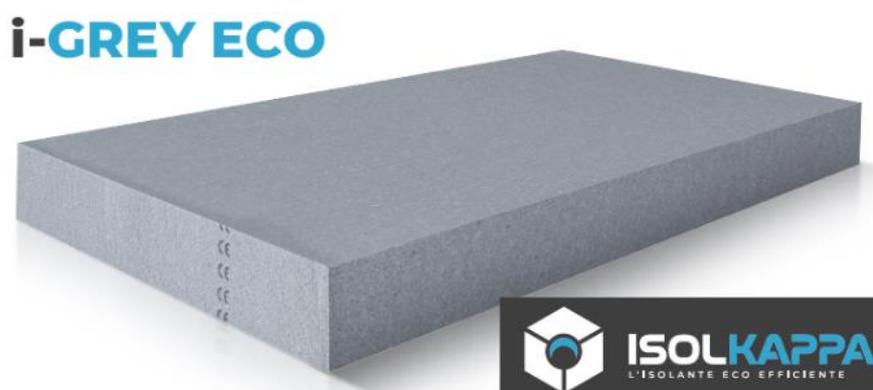


Figura 3.2 – Pannello isolante IsolKappa i-Grey eco [10]

Tabella 3.1 – Proprietà termiche e fisiche del pannello isolante IsolKappa i-Grey eco [10]

	SIMBOLO	UNITA' DI MIS.	VALORE	NORMA UNI	
PROPRIETÀ FISICHE	Conducibilità termica	λ_D	W/mK	0,030	EN 12667
	Reazione al fuoco	Euroclasse	-	E	EN 13501-1
	Capacità termica specifica*	C_p	J/kgK	1450	EN 10456
	Coefficiente dilatazione termica lineare*	α	10^{-5}	6×10^{-5}	EN 10456
	Temperatura massima di esercizio*	T	°C	≤ 75	-
	Assorbimento d'acqua per immersione totale a 28gg	WL(T)i	%	2	EN 12087
	Assorbimento acqua per immersione parziale	WL(P)i	Kg/m ²	0,03 - 0,04	EN 12087
	Permeabilità al vapore acqueo	δ	mg/(Pa*h*m)	0,015 - 0,030	EN 13163
	Resistenza al passaggio del vapore (permeabilità)	μ	-	20 ÷ 40	EN 13163
	Contenuto riciclato	T	%	15	DM 11/10/2017

Il pannello isolante, dello spessore di 10 cm, è stato applicato sulla parte esterna delle pareti, come si può notare in **Figura 3.3**, in quanto questa è la soluzione più efficace per edifici adibiti a civile abitazione, nei quali il riscaldamento è solitamente attivo solo durante il giorno e viene spento nelle ore notturne.



Figura 3.3 – Pannello isolante installato su “Parete esterna 25”

L’installazione del pannello isolante sull’estradosso della parete verticale permette:

- Di mitigare l’effetto dovuto allo spegnimento del riscaldamento, poiché il calore assorbito durante il giorno dalle pareti viene successivamente rilasciato durante la notte.
- Di eliminare tutti i ponti termici dovuti alla presenza delle travi e dei pilastri, come si può notare nel confronto tra le immagini termografiche in **Figura 3.4** dove è presente un’immagine scattata tramite termocamera sulla parete del piano attico messa a confronto con la parete di un edificio sprovvisto di coibentazione.

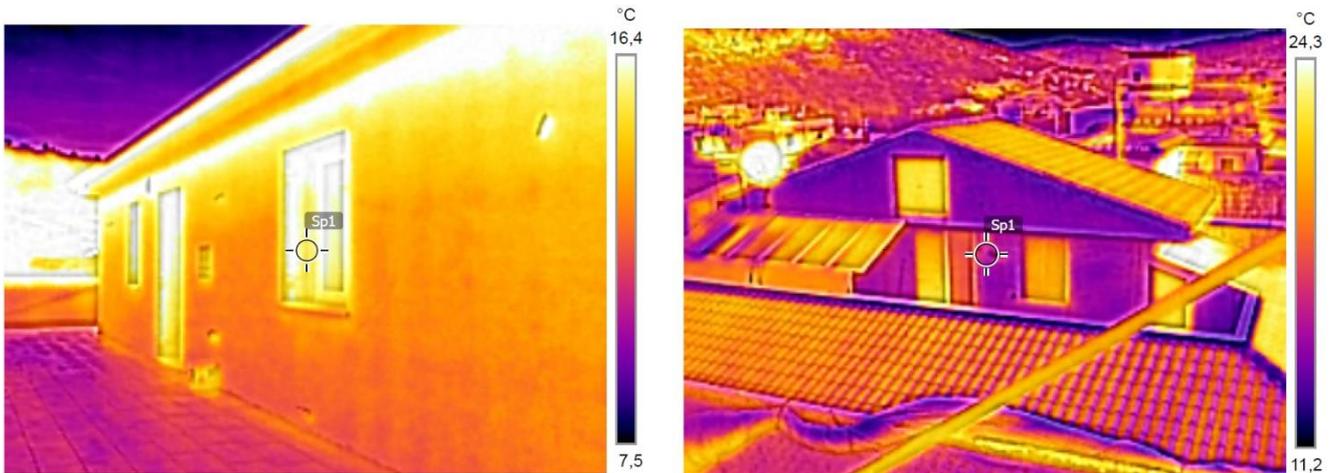


Figura 3.4 – Analisi termografica del piano attico dell’edificio in esame (a sinistra) e di un edificio provvisto di isolamento termico (a destra)

Le superfici opache verticali sulle quali è stato installato il pannello isolante descritto in questo paragrafo sono:

- Parete esterna 30;
- Parete esterna 25;
- Parete esterna garage 30;

La superficie opaca denominata “Parete esterna garage 30”, nonostante non sia una superficie disperdente, è stata coibentata sul lato nord-ovest al fine di evitare un’interruzione dell’isolamento che avrebbe lasciato un gradino antiestetico ed annesso ponte termico.

Le nuove stratigrafie ottenute con l’installazione dei pannelli isolanti saranno illustrate nel **Capitolo 4**.

3.1.2 SUPERFICI OPACHE ORIZZONTALI

Per l'isolamento delle superfici orizzontali:

- “Solaio in laterocemento (verso sottotetto)”, posizionato tra il piano attico e il sottotetto;
- “Copertura piana praticabile in laterocemento”, posizionata tra parte degli appartamenti al quarto piano e l'esterno;

è stato scelto un pannello termoisolante, prodotto da Isover e denominato “XPS BT”, in polistirene estruso, pellicolato e con bordi battentati ideale per l'isolamento di superfici orizzontali grazie alla sua elevata resistenza a compressione.



Figura 3.5 – Isolamento termico “Solaio in laterocemento (verso sottotetto)”, a sinistra, e “Copertura piana praticabile in laterocemento”, a destra.

In **Tabella 3.2** sono riportate le principali proprietà termiche del pannello isolante, dallo spessore di 12 cm, che è stato applicato sull'estradosso delle coperture in modo da:

- evitare la riduzione dell'altezza utile dei locali, cui si sarebbe andati incontro con una coibentazione interna;
- evitare disagi ai condomini dovuti a lavori all'interno degli appartamenti;

Tabella 3.2 - Proprietà termiche e fisiche del pannello isolante Isover XPS BT [11]

Dati Tecnici			
<u>Caratteristica</u>	<u>Normativa</u>	<u>Valore</u>	<u>Unità di misura</u>
Conducibilità termica dichiarata spessore 30	EN 12667	0.032	W/(m·K)
Conducibilità termica dichiarata spessore 40	EN 12667	0.033	W/(m·K)
Conducibilità termica dichiarata spessore 50-60	EN 12667	0.034	W/(m·K)
Conducibilità termica dichiarata spessore 80-100	EN 12667	0.035	W/(m·K)
Conducibilità termica dichiarata spessore 120	EN 12667	0.036	W/(m·K)
Resistenza alla compressione con deformazione del 10%	EN 826	>300	kPa
Classe di reazione al fuoco	EN 13501-1	E	-
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo	EN 12086	100 (150 sp. 30)	-
Calore specifico	EN 12524	1450	J/Kg·K

Per l'isolamento della superficie orizzontale "Solaio (Discendente) in laterocemento", posizionato tra il piano terra e il piano seminterrato, è stato scelto un pannello termoisolante, prodotto da Webertherm e denominato "LV034", con performance termiche simili al pannello isolante utilizzato per le coperture orizzontali, ma con una minore resistenza a compressione, scelta giustificata dal fatto che questo pannello non sarà soggetto in nessun caso a calpestio e quindi a compressione.

In **Tabella 3.3** sono riportate le principali proprietà termiche del pannello isolante, dallo spessore di 10 cm, che è stato applicato sull'intradosso del solaio e successivamente coperto da lastre di cartongesso.

Tabella 3.3 - Proprietà termiche e fisiche del pannello isolante Webertherm LV034 [12]

DATI TECNICI*	
Resistenza a compressione:	CS(10): > 15 kPa (EN 826)
Reazione al fuoco:	EUROCLASSE A2-s1, d0
Assorbimento d'acqua:	a breve periodo WS (EN 1609): < 1 kg/m ²
Coefficiente di resistenza al passaggio di vapore:	μ : 1 (EN 12086)
Stabilità dimensionale:	< 1% (EN 1604)
Densità:	~ 55 kg/mc
Calore specifico:	1.030 J/kgK (EN 12524)
Conduttività termica:	$\lambda_D = 0,034$ W/mK (a 10°C)
Tolleranza:	<ul style="list-style-type: none"> • Tolleranza sulla lunghezza (EN 822): $\pm 2\%$ • Tolleranza sulla larghezza (EN 822): $\pm 1,5\%$ • Tolleranza sullo spessore (EN 823): T5 • Tolleranza sulla squadratura (EN 824): < 5 mm/m • Tolleranza sulla planarità (EN 825): < 6 mm/m
Resistenza alla trazione perpendicolare alle facce:	TR7,5 (EN 1607): $\geq 7,5$ kPa

Si è deciso di non effettuare interventi di isolamento termico sulla copertura inclinata in quanto questo non avrebbe portato ad un risparmio di energia significativo, essendo questa una superficie di confine tra un ambiente non riscaldato, il sottotetto, e l'esterno.

Dall'analisi effettuata il risparmio di energia primaria non rinnovabile in condizioni di progetto, dovuto al solo isolamento di tutte le superfici opache, è pari a **37517 kWh/anno**.

3.2 INFISSI

Il primo intervento trainato che è stato eseguito è la sostituzione degli infissi, comprese le chiusure oscuranti. La soluzione scelta è quella proposta dalla Drutex, cioè un infisso con profilo in PVC e doppio vetro con intercapedine riempita di gas Argon con concentrazione al 90%. In **Figura 3.6** è rappresentata la sezione del modello di infisso scelto cioè l'Iglo 5 PCW.



Figura 3.6 – Sezione profilo Iglo 5 PCW [13]

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche dell'infisso scelto:

- Profilo del telaio e del battente in PVC a cinque camere prodotto con materiale non riciclato in classe A;
- Vetro doppio con intercapedine riempita con gas inerte, argon 90%, le cui specifiche tecniche sono riportate in **Figura 3.7**;

<p> FATTORI LUMINOSI CIE (15-2004)</p> <p>Trasmissione Luminosa (TL %) 49,9 % Riflessione esterna (RLe %) 7,0 % Riflessione interna (RLi %) 9,6 %</p>	<p> FATTORI SOLARI EN410 (2011-04)</p> <p>Fattore solare (g) 0,4090 Coefficiente d'ombreggiamento (SC) 0,4702</p>	<p> RESA CROMATICA CIE (15-2004)</p> <p>Trasmissione (Ra) 95,2 Riflessione (Ra) 97,6</p>	<p> FATTORI ENERGETICI EN410 (2011-04)</p> <p>Trasmissione (Te) 34,8 % Riflessione (Ree) 13,1 % Interna (Rei) 21,7 % Assorbimento (AE1) 47,4 % Assorbimento (AE2) 4,7 %</p>	<p> TRASMISSIONE TERMICA EN673 (2011-04)</p> <p>Ug 1,108 W/m².K 0° relativo alla posizione verticale</p>	<p> DIMENSIONI DI PRODUZIONE</p> <p>Spessore nominale 29,1 mm Peso 31,2 kg/m²</p>	<p> ACUSTICA EN12758</p> <p>Valori acustici simulati Rw(C;Ctr) = 35(-2;-6) dB</p>
---	---	--	---	---	--	---

Figura 3.7 – Specifiche tecniche vetro [13]

Le chiusure oscuranti in legno esistenti sono state sostituite con delle nuove persiane in alluminio di colore bianco al fine di ridurre gli apporti solari nel periodo estivo così da rispettare il limite imposto dalla normativa per l'area solare equivalente estiva per unità di superficie utile.

Dall'analisi effettuata il risparmio di energia primaria non rinnovabile in condizioni di progetto, dovuto alla sostituzione degli infissi, comprese le chiusure oscuranti, con infissi in PVC ad alte prestazioni termiche è pari a **7519 kWh/anno**.

3.3 IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE INVERNALE

Il secondo intervento trainato, che verrà esaminato in questo paragrafo, è la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale. Nell'edificio oggetto di intervento, essendo presenti due tipologie di impianto di riscaldamento, è stata data ad ogni condomino la possibilità di scegliere quale impianto sostituire. Di seguito sono riportate le due tipologie di intervento effettuate in base alle singole esigenze.

3.3.1 POMPA DI CALORE AD ALTA EFFICIENZA

La prima tipologia di impianto è quella composta da pompe di calore, in questo caso tutte reversibili, per la climatizzazione sia invernale che estiva. Le vecchie pompe di calore, elencate al **Paragrafo 2.3.1**, sono state sostituite con delle nuove ad alta efficienza prodotte da Fujitsu con due eccezioni:

- Subalterno 12: la pompa di calore esistente era già ad alta efficienza e di recente installazione, si è quindi deciso di non sostituirla;
- Subalterno 18: per la sostituzione di tutte le pompe di calore presenti, con quelle prodotte da Fujitsu scelte per gli altri appartamenti, sarebbe stato necessario un esborso economico da parte del condomino. Si è quindi deciso di optare per delle pompe di calore, sempre ad alta efficienza, dal costo inferiore in modo da rientrare nei limiti di spesa stabiliti dal Superbonus 110%;

L'elenco con i nuovi impianti installati è riportato nel **Capitolo 4** dove viene presentato l'edificio post intervento.

Sono state scelte delle pompe di calore, le cui caratteristiche sono riportate in **Tabella 3.4**, di potenza pari, o comunque simile, a quelle già installate che permettessero di rispettare i parametri stabiliti dal Superbonus 110% riportati nella **Tabella 1.2**.

Tabella 3.4 – Scheda tecnica pompe di calore Fujitsu serie KMCC [14]

Specifiche		Modello	Unità Int.	ASYG09KMCC	ASYG12KMCC
			Unità Est.	AOYG09KMCC	AOYG12KMCC
		Codice Kit (*)		3NGF87165	3NGF87170
Alimentazione		V/Ø/Hz	230/1/50		
Potenza	Raffrescamento	kW	2.5 (0.9-3.2)		3.4 (0.9-3.9)
	Riscaldamento		2.8 (0.9-4.0)		4.0 (0.9-5.3)
Potenza assorbita	Raffrescamento/Riscaldamento	kW	0.630/0.620		0.935/0.960
EER	Raffrescamento	W/W	3.97		3.65
COP	Riscaldamento		4.52		4.17



Figura 3.8 – Unità interna ed esterna pompa di calore Fujitsu serie KMCC [15]

Nel Subalterno 18, come detto in precedenza, sono state installate delle pompe di calore Gree della serie Console le cui caratteristiche tecniche sono riportate in **Tabella 3.5**.

Tabella 3.5 – Scheda tecnica pompe di calore Gree serie Console [16]

MODELLO	UNITÀ INTERNA ESTERNA	GEH09AA-K6DNA1F/I GEH09AA-K6DNA1F/O LCLH		GEH12AA-K6DNA1A/I GEH12AA-K6DNA1A/O LCLH	
		Unità di misura	Freddo	Caldo	Freddo
Capacità nominale (min.-max.) (EN14511)	kW	2,7 (0,7-3,4)	2,9 (0,6-3,5)	3,52 (0,8-4,4)	3,8 (1,1-4,4)
	BTU/h	9200	10000	12000	13000
EER/COP (EN14511)		3,75	3,97	3,52	3,96
Carico Termico (Pdesign c/ Pdesign h) (clima medio/più caldo/più freddo)*	kW	2,7	2,6/2,8/-	3,5	3,20/3,30/-



Figura 3.9 – Unità interna ed esterna pompa di calore Gree serie Console [17]

Dall’analisi effettuata il risparmio di energia primaria non rinnovabile in condizioni di progetto, dovuto alla sostituzione delle pompe di calore con pompe di calore ad alta efficienza è pari a **38642 kWh/anno**.

3.3.2 SISTEMA IBRIDO

La seconda tipologia di impianto di climatizzazione invernale è quella composta da caldaia e radiatori in ghisa. Nel caso in esame verrà sostituito solo il generatore di calore, per rendere gli interventi di ristrutturazione rapidi e poco invasivi, e non i terminali di erogazione. I nuovi generatori scelti in sostituzione delle caldaie standard sono dei moderni sistemi ibridi costituiti da una pompa di calore e da una caldaia a condensazione di ultima generazione messe in serie. Questo sistema permette sia di ridurre le emissioni, grazie agli elevati rendimenti di tutti i componenti, sia di utilizzare più fonti energetiche, tradizionali e rinnovabili, grazie ad una centralina intelligente che sceglie la fonte energetica più conveniente in ogni momento.

Tra i principali vantaggi dell'utilizzo di un sistema ibrido abbiamo:

- Ridotte spese di gestione;
- Ridotto impatto ambientale;
- Possibile integrazione con fonti di energia rinnovabile, fotovoltaico o eolico;
- Alti rendimenti in ogni stagione grazie alle diverse fonti di energia: aria, sole e gas.

Per garantire i vantaggi sopra elencati il modello di sistema ibrido scelto ha una logica di controllo interna che, inserendo i costi di energia elettrica e gas, calcola un COP di convenienza. In base alla temperatura esterna (Temp esterna) e alla temperatura di mandata (Set Risc) si possono avere due casi:

- 1) $COP < COP$ di convenienza: si attiva solo la caldaia a condensazione;
- 2) $COP > COP$ di convenienza: si attiva solo la pompa di calore, tuttavia, nel caso in cui non si dovesse raggiungere la temperatura di mandata impostata entro un certo lasso di tempo, si attiva anche la caldaia a condensazione in serie alla pompa di calore.

Nel grafico in **Figura 3.10** si possono vedere i range di funzionamento del sistema ibrido:

- Zona arancione: funzionamento della sola pompa di calore;
- Zona gialla: funzionamento in serie di pompa di calore e caldaia a condensazione;
- Zona azzurra: funzionamento della sola caldaia a condensazione.

Le temperature di commutazione Te_1 e Te_2 , che delimitano i range di funzionamento, sono determinate dalla logica di controllo. È tuttavia possibile, in alternativa al funzionamento automatico descritto sopra, impostare manualmente le temperature di commutazione Te_1 e Te_2 .

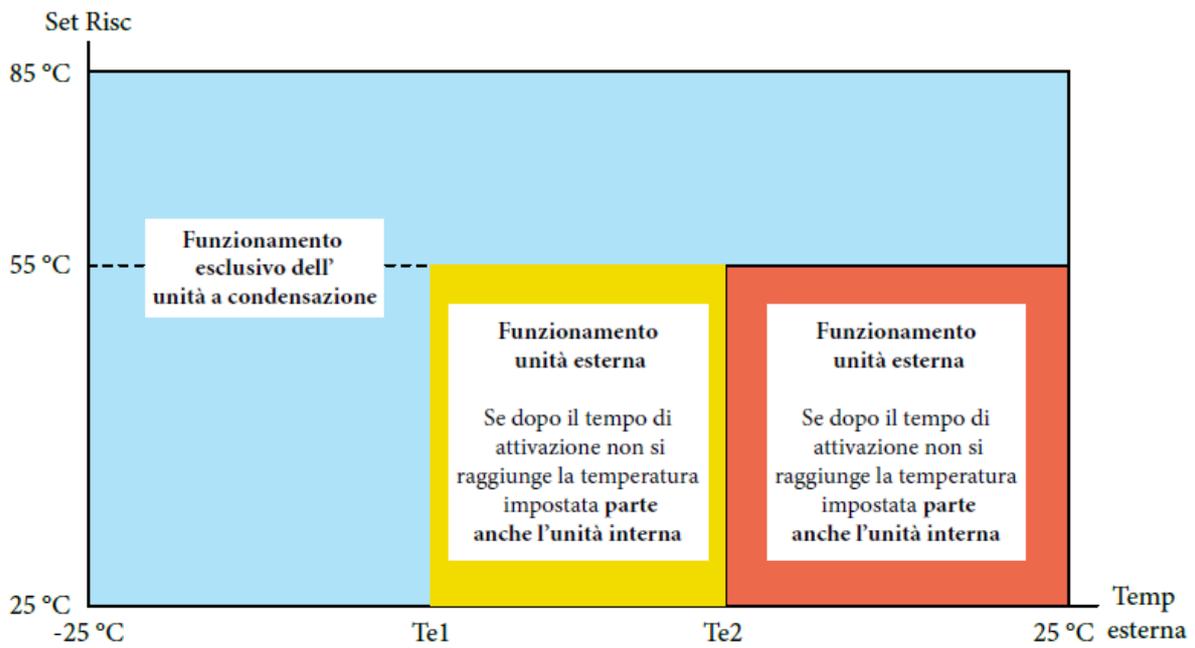


Figura 3.10 – Campi di funzionamento sistema ibrido [18]

In **Tabella 3.6** sono riportate le specifiche tecniche del modello Immergas Victrix Hybrid scelto per il caso in esame.



Figura 3.11 – Sistema ibrido Immergas Victrix Hybrid [18]

Tabella 3.6 – Specifiche tecniche sistema ibrido Immergas Victrix Hybrid

Audax DK4 (Pompa di calore)		
Potenza nominale in riscaldamento (acqua 35°C-aria 7°C)	3,98	kW
Potenza assorbita in riscaldamento (acqua 35°C-aria 7°C)	0,87	kW
COP (acqua 35°C-aria 7°C)	4,55	
Range temperatura di mandata riscaldamento	25÷55	°C
Limiti temperatura esterna per il funzionamento	-15÷25	°C
Victrix Hybrid (Caldaia a condensazione)		
Portata termica nominale massima sanitario	28,8	kW
Portata termica nominale massima sanitario	24,6	kW
Potenza utile nominale massima sanitario	28,3	kW
Potenza utile nominale massima sanitario	24,1	kW
Rendimento al 100% Pn	97,8	%
Rendimento al 30% del carico	102,3	%

Il sistema ibrido è stato scelto in modo tale che rispettasse i parametri imposti dal Superbonus 110% ed in particolare:

- La pompa di calore e la caldaia a condensazione, che costituiscono il sistema ibrido, sono state concepite e realizzate dal fabbricante per funzionare 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 pari a: $\frac{3,98}{24,1} = 0,165$ ed è inferiore al limite di 0,5 imposto;
- Il coefficiente di prestazione (COP) della pompa di calore rispetta i limiti riportati nella **Tabella 1.2**;
- Il rendimento della caldaia è superiore al limite imposto: $97,8 > 93 + 2 * \log(Pn) = 95,8$.

In **Figura 3.12** è rappresentato uno schema d'impianto di riscaldamento semplificato che utilizza il sistema ibrido scelto come generatore. Oltre alle componenti principali già descritte, caldaia a condensazione e pompa di calore, sono presenti anche un pannello di controllo, fornito di serie, che permette a pompa di calore e caldaia di interfacciarsi in ogni momento, e un cronotermostato ambiente, non compreso nel sistema ibrido, che verrà trattato in modo dettagliato nel **Paragrafo 3.5.2**.

Come si può notare dallo schema di impianto il circuito per l'acqua calda sanitaria non è collegato alla pompa di calore, ciò è dovuto al fatto che il sistema ibrido scelto non permette l'utilizzo della pompa di calore per la produzione di acqua calda sanitaria.

LEGENDA:

- 1) Caldaia a condensazione;
- 2) Pompa di calore;
- 3) Pannello di controllo;
- 4) Rubinetto intercettazione mandata da PdC;
- 5) Rubinetto intercettazione ritorno a PdC;
- 6) Cronotermostato ambiente;
- G) Tubazione Gas;
- AC) Tubazione mandata acqua calda sanitaria;
- AF) Tubazione acqua fredda;

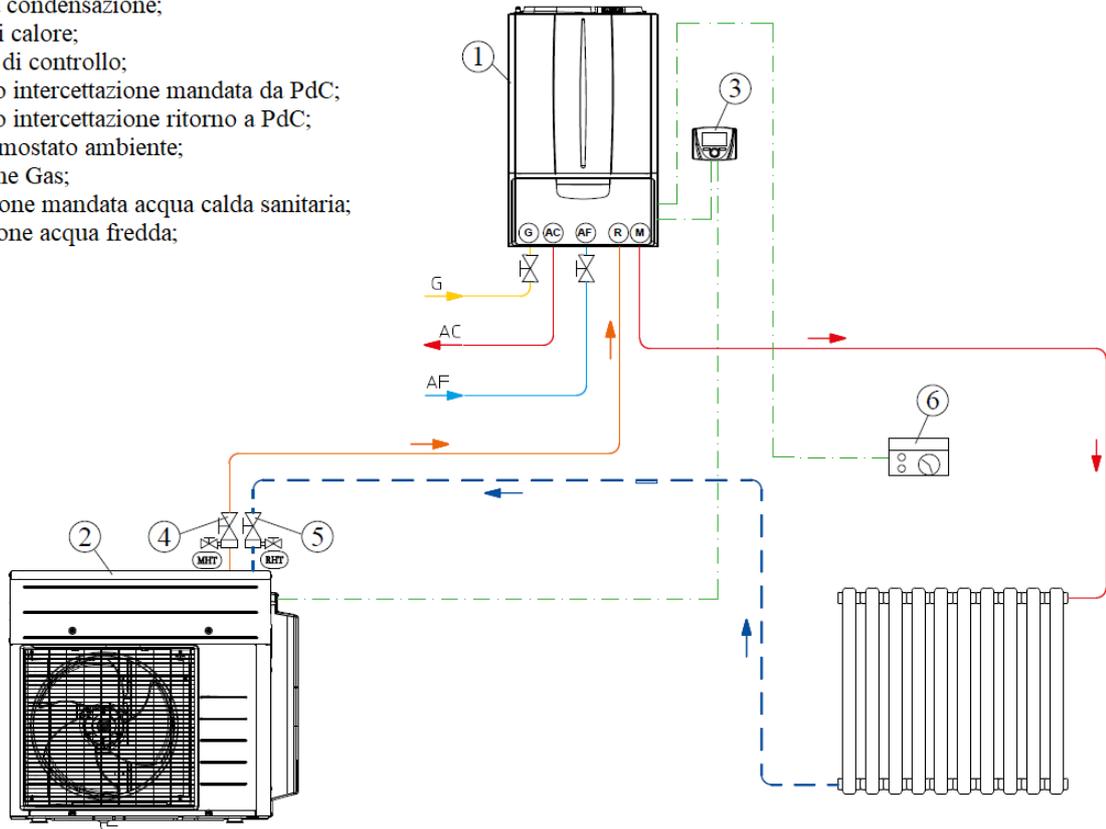


Figura 3.12 – Schema impianto con sistema ibrido [18]

Dall'analisi effettuata il risparmio di energia primaria non rinnovabile in condizioni di progetto, dovuto alla sostituzione delle caldaie di tipo standard con sistemi ibridi è pari a **32677 kWh/anno**.

3.4 SCALDA ACQUA A POMPA DI CALORE

Il terzo intervento trainato eseguito riguarda la sostituzione degli scaldacqua elettrici. Questo è stato effettuato solo negli appartamenti sprovvisti di caldaia, i quali dipendevano unicamente dallo scaldacqua elettrico per la produzione di acqua calda sanitaria.

In sostituzione dei vecchi scaldacqua elettrici sono stati scelti dei moderni scaldacqua a pompa di calore, i quali permettono di ottenere dei rendimenti tre volte superiori migliorando l'efficienza energetica.

Il modello scelto è il Nuos Evo A+ prodotto da Ariston, del quale è riportata la scheda tecnica in **Tabella 3.7**.

Tabella 3.7 – Scheda tecnica Nuos Evo A+ [19]

DATI TECNICI		80
COP**		2,83
COP***		2,60
Tempo di riscaldamento***	h:min	5:35
Temperatura min/max aria	°C	-5/42
Temperatura max acqua solo pompa di calore/con R	°C	62/75
Potenza sonora*****	dB(A)	50
Potenza elettrica assorbita media in pompa di calore	W	250
Potenza elettrica assorbita max in pompa di calore	W	350
Capacità nominale accumulo	l	80
Pressione massima di esercizio	bar	8
Tensione/Potenza massima assorbita	V/W	220-240/1550
Potenza resistenza	W	1200
Portata d'aria standard	m ³ /h	100-200
Volume minimo del locale d'installazione***	m ³	20
Massa a vuoto	kg	50
Protezione elettrica		IP24
Spessore isolamento	mm	41
Diametro connessioni acqua	"	1/2 M
Minima Temperatura del locale di accumulo	°C	1
Dispersioni termiche (Pes)***	W	12
Pressione statica disponibile	Pa	65
Consumo annuo di energia (clima medio)***	kWh/anno	479
Rendimento stagionale**	%	107,1
V40 (quantità di acqua miscelata a 40°C)***	l	85
DATI F-GAS		
Tipo refrigerante		R-134a
Carica refrigerante	g	500
GWP		1430
CO2 equivalenti	t	0,72



Figura 3.13 – Nuos Evo A+ [19]

Tra le principali caratteristiche del modello selezionato troviamo:

- Range di lavoro in pompa di calore compreso tra -5°C e 42°C di temperatura dell'aria;
- Utilizzo di gas ecologico R134a;
- Bassa rumorosità;
- Permette di raggiungere temperature dell'acqua fino a 62°C in pompa di calore;
- Resistenza elettrica integrativa.

La resistenza elettrica integrativa presente viene utilizzata nel caso in cui le condizioni di lavoro siano oltre il range previsto o nel caso in cui sia necessario avere acqua calda sanitaria ad una temperatura superiore ai 62°C.

Nell'edificio in esame verrà installata anche un'altra tipologia di scaldacqua a pompa di calore che sarà a servizio del solo subalterno situato al piano attico. La particolarità di questo scaldacqua è che, grazie alla presenza di una doppia serpentina interna, servirà da accumulo per l'impianto solare termico, che verrà trattato successivamente in questo capitolo.

Il modello scelto è la Rapax 300 SOL V3, di cui sono riportate le specifiche tecniche in **Tabella 3.8**.

Tabella 3.8 – Scheda tecnica Immergas Rapax 300 Sol V3 [20]

Caratteristiche Tecniche	Unità di misura	Rapax 200 V3	Rapax 200 SOL V3	Rapax 300 V3	Rapax 300 SOL V3
Dimensioni	mm	H 1617 x L 620 x P 665		H 1957 x L 620 x P 665	
Peso a vuoto (versione senza serpentina)	kg	80	-	92	-
Peso a vuoto (versione con serpentina)	kg	-	97	-	111
Capacità del serbatoio	L	200	197	270	263
Raccordo acqua calda + fredda	-	3/4" M			
Protezione anticorrosione	-	Anodo di magnesio			
Pressione massima esercizio	bar	8			
Collegamento elettrico (tensione/frequenza)	V	230 V monofase 50 Hz			
Potenza max totale assorbita dal dispositivo	W	2300			
Potenza max assorbita dalla pompa di calore	W	700			
Potenza assorbita da unità elettrica ausiliaria	W	1600			
COP (a 15°C)		3,05	3,07	3,61	3,44
Intervallo di impostazione della temperatura dell'acqua della pompa di calore	°C	da 50 a 62 (impostazione della temperatura di fabbrica 52°C)			
Intervallo di temperatura per l'uso della pompa di calore (temperatura dell'aria)	°C	da -5 a +43			
Diametro di rivestimento	mm	160			
Potenza acustica	db (A)	53			
Portata aria senza condotti - Velocità 1	m³/h	310			
Portata aria senza condotti - Velocità 2	m³/h	390			
Perdite di carico accettabili sul circuito di ventilazione senza effetto sulle prestazioni	Pa	25			
Fluido refrigerante	-	R513A			
Massa del fluido refrigerante	kg/l	0,80		0,86	
Volume fluido refrigerante	Ton CO ₂ Eq.	0,50		0,54	



Figura 3.14 – Rapax 300 SOL V3 [20]

Questo modello di scaldacqua a pompa di calore, grazie alla presenza di una doppia serpentina interna, permette l'integrazione con i pannelli solari ed inoltre, grazie alla pompa di calore alimentata da energia elettrica, permette l'integrazione con l'impianto fotovoltaico rendendo massimo l'utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di acqua calda sanitaria.

Dall'analisi effettuata il risparmio di energia primaria non rinnovabile in condizioni di progetto, dovuto alla sostituzione degli scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore è pari a **6627 kWh/anno**.

3.5 DISPOSITIVI DI REGOLAZIONE EVOLUTI

In questo paragrafo verranno trattati esclusivamente i metodi di regolazione previsti per gli impianti di riscaldamento composti da sistema ibrido e radiatori, in quanto i sistemi di regolazione per gli impianti costituiti da pompe di calore sono già integrati a bordo macchina e né necessitano di un'ulteriore regolazione né lo permettono essendo sistemi chiusi.

3.5.1 VALVOLE TERMOSTATICHE

In **Figura 3.15** è rappresentato il modello di valvola termostatica scelta, prodotta da RBM, che è stata installata in ogni radiatore presente nell'edificio.

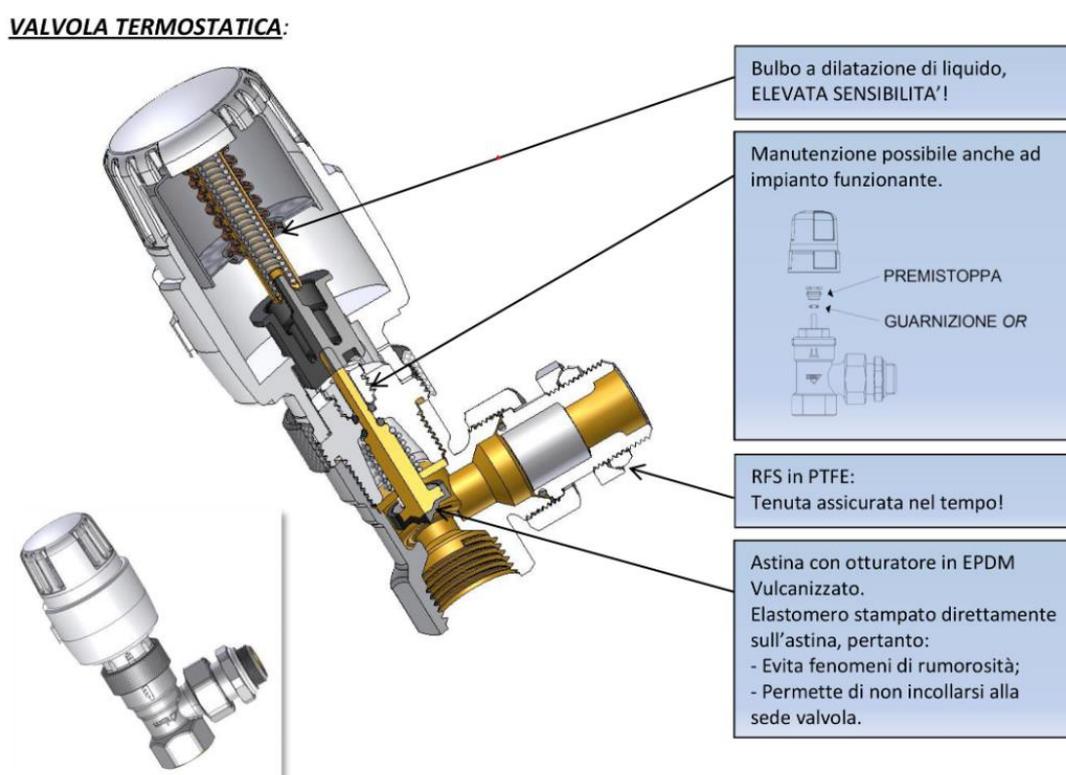


Figura 3.15 – Sezione valvola termostatica [21]

Questo elemento è composto da una valvola termostattizzabile e da una testa termostatica che, grazie alla presenza di un liquido ad elevata dilatazione termica presente nel bulbo, permette di modificare la sezione di passaggio dell'acqua in ingresso al radiatore in funzione della temperatura ambiente.

Questo elemento si rende necessario, nonostante sia già presente una regolazione tramite termostato ambiente, perché permette di regolare la temperatura di ogni locale tenendo in considerazione anche gli apporti interni che altrimenti, andandosi a sommare col fabbisogno termico teorico erogato dal radiatore, porterebbero ad un eccessivo innalzamento della temperatura del locale e ad un consumo energetico ingiustificato.

3.5.2 CONTROLLO AMBIENTALE EVOLUTO

Il secondo dispositivo utilizzato per la regolazione che è stato sostituito è il cronotermostato ambiente. È stato scelto un cronotermostato evoluto, appartenente alla classe VII, che rileva la temperatura ambiente e agisce direttamente sulla caldaia.

In **Figura 3.16** è rappresentato il cronotermostato scelto, denominato Crono 7, che essendo di tipo modulante è in grado di regolare la potenza erogata dalla caldaia in base alla temperatura ambiente rilevata, ciò permette di utilizzare la massima potenza della caldaia nei momenti di elevata richiesta e di ridurre la potenza fino al minimo quando ci si avvicina alla temperatura impostata.



Figura 3.16 – Cronotermostato ambiente evoluto Crono 7 [22]

Per questa tipologia di dispositivi, nonostante siano ammessi dal Superbonus 110%, non è possibile quantificarne a priori il risparmio energetico.

3.6 SOLARE TERMICO

Il quinto intervento trainato riguarda l'installazione di un impianto solare termico. Questo intervento, a causa dello spazio ridotto in copertura, verrà eseguito solo per il subalterno situato al piano attico.

L'impianto solare termico installato verrà utilizzato esclusivamente per la produzione di acqua calda sanitaria e, come già trattato al **Paragrafo 3.4**, è stato integrato con uno scaldacqua a pompa di calore che verrà utilizzato sia come accumulo per l'acqua calda sanitaria prodotta dall'impianto solare termico, sia per sopperire al fabbisogno di acqua calda sanitaria dell'appartamento qualora quella prodotta dai collettori solari dovesse risultare insufficiente.

L'impianto solare termico scelto, prodotto da Immergas e denominato BASIC SOL V2, è mostrato in **Figura 3.17** ed è composto da:

- 1) Due collettori piani CP4 XL con superficie captante pari a 2,52 m², per un totale di 5,04 m²;
- 2) Centralina di controllo elettronica con sonde di temperatura;
- 3) Gruppo solare di circolazione singolo a basso consumo, in quanto si tratta di un impianto a circolazione forzata;
- 4) Vaso di espansione da 18 litri;
- 5) Valvola di sicurezza;
- 6) Gruppo sonda e sfiato impianto;
- 7) Valvola miscelatrice;
- 8) Scaldacqua a pompa di calore Rapax 300 Sol V3, presentato in precedenza;
- 9) Valvola di ritegno;
- A) Prelievo acqua calda sanitaria;
- B) Prelievo acqua fredda.

I due collettori solari sono stati posizionati sulla copertura inclinata del piano attico ed orientati verso sud-est.

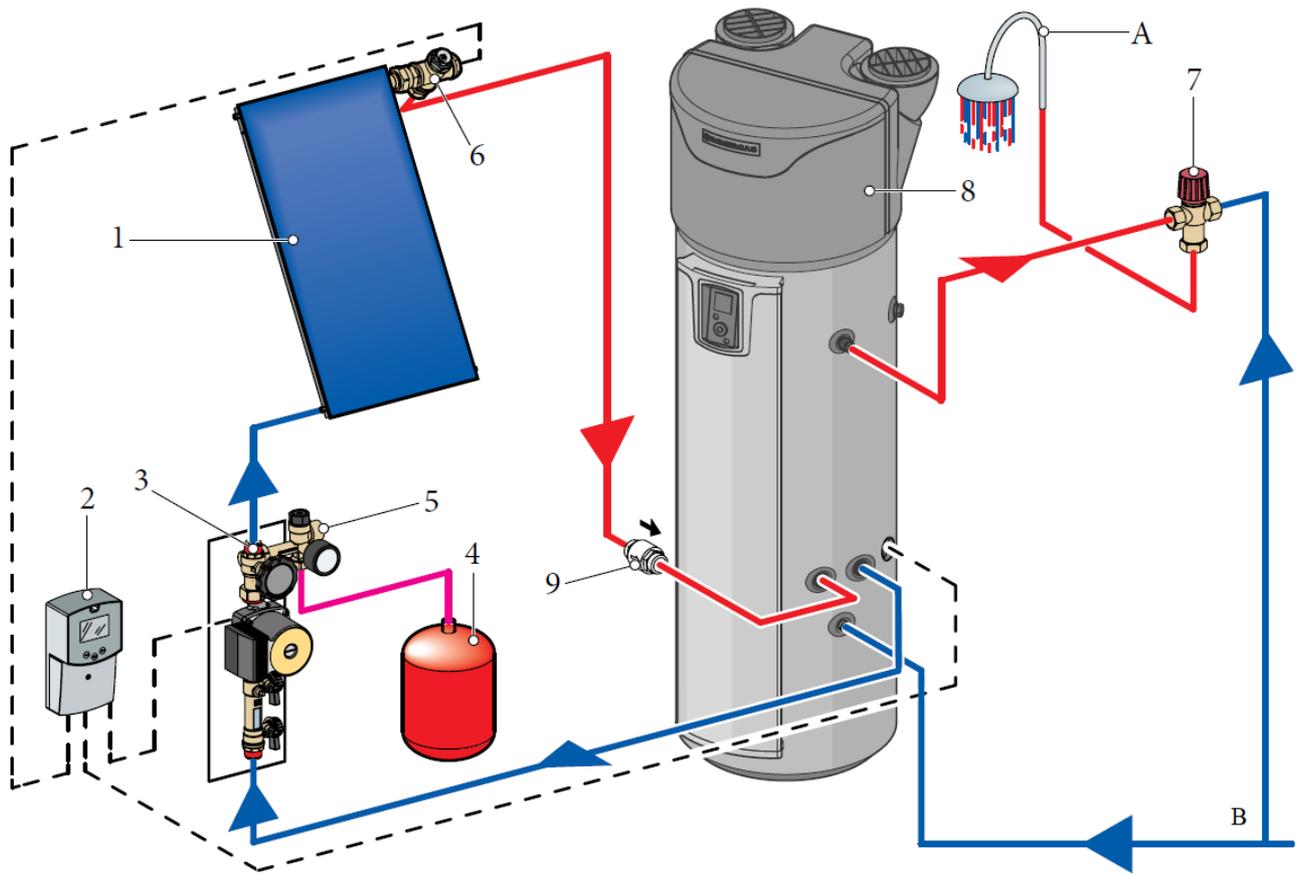


Figura 3.17 – Schema impianto solare termico [20]

Dall'analisi effettuata il risparmio di energia primaria non rinnovabile in condizioni di progetto, dovuto all'installazione dei collettori solari termici, escluso il contributo dovuto all'installazione dello scaldacqua a pompa di calore, è pari a **5625 kWh/anno**.

3.7 IMPIANTO FOTOVOLTAICO

L'ultimo intervento trainato relativo al risparmio energetico riguarda l'installazione di due impianti fotovoltaici:

- Il primo a servizio dell'ascensore e delle parti comuni del condominio;
- Il secondo a servizio dell'appartamento situato al piano attico.

Il primo impianto, posizionato sulla copertura piana del torrino scala, ha una potenza di picco pari a circa 8 kWp ed è corredato di un accumulo di capacità pari a circa 14 kWh. I principali elementi che compongono l'impianto sono:

- 16 pannelli TSM-505-DE, prodotti dalla Trina Solar e rappresentati in **Figura 3.18**, che hanno potenza di picco pari a 505 Wp;
- Inverter ibrido ZCS Azzurro HYD8000-ES Trifase, rappresentato in **Figura 3.19**;
- 6 pacchi batterie Pylontech aventi ognuno capacità pari a 2,4 kWh.

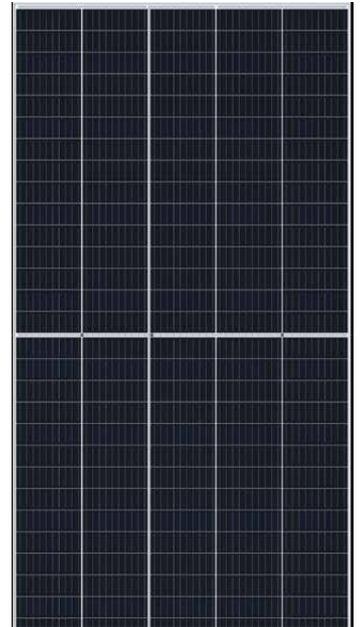


Figura 3.18 – Pannello fotovoltaico Trinasolar [23]

Il secondo impianto, posizionato su un pergolato appositamente progettato, ha una potenza di picco pari a circa 7 kWp ed è corredato di un accumulo di capacità pari a circa 14 kWh. I principali elementi che compongono l'impianto sono:

- 18 pannelli Q.PEAK DUO ML G9, prodotti dalla Q.ANTUM, che hanno potenza di picco pari a 390 Wp;
- Inverter ibrido ZCS Azzurro HYD8000-ES Trifase;
- 6 pacchi batterie Pylontech aventi ognuno capacità pari a 2,4 kWh.



Figura 3.19 – Inverter ibrido ZCS Azzurro [24]

In questo caso di studio, in base alla superficie disponibile sulla copertura dell'edificio, non è stato possibile installare un impianto fotovoltaico per ogni appartamento, sebbene il Superbonus 110% lo permettesse, infatti per poter installare il secondo impianto fotovoltaico, che sarà a servizio solo dell'appartamento situato al piano attico, è stato necessario progettare e realizzare un'apposita struttura, situata sulla terrazza privata dell'appartamento, per ospitarlo.

Infine, vista l'elevata disponibilità di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili, sono state installate due colonnine di ricarica per i veicoli elettrici di cui una, a disposizione di tutti i condomini,

collegata all'impianto fotovoltaico comune e situata in una parte comune del piano seminterrato, adibito a garage, e l'altra collegata all'impianto fotovoltaico privato dell'appartamento al piano attico e collocata nel relativo box privato.

Dall'analisi effettuata la produzione di energia rinnovabile in condizioni di progetto è pari a:

- Impianto fotovoltaico comune: **9517 kWh/anno**;
- Impianto fotovoltaico Sub 18: **8328 kWh/anno**.

3.8 ASCENSORE

L'ultimo intervento trainato che è stato realizzato non riguarda strettamente il risparmio energetico ma è relativo all'abbattimento delle barriere architettoniche per favorire la mobilità di persone portatrici di handicap e di età superiore a 65 anni.

Nell'edificio oggetto di intervento è stato sostituito l'ascensore esistente con uno di ultima generazione che rispettasse la nuova normativa in materia, e permettesse l'accesso e il trasporto di persone con disabilità motorie.

Le caratteristiche principali del nuovo ascensore sono:

- Portata pari a 375 kg;
- Capienza 5 persone;
- Azionamento elettrico tramite motore monofase a risparmio energetico di potenza pari a circa 500 W;
- Velocità 0,8 m/s;
- Sette arresti;
- 18,1 m di corsa;
- Cabina in acciaio con pavimento in PVC;
- Aerazione naturale tramite apposite feritoie;
- Porta automatica;
- Normativa di riferimento 2014/33/UE, EN81.20/50.



Figura 3.20 – Cabina ascensore

Come si può notare dalle caratteristiche dell'ascensore scelto, ricavate dal preventivo fornito dall'istallatore, nonostante l'obiettivo dell'intervento non fosse il risparmio energetico, si riesce ad ottenere lo stesso servizio con un notevole riduzione di potenza richiesta, in quanto il motore del precedente ascensore necessitava di una potenza pari a circa 3 kW.

3.9 RIEPILOGO RISPARMI DI ENERGIA

In **Tabella 3.9** è riportato il riepilogo dei risparmi di energia dovuti ai singoli interventi suddivisi per appartamento. Dall'elenco mancano i subalterni 1 2 e 3 in quanto, non rientrando nelle categorie che possono usufruire del Superbonus 110%, hanno beneficiato solo degli interventi trainanti sulle parti comuni e non hanno potuto effettuare interventi trainati sulle parti private.

Tabella 3.9 – Risparmi di energia espressi in [kWh]

	Isolamento superfici opache	Infissi	Pompa di calore	Scalda acqua a pompa di calore	Sistema ibrido	Solare termico
Parti comuni	37517	0	0	0	0	0
Sub 4	0	479	0	0	3841	0
Sub 5	0	262	2900	724	0	0
Sub 6	0	454	0	0	2947	0
Sub 7	0	461	0	0	4456	0
Sub 8	0	880	0	0	6794	0
Sub 9	0	507	0	0	5450	0
Sub 10	0	335	1844	1844	0	0
Sub 11	0	446	0	0	5829	0
Sub 12	0	490	0	0	3360	0
Sub 13	0	232	0	1992	0	0
Sub 14	0	273	2130	1064	0	0
Sub 15	0	943	10709	0	0	0
Sub 16	0	666	6885	0	0	0
Sub 17	0	698	6145	0	0	0
Sub 18	0	393	8029	1003	0	5625
Totale	37517	7519	38642	6627	32677	5625

CAPITOLO 4 – EDIFICIO POST INTERVENTO

In questo capitolo verrà presentato l'edificio nella situazione post intervento.



Figura 4.1 – Vista frontale dell'edificio post intervento

Dalla foto dell'edificio post intervento, rappresentato in **Figura 4.1**, si può notare come, nonostante l'obiettivo principale degli interventi fosse quello di migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio, sia di fatto migliorato anche l'aspetto estetico.

Nei successivi paragrafi verranno descritte le caratteristiche dell'edificio dopo l'esecuzione degli interventi migliorativi, ed in particolare verranno trattati:

- 1) Le stratigrafie delle strutture opache che hanno subito l'intervento di isolamento termico;
- 2) L'elenco di tutti gli infissi;
- 3) L'elenco degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva;
- 4) L'elenco degli impianti di produzione di acqua calda sanitaria;
- 5) Le dispersioni invernali;
- 6) I fabbisogni energetici per riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria e raffrescamento;
- 7) Il calcolo della classe energetica dell'edificio.

I calcoli sono stati eseguiti tramite software, come per l'edificio ante intervento trattato al **Capitolo 2**, ed i valori utilizzati per il calcolo, caratteristici della zona climatica e del comune in cui è ubicato l'edificio, sono rimasti invariati.

4.1 STRATIGRAFIA SUPERFICI DISPERDENTI

4.1.1 SUPERFICI OPACHE VERTICALI

1) Parete esterna 30 Coibentata

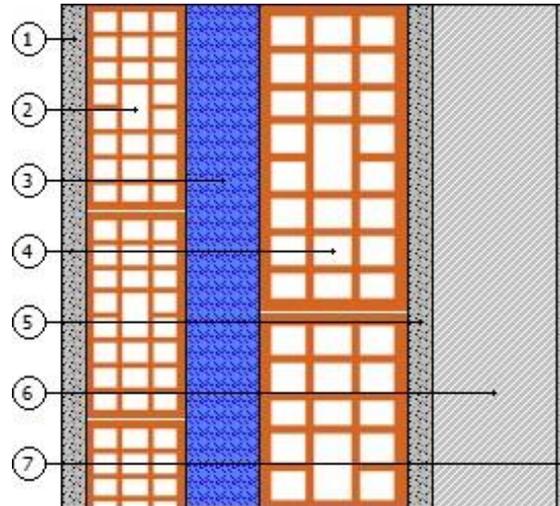


Figura 4.2 – Stratigrafia “Parete esterna 30 Coibentata”

Tabella 4.1 – Caratteristiche termiche della superficie opaca verticale “Parete esterna 30 Coibentata”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	2,0	0,700		1400	0,029
2	Blocco forato di laterizio	8,0		5,000	800	0,200
3	Aria intercapedine flusso orizzontale	6,0		5,423	1	0,184
4	Blocco forato di laterizio	12,0		3,226	800	0,310
5	Intonaco di calce e gesso	2,0	0,700		1400	0,029
6	IsolKappa i-Grey eco	10,0	0,030		17	3,333
7	Rasante per Cappotto SM700	1,0	0,540		1400	0,019
Spessore totale		41,0	Resistenza superficiale interna			0,130
			Resistenza superficiale esterna			0,040
			Resistenza termica totale			4,273
			Trasmittanza termica [W/m ² K]			0,234

2) Parete esterna 25 Coibentata

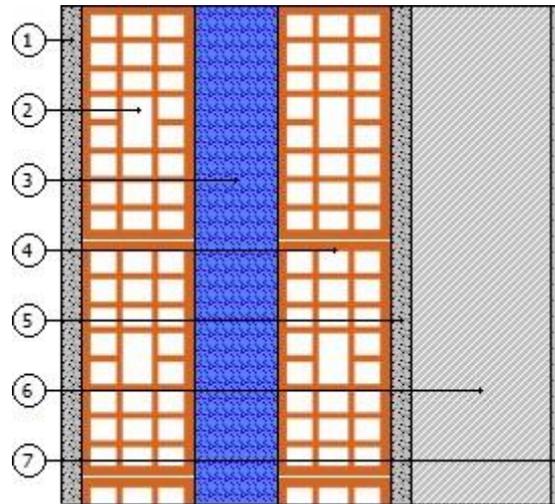


Figura 4.3 – Stratigrafia “Parete esterna 25 Coibentata”

Tabella 4.2 – Caratteristiche termiche della superficie opaca verticale “Parete esterna 25 Coibentata”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	1,5	0,700		1400	0,021
2	Blocco forato di laterizio	8,0		5,000	800	0,200
3	Aria intercapedine flusso orizzontale	6,0		5,423	1	0,184
4	Blocco forato di laterizio	8,0		5,000	800	0,200
5	Intonaco di calce e gesso	1,5	0,700		1400	0,021
6	IsolKappa i-Grey eco	10,0	0,030		17	3,333
7	Rasante per Cappotto SM700	1,0	0,540		1400	0,019
Spessore totale		36,0	Resistenza superficiale interna			0,130
			Resistenza superficiale esterna			0,040
			Resistenza termica totale			4,149
			Trasmittanza termica [W/m ² K]			0,241

3) Parete esterna garage 30 Coibentata

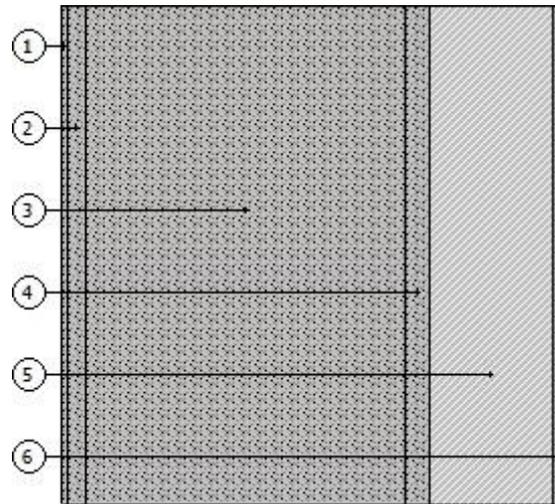


Figura 4.4 – Stratigrafia “Parete esterna garage 30 Coibentata”

Tabella 4.3 – Caratteristiche termiche della superficie opaca verticale “Parete esterna garage 30 Coibentata”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	0,5	0,700		1400	0,007
2	Malta di calce o di calce e cemento	1,5	0,900		1800	0,017
3	Calcare (1900 kg/m ³)	26,0	1,500		1900	0,173
4	Malta di calce o di calce e cemento	2,0	0,900		1800	0,022
5	IsolKappa i-Grey eco	10,0	0,030		17	3,333
6	Rasante per Cappotto SM700	1,0	0,540		1400	0,019
Spessore totale		41,0	Resistenza superficiale interna		0,130	
			Resistenza superficiale esterna		0,040	
			Resistenza termica totale		3,741	
			Trasmittanza termica [W/m ² K]		0,267	

4.1.2 SUPERFICI OPACHE ORIZZONTALI

1) Solaio in laterocemento (verso sottotetto) Coibentato

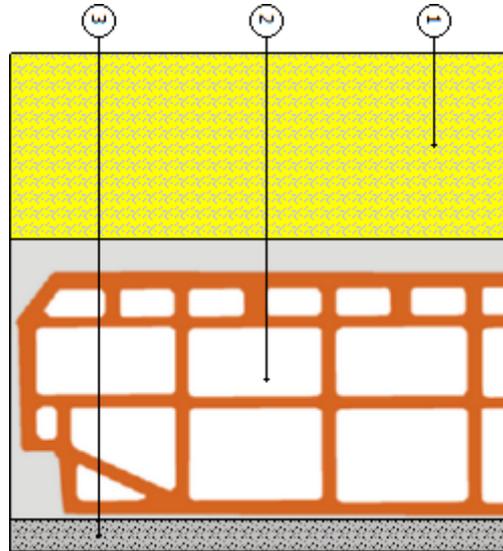


Figura 4.5 – Stratigrafia “Solaio in laterocemento (verso sottotetto) Coibentato”

Tabella 4.4 – Caratteristiche termiche della superficie opaca orizzontale “Solaio in laterocemento (verso sottotetto) Coibentato”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Isover XPS BT	12,0	0,036		30	3,333
2	Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo) 160 + malta di cemento 20	18,0		3,333	1022	0,300
3	Malta di calce o di calce e cemento	2,0	0,900		1800	0,022
Spessore totale		32,0	Resistenza superficiale interna			0,100
			Resistenza superficiale esterna			0,100
			Resistenza termica totale			3,856
			Trasmittanza termica [W/m ² K]			0,259

2) Solaio (Discendente) in laterocemento Coibentato

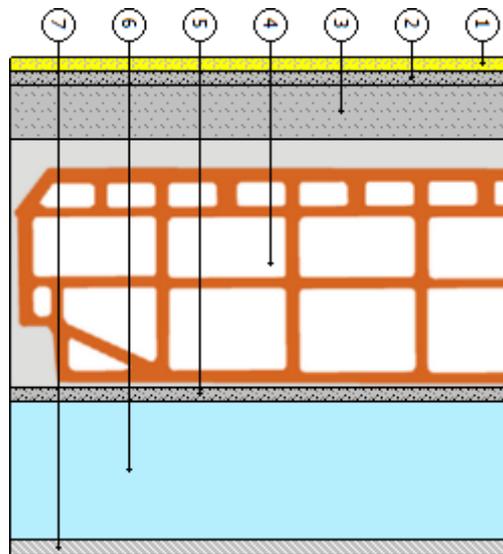


Figura 4.6 – Stratigrafia “Solaio (Discendente) in laterocemento Coibentato”

Tabella 4.5 – Caratteristiche termiche della superficie opaca orizzontale “Solaio (Discendente) in laterocemento Coibentato”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Pavimentazione interna - gres	1,0	1,470		1700	0,007
2	Malta di cemento	1,0	1,400		2000	0,007
3	Massetto in calcestruzzo alleggerito (900 kg/m ³)	4,0	0,580		900	0,069
4	Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo) 160 + malta di cemento 20	18,0		3,333	1022	0,300
5	Malta di calce o di calce e cemento	1,0	0,900		1800	0,011
6	Webertherm LV034	10,0		3,333	1022	0,300
7	Cartongesso	1,2	0,250		900	0,048
Spessore totale		36,2	Resistenza superficiale interna		0,170	
			Resistenza superficiale esterna		0,170	
			Resistenza termica totale		3,723	
			Trasmittanza termica [W/m ² K]		0,269	

3) Copertura piana praticabile in laterocemento Coibentata

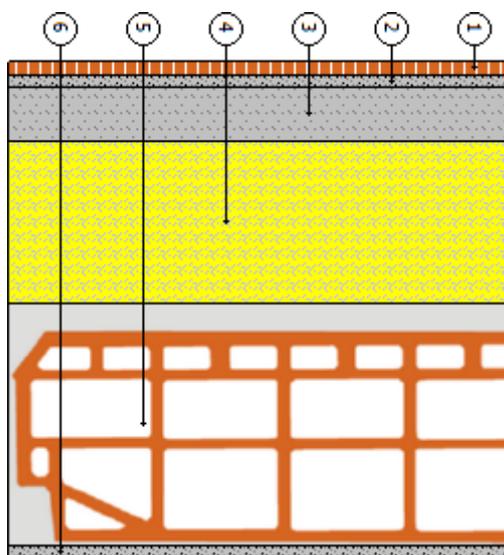


Figura 4.7 – Stratigrafia “Copertura piana praticabile in laterocemento Coibentata”

Tabella 4.6 – Caratteristiche termiche della superficie opaca orizzontale “Copertura piana praticabile in laterocemento Coibentata”

N	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	Densità [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Pavimentazione esterna - klinker	1,0	0,700		1500	0,014
2	Colla per piastrelle	1,0	1,400		2000	0,007
3	Massetto in calcestruzzo alleggerito (900 kg/m ³)	4,0	0,580		900	0,069
4	Isover XPS BT	12,0	0,036		30	3,333
5	Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo) 160 + malta di cemento 20	18,0		3,333	1022	0,300
6	Malta di calce o di calce e cemento	1,0	0,900		1800	0,011
Spessore totale		37,0	Resistenza superficiale interna		0,100	
			Resistenza superficiale esterna		0,040	
			Resistenza termica totale		3,875	
			Trasmittanza termica [W/m ² K]		0,258	

4.1.3 SERRAMENTI

In **Tabella 4.7** sono elencati tutti gli infissi presenti nell'edificio ed in particolare è riportato:

- Tipologia di infisso;
- Dimensioni dell'infisso;
- Tipologia di vetro;
- Materiale di cui è fatto il telaio;
- Trasmittanza totale dell'infisso, che include telaio, vetro e relativo ponte termico;
- Quantità di infissi di quella tipologia installati in tutto l'edificio;
- Presenza o meno di chiusura oscurante e, in caso sia presente, relativa tipologia;

Non tutti gli infissi presenti nell'elenco sono stati sostituiti. Gli infissi installati nelle parti private dei subalterni non residenziali e quelli interposti tra due locali non riscaldati non sono stati sostituiti, in quanto questi non rientrano nelle categorie di interventi ammessi dal Superbonus 110%, sono ammessi interventi solo sulle parti private dei subalterni adibiti a civile abitazione e che siano adiacenti a locali riscaldati.

Tabella 4.7 – Elenco infissi presenti nell'edificio e relative caratteristiche

N.	Tipologia	Dimensioni [m]	Vetrata	Telaio	Trasmittanza [W/m ² K]	Quantità	Chiusura oscurante
1	Vetrina	2,25 x 2,2	Vetro singolo	Alluminio taglio freddo	5,880	4	Nessuna
2	Vetrina	2,3 x 2,2	Vetro singolo	Alluminio taglio freddo	5,878	4	Nessuna
3	Vetrina	2,4 x 2,2	Vetro singolo	Alluminio taglio freddo	5,875	2	Nessuna
4	Vetrina	1,95 x 2,2	Vetro singolo	Alluminio taglio freddo	5,893	7	Nessuna
5	Portoncino	1,66 x 2,3	Vetro singolo	Alluminio taglio freddo	6,023	1	Nessuna
6	Finestra	1,35 x 0,7	Vetro doppio	Alluminio taglio termico	1,500	12	Nessuna
7	Portafinestra	1,22 x 2,330	Vetro doppio	PVC	1,310	19	Persiana alluminio
8	Portafinestra	1,22 x 2,335	Vetro doppio	PVC	1,310	22	Persiana alluminio
9	Portafinestra	1,22 x 2,280	Vetro doppio	PVC	1,310	2	Persiana alluminio
10	Portafinestra	1,22 x 2,310	Vetro doppio	PVC	1,310	5	Persiana alluminio
11	Portafinestra	1,22 x 2,315	Vetro doppio	PVC	1,310	9	Persiana alluminio
12	Portafinestra	1,22 x 2,325	Vetro doppio	PVC	1,310	5	Persiana alluminio
13	Portafinestra	1,22 x 2,370	Vetro doppio	PVC	1,310	8	Persiana alluminio
14	Finestra	0,825 x 1,37	Vetro doppio	PVC	1,280	16	Persiana alluminio
15	Finestra	1,22 x 1,37	Vetro doppio	PVC	1,320	2	Persiana alluminio
16	Finestra	1,22 x 1,37	Vetro doppio	PVC	1,320	2	Persiana alluminio
17	Finestra	1,47 x 1,37	Vetro doppio	PVC	1,300	1	Persiana alluminio
18	Finestra	0,82 x 1,37	Vetro doppio	PVC	1,280	1	Persiana alluminio
19	Portafinestra interna	0,82 x 2,37	Vetro doppio	PVC	1,260	1	Nessuna
20	Portafinestra interna	0,825 x 2,37	Vetro doppio	PVC	1,260	3	Nessuna
21	Finestra interna	2,0 x 0,45	Vetro singolo	Alluminio taglio freddo	5,432	9	Nessuna
22	Finestra interna	0,825 x 1,37	Vetro doppio	PVC	1,280	10	Nessuna
23	Finestra interna	0,820 x 1,37	Vetro doppio	PVC	1,280	1	Nessuna
24	Finestra interna	0,745 x 1,37	Vetro doppio	PVC	1,290	16	Nessuna

4.2 IMPIANTI

4.2.1 IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE

Tutti gli impianti di riscaldamento installati nell'edificio oggetto di intervento, riportati in **Tabella 4.8**, sono di tipo autonomo.

In particolare, in questo edificio abbiamo due tipologie di impianto:

3. Impianto a radiatori, composto da:

- Sistema ibrido composto da pompa di calore aria/acqua ad alta efficienza in serie ad una caldaia a condensazione alimentata a metano;
- Radiatori in ghisa, con numero di elementi proporzionale alle dimensioni del locale in cui sono installati in modo da soddisfarne il fabbisogno;
- Valvole termostatiche con regolazione automatica;
- Tubazione in rame con isolamento termico;
- Collettore;
- Termostato ambiente di tipo evoluto.

4. Impianto a pompa di calore, composto da:

- Unità interna di tipo ventilconvettore;
- Unità esterna ad alta efficienza;
- Tubazioni in rame con isolamento termico;

Non tutti gli impianti di riscaldamento sono stati sostituiti. Negli appartamenti in cui era presente più di un impianto di riscaldamento è stata data facoltà ad ogni condomino di scegliere quale impianto sostituire in base alle singole esigenze, in linea con i limiti stabiliti dal Superbonus 110% che permettono la sostituzione di un solo impianto di riscaldamento.

Tabella 4.8 – Elenco impianti di climatizzazione invernale

Subalterno	Tipologia	Combustibile	Marca	Modello	Terminali	Potenza riscaldamento [kW]	COP/ Rendimento termico	Potenza raffrescamento [kW]	EER
1	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3	Pompa di calore	Energia elettrica	Thermotec	SJDO-12	Ventilconvettori	2,84	3,50	2,56	3,40
4	Sistema ibrido	Metano	Immergas	Victrix Hybrid	Radiatori	3,98 + 24,1	4,55 / 0,978	/	/
5	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG09KMCC	Ventilconvettori	2,80	4,52	2,50	3,97
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG09KMCC	Ventilconvettori	2,80	4,52	2,50	3,97
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG09KMCC	Ventilconvettori	2,80	4,52	2,50	3,97
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG12KMCC	Ventilconvettori	4,00	4,17	3,40	3,65
6	Sistema ibrido	Metano	Immergas	Victrix Hybrid	Radiatori	3,98 + 24,1	4,55 / 0,978	/	/
7	Sistema ibrido	Metano	Immergas	Victrix Hybrid	Radiatori	3,98 + 24,1	4,55 / 0,978	/	/
8	Sistema ibrido	Metano	Immergas	Victrix Hybrid	Radiatori	3,98 + 24,1	4,55 / 0,978	/	/
9	Sistema ibrido	Metano	Immergas	Victrix Hybrid	Radiatori	3,98 + 24,1	4,55 / 0,978	/	/
10	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG09KMCC	Ventilconvettori	2,80	4,52	2,50	3,97
11	Sistema ibrido	Metano	Immergas	Victrix Hybrid	Radiatori	3,98 + 24,1	4,55 / 0,978	/	/
	Pompa di calore	Energia elettrica	Feder	FC-12	Ventilconvettori	3,60	2,57	3,50	2,59
12	Pompa di calore	Energia elettrica	Gree	GWH09AGB	Ventilconvettori	2,80	3,85	2,70	3,67
13	Sistema ibrido	Metano	Immergas	Victrix Hybrid	Radiatori	3,98 + 24,1	4,55 / 0,978	/	/
14	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG12KMCC	Ventilconvettori	4,00	4,17	3,40	3,65
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG12KMCC	Ventilconvettori	4,00	4,17	3,40	3,65
15	Caldaia	Metano	Sime	Murelle EV	Radiatori	23,00	0,900	/	/
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG09KMCC	Ventilconvettori	2,80	4,52	2,50	3,97
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG09KMCC	Ventilconvettori	2,80	4,52	2,50	3,97
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG09KMCC	Ventilconvettori	2,80	4,52	2,50	3,97
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG09KMCC	Ventilconvettori	2,80	4,52	2,50	3,97
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG12KMCC	Ventilconvettori	4,00	4,17	3,40	3,65
16	Caldaia	Metano	Sant'Andrea	Millenium Star Gold	Radiatori	23,20	0,929	/	/
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG12KMCC	Ventilconvettori	4,00	4,17	3,40	3,65
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG12KMCC	Ventilconvettori	4,00	4,17	3,40	3,65
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG12KMCC	Ventilconvettori	4,00	4,17	3,40	3,65
17	Caldaia	Metano	Herman	Habitat 2	Radiatori	23,70	0,934	/	/
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG12KMCC	Ventilconvettori	4,00	4,17	3,40	3,65
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG09KMCC	Ventilconvettori	2,80	4,52	2,50	3,97
	Pompa di calore	Energia elettrica	Fujitsu	AOYG09KMCC	Ventilconvettori	2,80	4,52	2,50	3,97
18	Pompa di calore	Energia elettrica	Gree	GWH12YC	Ventilconvettori	3,81	3,91	3,50	3,68
	Pompa di calore	Energia elettrica	Gree	GWH09YC	Ventilconvettori	2,93	4,51	2,70	4,62
	Pompa di calore	Energia elettrica	Gree	GEH12AA	Ventilconvettori	3,80	3,96	3,52	3,52
	Pompa di calore	Energia elettrica	Gree	GEH12AA	Ventilconvettori	3,80	3,96	3,52	3,52
	Pompa di calore	Energia elettrica	Gree	GEH12AA	Ventilconvettori	3,80	3,96	3,52	3,52
	Pompa di calore	Energia elettrica	Gree	GEH12AA	Ventilconvettori	3,80	3,96	3,52	3,52
	Pompa di calore	Energia elettrica	Gree	GEH12AA	Ventilconvettori	3,80	3,96	3,52	3,52
	Pompa di calore	Energia elettrica	Gree	GEH12AA	Ventilconvettori	3,80	3,96	3,52	3,52

4.2.2 IMPIANTI PER LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

La tipologia di impianti per la produzione di acqua calda sanitaria presente in ogni appartamento è riportata in **Tabella 4.9**.

In particolare, in questo edificio abbiamo due tipologie di impianto:

1. Scalda acqua a pompa di calore con accumulato, alimentato con energia elettrica;
2. Sistema ibrido alimentato a metano.

Non tutti gli impianti di produzione di acqua calda sanitaria sono stati sostituiti. In alcuni appartamenti la sostituzione del generatore a combustione (caldaia) avrebbe comportato una modifica anche all'impianto di distribuzione con conseguenti disagi ai condomini, si è quindi deciso di non sostituire il generatore. Questa misura è stata adottata nei subalterni 15-16-17 dove il generatore a combustione viene utilizzato anche per il riscaldamento.

Tabella 4.9 – Elenco impianti per la produzione di acqua calda sanitaria

Subalterno	Tipologia	Combustibile	Marca	Modello	Potenza utile nominale [kW]	Rendimento di generazione / COP
1	/	/	/	/	/	/
2	/	/	/	/	/	/
3	/	/	/	/	/	/
4	Sistema ibrido	Metano	Immergas	Victrix Hybrid	28,30	98,3%
5	Scalda acqua a pompa di calore	Energia elettrica	Ariston	Nous Evo +	0,91	2,60
6	Sistema ibrido	Metano	Immergas	Victrix Hybrid	28,30	98,3%
7	Sistema ibrido	Metano	Immergas	Victrix Hybrid	28,30	98,3%
8	Sistema ibrido	Metano	Immergas	Victrix Hybrid	28,30	98,3%
9	Sistema ibrido	Metano	Immergas	Victrix Hybrid	28,30	98,3%
10	Scalda acqua a pompa di calore	Energia elettrica	Ariston	Nous Evo +	0,91	2,60
11	Sistema ibrido	Metano	Immergas	Victrix Hybrid	28,30	98,3%
12	Scalda acqua a pompa di calore	Energia elettrica	Ariston	Nous Evo +	0,91	2,60
13	Sistema ibrido	Metano	Immergas	Victrix Hybrid	28,30	98,3%
14	Scalda acqua a pompa di calore	Energia elettrica	Ariston	Nous Evo +	0,91	2,60
15	Caldaia	Metano	Sime	Murelle EV	23,00	90,0%
16	Caldaia	Metano	Sant'Andrea	Millenium Star Gold	23,20	92,9%
17	Caldaia	Metano	Herman	Habitat 2	23,70	93,4%
18	Scalda acqua a pompa di calore	Energia elettrica	Immergas	Rapax 300 Sol V3	2,41	3,44

4.3 DISPERSIONI INVERNALI

Per il calcolo delle prestazioni energetiche dell'edificio è stato utilizzato il software Namirial Termo, prodotto dalla Namirial S.p.a., come per l'edificio ante intervento.

4.3.1 DISPERSIONI ATTRAVERSO L'INVOLUCRO

Le dispersioni attraverso l'involucro comprendono:

- Dispersioni attraverso le superfici opache verticali;
- Dispersioni attraverso le superfici opache orizzontali;
- Dispersioni attraverso le superfici vetrate;

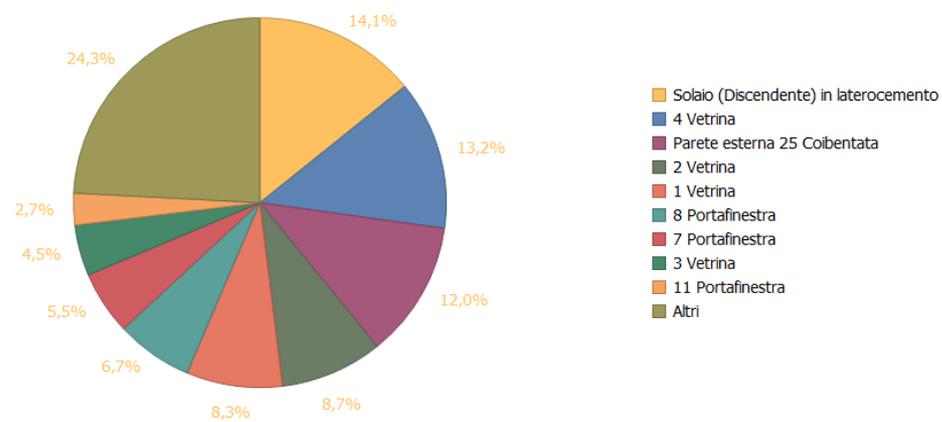


Figura 4.8 – Diagramma a torta delle dispersioni suddivise per tipologia di struttura

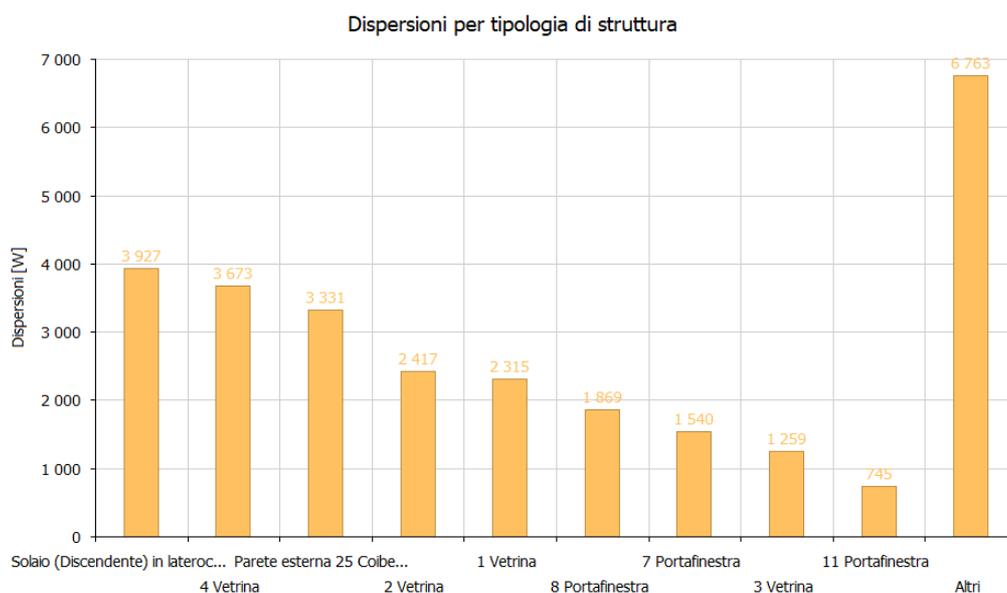


Figura 4.9 – Istogramma delle dispersioni suddivise per tipologia di struttura

Confrontando le dispersioni dell'edificio post intervento, riportate in **Figura 4.9**, con i risultati ottenuti per quello ante intervento si può notare che:

- Le dispersioni attraverso la superficie opaca denominata “Parete esterna 25”, che è la parete esterna più diffusa nell'edificio, non sono le più rilevanti e sono diminuite del 81,7% grazie all'installazione del cappotto esterno;
- Le dispersioni dovute agli infissi denominati “Vetrina” sono ancora molto rilevanti in quanto questi, essendo infissi di locali non residenziali che non possono usufruire del Superbonus 110% per gli interventi trainati su parti private, non sono stati sostituiti;
- Le dispersioni attraverso le strutture opache orizzontali denominate “Solaio in laterocemento (verso sottotetto)” e “Copertura piana praticabile in laterocemento” non sono più presenti nel grafico in quanto la loro rilevanza è diminuita molto grazie all'installazione dei pannelli isolanti;
- Le dispersioni attraverso le portefinestre identificate, sia in **Tabella 2.17** che in **Tabella 4.7**, con i numeri 8,7 e 11 sono ancora rilevanti ma sono diminuite del 70,3 %;
- Le dispersioni attraverso la struttura opaca orizzontale denominata “Solaio (Discendente) in laterocemento” sono diminuite del 31,4%, una riduzione inferiore rispetto alle altre strutture poiché è stato possibile installare i pannelli isolanti solo in una porzione del solaio.

4.3.2 DISPERSIONI TOTALI

In **Tabella 4.10** sono riportate le dispersioni invernali calcolate per l'edificio post intervento.

Tabella 4.10 – Dispersioni invernali dell'edificio

Subalterno	P_t [W]	P_v [W]	P_{tot} [W]
1	8240,51	1456,35	9696,86
2	1778,87	542,55	2321,42
3	4672,68	496,93	5169,61
4	612,12	654,81	1266,93
5	644,73	652,95	1297,68
6	607,96	627,14	1235,10
7	647,37	629,18	1276,55
8	1046,32	1106,49	2152,81
9	691,38	723,87	1415,25
10	743,19	742,93	1486,12
11	521,85	576,96	1098,81
12	603,64	627,14	1230,78
13	688,20	731,08	1419,28
14	643,42	634,13	1277,55
15	1351,82	1080,92	2432,74
16	895,73	710,87	1606,60
17	929,96	725,66	1655,62
18	2517,85	1278,46	3796,31
Totale edificio	27837,60	13998,42	41836,02

Dove:

- P_{tot} è la potenza dispersa totale;
- P_t è la potenza dispersa per trasmissione;
- P_v è la potenza dispersa per ventilazione;

Con i risultati ottenuti si è deciso di analizzare prima il miglioramento totale per i singoli subalterni e successivamente il miglioramento per tipologia di dispersione.

Dall'analisi del grafico in **Figura 4.10**, dove è rappresentato il confronto tra le dispersioni invernali nella situazione ante e post intervento di ogni subalterno, si può subito notare come quelli con una superficie disperdente maggiore siano quelli che hanno più beneficiato degli interventi di isolamento quali installazione del sistema a cappotto e sostituzione degli infissi. La situazione cambia nel caso dei subalterni 1,2 e 3, i quali non hanno potuto beneficiare della sostituzione degli infissi e presentano

una riduzione delle dispersioni inferiore rispetto agli altri subalterni. L'appartamento che ha tratto maggiore beneficio dagli interventi è quello situato al piano attico, essendo questo quello con la superficie disperdente più estesa.

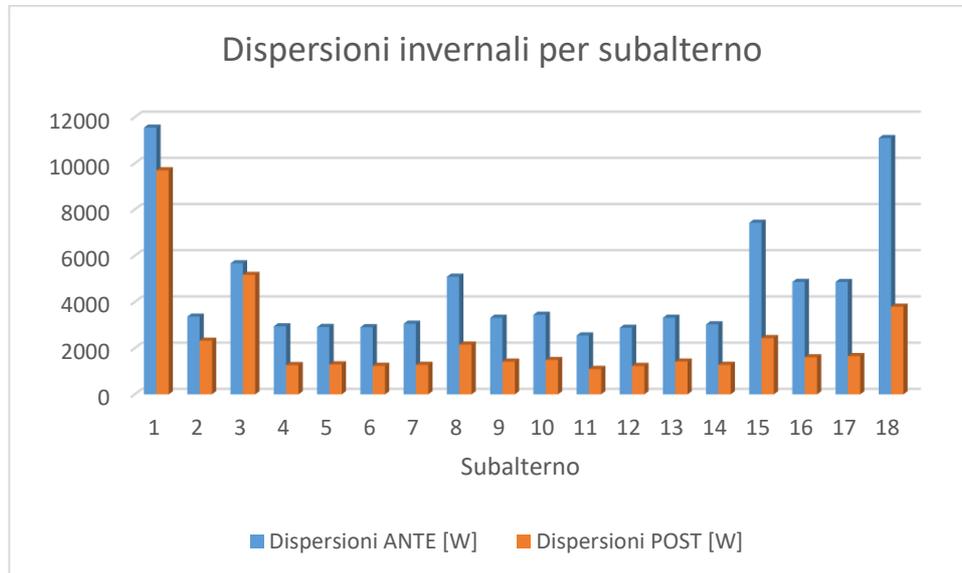


Figura 4.10 – Confronto dispersioni invernali per subalterno

Volendo ora analizzare le dispersioni per tipologia, riportate nel grafico in **Figura 4.11**, si può notare come le dispersioni per ventilazione siano pressoché invariate, in quanto non sono stati effettuati interventi migliorativi per l'aerazione degli appartamenti, mentre le dispersioni per trasmissione sono diminuite del 60%.

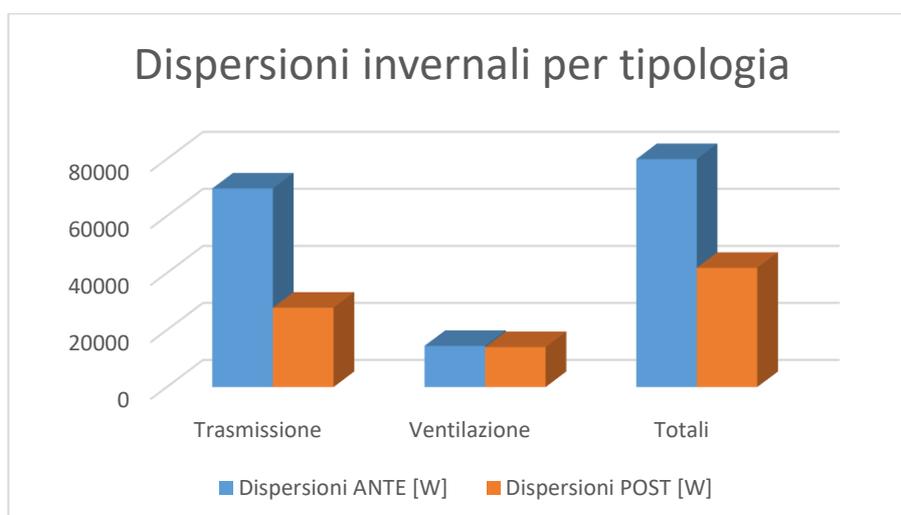


Figura 4.11 – Confronto dispersioni invernali per tipologia

4.4 CALCOLO DELLA CLASSE ENERGETICA DELL'EDIFICIO

Uno dei requisiti principali per accedere al Superbonus 110% è che l'edificio, grazie agli interventi di miglioramento energetico agevolati, faccia un salto di almeno due classi energetiche. Per verificare ciò, verrà calcolata, in questo paragrafo, la classe energetica dell'edificio post intervento e verrà messa a confronto con la classe energetica dell'edificio ante intervento calcolata nel **Capitolo 2**.

Tra i fabbisogni di energia non è presente quello relativo all'illuminazione, calcolato in precedenza solo per i locali non residenziali, in quanto, non essendo stati effettuati interventi di riqualificazione energetica sugli impianti di illuminazione, il fabbisogno di energia, calcolato al **Paragrafo 2.5.4**, è rimasto invariato. Non è inoltre presente il fabbisogno di energia per il trasporto, dovuto alla presenza di un ascensore, in quanto la normativa considera questo contributo trascurabile negli edifici ad uso residenziale.

4.4.1 FABBISOGNO DI ENERGIA PER IL RISCALDAMENTO

Per il calcolo del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento è stata utilizzata come temperatura esterna la temperatura media mensile, riportata in **Tabella 2.21**.

Tabella 4.11 – Fabbisogno di energia per il riscaldamento

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,int}$ [kWh]	$Q_{H,sol,w}$ [kWh]	$Q_{H,sol,op}$ [kWh]	$Q_{H,nd}$ [kWh]	$Q_{H,gn,out}$ [kWh]	$Q_{p,nren,H}$ [kWh]
Gennaio	10646,2	16885,0	6362,9	7870,2	855,5	14300,8	15891,9	9331,6
Febbraio	8880,0	14385,5	5747,1	9338,9	1016,6	9911,3	11042,1	6616,2
Marzo	6871,4	10586,0	4975,0	11547,0	1344,5	4822,1	5440,5	3658,1
Dicembre	6329,0	10128,9	6124,7	7445,2	814,5	5327,7	5940,8	3397,7
Annuale	32726,7	51985,5	23209,7	36201,3	4031,1	34361,8	38315,4	23003,6

Dove:

- $Q_{H,tr}$ è l'energia scambiata per trasmissione dall'intero edificio;
- $Q_{H,ve}$ è l'energia scambiata per ventilazione dall'intero edificio;
- $Q_{H,int}$ sono gli apporti termici interni;
- $Q_{H,sol}$ sono gli apporti termici solari;
- $Q_{H,nd}$ è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per il riscaldamento;
- $Q_{H,gn,out}$ è l'energia termica in uscita dal sottosistema di generazione;

- $Q_{p,nren,H}$ è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio per il riscaldamento;
- gg sono i giorni di riscaldamento;

Dal confronto tra i fabbisogni di energia per il riscaldamento, riportati sul grafico in **Figura 4.12**, si può notare come il risparmio energetico sia notevole rispetto all'edificio ante intervento. Il risparmio annuale, dovuto sia alle ridotte dispersioni sia ad impianti di riscaldamento ad elevata efficienza, è pari al 74%.

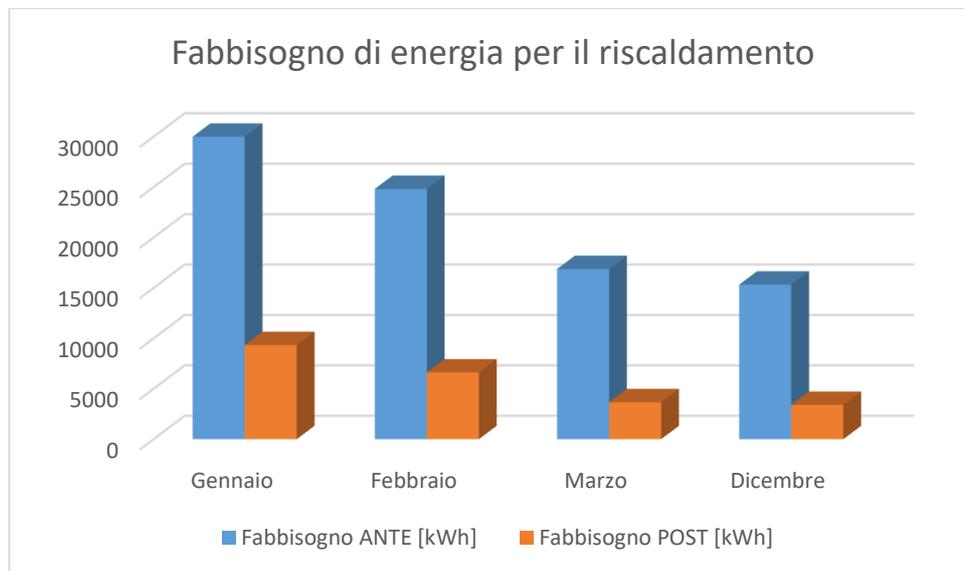


Figura 4.12 – Confronto fabbisogno di energia per il riscaldamento

4.4.2 FABBISOGNO DI ENERGIA PER L'ACQUA CALDA SANITARIA

Il calcolo del fabbisogno di energia per l'acqua calda sanitaria è stato effettuato secondo la UNI/TS 11300-2, come nel caso dell'edificio ante intervento.

Tabella 4.12 – Fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda sanitaria

Mese	Q_W [kWh]	$Q_{W,gn,out}$ [kWh]	$Q_{p,nren,W}$ [kWh]
Gennaio	1755,9	1792,6	1813,0
Febbraio	1586,0	1629,3	1629,9
Marzo	1755,9	1864,0	1827,0
Aprile	1699,3	1934,4	1805,4
Maggio	1755,9	1996,6	1796,9
Giugno	1699,3	1929,8	1667,2
Luglio	1755,9	1992,7	1677,6
Agosto	1755,9	1992,7	1677,7
Settembre	1699,3	1930,7	1694,2
Ottobre	1755,9	1996,0	1778,4
Novembre	1699,3	1934,5	1807,8
Dicembre	1755,9	1840,9	1789,9
Annuale	20674,3	22834,3	20964,9

Dove:

- Q_W è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per la produzione di acqua calda sanitaria;
- $Q_{W,gn,out}$ è l'energia termica in uscita dal sottosistema di generazione;
- $Q_{p,nren,W}$ è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio per la produzione di acqua calda sanitaria;

Dall'analisi della **Tabella 4.12** si può subito notare come l'energia termica in uscita dal sottosistema di generazione ($Q_{W,gn,out}$) sia superiore all'energia primaria non rinnovabile ($Q_{p,nren,W}$) utilizzata, ciò è dovuto all'utilizzo di scaldacqua a pompa di calore che permettono di prelevare e utilizzare energia dall'ambiente esterno.

Dal confronto tra i fabbisogni di energia per la produzione di acqua calda sanitaria, riportati sul grafico in **Figura 4.13**, si può notare come la riduzione di fabbisogno di energia primaria da rete elettrica sia diminuito di circa il 57%.

In questo caso si ha un'incidenza percentuale inferiore rispetto ai fabbisogni per il riscaldamento, ciò è dovuto al fatto che la richiesta di acqua calda sanitaria è rimasta invariata, rispetto all'edificio ante intervento, e l'unico contributo per il risparmio energetico sia dato dalla sostituzione dei generatori, mentre nel caso del riscaldamento si ha il contributo congiunto di isolamento termico e sostituzione dell'impianto.

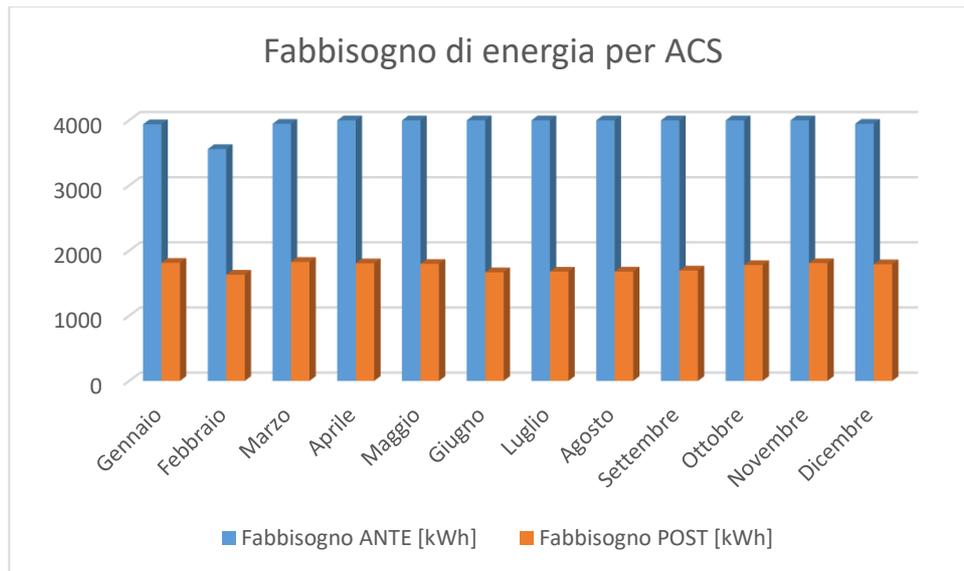


Figura 4.13 – Confronto fabbisogno di energia per ACS

4.4.3 FABBISOGNO DI ENERGIA PER IL RAFFRESCAMENTO

Anche per il calcolo del fabbisogno di energia termica per il raffrescamento è stata utilizzata come temperatura esterna la temperatura media mensile, riportata in **Tabella 2.21**.

Tabella 4.13- Fabbisogno di energia per il raffrescamento

Mese	$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$Q_{C,int}$ [kWh]	$Q_{C,sol,w}$ [kWh]	$Q_{C,sol,op}$ [kWh]	$Q_{C,nd}$ [kWh]	$Q_{C,gn,out}$ [kWh]	$Q_{p,nren,C}$ [kWh]
Aprile	2388,3	1063,7	596,2	2546,3	150,7	508,1	435,0	317,4
Maggio	4773,5	7502,4	5295,3	12066,9	1718,8	5495,9	2795,4	1598,1
Giugno	791,9	2431,8	6157,6	13576,8	2094,1	16511,9	8931,7	4147,2
Luglio	-2015,5	-2277,9	6362,9	14311,1	2264,2	24967,3	13828,9	6117,0
Agosto	-2065,2	-2277,9	6362,9	13462,2	2165,8	24168,2	13512,1	5976,5
Settembre	2514,4	5213,5	6157,6	10869,1	1745,4	9331,7	5054,4	2658,9
Ottobre	3594,7	5406,2	4448,2	7166,0	1015,8	3104,0	1818,3	1278,9
Novembre	243,3	77,3	48,2	238,2	8,5	53,6	57,0	46,4
Annuale	10365,1	17183,0	35448,2	74364,3	11168,5	84163,0	46456,4	22159,3

Dove:

- $Q_{C,tr}$ è l'energia scambiata per trasmissione dall'intero edificio;
- $Q_{C,ve}$ è l'energia scambiata per ventilazione dall'intero edificio;
- $Q_{C,int}$ sono gli apporti termici interni;
- $Q_{C,sol}$ sono gli apporti termici solari;
- $Q_{C,nd}$ è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per il raffrescamento;
- $Q_{C,gn,out}$ è l'energia termica in uscita dal sottosistema di generazione;
- $Q_{p,nren,C}$ è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio per il raffrescamento;

Dal confronto tra i fabbisogni di energia per il raffrescamento, riportati sul grafico in **Figura 4.14**, si può notare come paradossalmente, nei mesi in cui la temperatura esterna è mite, si abbia un fabbisogno di energia superiore rispetto al caso ante intervento. Questo risultato è frutto degli elevati apporti solari in quei periodi dell'anno combinati con la ridotta dispersione dell'involucro. Per ovviare al problema basterebbe aumentare la trasmissione di calore verso l'esterno, ad esempio aumentando le perdite per ventilazione tramite apertura degli infissi. Nella realtà gli edifici residenziali in questi periodi dell'anno non sono raffrescati e quindi si possono considerare questi contributi negativi come trascurabili.

Per quanto riguarda invece i mesi nei quali le temperature esterne sono più elevate, e quindi i mesi in cui gli impianti di raffrescamento entrano effettivamente in funzione, si nota subito come sia rilevante il risparmio di energia, dovuto a isolamento dell'involucro, miglioramento delle schermature solari e ad impianti ad elevata efficienza. Complessivamente, considerando anche i mesi in cui il risparmio è negativo, si ha una riduzione del fabbisogno di energia pari al 28%.

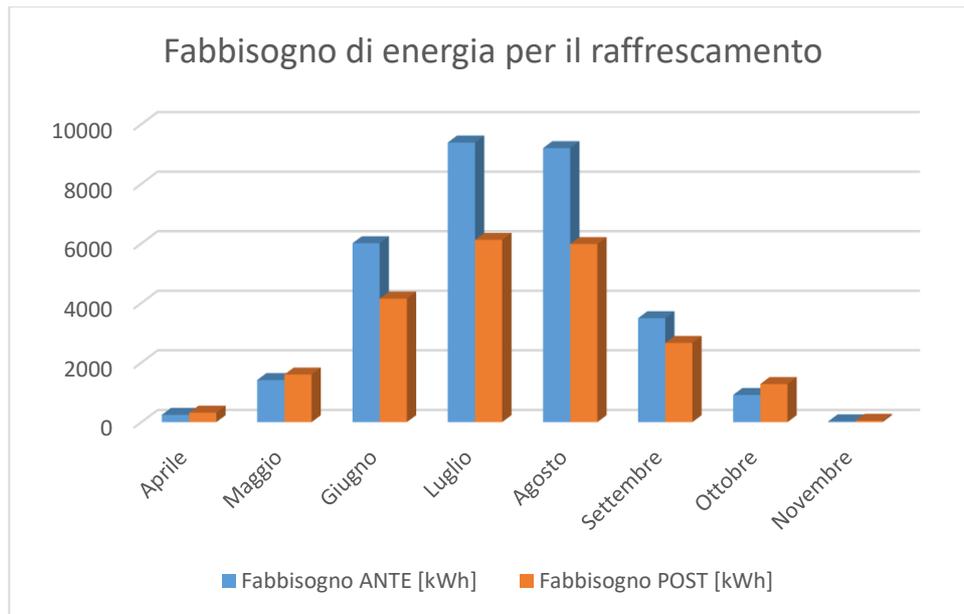


Figura 4.14 – Confronto fabbisogno di energia per il raffrescamento

4.4.4 FABBISOGNO DI ENERGIA DELL'EDIFICIO

In **Tabella 4.14** sono riportati i fabbisogni di energia primaria non rinnovabile, corrispondente all'energia prelevata dalla rete, per l'intero edificio.

Tabella 4.14 – Fabbisogno di energia dell'edificio

Mese	Fabbisogno ANTE [kWh]	Fabbisogno POST [kWh]
Riscaldamento	89614,2	23003,6
Acqua calda sanitaria	48208,7	20964,9
Raffrescamento	30677,0	22159,3
Illuminazione	9973,2	9973,2
Totale	178473,1	76101,0

Dal grafico in **Figura 4.15**, nel quale è rappresentato il confronto tra i fabbisogni di energia dell'edificio nella situazione ante e post intervento, si può subito notare come il risparmio maggiore si abbia per il riscaldamento. Questo è in linea con la filosofia del Superbonus 110%, il cui obiettivo principale è ridurre i consumi di energia per il riscaldamento, e infatti, per poterne usufruire, è obbligatoria la presenza di un impianto di riscaldamento.

Il risparmio di energia totale è di circa il 57% rispetto all'edificio ante intervento.

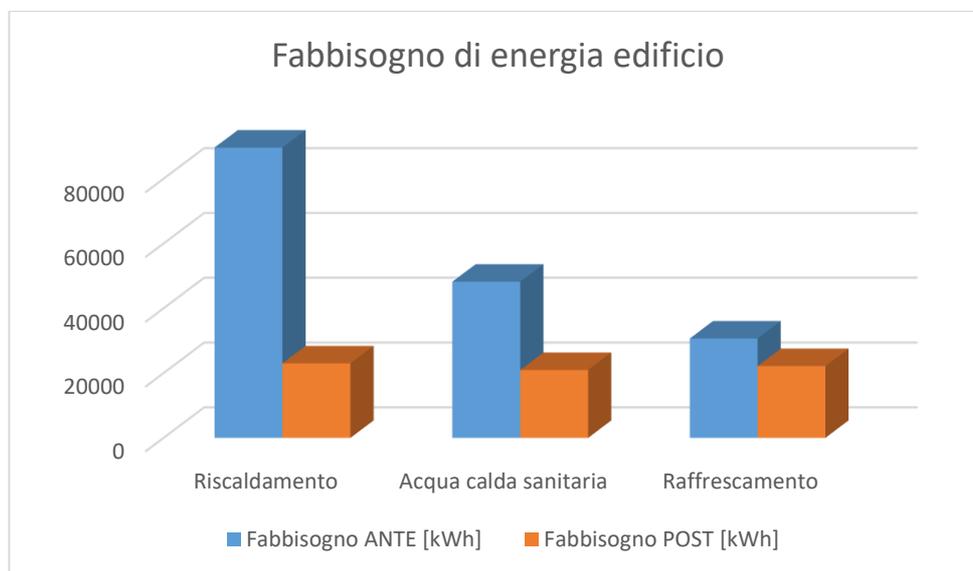


Figura 4.15 – Confronto fabbisogno di energia edificio

Dal confronto con l'analisi dei risparmi di energia per i singoli interventi, effettuato al **Capitolo 3**, si può notare come il risparmio totale di energia non corrisponda alla somma dei singoli contributi, ciò è dovuto all'esecuzione in contemporanea degli interventi.

4.4.5 CLASSE ENERGETICA EDIFICIO

Per determinare la classe energetica dell'edificio è necessario calcolare l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile definito come rapporto tra il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile annuale e la superficie utile dell'edificio:

$$EP_{gl,nren} = \frac{Q_{p,nren,H} + Q_{p,nren,W} + Q_{p,nren,C} + Q_{p,nren,L}}{S_{utile}} = 40,01 \left[\frac{kWh}{m^2 anno} \right]$$

Dove:

- $EP_{gl,nren}$ è l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile;
- $Q_{p,nren,H}$ è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio per il riscaldamento;
- $Q_{p,nren,W}$ è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio per la produzione di acqua calda sanitaria;
- $Q_{p,nren,C}$ è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio per il raffrescamento;
- $Q_{p,nren,L}$ è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dell'edificio per l'illuminazione;
- S_{utile} è la superficie utile dell'edificio;

Una volta calcolato l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio, questo potrà essere confrontato con i valori riportati in **Figura 4.16** per determinarne la classe energetica.

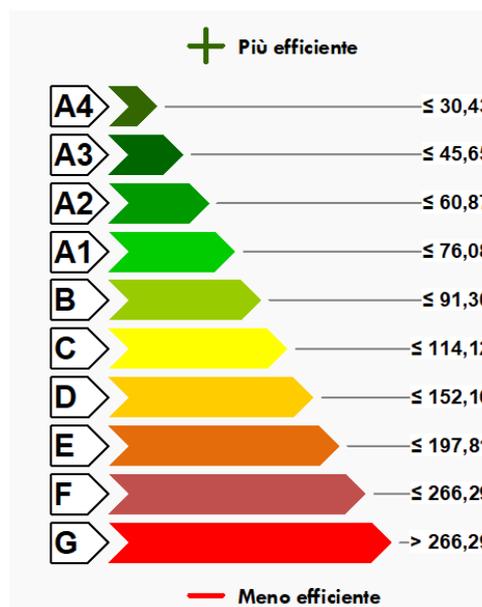


Figura 4.16 – Classi energetiche e valori di soglia

Dal confronto si evince che l'edificio ante intervento è di classe **A3**.

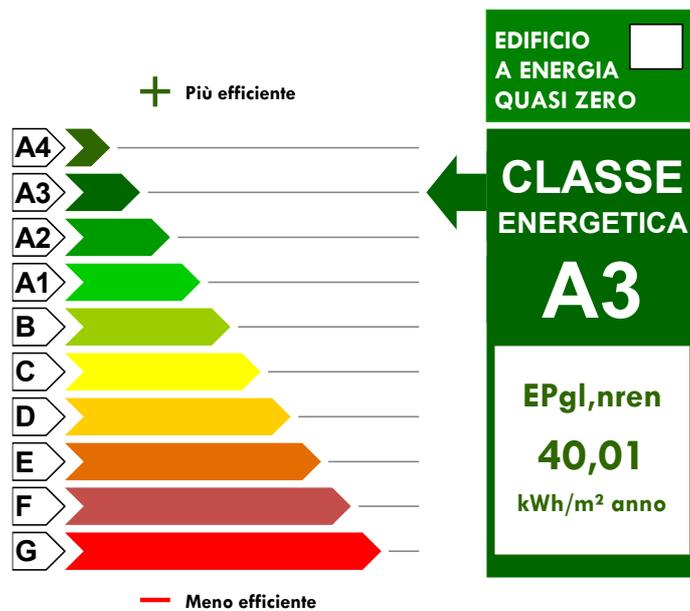


Figura 4.17 – Classe energetica dell'edificio ante intervento

In allegato è stata inserita la relazione di calcolo in cui sono esplicitati tutti i passaggi e i coefficienti utilizzati nella determinazione dei risultati.

CONCLUSIONE

A seguito dello studio di fattibilità effettuato, valutata la prestazione energetica dell'immobile nello stato di fatto e valutata la prestazione energetica dell'immobile che si raggiungerà a seguito dell'esecuzione delle opere di efficientamento energetico, considerato che l'immobile passa da una classe energetica C a una classe energetica A3, migliorando di quattro classi energetiche, si può affermare che la fattispecie in esame si colloca all'interno del quadro normativo previsto dal Decreto Legge n. 34/2020, convertito in legge 17 luglio 2020, n. 77, che introduce una detrazione pari al 110% delle spese relative a specifici interventi di efficienza energetica. In particolare, nel caso in esame, il requisito fondamentale per rientrare nell'ambito di applicazione del Superbonus 110%, e cioè che gli interventi di riqualificazione da eseguirsi debbano portare a un miglioramento di almeno due classi energetiche, può considerarsi raggiungibile.

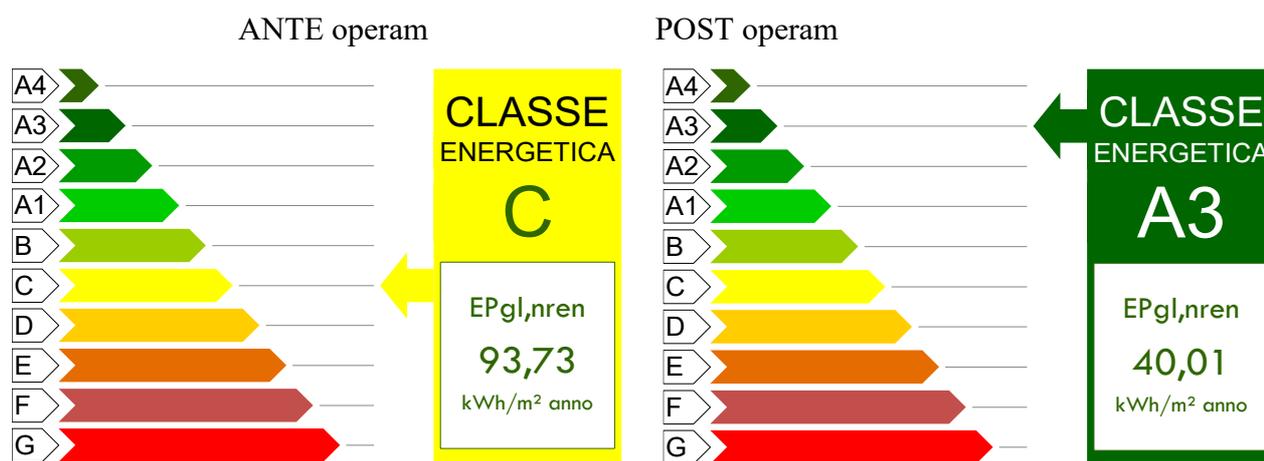


Figura 4 – Confronto classe energetica ANTE e POST intervento

Constata la fattibilità dell'intervento, nell'ultima parte di questo elaborato si vogliono analizzare i pro e i contro dovuti all'introduzione del Superbonus 110%.

Pro:

- Riqualificazione del patrimonio edilizio;
- Riduzione dei fabbisogni energetici per gli edifici esistenti;
- Ripresa delle attività economiche connesse all'edilizia popolare e creazione di nuovi posti di lavoro;
- Riduzione delle emissioni inquinanti e di conseguenza dell'impatto ambientale degli edifici;
- Incremento dell'utilizzo di fonti di energia rinnovabile;

Contro:

- Iter progettuale e burocratico lungo e complesso;
- Problemi relativi alla cessione del credito, sia da parte dei privati che delle imprese edili;
- Aumento dei tassi di interesse per la cessione del credito;
- Incremento dei prezzi dei materiali;
- Difficoltà di approvvigionamento dei materiali, dovute all'elevata domanda;
- Incremento delle frodi fiscali;
- Instabilità del mercato;
- Continue modifiche alla normativa;
- Tempi ristretti;

Analizzando i pro si può notare come l'obiettivo che ci si era posto con l'introduzione del Superbonus 110% fosse nobile, questa misura infatti permette di riqualificare interamente un immobile a costo zero con un approccio più completo e integrato all'efficientamento energetico domestico rispetto agli incentivi introdotti in precedenza. Tuttavia, la misura ha portato con sé tanti problemi come l'aumento dei prezzi dei materiali necessari alla realizzazione delle opere e un sovraccarico di lavoro per tecnici e imprese edili. Sebbene molti dei problemi sopra elencati siano risolvibili con investimenti mirati, ad esempio con un aumento della produzione e un reclutamento di tecnici e manodopera, il ridotto arco temporale di validità della misura porta il mercato a non risolverli, in quanto si rischierebbe di trovarsi con più risorse del necessario una volta terminato il Superbonus 110%. Tutto ciò potrebbe portare molti a non riuscire a beneficiare della misura in quanto i tempi di attesa per progettazione, reperimento dei materiali, esecuzione delle opere e cessione del credito non sono più compatibili con le scadenze imposte dalla normativa. Inoltre, a causa dei ritardi e delle problematiche relative alla cessione del credito, c'è il rischio concreto di fallimento per molte imprese edili, grandi e piccole, che non riescono a convertire i crediti in liquidità.

In conclusione, sebbene possa essere migliorato, non si può negare che il Superbonus 110% abbia portato un forte stimolo all'industria delle costruzioni e molti effetti positivi all'intero paese.

RINGRAZIAMENTI

Questa tesi è l'epilogo del mio percorso di studi. Non ce l'avrei mai fatta senza di voi e quindi, in questa ultima pagina ci tenevo a ringraziarvi.

Il primo ringraziamento è per i miei genitori, che mi hanno sostenuto durante tutto il percorso, perché hanno sempre creduto in me anche quando io avevo smesso di farlo, spero di aver ripagato i loro sacrifici, nonostante le molte delusioni durante il percorso spero di avervi dato oggi la gioia più grande.

Il secondo ringraziamento è per la mia ragazza, Alessandra, che mi ha supportato e sopportato durante tutto il percorso, per essere stata al mio fianco nei momenti belli e in quelli bui.

Il terzo grazie è per il Prof. Masoero, per avermi fatto conoscere ma soprattutto appassionare al mondo della progettazione termotecnica, e per avermi dato la possibilità di lavorare a questa tesi con lui.

Ringrazio i miei amici, quelli che sono con me da una vita (Carmelo, Guglielmo, Emiliano) e quelli arrivati durante questo percorso (Giuseppe e Mattia), che sia a distanza che da vicino non mi hanno mai lasciato solo.

Infine un ringraziamento per i miei colleghi/amici (Raffaele, Mauro, Sara, Laura), una seconda famiglia trovata per caso, che mi hanno preso per mano e tirato avanti, che mi hanno introdotto al mondo del lavoro e mi hanno aiutato prima per il tirocinio e poi per la tesi.

Il Politecnico mi ha messo davanti ad un percorso lungo e in salita fatto di ansia, notti insonni, sudore sui libri e rinunce, ma nonostante tutto porterò con me un bellissimo ricordo.

Grazie a tutti per aver fatto parte di questa bellissima esperienza.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] Guida Superbonus 110
https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/documents/20143/233439/Guida_Superbonus110_.pdf ;
- [2] <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/10/05/20A05394/sg>
- [3] <https://www.abbassalebollette.it/news-risparmio-energetico/superbonus-110-facciamo-chiarezza/>
- [4] Comunicazione della Commissione nell'ambito dell'attuazione del regolamento (UE) n.813/2013 della Commissione
- [5] Articolo 14 DL nr 63/2013
https://www.energiaenergetica.enea.it/images/detraazioni/Stralcio_DL63-2013_modificato_L160-2019.pdf ;
- [6] Cronotermostato evoluto <https://www.bosch-thermotechnology.com/it/it/ocs/residenziale/cronotermostato-modulante-cr-100-789989-p/>
- [7] Fasce climatiche <http://www.contabilizzazionecalore.biz/news/46-zone-climatiche-e-gg-secondo-il-dpr-412-93.html>
- [8] <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/positivo-bilancio-superbonus-nomisma/>
- [9] Logo Superbonus 110% <https://www.mise.gov.it/index.php/it/incentivi/energia/superbonus-110>
- [10] Scheda tecnica i-Grey Eco https://www.isolkappa.it/wp-content/uploads/2021/06/i-Grey-Eco-detensionato_REV3_052021.pdf
- [11] Scheda tecnica Isover XPS BT <https://www.isover.it/download/scheda-tecnica-isover-xps-bt>
- [12] Scheda tecnica Webertherm LV034 https://www.it.weber/files/it/2019-06/webertherm_LV034.pdf
- [13] Infissi PVC <https://www.drutex.it/it/prodotti/iglo5.html>
- [14] Scheda tecnica pompa di calore Fujitsu <https://fujitsuclimatizzatori.it/wp-content/uploads/2021/04/Fujitsu-kmcc.pdf>
- [15] Pompa di calore Fujitsu
<https://fujitsuclimatizzatori.it/climatizzatori/residenziali/monosplit/parete-serie-km/>
- [16] Scheda tecnica Gree Console
https://gree.argoclima.com/WebDocTec/Documents/SCP//scheda_CONSOLE_MONO_2021.pdf

- [17] Gree Console
<https://gree.argoclima.com/prodotti.php?prodgroup=MONO&CodArt=GREE10112&DescGruppoProd=MONOSPLIT&Gamma=>
- [18] Sistema ibrido Victrix Hybrid
<https://www.immergas.com/imp/00MHG/VICTRIX%20HYBRID-S245.pdf>
- [19] Ariston Nuos Evo A+
https://www.ariston.com/cms/s3Downloader/?sku=nuos_evo_a_%2B_80-110_wh&locale=it-it&file=Scheda%20tecnica%20NUOS%20EVO%20A%2B.pdf
- [20] Rapax 300 SOL V3 https://www.immergas.com/imp/00JCB/Rapax-300-V3-1_043641_ST001.pdf
- [21] Valvola termostatica <https://www.climando.it/it/accessori-radiatori-e-termoarredi/3495-valvola-termostatica-rbm.html>
- [22] Cronotermostato <https://www.complementiclimatici.it/wp-content/uploads/2018/12/Immergas-Termoregolatore-CRONO-7-3.021622-1.jpg>
- [23] Pannello solare https://static.trinasolar.com/sites/default/files/EN_Brochure_500W.pdf
- [24] Inverter <https://www.zcsazzurro.com/uploads/documetazione/Scheda-tecnica-ZCS-3PH-HYD-5000-8000-ZSS.pdf>
- [25] <https://www.dini.store/isolamento-termico-e-cartongesso.php#multiCollapse1>

ALLEGATI

ALLEGATO 1 – PIANTE EDIFICIO

LEGENDA:



Radiatore in ghisa



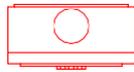
Pompa di calore – Unità interna a soffitto



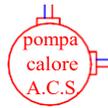
Pompa di calore – Unità interna a pavimento



Pompa di calore – Unità esterna



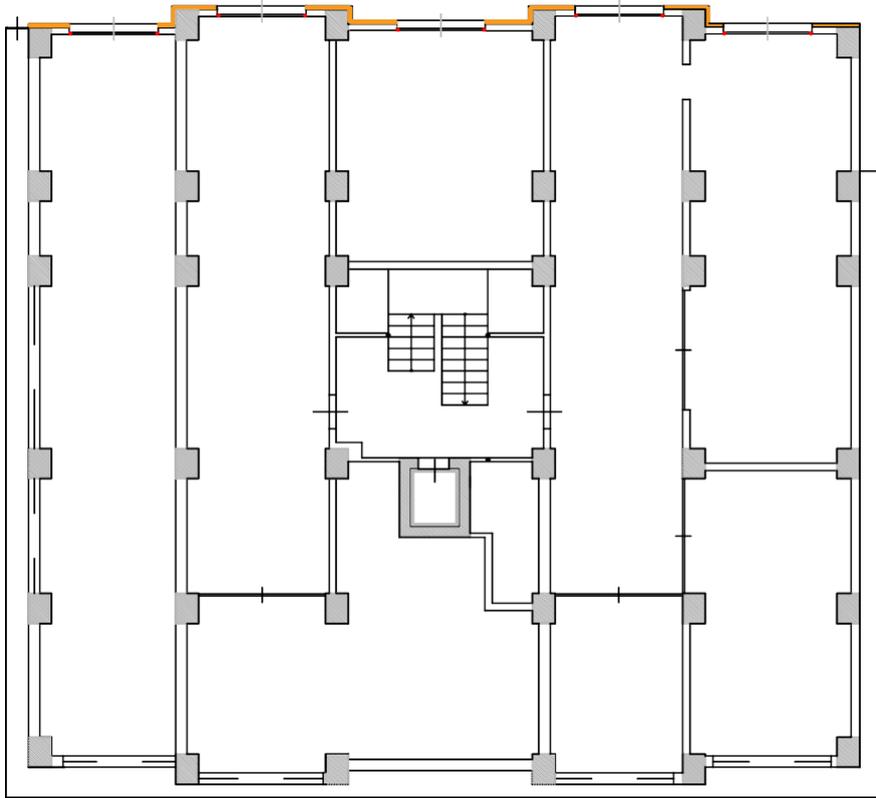
Caldaia a condensazione



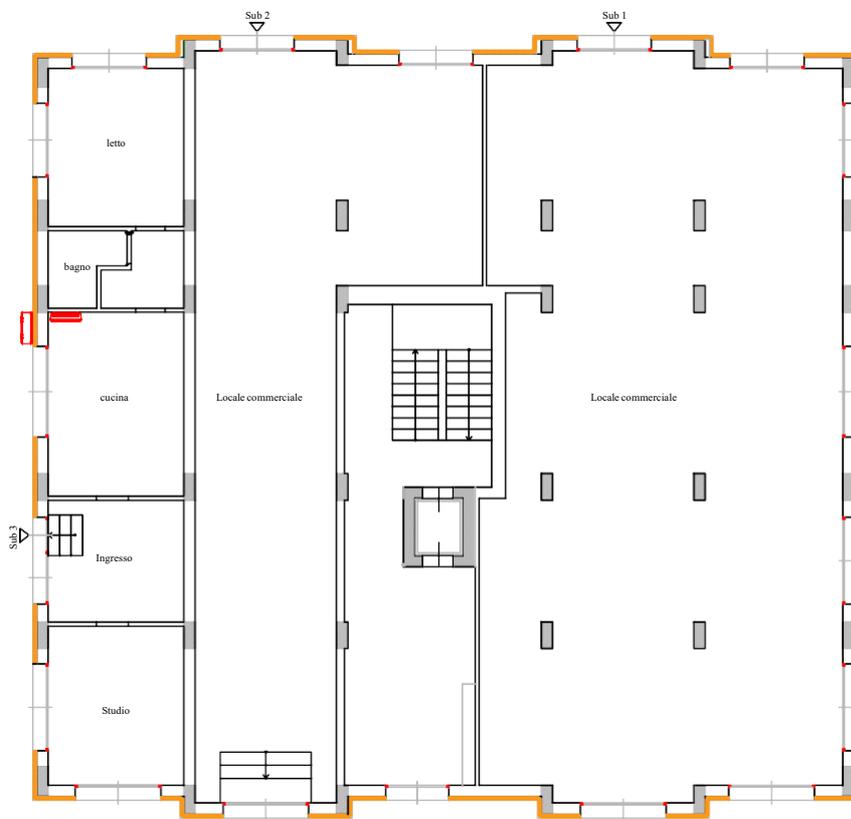
Pompa di calore per ACS



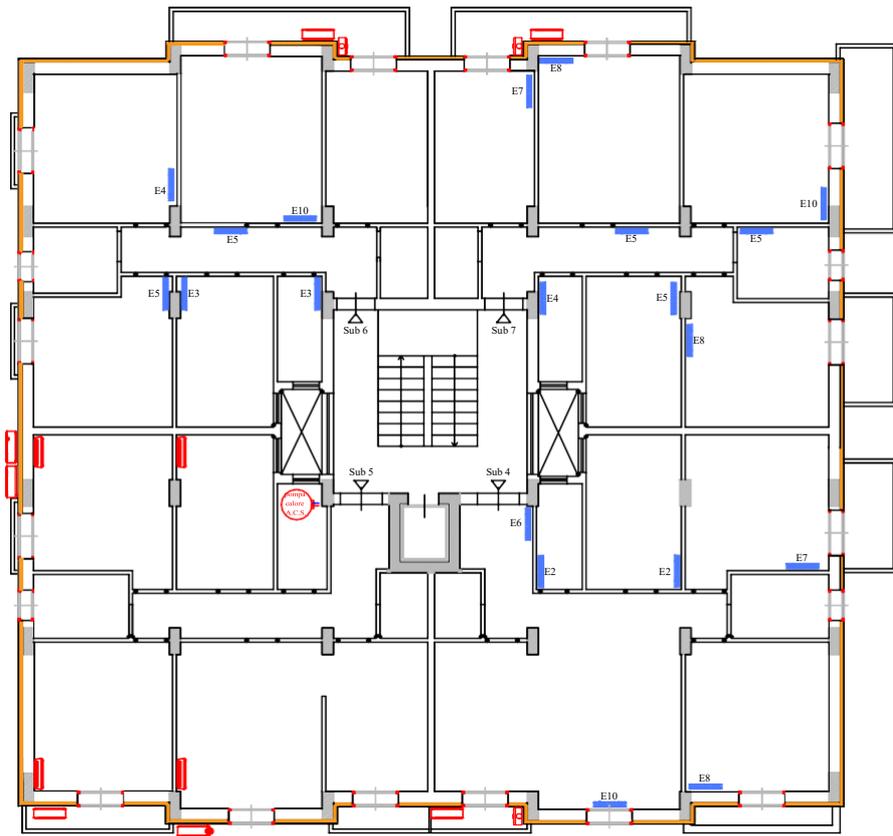
PROSPETTO SUD - EST



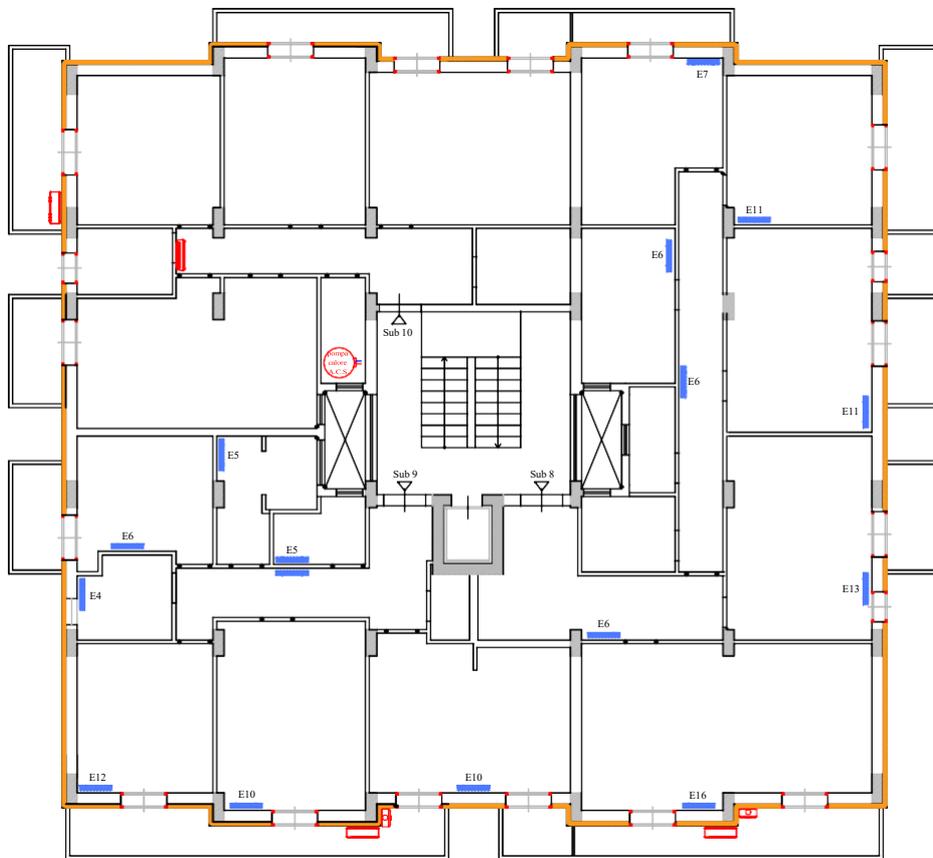
PIANTA PIANO INTERRATO



PIANTA PIANO TERRA

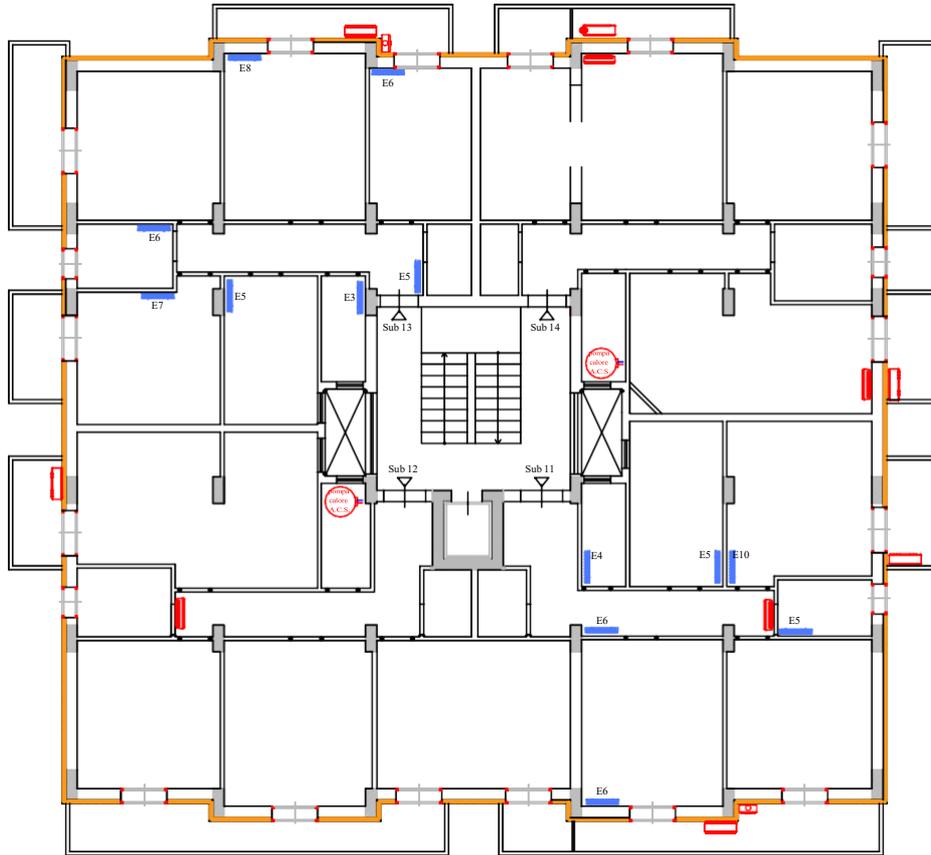


PIANTA PIANO PRIMO

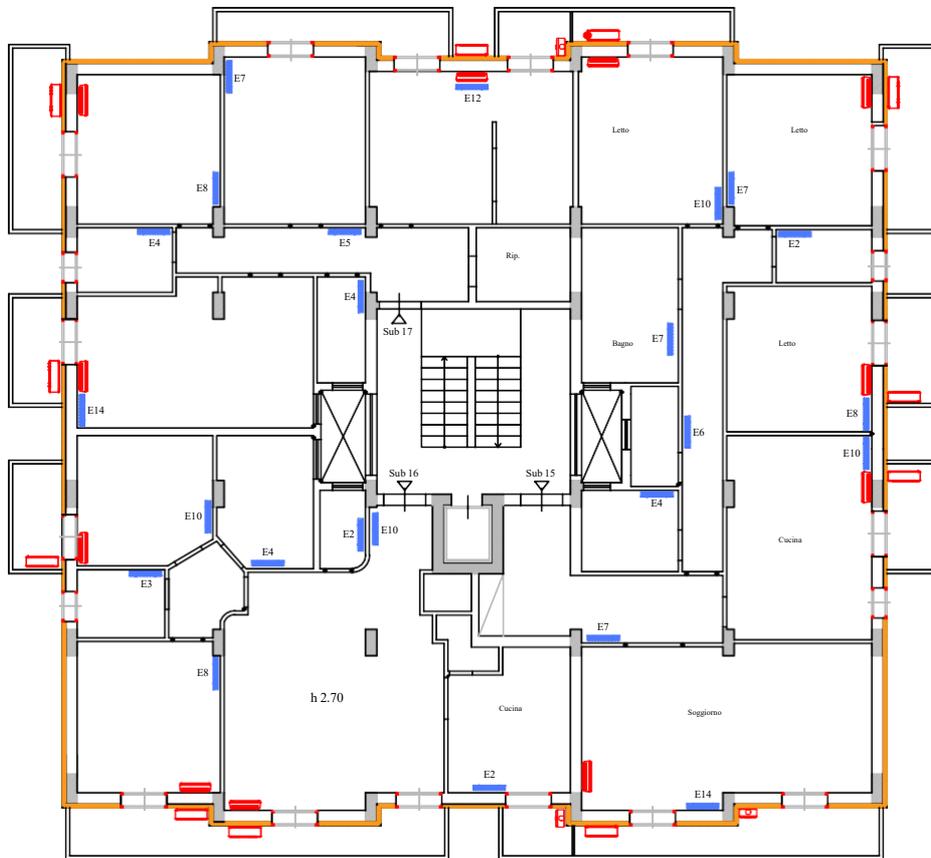


PIANTA PIANO SECONDO

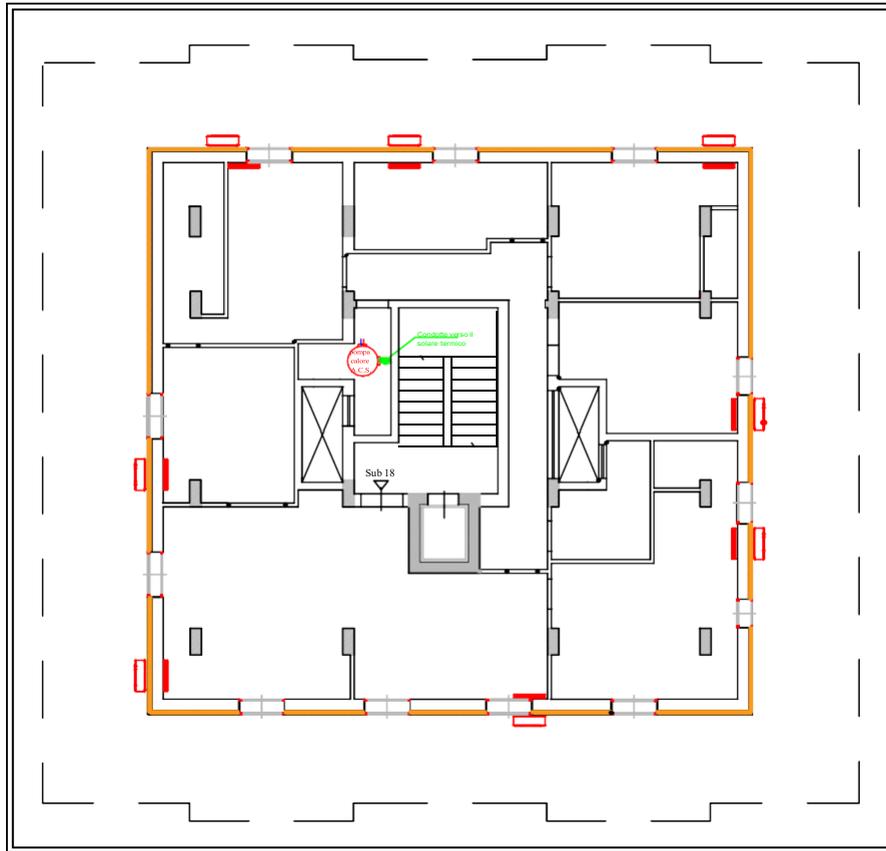




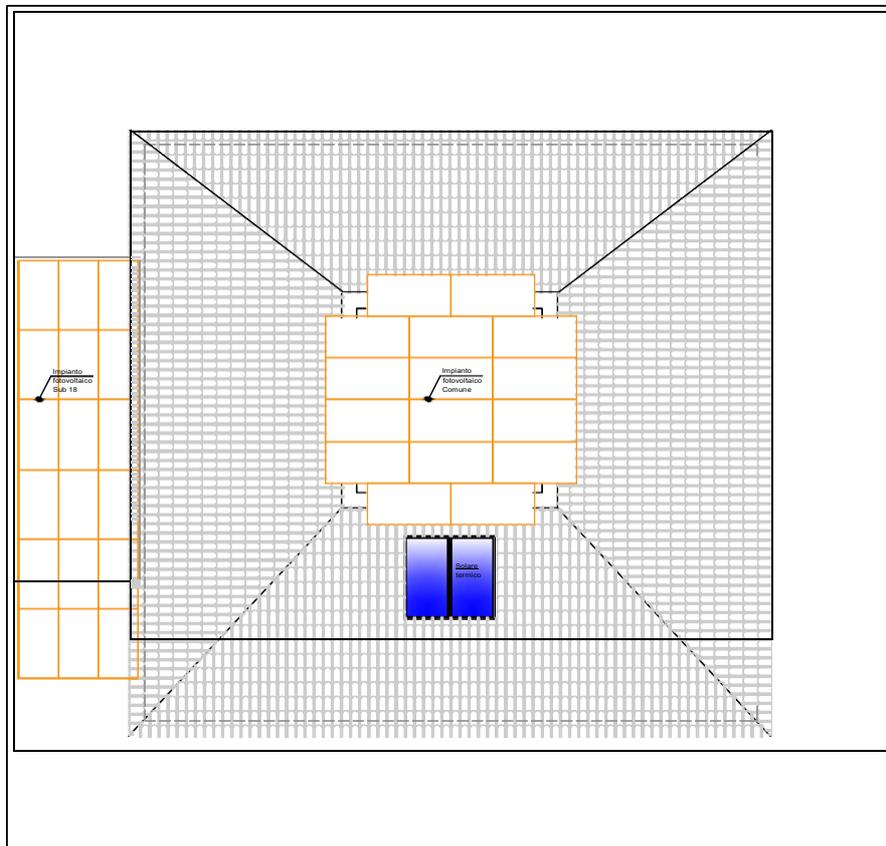
PIANTA PIANO TERZO



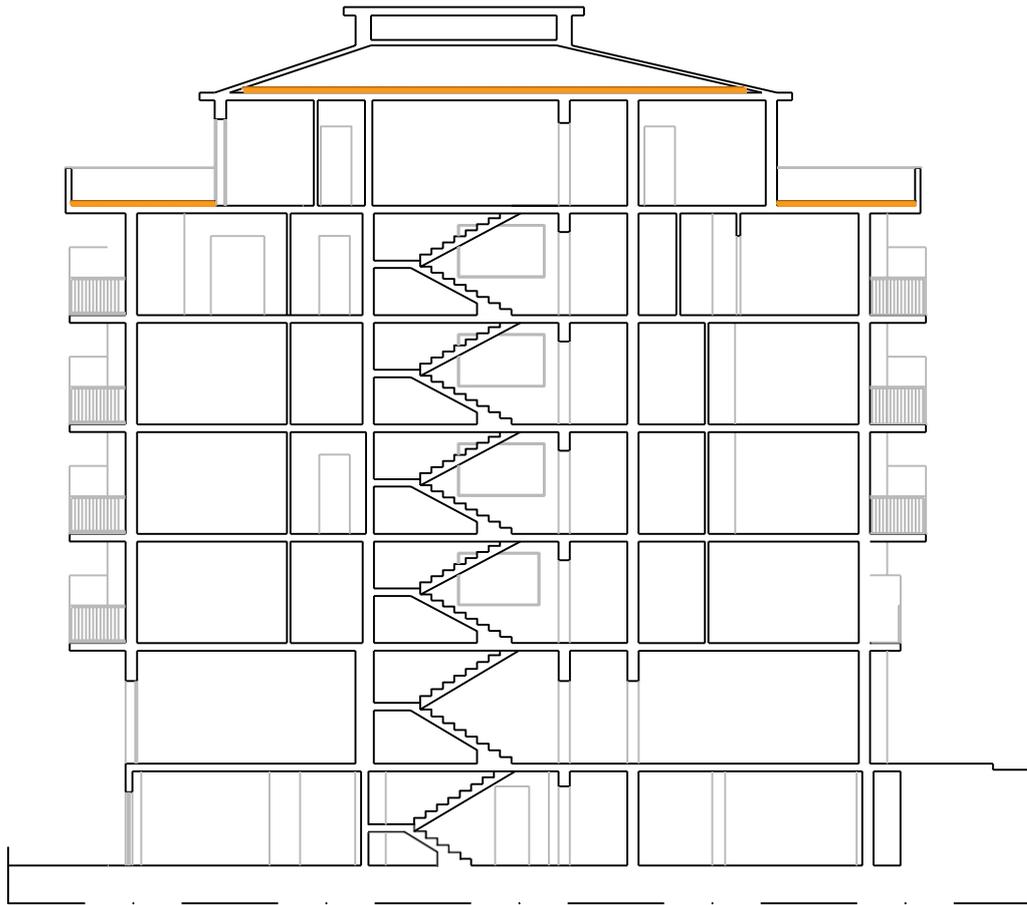
PIANTA PIANO QUARTO



PIANTA PIANO ATTICO



PIANTA COPERTURA



SEZIONE 1 - 1

ALLEGATO 2 – NORMATIVE DI RIFERIMENTO USATE PER IL CALCOLO

I calcoli effettuati dal programma Termo sono conformi alle seguenti norme UNI:

- UNI/TS 11300-1 – Prestazioni energetiche degli edifici. Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
- UNI/TS 11300-2 – Prestazioni energetiche degli edifici. Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali.
- UNI/TS 11300-3 – Prestazioni energetiche degli edifici. Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.
- UNI/TS 11300-4 – Prestazioni energetiche degli edifici. Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.
- UNI/TS 11300-5 – Prestazioni energetiche degli edifici. Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili.
- UNI/TS 11300-6 – Prestazioni energetiche degli edifici. Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori, scale mobili e marciapiedi mobili.
- UNI EN ISO 13790 – Prestazione termica degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.
- UNI EN ISO 10077-1 – Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Trasmittanza termica dei componenti edilizi finestrati. Metodi di calcolo.
- UNI EN ISO 13370 – Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Scambi di energia termica tra terreno ed edificio: Metodo di calcolo.
- UNI 10349 – Riscaldamento e raffreddamento degli edifici. Dati climatici.
- UNI 10351 – Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità del vapore.
- UNI EN ISO 6946 – Componenti ed elementi per edilizia. Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo.
- UNI EN ISO 13788 – Prestazione igrometrica dei componenti e degli elementi per edilizia. Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale. Metodo di calcolo.

- UNI EN ISO 13789 – Prestazione termica degli edifici. Coefficiente di perdita di calore per trasmissione. Metodo di calcolo.
- UNI EN ISO 10456 – Materiali e prodotti per l'edilizia. Proprietà igrometriche. Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto.
- UNI EN ISO 14683 – Ponti termici in edilizia. Coefficiente di trasmissione termica lineica. Metodi semplificati e valori di riferimento.
- UNI EN ISO 13786 – Prestazione termica dei componenti per edilizia. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo.
- UNI 10200 – Impianti termici centralizzati di climatizzazione invernale e produzione di acqua calda sanitaria. Criteri di ripartizione delle spese di climatizzazione invernale ed acqua calda sanitaria.
- UNI EN ISO 52016-1:2018 e bozza appendici nazionali.