



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

**Corso di Laurea Magistrale
In Ingegneria Energetica e Nucleare**

A.a. 2022/2023

Sessione di Laurea Marzo 2023

**Riqualificazione energetica di un edificio ad
uso residenziale tramite l'applicazione del
Superbonus 110%**

Relatori:

Prof. FABRIZIO ENRICO

Prof. FILIPPI MARCO

Candidato:

CAFISO ANDREA MASSIMILIANO

1 Abstract

L'elaborato di tesi svolto consiste nello sviluppo di un progetto di riqualificazione energetica di un condominio tramite l'utilizzo del Superbonus 110. Quest'ultimo è frutto della mia esperienza maturata all'interno dello studio di ingegneria e architettura Politecna Europa S.R.L in cui ho svolto un periodo iniziale di tirocinio curriculare ed in seguito continuato, avviando un rapporto lavorativo con il ruolo di progettista. Prima di approfondire le fasi di progettazione e realizzazione, verrà fatto un quadro storico, utile ad analizzare gli obiettivi fissati a breve e medio termine da parte della politica e della società europea ed internazionale. Tale analisi punta a mostrare l'importanza degli investimenti nel campo della riqualificazione energetica degli edifici esistenti per il raggiungimento degli obiettivi prefissati dagli enti. In particolar modo, sarà approfondito lo stato attuale del settore edilizio europeo ed italiano ed evidenziati i punti deboli degli edifici in termini di consumo energetico. Tema centrale dell'elaborato il decreto rilancio "Superbonus 110%", al fine di individuare i campi di applicazione ed i possibili interventi oggetto di detrazione che lo caratterizzano, atti al miglioramento della classe energetica ed il conseguente abbattimento dei consumi degli immobili. Infine verrà esposto il caso studio e le scelte progettuali effettuate per il conseguimento del Superbonus 110% con un'analisi sui risultati ottenuti dal punto di vista energetico ed economico.

2 Sommario

1	ABSTRACT.....	1
2	SOMMARIO	2
3	CONTESTO.....	5
3.1	Direttive sul rendimento energetico nell'edilizia (EPBD).....	8
3.2	Il Piano nazionale integrato per l'energia e il clima.....	8
3.3	Attestazione prestazione energetica	9
3.4	L'importanza della riqualificazione	11
4	SUPERBONUS 110	13
4.1	Che cos'è il superbonus 110%.....	13
4.2	Chi può usufruire del Superbonus 110	14
4.3	Gli interventi agevolati	14
4.3.1	Interventi trainanti	15
4.3.2	Interventi trainati	21
5	ESAME DELL'EDIFICIO.....	23
5.1	Inquadramento generale	23
5.2	Stato di fatto	29
5.2.1	Componenti dell'involucro	29
5.2.2	Impianti	32
5.2.3	Tavole architettoniche.....	33
6	MODELLAZIONE ENERGETICA ANTE INTERVENTO	39
6.1	Dati climatici.....	40
6.2	Componenti opachi	44
6.3	Componenti trasparenti	47
6.4	Chiusure oscuranti.....	50
6.5	Ponti termici.....	52

6.6	Input grafico	53
6.7	Risultati fabbricato	54
6.8	Attestazione di prestazione energetica convenzionale Ante	69
7	DEFINIZIONE DEL PROGETTO.....	74
7.1	Coibentazione pareti verticali:.....	76
7.2	Coibentazione copertura:	78
7.3	Sostituzione infissi e chiusure oscuranti:	80
7.4	Correzione ponti termici:.....	81
7.4.1	Ponte termico al balcone.....	86
7.4.2	Ponte termico parete copertura.....	91
7.4.3	Ponte termico davanzale finestre.....	96
7.4.4	Ponte termico spallette finestre.....	100
7.4.5	Ponte termico cassonetto	101
7.4.6	Ponte termico cappotto esterno soletta piano pilotis	102
7.5	Impianto termico.....	106
7.5.1	Generatore di calore:	106
7.5.2	Scambiatore a piastre:.....	107
7.5.3	Pompe di circolazione:	108
7.5.4	Valvole di bilanciamento:	109
7.5.5	Vaso di espansione:	110
7.6	Nuova classe energetica	112
7.7	Verifiche di legge	114
8	ASPETTI ECONOMICI	117
8.1	Quadro economico	117
8.2	Risparmio energetico economico.....	120
9	CONCLUSIONI.....	124
10	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	127
11	IMMAGINI	130
12	EQUAZIONI.....	132

3 Contesto

Il concetto di risparmio energetico è entrato prepotentemente nella quotidianità della società, sempre più attenta ad i temi di riscaldamento globale e sostenibilità ambientale. Questi aspetti hanno assunto centralità fin dagli anni '60 del secolo scorso in concomitanza al grande “boom economico” successivo al dopoguerra, quando le stime della comunità scientifica hanno evidenziato lo stretto collegamento tra PIL (Prodotto Interno Lordo) e consumo energetico di uno Stato come mostrato in Figura 1.

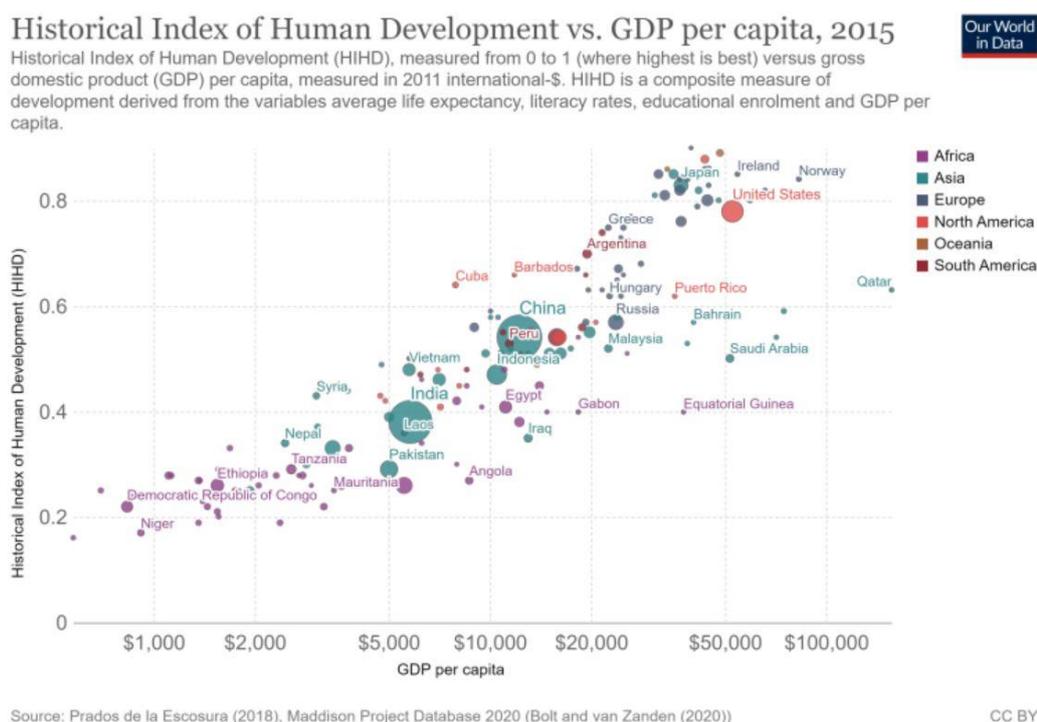


Figura 1 Confronto tra PIL e consumo energetico (Maddison Project Database 2020).

Ne consegue una profonda differenza nell’impatto globale in termini di consumi energetici dei singoli Stati, tra Paesi a basso PIL caratterizzati da una crescita demografica e Paesi ad alto PIL caratterizzati da un aumento esponenziale della qualità della vita. In questo contesto le comunità mondiali hanno avviato una serie di progetti, iniziative e “Road Map”, finalizzate alla riduzione delle emissioni di CO2 e riportare il pianeta in una condizione di sostenibilità. Tali iniziative sono incentrate sull’aumento della produzione energetica tramite fonti di energia rinnovabile “FER”, in sostituzione alle fonti dette “fossili”. Accanto alla produzione di energia da FER, che si pone come obiettivo a medio-lungo termine,

si schiera la riqualificazione energetica degli edifici come obiettivo a breve-medio termine. Con la riqualificazione si punta ad una riduzione importante di quella che è la spesa energetica per la climatizzazione degli edifici. L'Italia gioca un ruolo particolarmente importante, in quanto il patrimonio immobiliare risulta essere molto datato. Per questi motivi, il contesto storico energetico italiano ed europeo è caratterizzato da una crescente attenzione all'efficienza energetica e alle fonti di energia rinnovabile. In Italia, una delle prime leggi in materia di energia è stata la legge 9 gennaio 1991, n. 10, che aveva l'obiettivo di promuovere il risparmio energetico e l'utilizzo delle fonti di energia rinnovabile [14]. Successivamente, è stata approvata la legge 6 agosto 2002, n. 229, che ha istituito il Sistema di certificazione energetica degli edifici (APE) e ha introdotto il concetto di "edificio a energia quasi zero" (nZEB) [14]. A livello europeo, una delle prime direttive in materia di efficienza energetica degli edifici è stata la direttiva 2002/91/CE, nota come "Direttiva sul rendimento energetico nell'edilizia" (EPBD), che stabilisce i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici esistenti e nuovi [15]. Successivamente, è stata adottata la direttiva 2018/844/UE, che ha introdotto l'obiettivo di raggiungere entro il 31 dicembre 2020 il 50% di edifici a energia quasi zero (nZEB) nei nuovi edifici residenziali e non residenziali [16]. Inoltre, il Piano nazionale integrato per l'energia e il clima (PNIEC) è un documento strategico adottato dal governo italiano con l'obiettivo di promuovere la transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio. Il PNIEC [1] definisce gli obiettivi e le misure per il raggiungimento della neutralità climatica entro il 2050, tra cui il raggiungimento del 50% di consumo di energia da fonti rinnovabili entro il 2030 e il raggiungimento del 40% di efficienza energetica netta entro il 2030. Gli obiettivi del piano sono riassunti in Tabella 1.

	Obiettivi 2020		Obiettivi 2030	
	UE	ITALIA	UE	ITALIA (PNIEC)
Energie rinnovabili (FER)				
Quota di energia da FER nei Consumi Finali Lordi di energia	20%	17%	32%	30%
Quota di energia da FER nei Consumi Finali Lordi di energia nei trasporti	10%	10%	14%	22%
Quota di energia da FER nei Consumi Finali Lordi per riscaldamento e raffrescamento			+1,3% annuo (indicativo)	+1,3% annuo (indicativo)
Efficienza energetica				
Riduzione dei consumi di energia primaria rispetto allo scenario PRIMES 2007	-20%	-24%	-32,5% (indicativo)	-43% (indicativo)
Risparmi consumi finali tramite regimi obbligatori efficienza energetica	-1,5% annuo (senza trasp.)	-1,5% annuo (senza trasp.)	-0,8% annuo (con trasporti)	-0,8% annuo (con trasporti)
Emissioni gas serra				
Riduzione dei GHG vs 2005 per tutti gli impianti vincolati dalla normativa ETS	-21%		-43%	
Riduzione dei GHG vs 2005 per tutti i settori non ETS	-10%	-13%	-30%	-33%
Riduzione complessiva dei gas a effetto serra rispetto ai livelli del 1990	-20%		-40%	
Interconnettività elettrica				
Livello di interconnettività elettrica	10%	8%	15%	10% ¹
Capacità di interconnessione elettrica (MW)		9.285		14.375

Tabella 1 Principale obiettivi su energia e clima dell'UE e dell'Italia al 2020 e al 2030(manca la fonte).

3.1 Direttive sul rendimento energetico nell'edilizia (EPBD)

La direttiva 2002/91/CE, nota come "Direttiva sul rendimento energetico nell'edilizia" (EPBD), è una norma dell'Unione Europea che stabilisce i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici esistenti e nuovi; ha l'obiettivo di incentivare l'efficienza energetica degli edifici e di ridurre le emissioni di gas serra, contribuendo così alla lotta contro il cambiamento climatico [10]. Questa si applica a tutti gli edifici, che siano nuovi od esistenti, ad eccezione di quelli ad uso industriale e agricolo. Questa manovra prevede l'obbligo di redigere una certificazione energetica per gli edifici nuovi e per quelli in vendita o in affitto, e l'obbligo di rispettare i requisiti minimi di prestazione energetica per i fabbricati di nuova costruzione. Inoltre, è stata modificata nel 2018 dalla direttiva 2018/844/UE, che ha introdotto l'obiettivo di raggiungere entro il 31 dicembre 2020 il 50% di edifici a energia quasi zero (nZEB) nei nuovi stabili residenziali e non residenziali. Per i motivi sopracitati questa rappresenta un importante strumento per promuovere l'efficienza energetica degli edifici in Europa e per contribuire alla lotta contro il cambiamento climatico. In particolare, sostiene l'utilizzo di tecnologie efficienti dal punto di vista energetico, come il riscaldamento a energia rinnovabile e il sistema di ventilazione meccanica controllata, e favorisce l'adozione di pratiche di costruzione sostenibile, come l'utilizzo di materiali di costruzione a basso impatto ambientale e la riduzione dell'uso di energia per il riscaldamento, il raffrescamento e la produzione di acqua calda. In più rappresenta un passo importante verso la riduzione delle emissioni di gas serra nell'edilizia e verso il raggiungimento degli obiettivi di efficienza energetica fissati a livello europeo. Tuttavia, il suo successo dipenderà dall'effettiva attuazione e dall'adozione di politiche di supporto da parte dei singoli Stati membri dell'UE.

3.2 Il Piano nazionale integrato per l'energia e il clima

Il Piano nazionale integrato per l'energia e il clima (PNIEC) è uno strumento di pianificazione energetica a medio e lungo termine adottato dall'Italia con l'obiettivo di definire le politiche e le azioni per la transizione verso un sistema energetico sostenibile e per il raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra fissati dall'Unione Europea [1]. Il PNIEC è stato adottato con il decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28. Questo è basato su una serie di obiettivi quantitativi e qualitativi, che riguardano sia l'efficienza energetica che le fonti rinnovabili, e prevede una serie di azioni e misure per il loro raggiungimento. Il piano è un mezzo fondamentale per la definizione della politica energetica italiana e per il conseguimento degli obiettivi di sostenibilità energetica e ambientale fissati dall'Unione Europea. Esso rappresenta un importante passo avanti nella transizione

verso un sistema energetico più sostenibile e meno dipendente dalle fonti fossili. Il PNIEC fissa gli obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra al 2020, al 2030 e al 2050, in linea con gli obiettivi fissati dall'Unione Europea. Nello specifico, prevede una riduzione delle emissioni di gas serra del 20% entro il 2020, del 30% entro il 2030 e del 40-45% entro il 2050, rispetto ai livelli del 1990. Inoltre, prende in considerazione una serie di misure per incoraggiare l'efficienza energetica e le fonti rinnovabili, come l'adozione di norme più stringenti per gli edifici, l'incentivazione dell'utilizzo di veicoli a basse emissioni, la promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili e la diffusione dei sistemi di produzione di energia da fonti rinnovabili negli edifici. [11]

I principali obiettivi del PNIEC italiano sono [1]:

- Una percentuale di energia da FER nei Consumi Finali Lordi di energia pari al 30%, in linea con gli obiettivi previsti per il nostro Paese dalla UE;
- Una quota di energia da FER nei Consumi Finali Lordi di energia nei trasporti del 22% a fronte del 14% previsto dalla UE;
- Una riduzione dei consumi di energia primaria rispetto allo scenario PRIMES 2007 del 43% a fronte di un obiettivo UE del 32,5%;
- La riduzione dei "gas serra", rispetto al 2005, con un obiettivo per tutti i settori non ETS del 33%, superiore del 3% rispetto a quello previsto dall'UE.
- Nel quadro di un'economia a basse emissioni di carbonio, PNIEC prospetta inoltre il phase out del carbone dalla generazione elettrica al 2025.

3.3 Attestazione prestazione energetica

L'Attestato di prestazione energetica (APE) [17] è un documento che attesta il consumo di energia dell'edificio e le emissioni di gas serra associate. L'APE è stato introdotto dal Decreto Legge 63/2013 e convertito dalla Legge 90/2013. Questa viene redatta da un tecnico abilitato in forma di certificato, che riporta le caratteristiche dell'intervento in oggetto e assegna all'edificio una classe di prestazione energetica, che va da A4 (edifici a elevata efficienza energetica) a G (edifici a bassa efficienza energetica). L'attestato è obbligatorio per le nuove costruzioni e per quelle in vendita o in affitto, e deve essere esibito in occasione della compravendita o della locazione dell'edificio. L'APE è uno strumento importante per la trasparenza del mercato immobiliare, poiché fornisce informazioni dettagliate sulla prestazione energetica degli edifici e consente agli acquirenti o ai locatari di valutare i costi associati all'energia per il funzionamento di questi [18].

Da queste premesse, si consegue che, per intervenire in maniera efficace, è necessario individuare e conoscere quali siano i settori più energivori e critici, tra i quali emerge quello edilizio. Infatti, circa il 28% dei consumi energetici nazionali sono destinati a servizi energetici di tipo residenziale quali riscaldamento, illuminazione e raffrescamento degli edifici [19]. La causa dell'elevato consumo è da ricercare principalmente nello stato di conservazione degli edifici, la cui costruzione spesso risale a prima del 1990 [2], ossia precedenti all'emanazione di quasi tutte le normative in materia energetica. Ed è in quest'ottica di diminuzione dei consumi del settore residenziale e quindi di efficientamento energetico degli edifici che si inserisce il "Superbonus 110%": una agevolazione fiscale disciplinata dall'articolo 119 del decreto-legge n. 34/2020 chiamato "decreto Rilancio" che consiste in una detrazione del 110% delle spese sostenute a partire dal 1° luglio 2020 per la realizzazione di specifici interventi [20].

3.4 L'importanza della riqualificazione

Come accennato oltre il 70% degli edifici nel territorio nazionale sono stati edificati prima che entrasse in vigore la legge 373/76 [21], con la quale per la prima volta vengono regolamentate le caratteristiche di prestazione relative all'impianto termico e all'isolamento dell'involucro disperdente. In questi edifici, oltre ai problemi di dispersione termica per evidenti motivi, sono molto frequenti problemi di formazione di condense, causati da uno scorretto ricambio d'aria e dai ponti termici, discontinuità di costruzione che abbassano a livello puntuale la temperatura di una superficie favorendo l'insorgenza di muffe dannose per il nostro apparato respiratorio [22]. Molto comuni sono anche i problemi legati al confort termigrometrico causato dalle forti asimmetrie termiche all'interno dei locali. L'insieme di questi fenomeni generano nella società una problematica da affrontare, sia in termini energetici che economici. Il rispetto delle normative prevede e previene l'insorgere di tali problemi già in sede di progettazione, anche grazie all'utilizzo dei moderni software di calcolo che rendono più accurata l'individuazione delle criticità e la ricerca di soluzioni ottimali. La riqualificazione energetica può far fronte alle criticità sopraelencate andando a migliorare il binomio edificio-impianto, ovvero agendo su ciò che riguarda l'involucro e l'impianto termico. Tuttavia, il livello di riqualificazione energetica degli edifici in Italia è ancora relativamente basso, "il sole 24 ore" nel 2020 riporta in uno studio condotto con la Fiaip e l'ENEA che l'80% degli edifici residenziali è ancora in classe G [23]. Secondo il Piano nazionale integrato per l'energia e il clima (PNIEC), gli edifici sono responsabili del 40% del consumo di energia finale e del 36% delle emissioni di gas serra in Italia [1]. La riqualificazione energetica degli edifici rappresenta quindi un'opportunità importante per ridurre il consumo di energia e le emissioni di gas serra. Il "Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima" fissa l'obiettivo di aumentare la quota di edifici riqualificati energeticamente al 20% entro il 2020 e al 40% entro il 2030. Tuttavia, secondo il rapporto "Efficienza energetica degli edifici in Italia" del Ministero dello sviluppo economico, nel 2018 solo il 9,4% degli edifici è stato riqualificato energeticamente. Per promuovere la riqualificazione energetica degli edifici in Italia, il PNIEC prevede una serie di misure e incentivi, tra cui l'adozione di normative più stringenti per gli edifici, al fine di aumentare l'efficienza energetica degli edifici nuovi e riqualificati. Inoltre, il PNIEC prevede l'istituzione di incentivi per la riqualificazione energetica degli edifici, sia a livello nazionale che regionale. I principali incentivi per la riqualificazione energetica degli edifici in Italia sono [24]:

- Il Conto termico: uno strumento che prevede l'erogazione di contributi per l'acquisto e l'installazione di impianti di produzione di energia termica da fonti rinnovabili e per interventi di isolamento termico degli edifici;

- Il Superbonus 110%: una misura introdotta dal Decreto Rilancio che prevede la possibilità di ottenere una detrazione fiscale del 110% per gli interventi di riqualificazione energetica e sismica degli edifici;
- Gli Ecobonus: una misura che prevede la possibilità di ottenere una detrazione fiscale del 65% per gli interventi di riqualificazione energetica degli edifici.

Nei paragrafi successivi si svilupperà tutto ciò che concerne il Superbonus 110% e la sua applicazione ad un caso studio.

4 Superbonus 110

4.1 Che cos'è il superbonus 110%

Il Superbonus 110 è figlio del Decreto Rilancio, il quale consiste in un insieme di manovre atte a rilanciare l'economia del paese dopo gli anni bui della pandemia da SARS-CoV-2[4]. All'interno del decreto con l'articolo 119 viene introdotta la detrazione del 110% delle spese sostenute per specifici interventi in materia di efficienza energetica; tali interventi si estendono anche a soluzioni di tipo antisismico e di sfruttamento di fonti rinnovabili a livello domestico quali solare fotovoltaico, solare termico e l'installazione di infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici negli edifici [3]. Il decreto, nell'articolo 121 definisce le modalità per effettuare la cessione del credito e lo sconto in fattura dell'aliquota incentivata [3]. La detrazione del 110% si aggiunge a quelle già vigenti che disciplinano le detrazioni dal 50% all'85% [6] delle spese spettanti per gli interventi di recupero del patrimonio edilizio e riqualificazione energetica degli edifici. Trattandosi di un duplice vantaggio in quanto si riceve un'agevolazione diretta sui lavori effettuati e un guadagno in termini di efficientamento energetico, ai fini dell'esercizio del Superbonus, come dichiara l'Agenzia delle Entrate, il contribuente deve acquisire [7]:

- Il visto di conformità dei dati relativi alla documentazione che attesta la sussistenza dei presupposti che danno diritto alla detrazione d'imposta, rilasciato dagli intermediari abilitati alla trasmissione telematica delle dichiarazioni (dottori commercialisti, ragionieri, periti commerciali, consulenti del lavoro) nonché dai CAF;
- L'asseverazione tecnica relativa agli interventi di efficienza energetica e di riduzione del rischio sismico da parte, rispettivamente, dei tecnici abilitati al rilascio delle certificazioni energetiche e dai professionisti incaricati della progettazione strutturale, direzione dei lavori delle strutture e collaudo statico per gli interventi finalizzati alla riduzione del rischio sismico. L'asseverazione certifica il rispetto dei requisiti tecnici degli interventi di efficienza energetica nonché l'efficacia degli interventi antisismici ai fini delle agevolazioni fiscali e attesta la congruità delle spese sostenute in relazione agli interventi agevolati, in accordo ai previsti decreti ministeriali.

Affinché vengano rispettati i parametri sotto i quali è possibile applicare la detrazione del 110% per gli interventi di efficienza energetica, L'ENEA (Ente Nuove tecnologie per l'Energia e l'Ambiente) effettua controlli, sia documentali che attraverso sopralluoghi, per verificare la sussistenza delle condizioni necessarie per usufruire delle detrazioni. [7]

4.2 Chi può usufruire del Superbonus 110

Possono beneficiare della detrazione le persone fisiche, residenti o non in Italia, al di fuori dell'esercizio di attività di impresa, arti e professioni, possessori o detentori di unità immobiliari. Per quanto riguarda chi ha redditi d'impresa o derivanti dall'esercizio di arti e professioni possono comunque usufruire della detrazione in qualità di condòmini detraendo le spese sostenute per gli interventi su parti comuni. [8] In elenco i soggetti che posso beneficiare della detrazione:

- I proprietari e nudi proprietari;
- I titolari di diritti di usufrutto d'uso di abitazione o superficie;
- I familiari conviventi e i conviventi di fatto;
- I detentori, quali inquilini e comodatari;
- I soci di cooperative a proprietà indivisa;
- I coniugi separati assegnatari dell'immobile intestato all'altro coniuge;
- I promissari acquirenti;
- Gli utilizzatori di immobili concessi mediante contratto di leasing.

L'agevolazione può essere applicata ad un massimo di due unità immobiliari residenziali possedute dalla stessa persona fisica, oltre ad eventuali interventi sulle parti comuni, a condizione che gli immobili siano situati in Italia. [8]

4.3 Gli interventi agevolati

Secondo quanto riporta l'Agenzia delle Entrate, gli interventi che posso godere della detrazione sono divisi in due macro categorie a seconda che siano o meno necessari per poter usufruire dell'agevolazione; sono infatti detti interventi "trainanti" gli interventi necessari ma non sufficienti, in quanto non è certo che eseguendo uno di questi interventi venga rispettato il vincolo del doppio salto di classe energetica o il passaggio da A3 ad A4, tutti gli altri interventi eseguibili sono detti "trainati" in quanto possono essere eseguiti solo se congiunti ad uno o più interventi "trainanti". Tutti gli interventi devono essere realizzati rispettando i

requisiti imposti dal Decreto Requisiti minimi e il costo per la fornitura del materiale dovrà rispettare i valori dichiarati dal decreto MITE del 16 marzo 2022.

4.3.1 Interventi trainanti

Gli interventi rientranti in questa categoria sono:

- **Isolamento termico a “cappotto”** [3]: tale intervento consiste nell’isolamento delle superfici “disperdenti”, vale a dire quelle superfici che ammettono un gradiente termico. L’intervento ha come obbligo di ricondurre le superfici ai valori di trasmittanza termica, classificati per zona climatica, definiti dall’allegato E del decreto 6 agosto 2020 [Tabella 2]. Al fine di essere considerato intervento trainante l’isolamento deve interessare più del 25% della superficie disperdente lorda dell’edificio, o dell’unità immobiliare situata all’interno di edifici plurifamiliari che sia funzionalmente indipendente e disponga di uno o più accessi autonomi dall’esterno [7]. Accanto alla materia energetica viene introdotto l’obbligo di utilizzo di materiali isolanti che rispettino i criteri ambientali minimi

(CAM), nello specifico materiali caratterizzati da elementi ad alta componente riciclabile o biosostenibile.

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

Tabella 2 Valori di trasmittanza massimi consentiti per l'accesso alle detrazioni - Allegato E Decreto 6 agosto 2020.

I massimali di spesa per questo intervento sono definiti al comma 1.a dell'art. 119 del Decreto Legge "Rilancio" e di seguito riassunti:

- 50.000 euro per gli edifici unifamiliari o per le unità immobiliari situate all'interno di edifici plurifamiliari che siano funzionalmente indipendenti e dispongano di uno o più accessi autonomi dall'esterno;
- 40.000 euro moltiplicati per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio per gli edifici composti da due a otto unità immobiliari;
- 30.000 euro moltiplicati per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio per gli edifici composti da più di otto unità immobiliari.

- **Sostituzione dell'impianto di climatizzazione invernale** [3]: L'intervento deve configurarsi come sostituzione integrale o parziale del vecchio impianto di climatizzazione invernale; quindi, non sono valide le nuove installazioni o integrazioni, ne consegue che gli edifici privi di impianto di climatizzazione non possono essere oggetto di Superbonus. Di seguito si riporta la definizione di impianto termico secondo il MISE: "impianto tecnologico fisso destinato ai servizi di climatizzazione invernale o estiva degli ambienti, con o senza produzione di acqua calda sanitaria, o destinato alla sola produzione di acqua calda sanitaria, indipendentemente dal vettore energetico utilizzato, comprendente eventuali sistemi di produzione, distribuzione, accumulo e utilizzazione del calore nonché gli organi di regolazione e controllo, eventualmente combinato con impianti di ventilazione. Non sono considerati impianti termici i sistemi dedicati esclusivamente alla produzione di acqua calda sanitaria al servizio di singole unità immobiliari ad uso residenziale ed assimilate". I requisiti degli impianti sono definiti dal MISE negli allegati F, G e H del Decreto Requisiti Minimi del 6 Agosto 2020. Di seguito si elencano alcune caratteristiche da rispettare per tipologia di generatore sostituito:

- **Caldaia a condensazione** [3]: sono detraibili gli interventi che prevedono la sostituzione, totale o parziale, dell'impianto esistente con uno dotato di generatore a condensazione con le seguenti caratteristiche:
 - Alimentato ad acqua o aria calda;
 - Con efficienza energetica stagionale per il riscaldamento d'ambiente (η_s) $\geq 90\%$, pari al valore minimo della classe A di prodotto, prevista dal regolamento (UE) n. 811/2013.

In caso di Caldaia a condensazione alimentata ad aria calda, il rendimento termico utile riferito al PCI al 100% del carico deve essere $\geq 93 + 2 \log(P_n)$ dove P_n è la potenza nominale. In caso di potenza nominale superiore a 100 kW, oltre ai prima citati requisiti si dovranno rispettare i seguenti:

- Impianto dotato di bruciatore modulante;
- Regolazione climatica definisce il regime del bruciatore;
- Installazione di elettropompa a giri variabili o sistemi assimilabili.

In caso di generatore a condensazione con potenza superiore a 400 kW il rendimento termico utile dovrà essere $\geq 98,2\%$ secondo le norme UNI 15502.

In linea generale la potenza termica complessiva dei nuovi generatori installati non deve superare del 10% la potenza dei generatori sostituiti, salvo che non si dimostri il corretto dimensionamento dell'impianto.

In caso di generatori di calore unifamiliari combinati (riscaldamento e ACS), sono ammesse potenze nominali fino a 35 kW.

- **Pompa di calore [3]:** è possibile sostituire in modo integrale o parziale impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di pompe di calore ad alta efficienza, anche con sistemi geotermici a bassa entalpia e sostituire i tradizionali scaldacqua con scaldacqua in pompa di calore per la produzione di ACS. L'allegato F del 6 agosto 2020 definisce le caratteristiche che il generatore deve avere al fine di poter accedere al Superbonus.
 - **Pompe di calore elettriche:** il nuovo generatore installato deve avere un COP almeno pari ai valori indicati nella Tabella 3 sottostante.

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

Tabella 3 Coefficienti di prestazioni minimi per pompe di calore elettriche - Allegato F Decreto 6 agosto 2020.

- **Pompe di calore a gas:** il coefficiente di prestazione GUE deve essere maggiore o uguale ai valori riportati nella tabella sottostante. Per quanto riguarda l'indice di efficienza GUEc per questa tipologia di pompe di calore deve essere non inferiore a 0,6.

Tipo di pompa di calore	Ambiente esterno [°C]	Ambiente interno [°C]	GUEh
Ambiente esterno/interno			
aria/aria	Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata : 6	Bulbo secco all'entrata: 20	1,46 ⁷
aria/acqua	Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata : 6	Temperatura entrata: 30 ⁸	1,38
salamoia/aria	Temperatura entrata: 0	Bulbo secco all'entrata: 20	1,59
salamoia/ acqua	Temperatura entrata: 0	Temperatura entrata: 30 ⁷	1,47
acqua/aria	Temperatura entrata: 10	Bulbo secco all'entrata: 20	1,60
acqua/acqua	Temperatura entrata: 10	Temperatura entrata: 30 ⁷	1,56

Tabella 4 Coefficienti di prestazioni minimi per pompe di calore a gas - Allegato F Decreto 6 agosto 2020.

- Nel caso in cui le pompe di calore siano dotate di variatore di velocità (inverter o altra tipologia), i parametri nelle precedenti tabelle 2 e 3 sono ridotti del 5%.
- **Scaldacqua in pompa di calore:** nel caso di installazione di un nuovo generatore per la produzione di acqua calda sanitaria il requisito da seguire è definito nell'allegato 2 del D.Lgs. 28/2011, ovvero deve avere un COP strettamente maggiore di 2,6.
- **Impianto ibrido (pompa di calore + caldaia) [3]:** l'agevolazione fiscale è applicabile anche in caso di impianti ibridi costituiti da una pompa di calore integrata con una caldaia a condensazione. Come negli altri casi l'impianto dovrà avere una serie di parametri da rispettare:
 - Il rapporto delle potenze termiche utili nominali tra la pompa di calore e la caldaia deve essere inferiore o uguale a 0,5. Sono quindi ammessi sistemi in cui la potenza della caldaia deve essere almeno il doppio della potenza termica nominale della pompa di calore.
 - I COP della pompa di calore devono rispettare quelli imposti dall'allegato F sopra riportati in Tabella 3.
 - Il rendimento termico utile al 100% del carico deve essere $\geq 93 + 2 \log P_n$.

In caso di potenza nominale superiore a 100 kW, oltre ai prima citati requisiti si dovranno rispettare i seguenti:

- Impianto dotato di bruciatore modulante;
- Regolazione climatica definisce il regime del bruciatore;
- Installazione di elettropompa a giri variabili o sistemi assimilabili.

La potenza termica della o delle caldaie installate non deve superare il 10% della potenza precedentemente installata, salvo verifica dimensionale in grado di giustificare l'aumento di potenza.

- **Caldaie a biomassa [3]:** è possibile sostituire il vecchio generatore con uno nuovo a biomassa solo in aree non metanizzate dei comuni non interessati dalle procedure europee di infrazione. L'intervento dovrà inoltre riguardare edifici unifamiliari o in unità immobiliari situate in edifici plurifamiliari dotate di accesso autonomo o che siano funzionalmente indipendenti. L'allegato IV del D. Lgs 199/2021 definisce i requisiti minimi per impianti a biomassa che accedono ad incentivi. L'accesso agli incentivi pubblici per i generatori di calore alimentati con biomassa è subordinato:
 - Nel caso di contestuale sostituzione di un altro impianto a biomasse, al conseguimento della certificazione ambientale con classe di qualità 4 stelle o superiore ai sensi del decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare del 7 novembre 2017, n.186;
 - In tutti gli altri casi, al conseguimento della certificazione ambientale con classe di qualità 5 stelle ai sensi del medesimo decreto.

I massimali di spesa per l'intervento di sostituzione dell'impianto di climatizzazione esistente sono:

- 30.000 euro, per gli immobili unifamiliari o unità funzionalmente indipendenti;
 - 20.000 euro, da moltiplicare per ogni appartamento, per i condomini che contano fino a 8 unità immobiliari;
 - 15.000 euro, da moltiplicare per il numero delle unità, per i condomini composti da più di 8 unità abitative.
- **Sismabonus [25]:** Con il Sismabonus al 110% è possibile detrarre le spese per mettere in sicurezza dal punto di vista sismico gli edifici, al contrario del tradizionale Sismabonus non è necessario migliorare la classe sismica per poter ottenere la detrazione. Il massimale di spesa per quest'intervento corrisponde a 96.000 euro per unità immobiliare. Possono partecipare alla detrazione solo gli edifici in zona sismica 1, 2 o 3, vengono quindi esclusi gli edifici in zona 4 considerata a basso rischio; sono inoltre gli edifici con

categoria catastale A/1, A/8, e A/9 ovvero le abitazioni di tipo signorile, le ville ed edifici come castelli o palazzi di pregio storico.

4.3.2 Interventi trainati

L'intervento "trainato" si configura in accoppiamento all'esecuzione di uno o più interventi "trainanti", vale a dire che posso essere oggetto di Superbonus solo se affiancati ad almeno un intervento di tipo "trainante". Di seguito vengono elencati questa tipologia di interventi.

- **Sostituzione dei serramenti [3]:** questo tipo di intervento comprende la sostituzione di finestre, infissi, scuri, persiane, avvolgibili, vetrate, ovvero tutte le tipologie di serramenti, compresi porte e portoni. Anche in questo caso l'intervento deve garantire un miglioramento energetico, ne consegue che ne saranno oggetto solo i componenti disperdenti. Il miglioramento è definito dalla trasmittanza termica U_w . Tale valore deve essere conforme a quanto indicato in Tabella 5.

iv. Sostituzione di finestre comprensive di infissi (calcolo secondo le norme UNI ENISO 10077-1)	Zona climatica A	$\leq 2,60 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica B	$\leq 2,60 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica C	$\leq 1,75 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica D	$\leq 1,67 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica E	$\leq 1,30 \text{ W/m}^2\text{*K}$
	Zona climatica F	$\leq 1,00 \text{ W/m}^2\text{*K}$

Tabella 5 Valori di trasmittanza massimi consentiti per l'accesso alle detrazioni - Allegato E Decreto 6 agosto 2020.

Per questo tipo di intervento è previsto un tetto massimo di spesa pari a 54.545 euro per unità abitativa.

- **Impianto fotovoltaico [3]:** è possibile detrarre le spese sostenute per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico dedicato ai consumi domestici fino ad un tetto massimo di 48.000 euro con un limite di spesa di 2.400 euro al kWp o di 1.600 euro al kWp in caso di interventi di ristrutturazione edilizia, nuova costruzione o ristrutturazione urbanistica.

- **Accumulo fotovoltaico** [3]: la spesa massima detraibile per questo intervento corrisponde a 1.000 euro al kWh di capacità dell'accumulo.

Per poter passare in detrazione l'impianto fotovoltaico con accumulo è necessario stipulare con il GSE un regime commerciale di compravendita dell'energia con regime commerciale "Ritiro Dedicato" con il quale si sottoscrive di cedere al Gestore dei Servizi Energetici la quota di energia prodotta e non auto consumata [3].

- **Colonnina di ricarica** [3]: è possibile detrarre una colonnina per la ricarica delle auto elettriche o un Wallbox con un massimale che dipende dal numero di unità abitative di cui è composto l'edificio:
 - 2.000 € per gli edifici unifamiliari o per le unità immobiliari situate all'interno di edifici plurifamiliari che siano funzionalmente indipendenti e dispongano di uno più accessi autonomi dall'esterno;
 - 1.500 € per gli edifici plurifamiliari o i condomini che installino un numero massimo di 8 colonnine;
 - 1.200 € per gli edifici plurifamiliari o i condomini che installino un numero superiore a 8 colonnine.

Abbattimento barriere architettoniche: come dichiara l'agenzia delle entrate in merito a tale argomento, rientrano in detrazione tutti gli interventi volti ad eliminare ostacoli ed altri elementi che impediscano o rendano difficile l'utilizzo e la fruizione dello spazio a chi si trova in condizioni di limitata capacità motoria o sensoriale. Riguarda quindi l'installazione di ascensori, montacarichi, montascale, elevatori esterni e costruzione di rampe.

5 Esame dell'edificio

L'edificio preso in esame ha caratteristiche architettoniche e costruttive che accomuna molti edifici italiani. Per questo motivo è stato scelto come caso studio, in modo da poter mostrare un prototipo di riqualificazione energetica in grado di rappresentare molti contesti.

5.1 Inquadramento generale

L'immobile condominiale oggetto di intervento è sito nel Comune di Milano (MI), si colloca nella zona Nord – Ovest di Milano ed è stato costruito nel 1966.



Figura 2 Contesto - il riquadro in rosso rappresenta l'immobile oggetto dell'intervento.

L'edificio condominiale mostrato in Figura 2 si compone di un volume di forma regolare e copertura piana che si eleva per dieci piani fuori terra, di cui un piano pilotis e nove piani abitativi, è inoltre presente un piano interrato in cui sono localizzate le cantine e i box auto. L'edificio è composto da 53 unità abitative. Le pareti esterne sono rivestite in pietra al piano terreno e con il klinker di colore marrone per i livelli superiori. Sul prospetto Sud è inoltre presente un rivestimento in legno in corrispondenza delle porzioni aggettanti in prossimità dei balconi. Le solette dei balconi sono in latero cemento ed in corrispondenza del frontalino sono rivestite in klinker di colore bianco. Le ringhiere sono realizzate in materiale metallico e verniciate di bianco. Così come il frontalino dei balconi, anche il cornicione della copertura presenta un rivestimento in piastrelle di klinker di colore

bianco, più sotto una serie di immagine dell'edificio con riferimento alla Tavola dei coni ottici utili ad inquadrare l'edificio in questione.



Figura 3 Vista lato Sud-Est.



Figura 4 Vista lato Sud.



Figura 5 Vista lato Ovest.



Figura 6 Vista lato Est.

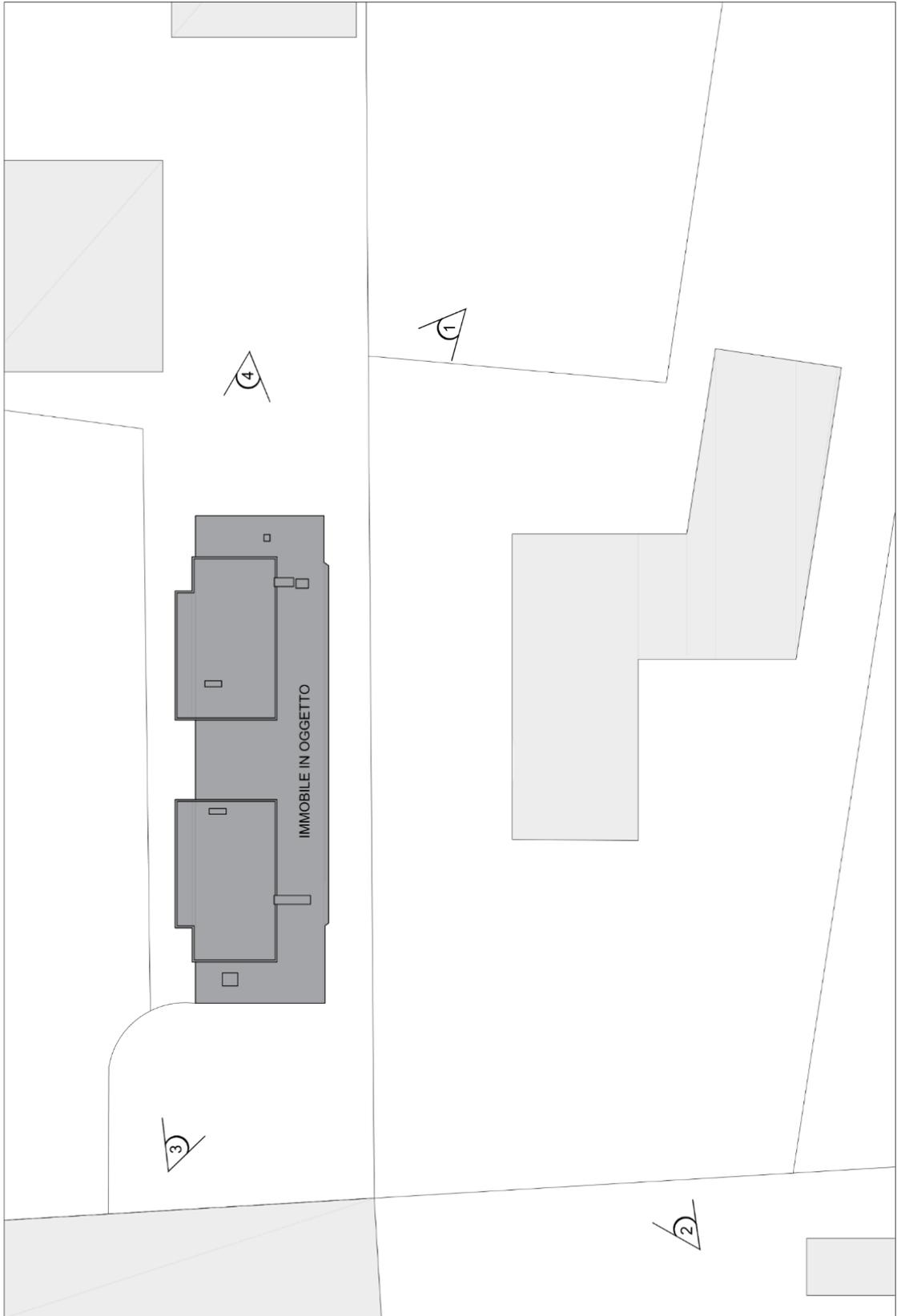


Figura 7 Tavola dei coni ottici.

5.2 Stato di fatto

In occasione di diversi sopralluoghi si è avuto modo di raccogliere informazioni relative allo stato di conservazione dell'edificio, ai componenti dell'involucro e agli impianti di climatizzazione invernale e produzione acqua calda sanitaria. Queste informazioni sono utili per costruire un modello energetico che rappresenti lo stato di fatto con la relativa classe energetica e ad individuare la fattibilità dei possibili interventi migliorativi.

5.2.1 Componenti dell'involucro

Solitamente si riesce ad avere una idea delle murature dell'edificio consultando l'accesso agli atti in comune, ovvero l'insieme delle documentazioni tecniche depositate. Se non si ha la fortuna di reperire materiale utile, in secondo luogo, si passa ad una fase di sopralluogo in cui vengono ispezionate le murature estraendo le prese elettriche dalle pareti e, in caso non fosse sufficiente, si effettuano dei carotaggi. In alternativa si può consultare l'abaco delle costruzioni UNI/TR 11552:2014, il quale fornisce esempi di murature a seconda dell'anno di costruzione con relative proprietà termiche. Questo metodo è tuttavia sconsigliato in quanto si potrebbe inconsapevolmente incorrere in errori rilevanti e non rappresentare correttamente l'edificio con conseguente sottodimensionamento degli impianti di climatizzazione. Nel caso in esame l'accesso agli atti non ha fornito materiale utile e quindi si è stati costretti a carotare le murature in punti strategici di un appartamento non abitato come mostrato in Figura 8.

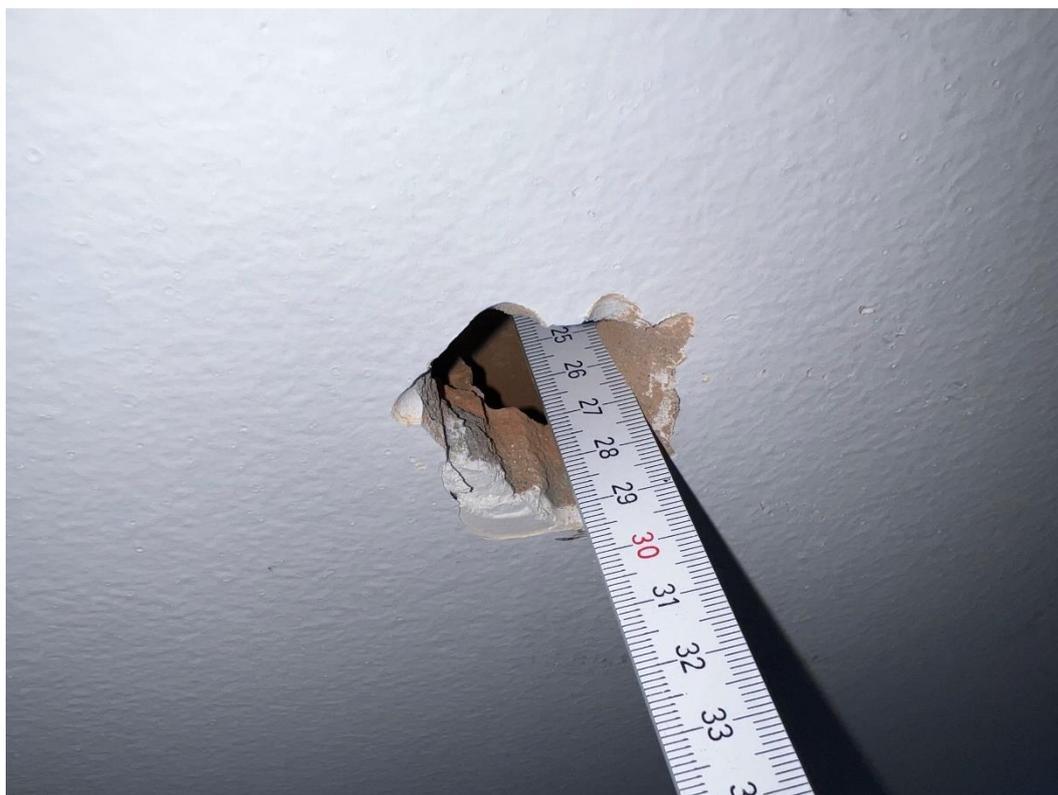


Figura 8 Carotaggio per ispezione muratura.

Le tamponature sono principalmente composte da due file di laterizi con interposta una camera d'aria o uno strato di malta. In corrispondenza dei balconi sia ha un cambio di spessore della muratura totale, viene ristretta l'intercapedine in modo da lasciare più spazio calpestabile sul piano del balcone.

Per quanto riguarda la pavimentazione del terrazzo, questa è caratterizzata da una soletta in blocchi da solaio sul quale poggia uno strato bituminoso, il pacchetto è completato da uno strato di massetto su cui sono poggiate delle piastrelle in ceramica. La pavimentazione presenta diverse mattonelle rotte e i canali di grondo sono intasati da residui trascinati dalle piogge. La soletta che dà sul piano piloti è, anche questa, non coibentata e, in alcuni punti, presenta una controsoffittatura in cartongesso nella quale scorre la distribuzione dell'impianto termico.

In linea generale i componenti esaminati presentano i seguenti problemi di usura:

- Il rivestimento in Klinker generalmente è in cattivo stato di conservazione;
- L'intradosso di molti balconi per via delle infiltrazioni non ha più i copri ferri esponendo così i ferri dell'armatura della soletta alle intemperie;
- Le ringhiere dei balconi in molti punti sono arrugginite e in cattivo stato;

- Gli infissi di molti appartamenti sono ancora in vetro singolo;
- La copertura piana presenta una pavimentazione danneggiata che potrebbe causare problemi di infiltrazioni.

In Figura 9 è possibile vedere l'attuale stato di conservazione dell'involucro esterno.



Figura 9 Stato di conservazione del rivestimento.

I componenti finestrati dell'edificio sono tutti risalenti all'anno di costruzione, in particolare sono caratterizzati da un telaio in legno con vetro singolo corredati da tapparelle in PVC. Questa tipologia di serramento, visibile in Figura 10 è ormai obsoleta e rappresenta un forte punto debole per le dispersioni termiche e per il comfort termico dell'abitante.



Figura 10 Serramento tipo

5.2.2 Impianti

L'impianto di climatizzazione invernale, installato nella centrale termica al piano interrato, è caratterizzato da una caldaia centralizzata a basamento di potenza nominale da 389,2 kW modello: Varino Grande 400 TB costruita dalla Ygnis; in centrale è inoltre presente un addolcitore come previsto dalla UNI 8065 per impianti di potenza superiore a 100 kW. La distribuzione si articola a partire da una dorsale che si dirama nei locali cantine a raggiungere i singoli appartamenti tramite montanti. Le tubazioni corrono all'interno delle mura fino a raggiungere i terminali di emissione, radiatori in ghisa. L'acqua tecnica è movimentata da due circolatori a rotore bagnato posizionati in parallelo di supporto uno all'altro. Il generatore termico è regolato sulla temperatura di mandata dell'acqua tecnica e monitorato tramite l'apposita sensoristica di pressione e temperatura richiesta dall'I.N.A.I.L per impianti termici con potenza al focolare maggiore di 35 kW [28]. Accanto alla

regolazione classica il sistema prevede il sistema con sonda esterna: la sonda rilevando la temperatura esterna, tiene conto di ulteriori correzioni da apporre sulla temperatura di mandata dell'acqua. L'acqua calda sanitaria è prodotta in modo autonomo da ciascuno appartamento tramite boiler a metano.

5.2.3 Tavole architettoniche

Al fine di ottenere informazioni dimensionali dell'edificio in breve tempo, è stata fatta un rilievo con un laser scanner. Questo strumento è in grado di misurare molto velocemente la posizione di centinaia di migliaia di punti, i quali definiscono le superfici dell'ambiente circostante. Il risultato è quindi un insieme di punti distribuiti in uno spazio in tre dimensioni chiamato nuvola di punti. Dalla nuvola si possono estrarre modelli utili per la descrizione grafica dello stato di fatto. In Figura 11 è riportato il risultato grafico del laser scanner.

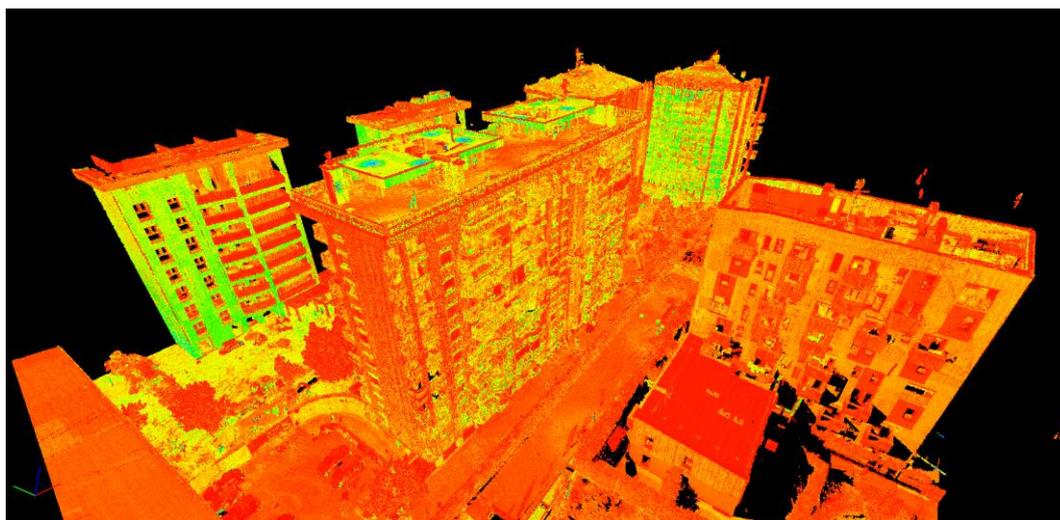
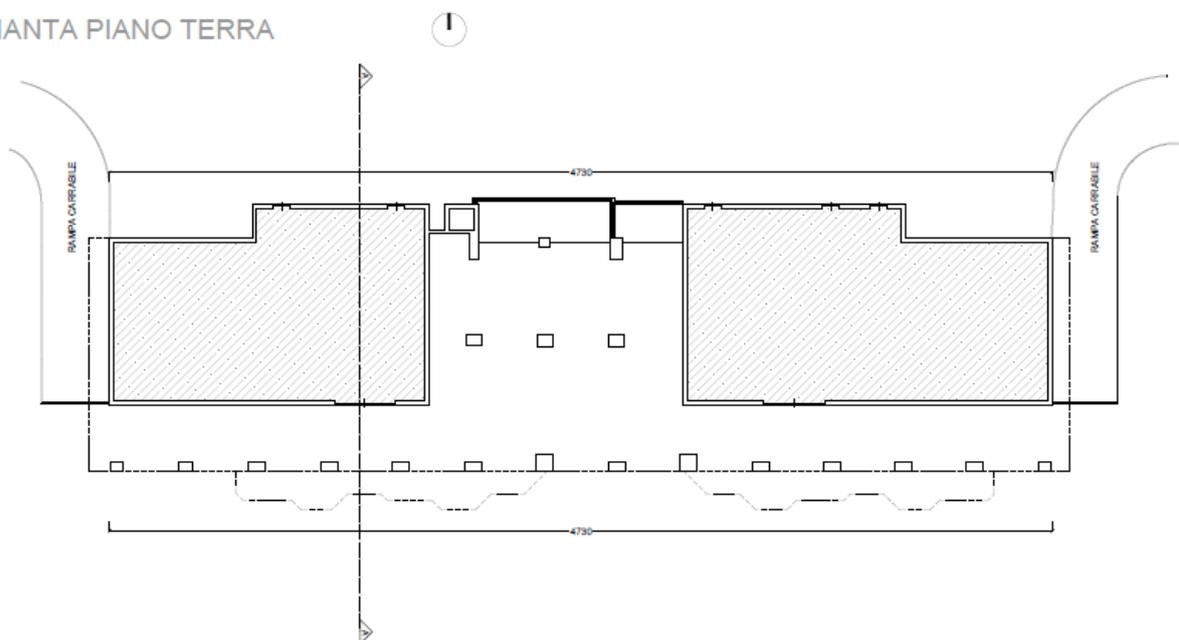


Figura 11 - Nuvola di punti.

Grazie alla scansione dell'edificio per mezzo del laser scanner e l'ottenimento della nuvola di punti, sono state ottenute in modo semplice e veloce le piante ed i prospetti dell'edificio riportati qui di seguito. Queste saranno utilizzate come base per modellare l'edificio sul software Edilclima.

PIANTA PIANO TERRA



PIANTA PIANO TIPO 1

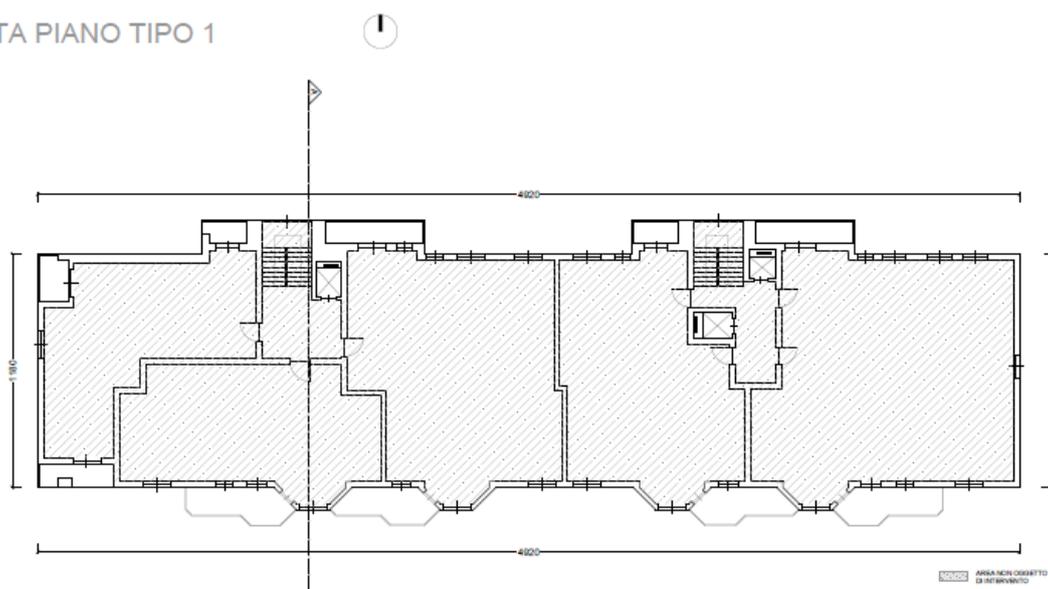
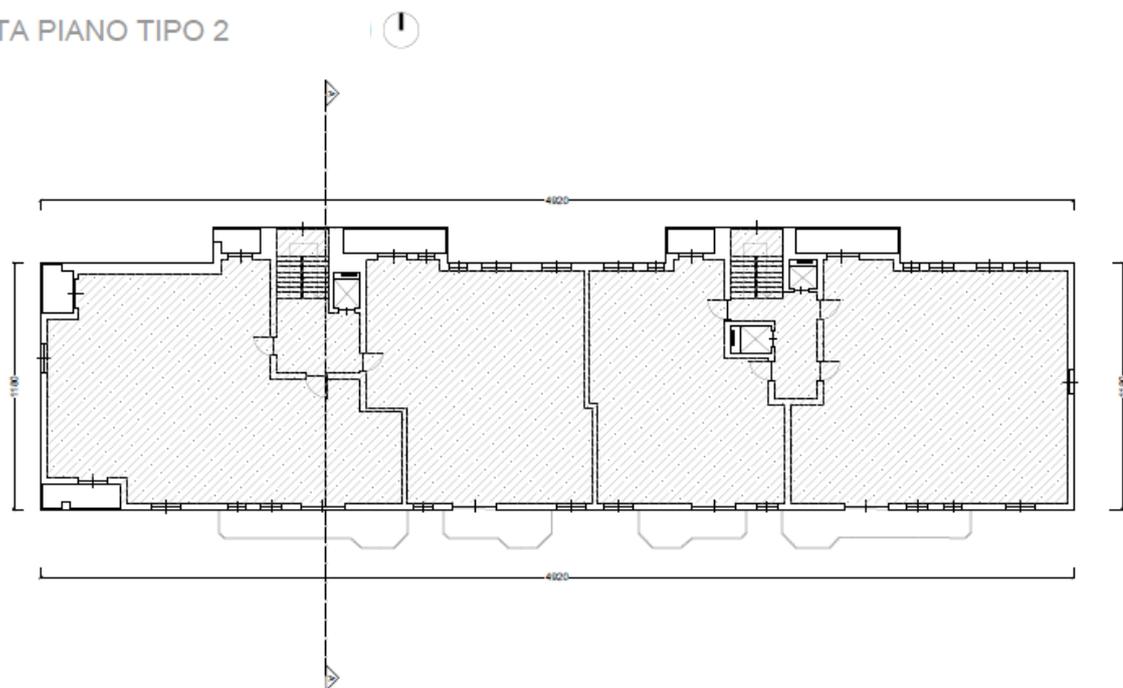


Figura 12 Planimetria piano terra e piano tipo 1.

PIANTA PIANO TIPO 2



PIANTA PIANO COPERTURA

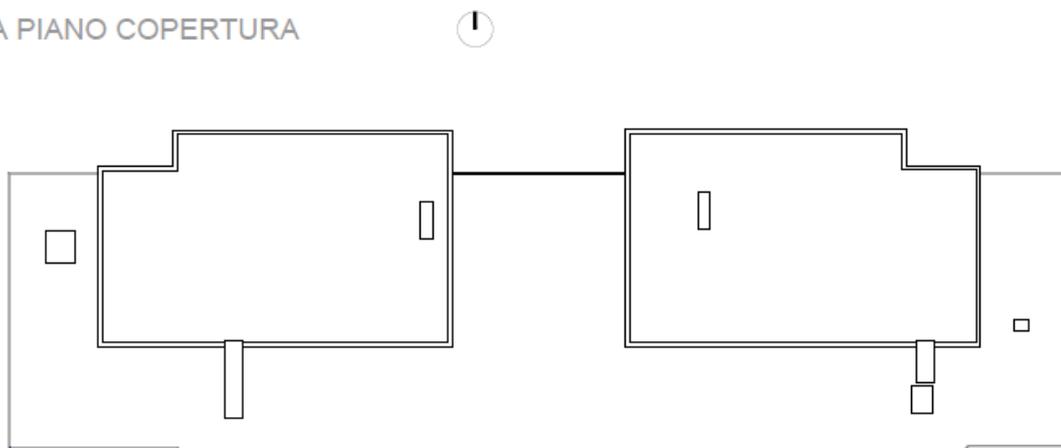
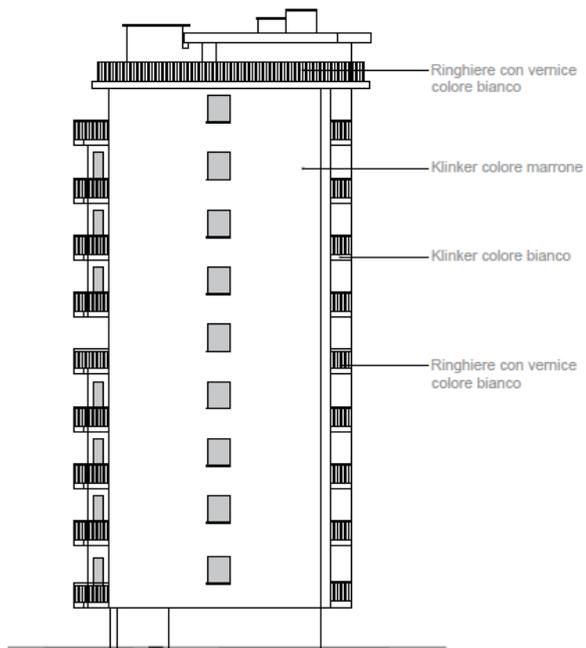


Figura 13 Planimetria piano tipo 2 e piano copertura.

PROSPETTO



PROSPETTO

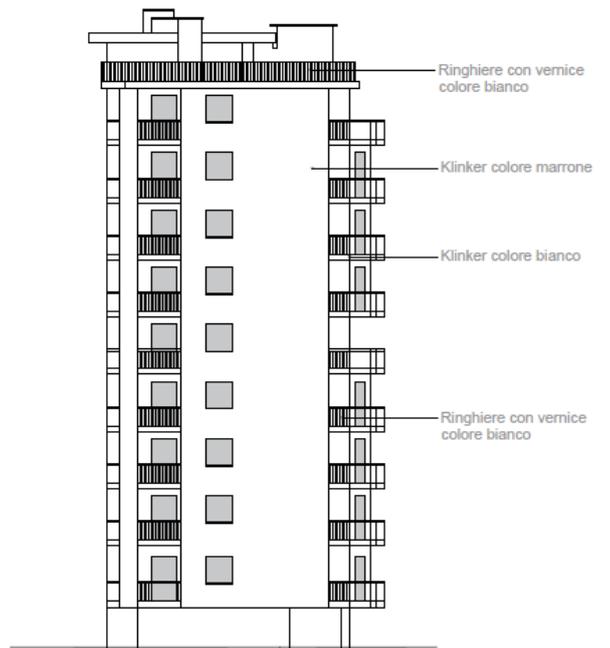
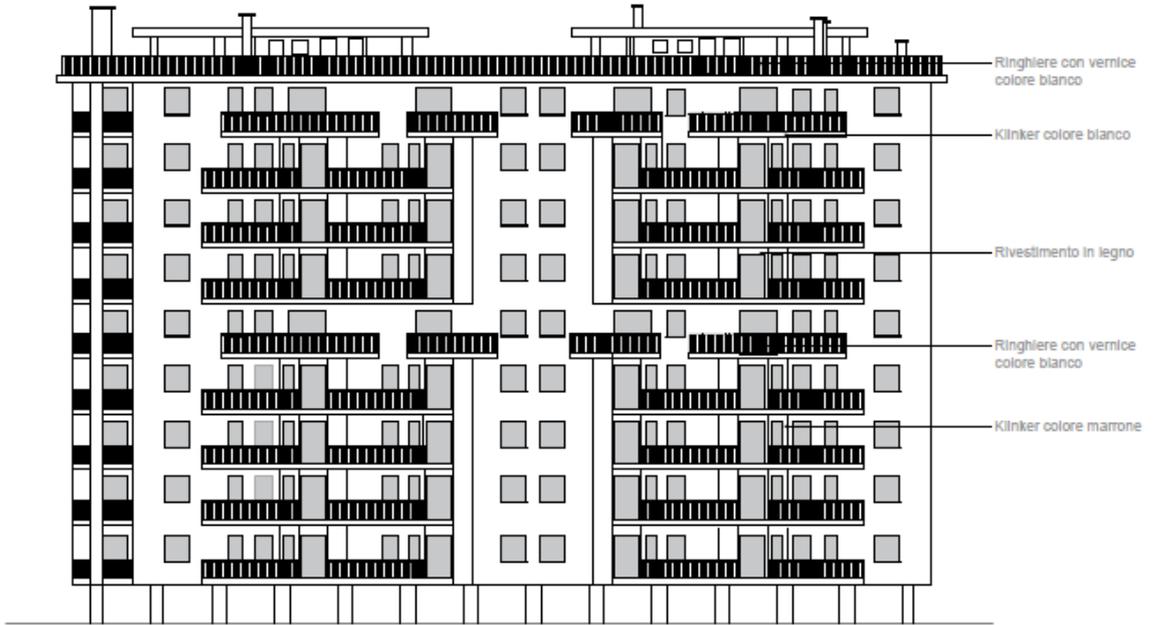


Figura 14 Prospetti est ovest.

PROSPETTO SUD



PROSPETTO NORD



Figura 15 Prospetti nord sud.

SEZIONE AA'

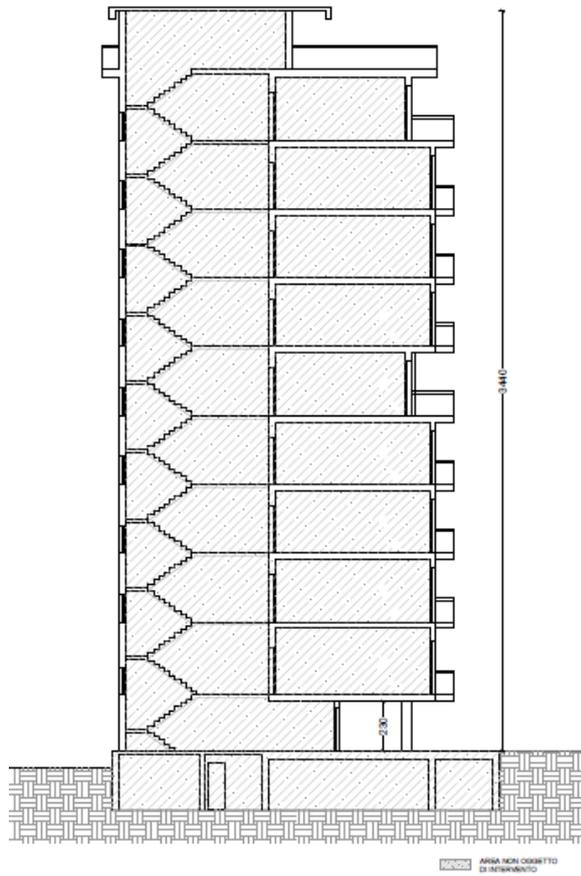


Figura 16 Sezione edificio.

6 Modellazione energetica Ante intervento

L'edificio del caso studio essendo un condominio, quindi un edificio residenziale, la sua destinazione d'uso secondo il DPR 412/93 è l'E.1(1), questa distinzione di categoria definisce i parametri da calcolare al fine di individuare l'indice di prestazione energetica dell'edificio. Il software utilizzato per la realizzazione del modello energetico è Edilclima, il quale fa riferimento alla normativa UNI/TS 11300. Questa è suddivisa in quattro specifiche tecniche ognuna delle quali definisce le metodologie di calcolo per la valutazione energetica degli edifici. La norma definisce le metodologie per il calcolo del fabbisogno per la climatizzazione invernale ed estiva, per la determinazione del fabbisogno di acqua calda sanitaria, valutazione delle perdite e dei rendimenti degli impianti di climatizzazione invernale (idraulica ed aeraulica) e il contributo offerto dalle fonti rinnovabili. L'applicazione delle singole norme dipende dal tipo di valutazione energetica di calcolo in considerazione, come mostrato in Tabella 6. Il caso studio in questione ricade nella categoria A1 e A2 in quanto siamo interessati a verificare l'intervento con le verifiche di legge e a produrre un Attestato di Prestazione Energetica per l'edificio. Il caso A3 è dedicato alle diagnosi energetiche.

Tipo di valutazione	Dati di ingresso			Scopo di valutazione
	Uso	Clima	Edificio	
A1 di Progetto (<i>Design Rating</i>)	Standard	Standard	Progetto	Permesso di costruire, Certificazione o Qualificazione energetica del progetto
A2 Standard (<i>Asset Rating</i>)	Standard	Standard	Reale	Certificazione o Qualificazione energetica
A3 Adattata all'utenza (<i>Tailored rating</i>)	In funzione dello scopo		Reale	Ottimizzazione, validazione, diagnosi e programmazione di interventi di riqualificazione energetica

Tabella 6 Tipo di valutazione prestazioni energetiche (UNI/TS 11300).

Al fine di procedere con l'analisi della prestazione energetica dell'edificio è necessario conoscere le caratteristiche di questo, in particolare:

- La zona climatica in cui è localizzato l'edificio: le regioni italiane sono suddivise in diverse zone climatiche secondo la UNI 10349:2016, queste influenzano la richiesta di energia per il riscaldamento e raffrescamento;

- Le caratteristiche dell'involucro sono fondamentali al fine di calcolare le dispersioni termiche e di conseguenza il fabbisogno di energia. Il software classifica le strutture in tipologie dettate dal gradiente termico ossia:
 - Tipo T, struttura confinante con ambiente esterno, ad esempio pareti perimetrali;
 - Tipo U, struttura confinante con ambiente interno non riscaldato, ad esempio parete confinante con vani scale ed autorimesse;
 - Tipo N, struttura confinante con ambiente interno riscaldato, ad esempio pareti confinanti con palestre o attività commerciali;
 - Tipo E, struttura compresa tra ambiente non riscaldato ed ambiente esterno, ad esempio coperture non disperdenti.
- La tipologia di impianti tecnologici installati: la potenza del generatore, il combustibile utilizzato, il suo rendimento e i sottosistemi che lo caratterizzano.

I paragrafi a seguire analizzeranno quanto elencato.

6.1 Dati climatici

Caratteristiche geografiche

Località		Milano	
Provincia		Milano	
Altitudine s.l.m.			122 m
Latitudine nord	45° 27'	Longitudine est	9° 11'
Gradi giorno DPR 412/93			2404
Zona climatica			E

Località di riferimento

per dati invernali	Milano
per dati estivi	Milano

Stazioni di rilevazione

per la temperatura	Milano - via Juvara
per l'irradiazione	Milano - via Juvara
per il vento	Milano - via Juvara

Caratteristiche del vento

Regione di vento:	A
Direzione prevalente	Sud-Ovest
Distanza dal mare	> 40 km
Velocità media del vento	1,7 m/s

Velocità massima del vento **3,4** m/s

Dati invernali

Temperatura esterna di progetto **-5,0** °C

Stagione di riscaldamento convenzionale dal **15 ottobre** al **15 aprile**

Dati estivi

Temperatura esterna bulbo asciutto **31,9** °C

Temperatura esterna bulbo umido **23,1** °C

Umidità relativa **48,0** %

Escursione termica giornaliera **12** °C

Temperature esterne medie mensili

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	4,0	7,1	10,6	13,4	19,4	22,8	24,5	24,3	19,8	14,1	7,5	3,5

Irradiazione solare media mensile

Esposizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Nord	MJ/m ²	1,6	2,3	3,7	5,3	7,6	10,0	9,4	6,7	4,5	2,6	1,5	1,3
Nord-Est	MJ/m ²	1,8	3,0	5,3	8,0	10,2	12,7	12,6	9,8	7,1	3,4	1,7	1,4
Est	MJ/m ²	4,1	5,8	8,6	11,0	12,5	14,7	15,2	12,9	10,9	6,0	3,4	3,0
Sud-Est	MJ/m ²	7,4	8,7	10,8	11,7	11,7	13,0	13,6	12,8	12,7	8,3	5,7	5,4
Sud	MJ/m ²	9,6	10,4	11,4	10,5	9,7	10,4	10,8	11,0	12,4	9,4	7,1	6,9
Sud-Ovest	MJ/m ²	7,4	8,7	10,8	11,7	11,7	13,0	13,6	12,8	12,7	8,3	5,7	5,4
Ovest	MJ/m ²	4,1	5,8	8,6	11,0	12,5	14,7	15,2	12,9	10,9	6,0	3,4	3,0
Nord-Ovest	MJ/m ²	1,8	3,0	5,3	8,0	10,2	12,7	12,6	9,8	7,1	3,4	1,7	1,4
Orizz. Diffusa	MJ/m ²	2,2	3,2	5,0	6,5	8,3	9,8	8,8	7,5	5,8	3,6	2,1	1,9
Orizz. Diretta	MJ/m ²	2,7	4,2	6,8	9,5	10,7	13,1	14,5	11,6	9,4	4,4	2,2	1,7

Irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione: **270** W/m²

Si sottolinea che la zona climatica indica delle prescrizioni riguardo al periodo di accensione degli impianti di riscaldamento; la zona climatica viene assegnata ad una ubicazione in funzione dei gradi giorno misurati in quel luogo. I gradi giorno (GG), secondo la definizione data dal DPR 412/93, sono la sommatoria di tutti i giorni dell'anno della differenza, solo se positiva, tra la temperatura ambiente interno e la temperatura media giornaliera esterna, con temperatura interna posta convenzionalmente a 20 °C, la definizione matematica è riportata nella Equazione 1.

$$GG = \sum_1^n T_0 - T_e$$

Equazione 1 Calcolo dei Gradi giorno (DPR 412/93).

Dove:

- T_0 Temperatura ambiente convenzionale;
- T_e Temperatura esterna media giornaliera tale che $T_e < T_0$;
- n Numero dei giorni convenzionali di riscaldamento.

GG è quindi un indice di quanto è rigido il clima, più sono i gradi giorno più il clima sarà freddo.

Zona Climatica	Gradi Giorno
A	< 600
B	600 - 900
C	901 - 1.400
D	1.401 - 2.100
E	2.101 - 3.000
F	> 3.000

Tabella 7 Zone climatiche associate a fasce di gradi giorno (DPR 412/93).

Le zone climatiche sono state associate ai gradi giorno secondo il DPR n. 412 del 26/08/93 come mostrato in Tabella 7 e sono distribuite in tutta Italia come in Figura 17.

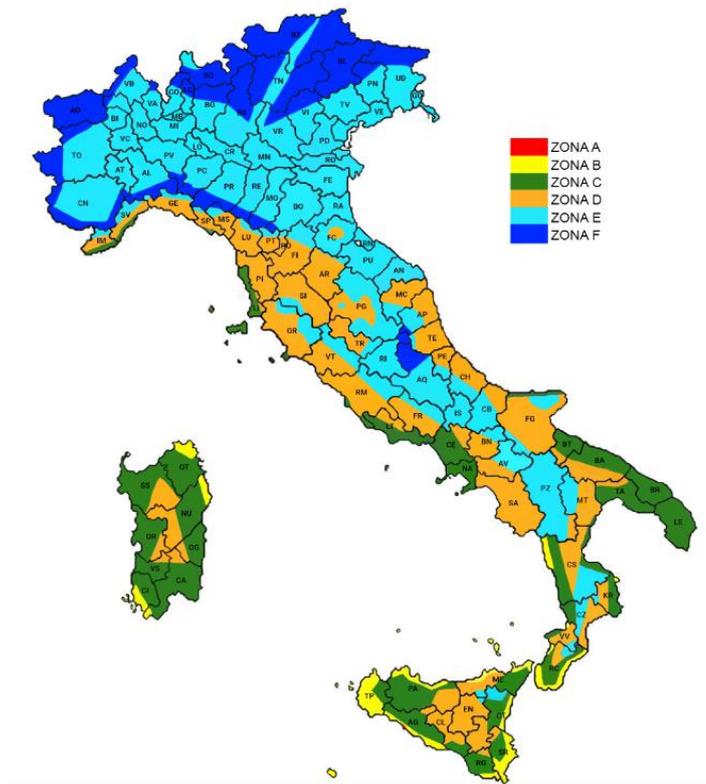


Figura 17 Distribuzione zone climatiche in Italia (DPR 412/93).

Zona climatica	Periodo di accensione	Orario consentito
A	1° dicembre – 15 marzo	6 ore giornaliere
B	1° dicembre – 31 marzo	8 ore giornaliere
C	15 novembre – 31 marzo	10 ore giornaliere
D	1° novembre – 15 aprile	12 ore giornaliere
E	15 ottobre – 15 aprile	14 ore giornaliere
F	nessuna limitazione	nessuna limitazione

Tabella 8 Zone climatiche con prescrizioni sull'accensione dell'impianto di climatizzazione invernale(DPR 412/93).

In caso di particolari condizioni meteorologiche ogni singolo comune può decidere di avviare gli impianti in periodi diversi da quelli indicati in Tabella 8.

Per far fronte al caro bollette e preparare le riserve di gas ad eventuali interruzioni delle forniture dovute al conflitto russo-ucraino, nel periodo invernale 2022-2023, il MITE ha stilato il “piano di contenimento dei consumi di gas” [9]. Questo piano modifica i periodi di accensione e spegnimento degli impianti di riscaldamento e

porta la temperatura massima interna da 20 °C a 19 °C, con tolleranza 2 °C. Con queste nuove restrizioni ogni zona avrà le seguenti prescrizioni:

- Zona A: 5 ore giornaliere dal 8 dicembre al 7 marzo;
- Zona B: 7 ore giornaliere dal 8 dicembre al 23 marzo;
- Zona C: 9 ore giornaliere dal 22 novembre al 7 aprile;
- Zona D: 11 ore giornaliere dal 8 novembre al 7 aprile;
- Zona E: 13 ore giornaliere dal 22 ottobre al 7 aprile;
- Zona F: nessuna limitazione.

6.2 Componenti opachi

L'ispezione eseguita sul campo è stata utile a individuare in modo preciso le caratteristiche termiche dell'involucro. In particolare, tramite il software di calcolo Edilclima, si sono ricostruite le stratigrafie rilevate al fine di ottenere i dati utili al calcolo del fabbisogno termico dell'edificio. Oltre a definire i materiali e gli spessori che caratterizzano l'involucro, sono stati associati alle singole stratigrafie i coefficienti di correzione termica in modo da tener in considerazione gradienti di temperatura differenti. I risultati ottenuti sono riportati nelle seguenti tabelle.

Muri:

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m ²]	Y _{IE} [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C _T [kJ/m ² K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	U _e [W/m ² K]
M1	T	Parete perimetrale facciata Nord	340,0	194	0,569	-7,496	53,175	0,90	0,60	-5,0	1,060
M2	T	Parete perimetrale Sud	320,0	194	0,380	-9,150	52,761	0,90	0,60	-5,0	1,246
M3	N	Tramezzo verso altre abitazioni	210,0	128	0,524	-7,331	52,286	0,90	0,60	20,0	1,176
M4	U	Tramezzo verso vano scale	290,0	192	0,237	-10,244	49,106	0,90	0,60	0,0	0,895
M5	T	Parete perimetrale facciata Nord balconi	305,0	194	0,450	-8,690	53,822	0,90	0,60	-5,0	1,263
M6	T	Parete perimetrale Est-Sud-Ovest balconi	345,0	218	0,329	-9,704	49,662	0,90	0,60	-5,0	1,109
M7	T	Cassonetto	580,0	148	0,805	-5,371	36,103	0,90	0,60	-5,0	1,166
M8	T	Sottofinestra	265,0	170	0,627	-7,640	54,591	0,90	0,60	-5,0	1,466
M9	E	Parete del vano scale	305,0	194	0,569	-7,496	53,175	0,90	0,60	-5,0	1,060
M10	U	Porta ingresso alloggio	50,0	23	1,425	-1,454	17,390	0,90	0,60	0,0	1,478
M11	T	Parete perimetrale facciata Nord cassa vuota	500,0	194	0,284	-9,956	49,022	0,90	0,60	-5,0	1,021
M12	T	Parete perimetrale Ovest Est cassa vuota	320,0	194	0,569	-7,496	53,175	0,90	0,60	-5,0	1,060

Pavimenti:

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m ²]	Y _{IE} [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C _T [kJ/m ² K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	U _e [W/m ² K]
P1	U	Pavimento su porticato	380,0	600	0,178	-11,729	59,642	0,90	0,60	-5,0	1,331
P2	N	Soletta interpiano	300,0	353	0,376	-9,059	60,531	0,90	0,60	20,0	1,303
P3	U	Pavimento sul vano scale BTR 0.8	380,0	600	0,178	-11,729	59,642	0,90	0,60	0,0	1,331
P4	T	Soletta interpiano verso esterno senza correzione	315,0	443	0,432	-8,958	63,237	0,90	0,60	-5,0	1,580

Soffitti:

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m ²]	Y _{IE} [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C _T [kJ/m ² K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	Ue [W/m ² K]
S1	T	Terrazzo	335,0	343	0,749	-7,786	69,430	0,90	0,60	-5,0	1,573
S2	N	Soletta interpiano	315,0	443	0,518	-8,874	69,136	0,90	0,60	20,0	1,673
S3	T	Soletta interpiano verso esterno	315,0	443	0,638	-8,521	70,507	0,90	0,60	-5,0	1,776

Legenda simboli

Sp	Spessore struttura
Ms	Massa superficiale della struttura senza intonaci
Y _{IE}	Trasmittanza termica periodica della struttura
Sfasamento	Sfasamento dell'onda termica
C _T	Capacità termica areica
ε	Emissività
α	Fattore di assorbimento
θ	Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
Ue	Trasmittanza di energia della struttura

6.3 Componenti trasparenti

Per quanto riguarda le finestre, non avendo a disposizione certificazioni riguardo le caratteristiche termiche degli infissi per ogni singolo appartamento, questi valori sono stati stimati utilizzando il calcolo semplificato dell'UNI EN ISO 10077-1. Questa norma prevede l'utilizzo di tabelle, che riportano valori tipici per tipologia di telaio e vetrata, e intrecciando i valori nelle tabelle con le misure ricavate dal rilievo sono stati ottenuti valori attendibili delle caratteristiche termiche degli infissi. Le tabelle della suddetta normativa sono riportate qui di seguito nella Tabella 9 e Tabella 10.

Tabella 1

Tipo di vetrata	U _g	U _w con area del telaio pari al 20% rispetto all'area dell'intera finestra in rapporto ai differenti valori U _f del telaio								U _w con area del telaio pari al 30% rispetto all'area dell'intera finestra in rapporto ai differenti valori U _f del telaio							
		1,8	2,0	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0	1,8	2,0	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Singola	5,7	4,9	5,0	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	6,0	4,5	4,6	4,6	4,8	4,9	5,0	5,1	6,1
4-6-4	3,3	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	4,1	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	4,5
4-9-4	3,1	3,0	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,9	2,9	2,9	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	4,3
4-12-4	2,9	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,8	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	4,2

Tabella 2

Tipo di materiale del telaio	Valore U _f del telaio	
Legno duro (rovere, mogano, iroko)	spessore mm. 50	2,4
	spessore mm. 60	2,2
	spessore mm. 70	2,1
Legno tenero (pino, abete, larice, douglas, hemlock)	spessore mm. 50	2,0
	spessore mm. 60	1,9
	spessore mm. 70	1,8
Pvc a due camere	2,2	
Pvc a tre camere	2,0	
Pvc (telai da 58- 80 mm)	compreso tra 1,2 e 1,7	
Alluminio senza taglio termico	7,0	
Alluminio a taglio termico	compreso tra 2,2 e 3,8	

Tabella 9 Calcolo semplificato (UNI EN ISO 10077-1).

Frame type	Linear thermal transmittance for different types of glazing Ψ	
	Double or triple glazing uncoated glass air- or gas-filled	Double ^a or triple ^b glazing low-emissivity glass air- or gas-filled
Wood or PVC	0,06	0,08
Metal with a thermal break	0,08	0,11
Metal without a thermal break	0,02	0,05
^a One pane coated for double glazed. ^b Two panes coated for triple glazed.		

Tabella 10 Trasmittanza termica lineare telaio-vetro (UNI EN ISO 10077-1).

I valori di trasmittanza sono ottenuti con la seguente Equazione 2:

$$U_w = \frac{U_g * A_g + U_f * A_f + \Psi g * L_g}{A_g + A_f}$$

Equazione 2 Calcolo della trasmittanza per componenti trasparenti (UNI EN ISO 10077-1:2007).

Dove:

- U_w Trasmittanza termica della finestra [W/m²K];
- U_g Trasmittanza del solo vetro [W/m²K];
- U_f Trasmittanza del telaio [W/m²K];
- Ψg Trasmittanza termica lineare tra telaio, vetro e distanziatore [W/mK].

I risultati ottenuti sono riportati nella seguente tabella:

Cod	Tipo	Descrizione	vetro	ϵ	ggl,n	fc inv	fc est	H [cm]	L [cm]	Ug [W/m ² K]	Uw [W/m ² K]	θ [°C]	Agf [m ²]	Lgf [m]
W1	T	portafinestra 140x250 sud	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	250,0	140,0	5,700	4,900	-5,0	2,482	11,420
W2	T	finestra 120x150 sud	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	150,0	120,0	5,700	4,500	-5,0	1,148	7,020
W3	T	finestra 80x150 sud	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	150,0	80,0	5,700	4,900	-5,0	0,620	6,220
W4	T	finestra 160x150 sud	Doppio	0,837	0,850	1,00	1,00	150,0	160,0	5,700	4,900	-5,0	1,676	7,820
W5	T	portafinestra 100x250 sud	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	250,0	100,0	5,700	4,900	-5,0	1,554	10,620
W6	T	finestra 140x250 sud	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	250,0	140,0	5,700	4,900	-5,0	2,322	12,960
W7	T	portafinestra 140x250 nord	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	250,0	140,0	5,700	4,900	-5,0	2,482	11,420
W8	T	finestra 80x150 nord	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	150,0	80,0	5,700	4,900	-5,0	0,620	6,220
W9	T	finestra 140x150 nord	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	150,0	140,0	5,700	4,900	-5,0	1,412	7,420
W10	T	finestra 120x150 nord	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	150,0	120,0	5,700	4,900	-5,0	1,148	7,020
W11	T	finestra 140x150 sud	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	150,0	140,0	5,700	4,900	-5,0	1,412	7,420
W12	E	finestre del vano scale	Doppio	0,837	0,850	1,00	1,00	130,0	248,0	5,700	6,000	-5,0	2,262	10,760
W13	T	finestra 100x150	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	150,0	100,0	5,700	4,900	-5,0	0,884	6,620
W14	T	portafinestra 80x250	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	250,0	80,0	5,700	4,900	-5,0	1,090	10,220
W15	T	portafinestra 140x250 sud	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	250,0	140,0	5,700	4,900	-5,0	2,482	11,420

Legenda simboli

ϵ	Emissività
ggl,n	Fattore di trasmittanza solare
fc inv	Fattore tendaggi (energia invernale)
fc est	Fattore tendaggi (energia estiva)
H	Altezza
L	Larghezza
Ug	Trasmittanza vetro
Uw	Trasmittanza serramento
θ	Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
Agf	Area del vetro
Lgf	Perimetro del vetro

6.4 Chiusure oscuranti

Le attuali chiusure oscuranti sono avvolgibili in PVC e come gli altri componenti dell'involucro contribuisce alle dispersioni. Le chiusure oscuranti, secondo la UNI 11300-1, vengono considerate come resistenze termiche supplementari nel periodo notturno. La resistenza supplementare dipende da due variabili:

- La resistenza termica propria della chiusura oscurante R_{sh} ;
- La prestazione di tenuta all'aria della chiusura oscurante.

Il valore di resistenza supplementare se non dichiarato dal costruttore può essere calcolato da tabella o con analisi agli elementi finiti. In questo caso è stato ricavato da Tabella 11 secondo il metodo di calcolo riportato nella UNI TS 11300-1.

prospetto B.4 Resistenza termica addizionale per finestre con chiusure oscuranti

Tipo di chiusura	Resistenza termica caratteristica della chiusura R_{shut} $m^2 \times K/W$	Resistenze termiche addizionali per una specifica permeabilità all'aria delle chiusure ^{a)} ΔR $m^2 \times K/W$		
		Alta permeabilità all'aria	Media permeabilità all'aria	Bassa permeabilità all'aria
Chiusure avvolgibili in alluminio	0,01	0,09	0,12	0,15
Chiusure avvolgibili in legno e plastica senza riempimento in schiuma	0,10	0,12	0,16	0,22
Chiusure avvolgibili in plastica con riempimento in schiuma	0,15	0,13	0,19	0,26
Chiusure in legno da 25 mm a 30 mm di spessore	0,20	0,14	0,22	0,30

a) Per la definizione di permeabilità si fa riferimento alla UNI EN ISO 10077-1.

Tabella 11 Resistenza termica addizionale per finestre con chiusure oscuranti (UNI TS 11300-1).

Per lo stato di fatto che presenta avvolgibili in PVC datate è stato scelto un valore di resistenza termica addizionale di 0,12 m²K/W. La trasmittanza risultante può essere calcolata dalla seguente Equazione 3.

$$U_{ws} = \frac{1}{1/U_w + \Delta R}$$

Equazione 3 Trasmittanza termica finestra con chiusura oscurante abbassata (EN ISO 10077-1).

Dove con ΔR si indica la resistenza termica supplementare dell'oscurante. Come accennato si considera la resistenza termica aggiuntiva solo nel periodo notturno, in cui è ipotizzabile che gli avvolgibili siano abbassati. Per tener conto di questo fattore si introduce un valore adimensionale f_{shut} calcolato come la differenza cumulata di temperatura derivante dal profilo orario di utilizzo della chiusura oscurante e dal profilo orario della differenza tra temperatura interna ed esterna. È possibile utilizzare un valore cautelativo di f_{shut} pari a 0.6 in caso in cui non si abbiano dati certi sui profili giornalieri delle temperature esterne. In fase di valutazione progettuale si può considerare un periodo giornaliero di chiusura di 12 h dalle 20:00 alle ore 8:00, dato questo profilo orario si ha l'Equazione 4.

$$f_{shut} = \frac{\sum_{\tau=1}^8 (\theta_{int} - \theta_{e,\tau}) + \sum_{\tau=21}^{24} (\theta_{int} - \theta_{e,\tau})}{\sum_{\tau=1}^{24} (\theta_{int} - \theta_{e,\tau})}$$

Equazione 4 Definizione f_{shut} (UNI TS 11300-1).

La trasmittanza della finestra corretta con la resistenza supplementare e i profili di utilizzo è definita dall'Equazione 5.

$$U_{ws,corr} = U_{ws} * f_{shut} + U_w * (1 - f_{shut})$$

Equazione 5 Trasmittanza termica ridotta del componente trasparente e della chiusura oscurante (UNI TS 11300-1).

6.5 Ponti termici

In un involucro edilizio i ponti termici sono quelle discontinuità nelle pareti e nelle strutture caratterizzate da un maggiore flusso termico; si ha un ponte termico in presenza di discontinuità di materiale, discontinuità geometrica e in entrambe i casi. Lungo queste discontinuità il flusso termico è accentuato con conseguente abbassamento della temperatura superficiale della discontinuità, se la temperatura raggiunge temperature troppo basse si ha il rischio di formazione di condensa superficiale o rischio formazione di muffe. La corretta modellazione dei ponti termici è quindi importante al fine di prevenire l'insorgenza di muffe negli ambienti. Nel modello pre-intervento, solitamente, i ponti termici vengono calcolati tramite abachi precalcolati. Il software Edilclima ha implementato un modulo chiamato EC709 dedicato al calcolo dei ponti termici tramite una raccolta di possibili casistiche che conta circa 250 esempi. Nel modello post-intervento verranno invece utilizzati software esterni per la correzione dei ponti termici, tramite una analisi agli elementi finiti nella quale verrà modellato il ponte termico come da particolare costruttivo e non tramite un abaco pre-calcolato.

Alcuni ponti termici non sono stati modellati perché di poco peso, come ad esempio l'intersezione tra tramezzo divisorio e muratura esterna. Di seguito si riassume in tabella l'elenco dei ponti termici considerati, in allegato la descrizione dettagliata dei ponti termici.

Ponti termici:

Cod	Descrizione	Assenza di rischio formazione muffe	Ψ [W/mK]
Z1	GF - Parete - Solaio rialzato	Non verificato	-0,380
Z2	IF - Parete nord - Solaio interpiano	Non verificato	0,333
Z3	B - Parete - Balcone	Non verificato	0,299
Z4	B - Parete - Balcone	Non verificato	0,303
Z5	W - Parete - Telaio	Non verificato	0,045
Z6	W - Parete - Telaio	Non verificato	0,061
Z7	GF - Parete - Solaio rialzato	Non verificato	-0,421
Z8	IF - Parete - Solaio interpiano	Non verificato	0,340
Z9	R - Parete - Copertura	Non verificato	-0,364

Z10	R - Parete - Copertura	Non verificato	-0,364
Z11	W - Parete - Telaio	Non verificato	0,046
Z12	GF - Parete nord continuazione cappotto su piano terra	Non verificato	-0,279
Z13	W - Parete - Telaio	Non verificato	0,014

Legenda simboli

Ψ Trasmittanza lineica di calcolo

Si noti che nello stato di fatto nessun ponte termico assicura l'assenza di rischio muffa, questi in fase di progetto dovranno essere corretti in modo da rispettare i parametri imposti dal DM del 26 giugno 2015.

6.6 Input grafico

Il modello energetico dell'edificio viene costruito in modo grafico a partire dalle tavole architettoniche e posizionando i componenti, descritti nei paragrafi precedenti, lungo tutta la planimetria in modo da ricreare l'edificio in un modello 3D. In questo modo Edilclima assocerà ad ogni componente rappresentato un orientamento e sarà in grado di calcolare gli ombreggiamenti in base agli oggetti o agli ingombri disegnati. Da input grafico sono inoltre associati i ponti termici alle strutture disegnate. In Figura 18 è possibile vedere cosa riporta graficamente il software. Dopo aver ricostruito l'edificio sul modello 3D di calcolo vengono associate le zone climatizzate, nello specifico ogni zona corrisponderà ad un alloggio, in questo modo è possibile calcolare il fabbisogno di ognuno di questi. In Tabella 12 sono riportati i dati geometrici dell'edificio.

Superficie in pianta netta	4437,72	m ²
Superficie esterna lorda	5744,73	m ²
Volume netto	12968,58	m ³
Volume lordo	16842,82	m ³
Rapporto S/V	0,34	m ⁻¹

Tabella 12 Dati geometrici edificio.

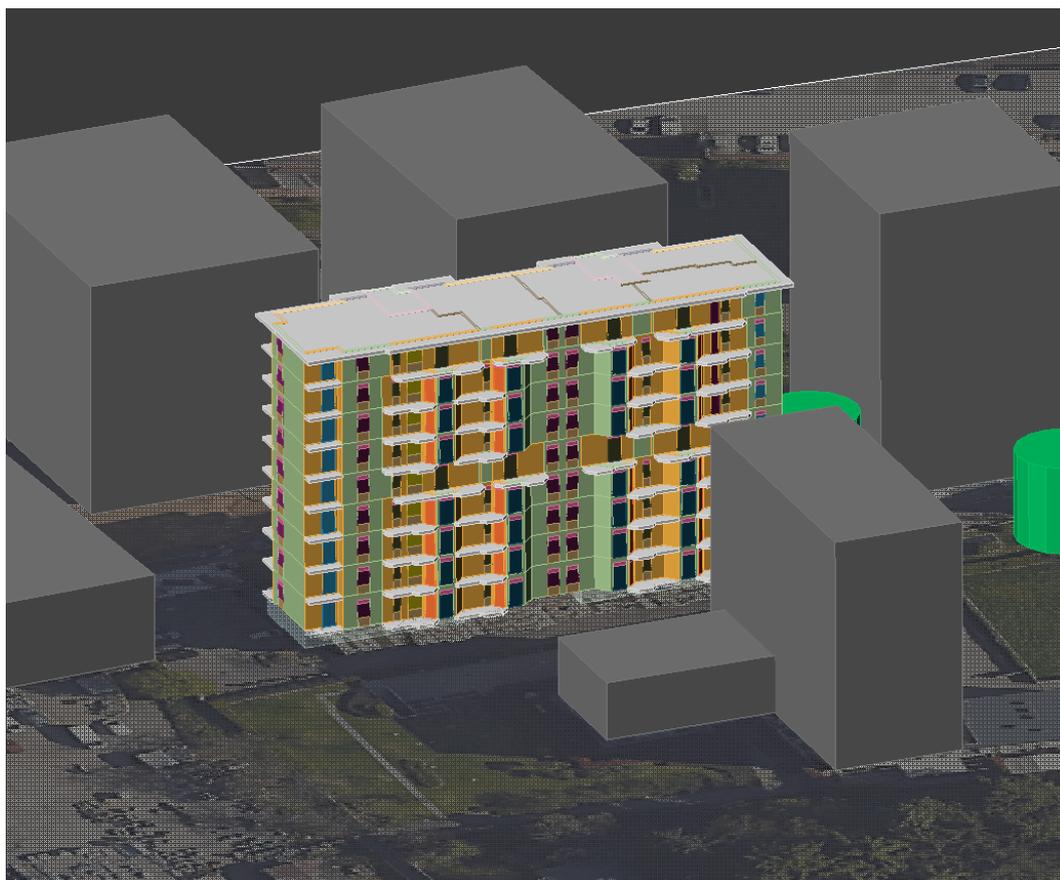


Figura 18 Risultato grafico 3D della modellazione.

6.7 Risultati fabbricato

In questo paragrafo si analizzerà il metodo di calcolo al fine di individuare i consumi di energia primaria dell'edificio. In particolare i servizi energetici considerati, per la categoria residenziale E.1, riguardano la climatizzazione invernale, la produzione di acqua calda sanitaria, la climatizzazione invernale ove presente e la ventilazione meccanica ove presente. Nel caso studio verranno presi in considerazione solo i servizi riguardanti la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria mediante l'utilizzo delle UNI TS 11300. Il software utilizzando l'UNI TS 11300-1 calcolerà il fabbisogno di energia termica per la climatizzazione di ogni zona climatizzata con l'Equazione 6.

$$Q_{H,nd} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} * (Q_{int} + Q_{sol,w}) [kWh]$$

Dove:

- $Q_{H,nd}$ è il fabbisogno di energia termica per la climatizzazione invernale espresso in [kWh];
- $Q_{H,tr}$ è lo scambio di energia termica per trasmissione espresso in [kWh];
- $Q_{H,ve}$ è lo scambio di energia termica per ventilazione espresso in [kWh];
- $\eta_{H,gn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica [-];
- Q_{int} è l'energia termica gratuita da apporti interni espresso in [kWh];
- $Q_{sol,w}$ è l'energia termica gratuita da radiazione solare incidente sul componente trasparente espresso in [kWh].

Il coefficiente $Q_{H,tr}$ è calcolato secondo la UNI TR 11300-1 dall'Equazione 7:

$$Q_{H,tr} = H_{tr,adj} * (\vartheta_{int,set,H} - \vartheta_e) * t + \left\{ \sum_k F_{r,k} * \phi_{r,mn,k} \right\} * t [kWh]$$

Dove:

- $H_{tr,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno [W/K];
- $\vartheta_{int,set,H}$ è la temperatura interna di regolazione per il riscaldamento della zona considerata pari a 20° C secondo la norma UNI/TS 11300-1;
- ϑ_e è la temperatura esterna presa da dalla norma UNI 10349 [°C];
- $F_{r,k}$ è il fattore di forma tra il componente edilizio k-esimo e la volta celeste (funzione delle ombreggiature e degli oggetti);
- $\phi_{r,mn,k}$ è l'extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio k-esimo, mediato sul tempo;
- t è la durata del mese considerato [h].

Il coefficiente globale di scambio termico è funzione dei coefficienti di cambio termico per trasmissione verso ambiente esterno H_D , verso terreno H_g , verso ambienti non climatizzati H_U e verso zone dell'edificio climatizzate a temperatura diversa H_A . $H_{tr,adj}$ è definito dalla UNI TS 11300-1 dall'Equazione 8:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A [W/K]$$

Equazione 8 Coefficiente globale di scambio termico per trasmissione (UNI TS 11300-1).

Il termine H_D è calcolato dall'Equazione 9:

$$H_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k L_k \psi_k \text{ [W/K]}$$

Equazione 9 Coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso ambiente esterno (UNI TS 11300-1).

Dove:

- A rappresenta l'area del componente i-esimo [m^2];
- U rappresenta la trasmittanza del componente i-esimo [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];
- ψ rappresenta la trasmittanza lineica del k-esimo ponte termico lineare [W/mK];
- L rappresenta la lunghezza del ponte termico lineare k-esimo [m].

Per quanto riguarda il parametro H_g in caso di piano piloti ha un valore nullo poiché non si ha una dispersione verso terreno.

Il coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione attraverso ambienti non climatizzati H_U è definito dall'Equazione 10.

$$H_U = A_{iu} * U_{s,iu} * b_{tr,x} \text{ [W/K]}$$

Equazione 10 Coefficiente di scambio termico verso ambienti non climatizzati (UNI TS 11300-1).

Dove:

- A_{iu} rappresenta l'area del componente edilizio sull'ambiente non climatizzato [m^2];
- $U_{s,iu}$ rappresenta la trasmittanza termica del componente edilizio sull'ambiente non climatizzato [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];
- $b_{tr,x}$ è un indice che tiene conto del fatto che il gradiente di temperatura verso locale non climatizzato è diverso dal gradiente di temperatura verso l'esterno, se non si hanno informazioni precise si possono assumere i valori tabellati nel prospetto 5 della norma UNI TS 11300-1 mostrati in Tabella 13.

Ambiente confinante	$b_{tr,x}$
Calcolo analitico	-
Ambiente con una parete esterna	0,4
Ambiente senza serramenti esterni e almeno due pareti esterne	0,5
Ambiente con serramenti esterni e almeno due pareti esterne	0,6
Ambiente con tre pareti esterne	0,8
Piano interrato o seminterrato senza finestre esterne	0,5
Piano interrato o seminterrato con finestre esterne	0,8
Sottotetto con tasso di ventilazione elevato senza rivestimento con feltro o assito	1,0
Sottotetto non isolato	0,9
Tetto isolato	0,7
Aree interne di circolazione	0,0
Aree interne di circolazione liberamente ventilate	1,0

Tabella 13 Prospetto 5 norma UNI TS 11300-1 coefficiente btr.

Per quanto riguarda il parametro H_A lo possiamo considerare nullo in quanto non abbiamo ambienti riscaldati a temperatura differente da quella di progetto 20°C.

Per quanto riguarda il fattore di forma $F_{r,k}$ è definito dall'Equazione 11.

$$F_{r,k} = F_{sh,ob,dif}(1 + \cos S)/2$$

Equazione 11 Fattore di forma tra componente edilizio e volta celeste (UNI TS 11300-1).

Dove:

- $F_{sh,ob,dif}$ è il fattore di riduzione per ombreggiamenti relativo alla sola radiazione diffusa, pari ad 1 in assenza di ombreggiature da elementi esterni;
- S è l'angolo di inclinazione del componente sull'orizzonte ($\cos S=1$ per coperture orizzontali $S = 0^\circ$ e $\cos S=0$ per pareti verticali $S=90^\circ$).

L'extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste del componente edilizio k-esimo mediato sul tempo è definito dall'Equazione 12.

$$\phi_{r,mn,k} = R_{se} * U_{c,k} * A_{c,k} * h_r * \Delta\theta_{er} [W]$$

Equazione 12 extra flusso verso volta celeste del componente k-esimo mediato sul tempo (UNI TS 11300-1).

Dove:

- R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna del componente, determinata secondo la UNI EN 6946;
- $U_{c,k}$ è la trasmittanza termica del componente, $[W/m^2K]$;
- $A_{c,k}$ è la superficie di scambio del componente edilizio k-esimo $[m^2]$;
- $\Delta\theta_{er}$ è la differenza tra la temperatura dell'aria esterna e la temperatura apparente del cielo $[K]$, pari a 11 K secondo la norma UNI/TS 11300-1;
- h_r è il coefficiente di scambio termico esterno per irraggiamento $[W/m^2K]$;

h_r è considerato come 5ε dove ε rappresenta l'emissività per irraggiamento termico di una superficie esterna: questa è considerata per materiali da costruzione $\varepsilon = 0.9$ e per i vetri $\varepsilon = 0.837$.

Per quanto riguardano le dispersioni per ventilazione, la normativa prevede un tasso di ricambio d'aria, per il residenziale, pari a 0,3 Vol/h per ogni ambiente climatizzato, questi ricambi introducono delle perdite per ventilazione. Queste dispersioni termiche per ventilazione $Q_{H,ve}$ sono definite dalla UNI TS 11300-1 dall'Equazione 13.

$$Q_{H,ve} = H_{ve,adj} * (\vartheta_{int,set,H} - \vartheta_e) * t [kWh]$$

Equazione 13 Scambi termici per ventilazione (UNI TS 11300-1).

Dove:

- $H_{ve,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno $[W/K]$;
- $\vartheta_{int,set,H}$ è la temperatura interna di regolazione per il riscaldamento della zona considerata pari a 20° C secondo la norma UNI/TS 11300-1;
- ϑ_e è la temperatura esterna presa da dalla norma UNI 10349 $[°C]$;
- t è la durata del mese considerato $[h]$.

Il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione $H_{ve,adj}$ è definito dall'Equazione 14.

$$H_{ve,adj} = \rho_a * c_a * \left(\sum_k b_{ve,k} * q_{ve,k,mn} \right) [W/K]$$

Equazione 14 Calcolo del coefficiente globale di scambio termico per ventilazione (UNI TS 11300-1).

Dove:

- il termine $\rho_a * c_a$ rappresenta la capacità termica volumica dell'aria e considerata pari a 1200 [J/m³K];
- $q_{ve,k,mn}$ è la portata mediata sul tempo del flusso d'aria k-esimo;
- $b_{ve,k}$ è il fattore di correzione della temperatura per il flusso d'aria k-esimo che in caso di ventilazione naturale può essere considerato uguale a 1.

La portata media $q_{ve,k,mn}$ è calcolata come la portata che si avrebbe con i ricambi d'aria di 0,3 Vol/h, come da normativa, moltiplicato un coefficiente che tiene conto della frazione di tempo in cui si verifica il flusso d'aria. L'espressione della portata media è descritta dall'

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} * q_{ve,k} \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Dove:

- $f_{ve,t,k}$ è la frazione di tempo in cui si verifica il flusso d'aria considerato in questo caso uguale a 0,6;
- $q_{ve,k}$ è la portata d'aria calcolata come 0,3 Vol/h per il volume netto della zona climatizzata;

Per quanto riguarda la quota dovuta agli apporti interni, questi sono calcolati con secondo la UNI TS 11300-1 con l'Equazione 15.

$$Q_{int} = \left\{ \sum_k \phi_{int,mn,k} \right\} * t \text{ [kWh]}$$

Equazione 15 Calcolo apporti interni (UNI TS 11300-1).

Dove:

- $\phi_{int,mn,k}$ è il flusso termico prodotto dalla k-esima sorgente di calore interna, mediato sul tempo [W];
- t è la durata del mese considerato, espresso in ore [h].

Per gli edifici di categoria E.1 con superficie utile inferiore o uguale a 170 m², il valore di $\phi_{int,mn,k}$ può essere espresso dalla seguente Equazione 16.

$$\phi_{int,mn,k} = 5,294 * A_f - 0,01557 * A_f^2 \text{ [W]}$$

Equazione 16 Calcolo del flusso termico prodotto da apporti interni (UNI TS 11300-1).

In caso di superfici maggiori di 170 m² si utilizza un valore di 450 W.

Per quanto riguarda gli apporti termici da irraggiamento solare, questi dipendono dagli orientamenti, dagli ombreggiamenti e dalle caratteristiche di assorbimento delle superfici. Queste sono considerate con l'Equazione 17.

$$Q_{sol} = \left\{ \sum_k \phi_{sol,mn,k} \right\} * t [kWh]$$

Equazione 17 Calcolo degli apporti solari (UNI TS 11300-1).

Dove:

- $\phi_{sol,mn,k}$ è il flusso termico k-esimo di origine solare, mediato sul tempo [W];
- t è la durata del mese considerato, espresso in ore [h].

Il flusso termico k-esimo di origine solare $\phi_{sol,k}$ espresso in [MJ] è calcolato secondo l'Equazione 18.

$$\phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} * A_{sol,k} * I_{sol,k} [kWh]$$

Equazione 18 Calcolo del flusso termico di origine solare (UNI TS 11300-1).

Dove:

- $F_{sh,ob,k}$ è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie k-esima;
- $A_{sol,k}$ è l'area di captazione solare effettiva della superficie k-esima, con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale, nella zona o ambiente considerato [m²];
- $I_{sol,k}$ è l'irradianza solare media mensile, sulla superficie k-esima, con dato orientamento e angolo di inclinazione sul piano orizzontale [MJ/m²].

Il fattore $F_{sh,ob,k}$ è funzione di tre parametri per l'ombreggiamento come mostrato dall'Equazione 19, dove F_{hor} , F_{ov} e F_{fin} sono rispettivamente i fattori di ombreggiamento per le ostruzioni esterne, oggetti orizzontali e oggetti verticali.

$$F_{sh,ob,k} = F_{hor} * F_{ov} * F_{fin}$$

Equazione 19 Calcolo del fattore di riduzione per ombreggiamento (UNI TS 11300-1).

I valori di questi parametri sono calcolati per interpolazione lineare dei dati riportati in tabella nell'appendice D della UNI TS 11300-1.

Per quanto riguarda l'area di captazione solare $A_{sol,k}$, questa è data dalla somma di due fattori: l'area di captazione per componente opaco $A_{sol,k,c}$ e per componente vetrato $A_{sol,k,w}$. Questi parametri sono definiti dalle seguenti equazioni [Equazione 20 e Equazione 21].

$$A_{sol,k,c} = a_{sol,c} * R_{se} * U_c * A_c [m^2]$$

Equazione 20 Calcolo dell'area di captazione solare per componenti opachi (UNI TS 11300-1).

Dove:

- $a_{sol,c}$ è il fattore di assorbimento solare del componente opaco, sono definiti dalla UNI TS 11300-1 con valori di 0,3 per colori chiari, 0,6 per colori medio e 0,9 per colori scuri;
- R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna del componente opaco, determinato secondo la UNI/TS 11300-1;
- U_c è la trasmittanza termica del componente opaco [W/m^2K];
- A_c è l'area proiettata del componente opaco [m^2].

$$A_{sol,k,w} = F_{sh,gl} * g_{gl} * (1 - F_F) * A_{w,p} [m^2]$$

Equazione 21 Calcolo dell'area di captazione solare per componente vetrato (UNI TS 11300-1).

Dove:

- $F_{sh,gl}$ è il fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature solare;
- g_{gl} è la trasmittanza di energia solare della parte trasparente del componente, definita dall'UNI/TS 11300-1, vedi formula;
- $(1 - F_F)$ è il fattore di correzione dovuto al telaio, pari al rapporto tra l'area trasparente e l'area totale dell'unità vetrata del serramento, pari a 0,8;
- $A_{w,p}$ è l'area proiettata totale del componente vetrato (area del vano finestra).

Per quanto riguarda la trasmittanza di energia solare g_{gl} questa è definita dall'Equazione 22.

$$g_{gl} = F_w * g_{gl,n}$$

Equazione 22 Calcolo della trasmittanza di energia solare del componente trasparente (UNI TS 11300-1).

Dove F_w rappresenta il fattore di esposizione ed è pari a 0,9 secondo la UNI TS 11300-1, mentre $g_{gl,n}$ è la trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale ed è ricavabile dal prospetto 13 dell'UNI TS 11300-1.

Per quanto riguarda il fattore di utilizzazione degli apporti termici $\eta_{H,gn}$, questo è calcolato dalla norma UNI TS 11300-1 dall'Equazione 23.

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \text{ se } \gamma_H > 0 \text{ e } \gamma_H \neq 1$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \text{ se } \gamma_H = 1$$

Equazione 23 Calcolo del fattore di utilizzazione degli apporti termici (UNI TS 11300-1).

Dove γ_H è definito dal rapporto tra lo scambio termico totale (trasmissione + ventilazione) e dagli apporti termici totali (solare + interno).

Il parametro a_H è definito dalla norma 11300-1 con l'Equazione 24.

$$a_H = \frac{1 + \tau}{15}$$

Equazione 24 Parametro a_H (UNI TS 11300-1).

Dove τ rappresenta la costante di tempo termica della zona termica espressa in ore ed è calcolata con l'Equazione 25.

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}} [h]$$

Equazione 25 Costante di tempo termica della zona termica (UNI TS 11300-1).

Dove C_m è la capacità termica interna misurata in kJ/K calcolabile dal prospetto 16 della UNI TS 11300-1.

Di seguito le Tabella 14 e

Tabella 15 riportano i risultati di calcolo ottenuti per l'intera stagione di riscaldamento.

Mese	$Q_{H,trT}$ [kWh]	$Q_{H,trG}$ [kWh]	$Q_{H,trA}$ [kWh]	$Q_{H,trU}$ [kWh]	$Q_{H,trN}$ [kWh]	$Q_{H,rT}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]
Ottobre	25719	0	0	5751	0	3209	4023
Novembre	74616	0	0	16685	0	7866	11671
Dicembre	101776	0	0	22758	0	8205	15920
Gennaio	98692	0	0	22068	0	7766	15437
Febbraio	71870	0	0	16071	0	7815	11242
Marzo	57982	0	0	12965	0	10544	9070
Aprile	21586	0	0	4827	0	4381	3376
Totali	452241	0	0	101125	0	49786	70740

Tabella 14 Risultati di energia dispersa per trasmissione e ventilazione stato di fatto

Mese	$Q_{sol,k,c}$ [kWh]	$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	$Q_{int,k}$ [kWh]
Ottobre	4994	9657	7827
Novembre	5471	11440	13813
Dicembre	4883	10392	14273
Gennaio	6890	14812	14273
Febbraio	8147	16439	12892
Marzo	12098	22164	14273
Aprile	6609	10825	6906
Totali	49091	95729	84257

Tabella 15 Risultati di apporti termici solari e interni stato di fatto

Il software utilizza la UNI TS 11300-2 al fine di calcolare il rendimento medio stagionale dell'impianto di riscaldamento η_g , questo è importante poiché la prestazione energetica dell'edificio è misurata tramite questo. Questo parametro è definito come il rapporto tra il fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ calcolato dalla UNI TS 11300-1 nell'Equazione 6 e il fabbisogno di energia globale per il riscaldamento $Q_{p,H}$ calcolato secondo la UNI TS 11300-2. Quindi si ha che il rendimento medio stagionale è definito dall'Equazione 26.

$$\eta_g = \frac{Q_{H,nd}}{Q_{p,H}}$$

Equazione 26 Rendimento medio stagionale dell'impianto di riscaldamento (UNI TS 11300-2).

Il fabbisogno globale di energia primaria per il riscaldamento è calcolato come la somma del fabbisogno di generazione $Q_{gn,IN}$ e il fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari $Q_{aux,p}$. il fabbisogno di generazione tiene conto di tutte le perdite di calore dal generatore fino ai terminali di emissione, questo è definito dall'Equazione 27.

$$Q_{gn,IN} = Q_{H,nd} + Q_{I,e} + Q_{I,c} + Q_{I,d} + Q_{I,gn} [kWh]$$

Equazione 27 Calcolo del fabbisogno di generazione (UNI TS 11300-2).

Dove:

- $Q_{H,nd}$ rappresenta il fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento [kWh];
- $Q_{I,e}$ rappresenta le perdite relative ai terminali di emissione [kWh];
- $Q_{I,c}$ rappresenta le perdite relative al sistema di regolazione [kWh];
- $Q_{I,d}$ rappresenta le perdite relative al sistema di distribuzione [kWh];
- $Q_{I,gn}$ rappresenta le perdite relative al sistema di generazione del calore [kWh].

Le perdite per emissione sono definite dall'Equazione 28.

$$Q_{I,e} = Q_{H,nd} * \frac{1 - \eta_e}{\eta_e} [kWh]$$

Equazione 28 Calcolo delle perdite di calore del sistema di emissione (UNI TS 11300-2).

Dove η_e rappresenta il rendimento del sistema di emissione, questo è determinato dal prospetto 17 della UNI TS 11300-2. Di conseguenza è possibile calcolare il fabbisogno di emissione totale $Q_{e,IN}$ come la somma del fabbisogno di energia utile per riscaldamento e le perdite per emissione, come riportato nell'Equazione 29.

$$Q_{e,IN} = Q_{H,nd} + Q_{I,e} [kWh]$$

Equazione 29 Calcolo del fabbisogno di emissione (UNI TS 11300-2).

Per quanto riguarda il parametro $Q_{I,c}$, questo dipende dal rendimento di regolazione ovvero il parametro che identifica il rapporto tra energia richiesta in condizioni reali e condizioni ideali, questo è definito dal prospetto 20 della UNI TS 11300-2. Le perdite per regolazione sono quindi definite dall'Equazione 30.

$$Q_{I,c} = Q_{e,IN} * \frac{1 - \eta_c}{\eta_c} [kWh]$$

Equazione 30 Calcolo delle perdite per regolazione (UNI TS 11300-2).

Il fabbisogno di regolazione $Q_{c,IN}$ è definito come la somma del fabbisogno di emissione $Q_{e,IN}$ e le perdite per la regolazione $Q_{I,c}$, la definizione matematica è mostrata nell'Equazione 31.

$$Q_{c,IN} = Q_{e,IN} + Q_{I,c} [kWh]$$

Equazione 31 Calcolo del fabbisogno di regolazione (UNI TS 11300-2).

Per il sistema di distribuzione sono considerate le perdite di distribuzione $Q_{I,d}$, analogamente ai casi precedenti, considerando il rendimento di distribuzione η_d calcolato dal prospetto 21 della UNI TS 11300-2 a seconda del tipo di distribuzione. Le perdite per distribuzione sono quindi definite dall'Equazione 32.

$$Q_{I,d} = Q_{c,IN} * \frac{1 - \eta_d}{\eta_d} [kWh]$$

Equazione 32 Calcolo delle perdite per distribuzione (UNI TS 11300-2).

Il fabbisogno di distribuzione è quindi definito dall'Equazione 33.

$$Q_{d,IN} = Q_{c,IN} + Q_{I,d} [kWh]$$

Equazione 33 Calcolo del fabbisogno di distribuzione (UNI TS 11300-2).

Per quanto riguarda le perdite di generazione $Q_{I,gn}$, queste sono in funzione delle caratteristiche del generatore delle sue modalità d'uso. Queste sono definite dall'Equazione 34.

$$Q_{I,gn} = Q_{d,IN} * \frac{1 - \eta_{gn}}{\eta_{gn}} [kWh]$$

Equazione 34 Calcolo delle perdite di generazione o (UNI TS 11300-2).

Dove il rendimento di generazione η_{gn} è calcolato dal prospetto 23 della UNI TS 11300-2. Il fabbisogno di generazione è pari alla somma del fabbisogno di distribuzione $Q_{d,IN}$ e le perdite per generazione $Q_{I,gn}$. La definizione matematica è riportata nell'Equazione 35.

$$Q_{gn,IN} = Q_{d,IN} + Q_{I,gn} [kWh]$$

Equazione 35 Calcolo del fabbisogno di generazione (UNI TS 11300-2).

Per quanto riguarda il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari $Q_{H,aux}$ questo dipende dalla potenza totale dei dispositivi ausiliari installati e il tempo di funzionamento del generatore. L'espressione matematica di questo parametro è definita dall'Equazione 36.

$$Q_{H,aux} = W_{aux,t} * t_{gn} [kWh]$$

Equazione 36 Fabbisogno di energia elettrica per ausiliari.

Dove:

- $W_{aux,t}$ è la potenza totale degli ausiliari [W];
- t_{gn} è il tempo di funzionamento del generatore espresso in [h].

Per calcolare la potenza degli ausiliari $W_{aux,t}$ si considerano i valori di potenza degli ausiliari a bordo caldaia e la potenza della pompa primaria. I risultati ottenuti dal calcolo del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale sono riportati nelle Tabella 16 e Tabella 17.

Tabella 16 Rendimenti stagionali dell'impianto stato di fatto.

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di emissione	η_e	91,3	%
Rendimento di regolazione	η_c	97,0	%
Rendimento di distribuzione utenza	η_d	93,8	%
Rendimento di generazione	η_{gn}	94,0	%

Tabella 17 Fabbisogni termici ed elettrici stato di fatto.

$Q_{H,nd}$ [kWh]	$Q_{e,IN}$ [kWh]	$Q_{c,IN}$ [kWh]	$Q_{d,IN}$ [kWh]	$Q_{gn,IN}$ [kWh]	$Q_{H,aux}$ [kWh]
446624	489183	504312	537646	569737	4088

Per quanto riguarda la produzione di acqua calda sanitaria, come fatto in precedenza per il riscaldamento, viene in primo luogo calcolato il fabbisogno di ACS con la seguente Equazione 37 secondo la UNI TS 11300-2.

$$Q_W = \rho_W * c_W * [V_W * (\theta_{er} * \theta_0)] * G [kWh]$$

Equazione 37 Fabbisogno di energia termica per ACS (UNI TS 11300-2).

Dove:

- ρ_W è la densità volumica dell'acqua considerata come 1000 [kg/m³];
- c_W è il calore specifico dell'acqua pari a 1,162*10⁻³ [kWh/kg K];
- V_W volume d'acqua giornaliero richiesto per il periodo di calcolo [m³/giorno];
- θ_{er} è la temperatura di erogazione dell'acqua [°C];
- θ_0 è la temperatura in ingresso dell'acqua [°C];
- G è il numero di giorni del periodo di calcolo considerato.

I volumi di acqua calda sanitaria sono convenzionalmente calcolati con una temperatura di erogazione di 40°C e in ingresso di 15°C. Il volume d'acqua richiesto è calcolato con parametri tabellati da normativa UNI TS 11300-2 con l'Equazione 38.

$$V_W = a * N_U [l/G]$$

Equazione 38 Volume d'acqua richiesto (11300-2).

Dove:

- a è il fabbisogno di acqua calda sanitaria giornaliero [l/G];
- N_U è il parametro che dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio.

Il fabbisogno di acqua calda sanitaria giornaliero a è ricavato dal prospetto 12 della UNI TS 11300-2 e dipende dalla superficie utile di ogni appartamento, mentre per quanto riguarda N_U in caso di residenziale questo è pari al valore di superficie utile dell'edificio espresso in metri quadri.

Analogamente a quanto fatto per l'impianto di riscaldamento viene definito un rendimento medio stagionale $\eta_{g,ACS}$ definito dall'UNI TS 11300-2 con l'Equazione 39.

$$\eta_{g,ACS} = \frac{Q_W}{Q_{p,W}}$$

Equazione 39 Rendimento medio stagionale impianto ACS (UNI TS 11300-2).

Al fine di calcolare il fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria vanno calcolate le perdite per i sottosistemi di:

- $Q_{I,W,er}$ erogazione;
- $Q_{I,W,d}$ distribuzione;
- $Q_{I,W,s}$ accumulo;
- Generazione.

Per quanto riguarda le perdite per erogazione, queste sono definite dalla UNI TS 11300-2 con l'Equazione 40.

$$Q_{I,W,er} = Q_W * \frac{1 - \eta_{W,er}}{\eta_{W,er}} [kWh]$$

Equazione 40 Perdite per erogazione ACS (UNI TS 11300-2).

Dove il rendimento di erogazione $\eta_{W,er}$ in questo caso è stato preso come 100%.

Per le perdite legate alla distribuzione, consideriamo il caso in assenza di ricircolo, secondo la UNI TS 11300-2 si utilizza l'Equazione 41.

$$Q_{I,W,d} = \frac{Q_W}{\eta_{W,er}} * f_{I,W,d} [kWh]$$

Equazione 41 Perdite per distribuzione ACS (UNI TS 11300-2).

Dove il coefficiente di perdita $f_{I,W,d}$ è ricavabile dal prospetto 30 della norma UNI TS 11300-2. Le perdite per accumulo in questo caso non sono da considerare in quanto l'impianto produce acqua calda istantanea e, di conseguenza, non ha accumulo termico. Le perdite per generazione sono determinate dal prospetto 31 in base al tipo di generatore utilizzato. Nel periodo di calcolo prefissato (24h) il fabbisogno di energia primaria $Q_{p,W}$ è definito dall'Equazione 42.

$$Q_{p,W} = Q_{c,W} + Q_{aux,W}$$

Equazione 42 Fabbisogno di energia primaria per ACS (UNI TS 11300-2).

Il rendimento di generazione per generatori dedicati alla produzione di acqua calda sanitaria è definito dall'Equazione 43.

$$\eta_{w,gn} = \frac{Q_{h,w}}{Q_{p,w}}$$

Equazione 43 Rendimento di generazione ACS (UNI TS 11300-2).

Per alleggerire l'esposizione dei risultati, non verranno mostrati i fabbisogni di ogni singolo appartamento ma, nel paragrafo seguente verranno riportati i valori di energia primaria non rinnovabile per ACS.

6.8 Attestazione di prestazione energetica convenzionale Ante

Con il Decreto Legge del 19 maggio 2020, n. 34 è stato introdotto l'APE convenzionale, un attestato di prestazione energetica redatta esclusivamente per la verifica del doppio salto di classe al fine di ottenere la detrazione al Superbonus. La classificazione viene espressa tramite l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile $EP_{gl,nren}$, questo valore tiene conto del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale (EPH_{nren}) ed estiva (EPC_{nren}), per l'ACS (EPW_{nren}), per la ventilazione (EPV_{nren}), e in caso di settore non residenziale si tiene in considerazione anche il fabbisogno di energia non rinnovabile per l'illuminazione artificiale (EPL_{nren}) e per il trasporto di persone o cose, come ad esempio gli ascensori (EPT_{nren}). L'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile $EP_{gl,nren}$ è quindi il risultato della somma dei fabbisogni prima elencati, è espresso in kWh/m²/anno con riferimento alla superficie utile di riferimento definita dal DM 26/06/2015 come mostrato in Equazione 44.

$$EP_{gl,nren} = EPH_{nren} + EPC_{nren} + EPW_{nren} + EPV_{nren} + EPL_{nren} + EPT_{nren} [kWh]$$

Equazione 44 Indice di prestazione globale non rinnovabile (DM 26/06/15)

I fabbisogni di energia primaria non rinnovabili, a loro volta, sono il prodotto dei fabbisogni di energia primaria definiti dalla UNI TS 11300 ed i corrispettivi fattori di conversione in energia primaria $f_{p,nren}$ definiti dalla medesima normativa e riportati in Tabella 18.

Vettore energetico	$f_{p,nren}$	$f_{p,ren}$	$f_{p,tot}$
Gas naturale	1,05	0	1,05
GPL	1,05	0	1,05
Gasolio e Olio combustibile	1,07	0	1,07
Carbone	1,10	0	1,10
Biomasse solide	0,20	0,80	1,00
Biomasse liquide e gassose	0,40	0,60	1,00
Energia elettrica	1,95	0,47	2,42
Teleriscaldamento	1,50	0	1,50
Teleraffrescamento	0,50	0	0,5

Tabella 18 Fattori di conversione in energia primaria (UNI TS 11300)

Nello specifico si andranno a calcolare i fabbisogni di energia primaria non rinnovabile per il riscaldamento EPH_{nren} in Equazione 45 e per la produzione di acqua calda sanitaria EPW_{nren} in Equazione 46. I risultati ottenuti sono riportati in Tabella 19.

$$EPH_{nren} = \frac{Q_{H,gn,in} * f_{p,nren} + Q_{H,aux} * f_{p,nren}}{S_u}$$

Equazione 45 Indice di prestazione non rinnovabile per riscaldamento

$$EPW_{nren} = \frac{Q_{W,gn,in} * f_{p,tot} + Q_{W,aux} * f_{p,tot}}{S_u}$$

Equazione 46 Indice di prestazione non rinnovabile per acqua calda sanitaria

EPH _{ren} [kWh/m ² /anno]	EPW _{ren} [kWh/m ² /anno]
136,60	41,05

Tabella 19 Indici di prestazione energetica non rinnovabile per riscaldamento e ACS stato di fatto

Conoscendo ora il fabbisogno per energia primaria per la climatizzazione invernale è possibile calcolare il rendimento medio stagionale con l'Equazione 26 prima citata. I rendimenti per gli impianti di ACS non verranno mostrati in quanto gli impianti di produzione di ACS non sono oggetto di intervento e l'esposizione dei singoli rendimenti risulterebbe troppo oneroso in termini di spazi. Di seguito il rendimento calcolato:

Rendimento globale medio stagionale (riscaldamento)	$\eta_{H,g}$	73,4	%
---	--------------	-------------	---

La scala delle classi è suddivisa in diversi range di consumi che vanno dalla lettera G (consumo più alto) alla lettera A4 (consumo più basso), il range della classe non è standard e dipende dall'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio di riferimento. Questo valore è definito dall'ipotesi che l'edificio di riferimento sia realizzato secondo i requisiti minimi di legge in vigore dal 1° gennaio 2019 per edifici pubblici e 1° gennaio 2021 per tutti gli altri e con caratteristiche edilizie ed impiantistiche standardizzate e riassunte nella Tabella 20.

Climatizzazione invernale	Generatore a combustibile gassoso (gas naturale) nel rispetto dei requisiti di cui alla tabella 8 dell'Appendice A all'Allegato 1 del DM requisiti minimi e con relativa efficienza dei sottosistemi di utilizzazione di cui alla tabella 7 della stessa Appendice.
Climatizzazione estiva	Macchina frigorifera a compressione di vapore a motore elettrico nel rispetto dei requisiti di cui alla tabella 8 dell'Appendice A all'Allegato 1 del DM requisiti minimi e con relativa efficienza dei sottosistemi di utilizzazione di cui alla tabella 7 della stessa Appendice.
Ventilazione	Ventilazione meccanica a semplice flusso per estrazione nel rispetto dei requisiti di cui alla tabella 9 dell'Appendice A all'Allegato 1 del DM requisiti minimi
Acqua calda sanitaria	Generatore a combustibile gassoso (gas naturale) nel rispetto dei requisiti di cui alla tabella 8 dell'Appendice A all'Allegato 1 del DM requisiti minimi e con relativa efficienza dei sottosistemi di utilizzazione di cui alla tabella 7 della stessa Appendice.
Illuminazione	Rispetto dei requisiti di cui al paragrafo 1.2.2 dell'Appendice A all'Allegato 1 del DM requisiti minimi.
Trasporto persone o cose	Rispetto dei requisiti al DM requisiti minimi.

Tabella 20 Tecnologie standard dell'edificio di riferimento da DM 26/06/2015.

L'indice dell'edificio di riferimento caratterizzerà la suddivisione della scala come mostrato nella Tabella 21.

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

Tabella 21 Scala di classificazione $EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$.

In questo caso l'edificio di riferimento è caratterizzato da un consumo $EP_{gl,nren,rif,standard}$ di 50,70 kWh/anno come mostrato in Figura 19.

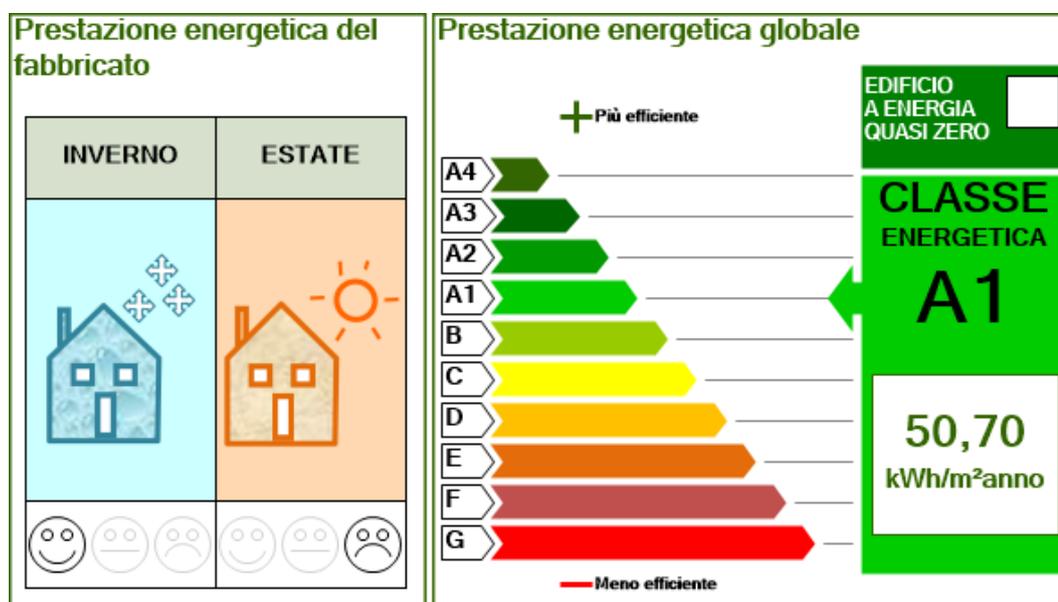


Figura 19 Classe energetica edificio di riferimento

Di conseguenza la classe energetica che caratterizza l'edificio di partenza è la classe energetica G mostrata in Figura 20, questo è giustificabile dal fatto che l'edificio è stato costruito nel 1966 e da quell'anno non ha mai subito miglieorie energetiche se

non all'impianto di climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

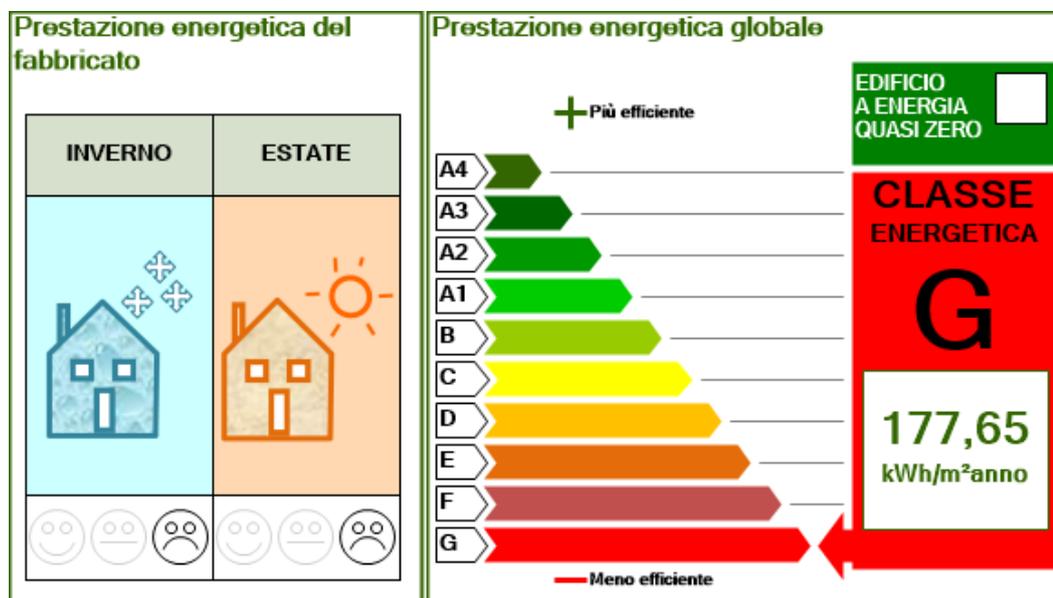


Figura 20 Estratto APE convenzionale: Classe energetica di partenza.

7 Definizione del progetto

A partire dalla richiesta del cliente, sono stati discussi nelle opportune sedi gli interventi sulle parti comuni e private, proposti, discussi e approvati dal o dai progettisti, dal o dalle imprese e dall'amministratore di condominio, il quale ha il compito di esporre gli interventi ai condomini durante una assemblea condominiale al fine di raccogliere adesioni e fornire informazioni riguardanti il futuro cantiere. In questo intervento di riqualificazione energetica, in seguito a diverse analisi energetiche eseguite per individuare i possibili interventi, trattati nel paragrafo 4.3 e conseguire il doppio salto di classe energetica, si è concluso che verranno eseguiti i lavori di:

- Coibentazione pareti verticali;
- Coibentazione della copertura piana;
- Sostituzione infissi;
- Sostituzione del vecchio generatore di calore;
- Sismabonus.

Per quanto riguarda l'intervento del miglioramento della classe sismica mediante il Sismabonus, questo tema non verrà approfondito nei seguenti paragrafi in quanto non è strettamente legato alla riqualificazione energetica; Questo intervento prevede la messa in sicurezza dei tamponamenti esterni prima della posa dell'isolante sulle facciate.

Il risultato estetico viene presentato in assemblea tramite un render per esporre i nuovi colori delle facciate.

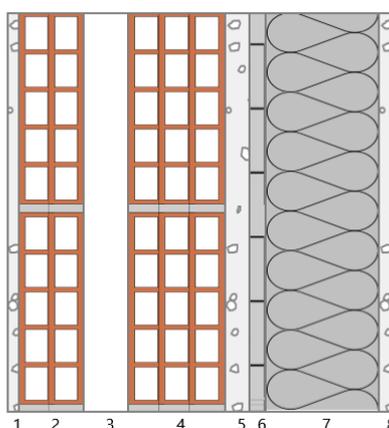


Figura 21 Render edificio prodotto dallo studio di ingegneria e architettura Politecna Europa srl.

I particolari di questi interventi saranno discussi nei seguenti capitoli.

7.1 Coibentazione pareti verticali:

La coibentazione delle facciate dell'edificio verrà realizzata con un cappotto in EPS alla grafite di 14 cm di spessore, questo materiale consente di realizzare cappotti termici con spessori ridotti essendo caratterizzato da una conducibilità di 0.031 W/mK, inoltre la grafite, incapsulata nella matrice del materiale, assorbe e riflette gli infrarossi irraggiando calore. Il cappotto sarà poi rifinito con un intonaco plastico per cappotti colorato. Di seguito una stratigrafia tipo:



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	15,00	0,7000	0,021	1400	1,00	10
2	Mattone forato	80,00	0,4000	0,200	775	0,84	9
3	Intercapedine non ventilata $A_v < 500 \text{ mm}^2/\text{m}$	55,00	0,3056	0,180	-	-	-
4	Mattone forato	120,00	0,3870	0,310	717	0,84	9
5	Malta di cemento	30,00	1,4000	0,021	2000	1,00	22
6	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	20,00	1,3000	0,015	2300	0,84	9999999
7	Polistirene espanso sinterizzato (alla grafite)	140,00	0,0310	4,516	20	1,45	60
8	Intonaco plastico per cappotto	20,00	0,3000	0,067	1300	0,84	30
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,065	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
Con d.	Conducibilità termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK

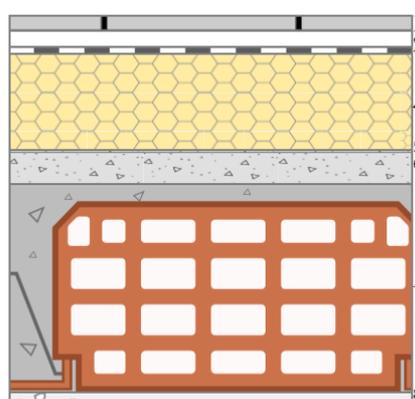
R	Resistenza termica	m^2K/W
M.V	Massa volumica	kg/m^3
.		
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Prima della posa del cappotto, vista l'età dell'edificio e lo stato di conservazione, è prevista la verifica della tenuta del rivestimento esistente in klinker. Questa verifica viene eseguita per verificare la stabilità del rivestimento al quale andrà incollato e tassellato il cappotto, in caso in cui questa verifica riporti dei risultati negativi, ovvero una scarsa tenuta del klinker, si provvederà a rimuovere completamente il rivestimento e a realizzare una superficie omogenea sulla quale realizzare il cappotto termico.

7.2 Coibentazione copertura:

Un secondo lavori di coibentazione riguarda la copertura tramite la posa di uno strato di Stiferite, materiale a base poliuretano, da 12 cm sull'estradosso della copertura, sopra questo strato verrà realizzata una pavimentazione galleggiante. Questo tipo di pavimentazione presenta diversi vantaggi pratici, infatti a differenza delle tradizionali pavimentazioni, il pavimento flottante è più facile da posare, ha una manutenzione più facile e veloce in quanto la sostituzione di una piastrella rotta non richiede opere murarie e in caso di danneggiamento alla guaina sottostante questa può essere velocemente ripristinata.

La stratigrafia in progetto è riassunta qui di seguito:



N.	Descrizione strato	S [mm]	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,065	-	-	-
1	Piastrelle in granito	20,00	4,1000	-	3000	1,00	-
2	Intercapedine debolmente ventilata Av=700 mm ² /m	20,00	-	-	-	-	-
3	Impermeabilizzazione con bitume	8,00	0,1700	-	1200	1,00	188000
4	POLIISO TEGOLA - Pannello in schiuma polyiso (poliuretano espanso) espansa fra due supporti di alluminio gofrato. Dimensioni 2400 mm x larghezza pari a passo tegola. Spessori disponibili da 60 a 140 mm.	120,00	0,0220	-	40	1,50	89900
5	Barriera vapore in fogli di P.V.C.	1,00	0,1600	-	1390	0,90	50000
6	Sottofondo di cemento magro	40,00	0,7000	-	1600	0,88	20
7	Blocco da solaio	260,00	0,6670	-	842	0,84	9
8	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,8000	-	1600	1,00	10
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
Con	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti	W/mK
d.	correttivi	
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V	Massa volumica	kg/m ³
.		
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

7.3 Sostituzione infissi e chiusure oscuranti:

La sostituzione di questi comporta molteplici vantaggi tra cui:

- Miglioramento delle prestazioni termiche del componente finestrato. Le nuove finestre presenteranno sicuramente caratteristiche termiche più performanti delle attuali, di conseguenza si avrà un risparmio energetico con la sostituzione.
- Un migliore isolamento acustico. Il rumore dall'esterno può essere attenuato utilizzando materiali più pesanti e aumentando la discontinuità dei materiali, ad esempio con l'utilizzo di lastre del vetro camera di diverso spessore.
- Miglioramento della sicurezza. I moderni infissi sono dotati di serrature e sistemi di chiusure più sicure per prevenire effrazioni.

Le attuali finestre sono state modellate utilizzando la norma UNI EN ISO 10077-1, queste avendo un vetro singolo e il telaio in legno hanno una trasmittanza termica calcolata di $4,9 \text{ W/m}^2\text{K}$, un valore troppo alto per gli standard odierni. Quando vengono sostituiti infissi così datati è bene tenere in considerazione che, con l'installazione dei nuovi, si andrà a perdere l'effetto spiffero, ovvero un fenomeno di ricambio d'aria non controllato dovuto alla permeabilità all'aria dei materiali e al cattivo stato delle chiusure. Questo fenomeno comporta la formazione di correnti d'aria indesiderate all'interno degli ambienti, le quali raffreddano o riscaldano l'ambiente (a seconda della stagione) in prossimità delle finestre causando un discomfort termico dovuto al gradiente di temperatura. Lo spiffero però non genera solo gli effetti indesiderati sopra elencati ma ha anche un effetto positivo che non possiamo trascurare, queste correnti d'aria infatti aiutano a mantenere il corretto ricambio d'aria degli ambienti e di conseguenza abbassano l'umidità interna riducendo il rischio di formazione delle muffe. Le nuove finestre dovranno avere un valore di trasmittanza termica dell'intero modulo inferiore a $1,3 \text{ W/m}^2\text{k}$ in modo da rispettare i requisiti minimi imposti, questo salto prestazionale sarà percepibile sotto molti punti di vista come prima elencato. Per quanto riguarda gli avvolgibili, questi verranno sostituiti con avvolgibili in PVC coibentati in modo da avere una resistenza termica supplementare migliore rispetto allo stato di fatto.

7.4 Correzione ponti termici:

Al fine di analizzare i principali ponti termici e correggerli, ovvero abbassarne la trasmittanza termica lineica ed eliminare il rischio di formazione di condensa e di muffa, è stato condotto uno studio di tipo FEM utilizzando il software IRIS, un programma per il calcolo dei ponti termici agli elementi finiti sviluppato da TEP S.r.l. e distribuito dall'ANIT per i soci ANIT. Il software si basa su modelli di calcolo conformi alle norme vigenti per l'analisi delle prestazioni energetiche dell'involucro edilizio ed è allineato alle richieste di legge definite a livello nazionale dal DM 26/6/2015. Definendo le condizioni al contorno riguardo: condizioni climatiche esterne secondo la UNI 10349:2016, il numero di gradi giorno secondo il DPR 412/93, le condizioni climatiche interne secondo la UNI EN ISO 13788:2013 e le caratteristiche del ponte termico in analisi, come ad esempio i materiali presenti nella struttura e la sua geometria, IRIS restituisce in forma grafica la distribuzione della temperatura, del flusso termico e dell'umidità relativa mostrando le curve isoterme per il rischio muffa e condensa. I dati ottenuti possono essere importati all'interno di Edilclima per avere un'analisi specifica e valori più attendibili dell'incidenza del ponte termico. È importante analizzare in modo corretto i ponti termici poiché questi incidono sulla trasmittanza media dei componenti, il quale è un parametro da rispettare nelle verifiche di legge, tenendo conto della trasmittanza dei componenti e dei relativi ponti termici associati a questi. Si sottolinea che i ponti termici di tipo puntuale sono stati, in questo caso, trascurati perché non contribuiscono particolarmente alle dispersioni.

Il flusso termico disperso lungo un ponte termico è definito dalla UNI EN ISO 10211 dalle seguenti formule:

si definisce il flusso monodimensionale Q_{1D} come:

$$Q_{1D} = U * S * \Delta T [W]$$

Equazione 47 Calcolo flusso termico monodimensionale (UNI EN ISO 10211).

Dove:

- U è la trasmittanza del componente attraversato dal flusso [W/m^2K];
- S è la superficie del componente attraversata dal flusso [m^2];
- ΔT è la differenza di temperatura tra ambiente interno ed esterno [K].

si definisce il flusso bidimensionale Q_{2D} :

$$Q_{2D} = L_{2D} * l * \Delta T [W]$$

Equazione 48 Calcolo del flusso termico bidimensionale (UNI EN ISO 10211).

Dove:

- L_{2D} è il coefficiente di scambio termico bidimensionale [W/m^2K];
- l è la lunghezza della parte bidimensionale [m];

il coefficiente L_{2D} tiene in considerazione sia le dispersioni legate al flusso monodimensionale sia al flusso bidimensionale:

$$L_{2D} = \sum_i U_i * l_i + \psi [W/mK]$$

Equazione 49 Calcolo del coefficiente di accoppiamento (UNI EN ISO 10211).

Dove ψ è la trasmittanza termica lineica, questa rappresenta la differenza tra la dispersione bidimensionale del nodo geometrico/strutturale e quanto disperderebbe il nodo se il ponte termico non esistesse. Ovvero, indica la dispersione termica dovuta al ponte termico per ogni metro di lunghezza e con un ΔT di 1 K.

$$\psi = L_{2D} - \sum_i U_i * l_i [W/mK]$$

Equazione 50 Calcolo della trasmittanza termica lineica (UNI EN ISO 10211).

Secondo la UNI EN 10211 l'area di distorsione del flusso causata dal ponte termico è valutabile in 3 volte lo spessore dell'elemento soggetto a distorsione o comunque 1 metro dal nodo; oltre a questa misura l'effetto svanisce e il flusso è monodimensionale e perpendicolare alla struttura. Convenzionalmente il parametro " l_i ", che definisce le dimensioni del ponte termico influisce, può essere considerato utilizzando misure interne od esterne come mostrato in Figura 22. La sostanziale differenza, tra i due metodi di misura, è che con le dimensioni interne non si tiene conto degli incroci in prossimità dei ponti termici, mentre nell'altro caso sì. Ovviamente la scelta del metodo di calcolo non influisce sul calcolo delle dispersioni termiche.

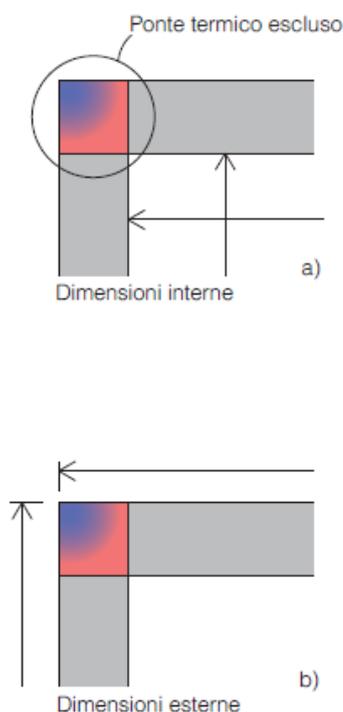


Figura 22 Dimensioni di riferimento ponti termici

Con il decreto requisiti minimi si è stabilito che il parametro di trasmittanza non può più prescindere dal calcolo dei ponti termici. Da qui, a seconda della tipologia di riqualificazione energetica, devono essere considerati i parametri di trasmittanza termica media e/o il coefficiente termico globale per trasmissione H'T.

La trasmittanza termica media U_{media} è definita dalla UNI 14683 dalla formula:

$$U_{media} = \frac{\sum_i U_i * A_i + \sum_k f_p * \psi_k * l_k}{A_{tot}}$$

Equazione 51 Definizione trasmittanza media (UNI 14683).

Dove:

- U_{media} è la trasmittanza termica media della struttura considerata [W/m²K];
- A_{tot} è l'area della struttura considerata [m²];
- U_i è la trasmittanza dell'elemento i-esimo che compone la struttura (ad esempio una parete e i sottofinestra);
- A_i è l'area dell'elemento i-esimo;
- ψ_k è il ponte termico k-esimo [W/mK];
- l_k è la lunghezza del ponte termico [m];

- f_p è un fattore di ponderazione del ponte termico pari a 1 o 0,5 a seconda se il ponte termico incide su una sola struttura o su due.

I valori da rispettare in caso di ristrutturazioni importanti di secondo livello e riqualificazioni energetiche secondo il DM 26/06/2015 sono riportati nella Tabella 22:

ZONA CLIMATICA	PARETI VERTICALI		COPERTURE		PAVIMENTI		FINESTRE, PORTE	
	DA (*) 01.10.15	DA (**) 01.01.19/21						
A e B	0,45	0,40	0,34	0,32	0,48	0,42	3,20	3,00
C	0,40	0,36	0,34	0,32	0,42	0,38	2,40	2,00
D	0,36	0,32	0,28	0,26	0,36	0,32	2,10	1,80
E	0,30	0,28	0,26	0,24	0,31	0,29	1,90	1,40
F	0,28	0,26	0,24	0,22	0,30	0,28	1,70	1,00

(*) per tutti gli edifici; (**) dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici a uso pubblico e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli edifici.

Tabella 22 Valori trasmittanza media limite (DM 26/06/2015).

Per quanto riguarda il coefficiente di scambio termico globale per trasmissione H'_T riferito all'unità di superficie disperdente è definito come la somma dei coefficienti di scambio termico per trasmissione H_D (verso l'ambiente), H_G (verso il terreno), H_U (verso gli ambienti non riscaldati), H_A (verso gli ambienti climatizzati a temperature diverse) diviso la somma di tutte le superfici degli elementi di involucro opachi e trasparenti.

$$H'_T = \frac{H_D + H_G + H_U + H_A}{\sum_i A_i} [W/m^2K]$$

Equazione 52 Coefficiente medio di scambio termico (UNI TS 11300-1).

Dove i generici coefficienti di trasmissione sono calcolati come segue:

$$H_X = b_{tr,X} * \left(\sum_i U_i * A_i + \sum_k \psi_k * l_k + \sum_j \chi_j \right) [W/K]$$

Equazione 53 Coefficienti di trasmissione (UNI TS 11300-1).

Dove χ è la trasmittanza del ponte termico puntuale e il b_{tr} è il fattore di correzione che dipende dalla temperatura a cui si affaccia la struttura, è uguale ad 1 se la struttura dà verso l'esterno ed è minore di 1 se da verso ambienti non riscaldati. In pratica, il coefficiente medio di scambio termico, rappresenta una trasmittanza termica media dell'involucro edilizio, pesata sulle aree, che tiene in considerazione i componenti opachi e trasparenti, i ponti termici e le diverse temperature a cui si affacciano gli elementi costruttivi. Questo deve essere calcolato sull'intero edificio

in caso di interventi di nuova costruzione, ampliamento o ristrutturazione di primo livello, mentre viene calcolato sulle strutture oggetto di intervento nel caso di riqualificazioni o ristrutturazioni di secondo livello. I valori limite da rispettare sono riportati nell'allegato 1 del Decreto Requisiti Minimi in appendice A, di seguito un estratto:

ZONA CLIMATICA	NUOVE COSTRUZIONI, DEMOLIZIONI E RISTRUTTURAZIONI			AMPLIAMENTI E RISTRUTTURAZIONI DI SECONDO LIVELLO
	$S/V \geq 0,7$	$0,7 > S/V \geq 0,4$	$0,7 > S/V$	
A e B	0,58	0,63	0,80	0,73
C	0,55	0,60	0,80	0,70
D	0,53	0,58	0,80	0,68
E	0,50	0,55	0,75	0,65
F	0,48	0,53	0,70	0,62

Tabella 23 Valori ammissibili $H't$ (Decreto Requisiti Minimi).

La verifica igrometrica in prossimità di un ponte termico è considerata positiva quando la temperatura superficiale del nodo è superiore alla temperatura “critica” con UR dell’80% per la quale si ha la formazione di muffe. Questa è eseguita per ogni mese utilizzando il fattore di temperatura f_{Rsi} definito dalla UNI EN ISO 13788 dall’Equazione 54.

$$f_{Rsi} = \frac{T_{si} - T_e}{T_i - T_e}$$

Equazione 54 Fattore di temperatura (UNI EN ISO 13788).

Dove:

- T_{si} è la temperatura superficiale interna;
- T_e è la temperatura esterna;
- T_i è la temperatura interna.

In particolare la verifica risulta positiva quando il fattore di temperatura f_{Rsi} è maggiore del fattore di temperatura del mese più critico $f_{Rsi,max}$ definito dall’Equazione 55.

$$f_{Rsi} = \frac{T_{critica} - T_e}{T_i - T_e}$$

Equazione 55 Fattore di temperatura critico (UNI EN ISO 13788).

Dove la $T_{critica}$ rappresenta la temperatura critica alla quale si raggiunge l’umidità relativa dell’80%.

Dal diagramma psicrometrico in Figura 22, le temperature superficiali minime di rischio condensazione e muffa, possono essere individuate graficamente intercettando rispettivamente la curva dell'umidità relativa 100% e dell'80%. Ad esempio per un ambiente con temperatura interna pari a 20°C e umidità relativa interna al 57%, si ricava una di temperatura superficiale minima di condensazione di 11.2°C (grafico a sinistra) e una temperatura di rischio muffa pari a 14.6°C (grafico a destra). Per umidità si intende la quantità di vapore contenuto nell'aria, questa può essere definita in termini assoluti, ovvero in grammi di vapore per kg d'aria, oppure in termini relativi indicando una percentuale in riferimento alla massima quantità di vapore che può essere trattenuto dall'aria a quella temperatura.

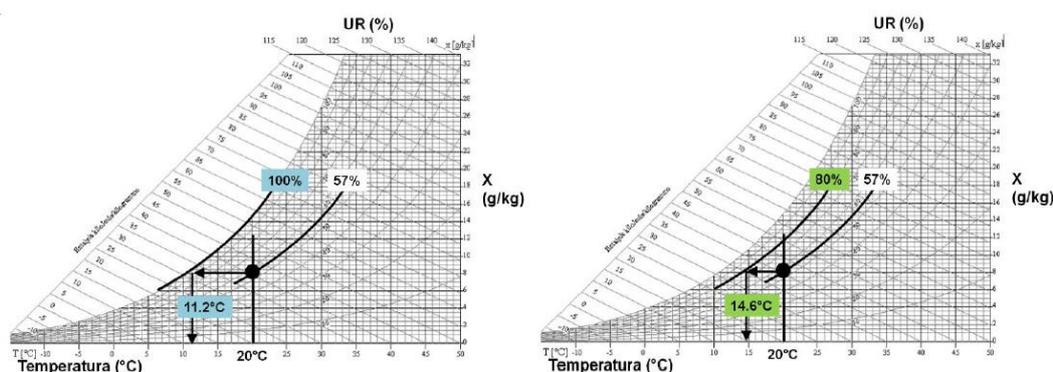


Figura 23 Esempio di calcolo su diagramma psicrometrico.

7.4.1 Ponte termico al balcone

Il balcone è spesso un punto critico nel bilancio energetico in quanto, per via della disposizione dei materiali tipicamente adottate, genera un forte flusso termico. Infatti, in caso di cappotto esterno, il balcone rappresenta un via libera per il calore in quanto, nel nodo parete balcone, la continuità del cappotto esterno viene a mancare. Di seguito una rappresentazione grafica del nodo alle Figura 24Figura 25Figura 26 in cui si evidenziano gli andamenti delle temperature e dei flussi termici.

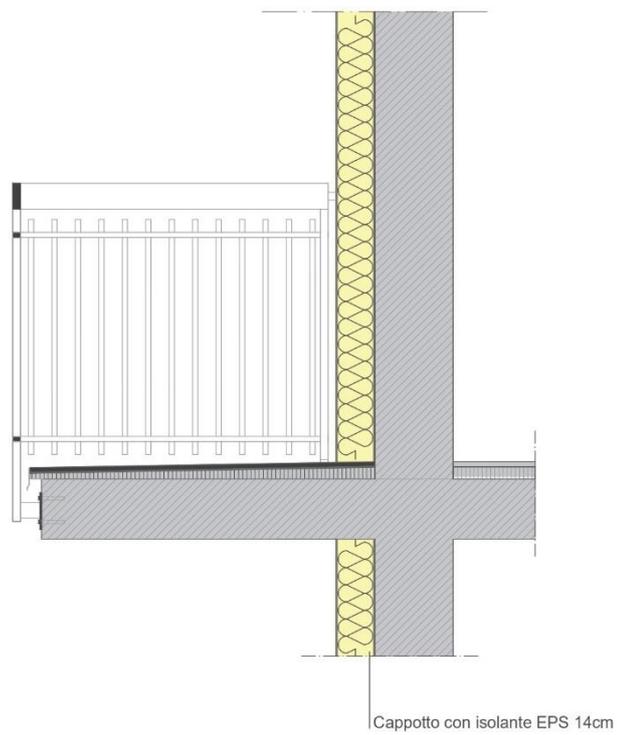


Figura 24 Dettaglio costruttivo nodo parete balcone senza correzione del ponte termico.

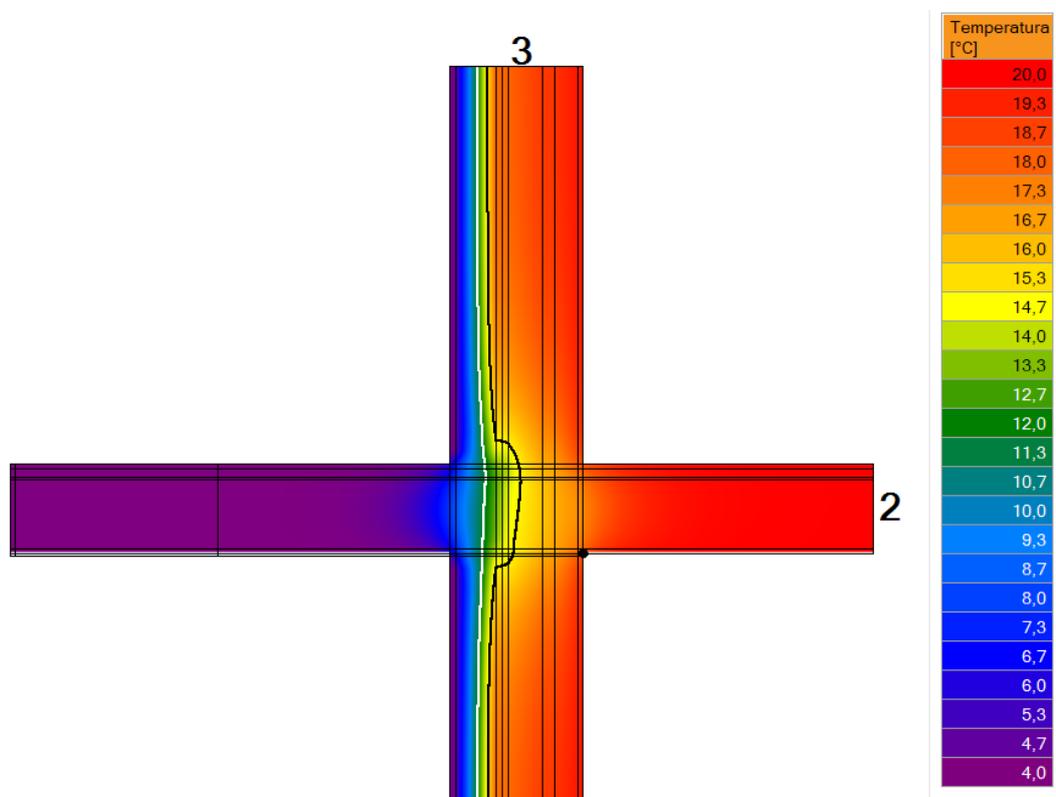


Figura 25 Andamento della temperatura nel nodo parete balcone senza correzione del ponte termico.

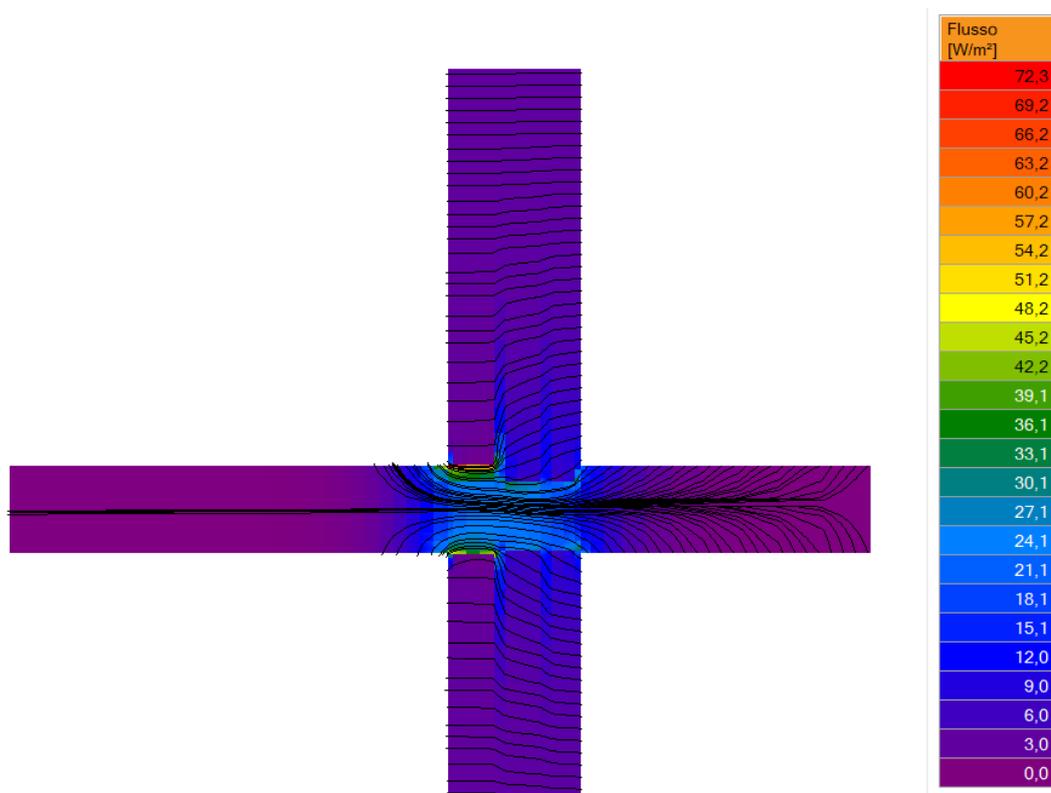


Figura 26 Andamento del flusso termico nel nodo parete balcone senza correzione del ponte termico.

In Figura 25 è possibile notare come l'andamento della temperatura cambi, in corrispondenza del nodo parete balcone, abbassandosi notevolmente. Questo fenomeno è dovuto all'interruzione del cappotto termico in corrispondenza del balcone. Dalla Figura 26 si può notare come il flusso passi da perpendicolare alla parete, nella zona della parete capottata, a distorto nella zona corrispondente all'intersezione parete balcone. Il ponte termico, in questo caso, non genera problemi di muffe o condensa ma comunque presenta un punto debole nella coibentazione. È necessario quindi correggerlo al fine di non vanificare l'efficienza del cappotto e, per rispettare le verifiche di legge, mantenere una trasmittanza media della parete nei limiti di legge previsti.

Un metodo efficace ma invasivo prevede la completa coibentazione del corpo aggettante, creando uno strato continuo di isolante tra la parete e il balcone. Quindi con questo metodo si applica uno strato di isolante di circa 5 cm all'intradosso fino al frontalino del balcone e, a seconda degli spazi e delle caratteristiche costruttive della soletta, si realizza uno strato di coibentazione anche in estradosso. L'estradosso è il punto più critico da trattare in quanto molto spesso è necessaria una demolizione parziale della soletta al fine di mantenere un dislivello tra soletta balcone e soletta interpiano.

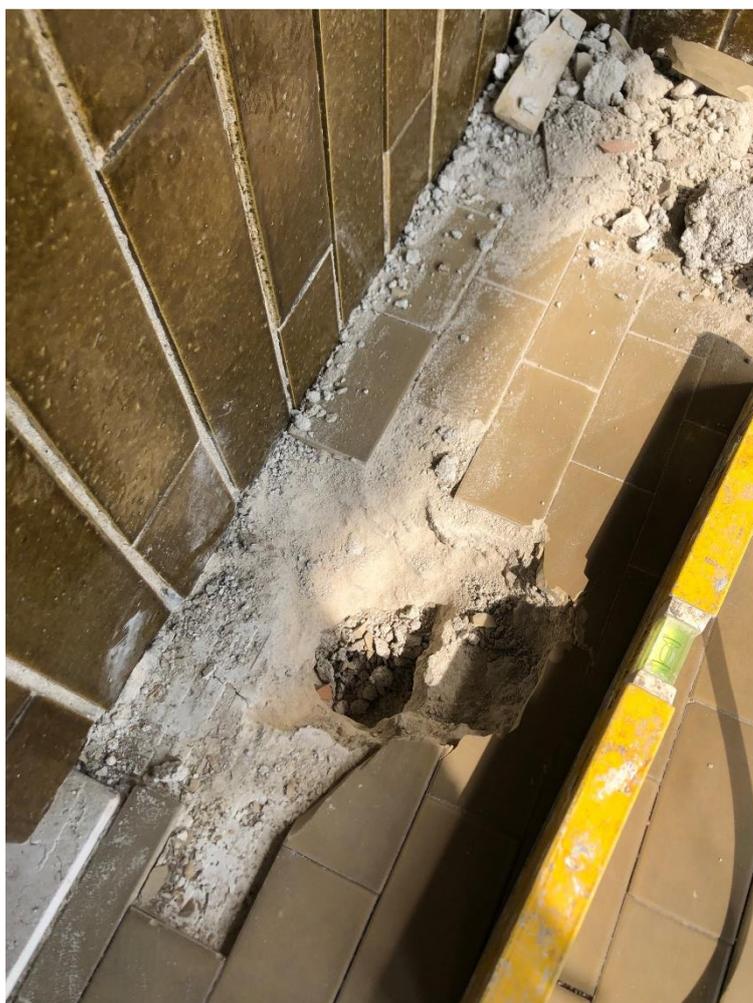


Figura 27 Carotaggio soletta balcone

In particolare, per l'intervento in questione, dopo un carotaggio della superficie del balcone mostrato in Figura 27, si è concluso che non c'è abbastanza spazio demolibile per coibentare completamente l'estradosso in questione. Si procederà con una coibentazione parziale della superficie che interesserà solo i primi 70 Cm di balcone, per occupare il minor spazio possibile si utilizzerà l'Aerogel, che rappresenta ad oggi il materiale con le prestazioni termo isolanti migliori sul mercato; invece, l'intradosso e il frontalino saranno coibentati con 4 cm di EPS. Di seguito il dettaglio costruttivo è riportato in Figura 28.

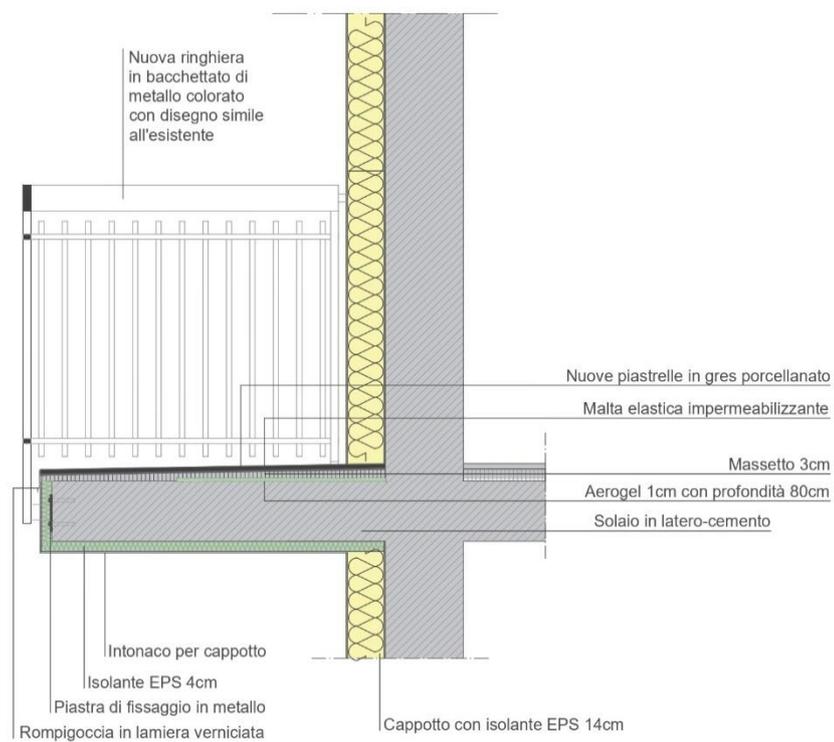


Figura 28 Dettaglio costruttivo nodo parete balcone con correzione del ponte termico.

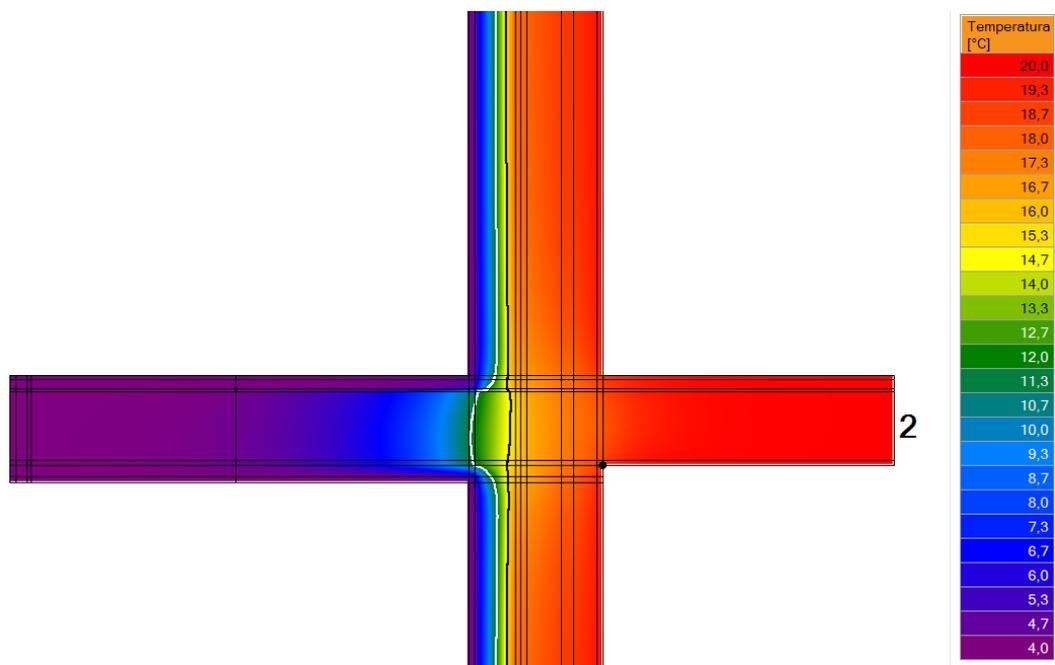


Figura 29 Andamento della temperatura nel nodo parete balcone con correzione del ponte termico.

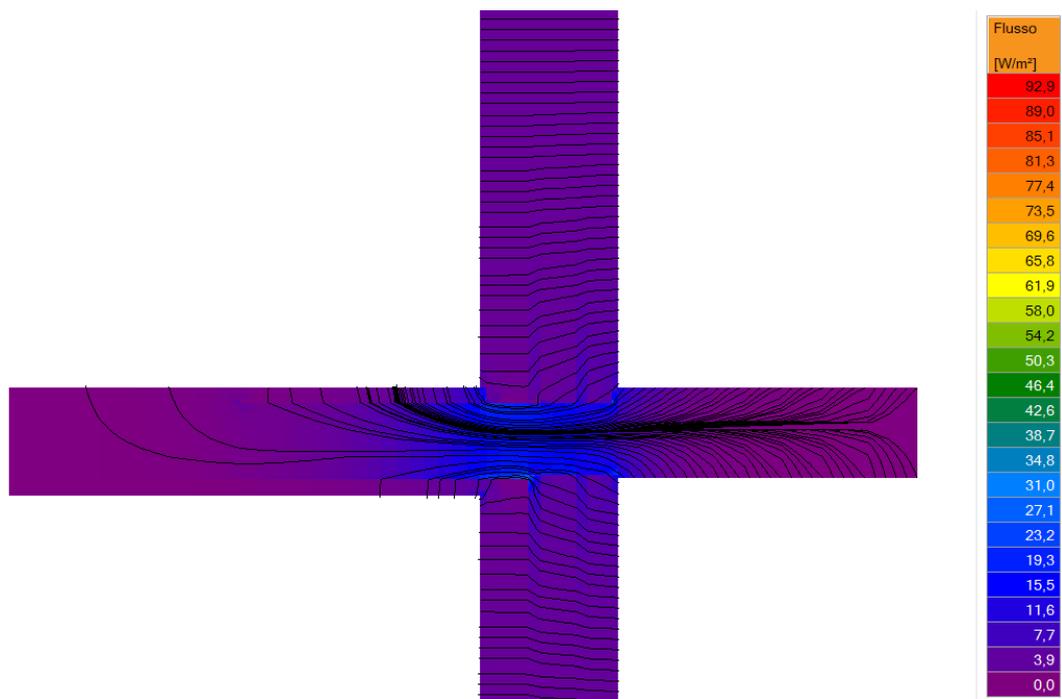


Figura 30 Andamento del flusso termico nel nodo parete balcone con correzione del ponte termico.

È possibile notare dalla Figura 29 l'andamento della temperatura leggermente attenuata, infatti il programma riporta un innalzamento di 0,7 °C sulla parete interna, invece per quanto riguarda il flusso termico come visibile dalla Figura 30 questo è stato notevolmente ridotto in quanto, nella situazione senza correzione si aveva una trasmittanza lineare di 0,511 W/mK, nella configurazione con correzione del ponte termico la trasmittanza lineare è di 0,284 W/mK.

7.4.2 Ponte termico parete copertura

I ponti termici nel nodo parete copertura, nel caso di coperture piane a sbalzo con parapetto come nel caso studio, sono dovuti all'interruzione dello strato isolante tra la parete e la copertura in corrispondenza del corpo aggettante. Questa tipologia di nodo è molto simile al caso prima esaminato del nodo parete balcone; infatti, la risoluzione prevede la coibentazione del corpo aggettante in modo da garantire la continuazione del materiale coibentante.

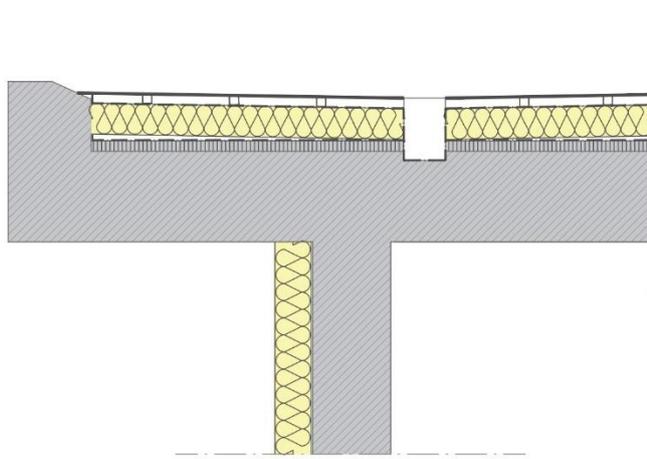


Figura 31 Dettaglio costruttivo del nodo copertura senza correzione ponte termico.

Dalla configurazione senza correzione del ponte mostrata in Figura 31 si ottengono i seguenti andamenti per la temperatura in Figura 32 e per il flusso termico in Figura 33 nel nodo parete copertura. In particolar modo si può notare come il corpo aggettante sia il punto critico del nodo, questo perché è costituito principalmente da calcestruzzo armato il quale è caratterizzato da una alta conducibilità termica. Dall'andamento del flusso termico si può notare come il flusso si concentri in prossimità dell'interruzione del cappotto termico verticale, utilizzando come corsia preferenziale il calcestruzzo armato. Si sottolinea che in questa configurazione non si hanno problemi di generazione di muffa; infatti, come si nota dall'andamento delle temperature in Figura 32, la curva isoterma nera che mostra la temperatura di rischio muffa, non tocca se pur di poco, il punto più freddo della parete interna ma, per diminuire le dispersioni termiche e non vanificare l'effetto del cappotto termico, è comunque prevista la correzione del ponte termico.

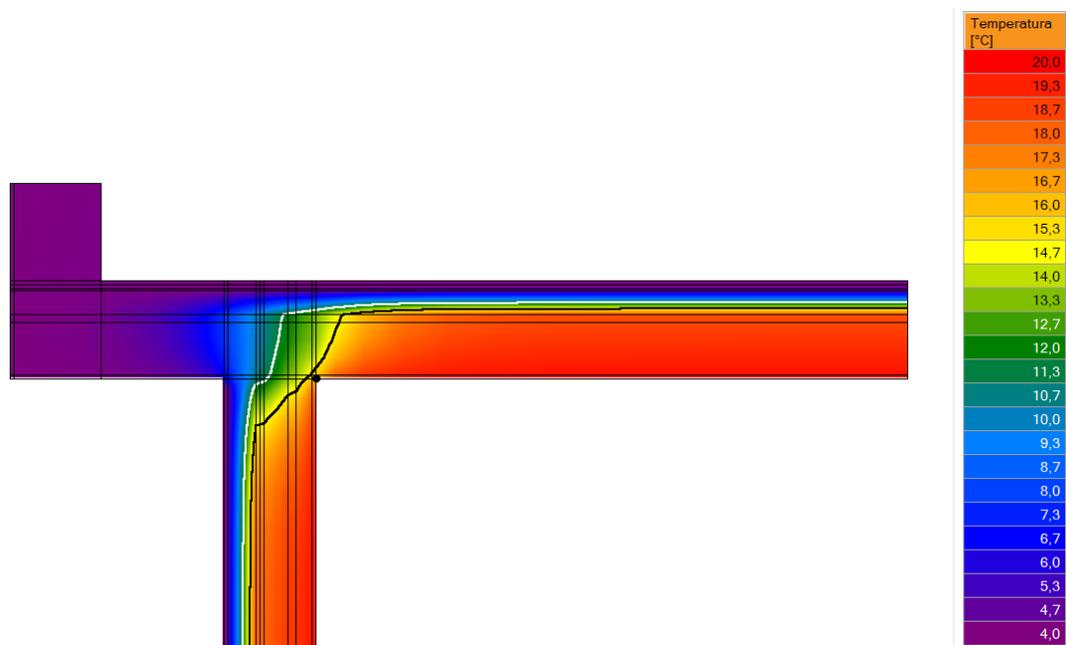


Figura 32 Andamento della temperatura nel nodo parete copertura senza correzione del ponte termico

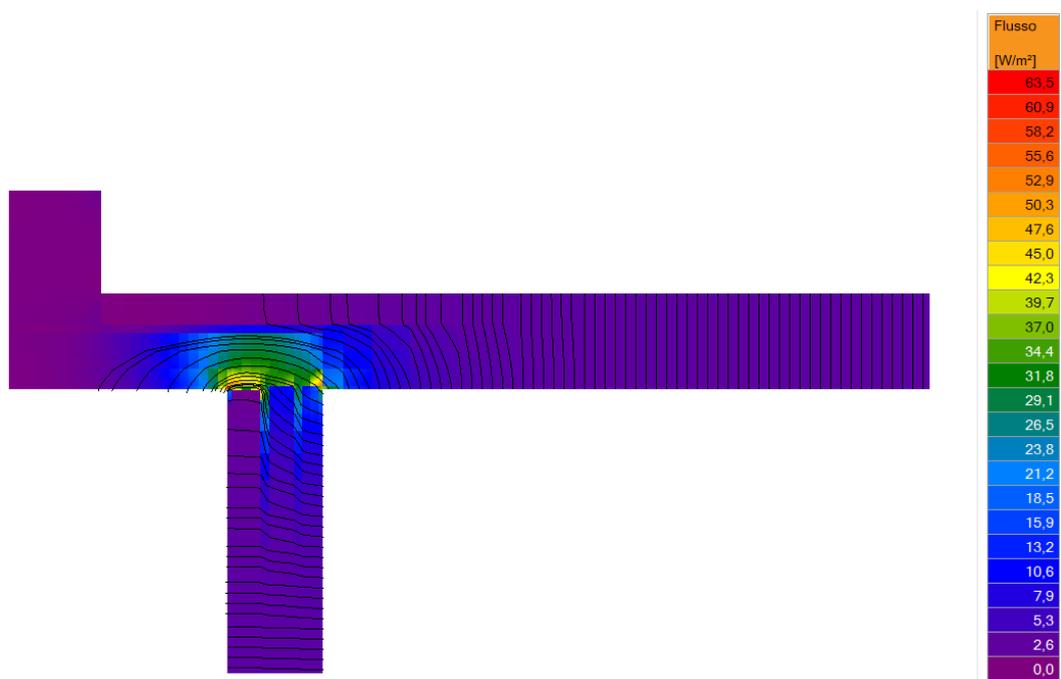


Figura 33 Andamento del flusso termico nel nodo parete copertura senza correzione del ponte termico.

Per correggere il ponte è sufficiente posare uno strato di materiale coibente di tipo EPS di spessore 4 cm come mostrato in Figura 34, questo basta a mettere in sicurezza il punto più freddo della parete interna spostando la curva isoterma del rischio muffa da questo. Inoltre si può notare in Figura 36 come sia stato mitigato

l'effetto della “corsia preferenziale” del flusso attraverso il calcestruzzo armato e in Figura 35, è possibile notare il discostamento della curva rischio muffa dal punto critico. Con questa accortezza la trasmittanza lineare associata al nodo passa da 0.335 W/mK a 0.092 W/mK.

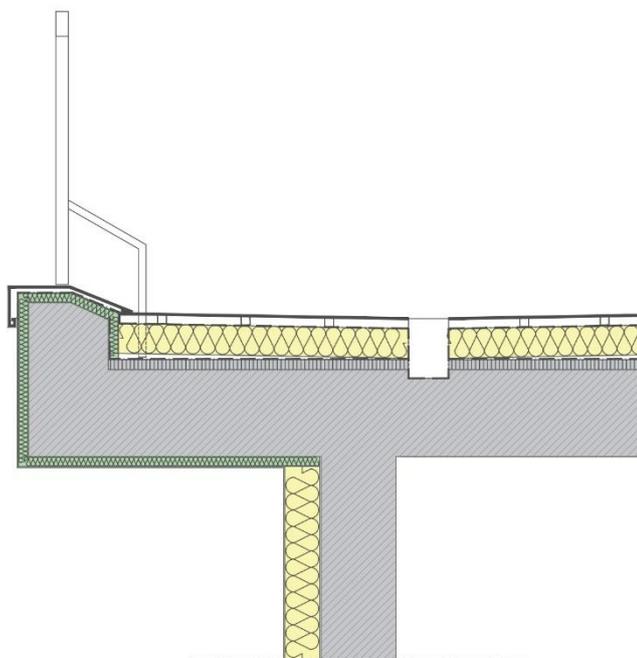


Figura 34 Dettaglio costruttivo del nodo parete copertura con correzione del ponte termico

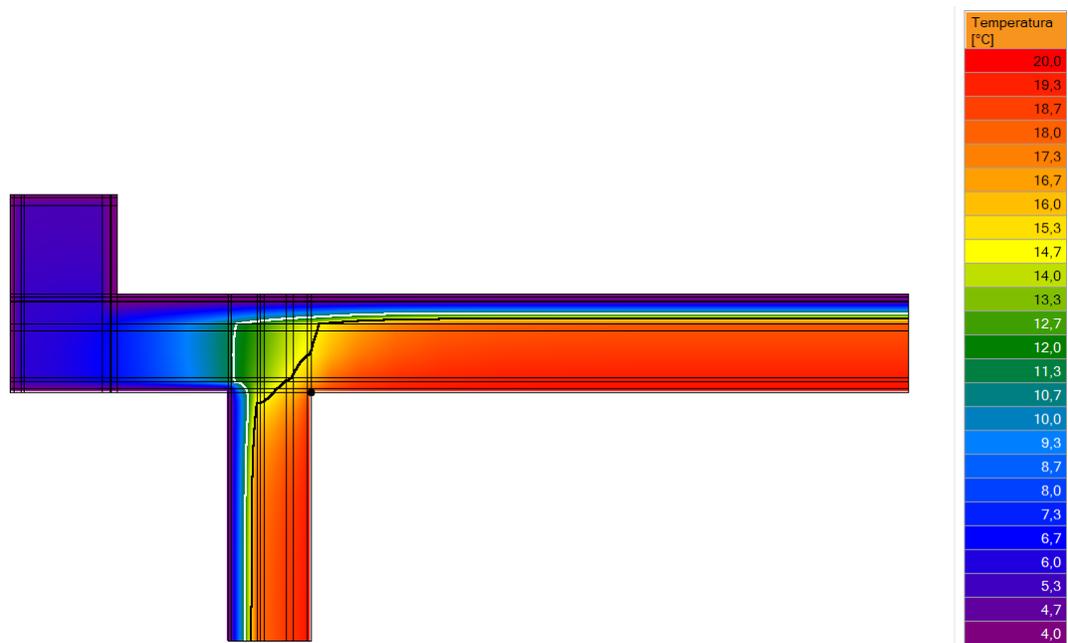


Figura 35 Andamento della temperatura nel nodo parete copertura con correzione del ponte termico.

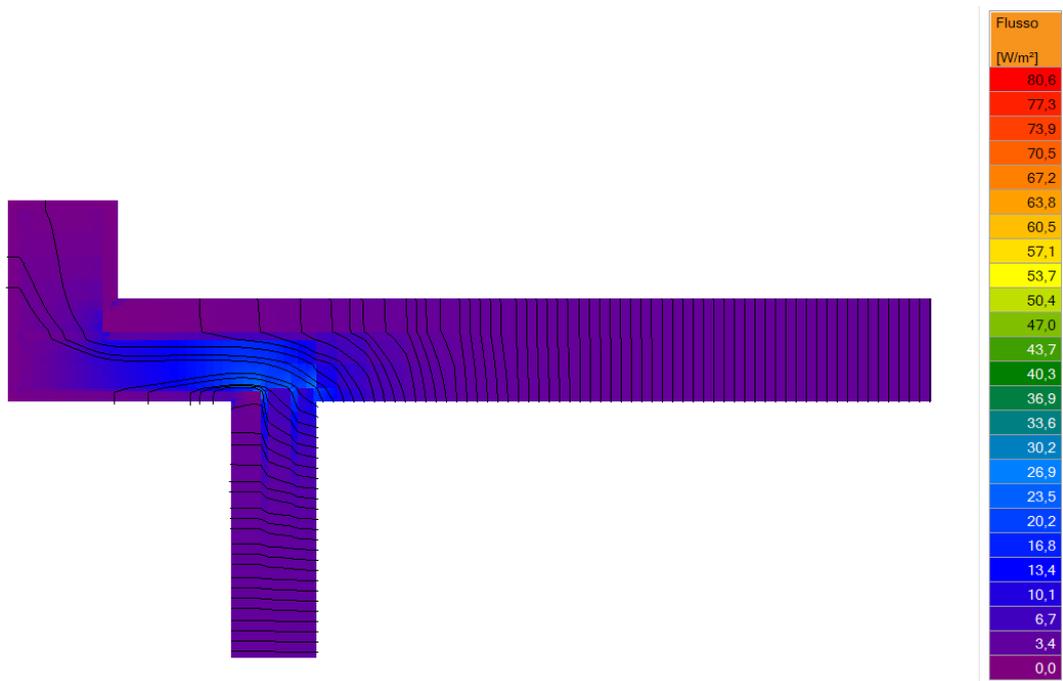


Figura 36 Andamento del flusso termico nel nodo parete copertura con correzione del ponte termico.

7.4.3 Ponte termico davanzale finestre

Il punto debole del nodo finestra davanzale è il davanzale passante in pietra naturale, tipicamente utilizzato nelle costruzioni degli anni '60 e '70. La criticità risiede nel davanzale stesso che genera un passaggio diretto per il flusso termico tra l'ambiente esterno e quello riscaldato interno.



Figura 37 Dettaglio costruttivo davanzale.

Premesso che il dettaglio costruttivo rappresentato in Figura 37 è solo utile a rappresentare il ponte termico prima della correzione, in quanto questa configurazione non ricopre il nuovo spessore dato dal cappotto esterno e quindi non rappresenta un lavoro finito a regola d'arte. Di seguito le distribuzioni grafiche della temperatura e del flusso in questa configurazione in Figura 38 e Figura 39.

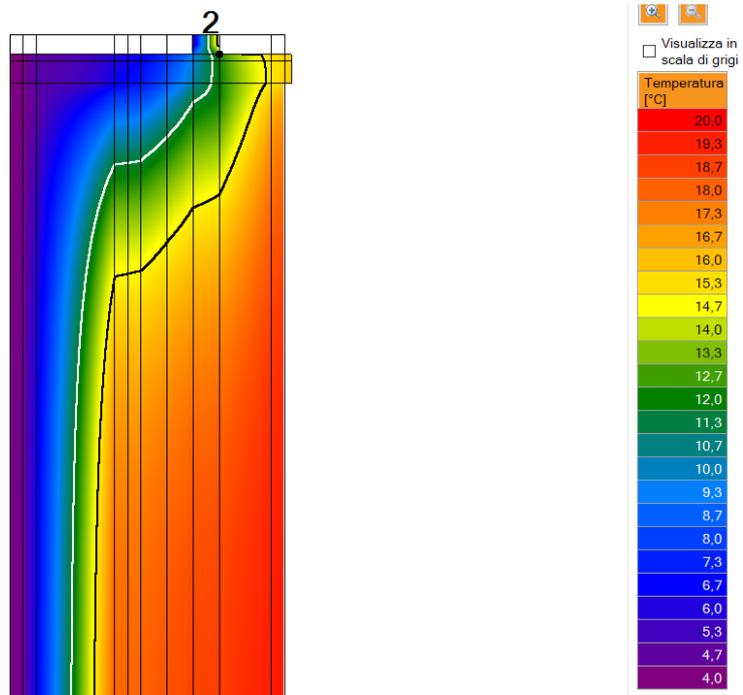


Figura 38 Andamento della temperatura nel davanzale senza correzione.

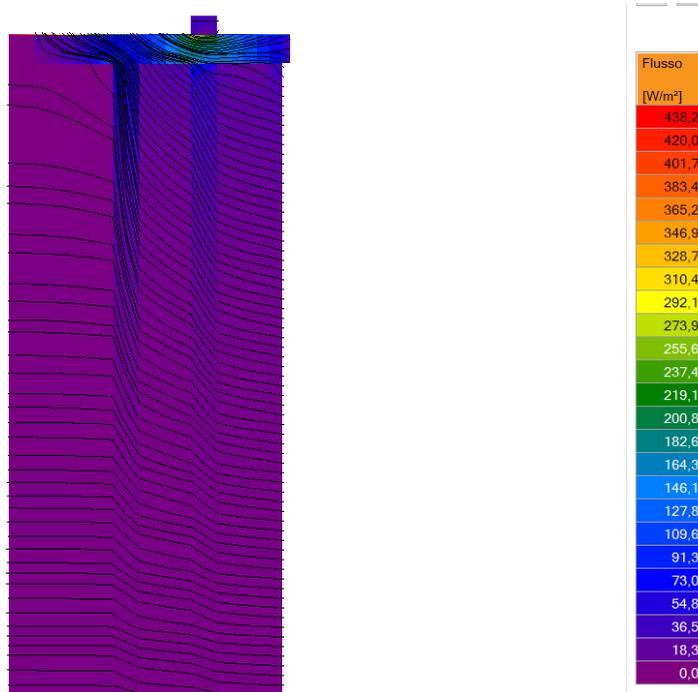


Figura 39 Andamento del flusso termico nel davanzale senza correzione.

La distribuzione della temperatura nel nodo davanzale finestra in Figura 38 mostra un brusco cambiamento in corrispondenza del davanzale passante, inoltre le temperature raggiunte sulla superficie interna del nodo sono tali da causare rischio formazione muffa. Il brusco gradiente termico è giustificato dall'andamento del flusso termico mostrato in Figura 39, in questa è possibile osservare come il flusso si concentri all'interno del davanzale in pietra naturale. Tipicamente la correzione di questo ponte termico prevede il taglio del davanzale, per eliminare il contatto diretto tra i due ambienti, e l'interposizione di coibentante per ridurre la perdita di calore interno. In questo caso si è optato per un nuovo sistema meno invasivo del tradizionale, ma altrettanto efficace; questo metodo prevede la posa di un davanzale pre-coibentato, mostrato in Figura 40, sul davanzale esistente, evitando tagli, aggiustamenti e velocizzando il lavoro. Il dettaglio costruttivo definitivo è mostrato in Figura 41.



Figura 40 Esempio davanzale pre coibentato.

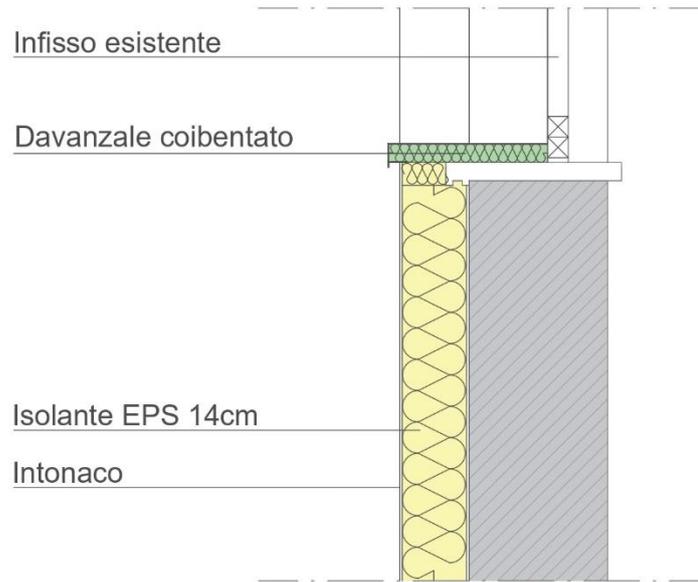


Figura 41 Dettaglio costruttivo nodo davanzale finestra.

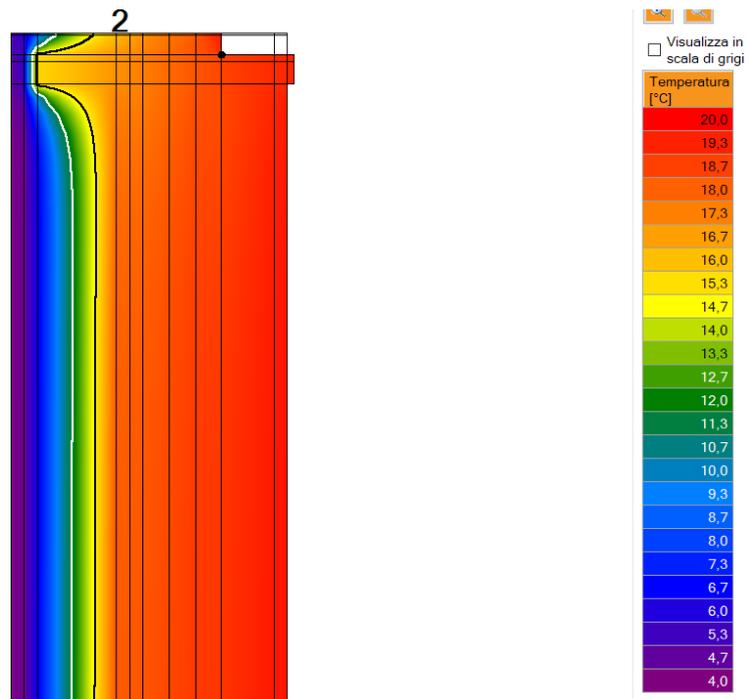


Figura 42 Andamento della temperatura nel davanzale con correzione.

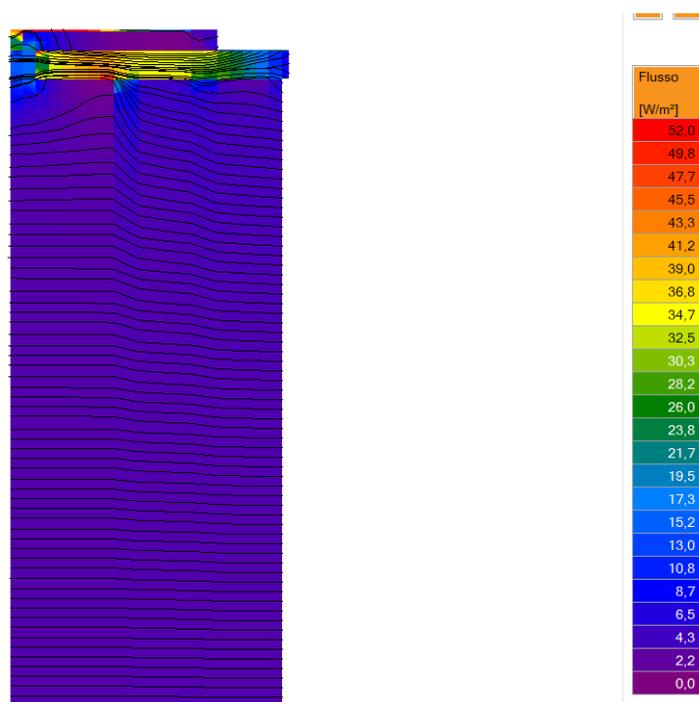


Figura 43 Andamento del flusso termico nel davanzale con correzione.

È possibile osservare dalla Figura 42 come la correzione del ponte termico, data dal nuovo davanzale, attenui notevolmente il gradiente di temperatura all'interno del nodo portando il ponte termico fuori dal rischio formazione muffe. L'andamento del flusso mostrato in Figura 43 mostra che il davanzale resta un punto debole ma il flusso che lo attraversa è notevolmente ridotto, infatti la soluzione migliora la trasmittanza lineica notevolmente passando da 0,798 W/mK del caso riportato come esempio in Figura 37, a 0,062 W/mK.

7.4.4 Ponte termico spallette finestre

Un altro ponte termico assolutamente da evitare è il ponte termico alle spallette dell'infisso. Le spallette sono la parte di parete verticale su cui batte l'elemento finestrato. In caso di installazione di cappotto esterno, se le spallette non vengono trattate, si genererà in prossimità di queste un ponte termico importante, poiché il flusso tenderà a concentrarsi nella zona non coibentata delle spallette, portando un abbassamento della temperatura superficiale interna con conseguente rischio muffa e condensa. In questo caso la correzione del ponte termico è stata eseguita tramite un risvolto del cappotto, andando ad inserire un pannello in Aerogel da 1 cm, abbastanza da bloccare il flusso di calore come mostrato dal dettaglio costruttivo in Figura 44.

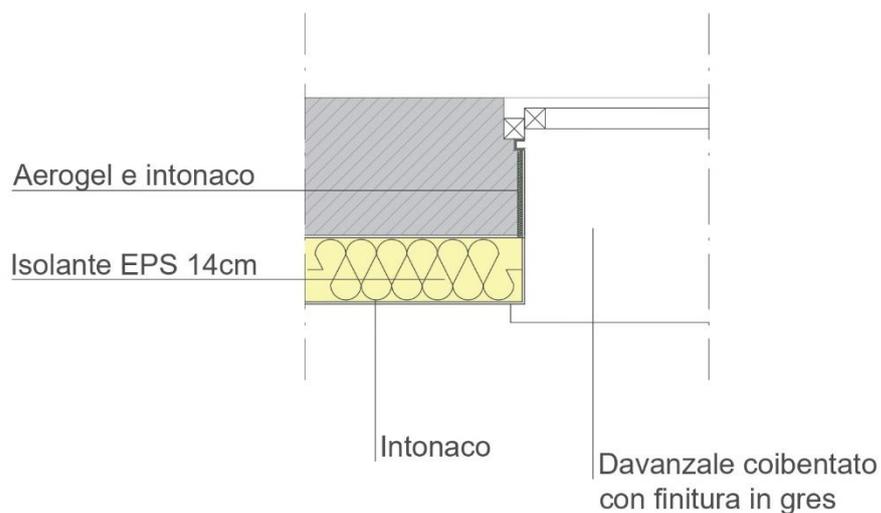


Figura 44 Dettaglio costruttivo spalletta coibentata

7.4.5 Ponte termico cassonetto

Il cassonetto, assieme alle spallette e al davanzale, rappresenta un punto debole dell'interno dell'infisso dal punto di vista energetico. Infatti è doveroso tenere in considerazione il ponte termico associato a questo nodo in quanto può risultare molto gravoso. La soluzione del ponte termico in questo caso è molto semplice, consiste nell'inserire del materiale coibente attorno alla sede dell'avvolgibile come mostrato in Figura 45. Ove non fosse possibile, per motivi di spazio o motivi tecnici, è consigliabile sostituire l'intero cassonetto con uno già precoibentato.

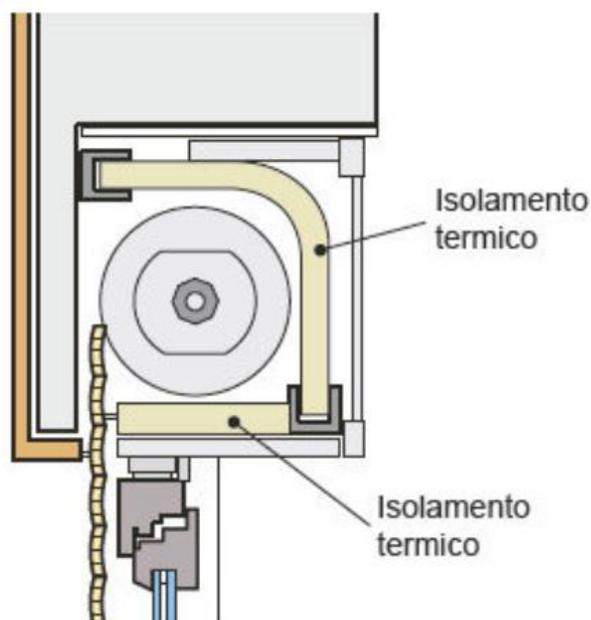


Figura 45 Coibentazione del cassonetto

In questo caso si è optato per la sostituzione dei cassonetti, la trasmittanza lineica del nodo passa da 0,274 W/mK a 0,173 W/mK.

7.4.6 Ponte termico cappotto esterno soletta piano pilotis

All'intersezione del cappotto esterno e della soletta del piano pilotis insorge un ponte termico per geometria e cambio materiale; la discontinuità è dovuta ad un cambio di direzione per cui è stato necessario interrompere il cappotto non potendo eseguire un risvolto all'intradosso del solaio, a causa delle conseguenze relative all'altezza minima da garantire nel piano pilotis. Inoltre, in corrispondenza dell'intersezione visibile in Figura 46, vi è un tubo gas che corre lungo quasi tutto il perimetro dell'edificio aumentando la criticità del nodo. La tubazione gas non può essere spostata o inglobata nel cappotto, deve invece rimanere in condizioni di ispezionabilità e ben arieggiata.



Figura 46 Piano pilotis e tubo gas

In questo nodo il rischio muffa è presente e quindi si è deciso di coibentare, con uno strato di 2 cm di Aerogel, non tutto il solaio ma solo i primi 60 cm in modo da innalzare la temperatura del punto critico, ovvero l'intersezione tra parete e solaio.

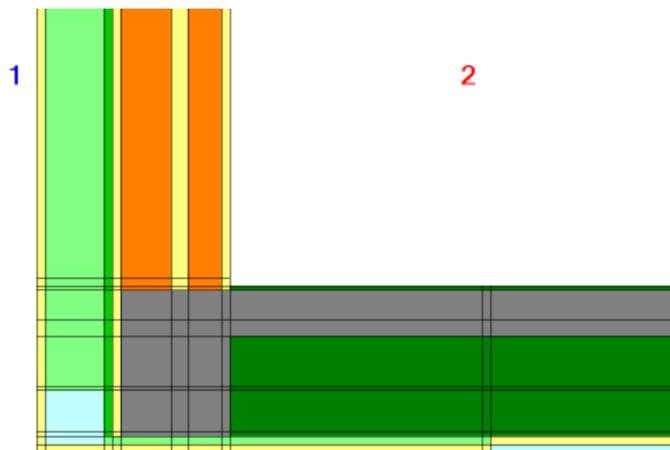


Figura 47 Sezione del nodo piano pilotis.

In Figura 47 una sezione schematizzata estratta dal programma di calcolo IRIS, da questa è possibile vedere in verde sulla sinistra il cappotto termico in facciata che si interrompe in corrispondenza della tubazione del gas. Sempre in verde chiaro

all'intradosso del solaio è visibile lo strato di Aerogel che si estende per 60 cm. Di seguito gli andamenti della temperatura e del flusso termico nel nodo.

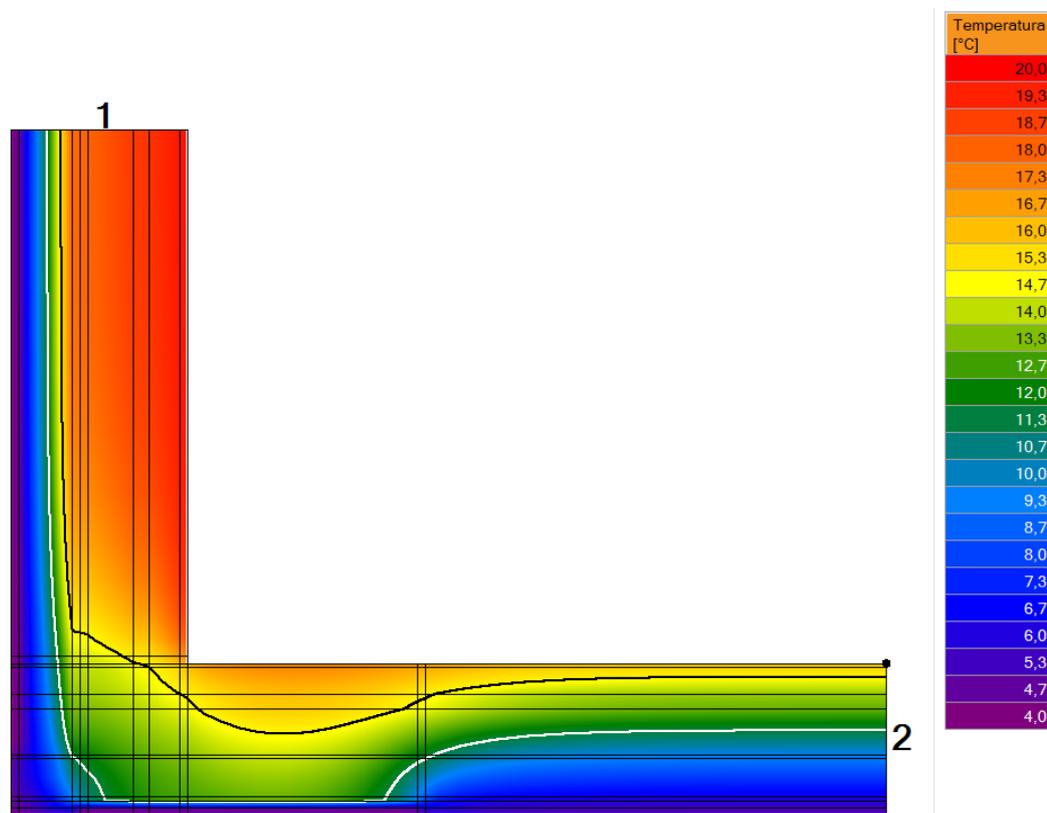


Figura 48 Andamento della temperatura nel nodo parete verticale e piano pilotis.

Dalla Figura 48 è possibile notare come la presenza dell'Aerogel all'intradosso contribuisca ad innalzare la temperatura nel punto più critico si può notare che in corrispondenza dell'interruzione dell'isolante si ha un brusco innalzamento della temperatura lungo tutto il solaio.

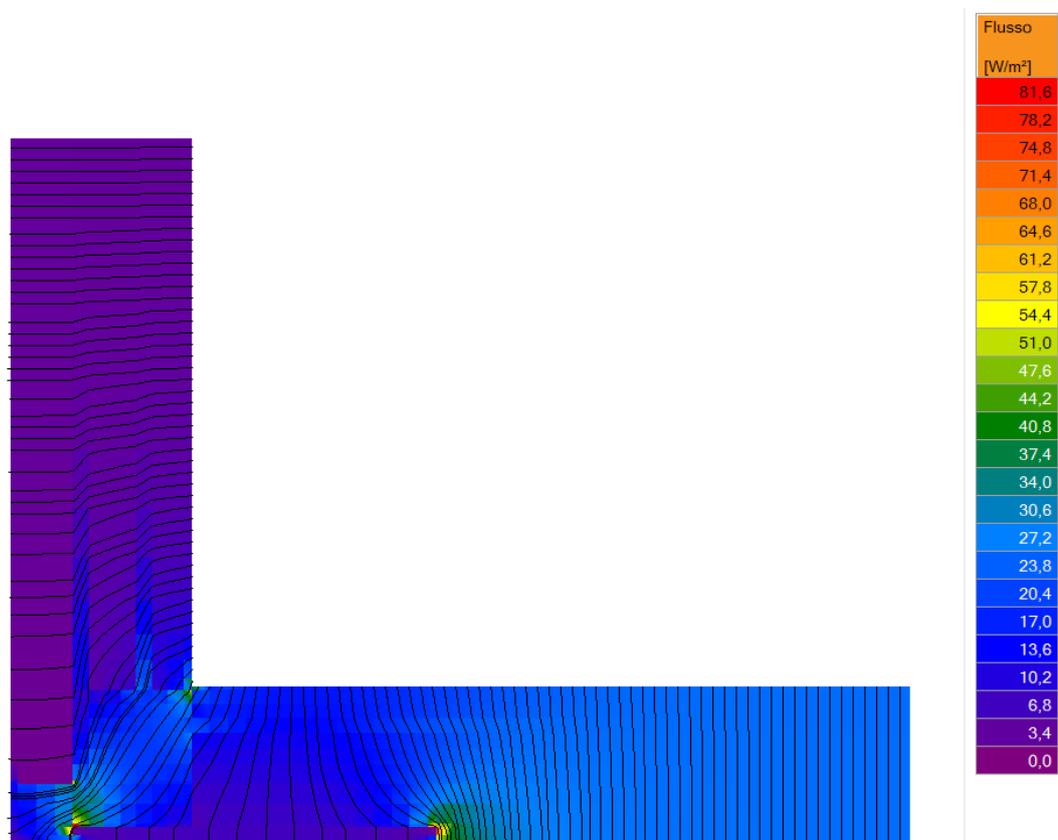


Figura 49 Andamento del flusso termico nel nodo parete verticale e piano pilotis.

L'andamento del flusso termico in Figura 49 evidenzia i punti deboli del nodo, ovvero si ha un incremento notevole del flusso termico in corrispondenza della tubazione del gas in quanto questo non può essere coperto da isolante. Ad aggravare la situazione, dietro la tubazione vi è lo scheletro della struttura portante dell'edificio in calcestruzzo armato; questo è caratterizzato da un'elevata conducibilità termica per via della forte presenza dei ferri di armatura, per questo motivo il flusso è accentuato in corrispondenza della trave.

7.5 Impianto termico

La riqualificazione della centrale termica consisterà nel rinnovo degli elementi principali dell'impianto in modo da adattarlo al nuovo fabbisogno termico e abbassare i costi di manutenzione. A fondo paragrafo in Figura 53 è schematizzato l'impianto di climatizzazione. Di seguito gli interventi svolti.

7.5.1 Generatore di calore:

Il vecchio generatore a basamento verrà sostituito con un nuovo sistema costituito da tre caldaie modulari a condensazione in configurazione "a cascata" dalla potenza complessiva di 297 kW al focolare. Le macchine scelte sono tre Viessmann Vitodens 200 W.



Figura 50 Sistema Viessmann Vitomodul 200 W.

Come è possibile vedere dalla Figura 50 il sistema viene già fornito di collettore coibentato ed è possibile accoppiare un separatore idraulico anch'esso coibentato. Essendo l'edificio isolato è stato possibile diminuire la potenza complessiva del generatore di calore, inoltre questo tipo di configurazione permette il funzionamento alternato delle caldaie andando ad aumentare il range di modulazione della potenza. La logica di funzionamento è molto semplice: considerando, ad esempio, il generatore a monte come principale, esso si avvierà per soddisfare la richiesta termica in condizioni di lavoro ottimali; aumentando la richiesta il generatore principale raggiungerà le condizioni limite di funzionamento efficiente, si avvierà il secondo generatore andando a ripartire il carico termico richiesto tra i due dispositivi riportando il principale in condizioni di ottimo parallelamente al secondo. Il risultato sono due o più generatori che lavorano a carico ridotto in condizioni di ottimo. In questo modo sarà più semplice per il sistema sfruttare la condensazione ed il recupero di calore latente che ne deriva limitando gli sprechi ed i consumi di vettore energetico. Il caso limite si presenta in condizione di pieno carico per tutti i moduli, ma il sistema di regolazione e di ripartizione è concepito per evitare tale situazione non inficiando comunque sui bisogni dell'utenza. Sia per considerazioni di sicurezza che di manutenzione si è deciso di separare tramite uno scambiatore di calore il generatore dai terminali.

7.5.2 Scambiatore a piastre:

Il dimensionamento dello scambiatore di calore a piastre è stato delegato al fornitore al quale sono stati indicati i parametri di ingresso e di uscita del fluido vettore:

- Temperatura mandata circuito primario (lato caldaia) 80°C;
- Temperatura ritorno circuito primario 65 °C;
- Temperatura mandata circuito secondario (distribuzione) 75 °C;
- Temperatura ritorno circuito secondario 60 °C;
- Potenza da scambiare 300 kW;

Da questi dati input, il fornitore è in grado di individuare lo scambiatore adatto al nostro impianto. Nello specifico verrà installato uno scambiatore a 47 piastre funzionante in controcorrente del tipo mostrato in Figura 51.



Figura 51 Scambiatore a piastre tipo.

7.5.3 Pompe di circolazione:

I vecchi circolatori verranno sostituiti con una coppia di elettropompe Grundfos dotate di regolazione con inverter, dimensionate utilizzando il metodo diretto. Al fine di stimare e identificare le colonne e di conseguenza, identificare il ramo di distribuzione critico sono stati rilevati tutti i radiatori dell'edificio mappandone la posizione. Da qui si è disegnato uno schema di massima della rete di distribuzione, sono stati stimati i diametri delle tubazioni secondo il tipo di materiale di cui sono costituiti e la potenza termica che devono trasmettere ed è stato imposta una perdita di carico di 30 mm c.a. al metro di tubazione. Con le ipotesi prima citate si è ipotizzato il ramo con le perdite di carico più alte e stimando le lunghezze si sono calcolate prima le perdite distribuite e in secondo luogo, non conoscendo in dettaglio la geometria della rete di distribuzione si è scelto di aggiungere il 20% delle perdite distribuite per tener conto delle perdite concentrate di tipo geometrico, al risultato si è sommata la perdita relativa agli elementi noti come ad esempio lo scambiatore a piastre, il valvolame, il defangatore e il vaso di espansione.

7.5.4 Valvole di bilanciamento:

Le valvole di bilanciamento sono valvole poste a piè di colonna in modo da indurre una perdita di carico “ottimale” al fine di far defluire la portata necessaria a soddisfare il fabbisogno termico; sono necessarie poiché, man mano che ci allontaniamo dalla pompa di circolazione, le pressioni e le portate diminuiscono generando zone dell’edificio più fredde o, al contrario più calde se in prossimità del circolatore. Attualmente il sistema di distribuzione presenta delle valvole di bilanciamento manuali come mostrato in Figura 52.

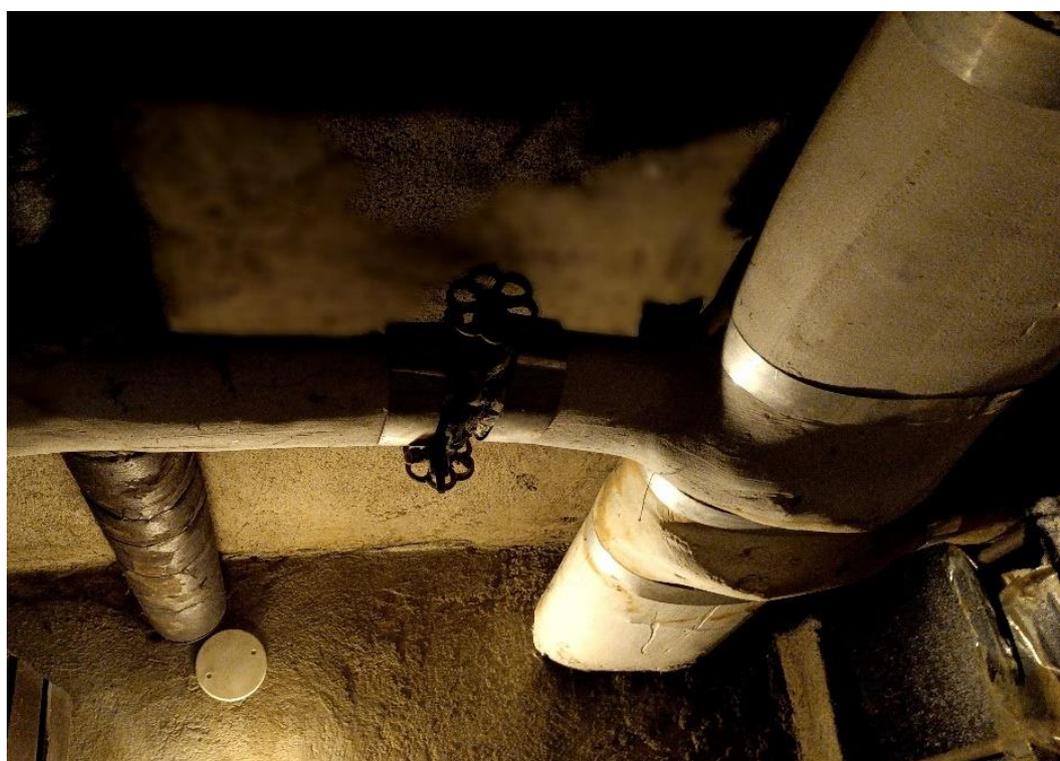


Figura 52 Valvola di bilanciamento manuale.

Questa soluzione non è ideale in quanto il fabbisogno varia a seconda delle condizioni esterne e di conseguenza l’apertura e la chiusura delle termostatiche varia. È quindi in progetto la sostituzione delle valvole manuali con le più moderne valvole automatiche in modo da eliminare gli squilibri dell’impianto. Questo tipo di valvole regolano in modo dinamico le portate e le cadute di pressione della colonna in modo da garantire il giusto apporto.

7.5.5 Vaso di espansione:

Il vaso di espansione è un componente fondamentale per gli impianti di riscaldamento in quanto ha il compito di compensare le variazioni di volume dell'acqua tecnica di tutto l'impianto. Attualmente l'impianto utilizza un vaso d'espansione aperto posto in copertura, in progetto si vuole passare a vaso chiuso ed installarlo in centrale termica per avere tutto in un unico ambiente, in più i vasi aperti tendono ad ossigenare di più l'aria dell'impianto generando più bolle all'interno delle tubazioni e dei corpi scaldanti causando l'aumento delle corrosioni. Questo componente è stato dimensionato con l'Equazione 56:

$$V_n = \frac{e * V_a}{1 - \frac{P_a}{P_e}}$$

Equazione 56 Calcolo del volume del vaso di espansione.

Dove:

- V_n è il volume del vaso di espansione espresso litri;
- V_a è il contenuto di acqua all'interno dell'impianto espresso in litri stimati come 14 litri per ogni radiatore;
- e è il coefficiente di espansione dell'acqua calcolato in base alla massima e alla minima temperatura dell'acqua;
- P_a è la pressione iniziale del gas contenuto nel vaso di espansione, questa è calcolata come la pressione idrostatica del punto di installazione più un valore di pressione cautelativo per evitare depressioni più la pressione di un bar: $P_a = (\text{pressione idrostatica}) + 1.3$ [bar];
- P_e è la pressione assoluta finale del gas nel vaso di espansione calcolata come la pressione massima della valvola di sicurezza più mezzo bar: $P_e = \text{Pressione di taratura della valvola di sicurezza} + 1$ [bar].

Il coefficiente di espansione dell'acqua è calcolato con l'Equazione 57:

$$e = \frac{0.31 + 3.9 * 10^{-4} * 80^2}{100}$$

Equazione 57 Calcolo del coefficiente di espansione dell'acqua.

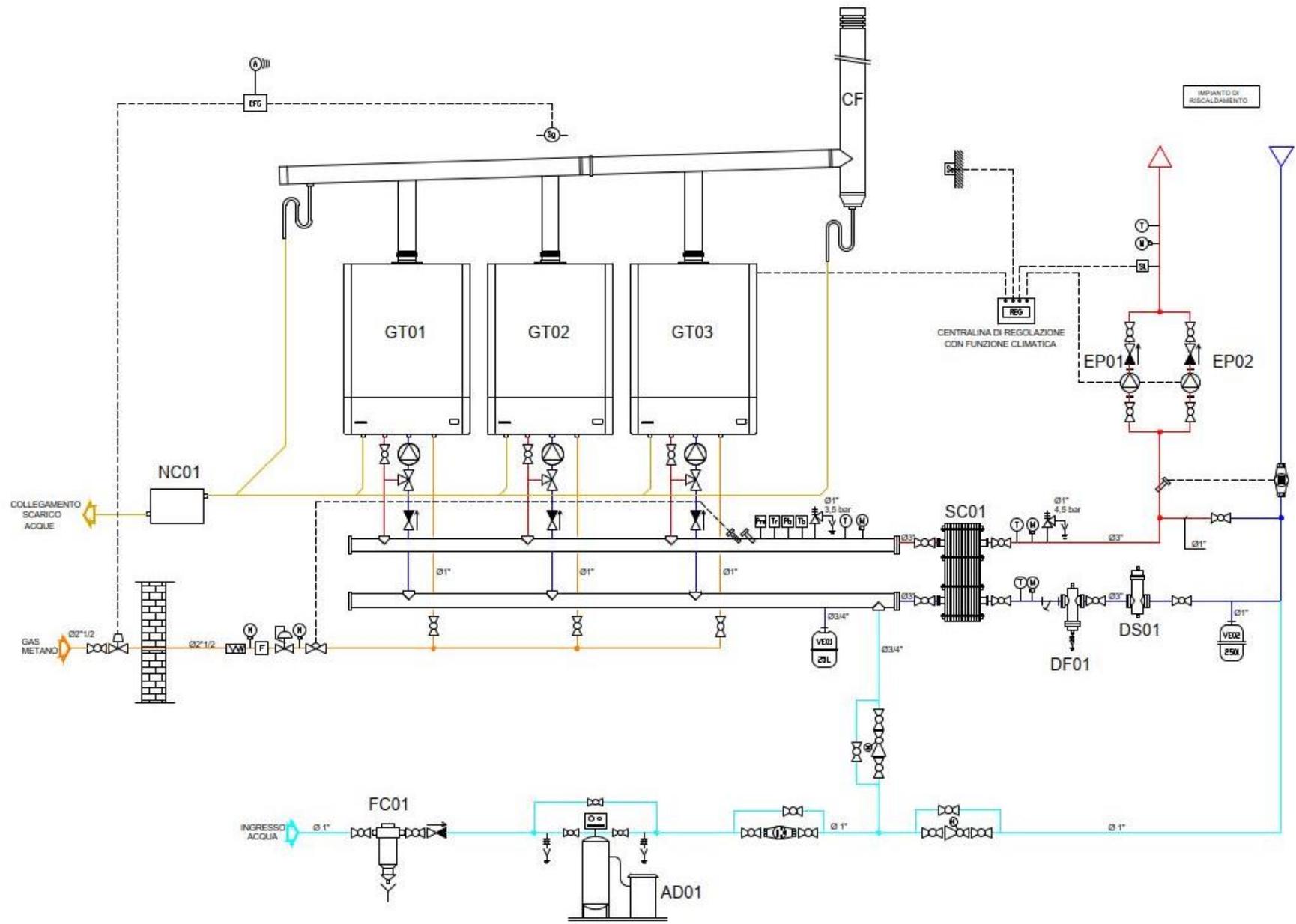


Figura 53 Schema di impianto

7.6 Nuova classe energetica

Come riportato nel Paragrafo 6.7, Edilclima ricalcolerà le nuove dispersioni e fabbisogni con le informazioni inserite per l'intervento di riqualificazione. Di seguito in Tabella 24 i risultati ottenuti per le dispersioni, apporti e fabbisogni di energia utile.

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,r}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh] _t	$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Ottobre	9013	618	4023	13654	5424	7827	13251	2268
Novembre	27374	1515	11672	40561	6585	13813	20397	20190
Dicembre	37683	1580	15920	55184	5831	14273	20104	35079
Gennaio	36258	1496	15438	53192	8574	14273	22847	30349
Febbraio	25977	1505	11242	38724	9530	12892	22422	16437
Marzo	20188	2030	9070	31288	13108	14273	27382	6317
Aprile	7207	844	3377	11427	6990	6906	13896	1263
Totali	163701	9587	70741	244029	56042	84258	140300	111902

Tabella 24 Dispersioni, apporti e fabbisogno utile di energia utile post-intervento.

Di seguito in Tabella 25 i fabbisogni termici ed elettrici per la climatizzazione invernale.

$Q_{H,nd}$ [kWh]	$Q_{e,IN}$ [kWh]	$Q_{c,IN}$ [kWh]	$Q_{d,IN}$ [kWh]	$Q_{gn,IN}$ [kWh]	$Q_{H,aux}$ [kWh]
111902	115721	118082	125887	124395	1705

Tabella 25 Fabbisogni termici ed elettrici port intervento.

Il software di calcolo infine riporta la nuova classe energetica conseguita con gli interventi prima descritti Figura 54.

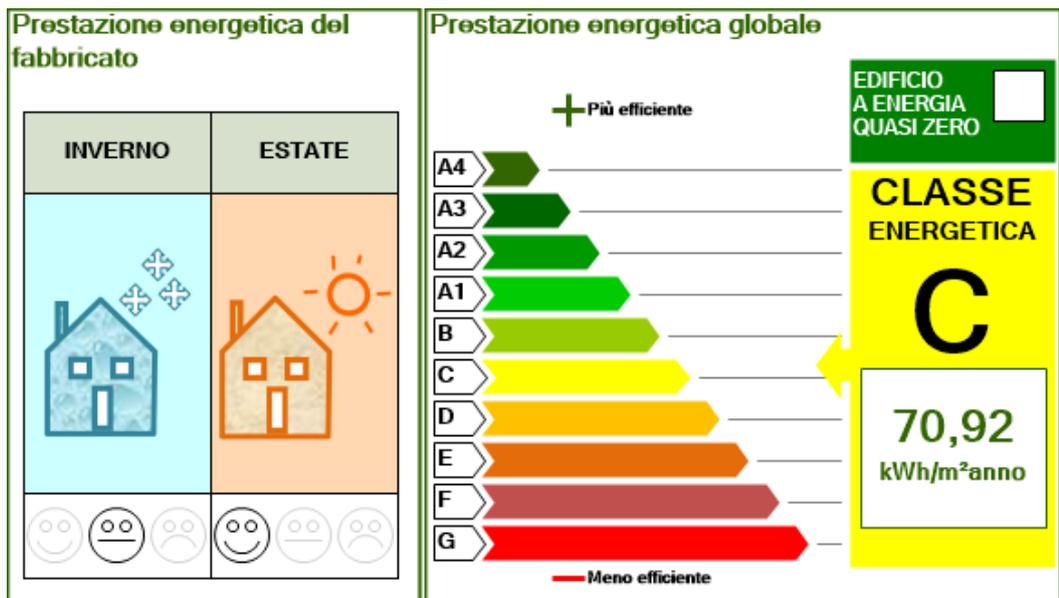


Figura 54 Classe energetica post-intervento.

Si sottolinea che il risultato ottenuto è solo teorico in quanto è l'utente finale il responsabile del corretto o meno utilizzo dell'edificio, la classe energetica calcolata secondo la normativa riporta i consumi ottenibili solo tramite un utilizzo standard dell'edificio. I risultati sul risparmio energetico saranno discussi nei seguenti capitoli.

7.7 Verifiche di legge

Durante le fasi di progettazione è molto importante tenere in considerazione le verifiche di legge in modo da poter consegnare al committente un progetto che possa essere realizzato, anche perché sono fondamentali al fine di ottenere la detrazione fiscale al 110%. In questo il software di calcolo ci viene in contro riassumendo le verifiche da rispettare e i relativi valori limite secondo il decreto 26.6.2015 Requisiti minimi. Il caso in esame rientra nella categoria di riqualificazione importante di secondo livello in quanto la coibentazione riguarda più del 25% delle superfici disperdenti e si è cambiato il generatore di calore senza ristrutturare però l'impianto termico. Questa tipologia di intervento deve, per legge, soddisfare i seguenti requisiti:

- Verifica termoigrometrica delle strutture oggetto d'intervento;
- Trasmittanza media delle strutture opache;
- Trasmittanza media delle strutture trasparenti;
- Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (H'_{t});
- Fattore di trasmissione solare totale;
- Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda sanitaria.

Nello specifico non andiamo a lavorare su l'impianto di ACS quindi, il rispetto di tale requisito non è considerabile come parametro vincolante.

Verifiche di legge D.Interm. 26.06.15

Fase Fase II - 1 Gennaio 2019 edifici pubblici e 1 Gennaio 2021 al... Edificio ad energia quasi zero

Edificio << < Condominio Faro 6 >> >>

Superficie disperdente oggetto di intervento (Sint) 4272,33 m²

Superficie disperdente totale (S) 5749,64 m²

Percentuale di superficie disperdente interessata dall'intervento (Sint/S) 74,31 %

Ristrutturazione importante (di secondo livello) superiore al 25% della superficie disperdente e può interessare l'impianto ter...

Limiti Limiti dal 1 Gennaio 2021 per tutti gli edifici Impianto di riscaldamento esistente

Tipo di calcolo Per confine Impianto produzione acqua calda sanitaria esistente

Impianto di raffrescamento esistente

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica termoigrometrica	Positiva			
Trasmittanza media strutture opache	Positiva			
Trasmittanza media strutture trasparenti	Positiva			
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (HT)	Positiva			
Fattore di trasmissione solare totale	Positiva			
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Positiva			

Dettagli - Verifica termoigrometrica

^ Verifica termoigrometrica delle strutture opache

Cod.	Tipo	Descrizione	Condensa superficiale	Condensa interstiziale
M1	T	Parete perimetrale facciata Nord	Positiva	Positiva
M2	T	Parete perimetrale Sud	Positiva	Positiva
M7	T	Cassonetto	Positiva	Positiva
M8	T	Sottofinestra	Positiva	Positiva
M11	T	Parete perimetrale facciata Nord cassa...	Positiva	Positiva
M12	T	Parete perimetrale Ovest Est cassa vu...	Positiva	Positiva
S1	T	Terrazzo	Positiva	Positiva

Figura 55 Verifiche di legge previste da decreto 26.6.2015.

Come si può vedere dalla Figura 55 l'intervento rispetta tutte le verifiche del caso in quanto:

- La verifica termoigrometrica è rispettata poiché non vi è il rischio di formazione muffe sulla superficie interna dell'involucro, in particolar modo lungo i ponti termici, o condensa del vapor acque all'interno dei componenti dell'involucro (condensa interstiziale).
- Le trasmittanze medie delle pareti verticali sono sotto i 0,280 W/m²K e i soffitti e pavimenti sotto il 0,240 W/m²K come mostrato in Figura 56;

Tipo di verifica		Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica termoigrometrica		Positiva			
Trasmittanza media strutture opache		Positiva			
Trasmittanza media strutture trasparenti		Positiva			
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)		Positiva			
Fattore di trasmissione solare totale		Positiva			
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...		Positiva			

Dettagli - Trasmittanza media strutture opache					
Trasmittanza media delle strutture opache					
Cod.	Tipo	Descrizione	Verifica	U amm. [W/m²K]	U media [W/m²K]
M	T	Pareti verso esterno	Positiva	0,280 ≥	0,277
S	T	Soffitti verso esterno	Positiva	0,240 ≥	0,184

Figura 56 Trasmittanza media strutture opache.

- Le trasmittanze medie degli infissi sono sotto il valore di 1.4 W/m²k;
- L'H_t o coefficiente globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente è calcolato solo sulle unità abitate oggetto dell'intervento. In questo caso è verificato in quanto ogni unità abitativa presenta un valore di H_t inferiore al valore soglia di 0,65 W/m²K.
- Il fattore di trasmissione solare g_{gl+sh} che tiene conto dei contributi sia del vetro "gl" che dalla chiusura oscurante "sh" è inferiore al valore soglia di 0.35;
- L'efficienza media stagionale dell'impianto di riscaldamento, ovvero il rapporto tra l'energia termica fornita e l'energia primaria, considerando quindi tutti i vettori energetici impiegati, rispetta il valore limite del 73,3%.

8 Aspetti economici

Nel presente paragrafo verranno esaminati gli aspetti economici dell'intervento, nello specifico si analizzerà il quadro economico dell'intervento e in seguito i risparmi ottenuti.

8.1 Quadro economico

Il quadro economico dell'intervento è un documento che racchiude tutte le spese sostenute al fine di completare l'intervento di riqualificazione. Il quadro conterrà quindi informazioni riguardo gli importi dei lavori calcolati tramite computo metrico estimativo e preventivi, i relativi massimali di spesa detraibili calcolati secondo l'articolo 119 del decreto legge n. 34/2020, il decreto MITE per i massimi specifici per ogni intervento e le spese tecniche per la progettazione calcolate secondo i valori stabiliti dal D.M 17/06/2016.

Al fine di individuare i massimali per le singole opere è necessario individuare chi può concorrere al massimale e chi vuole farlo, al tal scopo è utile fornirsi di una mappa catastale, un elenco subalterni e le relative visure catastali. In questo modo si ha un quadro completo di posizione e categoria catastale di ogni subalterno e pertinenza. Come già detto in precedenza a concorrere per il massimale dei lavori trainanti sono gli immobili dell'edificio e le pertinenze che ricadono all'interno della sagoma dell'edificio se accatastate a parte. Nello specifico si hanno 81 unità immobiliari, di queste 53 sono abitative e 28 sono pertinenze, quindi nello specifico i massimali di spesa calcolati sono:

- Per la realizzazione del cappotto termico 2'510'000,00€;
- Per la sostituzione del generatore di calore 1'255'000,00€;
- Per il Sismabonus 7'776'000,00€;
- Per la sostituzione degli infissi 2'890'908,85€;
- Per la sostituzione delle chiusure tecniche 2'890'908,85€.

Al fine di stabilire gli importi dei relativi lavori si redige un computo metrico estimativo; questo documento ha lo scopo di individuare le lavorazioni necessarie al fine di realizzare l'intervento e di dare un costo ad ognuna di queste. Le voci di computo, ovvero il dettaglio di ogni lavorazione, sono contenute all'interno di prezziari che possono essere regionali o nazionali (DEI) con il relativo costo. Il computo viene costruito scegliendo le voci per le lavorazioni dai prezziari e indicandone la quantità opportunamente ripartita in materiali e manodopera. Nello

specifico le lavorazioni da eseguire sono state concordate tra impresa e progettisti, in modo da trovare la giusta soluzione tra spesa e opera. Durante la fase di cantiere possono insorgere imprevisti o cambi di programma con conseguente modifica delle voci o delle quantità del computo, per questo motivo è bene concordare con l'impresa un margine di spesa dai massimali prima calcolati in modo da non sforarli. Il computo è stato realizzato seguendo principalmente il prezzario regione Lombardia, ma per alcune lavorazioni è stato necessario utilizzare il prezzario DEI o realizzare un nuovo prezzo chiedendo offerte economiche ai fornitori. I costi calcolati per l'intervento sono i seguenti:

- Per la realizzazione del cappotto termico 1'657'123,57€ iva esclusa;
- Per la sostituzione del generatore di calore 96'633,06€ iva esclusa;
- Per il Sismabonus 1'958'574,21€ iva esclusa;
- Per la sostituzione degli infissi 478'150,21€ iva esclusa;
- Per la sostituzione delle chiusure tecniche 120'172,78€ iva esclusa.

Per quanto riguarda le spese professionali relative alla progettazione il DM del 17/06/2016 impone dei limiti da rispettare, in particolare, ad ogni elaborato prodotto per un relativo intervento è associata una percentuale dell'importo lavori, in questo modo si attribuisce un costo ad ogni documento o lavoro necessario alla progettazione. Le parcelle da DM sono le seguenti:

- Per la progettazione del cappotto termico 180'386,24€;
- Per la progettazione della centrale termica 19'223,40€;
- Per la progettazione sul rinforzo sismico 173'881,58€;
- Per la progettazione dei componenti finestrati 70'839,27€;
- Per la progettazione delle chiusure oscuranti 26'214,59€.

L'importo totale dei lavori corrisponde a 5'564'942,55€, l'intero importo può essere detratto al 110% quindi risulta gratuito ai condomini poiché si sono applicate le modalità di cessione del credito come definito dall'Art. 121. Di seguito, in Tabella 26, è riportato il quadro economico che riassume gli importi prima citati.

SCHEMA QUADRO ECONOMICO DELL'INTERVENTO

TRAINANTE 1: ISOLAMENTO INVOLUCRO	TRAINANTE 2: SOSTITUZIONE GENERATORE	TRAINANTE 3: SISMABONUS	INTERVENTO TRAINATO 1: SOSTITUZIONE SERRAMENTI	INTERVENTO TRAINATO 2: INSTALLAZIONE CHIUSURE TECNICHE	INTERVENTO TRAINATO 4: IMPIANTO FOTOVOLTAICO	INTERVENTO TRAINATO 5: ACCUMULO	INTERVENTO TRAINATO 6: COLONNINA	INTERVENTO TRAINATO 7: ASCENSORE	INTERVENTO RISTRUTTURAZIONE SDN	INTERVENTO BONUS FACCIAE 80%	INTERVENTO NUOVA COSTRUZIONE
---	---	----------------------------	--	---	---	---------------------------------------	--	--	------------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

IMPORTO MASSIMO DETRAIBILE/CEDIBILE

Massimale per unità immobiliare	30 000,00 €	20 000,00 €	96 000,00 €	54 545,45 €	54 545,45 €				96 000,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	
Unità immobiliari ammesse alle detrazioni UI	81	81	81	53	53	-	-	-	0	0			
Massimale per kWp						1 600,00 €	1 000,00 €	1 500,00 €					
n° kWp						0,00	0,00	0,00					
a	MASSIMO LORDO DETRAIBILE	2 510 000,00 €	1 255 000,00 €	7 776 000,00 €	2 890 908,85 €	2 890 908,85 €	0,00 €	17 322 817,70 €					

IMPORTO LAVORI

b	IMPORTO LAVORI IVA ESCLUSA	1 657 123,57 €	96 633,06 €	1 958 574,21 €	478 150,21 €	120 172,78 €	0,00 €	4 310 653,83 €						
c	IMPORTO IVA INCLUSA (IVA 10%)	1 822 835,93 €	106 296,37 €	2 154 431,63 €	525 965,23 €	132 190,06 €	0,00 €	4 741 719,21 €						

SPESE TECNICHE

d.1	TOTALE SPESE TECNICHE CASSA E IVA ESCLUSE	179 876,25 €	19 169,05 €	173 881,58 €	70 853,92 €	26 220,01 €	0,00 €	470 000,80 €						
d.2	NOMINA Responsabile dei lavori	33 142,47 €	1 932,66 €	39 171,48 €	9 563,00 €	2 403,46 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	86 213,08 €
e	CONTRIBUTO 4% (su d)	8 520,75 €	844,07 €	8 522,12 €	3 216,68 €	1 144,94 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	22 248,56 €
f	IVA AL 22% (d + e)	48 738,68 €	4 828,07 €	48 746,54 €	18 399,39 €	6 549,05 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	127 261,74 €
g	SPESE TECNICHE CASSA E IVA INCLUSE (d + e + f)	270 278,15 €	26 773,85 €	270 321,73 €	102 032,99 €	36 317,45 €	0,00 €	705 724,17 €						
	Asseverazione fiscale (IVA 4% + 22%)	45 147,63 €	2 870,27 €	52 300,96 €	13 545,67 €	3 634,64 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	117 499,17 €
h													% SPESE TECNICHE SUI LAVORI (d/b)	10,90%

i	TOTALE LAVORI + SPESE TECNICHE E VERIFICA MASSIMALI (c + g)	2 138 261,71 €	135 940,49 €	2 477 054,32 €	641 543,89 €	172 142,15 €	0,00 €	5 564 942,55 €						
	TOTALE EXTRA DA PAGARE (i - a)	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	- €

Tabella 26 Quadro economico di intervento

8.2 Risparmio energetico economico

Al fine di analizzare i risultati conseguiti con la riqualificazione energetica possiamo considerare il delta dei fabbisogni di energia primaria per riscaldamento, il consumo dei vettori energetici e le emissioni di CO₂ della situazione ante e post-intervento.

Servizio	Qp,tot pre [kWh]	Qp,tot post [kWh]	Delta Qp,tot [kWh]
Riscaldamento	608116	133341	474775

Tabella 27 Confronto risultati di energia primaria prima e dopo l'intervento.

In Tabella 27 sono riportati i consumi di energia primaria per riscaldamento prima e dopo l'intervento, in particolare il confronto mostra un forte risparmio di energia primaria con il 78% circa di kWh annui in meno rispetto alla condizione di partenza. Ovviamente questa diminuzione di energia primaria incide direttamente sui consumi dei vettori energetici e le emissioni di CO₂ riguardanti l'impianto di riscaldamento. Il confronto di questi parametri è visibile in Tabella 28, Tabella 29 e Tabella 30, in cui sono mostrati rispettivamente i consumi di metano, energia elettrica ed emissioni di CO₂.

Vettore energetico	Consumo pre intervento [Nm ³ /anno]	Consumo post intervento [Nm ³ /anno]	Delta consumo [Nm ³ /anno]
Metano	74126	29189	44937

Tabella 28 Confronto consumo del vettore energetico metano prima e dopo l'intervento.

Vettore energetico	Consumo pre intervento [kWhel/anno]	Consumo post intervento [kWhel/anno]	Delta consumo [kWhel/anno]
Energia elettrica	7538	5156	2382

Tabella 29 Confronto consumo del vettore energetico energia elettrica prima e dopo l'intervento.

Emissioni di CO2	Emissioni CO2 pre intervento [kg/anno]	Emissioni CO2 post intervento [kg/anno]	Delta emissioni [kg/anno]
Riscaldamento	158199	63302	94897

Tabella 30 Confronto emissioni di CO2 prima e dopo l'intervento.

A livello teorico è stato possibile raggiungere questi risultati ripartiti come da Tabella 31:

Intervento	Isolamento termico	Sostituzione dei serramenti	Sostituzione impianto termico
Risparmio energetico conseguito (kWh/anno)	305850	148462	20463

Tabella 31 Ripartizione del risparmio energetico conseguente alla riqualifica dell'edificio.

Da Tabella 31 possiamo notare che l'intervento più consistente per il risparmio riguarda l'involucro, che si traduce nella possibilità di ridurre le ore di funzionamento dell'impianto di climatizzazione. La sostituzione dell'impianto termico porta comunque ad un risparmio teorico importante, dovuto alla migliore efficienza dei nuovi generatori, il nuovo isolamento della rete di distribuzione ed il nuovo sistema di circolazione del fluido vettore. Dai risultati ottenuti si evidenzia una diminuzione del consumo di metano di 39069 Nm³ all'anno, corrispondenti ad una diminuzione del 61% rispetto alla condizione pre-intervento. Per l'energia elettrica si ha un risparmio di 2523 kWh annui, corrispondenti ad una diminuzione del 32% e, per quanto riguarda le emissioni di CO₂, si ha una riduzione delle emissioni di 82712 kg ovvero una diminuzione del 60% rispetto allo stato di fatto.

In questo periodo storico di crisi, generate da un susseguirsi di concause sociosanitarie e geopolitiche, sono state messe in risalto le criticità dell'attuale mix energetico con conseguenza dell'instabilità dei prezzi dei vettori energetici. In particolare, si riporta l'andamento del prezzo del metano dal 2015 fino al febbraio 2023 in Figura 55.

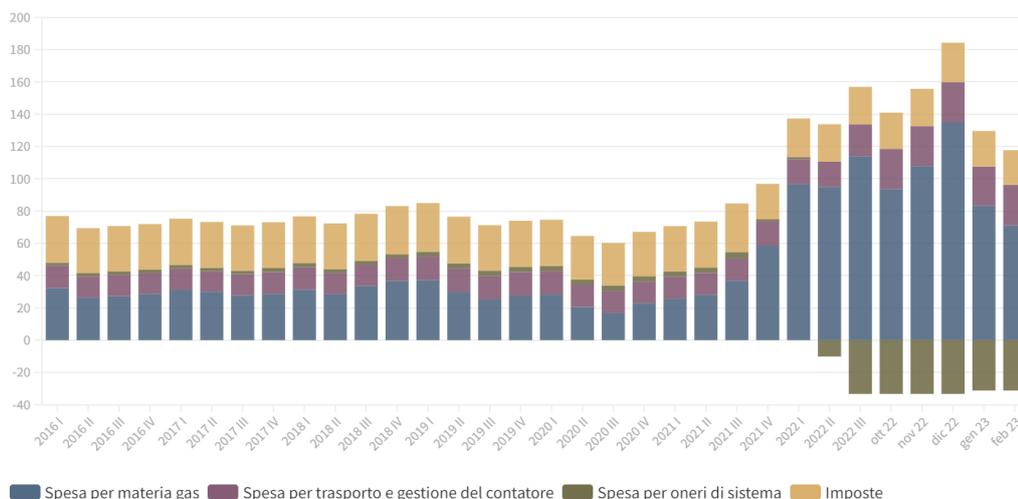


Figura 57 Andamento prezzo metano c€/m³ (fonte ARERA).

A fronte di una fluttuazione dei prezzi così importante non è facile quantificare, in termini economici, un risparmio effettivo sulla bolletta del gas. Si può però affermare che, rispetto alla situazione pre-intervento, si avrà un teorico risparmio annuo calcolato del 61% in quanto è stato diminuito il fabbisogno di metano. Stesso discorso vale per il costo dell'elettricità che presenta fluttuazioni molto importanti nello stesso periodo di tempo come mostrato in Figura 58.

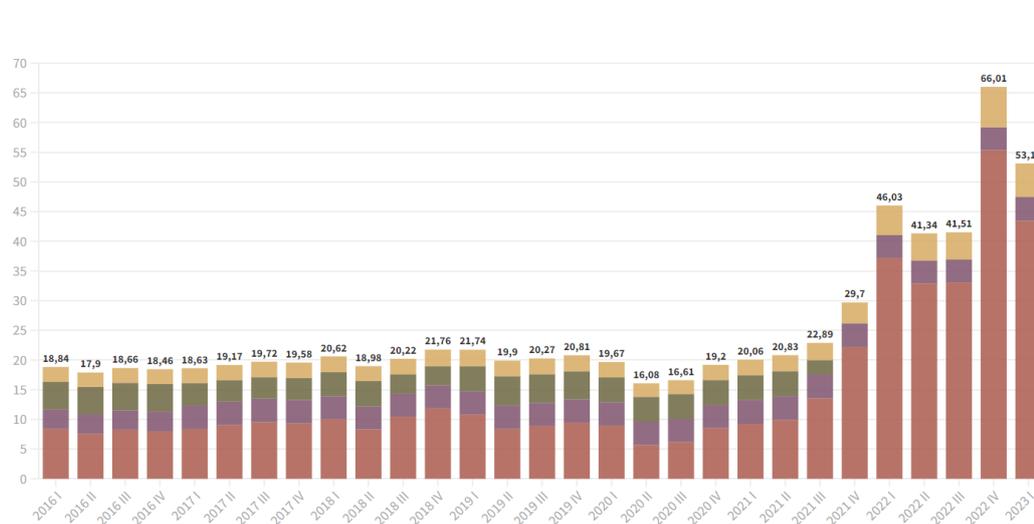


Figura 58 Andamento prezzo elettricità c€/kWh

Stesso ragionamento è valido anche per il tempo di ritorno dell'investimento, anche se questo comunque risulti essere dell'ordine di grandezza dei cento anni. Tempi di ritorno così alti sono giustificabili dal fatto che i prezzi dell'edilizia si sono alzati di molto durante il periodo del Superbonus per via dell'alta domanda del mercato e della bassa disponibilità dei materiali. Uno studio condotto da Wired, il quale ha

analizzato la differenza di prezzo medio di intervento tramite le asseverazioni registrate sul portale ENEA nel periodo 08/21 e 05/22, ha riportato, per le lavorazioni eseguite su condomini, una variazione di prezzo di circa il 20% [33].

Sempre più spesso nel quotidiano si seguono scelte progettuali in base alla disponibilità del materiale, e di conseguenza a non poter realizzare la miglior alternativa al caso. Nello specifico caso in esame si presentava un involucro logoro e poco prestante dal punto di vista strutturale, questi fattori hanno innalzato il costo dell'intervento per via del necessario adeguamento sismico. Considerando che l'intervento ricade interamente nei massimali imposti dal 110%, il committente, con l'applicazione della cessione del credito, avrà lo sconto del 100% sull'importo dei lavori e di conseguenza un tempo di ritorno dell'investimento nullo.

9 Conclusioni

Quanto affrontato nel caso studio dimostra l'importanza della riqualificazione energetica nell'ambito del risparmio energetico e la sua centralità in una società sempre più sostenibile a livello ambientale. Dai risultati ottenuti si evince come l'efficientamento del nostro patrimonio immobiliare nazionale sia decisivo anche in un contesto economico e geopolitico, a causa della carenza di fonti energetiche primarie nel nostro Paese, costretto ad importare una quantità sempre maggiore per soddisfare i bisogni della popolazione sia in ambito civile che industriale. Questa situazione pone l'Italia in una posizione di debolezza nei confronti di altre nazioni, in particolare come avvenuto durante la crisi russo-ucraina del 2022 ed il conseguente conflitto che è stato scatenato. Come dimostrato al paragrafo 8.2, attraverso l'efficientamento energetico è stato possibile ridurre di quasi 2/3 il fabbisogno energetico dell'edificio, accanto ad una analoga diminuzione di emissione di CO₂. Bisogna precisare che in mancanza di dati effettivi sui consumi energetici attuali non forniti dagli utenti, i risultati ottenuti hanno carattere teorico. Seppur applicata la normativa vigente, il calcolo progettuale tiene conto solo relativamente di diversi fattori variabili quali imprevisti di cantiere sulla posa in opera e sulla manutenzione futura. Come da contratti stipulati l'immobile deve essere consegnato a regola d'arte, tuttavia le prestazioni andranno a diminuire sul medio-lungo periodo a causa dell'invecchiamento dei materiali, oppure eventuali fenomeni meteorologici particolari che si discostano eccessivamente dalle condizioni di progetto, come periodi prolungati di temperature esterne inferiori alla media. Accanto a fattori variabili naturali non possono essere previsti i comportamenti degli utenti in materia di risparmio energetico, ad esempio un uso prolungato dell'impianto di climatizzazione nonostante siano state raggiunte le condizioni di progetto, una ventilazione dei locali mancata o effettuata in periodi della giornata poco consoni o con la climatizzazione accesa. Parallelamente ad una riqualificazione del costruito, si rende necessaria una corretta educazione del pubblico sui vantaggi che potrebbe ottenere da un comportamento etico sull'uso delle risorse messe a disposizione. L'introduzione della detrazione fiscale al 110% ha portato un grande bacino di utenza nel settore privato, ad avviare lavori di riqualifica sia di tipo edile che di tipo impiantistico, nonché alla capillarizzazione degli impianti fotovoltaici ad uso domestico e privato. Tale ecobonus si è rivelato fondamentale per iniziare una svolta nel contesto energetico nazionale, sia per l'utilizzo massiccio che ne è stato, con oltre 380 mila pratiche di asseverazione già depositate [30] a fronte di oltre 340 mila cantieri avviati [31]. Tale analisi deve tenere in considerazione i criteri di accesso al Superbonus visti al Paragrafo 4.2, che, all'interno di un ampio e diversificato panorama residenziale, ha effettivamente efficacia solamente su una percentuale limitata.

Nonostante il “Superbonus” sia stato fondamentale per avviare i processi di riqualifica degli edifici, purtroppo è stato caratterizzato da numerose difficoltà, sia di carattere burocratico che economico. La normativa vigente in alcuni aspetti risulta ancora datata e poco chiara alle ultime richieste in tema di edilizia, oppure sui certificati “CAM”, certificazione si prevista a livello U.E. dal “G.P.P” (Green Public Procurement) ma prettamente nazionale. Il Green Public Procurement è un sistema di acquisti di prodotti e servizi ambientalmente preferibili, cioè "quei prodotti e servizi che hanno un ridotto effetto sulla salute umana e sull'ambiente rispetto ad altri prodotti e servizi utilizzati per lo stesso scopo" [32]. Il Ministero della Transizione Ecologica con il D.I. 11 aprile 2008 stabilisce il PAN GPP (Piano d’Azione Nazionale) che fornisce un quadro generale sul Green Public Procurement, definisce degli obiettivi nazionali, identifica le categorie di beni, servizi e lavori di intervento prioritarie per gli impatti ambientali e i volumi di spesa sulle quali definire i ‘Criteri Ambientali Minimi’; tale certificazione ha carattere nazionale, ponendo perplessità sull’utilizzo di materiali esteri con certificazione equivalente. Per venire incontro a queste situazioni l’articolo 119 del “Decreto Rilancio” ha subito numerose revisioni e aggiornamenti dettate da molteplici buchi normativi o aspetti di tipo economico che sono stati trascurati nella prima scrittura. Aspetti poco chiari sui meccanismi di cessione del credito fiscale, nuove figure intermediare, mancati controlli a monte delle richieste hanno portato un impegno economico così imponente a subire una speculazione finanziaria altrettanto imponente, dettata dall’aumento esponenziale dei costi per l’edilizia sia di manodopera che di materiale, nonché a livello finanziario e malavitoso; il fatto stesso di un ritorno economico superiore all’importo lavori (appunto 110%) ha avuto come immediata conseguenza la scomparsa del concetto di competitività di un’impresa. Gli aggiornamenti hanno limitato solo in parte questo aspetto con azioni più o meno drastiche, portando allo scontro le istituzioni ed il settore edile, parzialmente contenuto dai “Decreti Aiuti” conseguenti al conflitto russo-ucraino, fino ad arrivare al D.L. del 17 febbraio 2023. Il decreto chiude definitivamente la detrazione fiscale al 110% portandola al 90%, ne specifica e ne limita ulteriormente gli accessi, regola i lavori edili già avviati ed ancora in corso. Con il report di febbraio 2023, la società “Nomisma” quantifica che, lo Stato ha sostenuto una spesa pari a 71,8 miliardi di euro per le opere di efficientamento al Superbonus 110%, di cui il 47% ha riguardato i condomini. Il ritorno economico previsto nonché la copertura del disavanzo dello Stato è strettamente legato ad un aumento del PIL conseguente al decreto, quindi da verificare nell’arco dei prossimi cinque anni [29]. Il medesimo studio stima una riduzione delle emissioni di CO₂, proveniente dal comparto residenziale di 1,42 milioni di tonnellate, con un investimento medio di 59 euro per tonnellata di CO₂. Sul piano del risparmio energetico l’ENEA ha riportato che l’Italia ha iniziato ad adempire agli impegni presi per il 2030, in particolare nel 2021, anno in cui inizia il nuovo periodo di monitoraggio al 2030, si sono registrati risparmi di circa 1,1 Mtep/anno contro gli attesi 1,26, dei quali

ottenuti grazie alle misure di detrazione fiscale 0,516 Mtep/anno, un risultato che supera il valore atteso di 0,33 Mtep/anno [31].

Dall'elaborato svolto è stata dimostrata l'importanza della riqualificazione energetica degli edifici nella lotta alle emissioni dei gas serra e dei consumi energetici, ma anche lo stretto legame tra gli obiettivi che la nostra società si impone in campo energetico ed il concetto di incentivo per accelerare il raggiungimento di quest'ultimi, nonché l'impegno della comunità nella salvaguardia del clima e dell'ambiente.

10 Bibliografia e sitografia

1. “Il PNIEC e il Piano per la transizione ecologica” Documentazione parlamentare FOCUS 16 dicembre 2021;
2. “Stato dell'arte del patrimonio edilizio nazionale e analisi degli Attestati di Prestazione Energetica (APE)” ENEA dicembre 2019;
3. DECRETO-LEGGE 19 maggio 2020, n. 34;
4. “Decreto Rilancio: cosa prevede per le famiglie” Ministero dell’Economia e delle Finanze 19 maggio 2020;
5. “Decreto-Legge 19 maggio 2020, n. 34, Misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all'economia, nonché di politiche sociali connesse all'emergenza epidemiologica da COVID-19” Gazzetta Ufficiale 2020;
6. “Decreto Ministeriale 19 Febbraio 2007 "Decreto Requisiti” Gazzetta Ufficiale 2007;
7. “Agenzia informa/ Superbonus/ Introduzione” Agenzie delle Entrate;
8. “Super Ecobonus 110%: chi può usufruirne e su quali immobili” CAF CGIL;
9. “DM 383 del 6 ottobre 2022” Ministero della transazione ecologica 2022;
10. “Direttiva UE 2018/844 del parlamento europeo e del consiglio del 30 maggio 2018”; 2018
11. “D.Lgs. 3 marzo 2011, n. 28 - Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE (G.U. 28 marzo 2011 n. 71, S.O. n. 81”;
12. “Legge 10/91: Norme per l’attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia, G.U. 16 gennaio 1991, n. 13;
13. Storia normativa energetica del settore edilizio: genesi e prospettive “<https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/storia-normativa-energetica-settore-edilizio/#Storia-della-normativa-energetica>” 2021
14. Legge 10/91: Norme per l’attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia, G.U. 16 gennaio 1991, n. 13.;
15. “Direttiva Europea 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio dell’Unione Europea del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico in edilizia, G.U. della Comunità Europea 4 gennaio 2003, n. L1/65” 2002;
16. “Direttiva Europea 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio dell’Unione Europea del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell’edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull’efficienza energetica. G.U. della Comunità Europea 19 giugno 2018, n. L156/75.”

17. “Linee guida nazionali per l’attestazione della prestazione energetica degli edifici DM LINEE GUIDA APE D.M. 26 Giugno 2015”
18. Attestato prestazione energetica (APE) “<https://www.certificato-energetico.it/certificazione-energetica.html>”;
19. Eurostat “Statistiche sull'energia — una panoramica” 2020;
20. Gazzetta ufficiale “Incentivi per l'efficienza energetica, sismabonus, fotovoltaico e colonnine di ricarica di veicoli elettrici. Art 119”;
21. ISTAT: <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?lang=it>;
22. Ingenio: Isolamento termico e ponti termici: come riconoscerli e quali soluzioni tecniche adottare <https://www.ingenio-web.it/articoli/isolamento-termico-e-ponti-termici-come-riconoscerli-e-quali-soluzioni-tecniche-adottare/>;
23. Il sole 24 ore: Fiaip-Enea: l’80% degli edifici ancora in classe G <https://www.ilsole24ore.com/art/fiaip-enea-l-80percento-edifici-ancora-classe-g-AE6OzCG>;
24. RI-ESCO: conto termico vs Ecobonus: quale pratica conviene? <https://www.ri-esco.it/conto-termico-ecobonus-differenze/>;
25. Decreto-legge del 04/06/2013 n. 63 comma da 1-bis a 1-septies;
26. Edilportale: isolamento pareti perimetrali [https://www.edilportale.com/speciali/isolamento-termico/rw_pareti_01.asp?v=it#:~:text=Il%20sistema%20di%20isolamento%20termico,finitura%20realizzato%20con%20particolari%20intonaci](https://www.edilportale.com/speciali/isolamento-termico/rw_pareti_01.asp?v=it#:~:text=Il%20sistema%20di%20isolamento%20termico,finitura%20realizzato%20con%20particolari%20intonaci;);
27. Blogbisacchi: Nuovi infissi con muffa e condensa? <https://www.blogbisacchi.it/nuovi-infissi-con-muffa-e-condensa/>;
28. Ingenio: Gli impianti termici maggiori di 35 kW: la denuncia INAIL e le verifiche da fare.”<https://www.ingenio-web.it/articoli/gli-impianti-termici-maggiori-di-35-kw-la-denuncia-inail-e-le-verifiche-da-fare/>”;
29. Nomisma: 110% Monitor: l’analisi Nomisma per misurare l’impatto economico della misura Superbonus 110%;
30. ENEA: Report dati mensili 28.02.2023 “dati utilizzo del Superbonus 110%”;
31. Ingenio: Ecobonus e Superecobonus <https://www.ingenio-web.it/articoli/ecobonus-e-superecobonus-110-enea-nel-2021-24-miliardi-di-investimenti/>;
32. ISPRA: Green Public Procurement (GPP) <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/sviluppo-sostenibile/strumenti-per-lo-sviluppo-sostenibile/green-public-procurement-gpp>;
33. WIRED: quanto sono aumentati I prezzi dell’edilizia a causa del Superbonus 110% <https://www.wired.it/article/superbonus-110-costo-edilizia-draghi/>.

TABELLE

TABELLA 1 PRINCIPALI OBIETTIVI SU ENERGIA E CLIMA DELL'UE E DELL'ITALIA AL 2020 E AL 2030(MANCA LA FONTE).	7
TABELLA 2 VALORI DI TRASMITTANZA MASSIMI CONSENTITI PER L'ACCESSO ALLE DETRAZIONI - ALLEGATO E DECRETO 6 AGOSTO 2020.	16
TABELLA 3 COEFFICIENTI DI PRESTAZIONI MINIMI PER POMPE DI CALORE ELETTRICHE - ALLEGATO F DECRETO 6 AGOSTO 2020.	18
TABELLA 4 COEFFICIENTI DI PRESTAZIONI MINIMI PER POMPE DI CALORE A GAS - ALLEGATO F DECRETO 6 AGOSTO 2020.	19
TABELLA 5 VALORI DI TRASMITTANZA MASSIMI CONSENTITI PER L'ACCESSO ALLE DETRAZIONI - ALLEGATO E DECRETO 6 AGOSTO 2020.	21
TABELLA 6 TIPO DI VALUTAZIONE PRESTAZIONI ENERGETICHE (UNI/TS 11300).	39
TABELLA 7 ZONE CLIMATICHE ASSOCIATE A FASCE DI GRADI GIORNO (DPR 412/93).	42
TABELLA 8 ZONE CLIMATICHE CON PRESCRIZIONI SULL'ACCENSIONE DELL'IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE INVERNALE(DPR 412/93).	43
TABELLA 9 CALCOLO SEMPLIFICATO (UNI EN ISO 10077-1).	47
TABELLA 10 TRASMITTANZA TERMICA LINEARE TELAIO-VETRO (UNI EN ISO 10077-1).	48
TABELLA 11 RESISTENZA TERMICA ADDIZIONALE PER FINESTRE CON CHIUSURE OSCURANTI (UNI TS 11300-1).	51
TABELLA 12 DATI GEOMETRICI EDIFICIO.	53
TABELLA 13 PROSPETTO 5 NORMA UNI TS 11300-1 COEFFICIENTE BTR.	57
TABELLA 14 RISULTATI DI ENERGIA DISPERSA PER TRASMISSIONE E VENTILAZIONE STATO DI FATTO	63
TABELLA 15 RISULTATI DI APPORTI TERMICI SOLARI E INTERNI STATO DI FATTO	63
TABELLA 16 RENDIMENTI STAGIONALI DELL'IMPIANTO STATO DI FATTO.	66
TABELLA 17 FABBISOGNI TERMICI ED ELETTRICI STATO DI FATTO.	66
TABELLA 18 FATTORI DI CONVERSIONE IN ENERGIA PRIMARIA (UNI TS 11300)	70
TABELLA 19 INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA NON RINNOVABILE PER RISCALDAMENTO E ACS STATO DI FATTO ..	71
TABELLA 20 TECNOLOGIE STANDARD DELL'EDIFICIO DI RIFERIMENTO DA DM 26/06/2015.	71
TABELLA 21 SCALA DI CLASSIFICAZIONE $E_{p,gl}, n_{ren}, r_{if}, standard$ (2019/21).	72
TABELLA 22 VALORI TRASMITTANZA MEDIA LIMITE (DM 26/06/2015).	84
TABELLA 23 VALORI AMMISSIBILI H't (DECRETO REQUISITI MINIMI).	85
TABELLA 24 DISPERSIONI, APPORTI E FABBISOGNO UTILE DI ENERGIA UTILE POST-INTERVENTO.	112
TABELLA 25 FABBISOGNI TERMICI ED ELETTRICI PORT INTERVENTO.	112
TABELLA 26 QUADRO ECONOMICO DI INTERVENTO	119
TABELLA 27 CONFRONTO RISULTATI DI ENERGIA PRIMARIA PRIMA E DOPO L'INTERVENTO.	120
TABELLA 28 CONFRONTO CONSUMO DEL VETTORE ENERGETICO METANO PRIMA E DOPO L'INTERVENTO.	120
TABELLA 29 CONFRONTO CONSUMO DEL VETTORE ENERGETICO ENERGIA ELETTRICA PRIMA E DOPO L'INTERVENTO.	120
TABELLA 30 CONFRONTO EMISSIONI DI CO2 PRIMA E DOPO L'INTERVENTO.	121
TABELLA 31 RIPARTIZIONE DEL RISPARMIO ENERGETICO CONSEGUENTE ALLA RIQUALIFICA DELL'EDIFICIO.	121

11 Immagini

FIGURA 1 CONFRONTO TRA PIL E CONSUMO ENERGETICO (MADDISON PROJECT DATABASE 2020).	5
FIGURA 2 CONTESTO - IL RIQUADRO IN ROSSO RAPPRESENTA L'IMMOBILE OGGETTO DELL'INTERVENTO.....	23
FIGURA 3 VISTA LATO SUD-EST.	24
FIGURA 4 VISTA LATO SUD.	25
FIGURA 5 VISTA LATO OVEST.	26
FIGURA 6 VISTA LATO EST.	27
FIGURA 7 TAVOLA DEI CONI OTTICI.....	28
FIGURA 8 CAROTAGGIO PER ISPEZIONE MURATURA.	30
FIGURA 9 STATO DI CONSERVAZIONE DEL RIVESTIMENTO.	31
FIGURA 10 SERRAMENTO TIPO.....	32
FIGURA 11 - NUVOLA DI PUNTI.	33
FIGURA 12 PLANIMETRIA PIANO TERRA E PIANO TIPO 1.....	34
FIGURA 13 PLANIMETRIA PIANO TIPO 2 E PIANO COPERTURA.	35
FIGURA 14 PROSPETTI EST OVEST.	36
FIGURA 15 PROSPETTI NORD SUD.	37
FIGURA 16 SEZIONE EDIFICIO.	38
FIGURA 17 DISTRIBUZIONE ZONE CLIMATICHE IN ITALIA (DPR 412/93).	43
FIGURA 18 RISULTATO GRAFICO 3D DELLA MODELLAZIONE.....	54
FIGURA 19 CLASSE ENERGETICA EDIFICIO DI RIFERIMENTO	72
FIGURA 20 ESTRATTO APE CONVENZIONALE: CLASSE ENERGETICA DI PARTENZA.	73
FIGURA 21 RENDER EDIFICIO PRODOTTO DALLO STUDIO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA POLITECNA EUROPA SRL..	75
FIGURA 22 DIMENSIONI DI RIFERIMENTO PONTI TERMICI.....	83
FIGURA 22 ESEMPIO DI CALCOLO SU DIAGRAMMA PSICROMETRICO.	86
FIGURA 24 DETTAGLIO COSTRUTTIVO NODO PARETE BALCONE SENZA CORREZIONE DEL PONTE TERMICO.....	87
FIGURA 25 ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA NEL NODO PARETE BALCONE SENZA CORREZIONE DEL PONTE TERMICO.	87
FIGURA 26 ANDAMENTO DEL FLUSSO TERMICO NEL NODO PARETE BALCONE SENZA CORREZIONE DEL PONTE TERMICO.	88
FIGURA 27 CAROTAGGIO SOLETTA BALCONE.....	89
FIGURA 28 DETTAGLIO COSTRUTTIVO NODO PARETE BALCONE CON CORREZIONE DEL PONTE TERMICO.	90
FIGURA 29 ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA NEL NODO PARETE BALCONE CON CORREZIONE DEL PONTE TERMICO.	90
FIGURA 30 ANDAMENTO DEL FLUSSO TERMICO NEL NODO PARETE BALCONE CON CORREZIONE DEL PONTE TERMICO.	91
FIGURA 31 DETTAGLIO COSTRUTTIVO DEL NODO COPERTURA SENZA CORREZIONE PONTE TERMICO.....	92
FIGURA 32 ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA NEL NODO PARETE COPERTURA SENZA CORREZIONE DEL PONTE TERMICO	93
FIGURA 33 ANDAMENTO DEL FLUSSO TERMICO NEL NODO PARETE COPERTURA SENZA CORREZIONE DEL PONTE TERMICO.	93
FIGURA 34 DETTAGLIO COSTRUTTIVO DEL NODO PARETE COPERTURA CON CORREZIONE DEL PONTE TERMICO	94
FIGURA 35 ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA NEL NODO PARETE COPERTURA CON CORREZIONE DEL PONTE TERMICO.	95
FIGURA 36 ANDAMENTO DEL FLUSSO TERMICO NEL NODO PARETE COPERTURA CON CORREZIONE DEL PONTE TERMICO.	95
FIGURA 37 DETTAGLIO COSTRUTTIVO DAVANZALE.....	96
FIGURA 38 ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA NEL DAVANZALE SENZA CORREZIONE.	97
FIGURA 39 ANDAMENTO DEL FLUSSO TERMICO NEL DAVANZALE SENZA CORREZIONE.	97

FIGURA 40 ESEMPIO DAVANZALE PRE COIBENTATO.	98
FIGURA 41 DETTAGLIO COSTRUTTIVO NODO DAVANZALE FINESTRA.....	99
FIGURA 42 ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA NEL DAVANZALE CON CORREZIONE.....	99
FIGURA 43 ANDAMENTO DEL FLUSSO TERMICO NEL DAVANZALE CON CORREZIONE.....	100
FIGURA 44 DETTAGLIO COSTRUTTIVO SPALLETTA COIBENTATA.....	101
FIGURA 45 COIBENTAZIONE DEL CASSONETTO.....	102
FIGURA 46 PIANO PILOTIS E TUBO GAS.....	103
FIGURA 47 SEZIONE DEL NODO PIANO PILOTIS.....	103
FIGURA 48 ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA NEL NODO PARETE VERTICALE E PIANO PILOTIS.....	104
FIGURA 49 ANDAMENTO DEL FLUSSO TERMICO NEL NODO PARETE VERTICALE E PIANO PILOTIS.....	105
FIGURA 50 SISTEMA VISSMANN VITOMODUL 200 W.....	106
FIGURA 51 SCAMBIATORE A PIASTRE TIPO.....	108
FIGURA 52 VALVOLA DI BILANCIAMENTO MANUALE.....	109
FIGURA 53 SCHEMA DI IMPIANTO.....	111
FIGURA 54 CLASSE ENERGETICA POST-INTERVENTO.....	113
FIGURA 55 VERIFICHE DI LEGGE PREVISTE DA DECRETO 26.6.2015.....	115
FIGURA 56 TRASMITTANZA MEDIA STRUTTURE OPACHE.....	116
FIGURA 57 ANDAMENTO PREZZO METANO c€/M ³ (FONTE ARERA).....	122
FIGURA 58 ANDAMENTO PREZZO ELETTRICITÀ c€/kWh.....	122

12 Equazioni

EQUAZIONE 1 CALCOLO DEI GRADI GIORNO (DPR 412/93).	42
EQUAZIONE 2 CALCOLO DELLA TRASMITTANZA PER COMPONENTI TRASPARENTI(UNI EN ISO 10077-1:2007). ...	48
EQUAZIONE 3 TRASMITTANZA TERMICA FINESTRA CON CHIUSURA OSCURANTE ABBASSATA (EN ISO 10077-1).....	51
EQUAZIONE 4 DEFINIZIONE FSHUT (UNI TS 11300-1).....	51
EQUAZIONE 5 TRASMITTANZA TERMICA RIDOTTA DEL COMPONENTE TRASPARENTE E DELLA CHIUSURA OSCURANTE(UNI TS 11300-1).....	52
EQUAZIONE 6 FABBISOGNO TERMICO EDIFICIO (UNI TS 11300-1).	55
EQUAZIONE 7 SCAMBIO TERMICO PER TRASMISSIONE (UNI TS 11300-1).	55
EQUAZIONE 8 COEFFICIENTE GLOBALE DI SCAMBIO TERMICO PER TRASMISSIONE (UNI TS 11300-1).	56
EQUAZIONE 9 COEFFICIENTE DI SCAMBIO TERMICO DIRETTO PER TRASMISSIONE VERSO AMBIENTE ESTERNO (UNI TS 11300-1).	56
EQUAZIONE 10 COEFFICIENTE DI SCAMBIO TERMICO VERSO AMBIENTI NON CLIMATIZZATI (UNI TS 11300-1).	56
EQUAZIONE 11 FATTORE DI FORMA TRA COMPONENTE EDILIZIO E VOLTA CELESTE (UNI TS 11300-1).....	57
EQUAZIONE 12 EXTRA FLUSSO VERSO VOLTA CELESTE DEL COMPONENTE K-ESIMO MEDIATA SUL TEMPO (UNI TS 11300-1).	57
EQUAZIONE 13 SCAMBI TERMICI PER VENTILAZIONE (UNI TS 11300-1).	58
EQUAZIONE 14 CALCOLO DEL COEFFICIENTE GLOBALE DI SCAMBIO TERMICO PER VENTILAZIONE (UNI TS 11300-1).	58
EQUAZIONE 15 CALCOLO APPORTI INTERNI (UNI TS 11300-1).	59
EQUAZIONE 16 CALCOLO DEL FLUSSO TERMICO PRODOTTO DA APPORTI INTERNI (UNI TS 11300-1).	60
EQUAZIONE 17 CALCOLO DEGLI APPORTI SOLARI (UNI TS 11300-1).	60
EQUAZIONE 18 CALCOLO DEL FLUSSO TERMICO DI ORIGINE SOLARE (UNI TS 11300-1).	60
EQUAZIONE 19 CALCOLO DEL FATTORE DI RIDUZIONE PER OMBREGGIAMENTO (UNI TS 11300-1).....	61
EQUAZIONE 20 CALCOLO DELL'AREA DI CAPTAZIONE SOLARE PER COMPONENTI OPACHI (UNI TS 11300-1).....	61
EQUAZIONE 21 CALCOLO DELL'AREA DI CAPTAZIONE SOLARE PER COMPONENTE VETRATO (UNI TS 11300-1).	61
EQUAZIONE 22 CALCOLO DELLA TRASMITTANZA DI ENERGIA SOLARE DEL COMPONENTE TRASPARENTE (UNI TS 11300-1).	62
EQUAZIONE 23 CALCOLO DEL FATTORE DI UTILIZZAZIONE DEGLI APPORTI TERMICI (UNI TS 11300-1).....	62
EQUAZIONE 24 PARAMETRO aH (UNI TS 11300-1).....	62
EQUAZIONE 25 COSTANTE DI TEMPO TERMICA DELLA ZONA TERMICA (UNI TS 11300-1).....	62
EQUAZIONE 26 RENDIMENTO MEDIO STAGIONALE DELL'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO (UNI TS 11300-2).	63
EQUAZIONE 27 CALCOLO DEL FABBISOGNO DI GENERAZIONE (UNI TS 11300-2).	64
EQUAZIONE 28 CALCOLO DELLE PERDITE DI CALORE DEL SISTEMA DI EMISSIONE (UNI TS 11300-2).....	64
EQUAZIONE 29 CALCOLO DEL FABBISOGNO DI EMISSIONE (UNI TS 11300-2).	64
EQUAZIONE 30 CALCOLO DELLE PERDITE PER REGOLAZIONE (UNI TS 11300-2).	65
EQUAZIONE 31 CALCOLO DEL FABBISOGNO DI REGOLAZIONE (UNI TS 11300-2).	65
EQUAZIONE 32 CALCOLO DELLE PERDITE PER DISTRIBUZIONE (UNI TS 11300-2).	65
EQUAZIONE 33 CALCOLO DEL FABBISOGNO DI DISTRIBUZIONE (UNI TS 11300-2).....	65
EQUAZIONE 34 CALCOLO DELLE PERDITE DI GENERAZIONE O (UNI TS 11300-2).....	65
EQUAZIONE 35 CALCOLO DEL FABBISOGNO DI GENERAZIONE (UNI TS 11300-2).	66
EQUAZIONE 36 FABBISOGNO DI ENERGIA ELETTRICA PER AUSILIARI.	66
EQUAZIONE 37 FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA PER ACS (UNI TS 11300-2).....	67
EQUAZIONE 38 VOLUME D'ACQUA RICHIESTO (11300-2).....	67
EQUAZIONE 39 RENDIMENTO MEDIO STAGIONALE IMPIANTO ACS (UNI TS 11300-2).	67
EQUAZIONE 40 PERDITE PER EROGAZIONE ACS (UNI TS 11300-2).	68
EQUAZIONE 41 PERDITE PER DISTRIBUZIONE ACS (UNI TS 11300-2).	68
EQUAZIONE 42 FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA PER ACS (UNI TS 11300-2).	68

EQUAZIONE 43 RENDIMENTO DI GENERAZIONE ACS (UNI TS 11300-2).	69
EQUAZIONE 44 INDICE DI PRESTAZIONE GLOBALE NON RINNOVABILE (DM 26/06/15).....	69
EQUAZIONE 45 INDICE DI PRESTAZIONE NON RINNOVABILE PER RISCALDAMENTO	70
EQUAZIONE 46 INDICE DI PRESTAZIONE NON RINNOVABILE PER ACQUA CALDA SANITARIA	70
EQUAZIONE 47 CALCOLO FLUSSO TERMICO MONODIMENSIONALE (UNI EN ISO 10211).	81
EQUAZIONE 48 CALCOLO DEL FLUSSO TERMICO BIDIMENSIONALE (UNI EN ISO 10211).	82
EQUAZIONE 49 CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI ACCOPPIAMENTO (UNI EN ISO 10211).....	82
EQUAZIONE 50 CALCOLO DELLA TRASMITTANZA TERMICA LINEICA (UNI EN ISO 10211).	82
EQUAZIONE 51 DEFINIZIONE TRASMITTANZA MEDIA (UNI 14683).....	83
EQUAZIONE 52 COEFFICIENTE MEDIO DI SCAMBIO TERMICO (UNI TS 11300-1)..	84
EQUAZIONE 53 COEFFICIENTI DI TRASMISSIONE (UNI TS 11300-1).	84
EQUAZIONE 54 FATTORE DI TEMPERATURA (UNI EN ISO 13788).	85
EQUAZIONE 55 FATTORE DI TEMPERATURA CRITICO (UNI EN ISO 13788).	85
EQUAZIONE 56 CALCOLO DEL VOLUME DEL VASO DI ESPANSIONE.	110
EQUAZIONE 57 CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI ESPANSIONE DELL'ACQUA.	110