



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea magistrale in Ingegneria Edile

Analisi energetica di un edificio residenziale di nuova costruzione

Energy analysis of a newly constructed residential building

Relatore:

Prof. Costanzo Di Perna

Tesi di Laurea di:

Giorgia Bruni

A.A. 2025/2026

Sommario

Introduzione	8
1 PANORAMA NORMATIVO.....	10
1.1 Le Direttive Europee.....	10
<i>1.1.1 Direttiva Europea 2002/91/CE</i>	<i>10</i>
<i>1.1.2 Direttiva Europea 2010/31/UE.....</i>	<i>11</i>
<i>1.1.3 Direttiva Europea 2018/844/CE</i>	<i>11</i>
<i>1.1.4 Direttiva Europea 2024/1275/UE.....</i>	<i>12</i>
1.2 La normativa italiana	13
<i>1.2.1 D.Lgs. 192/2005.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2.2 D.Lgs. 311/2006.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2.3 D.Lgs. 63/2013 e D.Lgs. 90/2013</i>	<i>14</i>
<i>1.2.4 D.M. 26/6/2015</i>	<i>14</i>
<i>1.2.5 D.Lgs. 48/2020.....</i>	<i>18</i>
2 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO	19
2.1 Dati costruttivi dell'edificio.....	21
<i>2.1.1 Pianta piano terra.....</i>	<i>23</i>
<i>2.1.2 Pianta piano primo</i>	<i>24</i>
<i>2.1.3 Pianta piano interrato.....</i>	<i>25</i>
3 ANALISI ENERGETICA.....	27
3.1 Fabbisogno termico invernale ed estivo	31
<i>3.1.1 Strutture opache verticali</i>	<i>33</i>
<i>3.1.2 Strutture opache orizzontali.....</i>	<i>38</i>
<i>3.1.3 Strutture trasparenti.....</i>	<i>42</i>
3.2 Modellazione dell'edificio.....	44
3.3 Risultati di calcolo.....	46
4 SCELTE IMPIANTISTICHE	48
4.1 Impianto idronico.....	49
4.2 Terminali di emissione.....	50
<i>4.2.1 Ventilconvettori.....</i>	<i>50</i>

4.2.2	<i>Pannello radiante a pavimento</i>	55
4.3	Impianto di ventilazione meccanica controllata	61
4.4	Pompa di calore	63
5	DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO	66
5.1	Impianto di climatizzazione a ventilconvettori	67
5.1.1	<i>Piano interrato</i>	68
5.1.2	<i>Piano Terra e Piano Primo</i>	74
5.2	Impianto radiante a pavimento	83
5.3	Ventilazione meccanica controllata	89
5.4	Centrale termica	97
5.4.1	<i>Solare termico</i>	103
5.5	Impianto fotovoltaico	106
6	VERIFICHE DI LEGGE	111
6.1	DM Requisiti Minimi 26/6/2015	111
6.1.1	<i>Indice di prestazione energetica</i>	112
6.1.2	<i>Coefficiente medio globale di scambio termico</i>	113
6.1.3	<i>Divisori</i>	114
6.1.4	<i>Verifiche igrotermiche</i>	114
6.1.5	<i>Area solare equivalente estiva</i>	115
6.1.6	<i>Efficienza media stagionale</i>	116
6.1.7	<i>Fonti rinnovabili</i>	116
6.2	Edificio nZEB	118
6.2.1	<i>Attestato di prestazione energetica</i>	119
7	CALCOLO DINAMICO ORARIO (UNI EN ISO 52016-1:2018)	122
7.1	Dati di input	123
7.1.1	<i>Dati su componenti architettonici</i>	123
7.1.2	<i>Profili orari di temperatura</i>	125
7.1.3	<i>Profili orari carichi interni</i>	127
7.2	Risultati	130
7.2.1	<i>Comportamento invernale</i>	131
7.2.2	<i>Comportamento estivo</i>	134
7.2.3	<i>Temperatura operante estiva</i>	137

CONCLUSIONI.....	142
APPENDICE	144
BIBLIOGRAFIA	163

Indice delle figure

<i>Figura 1: Vista satellitare dell'edificio in costruzione</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2: Vista Prospetto Est, ingresso principale</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3: Vista Prospetto Est.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4: Vista Prospetto Ovest.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 5: Planimetria generale.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 6: Pianta piano terra</i>	<i>23</i>
<i>Figura 7: Pianta piano primo</i>	<i>24</i>
<i>Figura 8: Pianta piano interrato.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 9: Classificazione zone climatiche</i>	<i>28</i>
<i>Figura 10: Temperatura media giornaliera dell'aria esterna</i>	<i>30</i>
<i>Figura 11 : Prima vista modello</i>	<i>44</i>
<i>Figura 12: Seconda vista modello.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 13: Terza vista modello</i>	<i>45</i>
<i>Figura 14: Componenti di un ventilconvettore</i>	<i>50</i>
<i>Figura 15 Distribuzione ideale del calore</i>	<i>55</i>
<i>Figura 16 Riscaldamento a superficie radiante</i>	<i>56</i>
<i>Figura 17 Riscaldamento con radiatori</i>	<i>56</i>
<i>Figura 18 Soletta radiante tipo</i>	<i>57</i>
<i>Figura 19 Sviluppo pannelli a spirale e a serpentina</i>	<i>59</i>
<i>Figura 20: Esempio di sistema di distribuzione a plenum</i>	<i>61</i>
<i>Figura 21: Principali componenti di una macchina di ventilazione.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 22: Ventilazione meccanica puntuale.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 23: Ciclo termodinamico pompa di calore.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 24: Ventilconvettore a parete modello SL</i>	<i>69</i>
<i>Figura 25: Distribuzione impianto a ventilconvettori piano interrato</i>	<i>71</i>
<i>Figura 26: Tabella perdite di carico continue tubi in multistrato</i>	<i>72</i>
<i>Figura 27: Diagramma perdite di carico continue tubi in multistrato</i>	<i>73</i>
<i>Figura 28: Ventilconvettore canalizzato modello Ducto Thin</i>	<i>75</i>
<i>Figura 29: Distribuzione impianto a ventilconvettori canalizzati piano terra</i>	<i>78</i>
<i>Figura 30: Distribuzione impianto a ventilconvettori canalizzati piano primo.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 31: Schema dimensionale diffusori lineari a scomparsa</i>	<i>80</i>

<i>Figura 32: Sistema a pannello sagomato Varionova con isolamento anticalpestio</i>	30-283
<i>Figura 33: Schema di posa pannello radiante a pavimento piano terra</i>	85
<i>Figura 34: Schema di posa pannello radiante a pavimento piano primo</i>	87
<i>Figura 35: Principio di funzionamento unità di VMC a doppio flusso</i>	89
<i>Figura 36: Schema dimensionale unità di ventilazione meccanica Utek Modello Flat</i>	91
<i>Figura 37: Prestazioni aerauliche modello Flat 2, zona 1</i>	92
<i>Figura 38: Prestazioni aerauliche modello Flat 1, zona 2</i>	93
<i>Figura 39: Prestazioni aerauliche modello Flat 1, zona 3</i>	94
<i>Figura 40: Prestazioni aerauliche modello Flat 1, zona 4</i>	95
<i>Figura 41: Prestazioni aerauliche modello Flat 1, zona 5</i>	96
<i>Figura 42: Schema altimetrico centrale termica</i>	97
<i>Figura 43: Stralcio pianta centrale termica</i>	98
<i>Figura 44: Pompa di calore Weishaupt Splitblock, unità esterna e modulo idronico interno</i>	99
<i>Figura 45: Curva portata-prevalenza pompa WHI pump 25-5 #5, circuito piano interrato</i>	101
<i>Figura 46: Curva portata-prevalenza pompa WHI pump 25-7#5, circuito colonna montante 01</i>	101
<i>Figura 47: Curva portata-prevalenza pompa WHI pump 25-7#5, circuito colonna montante 02</i>	102
<i>Figura 48: Collegamento modulo FreshAcqua all'accumulo inerziale</i>	103
<i>Figura 49: Disposizione collettori solari integrati in copertura</i>	104
<i>Figura 50: Distribuzione moduli fotovoltaici sulla copertura dell'edificio</i>	107
<i>Figura 51: Composizione e dati di potenza dell'impianto fotovoltaico</i>	108
<i>Figura 52: Diagramma delle perdite del sistema e prestazioni dell'impianto fotovoltaico</i>	108
<i>Figura 53: Stringatura impianto fotovoltaico</i>	109
<i>Figura 54: Classi di distribuzione della massa</i>	124
<i>Figura 55: Profilo orario di funzionamento annuale del servizio di riscaldamento</i>	125
<i>Figura 56: Profilo orario di funzionamento settimanale del servizio di riscaldamento</i>	126
<i>Figura 57: Profilo orario di funzionamento annuale del servizio di raffrescamento</i>	126

<i>Figura 58: Profilo orario di funzionamento settimanale del servizio di raffrescamento</i>	127
<i>Figura 59: Profilo orario annuale di occupazione</i>	128
<i>Figura 60: Profilo orario settimanale di occupazione</i>	128
<i>Figura 61: Profilo orario annuale di ventilazione</i>	129
<i>Figura 62: Profilo orario settimanale di ventilazione</i>	129
<i>Figura 63: Grafico delle temperature a impianto spento del locale soggiorno (10-14 gennaio)</i>	132
<i>Figura 64: Grafico delle temperature a impianto con potenza illimitata del locale soggiorno (10-14 gennaio)</i>	132
<i>Figura 65: Grafico delle temperature a impianto reale del locale soggiorno (10-14 gennaio)</i>	133
<i>Figura 66: Grafico delle potenze nel caso di impianto reale (10-14 gennaio)</i>	133
<i>Figura 67: Grafico delle temperature a impianto spento del locale soggiorno (27-31 agosto)</i>	135
<i>Figura 68: Grafico delle temperature a impianto con potenza illimitata del locale soggiorno (27-31 agosto)</i>	135
<i>Figura 69: Grafico delle temperature a impianto reale del locale soggiorno (27-31 agosto)</i>	136
<i>Figura 70: Grafico delle potenze a impianto reale (27-31 agosto)</i>	136
<i>Figura 71: Verifica della temperatura operante estive (27 agosto)</i>	138
<i>Figura 72: Verifica della temperatura operante estive (28 agosto)</i>	139
<i>Figura 73: Verifica della temperatura operante estive (29 agosto)</i>	139
<i>Figura 74: Verifica della temperatura operante estive (30 agosto)</i>	140
<i>Figura 75: Verifica della temperatura operante estive (31 agosto)</i>	140

Indice delle tabelle

<i>Tabella 1: Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra</i>	<i>15</i>
<i>Tabella 2: Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati</i>	<i>16</i>
<i>Tabella 3: Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra</i>	<i>16</i>
<i>Tabella 4: Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati</i>	<i>16</i>
<i>Tabella 5: Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabella 6: Abaco infissi.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabella 7: Risultati carichi termici</i>	<i>47</i>
<i>Tabella 8: Potenze rese in raffrescamento e riscaldamento dai ventilconvettori SL.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabella 9: Dimensionamento ventilconvettori piano interrato</i>	<i>70</i>
<i>Tabella 10: Dimensionamento tubazioni e calcolo perdite di carico</i>	<i>74</i>
<i>Tabella 11: Potenze rese in raffrescamento dai ventilconvettori Ducto Thin canalizzati</i>	<i>76</i>
<i>Tabella 12: Dimensionamento ventilconvettori piano terra e piano primo.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabella 13: Dimensionamento tubazioni e calcolo perdite di carico C.M.01</i>	<i>77</i>
<i>Tabella 14: Dimensionamento tubazioni e calcolo perdite di carico C.M.02</i>	<i>77</i>
<i>Tabella 15: Dimensionamento lunghezze diffusori lineari per distribuzioni aria di condizionamento</i>	<i>82</i>

Introduzione

La crescente attenzione verso la sostenibilità ambientale, la riduzione dei consumi energetici e la decarbonizzazione del settore edilizio ha portato negli ultimi anni a una significativa evoluzione nella progettazione e realizzazione degli edifici. In tale contesto, l'obiettivo non è più limitato alla sola riduzione dei fabbisogni energetici, ma si estende alla minimizzazione dell'impatto ambientale dell'intero sistema edificio-impianto, promuovendo l'utilizzo efficiente delle risorse e l'integrazione delle fonti energetiche rinnovabili. La progettazione degli impianti tecnologici assume quindi un ruolo fondamentale, poiché influisce direttamente sulle prestazioni energetiche dell'edificio, sulla qualità degli ambienti interni e, di conseguenza, sul benessere e sulla qualità della vita degli occupanti.

La presente tesi riguarda l'analisi energetica e la progettazione impiantistica di un edificio residenziale di nuova costruzione situato nella provincia di Teramo. Lo studio è stato sviluppato attraverso un approccio integrato che considera sia le caratteristiche dell'involucro edilizio sia il dimensionamento dei principali impianti tecnologici a servizio dell'edificio. In particolare, sono stati progettati e dimensionati gli impianti per la climatizzazione invernale ed estiva, il sistema di ventilazione meccanica controllata, l'impianto fotovoltaico e il sistema solare termico, con l'obiettivo di soddisfare i fabbisogni energetici dell'edificio garantendo elevati livelli di efficienza energetica e comfort abitativo.

Una fase fondamentale del lavoro ha riguardato la valutazione delle prestazioni energetiche dell'edificio, finalizzata a comprendere il comportamento energetico del sistema e a verificare l'efficacia delle soluzioni progettuali adottate. Tale analisi consente infatti di individuare eventuali criticità e di valutare il contributo dei diversi componenti dell'involucro e degli impianti al raggiungimento degli obiettivi di efficienza energetica e sostenibilità.

Accanto alle verifiche energetiche tradizionali, è stata sviluppata una simulazione energetica dinamica mediante il software MC4, che ha permesso di analizzare il comportamento dell'edificio durante l'intero arco dell'anno in condizioni operative realistiche. A differenza dei metodi di calcolo stazionari, l'approccio dinamico consente di considerare l'influenza delle condizioni climatiche variabili, dell'inerzia termica delle

strutture, degli apporti interni e delle modalità di utilizzo degli ambienti, fornendo una rappresentazione più accurata delle prestazioni energetiche effettive dell'edificio.

Particolare attenzione è stata dedicata all'analisi del comportamento estivo dell'edificio, tema di crescente interesse alla luce dell'aumento delle temperature medie e della frequenza degli eventi climatici estremi. Attraverso la simulazione dinamica è stato possibile valutare il rischio di surriscaldamento degli ambienti interni, l'efficacia delle strategie passive adottate e il contributo degli impianti al mantenimento delle condizioni di comfort termoigrometrico per gli occupanti.

L'integrazione tra progettazione impiantistica, utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili e analisi energetica dinamica ha consentito di ottenere una valutazione completa delle prestazioni dell'edificio, evidenziando come un approccio progettuale integrato rappresenti uno strumento essenziale per la realizzazione di edifici residenziali ad alta efficienza energetica, in grado di coniugare sostenibilità ambientale, riduzione dei consumi e comfort abitativo.

1 PANORAMA NORMATIVO

Il settore edilizio ha un impatto significativo sul consumo di energia globale e sulle emissioni di gas serra. Complessivamente, gli edifici dell'UE sono responsabili del 40% del consumo energetico e del 36% delle emissioni di gas a effetto serra, dovute principalmente alla costruzione, all'utilizzo, alla ristrutturazione e alla demolizione. La crescente pressione per affrontare i cambiamenti climatici ha spinto governi, imprese e cittadini ad adottare soluzioni più sostenibili, mirando a un miglioramento dell'efficienza energetica e a un maggiore impiego delle risorse rinnovabili.

Migliorare l'efficienza energetica dell'edilizia è quindi fondamentale per conseguire l'ambizioso obiettivo di neutralità in termini di emissioni di carbonio entro il 2050, così come definito nel Green Deal europeo. L'adozione di tecnologie avanzate, il miglioramento delle prestazioni termiche degli edifici e la riduzione del fabbisogno energetico sono le principali leve per ottimizzare i consumi.

1.1 Le Direttive Europee

1.1.1 *Direttiva Europea 2002/91/CE*

Nel 2002 il Parlamento Europeo ed il Consiglio dell'Unione emanano la prima direttiva 2002/91/CE [1], conosciuta come EPBD (Energy Performance of Building Directive), con lo scopo di orientare l'attività edilizia dei paesi membri verso una concezione di efficienza energetica che consenta di perseguire anche obiettivi rivolti alla riduzione dell'impatto ambientale ed al contenimento dell'inquinamento.

La sostanziale novità introdotta dalla EPBD è l'attenzione posta all'efficienza energetica dell'edilizia esistente che, qualora interessata da significative ristrutturazioni, diviene soggetta anch'essa a vincoli prestazionali.

Le disposizioni in essa contenute riguardano i seguenti aspetti:

- il quadro generale di una metodologia per il calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici;

- l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione;
- l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici esistenti di grande metratura sottoposti a importanti ristrutturazioni;
- attestato di certificazione energetica, da redigere obbligatoriamente per tutti i nuovi edifici e per tutti gli immobili in vendita o in locazione;
- l'ispezione periodica delle caldaie e dei sistemi di condizionamento d'aria negli edifici, nonché una perizia del complesso degli impianti termici le cui caldaie abbiano più di quindici anni.

1.1.2 Direttiva Europea 2010/31/UE

Nel luglio del 2010 entra in vigore la direttiva europea 2010/31/UE [2] sul rendimento energetico nell'edilizia, chiamata EPBD II "recast", la quale va a sostituire la direttiva 2002/31/UE. La direttiva promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e dell'efficacia sotto il profilo dei costi. Nel provvedimento è definita una metodologia per il calcolo della prestazione energetica degli edifici che tiene conto delle caratteristiche termiche dell'edificio, degli impianti di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria, di condizionamento e ventilazione, illuminazione, della progettazione, posizione e orientamento dell'edificio, dei sistemi solari passivi e di protezione solare, delle condizioni climatiche interne, dei carichi interni. Il calcolo della prestazione energetica deve essere differenziato a seconda della categoria di edificio. Per gli edifici di nuova costruzione viene data notevole importanza a tecnologie quali i sistemi di fornitura energetica decentralizzati basati su fonti rinnovabili: cogenerazione, teleriscaldamento o teleraffrescamento, pompe di calore.

1.1.3 Direttiva Europea 2018/844/CE

Il 30 maggio 2018 viene pubblicata la EPBD III, la revisione della EPBD II, ossia la Direttiva UE 2018/844, che introduce una strategia di ristrutturazione a lungo termine con l'obiettivo di ottenere un parco immobiliare decarbonizzato entro il 2050. La direttiva

cita: “Ogni Stato membro stabilisce una strategia a lungo termine per sostenere la ristrutturazione del parco nazionale di edifici residenziali e non residenziali, sia pubblici che privati, al fine di ottenere un parco immobiliare decarbonizzato e ad alta efficienza energetica entro il 2050, facilitando la trasformazione efficace in termini di costi degli edifici esistenti in edifici a energia quasi zero. Nella strategia di ristrutturazione a lungo termine ogni Stato membro fissa una tabella di marcia con misure e indicatori di progresso misurabili stabiliti a livello nazionale in vista dell’obiettivo di lungo termine per il 2050 di ridurre le emissioni di gas a effetto serra nell’Unione dell’80-95 % rispetto al 1990; ciò al fine di garantire un parco immobiliare nazionale ad alta efficienza energetica e decarbonizzato e di facilitare la trasformazione efficace in termini di costi degli edifici esistenti in edifici a energia quasi zero. La tabella di marcia include tappe indicative per il 2030, il 2040 e il 2050 e specifica il modo in cui esse contribuiscono al conseguimento degli obiettivi di efficienza energetica dell’Unione conformemente alla direttiva 2012/27/UE” [3].

1.1.4 Direttiva Europea 2024/1275/UE

La direttiva europea UE 2024/1275 [4], chiamata “Case Green”, entra in vigore il 28 maggio 2024 e dà due anni di tempo agli Stati membri per recepirne i contenuti. La direttiva, che fa parte del pacchetto di riforme Fit for 55, contiene le misure per ridurre progressivamente le emissioni di CO₂ del parco immobiliare europeo e raggiungere l’obiettivo della totale decarbonizzazione entro il 2050 attraverso la riqualificazione del patrimonio edilizio europeo e il miglioramento dell’efficienza energetica.

Si possono definire “case green” gli edifici:

- a emissioni zero o quasi zero con una domanda molto bassa di energia, zero emissioni in loco di carbonio da combustibili fossili e un quantitativo pari a zero, o molto basso, di emissioni operative di gas a effetto serra;
- il cui consumo totale annuo di energia primaria sia coperto da energia da fonti rinnovabili generata in loco o nelle vicinanze, fornita da una comunità di energia

rinnovabile, proveniente da un sistema efficiente di teleriscaldamento e teleraffrescamento o da energia da fonti prive di carbonio;

- progettati in modo da ottimizzare il loro potenziale di produzione di energia solare sulla base dell'irraggiamento solare del sito, consentendo l'installazione successiva di tecnologie solari efficienti sotto il profilo dei costi.

Dal 1° gennaio 2030 tutti i nuovi edifici dovranno essere a emissioni zero: dal 2028 tutti gli edifici pubblici di nuova costruzione e dal 2030 anche le nuove costruzioni residenziali private.

1.2 La normativa italiana

1.2.1 D.Lgs. 192/2005

Nel 2005, recependo la direttiva europea 2002/91/CE, viene emanato il Decreto Legislativo 192/2005 [5] che pone i limiti al valore del fabbisogno di energia primaria, espresso in kWh/mq/anno.

Il decreto stabilisce i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica. In particolare, sono state introdotte le verifiche delle prestazioni energetiche, dei valori di trasmittanza e l'obbligo dei sistemi di schermatura esterni per ridurre l'impatto del soleggiamento estivo. Nel calcolo del rendimento energetico di un edificio, vengono ora considerati tutti i consumi di energia possibili: il riscaldamento, il raffreddamento, l'acqua calda sanitaria, la ventilazione e l'illuminazione.

1.2.2 D.Lgs. 311/2006

Il 2 febbraio 2007 entra in vigore il Dlgs 311/2006 [6], che modifica in parte il D.Lgs. 192/2005 prevedendo l'obbligo di certificazione energetica per gli edifici esistenti superiori a 1.000 mq ed estendendolo dal 1° luglio 2008 a tutti gli edifici, mentre dal 1° luglio 2009 anche alle singole unità immobiliari nel caso di trasferimento della proprietà.

Il Decreto stabilisce la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche, le ispezioni da effettuare per gli impianti di climatizzazione e la sensibilizzazione nei confronti dei cittadini per l'uso razionale dell'energia.

1.2.3 D.Lgs. 63/2013 e D.Lgs. 90/2013

Il decreto legislativo 63/2013 dal titolo *“Disposizioni urgenti per il recepimento della direttiva 2010/31/UE del parlamento europeo e del consiglio, sulla prestazione energetica nell’edilizia per la definizione delle procedure d’infrazione avviate dalla commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale”* [7], coordinato con la legge di conversione 90/2013 [8], entra in vigore il 06/06/2013. Essa apporta importanti aggiunte e modifiche al D.Lgs 192/2005, poi affinate dai suoi decreti attuativi. Fornisce la definizione di edificio a energia quasi zero (NZEB) e fissa i nuovi criteri per l’aggiornamento e la programmazione di standard prestazionali degli edifici (sia involucro e impianti che fonti rinnovabili) con lo scopo di raggiungere gli obiettivi fissati a livello comunitario in materia di edifici a energia quasi zero.

L’edificio a energia quasi zero o NZEB è definito come: *“un edificio ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l’energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze”*.

Un altro fondamentale requisito che un edificio deve rispettare per essere considerato NZEB riguarda gli impianti termici: essi devono essere progettati e realizzati in modo da garantire la copertura da fonti rinnovabili del 50% dei consumi previsti per l’acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento.

1.2.4 D.M. 26/6/2015

Il 26 giugno 2015 viene aggiornato il quadro normativo nazionale in materia di efficienza energetica, con la pubblicazione di tre decreti. I decreti pubblicati sono:

- D.M. 26 giugno 2015: “*Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*” [9];
- D.M. 26 giugno 2015: “*Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell’applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici*” [10];
- D.M. 26 giugno 2015: “*Adeguamento del decreto del ministero dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 – linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*” [11].

Il primo decreto del 26 giugno 2015 riguardante “*l’applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*” [9] definisce i nuovi limiti di trasmittanza termica dei componenti edilizi di seguito riportati:

TABELLA 1 (Appendice A) Trasmittanza termica U di riferimento delle <u>strutture opache verticali</u> , verso l’esterno, gli ambienti non riscaldati o contro terra		
Zona climatica	U _{rif} [W/m²K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,45	0,43
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Tabella 1: Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, verso l’esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra [12]

TABELLA 2 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di <u>copertura</u> , verso l'esterno e gli ambienti non riscaldati		
Zona climatica	U _{rif} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,38	0,35
C	0,36	0,33
D	0,30	0,26
E	0,25	0,22
F	0,23	0,20

Tabella 2: Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati [12]

TABELLA 3 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di <u>pavimento</u> , verso l'esterno, gli ambienti non riscaldati o contro terra		
Zona climatica	U _{rif} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,46	0,44
C	0,40	0,38
D	0,32	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Tabella 3: Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra [12]

TABELLA 4 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle <u>chiusure tecniche trasparenti</u> e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e ambienti non riscaldati		
Zona climatica	U _{rif} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	3,20	3,00
C	2,40	2,20
D	2,00	1,80
E	1,80	1,40
F	1,50	1,10

Tabella 4: Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati [12]

TABELLA 5 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di <u>separazione tra edifici o unità</u> immobiliari confinanti		
Zona climatica	U _{rif} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
Tutte	0,8	0,8

Tabella 5: Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti

Il secondo decreto del 26 giugno 2015 riguardante gli “*Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell’applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici*” [10] definisce gli schemi e le modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto, in funzione delle diverse tipologie di lavori: nuove costruzioni, ristrutturazioni importanti, interventi di riqualificazione energetica.

Il terzo ed ultimo decreto del 26 giugno 2015, recante “*Adeguamento del decreto del ministero dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 – linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*” [11]. Il presente decreto inoltre definisce le linee guida nazionali, per l’attestazione della prestazione energetica, comprendente i criteri generali, le metodologie per il calcolo, la classificazione degli edifici, le procedure amministrative, i format, nonché le norme per il monitoraggio e i controlli della regolarità tecnica e amministrativa. Ai fini della classificazione, la prestazione energetica dell’immobile è espressa attraverso l’indice di prestazione energetica globale non rinnovabile EP_{gl,nren}. Tale indice tiene conto del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale ed estiva (EPH_{nrem} ed EPC_{nrem}), per la produzione di acqua calda sanitaria (EPPW_{nrem}), per la ventilazione (EPV_{nrem}) e, nel caso del settore non residenziale, per l’illuminazione artificiale (EPL_{nrem}) e il trasporto di persone o cose (EPT_{nrem}). L’indice EP_{gl,nren} esprime la quantità annua di energia primaria non rinnovabile, calcolata secondo un uso standard del fabbricato, per unità di superficie utile dell’edificio (kWh/m²).

1.2.5 D.Lgs. 48/2020

Il 10 giugno viene pubblicato il decreto legislativo 48/2020 [13] che allinea la normativa italiana, in materia di prestazione energetica degli edifici, alle nuove regole europee previste dalla direttiva UE 2018/844. Con il decreto vengono assimilati alcuni principi che mirano ad accelerare la riqualificazione energetica degli edifici esistenti, promuovere l'uso di tecnologie informatiche e intelligenti per garantire agli edifici di operare e consumare in maniera quanto più efficiente e dare un impulso alla mobilità elettrica con l'integrazione delle infrastrutture di ricarica negli edifici.

2 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO

Il presente studio nasce da un'esperienza lavorativa maturata presso uno studio tecnico della provincia di Teramo e riguarda la progettazione degli impianti meccanici asserventi un edificio residenziale e la simulazione energetica dello stesso. L'immobile, attualmente in fase di costruzione, sita nelle campagne di San Nicolò a Tordino in provincia di Teramo, ha una superficie complessiva di circa 1000 mq suddivisa su più livelli.



Figura 1: Vista satellitare dell'edificio in costruzione

L'obiettivo del presente elaborato è eseguire dapprima il calcolo dei carichi termici attraverso l'ausilio del software *MC4Suite*, per poi descrivere la progettazione degli impianti di climatizzazione a servizio del presente edificio. Si premette che la progettazione sarà conforme alle vigenti norme in materia, e particolare attenzione sarà riservata al conseguimento di soluzioni mirate a contenere i fabbisogni termici ed energetici dell'immobile. Successivamente verranno svolte delle simulazioni dinamiche su base annua per approfondire ulteriormente l'analisi dei consumi energetici dell'edificio.



Figura 2: Vista Prospetto Est, ingresso principale



Figura 3: Vista Prospetto Est



Figura 4: Vista Prospetto Ovest

2.1 Dati costruttivi dell'edificio

L'edificio realizzato in calcestruzzo armato presenta una struttura portante orizzontale costituita da solai a piastra in calcestruzzo armato gettato in opera e alleggerito mediante l'utilizzo di casseri modulari in polipropilene riciclato (PP), questa tecnica permette di ottenere una riduzione di consumo di calcestruzzo valutabile attorno al 25-30%. Le chiusure verticali sono realizzate in laterizio tramite blocchi rettificati di "PorothermBioPlan", isolate esternamente mediante cappotto in XPS. La copertura, anch'essa coibentata, è rivestita con una struttura metallica caratterizzata da un profilo curvo, concavo verso l'interno.

Come rilevabile dalla planimetria, nel lotto sono presenti due corpi di fabbrica: il principale, destinato a uso residenziale, e un manufatto accessorio a servizio della piscina, comprendente i locali tecnici. Le due strutture sono collegate tra loro tramite un tunnel interrato.

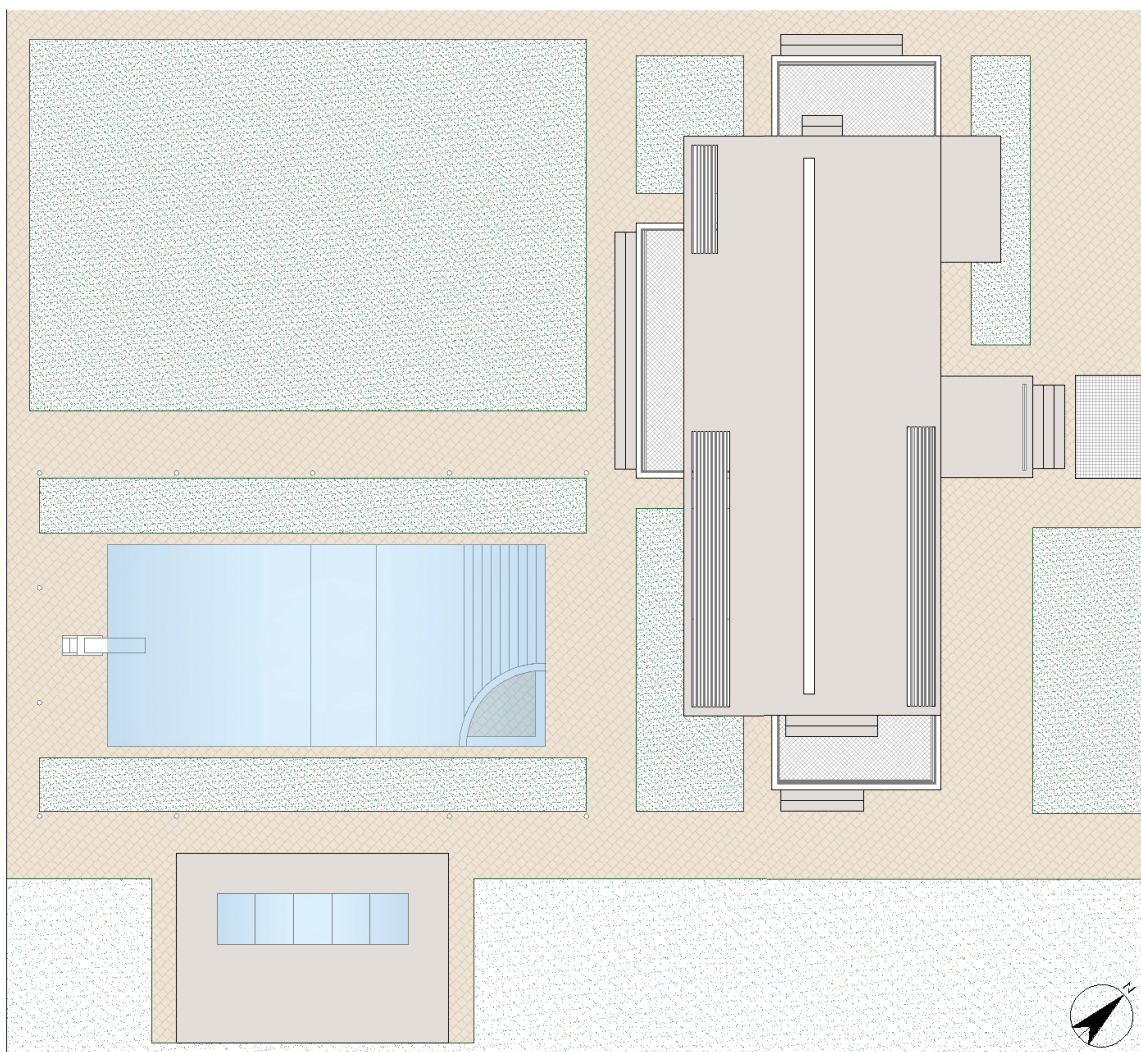


Figura 5: Planimetria generale

Il corpo principale si sviluppa su tre livelli: piano terra, piano primo e piano interrato.

Il piano terra, destinato a zona giorno, e il piano primo, destinato a zona notte, costituiscono i livelli maggiormente utilizzati nell'arco della giornata. Diversamente, il piano interrato, che ospita locali di servizio, cantina e garage è caratterizzato da una frequentazione più limitata.

2.1.1 Pianta piano terra

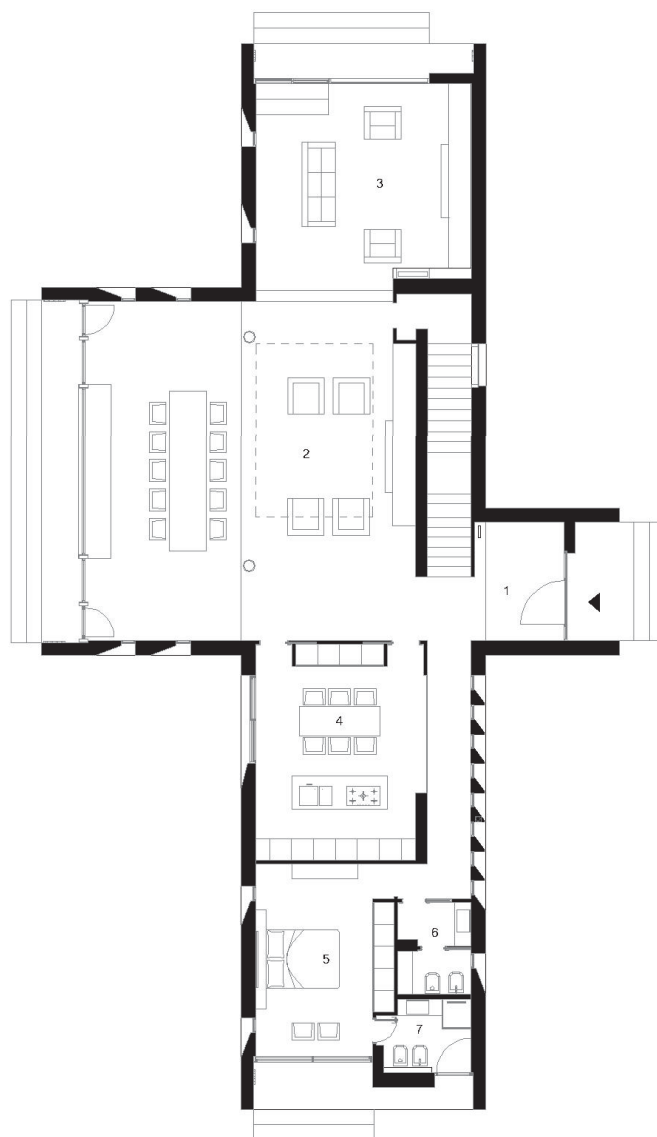


Figura 6: Pianta piano terra

N° locale	Destinazione	Superficie	Volume netto
Locale 1	Ingresso/Disimpegno	19,50 m ²	52,65 m ³
Locale 2	Sala da pranzo	82,80 m ²	223,56 m ³
Locale 3	Salone	32,70 m ²	88,29 m ³
Locale 4	Cucina	26,90 m ²	72,63 m ³
Locale 5	Camera sopiti	19,30 m ²	52,11 m ³
Locale 6	Wc	4,80 m ²	12,96 m ³
Locale 7	Bagno	4,80 m ²	12,96 m ³

2.1.2 Pianta piano primo

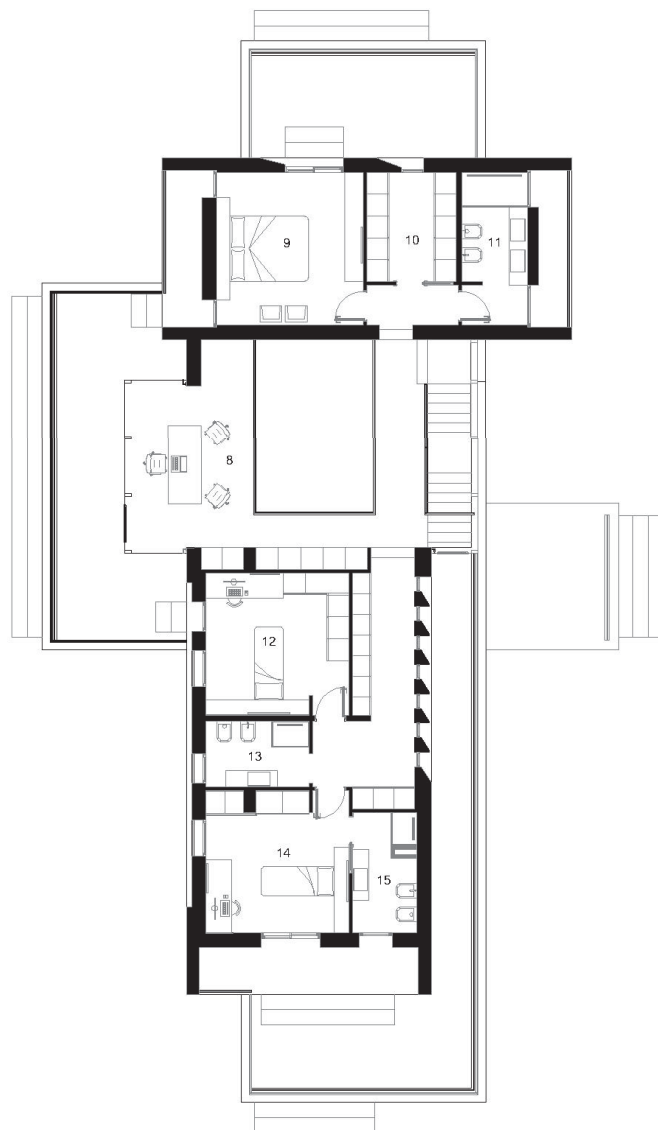


Figura 7: Pianta piano primo

N° locale	Destinazione	Superficie	Volume
Locale 8	Studio	32,25 m ²	87,07 m ³
Locale 9	Camera matrimoniale	16,00 m ²	43,20 m ³
Locale 10	Cabina armadio	7,30 m ²	19,71 m ³
Locale 11	Bagno padronale	7,40 m ²	19,98 m ³
Locale 12	Camera singola	15,60 m ²	42,12 m ³
Locale 13	Bagno	5,10 m ²	13,77 m ³
Locale 14	Camera singola	15,00 m ²	40,50 m ³
Locale 15	Bagno	5,77 m ²	15,58 m ³

2.1.3 Pianta piano interrato

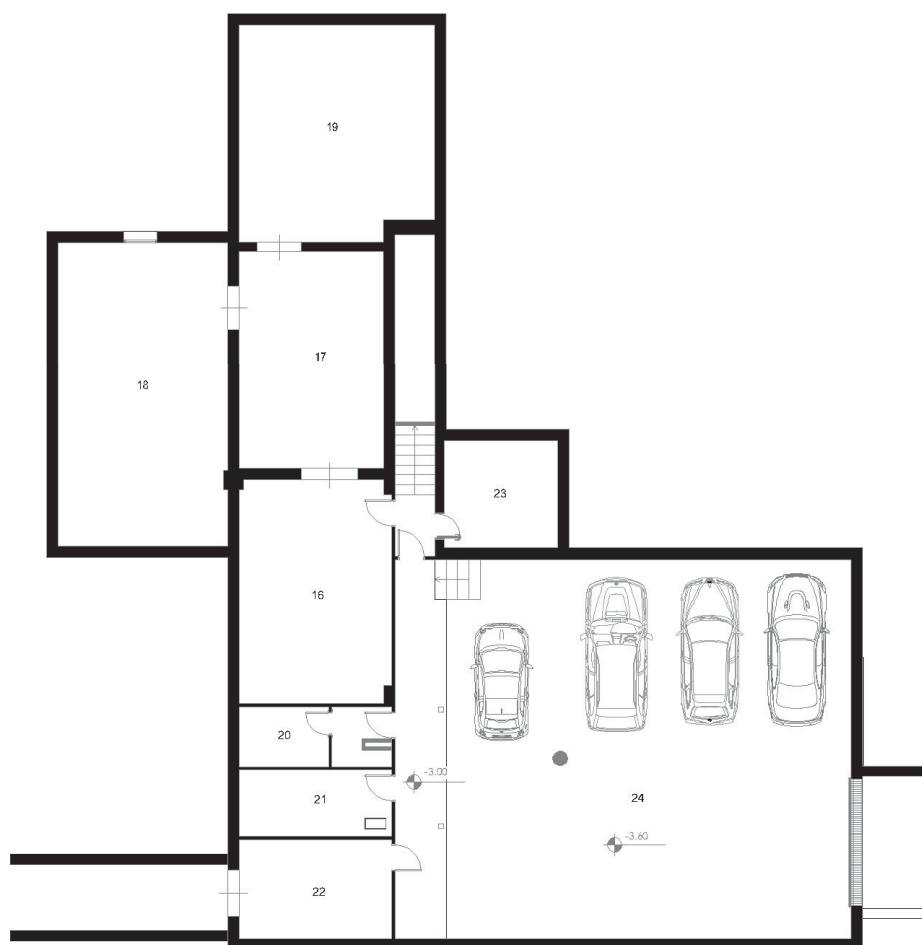


Figura 8: Pianta piano interrato

N° locale	Destinazione	Superficie	Volume
Locale 16	Rustico	30,80 m ²	77,00 m ³
Locale 17	Taverna	28,70 m ²	71,75 m ³
Locale 18	Taverna	47,06 m ²	117,65 m ³
Locale 19	Cantina	37,47 m ²	93,68 m ³
Locale 20	Wc	4,90 m ²	12,25 m ³
Locale 21	Lavanderia	8,80 m ²	22,00 m ³
Locale 22	Deposito	13,80 m ²	34,50 m ³
Locale 23	Locale tecnico FV	11,00 m ²	27,50 m ³
Locale 24	Garage	140,26 m ²	350,65 m ³

3 ANALISI ENERGETICA

L'analisi energetica di un edificio consiste nella valutazione quantitativa del comportamento energetico del sistema edificio–impianto, finalizzata alla determinazione dei fabbisogni energetici necessari a garantire adeguate condizioni di comfort termigrometrico negli ambienti interni. Tale analisi si basa sullo studio delle caratteristiche termo-fisiche dell'involucro edilizio (trasmittanza delle strutture opache e trasparenti, ponti termici, inerzia termica) e delle prestazioni dei sistemi impiantistici. Un aspetto fondamentale del processo è la determinazione dei carichi termici, i quali consentono di dimensionare correttamente i sistemi di climatizzazione e di stimare i consumi energetici associati ai diversi servizi energetici, quali riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e produzione di acqua calda sanitaria.

Si definisce carico termico di un edificio il flusso termico globale che deve essere fornito o sottratto da un impianto di riscaldamento o di climatizzazione, per mantenere nell'edificio la temperatura interna di progetto quando nell'ambiente esterno si hanno determinate condizioni climatiche. Il carico termico di un edificio varia istante per istante, perché sono continuamente variabili le condizioni esterne ed interne alle quali l'edificio è soggetto, come ad esempio: temperatura e umidità dell'aria esterna, velocità del vento, radiazione solare e carichi termici interni (ossia il contributo dovuto alla presenza di persone, macchinari, corpi illuminanti, etc.).

I carichi termici sono dunque legati allo scambio termico che l'edificio effettua con l'ambiente esterno, principalmente in tre modi:

- dispersione attraverso la struttura per propagazione di calore attraverso l'involucro dell'edificio;
- dispersione per infiltrazione o rinnovo di aria esterna;
- flusso dovuto alla radiazione solare.

Essendo la legge per lo scambio termico attraverso le superfici (opache e vetrate) governata dalla legge riportata di seguito, risulta dunque evidente che sia necessario stabilire i parametri climatici della località che si sta considerando.

$$\dot{Q} = \sum U \cdot A \cdot (T_i - T_e) \quad (1)$$

dove:

U è la trasmittanza che viene misurata in $W/m^2 \cdot K$ e di cui si parlerà in modo più approfondito in seguito;

T_i è la temperatura interna che deve essere considerata compatibile con le attività da svolgere all'interno degli ambienti (secondo norma UNI EN 12831 [14]);

T_e è la temperatura esterna da considerare, riportata in appositi decreti e norme (es. UNI EN ISO 15927 [15]).

In Italia la temperatura esterna viene determinata in base alla suddivisione del territorio nazionale in sei zone climatiche, individuate in funzione del numero di gradi giorno (GG). Per ogni località, il numero di GG viene calcolato, noto l'andamento tipico per la località considerata della temperatura media giornaliera T_{mg} , come la somma, eseguita giorno per giorno lungo l'arco della stagione di riscaldamento, della differenza tra la temperatura interna T_i (posta nel caso invernale pari a $20^\circ C$) e la T_{mg} (con un limite T_{er} uguale a $12^\circ C$).

$$GG = \sum_{j=1}^n (T_i - T_{mg,j}) \quad (2)$$

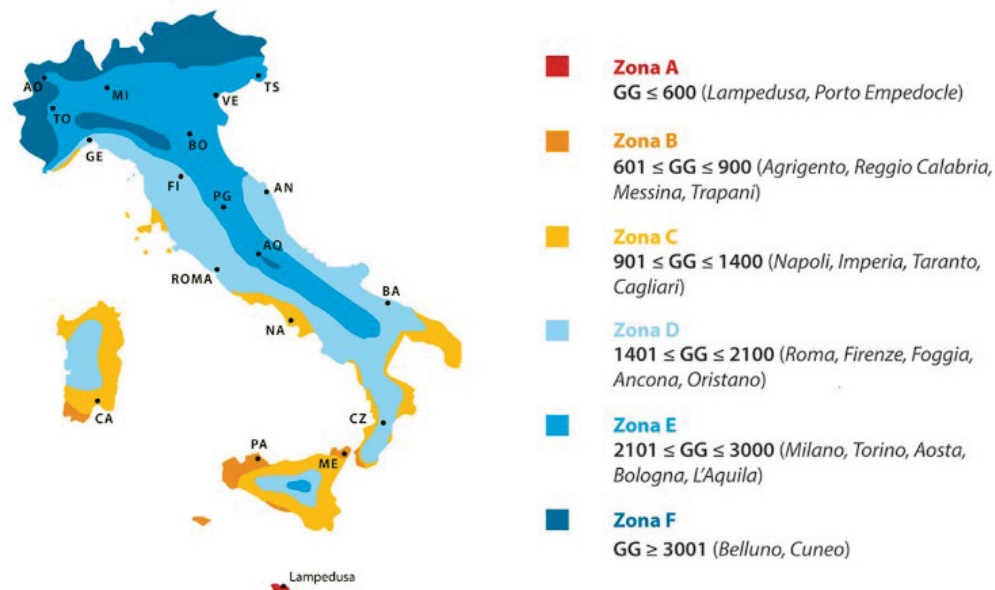


Figura 9: Classificazione zone climatiche [16]

In particolare, per il caso d'interesse, si fa riferimento ai parametri climatici della frazione di San Nicolò a Tordino in provincia di Teramo, tabulati nel seguente schema:

Caratteristiche geografiche	
Località	San Nicolò a Tordino
Comune di riferimento	Teramo
Regione	Abruzzo
Altitudine (s.l.m)	265 m
Temperatura del terreno	15,5 °C
Gradi giorno	1834 °C
Zona climatica	D

Condizioni termoigrometriche esterne estive:

Temperatura di bulbo secco	33,0 °C
Temperatura di bulbo umido	22,9 °C
Umidità relativa	40.0 %

Condizioni termoigrometriche esterne invernali:

Temperatura di bulbo secco	0,0 °C
Temperatura di bulbo umido	-1,0 °C
Umidità relativa	82.1 %

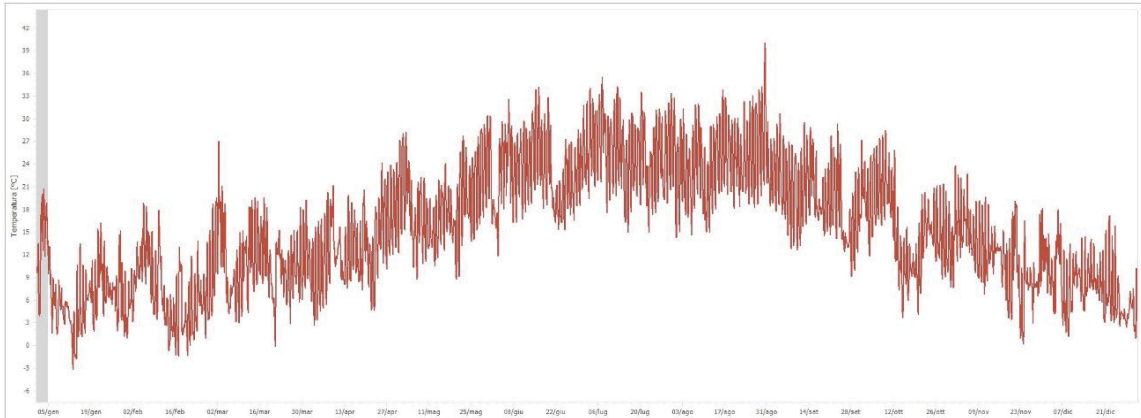


Figura 10: Temperatura media giornaliera dell'aria esterna

Valori medi mensili dei dati climatici												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Theta e [°C]	7.1	7.1	11.1	13.2	18.8	22.8	25.7	24.6	19.7	15.5	11.9	7.8

Nella formula (1) compare il parametro U che rappresenta il coefficiente di trasmissione globale, anche detto “trasmittanza”. Per una parete piana composta da più strati omogenei in serie la trasmittanza si ricava dall'espressione generale:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{s_i}{\lambda_i} + \sum R' + \sum \frac{1}{C'} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3)$$

dove:

α_1 e α_2 sono i coefficienti di trasmissione superficiale (legati a convezione ed irraggiamento) nelle due facce della parete; α per una parete interna verticale si assume pari a circa $8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, mentre per una parete esterna in genere si considera $\alpha = 23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (valori maggiori sono considerati nel caso di pareti d'angolo o in presenza di forti venti);
 $\sum \frac{s_i}{\lambda_i}$ è la somma delle resistenze termiche dei vari strati omogenei che compongono la parete;
 $\sum R'$ è la resistenza specifica di uno strato ($\text{m}^2\cdot\text{K/W}$);
 $\sum \frac{1}{C'}$ è la conduttanza specifica di uno strato ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$).

Come visibile dalla formula (1) la trasmittanza risulta direttamente proporzionale al carico termico $\dot{Q}$ dovuto alle dispersioni attraverso le pareti: dunque più U sarà elevata, più energia termica verrà dispersa attraverso l'involucro. Quindi, per poter contenere i consumi energetici finalizzati al riscaldamento degli ambienti è fondamentale l'utilizzo di pareti esterne dotate di una trasmittanza U relativamente bassa. Per un dato locale di superficie totale interna A_t è possibile determinare anche la trasmittanza media U_m come:

$$U_m = \frac{\sum U \cdot A}{A_t} \quad (4)$$

Per terminare la digressione in merito ai carichi termici che si disperdono attraverso la struttura vanno infine citati i “ponti termici”. Per ponte termico si intende una discontinuità nell'involucro edilizio che può essere di tipo geometrico (ad esempio un angolo) e/o di tipo strutturale, cioè dovuta a variazioni nei materiali usati (come la presenza di un pilastro o di una finestra). Tale discontinuità modifica il normale andamento del flusso di calore, creando delle "vie di fuga" preferenziali per il calore che incrementano così le dispersioni termiche dell'edificio. Per valutare l'entità del flusso aggiuntivo legato al ponte termico si può utilizzare l'espressione (5) riportata di seguito, in cui compaiono l'estensione lineare del ponte termico L (in metri) e la trasmittanza termica lineica Ψ (misurata in $W/m \cdot K$). Quest'ultimo parametro caratterizza un ponte termico bidimensionale e indica il flusso termico che, in regime stazionario, attraversa il ponte termico per una differenza di temperatura tra interno ed esterno pari a $1^\circ C$.

$$\dot{Q}_{pt} = \Psi \cdot L \cdot (T_i - T_e) \quad (5)$$

Per stabilire più accuratamente le dispersioni attraverso la struttura è necessario infine attribuire un'opportuna maggiorazione percentuale al flusso termico che attraversa le pareti, tenendo conto dell'esposizione della parete stessa; in questo modo si andrà a considerare anche il diverso contenuto medio di umidità nella struttura in funzione dell'azione dell'irraggiamento solare diretto.

3.1 Fabbisogno termico invernale ed estivo

La prima fase di progettazione riguarda il calcolo dei carichi termici invernali ed estivi. Prima di tutto si definiscono le caratteristiche delle strutture di separazione tra gli ambienti climatizzati e l'esterno, le condizioni termo igrometriche di progetto interne ed

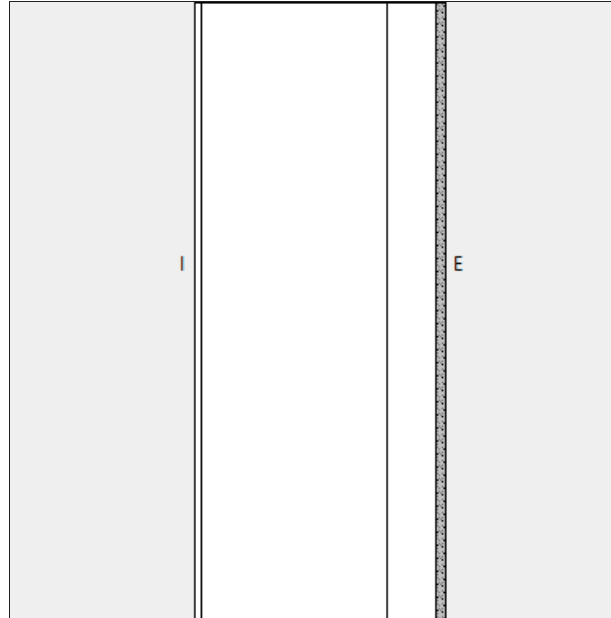
esterne e la tipologia di impianto. Dopo di che si procede al calcolo del carico termico necessario per dimensionare terminali, rete di distribuzione e taglia della centrale termica. I fabbisogni estivi ed invernali risultano essere la somma del carico dato dalle dispersioni attraverso l'involucro, della potenza necessaria da immettere negli ambienti e di eventuali carichi interni ed apporti solari gratuiti.

La fase di calcolo è stata svolta attraverso l'ausilio del software Mc4Suite un programma certificato dal CTI per il calcolo energetico in regime dinamico secondo UNI EN ISO 52016-1:2018 [17] e per la definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici secondo le normative del 26/6/2015.

Di seguito si riporta un estratto delle stratigrafie di progetto dei componenti opachi verticali, componenti opachi orizzontali e componenti trasparenti. Invece, per non appesantire la lettura, le verifiche di legge relative a condensa superficiale e condensa interstiziale sono riportate nell'Appendice.

3.1.1 Strutture opache verticali

Parete perimetrale:



Stratigrafia

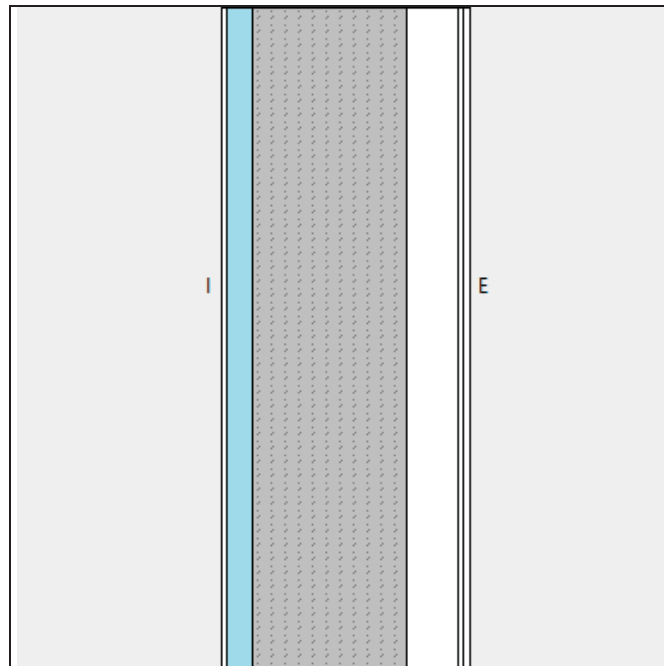
Descrizione materiale	s [cm]	λ_m [W/(m · K)]	m [%]	λ [W/(m · K)]	R [(m² · K)/W]	D [kg/m³]	DS [kg/m²]	CT [kJ/(kg · K)]	μ [-]
Aria ambiente									
Strato liminare interno					0,130				
Intonaco di calce e gesso	1,5	0,700		0,700	0,021	1400	21,00	0,84	10
Wienerberger	38	0,090		0,090	4,222	880	334,40	0,92	9
XPS espanso. senza pelle	10	0,035		0,035	2,857	10	1,00	1,45	60
Intonaco plastico per cappotto	1,5	0,300		0,300	0,050	1300	19,50	0,84	30
Strato liminare esterno					0,040				
TOTALI	51				7,320		375,9		
Trasmittanza teorica					[W/(m² · K)]		0,136		
Incremento di sicurezza					[%]		10,00		
Trasmittanza adottata					[W/(m² · K)]		0,150		

Verifiche di legge

Confronto con i valori limite

La struttura opaca è del tipo	Verticale	
Trasmittanza calcolata della struttura	0,136	[W/(m² · K)]
Valore limite della trasmittanza	0,290	[W/(m² · K)]

Parete in ca – Controterra:

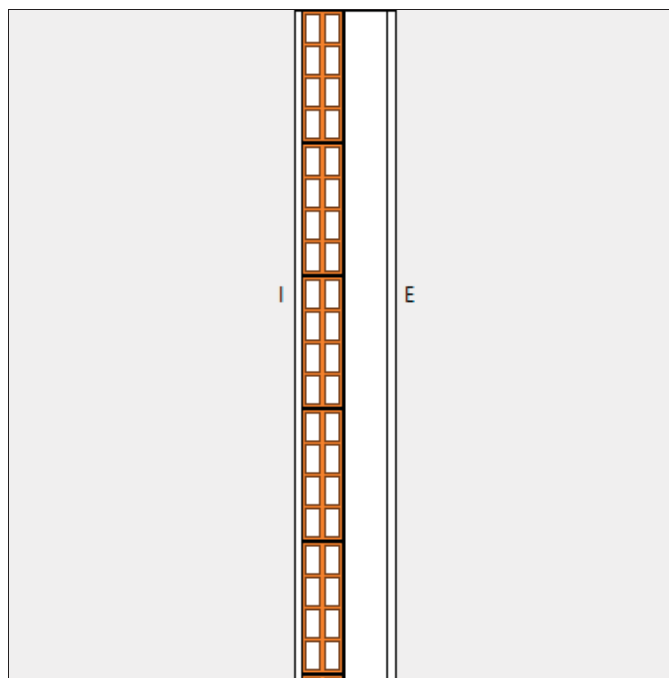


Stratigrafia									
Descrizione materiale	s	λ_m	m	λ	R	D	DS	CT	μ
	[cm]	[W/(m·K)]	[%]	[W/(m·K)]	[(m²·K)/W]	[kg/m³]	[kg/m²]	[kJ/(kg·K)]	[-]
Aria ambiente									
Strato liminare interno					0,130				
Lastra di gesso rivestito RB 13 / BA 13	1,25			0,250	0,050	750	9,38	1	10
Aria in quiete a 293 K	5	0,026		0,026	1,923	1	0,05	1	1
Calcestruzzo armato 2300	30	2,300		2,300	0,130	2300	690,00	1	130
XPS espanso. senza pelle	10	0,035		0,035	2,857	10	1,00	1,45	60
Foglio allum-plast. >0.08 mm	0,35	220,000		220,000		2700	9,45	0,96	2000000
Membrana impermeabilizzante bituminosa	0,35	0,170		0,170	0,021	1200	4,20	1	20000
Strato liminare esterno					0,040				
TOTALI	46,95				5,151		714,075		
Trasmittanza teorica				[W/(m²·K)]		0,194			
Incremento di sicurezza				[%]		10,00			
Trasmittanza adottata				[W/(m²·K)]		0,214			

Verifiche di legge

Confronto con i valori limite		
La struttura opaca è del tipo	Verticale	
Trasmittanza calcolata della struttura	0,194	[W/(m ² · K)]
Valore limite della trasmittanza	0,290	[W/(m ² · K)]

Divisorio interno vs zona non climatizzata:

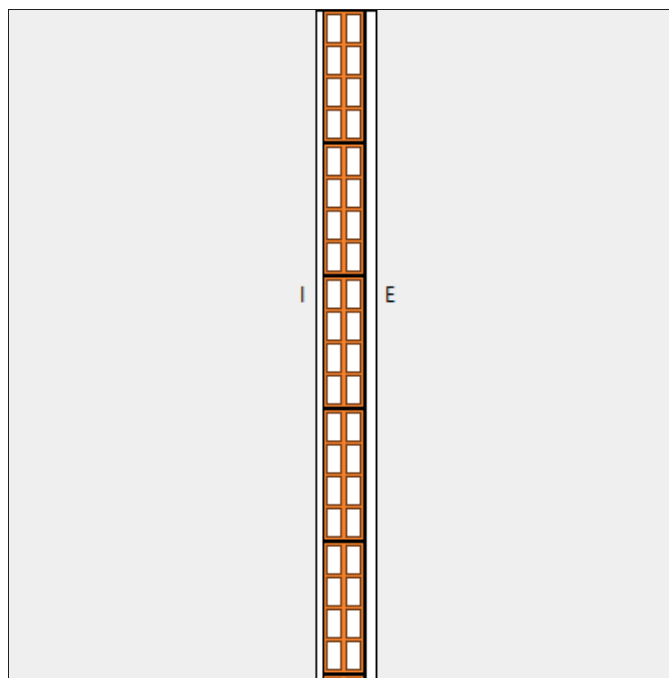


Stratigrafia									
Descrizione materiale	s	λ_m	m	λ	R	D	DS	CT	μ
	[cm]	[W/(m·K)]	[%]	[W/(m·K)]	[(m²·K)/W]	[kg/m³]	[kg/m²]	[kJ/(kg·K)]	[-]
Aria ambiente									
Strato liminare interno					0,130				
Malta di calce o calce cemento	1,5	0,900		0,900	0,017	1800	27,00	0,91	20
Mattone forato 1.1.19 80	8			0,400	0,200	775	62,00	0,92	9
XPS espanso. senza pelle	8	0,035		0,035	2,286	10	0,80	1,45	60
Lastra di gesso rivestito RB 13 / BA 13	1,25			0,250	0,050	750	9,38	1	10
Strato liminare esterno					0,130				
TOTALI	18,75				2,813		99,175		
Trasmittanza teorica				[W/(m²·K)]		0,356			
Incremento di sicurezza				[%]					
Trasmittanza adottata				[W/(m²·K)]		0,356			

Verifiche di legge

Confronto con i valori limite		
La struttura opaca è del tipo	Verticale	
Trasmittanza calcolata della struttura	0,356	[W/(m²·K)]
Valore limite della trasmittanza	0,800	[W/(m²·K)]

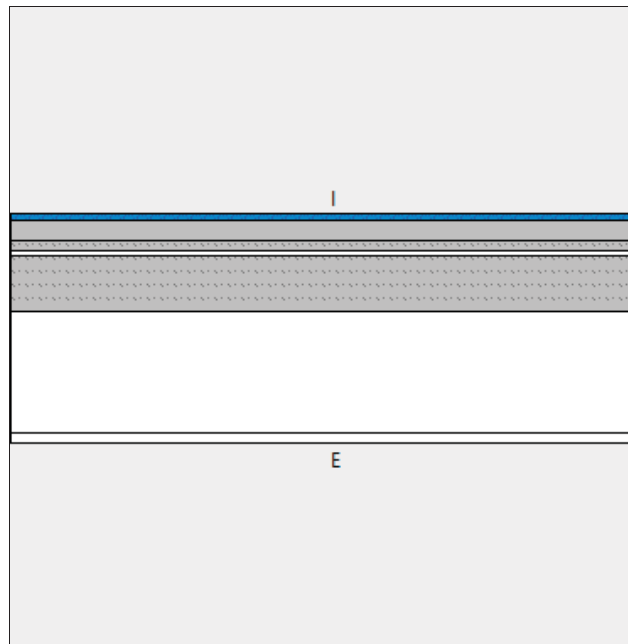
Divisorio interno alla zona climatizzata:



Stratigrafia									
Descrizione materiale	s	λ_m	m	λ	R	D	DS	CT	μ
	[cm]	[W/(m · K)]	[%]	[W/(m · K)]	[(m ² · K)/W]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[kJ/(kg · K)]	[-]
Aria ambiente									
Strato liminare interno					0,130				
Malta di calce o calce cemento	1,5	0,900		0,900	0,017	1800	27,00	0,91	20
Mattone forato 1.1.19 80	8			0,400	0,200	775	62,00	0,92	9
Malta di calce o calce cemento	1,5	0,900		0,900	0,017	1800	27,00	0,91	20
Strato liminare esterno					0,130				
TOTALI	11				0,494		116		
Trasmittanza teorica				[W/(m ² · K)]			2,027		
Incremento di sicurezza				[%]					
Trasmittanza adottata				[W/(m ² · K)]			2,027		

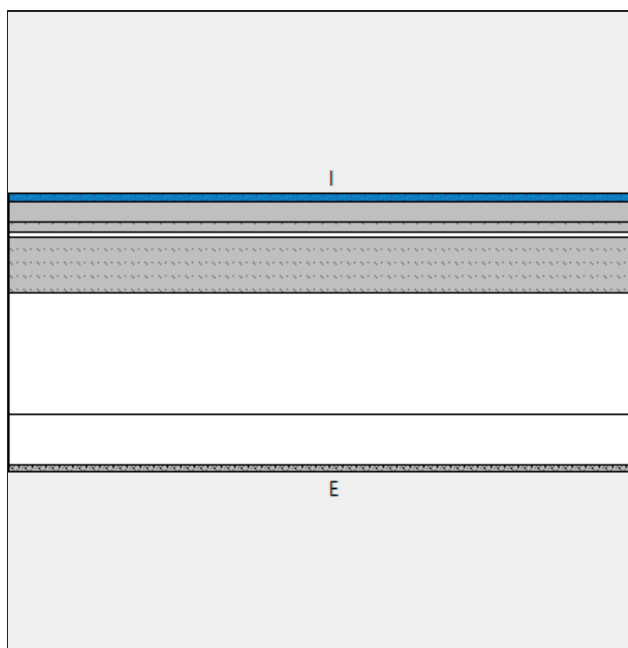
3.1.2 Strutture opache orizzontali

Solaio interpiano:



Stratigrafia									
Descrizione materiale	s	λ_m	m	λ	R	D	DS	CT	μ
	[cm]	[W/(m·K)]	[%]	[W/(m·K)]	[(m²·K)/W]	[kg/m³]	[kg/m²]	[kJ/(kg·K)]	[-]
Aria ambiente									
Strato liminare interno					0,170				
Piastrelle in ceramica	1,5	1,000		1,000	0,015	2300	34,50	0,84	200
Sottofondo in cls magro	4	0,930		0,930	0,043	2200	88,00	0,88	70
Calcestruzzo ordinario	2	1,160		1,160	0,017	2000	40,00	1	20
XPS espanso. senza pelle	1	0,035		0,035	0,286	10	0,10	1,45	60
Massetto in calcestruzzo allegg. 1400	11	0,580		0,580	0,190	1400	154,00	1	20
Solaio a lastre tralicciate in c.a. PSE (predalles) 4+16+4	24			0,587	0,409	1800	432,00	1	9
Malta di calce o calce cemento	1,5	0,900		0,900	0,017	1800	27,00	0,91	20
Strato liminare esterno					0,170				
TOTALI	45				1,317		775,6		
Trasmittanza teorica				[W/(m²·K)]			0,760		
Incremento di sicurezza				[%]					
Trasmittanza adottata				[W/(m²·K)]			0,760		

Solaio interpiano sporgente vs esterno:

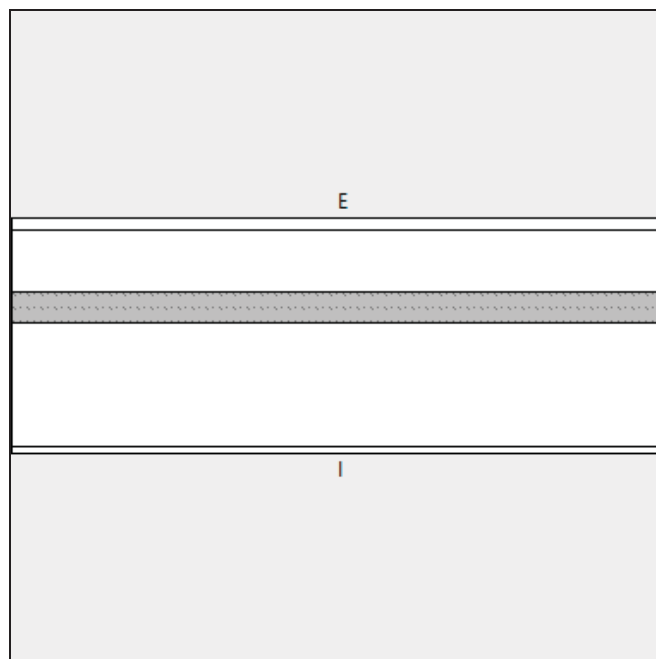


Stratigrafia									
Descrizione materiale	s	λ_m	m	λ	R	D	DS	CT	μ
	[cm]	[W/(m · K)]	[%]	[W/(m · K)]	[(m² · K)/W]	[kg/m³]	[kg/m²]	[kJ/(kg · K)]	[-]
Aria ambiente									
Strato liminare interno					0,170				
Piastrelle in ceramica	1,5	1,000		1,000	0,015	2300	34,50	0,84	200
Sottofondo in cls magro	4	0,930		0,930	0,043	2200	88,00	0,88	70
Calcestruzzo ordinario	2	1,160		1,160	0,017	2000	40,00	1	20
XPS espanso. senza pelle	1	0,035		0,035	0,286	10	0,10	1,45	60
Massetto in calcestruzzo allegg. 1400	11	0,580		0,580	0,190	1400	154,00	1	20
Solaio a lastre tralicciate in c.a. PSE (predalles) 4+16+4	24			0,587	0,409	1800	432,00	1	9
XPS espanso. senza pelle	10	0,035		0,035	2,857	10	1,00	1,45	60
Intonaco plastico per cappotto	1	0,300		0,300	0,033	1300	13,00	0,84	30
Strato liminare esterno					0,040				
TOTALI	54,5				4,060		762,6		
Trasmittanza teorica				[W/(m² · K)]		0,246			
Incremento di sicurezza				[%]					
Trasmittanza adottata				[W/(m² · K)]		0,246			

Verifiche di legge

Confronto con i valori limite		
La struttura opaca è del tipo	Orizzontale/Inclinata	
Trasmittanza calcolata della struttura	0,246	[W/(m ² · K)]
Valore limite della trasmittanza	0,290	[W/(m ² · K)]

Solaio di copertura:



Stratigrafia									
Descrizione materiale	s	λ_m	m	λ	R	D	DS	CT	μ
	[cm]	[W/(m · K)]	[%]	[W/(m · K)]	[(m² · K)/W]	[kg/m³]	[kg/m²]	[kJ/(kg · K)]	[-]
Aria ambiente									
Strato liminare interno					0,100				
Intonaco di calce e gesso	1,5	0,700		0,700	0,021	1400	21,00	0,84	10
Solaio a lastre tralicciate in c.a. PSE (predalles) 4+16+4	24			0,587	0,409	1800	432,00	1	9
Massetto in calcestruzzo ordinario 2000	6	1,060		1,060	0,057	2000	120,00	1	20
PUR con rivestimenti flessibili permeabili a gas s<80 mm	12	0,028		0,028	4,286	28	3,36	1,4	60
Membrana impermeabilizzante bituminosa	0,5	0,170		0,170	0,029	1200	6,00	1	20000
Strato liminare esterno					0,040				
TOTALI	44				4,942		582,36		
Trasmittanza teorica				[W/(m² · K)]			0,203		
Incremento di sicurezza				[%]			10,00		
Trasmittanza adottata				[W/(m² · K)]			0,223		

Verifiche di legge

Confronto con i valori limite		
La struttura opaca è del tipo	Orizzontale/Inclinata	
Trasmittanza calcolata della struttura	0,203	[W/(m ² · K)]
Valore limite della trasmittanza	0,260	[W/(m ² · K)]

3.1.3 Strutture trasparenti

Una significativa percentuale delle superfici disperdenti è formata da componenti finestrati i quali assumono quindi un ruolo fondamentale nel calcolo delle potenze trasmesse (caso invernale) e degli apporti solari (caso estivo). Le caratteristiche che permettono di definire ogni componente vetrato sono la trasmittanza unitaria e il fattore solare. La prima permette di determinare lo scambio termico del componente dovuta alla differenza di temperatura tra l'ambiente interno ed esterno ed è data dalla media pesata della trasmittanza del vetro e del telaio.

In particolare:

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + I_g \cdot \psi_g}{A_g + A_f}$$

Dove:

A_g è l'area della vetrata

A_f è l'area del pannello opaco

U_g è la trasmittanza termica della vetrata

U_f è la trasmittanza termica del componente opaco

I_g è il perimetro della vetrata

Ψ_g è la trasmittanza termica lineare dovuta agli effetti termici combinati della vetrata, del distanziatore e del telaio.

Gli infissi scelti per il presente caso studio sono serramenti in alluminio a taglio termico prodotti da *Schüco*, caratterizzati da un telaio con profondità pari a 65 mm. I profili in alluminio sono realizzati secondo il principio delle tre camere, soluzione che consente di migliorare le prestazioni termo-isolanti complessive del sistema.

La vetratura adottata è composta da un pacchetto stratificato del tipo 44.2 antirumore + intercapedine da 16 mm riempita con gas Argon (camera calda) + 44.2 4S selettivo, in grado di garantire elevate prestazioni sia dal punto di vista dell'isolamento acustico sia dell'efficienza energetica. [18]

All'interno del software di simulazione sono stati inseriti i valori di trasmittanza termica forniti dal produttore, al fine di ottenere una valutazione quanto più accurata possibile delle prestazioni dell'involucro.

Si riporta di seguito l'abaco degli infissi:

PIANO	DESCRIZIONE	QUANTITA'	L x H [mm]	U _w [W/m ² K]
Terra	Finestra 1 anta + ribalta	1	840 x 2540	1,44
Terra	Finestra 1 anta + ribalta	1	970 x 2540	1,40
Terra	Scorrevole 1 anta alzante + fisso	1	2850 x 2540	1,34
Terra	Finestra fissa	8	740 x 2540	1,41
Terra	Scorrevole 1 anta alzante + fisso	1	2500 x 2540	1,37
Terra	Porta 1 anta con serratura	2	1100 x 2540	1,37
Terra	Finestra fissa	1	450 x 1840	1,18
Terra	Finestra fissa	2	740 x 2800	1,40
Terra	Scorrevole 1 anta alzante + fisso	1	4400 x 2800	1,25
Terra	Finestra fissa	8	400 x 2700	1,47
Primo	Finestra 1 anta + ribalta	1	880 x 2540	1,43
Primo	Scorrevole 1 anta alzante + fisso	1	1570 x 2540	1,53
Primo	Finestra 1 anta + ribalta	1	960 x 2540	1,40
Primo	Finestra 1 anta + ribalta	4	780 x 2540	1,47
Primo	Finestra 1 anta + ribalta	1	980 x 2540	1,40
Primo	Scorrevole 1 anta alzante + fisso	1	1910 x 2540	1,46
Primo	Finestra 1 anta + ribalta	1	740 x 2540	1,49
Primo	Finestra fissa	1	910 x 2540	1,35
Primo	Finestra 1 anta + ribalta	1	910 x 2540	1,42
Primo	Finestra fissa	7	400 x 2700	1,47

Tabella 6: Abaco infissi

3.2 Modellazione dell'edificio

A fine di procedere con il calcolo dei carichi termici, è necessario definire le condizioni di progetto interne ed esterne. Le condizioni di progetto esterne sono state definite tramite la definizione dei dati climatici impostando la località dell'edificio soggetto a progettazione tramite la quale il software MC4 automaticamente definisce tutti i parametri ricavandoli dalla normativa 10349-1:2016 [19].

Le condizioni di progetto interne sono state definite come segue:

- Inverno $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Estate $T = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$

In seguito alla definizione dei parametri di calcolo è stato modellato l'intero edificio.

Sono stati definiti innanzitutto i piani che compongono l'edificio impostando l'altezza interna pari a 3,00 m. Tutti gli ambienti sono stati definiti attribuendo le strutture opache e trasparenti creati nell'archivio di progetto e riportati nel paragrafo precedente. Sono di seguito riportate alcune immagini relative al modello finale dell'edificio. La colorazione diversa delle varie superfici è associata ad una specifica tipologia di struttura definita nell'archivio di progetto.

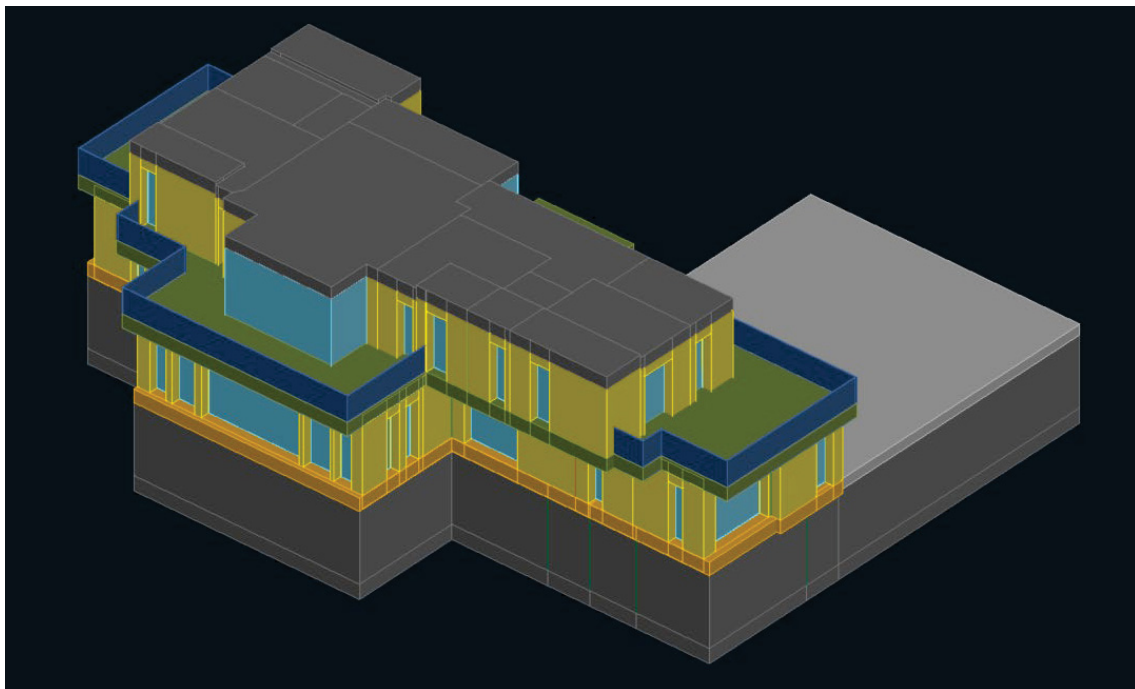


Figura 11 : Prima vista modello

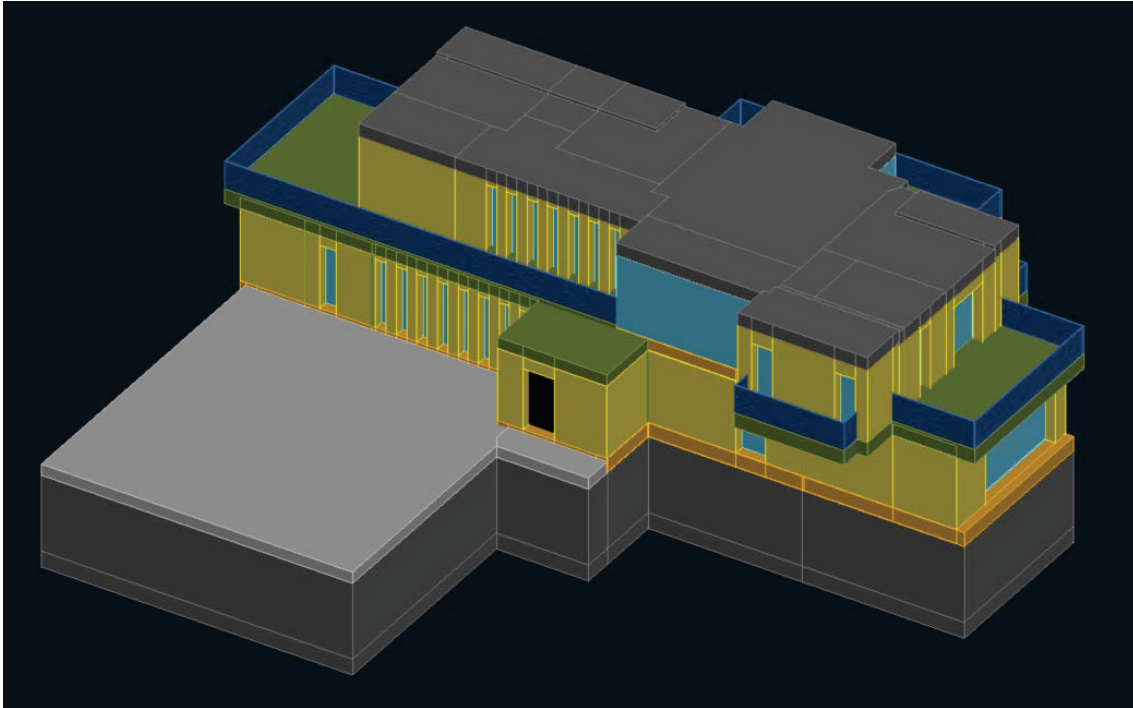


Figura 12: Seconda vista modello

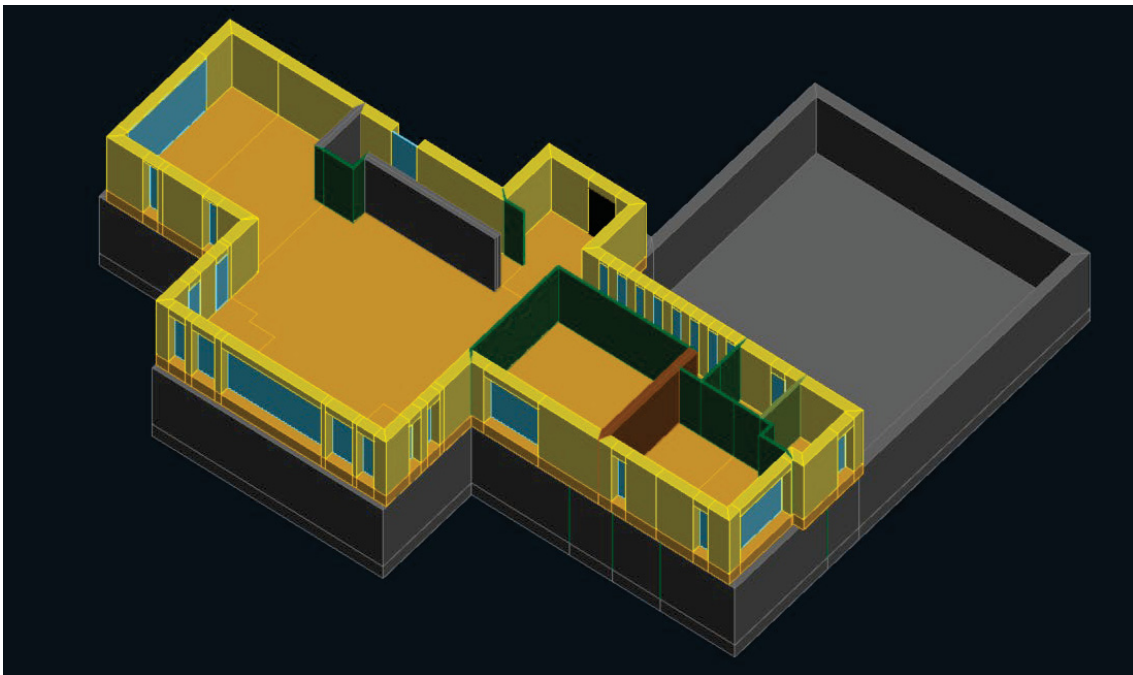


Figura 13: Terza vista modello

3.3 Risultati di calcolo

La normativa di riferimento per il calcolo dei carichi termici invernali è la UNI EN 12831 [14], tramite la quale il software ricava i parametri di calcolo fondamentali. Diversamente per il calcolo dei carichi termici estivi la normativa di riferimento scelta è ASHRAE [20]. Nella definizione dei parametri utili al calcolo dei carichi termici estivi oltre alle temperature di set point sono stati definiti profili orari di occupazione degli ambienti tramite i quali vengono definiti gli apporti termici, sensibili e latenti, utili per il calcolo dei carichi estivi. È opportuno inoltre specificare che il calcolo dei carichi termici estivi ed invernali avviene diversamente. I carichi invernali infatti vengono calcolati in regime stazionario e gli apporti endogeni vengono trascurati al fine di considerare la situazione più gravosa. I carichi termici estivi invece vengono calcolati in regime dinamico considerando il comportamento resistivo-capacitivo dell'involucro a cui si associa una variabilità dell'apporto termico. La condizione più gravosa dal punto di vista del carico termico estivo, a parità di altri contributi, si verifica quando è massimo l'apporto termico considerando la componente termica istantanea e la componente rilasciata dall'involucro dell'edificio con un certo sfasamento temporale.

Nel calcolo del carico termico estivo generalmente vengono considerati tutti gli apporti endogeni sia di tipo sensibile che latente anche se nell'effettivo non essendoci un controllo diretto dell'umidità relativa degli ambienti interni la componente latente ricopre un ruolo più marginale.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati dei calcoli dei carichi termici dell'edificio sia estivi che invernali. Nello specifico nel caso estivo viene riportata la suddivisione del carico nella componente sensibile e latente.

DATI GENERALI			CARICHI ESTIVI			CARICHI INVERNALI
PIANO	AMBIENTE	ZONA	SENSIBILE [W]	LATENTE [W]	TOTALE [W]	TOTALE [W]
Terra	2- Sala da pranzo	Climatizzata	3163	652	3815	2454
Terra	3- Salone	Climatizzata	1830	196	2026	1278
Terra	4- Cucina	Climatizzata	1156	231	1387	683
Terra	5- Camera ospiti	Climatizzata	626	160	786	746
Terra	6- Wc	Riscaldata	-	-	-	176
Terra	7- Bagno	Riscaldata	-	-	-	212
Primo	8- Studio	Climatizzata	2318	407	2725	2483
Primo	9- Camera matrimoniale	Climatizzata	547	113	660	704
Primo	10- Cabina armadio	Riscaldata	-	-	-	217
Primo	11- Bagno padronale	Riscaldata	-	-	-	360
Primo	12- Camera singola	Climatizzata	456	108	564	500
Primo	13- Bagno	Riscaldata	-	-	-	170
Primo	14- Camera singola	Climatizzata	490	109	599	609
Primo	15- Bagno	Riscaldata	-	-	-	216
Interrato	16- Rustico	Climatizzata	1022	227	1249	1090
Interrato	17- Taverna	Climatizzata	1003	223	1226	1005
Interrato	18- Taverna	Climatizzata	1376	296	1672	948
Interrato	20- Wc	Riscaldata	-	-	-	199
Interrato	21- Lavanderia	Riscaldata	-	-	-	454

Tabella 7: Risultati carichi termici

4 SCELTE IMPIANTISTICHE

Tra le diverse soluzioni tecnologiche attualmente disponibili sul mercato per la climatizzazione e la produzione di energia negli edifici, è stata individuata come maggiormente idonea l'adozione di un sistema di generazione completamente elettrico ("full electric"), in grado di garantire elevati standard di efficienza energetica, riduzione dei consumi e contenimento delle emissioni climalteranti.

In particolare, è stato previsto un sistema impiantistico costituito da una pompa di calore ad alta efficienza, scelta per la sua capacità di soddisfare i fabbisogni energetici sia in regime invernale sia estivo, assicurando la produzione di energia termica per il riscaldamento degli ambienti e per il raffrescamento estivo attraverso un unico generatore. Tale soluzione consente di eliminare l'impiego di combustibili fossili, favorendo una significativa riduzione dell'impatto ambientale dell'edificio e migliorandone al contempo le prestazioni energetiche complessive.

A integrazione del sistema è stato previsto un impianto solare termico dedicato alla produzione di acqua calda sanitaria. L'utilizzo dell'energia solare consente infatti di coprire una quota significativa del fabbisogno annuo di acqua calda sanitaria, soprattutto nei periodi caratterizzati da maggiore disponibilità di irraggiamento solare, riducendo ulteriormente il consumo di energia elettrica richiesto dalla pompa di calore e incrementando l'efficienza globale del sistema edificio-impianto.

Parallelamente, è stata prevista l'installazione di un impianto fotovoltaico finalizzato alla produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile. L'energia prodotta dall'impianto sarà destinata all'alimentazione dei principali servizi tecnologici dell'edificio, tra cui gli impianti di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione meccanica, produzione di acqua calda sanitaria e illuminazione. Tale configurazione permette di incrementare il livello di autosufficienza energetica dell'edificio, riducendo il prelievo di energia dalla rete elettrica nazionale e contribuendo al contenimento dei costi di gestione.

L'integrazione tra pompa di calore, solare termico e impianto fotovoltaico rappresenta pertanto una soluzione impiantistica altamente efficiente e coerente con gli attuali obiettivi di sostenibilità ambientale, decarbonizzazione e miglioramento della prestazione energetica degli edifici, in linea con le più recenti normative europee e nazionali in materia di efficienza energetica e utilizzo delle fonti rinnovabili.

4.1 Impianto idronico

Un impianto idronico è un sistema che distribuisce l'energia termica o frigorifera utilizzando l'acqua come fluido termovettore.

Il cuore dell'impianto è il generatore di calore, spesso una pompa di calore come quella aria-acqua. L'acqua, grazie alla sua elevata capacità termica, trasporta il calore attraverso la rete di distribuzione, che è composta da tubazioni ben isolate per evitare la dispersione di calore e la formazione di condensa lungo il percorso di distribuzione.

I terminali di distribuzione ricevono l'acqua calda o fredda dalle tubazioni e trasferiscono il calore all'ambiente circostante. Tali terminali possono includere radiatori, ventilconvettori e sistemi radianti a bassa temperatura.

Come ogni sistema di climatizzazione, anche l'impianto idronico presenta vantaggi e svantaggi.

Vantaggi:

- sicurezza e sostenibilità: l'utilizzo dell'acqua come fluido termovettore è preferibile in quanto non tossico ed ecocompatibile, a differenza dei gas refrigeranti, i quali se dispersi in ambiente hanno un effetto inquinante espresso dall'indice GWP (Global Warming Potential);
- consumi ridotti: grazie alla sua operatività a basse temperature, l'impianto idronico garantisce un notevole risparmio sui costi energetici, contribuendo così alla riduzione delle bollette;
- flessibilità: l'utilizzo dell'acqua come fluido termovettore permette di adattare l'impianto a molteplici casistiche.

Svantaggi:

- costi iniziali: l'installazione di un impianto idronico può comportare costi iniziali più elevati rispetto ad altre soluzioni tradizionali, a causa della necessità di tubazioni più grandi;
- tempistiche di entrata a regime: gli impianti idronici potrebbero richiedere più tempo per raggiungere la temperatura desiderata rispetto ad altri sistemi più rapidi, come quelli ad espansione diretta o con caldaia.

4.2 Terminali di emissione

Con il termine terminali d'impianto si indicano i componenti dell'impianto che contribuiscono in maniera attiva alla climatizzazione della zona considerata. Il loro dimensionamento è funzione della valutazione delle dispersioni termiche del locale da riscaldare e/o raffreddare effettuata in fase di progettazione. Alcuni terminali, quali i classici radiatori, sono utilizzati solo in condizioni invernali di funzionamento al fine di riscaldare i locali nei quali sono previsti, altri invece, come i ventilconvettori o i sistemi radianti a pavimento/soffitto, possono essere utilizzati anche per la climatizzazione estiva.

4.2.1 Ventilconvettori

I ventilconvettori sono terminali che cedono o sottraggono calore all'ambiente per convezione forzata. Sono costituiti essenzialmente da:

- una o due batterie alettate di scambio termico;
- uno o due ventilatori centrifughi o tangenziali;
- un filtro dell'aria;
- una bacinella di raccolta condensa;
- un involucro di contenimento.

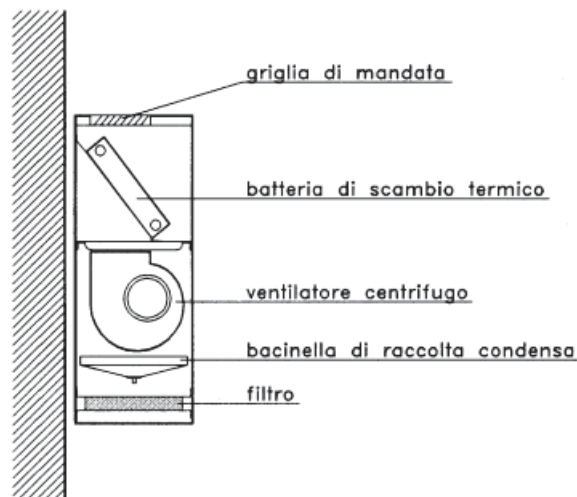


Figura 14: Componenti di un ventilconvettore [20]

I ventilconvettori possono essere classificati secondo i seguenti criteri:

- in base al luogo di messa in opera:
 - a pavimento;
 - a parete;

- a controsoffitto;
- a soffitto;
- secondo il tipo di protezione:
 - con mobiletto;
 - ad incasso;
- in base alla posizione del ventilatore:
 - sulla mandata (il ventilatore invia aria alla batteria);
 - sull'aspirazione (il ventilatore aspira aria dalla batteria);
- in relazione alle caratteristiche del flusso d'aria:
 - a percorso libero;
 - a percorso canalizzato;
- in base al numero di batterie:
 - a batteria singola (in impianti a 2 tubi);
 - a doppia batteria (in impianti a 4 tubi, cioè in impianti in cui circola contemporaneamente sia il fluido caldo che il fluido freddo).

Una corretta scelta di questi corpi scaldanti, richiede l'esame dei seguenti fattori:

- potenza termica e portata d'aria dei ventilconvettori;
- temperatura di uscita dell'aria;
- livello sonoro.
-

POTENZA TERMICA E PORTATA D'ARIA DEI VENTILCONVETTORI

In locali medio-grandi è consigliabile suddividere la potenza termica richiesta su più ventilconvettori. Potenze termiche troppo concentrate possono, infatti, determinare temperature interne non uniformi.

Per garantire una buona distribuzione del calore è bene, inoltre, che la portata d'aria dei ventilconvettori non sia inferiore a 3,5 volte il volume del locale da riscaldare.

TEMPERATURA DELL'ARIA IN USCITA DAI VENTILCONVETTORI IN FASE DI RISCALDAMENTO

È conveniente che, in fase di riscaldamento, la temperatura dell'aria in uscita dai ventilconvettori sia compresa tra 35 e 50°C. Tali valori consentono di evitare che le correnti d'aria, generate dai ventilconvettori stessi, possano provocare sensazioni di

freddo e impedire il formarsi di una forte stratificazione dell'aria. Solitamente la temperatura dell'aria in uscita dai ventilconvettori è riportata sulle specifiche tecniche del costruttore. In caso contrario può essere calcolata mediante le seguenti formule:

$$t_{au} = t_{ae} + \frac{(273 + t_{ae}) \cdot Q}{84,6 \cdot G}$$

Dove: t_{au} = temperatura dell'aria in uscita dal ventilconvettore [°C]

t_{ae} = temperatura dell'aria in entrata dal ventilconvettore [°C]

Q = potenza termica resa nelle condizioni considerate [kcal/h]

G = portata d'aria riferite a 20 °C [m³/h]

LIVELLO SONORO AMMISSIBILE

Il rumore prodotto dai ventilconvettori (di norma riportato sulle relative specifiche tecniche) non deve superare il livello sonoro ammissibile nell'ambiente. Tale valore dipende essenzialmente dalla destinazione d'uso dei locali e può essere stabilito in base ai valori consigliati dalla letteratura tecnica.

In genere i ventilconvettori sono dotati di ventilatori a tre velocità e risulta conveniente effettuare la loro scelta in base alla velocità media. Si può così ottenere un contenuto livello sonoro in condizioni normali e una rapida messa a regime con la massima velocità di rotazione.

POTENZA TERMICA NOMINALE DI UN VENTILCONVETTORE IN FASE DI RISCALDAMENTO

È la potenza termica ceduta da un ventilconvettore all'ambiente esterno nelle condizioni di prova. Tali condizioni, con riferimento alla norma UNI 7940 (Ventilconvettori - condizioni di prova e caratteristiche) [21], possono essere così riassunte:

- apparecchiature e strumentazione di misura: come richiesto dalla norma sopra richiamata;
- temperature dei fluidi (riferite a tre condizioni di prova):
 - $t_e = 50, 60, 70^{\circ}\text{C}$, temperature di entrata del fluido scaldante,
 - $t_u = 40, 50, 60^{\circ}\text{C}$, temperature di uscita del fluido scaldante,
 - $t_{ae} = 20^{\circ}\text{C}$, temperatura dell'aria in entrata nel ventilconvettore;
- velocità di rotazione del ventilatore: massima prevista;

- differenza di pressione statica tra l'entrata e l'uscita dell'aria dal ventilconvettore: nulla;
- pressione atmosferica di prova: uguale alla pressione atmosferica esistente a livello del mare (101,3 kPa).

POTENZA TERMICA EFFETTIVA DI UN VENTILCONVETTORE IN FASE DI RISCALDAMENTO

È la potenza termica ceduta da un ventilconvettore all'ambiente esterno nelle effettive condizioni di utilizzo. Il suo valore può essere calcolato con la formula:

$$Q_{\text{eff}} = Q_{\text{nom}} \cdot F$$

Dove: Q_{eff} = potenza termica effettiva, [W] o [kcal/h]

Q_{nom} = potenza termica nominale, [W] o [kcal/h]

F = fattore correttivo globale, adimensionale

Il fattore correttivo globale F può essere espresso con la seguente funzione:

$$F = F [t_m, t_{ae}, v_r, h, v]$$

Dove: t_m = temperatura media del fluido scaldante, [°C]

t_{ae} = temperatura dell'aria in entrata nel ventilconvettore, [°C]

v_r = velocità di rotazione del ventilatore, [giri/min]

h = altezza sul livello del mare, [m]

v = velocità del fluido scaldante, [m/s]

La determinazione analitica di questa funzione è molto complessa. Solitamente i costruttori forniscono il valore di F , oppure riportano direttamente la potenza termica effettiva in funzione delle variabili di temperatura.

POTENZA TERMICA NOMINALE DI UN VENTILCONVETTORE IN FASE DI RAFFREDDAMENTO

È la potenza termica sottratta da un ventilconvettore all'ambiente esterno nelle condizioni di prova. Tali condizioni, con riferimento alla norma UNI 7940 (Ventilconvettori - condizioni di prova e caratteristiche) [21], possono essere così riassunte:

- apparecchiature e strumentazione di misura: come richiesto dalla norma sopra richiamata;
- temperature dei fluidi:

- $t_e = 7^\circ\text{C}$, temperatura di entrata del fluido di raffreddamento,
- $t_u = 12^\circ\text{C}$, temperatura di uscita del fluido di raffreddamento,
- $t_{ae(s)} = 27^\circ\text{C}$, temperatura al bulbo secco dell'aria in entrata nel ventilconvettore,
- $t_{ae(u)} = 19^\circ\text{C}$, temperatura al bulbo umido dell'aria in entrata nel ventilconvettore;
- velocità di rotazione del ventilatore: massima prevista;
- differenza di pressione statica tra l'entrata e l'uscita dell'aria dal ventilconvettore: nulla;
- pressione atmosferica di prova: uguale alla pressione atmosferica esistente a livello del mare (101,3 kPa).

POTENZA TERMICA EFFETTIVA DI UN VENTILCONVETTORE IN FASE DI RAFFREDDAMENTO

È il calore (sensibile e latente) sottratto da un ventilconvettore all'ambiente esterno nelle effettive condizioni di utilizzo. Il suo valore può essere calcolato con la formula:

$$Q_{\text{eff}} = Q_{\text{nom}} \cdot F$$

Dove: Q_{eff} = potenza termica effettiva, [W] o [kcal/h]

Q_{nom} = potenza termica nominale, [W] o [kcal/h]

F = fattore correttivo globale, adimensionale

Il fattore correttivo globale F può essere espresso con la seguente funzione:

$$F = F [t_m, t_{ae(u)}, v_r, h, v]$$

Dove: t_m = temperatura media del fluido di raffreddamento, $[\text{°C}]$

$t_{ae(u)}$ = temperatura al bulbo umido dell'aria in entrata nel ventilconvettore, $[\text{°C}]$

v_r = velocità di rotazione del ventilatore, [giri/min]

h = altezza sul livello del mare, [m]

v = velocità del fluido di raffreddamento, [m/s]

La determinazione analitica di questa funzione è molto complessa. Solitamente i costruttori forniscono il valore di F , oppure riportano direttamente la potenza termica effettiva in funzione delle variabili di temperatura.

4.2.2 Pannello radiante a pavimento

I sistemi radianti idronici tipici dei settori residenziale sono costituiti da serpentine in materiale plastico immerse nelle strutture degli edifici, generalmente isolate dai locali adiacenti. Questi sistemi utilizzano acqua a temperature diverse in base alla necessità di riscaldare o raffreddare gli ambienti.

Possono essere installati oltre che a pavimento, anche a parete o a soffitto. Nel caso dei pavimenti radianti, le tubazioni possono essere incorporate nel massetto, posizionando i tubi sopra lo strato isolante, che può essere piano o a rilievo.

I vantaggi offerti da questa tipologia di impianto sono:

- il benessere termico;
- la qualità dell'aria;
- le condizioni igieniche;
- l'impatto ambientale;
- il calore utilizzabile a bassa temperatura;
- il risparmio energetico.
-

BENESSERE TERMICO

Come evidenziato dalla curva ideale riportata di seguito, per poter assicurare in un locale condizioni di benessere termico si devono mantenere zone leggermente più calde a pavimento e più fredde a soffitto. Gli impianti che meglio si prestano a offrire tali condizioni sono quelli a pavimento radiante.

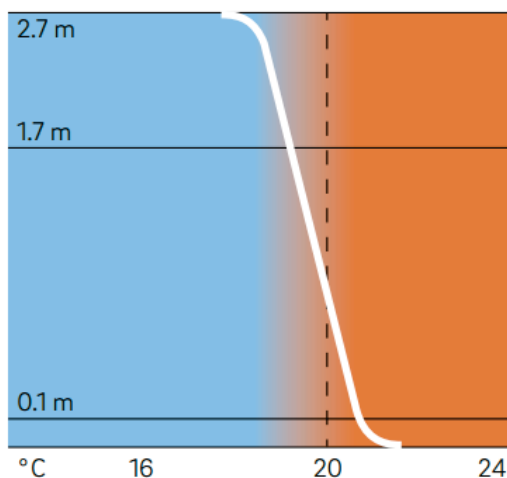


Figura 15 Distribuzione ideale del calore [22]

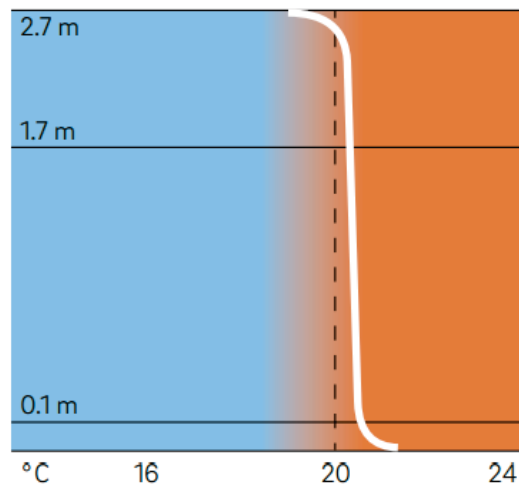


Figura 16 Riscaldamento a superficie radiante [22]

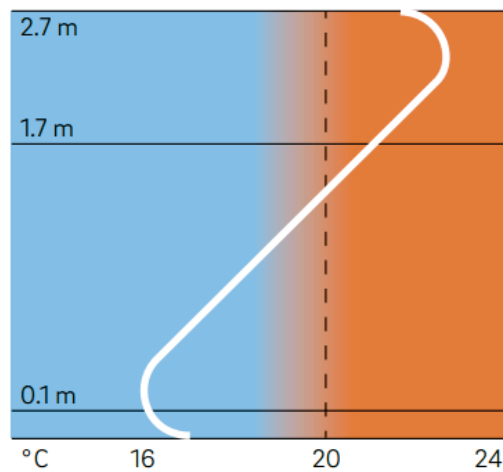


Figura 17 Riscaldamento con radiatori [22]

QUALITA' DELL'ARIA

Il riscaldamento a pannelli è in grado di evitare due inconvenienti tipici degli impianti a corpi scaldanti:

- la combustione del pulviscolo atmosferico, che può causare senso di arsuria e irritazione alla gola;
- l'elevata circolazione di polvere, che (specie nei locali poco puliti) può esser causa di allergie e difficoltà respiratorie.

IMPATTO AMBIENTALE

Nelle costruzioni nuove e negli interventi di recupero con rifacimento dei pavimenti, gli impianti a pannelli sono gli impianti a minor impatto ambientale perché:

- non pongono vincoli di natura estetica. La non visibilità dei pannelli risulta molto importante soprattutto quando si devono climatizzare edifici di rilievo storico o architettonico, dove la presenza di corpi scaldanti può compromettere l'equilibrio delle forme originali;
- non limitano la libertà d'arredo, consentendo così il più razionale utilizzo dello spazio disponibile;
- non contribuiscono al degrado di intonaci, pavimenti in legno e serramenti, in quanto non sporcano le pareti di nerofumo e limitano sensibilmente i casi di condensa interna in quanto aumentano la temperatura delle pareti vicine alle solette con pannelli.

CALORE UTILIZZABILE A BASSA TEMPERATURA

Per merito della loro elevata superficie disperdente, gli impianti a pannelli possono riscaldare con basse temperature del fluido termovettore. Questa caratteristica rende conveniente il loro uso con sorgenti di calore la cui resa aumenta al diminuire della temperatura richiesta, come nel caso di pompe di calore.

Il sistema è costituito dalla soletta, dal materiale isolante, dal massetto e dal pavimento.

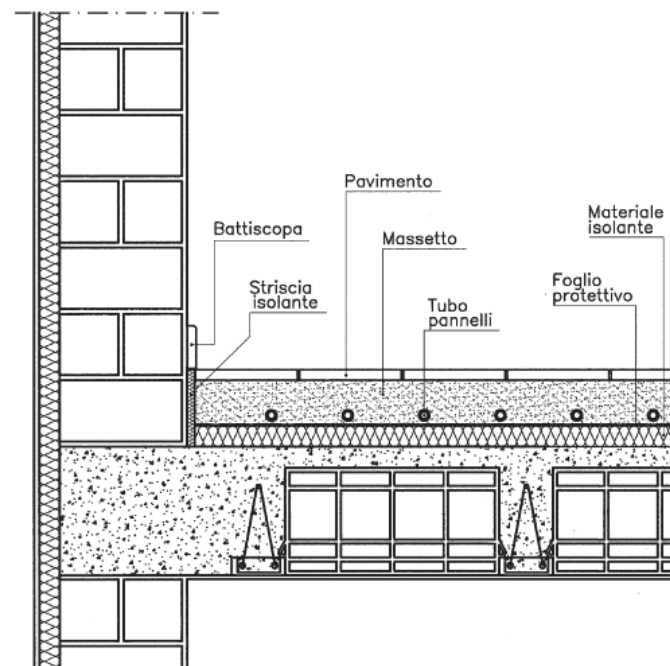


Figura 18 Soletta radiante tipo [23]

MATERIALI ISOLANTI

Gli isolanti posti sotto i pannelli servono a ridurre il calore ceduto verso il basso e a limitare l'inerzia termica dell'impianto. I materiali isolanti più utilizzati sono quelli in polistirene e in poliuretano.

Gli isolanti possono essere a superfici piane oppure a superfici preformate per l'ancoraggio diretto dei tubi.

Gli isolanti a superfici piane sono quelli normalmente utilizzati in edilizia per coibentare i pavimenti tradizionali. Non essendo provvisti di supporti per l'ancoraggio dei tubi, essi richiedono la messa in opera di reti elettrosaldate o di appositi profilati metallici con clips di giunzione e supporti di fissaggio.

Gli isolanti di tipo preformato sono invece appositamente realizzati per gli impianti a pannelli. Le loro superfici presentano profili e scanalature che consentono di fissare direttamente i tubi. Questi isolanti presentano il vantaggio di rendere più veloce la messa in opera dei pannelli.

TUBI

I tubi in materiale plastico sono quelli che meglio si prestano a realizzare i pannelli, perché a differenza dei tubi metallici sono, facili da porsi in opera e non si corrodono. Normalmente si utilizzano tubi in polietilene reticolato (PEX), polibutene (PB) e polipropilene (PP). Tutti i tubi in materia plastica devono essere dotati di barriere contro la diffusione dell'ossigeno. Si deve infatti impedire il diffondersi, all'interno dei tubi, dell'ossigeno contenuto nell'aria perché questo gas può causare la corrosione della caldaia e dei tubi metallici.

SVILUPPO PANNELLI

I pannelli possono essere realizzati con sviluppo a spirale o a serpentine. Si tratta di sistemi che, a pari interasse e superficie, erogano la stessa quantità di calore, tuttavia il sistema a spirale è in genere preferibile in quanto offre:

- una temperatura superficiale più omogenea, dato che (a differenza di quanto avviene con le serpentine) i suoi tubi di andata e di ritorno si sviluppano fra loro in modo alternato;

- una maggior facilità di posa in opera, in quanto la realizzazione delle spirali richiede solo due curve a 180°: quelle centrali, cioè quelle in cui lo sviluppo della spirale si inverte.

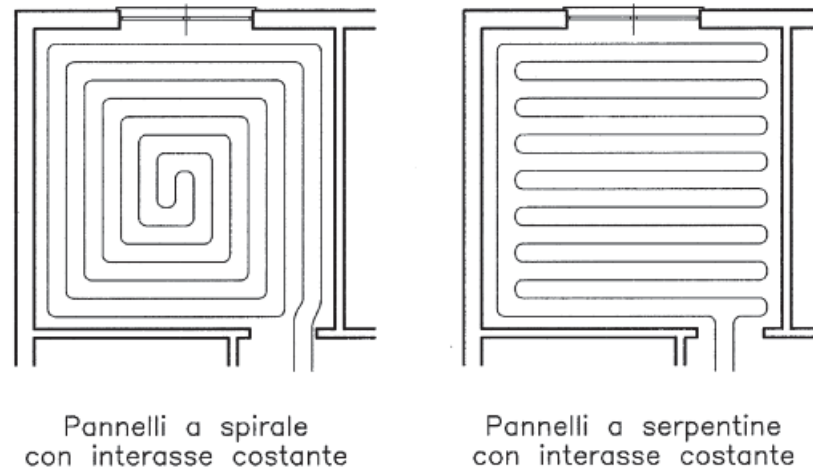


Figura 19 Sviluppo pannelli a spirale e a serpentina [23]

Secondo la norma UNI EN ISO 7730 [24] devono essere rispettati i seguenti criteri per ottenere la massima soddisfazione possibile delle persone che si trovano all'interno di ambiente. Temperatura di funzionamento:

- Estate: da 23 °C a 26 °C;
- Inverno: da 20 °C a 24 °C.

Per le superfici che sono a diretto contatto con il corpo umano esistono limiti per le temperature massime ammissibili che devono essere rispettate per ragioni mediche e fisiologiche:

- Pavimento:
 - Soggiorni e uffici (zone soggiornali): 29 °C;
 - Locali e zone poco frequentate (zone perimetrali) 35 °C.
- Parete: 35 °C.

La temperatura ambiente secondo la norma UNI EN 12831 [14]:

- in locali d'abitazione: 20°C;
- in bagno 24 °C

FLUSSO DI CALORE TOTALE EMESSO DA UN PANNELLO

Si calcola con la formula:

$$Q_t = (t_e - t_u) \cdot G \cdot 1,16$$

Dove: Q_t = flusso di calore totale emesso da un pannello, [W]

t_e = temperatura di entrata del fluido scaldante, [°C]

t_u = temperatura di uscita del fluido scaldante, [°C]

G = portata del pannello, [l/h]

La portata del pannello può essere determinata con la formula sotto riportata:

$$G = \frac{Q}{(t_e - t_u) \cdot 1,16} \cdot \left[1 + \frac{\frac{1}{\alpha} + R_p + \frac{s_m}{\lambda_m}}{R_s} + \frac{S \cdot (t_a - t_s)}{Q \cdot R_s} \right]$$

ponendo: $\alpha = 10,8$ [W/m² K]

e dove: G = portata del pannello, [l/h]

Q = flusso di calore emesso verso l'alto da un pannello, [W]

t_e = temperatura di entrata del fluido scaldante, [°C]

t_u = temperatura di uscita del fluido scaldante, [°C]

s_m = spessore del massetto, [m]

λ_m = conducibilità termica del massetto, [W/mK]

R_p = resistenza termica del pavimento, [m² K/W]

R_s = resistenza termica sotto pannello, [m² K/W]

S = superficie coperta dal pannello, [m²]

t_a = temperatura dell'aria ambiente, [°C]

t_s = temperatura del locale o del terreno sottostante, [°C]

4.3 Impianto di ventilazione meccanica controllata

L'impianto di ventilazione meccanica controllata svolge la funzione di garantire un adeguato ricambio d'aria all'interno degli edifici e mantenere una qualità dell'aria interna ottimale.

La ventilazione assume un ruolo chiave nelle moderne abitazioni ad alta efficienza energetica e nelle case con elevato isolamento termico. Questo sistema è indispensabile per prevenire problematiche legate all'umidità e alla formazione di muffa, preservando l'integrità dell'edificio e tutelando il suo valore nel tempo.

I moderni sistemi di ventilazione sono dotati di recuperatori calore. Attraverso il recupero termico, l'energia termica dell'aria calda in espulsione viene riutilizzata per riscaldare l'aria pulita in ingresso, consentendo un risparmio significativo sui costi di riscaldamento. In estate, il sistema assicura il recupero termico in modo analogo: il fresco dell'aria in uscita viene sfruttato per abbassare la temperatura dell'aria in ingresso.

Ci sono due tipologie di impianto:

- VMC centralizzata: l'aria esterna viene distribuita su tutta l'abitazione attraverso canalizzazioni e immessa nei vari locali mediante bocchette.

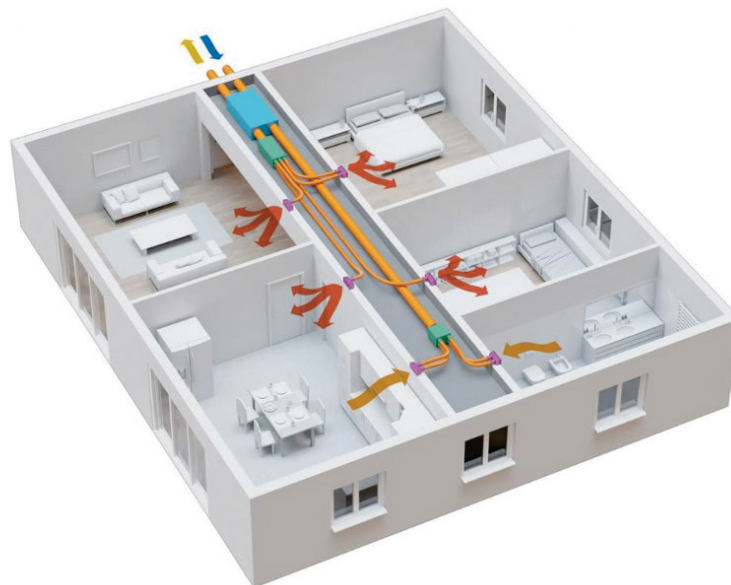


Figura 20: Esempio di sistema di distribuzione a plenum [25]

L'unità VMC è composta da tre macro componenti:

- i ventilatori (uno di immissione e uno di estrazione) che permettono il movimento dell'aria negli ambienti. Sono ventilatori solitamente

centrifughi comandati da motori elettrici ad alta efficienza. Rispetto alla ventilazione naturale, in cui la portata d'aria immessa in ambiente è variabile in funzione del vento e della pressione esterni, la ventilazione meccanica controllata garantisce portate costanti (e regolabili dall'utente) proprio grazie all'uso di questi dispositivi;

- Lo scambiatore di calore, che permette di recuperare l'energia termica dall'aria viziata che viene estratta dagli ambienti più umidi (bagni e cucine hanno l'aria tipicamente più carica di umidità e di inquinanti) e cedere questo calore all'aria che proviene dall'esterno, che si pre-riscalda ed è quindi pronta per essere immessa nei locali più nobili, come ad esempio soggiorni o camere da letto;
- I filtri, che impediscono agli inquinanti esterni di penetrare nella nostra casa e proteggono la componentistica interna della macchina. Ci sono filtri posizionati sul flusso d'aria di rinnovo e filtri posizionati sul flusso d'aria di ripresa.

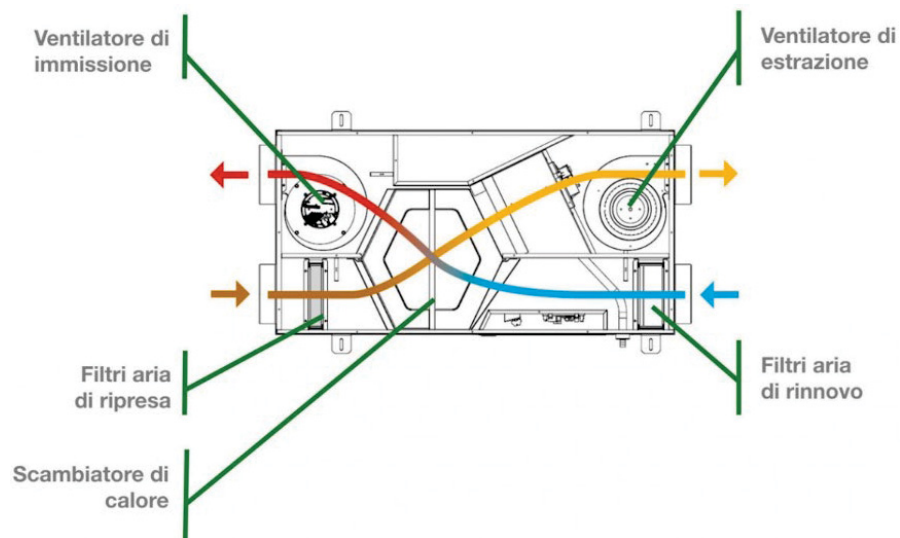


Figura 21: Principali componenti di una macchina di ventilazione [25]

- VMC decentralizzata o VMC puntuale: opera localmente nell'ambiente in cui viene installata. In questo caso, il recupero del calore avviene mediante l'alternanza del flusso in immissione ed estrazione.

Nel flusso di estrazione, il ventilatore estrae l'aria viziata e umida dal locale. La sua energia termica viene immagazzinata nel recuperatore di calore, dopodiché l'aria viene espulsa all'esterno.

Nel flusso di immissione, il ventilatore inverte la sua rotazione aspirando dall'esterno l'aria pulita, alla quale viene ceduta l'energia termica accumulata. L'aria di rinnovo viene quindi filtrata e immessa nel locale.

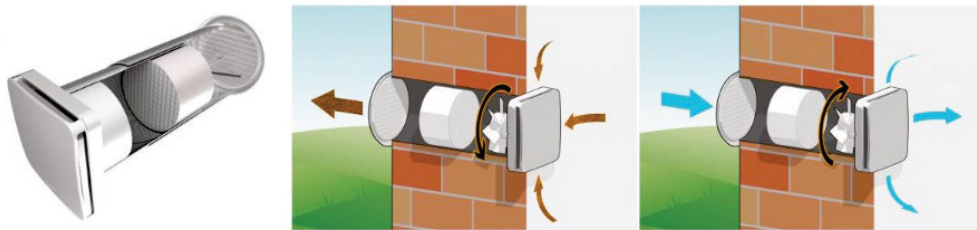


Figura 22: Ventilazione meccanica puntuale [25]

4.4 Pompa di calore

Una pompa di calore è un sistema termodinamico che trasferisce energia termica da una sorgente naturale esterna (aria, acqua, terreno) verso l'interno di un edificio per riscaldare, raffreddare e produrre acqua calda sanitaria. Funziona secondo un ciclo termodinamico inverso a quello di un frigorifero: cattura calore a bassa temperatura e lo concentra per uso domestico o impiantistico, riducendo l'uso di combustibili fossili e l'energia primaria richiesta rispetto a generatori tradizionali.

Il fluido refrigerante svolge un ruolo centrale nel funzionamento di una pompa di calore: si tratta di un fluido con un punto di ebollizione estremamente basso che subisce una serie di trasformazioni in 4 fasi all'interno dei diversi componenti del circuito chiuso del sistema. Di seguito, un'illustrazione del funzionamento di una pompa di calore durante il periodo invernale:

- Fase 1: all'interno dell'evaporatore, l'energia termica dell'ambiente (dall'aria, dall'acqua o dal sottosuolo) viene trasferita al fluido refrigerante per mezzo di uno scambiatore di calore. Questo provoca l'evaporazione completa del refrigerante che ha una temperatura inferiore dell'ambiente esterno.

- Fase 2: nel compressore, il refrigerante - ora in stato gassoso - viene compresso e riscaldato da un compressore azionato elettricamente.
- Fase 3: nel condensatore, il fluido refrigerante, ora in stato gassoso e riscaldato, viene sottoposto a condensazione e torna allo stato liquido. In questo processo, il calore viene estratto dal gas caldo attraverso un altro scambiatore di calore e trasferito all'accumulatore di calore del sistema di riscaldamento, alla temperatura di mandata desiderata. Questo calore viene usato per scaldare l'ambiente casalingo, per esempio riscaldando l'aria dei termoconvettori o l'acqua che scorre nelle tubazioni del sistema di riscaldamento a pavimento.
- Fase 4: all'interno dell'espansore, il fluido refrigerante passa attraverso la valvola e così si raffredda, tornando nuovamente a pressione e temperatura originali.

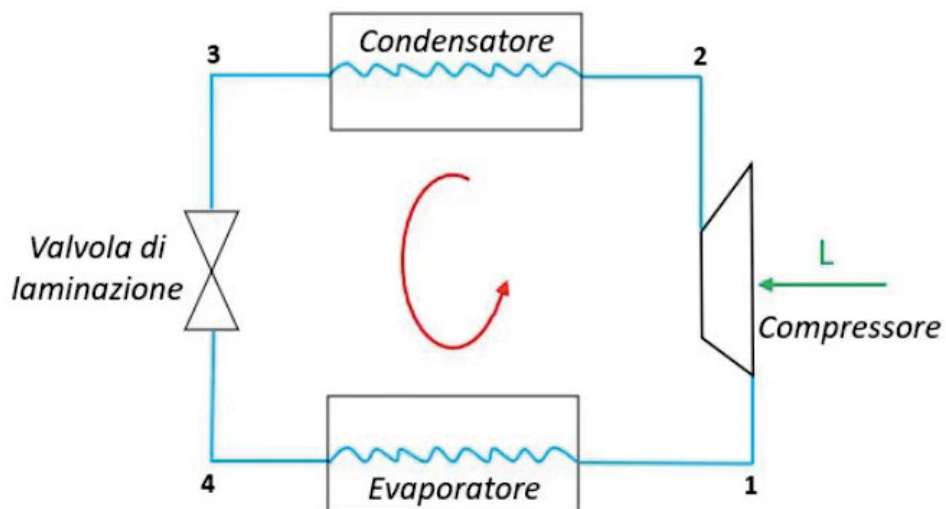


Figura 23: Ciclo termodinamico pompa di calore [26]

La pompa di calore può essere utilizzata sia in condizioni invernali sia in condizioni estive di funzionamento:

- Funzionamento invernale: nel funzionamento invernale la pompa di calore sottrae energia termica all'ambiente esterno tramite l'evaporatore e cede tale energia al fluido termovettore attraverso il condensatore secondo il ciclo termodinamico sopra riportato;

- Funzionamento estivo: tramite l'utilizzo di una valvola a tre vie è possibile andare ad invertire il ciclo termodinamico facendo in modo di avere, in questa nuova condizione di funzionamento, l'evaporatore che sottrae calore al fluido termovettore e il condensatore che cede calore all'ambiente esterno.

A seconda del funzionamento, sia esso invernale o estivo, l'efficienza della pompa di calore è espressa secondo due indici, l'COP (Coefficient of Performance) e l'EER (Energy Efficiency Ratio), dati rispettivamente da rapporti di potenze:

- Condizioni invernali di funzionamento:

$$COP = \frac{\text{Potenza termica disponibile [W]}}{\text{Potenza elettrica assorbita [W]}}$$

- Condizioni estive di funzionamento:

$$EER = \frac{\text{Potenza termica sottratta [W]}}{\text{Potenza elettrica assorbita [W]}}$$

5 DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO

A seguito dei risultati ottenuti dall'analisi energetica dell'edificio, è stato possibile procedere alla progettazione dell'impianto di climatizzazione invernale ed estiva, calibrando le scelte impiantistiche in funzione delle differenti esigenze termigrometriche dei vari ambienti.

In particolare, si è ritenuto opportuno operare una distinzione tra il piano interrato e i piani fuori terra, in ragione delle diverse condizioni di utilizzo e dei differenti requisiti di comfort richiesti. Il piano interrato, infatti, essendo caratterizzato da una limitata fruibilità abitativa e da un utilizzo prevalentemente occasionale, non richiede gli stessi livelli prestazionali e di comfort degli ambienti principali dell'abitazione. Per tale motivo, si è optato per una soluzione impiantistica più semplice e flessibile, prevedendo l'installazione di ventilconvettori a parete, in grado di garantire sia il riscaldamento invernale sia il raffrescamento estivo, con tempi di risposta rapidi e una gestione puntuale degli ambienti.

Diversamente, per i piani fuori terra, ovvero il piano terra e il primo piano, destinati alla permanenza continuativa degli occupanti, si è adottata una soluzione impiantistica maggiormente orientata al comfort e all'efficienza energetica. In tali livelli si è previsto un sistema di riscaldamento a pavimento, che consente una distribuzione uniforme della temperatura, un elevato comfort termigrometrico e una riduzione dei consumi energetici grazie al funzionamento a basse temperature di esercizio.

Per quanto concerne il raffrescamento estivo, si è adottato un sistema a ventilconvettori canalizzati installati all'interno del controsoffitto. Tale soluzione permette una distribuzione omogenea dell'aria trattata, un impatto estetico minimo sugli ambienti interni e una maggiore silenziosità rispetto ai sistemi tradizionali a vista. Inoltre, l'integrazione tra il sistema radiante a pavimento e i ventilconvettori canalizzati consente una gestione efficiente e flessibile delle condizioni ambientali, garantendo elevati standard di comfort in tutte le stagioni.

5.1 Impianto di climatizzazione a ventilconvettori

Ai fini della selezione delle taglie di ventilconvettori da installare nei singoli locali, si sono presi in considerazione i seguenti parametri:

- la potenzialità resa alle condizioni di progetto: nel funzionamento estivo, è necessario distinguere la potenzialità totale e la potenzialità sensibile e verificare, per il modello selezionato, la congruenza di tali valori con il rapporto tra carichi sensibili e totali (Q_s/Q_t) del locale, valutato all'ora di massimo carico. Il valore di potenzialità di riferimento per la scelta degli apparecchi è quello corrispondente al massimo carico previsto per il locale considerato. Sebbene tale valore possa essere ritenuto generalmente cautelativo rispetto alla probabilità di effettivo verificarsi delle condizioni di progetto, è comunque opportuno mantenere un margine di sicurezza, al fine di tenere conto della perdita di efficienza del ventilconvettore nel tempo, dovuta principalmente allo sporcamento della batteria di scambio termico e delle pale del ventilatore. Per il funzionamento invernale, la selezione dei ventilconvettori può essere effettuata facendo riferimento al carico termico massimo previsto per l'ambiente, verificando che la potenza resa dall'apparecchio sia superiore a tale valore.
- la temperatura dell'acqua di alimentazione, in quanto l'aumento della temperatura di ingresso del fluido riduce sia la potenza sensibile sia quella latente scambiata dal ventilconvettore nel funzionamento estivo. Al contrario, nel funzionamento invernale, l'aumento della temperatura incrementa la potenzialità resa.
- la velocità di funzionamento del ventilatore: questo parametro ha un'influenza rilevante sulla rumorosità di funzionamento del ventilconvettore
- il livello di rumorosità di funzionamento, che deve essere compatibile con la destinazione d'uso dell'ambiente in cui esso va installato.

Presi in considerazione tali fattori, si sono adottate le seguenti scelte: la velocità del ventilatore è stata fissata alla velocità media, condizione mediamente accettabile per quanto concerne i limiti imposti dalla rumorosità degli apparecchi e, le temperature dell'acqua di alimentazione sono state impostate come riportato di seguito [27]:

Modalità raffreddamento	Modalità riscaldamento
Fluido Acqua	Fluido Acqua
Temp. In fluido [°C] 10,00	Temp. In fluido [°C] 45,00
Temp. Out fluido [°C] 15,00	Temp. Out fluido [°C] 40,00
Portata [l/h]	Portata [l/h]
	Portata Aqua ☐

Per il dimensionamento si opera una distinzione tra il piano interrato e i piani fuori terra in quanto sono stati scelti due sistemi diversi.

5.1.1 Piano interrato

Il piano interrato ospita locali quali cantina, taverna, lavanderia, garage e spazi accessori; tra questi, solo una parte è servita da sistemi di climatizzazione attiva, sia per il riscaldamento sia per il raffrescamento, mentre i restanti ambienti risultano non climatizzati.

Come precedentemente illustrato, questo piano è caratterizzato da un utilizzo prevalentemente occasionale, per tale motivo si è optato per una soluzione impiantistica più semplice e con tempi di risposta rapidi, prevedendo l'installazione di ventilconvettori a parete dell'azienda italiana Innova.

Il modello scelto è l'Airleaf SL, un fancoil con mobile a vista, estremamente sottile con una profondità di soli 129 mm. Il ventilatore è tangenziale a pale asimmetriche e lo scambiatore ad ampia superficie frontale, ottenendo così elevati flussi di aria con basse perdite di carico e grande silenziosità. La velocità del ventilatore non è a gradini, ma modulata in continuo con logica proporzionale ed integrativa, ciò riduce sia il rumore che i fastidiosi movimenti d'aria.



Figura 24: Ventilconvettore a parete modello SL [28]

Si riporta, per ciascuna taglia di ventilconvettore, la resa nominale calcolata con i parametri di progetto definiti:

MODELLO	VELOCITA'	Qa [m3/h]	Pc [kW]	Ps [kW]	Ph [kW]	PERDITA DI CARICO [kPa]
SL 200	Media	91,0	0,47	0,40	0,69	5,9
SL 400	Media	210,0	0,77	0,74	1,53	8,8
SL 600	Media	318,0	1,43	1,22	2,16	9,9
SL 800	Media	410,0	1,58	1,49	2,59	10,2
SL 1000	Media	479,0	1,96	1,58	2,82	11,1

Tabella 8: Potenze rese in raffrescamento e riscaldamento dai ventilconvettori SL

Dove:

Q_a = Portata aria

P_c = Potenza frigorifera totale

P_s = Potenza frigorifera sensibile

P_h = Potenza termica

Confrontando tali valori con i carichi termici calcolati tramite simulazione, e riportati nella tabella 7, è stato possibile scegliere la taglia e il numero di terminali da installare in ciascun locale. Nella tabella si riportano il numero e il modello scelto di ventilconvettore, mettendo a confronto, per ogni singolo locale, le potenze calcolate e le potenze rese alle condizioni di progetto.

AMBIENTE	TERMINALE	POTENZA CALCOLATA A SENSIBILE [W]	POTENZA CALCOLATA TOTALE [W]	POTENZA RESA SENSIBILE [W]	POTENZA RESA TOTALE [W]	PORTATA ACQUA [l/h]	POTENZA TERMICA RICHIEDUTA [W]	POTENZA RESA TERMICA [W]	PORTATA ACQUA [l/h]
16- Rustico	2 x SL 600	1226,4	1498,8	2440	2860	258,4	1308	4320	225,5
17- Taverna	2 x SL 600	1203,6	1471,2	2440	2860	253,7	1206	4320	207,9
18- Taverna	2 x SL 600	1651,2	2006,4	2440	2860	345,9	1137,6	4320	196,1

Tabella 9: Dimensionamento ventilconvettori piano interrato

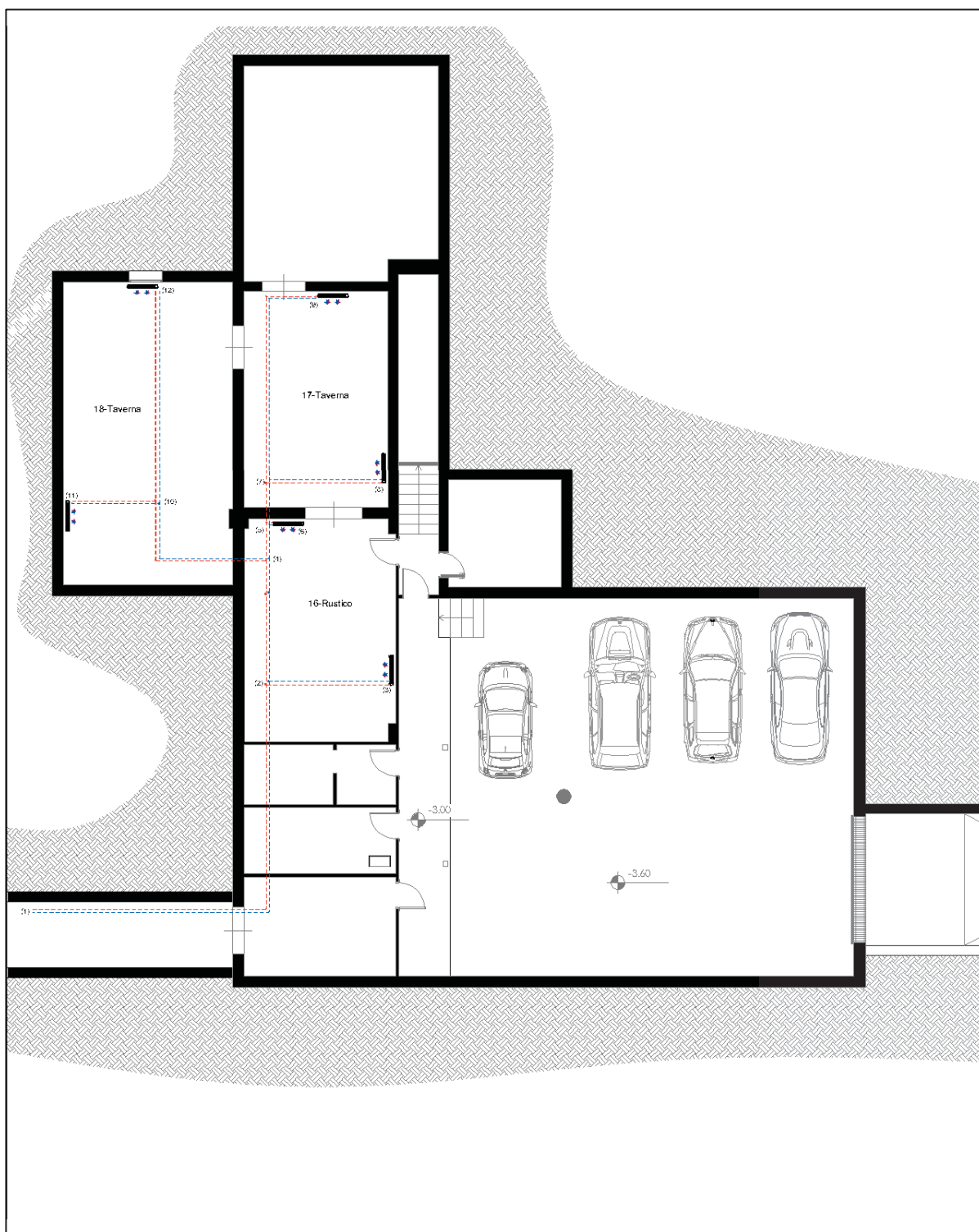


Figura 25: Distribuzione impianto a ventilconvettori piano interrato

La distribuzione del fluido termovettore all'interno dell'impianto avviene mediante una rete di tubazioni in multistrato opportunamente coibentate, dimensionate sulla base delle portate di progetto precedentemente determinate per ciascun ramo dell'impianto. La scelta di utilizzare tubazioni multistrato deriva dalle buone caratteristiche meccaniche, dalla ridotta rugosità interna e dall'elevata resistenza alla corrosione, aspetti che consentono di contenere le perdite di carico e garantire nel tempo adeguate condizioni di esercizio.

Il dimensionamento idraulico della rete è stato eseguito valutando le perdite di carico lungo i vari tratti di tubazione. In particolare, mediante l'utilizzo dei diagrammi caratteristici delle perdite di carico delle tubazioni, sono stati determinati i diametri e le perdite di carico continue in funzione delle portate.

r = perdite di carico continue, mm c.a./m		G = portate, l/h												v = velocità, m/s		r
r	ϕ_e	14	16	20	26	32	40	50	63	75	90	110	ϕ_e			
	ϕ_i	10	11,5	15	20	26	33	42	51	60	73	90	ϕ_i			
2	G	25	37	76	166	339	647	1.244	2.108	3.277	5.580	9.849	G	2		
	v	0,09	0,10	0,12	0,15	0,18	0,21	0,25	0,29	0,32	0,37	0,43	v			
4	G	38	55	113	247	503	961	1.849	3.132	4.869	8.291	14.636	G	4		
	v	0,13	0,15	0,18	0,22	0,26	0,31	0,37	0,43	0,48	0,55	0,64	v			
6	G	47	69	143	311	634	1.212	2.331	3.949	6.139	10.453	18.452	G	6		
	v	0,17	0,19	0,22	0,28	0,33	0,39	0,47	0,54	0,60	0,69	0,81	v			
8	G	56	82	168	367	748	1.428	2.748	4.655	7.235	12.321	21.748	G	8		
	v	0,20	0,22	0,26	0,32	0,39	0,46	0,55	0,63	0,71	0,82	0,95	v			
10	G	63	93	191	417	849	1.622	3.122	5.288	8.219	13.997	24.706	G	10		
	v	0,22	0,25	0,30	0,37	0,44	0,53	0,63	0,72	0,81	0,93	1,08	v			
12	G	70	103	212	462	943	1.800	3.465	5.868	9.122	15.534	27.419	G	12		
	v	0,25	0,28	0,33	0,41	0,49	0,58	0,69	0,80	0,90	1,03	1,20	v			
14	G	77	112	231	505	1.029	1.966	3.784	6.409	9.962	16.964	29.944	G	14		
	v	0,27	0,30	0,36	0,45	0,54	0,64	0,76	0,87	0,98	1,13	1,31	v			
16	G	83	121	250	545	1.111	2.122	4.084	6.917	10.752	18.309	32.318	G	16		
	v	0,29	0,32	0,39	0,48	0,58	0,69	0,82	0,94	1,06	1,22	1,41	v			
18	G	89	130	267	583	1.188	2.270	4.368	7.398	11.500	19.584	34.568	G	18		
	v	0,31	0,35	0,42	0,52	0,62	0,74	0,88	1,01	1,13	1,30	1,51	v			
20	G	94	138	284	619	1.262	2.411	4.639	7.857	12.214	20.799	36.713	G	20		
	v	0,33	0,37	0,45	0,55	0,66	0,78	0,93	1,07	1,20	1,38	1,60	v			
22	G	100	146	299	654	1.333	2.546	4.899	8.297	12.898	21.963	38.768	G	22		
	v	0,35	0,39	0,47	0,58	0,70	0,83	0,98	1,13	1,27	1,46	1,69	v			
24	G	105	153	315	687	1.401	2.675	5.148	8.720	13.555	23.083	40.744	G	24		
	v	0,37	0,41	0,49	0,61	0,73	0,87	1,03	1,19	1,33	1,53	1,78	v			
26	G	110	160	329	719	1.466	2.801	5.389	9.128	14.190	24.163	42.651	G	26		
	v	0,39	0,43	0,52	0,64	0,77	0,91	1,08	1,24	1,39	1,60	1,86	v			
28	G	114	167	344	750	1.530	2.922	5.622	9.523	14.803	25.208	44.496	G	28		
	v	0,40	0,45	0,54	0,66	0,80	0,95	1,13	1,29	1,45	1,67	1,94	v			
30	G	119	174	358	781	1.591	3.039	5.848	9.906	15.399	26.222	46.286	G	30		
	v	0,42	0,46	0,56	0,69	0,83	0,99	1,17	1,35	1,51	1,74	2,02	v			
35	G	130	190	390	853	1.738	3.319	6.387	10.818	16.817	28.636	50.548	G	35		
	v	0,46	0,51	0,61	0,75	0,91	1,08	1,28	1,47	1,65	1,90	2,21	v			
40	G	140	205	421	920	1.875	3.582	6.893	11.676	18.150	30.907	54.556	G	40		
	v	0,50	0,55	0,66	0,81	0,98	1,16	1,38	1,59	1,78	2,05	2,38	v			
45	G	150	219	451	984	2.006	3.832	7.373	12.489	19.414	33.059	58.354	G	45		
	v	0,53	0,59	0,71	0,87	1,05	1,24	1,48	1,70	1,91	2,19	2,55	v			
50	G	159	233	479	1.045	2.131	4.069	7.831	13.264	20.618	35.110	61.975	G	50		
	v	0,56	0,62	0,75	0,92	1,11	1,32	1,57	1,80	2,03	2,33	2,71	v			
60	G	177	258	531	1.160	2.364	4.516	8.691	14.721	22.882	38.966	68.780	G	60		
	v	0,63	0,69	0,84	1,03	1,24	1,47	1,74	2,00	2,25	2,59	3,00	v			
70	G	193	282	580	1.267	2.582	4.932	9.491	16.076	24.989	42.554	75.114	G	70		
	v	0,68	0,75	0,91	1,12	1,35	1,60	1,90	2,19	2,46	2,82	3,28	v			
80	G	208	304	626	1.367	2.787	5.323	10.243	17.351	26.971	45.928	81.069	G	80		
	v	0,74	0,81	0,98	1,21	1,46	1,73	2,05	2,36	2,65	3,05	3,54	v			
90	G	223	326	670	1.462	2.981	5.694	10.957	18.559	28.849	49.125	86.713	G	90		
	v	0,79	0,87	1,05	1,29	1,56	1,85	2,20	2,52	2,83	3,26	3,79	v			
100	G	237	346	711	1.553	3.166	6.047	11.637	19.710	30.639	52.174	92.094	G	100		
	v	0,84	0,92	1,12	1,37	1,66	1,96	2,33	2,68	3,01	3,46	4,02	v			

Figura 26: Tabella perdite di carico continue tubi in multistrato [29]

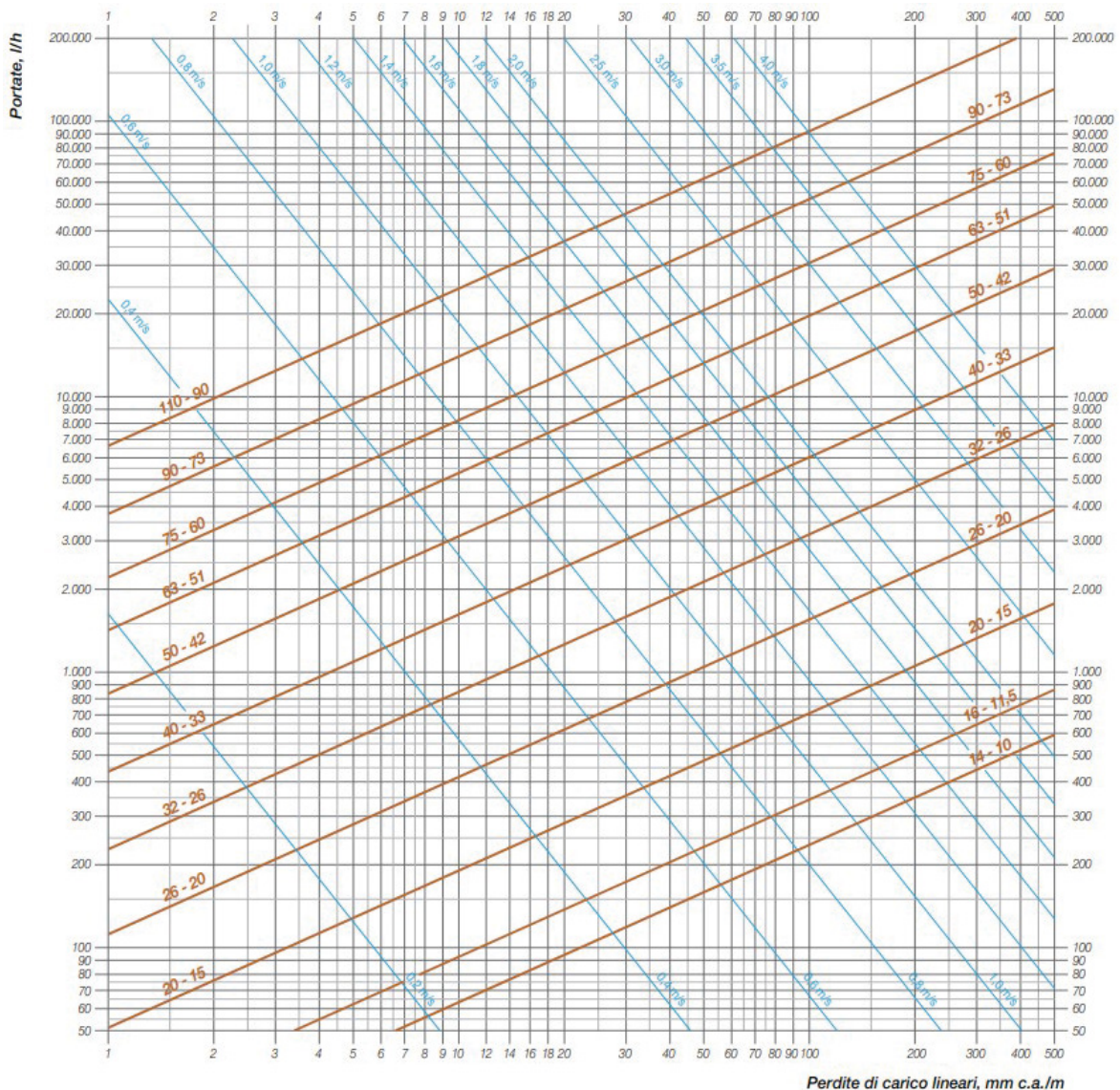


Figura 27: Diagramma perdite di carico continue tubi in multistrato [29]

Per quanto concerne le perdite di carico concentrate, generate dalla presenza di curve, raccordi, valvole di intercettazione, derivazioni e altri componenti presenti nella rete, in questa fase di progetto esse sono state stimate convenzionalmente pari al 30% delle perdite di carico continue. Tale assunzione rappresenta una metodologia semplificata comunemente adottata nel dimensionamento preliminare degli impianti idraulici e termotecnici, soprattutto nei casi in cui la distribuzione presenti uno sviluppo lineare prevalente e un numero contenuto di singolarità idrauliche.

Al fine di determinare la prevalenza necessaria al corretto funzionamento dell'impianto, è stato individuato il circuito idraulicamente più sfavorito, corrispondente al percorso caratterizzato dalla maggiore somma delle perdite di carico distribuite e concentrate. La

valutazione del circuito critico ha permesso di determinare la prevalenza totale richiesta al circolatore nelle condizioni di progetto.

TRATTO	PORTATA [l/h]	TABAZIONE	DIAMETRO	PERDITE DI CARICO CONTINUE [mm ca/m]	LUNGHEZZA [m]	PERDITE DI CARICO CONTINUE [mm ca]
1 - 2	858,0	Multistrato (MS)	Ø 32	11,0	60,0	660,0
2 - 3	129,2	Multistrato (MS)	Ø 16	18,0	8,0	144,0
2 - 4	728,8	Multistrato (MS)	Ø 32	8,0	8,0	64,0
4 - 5	382,9	Multistrato (MS)	Ø 26	9,0	4,0	36,0
5 - 6	129,2	Multistrato (MS)	Ø 16	18,0	4,0	72,0
5 - 7	253,7	Multistrato (MS)	Ø 20	16,0	4,0	64,0
7 - 8	126,8	Multistrato (MS)	Ø 16	16,0	8,0	128,0
7 - 9	126,8	Multistrato (MS)	Ø 16	16,0	16,0	256,0
4 - 10	345,9	Multistrato (MS)	Ø 26	8,0	12,0	96,0
10 - 11	173,0	Multistrato (MS)	Ø 20	9,0	8,0	72,0
10 - 12	173,0	Multistrato (MS)	Ø 20	9,0	14,0	126,0

Tabella 10: Dimensionamento tubazioni e calcolo perdite di carico

Circuito più sfavorito: tratto 1 – 2 – 4 – 5 – 7 - 9:

$1080,0 \text{ mm ca} + 30\% \text{ perdite di carico concentrate} = 1404,0 \text{ mm ca} = 138,0 \text{ mbar}$

A cui si somma la perdita di carico della batteria del ventilconvettore pari a 9,9 kPa

$138,0 \text{ mbar} + 99 \text{ mbar} = 237 \text{ mbar}$

5.1.2 Piano Terra e Piano Primo

Per il piano terra e il piano primo si è adottata una scelta impiantistica differente rispetto a quella prevista per il piano interrato. Tali livelli sono destinati rispettivamente alla zona giorno e alla zona notte e risultano pertanto caratterizzati da una permanenza prolungata degli occupanti nel corso della giornata. In considerazione di ciò, per il servizio di raffrescamento si è optato per l'impiego di un sistema di ventilconvettori canalizzati installati in controsoffitto, in grado di garantire una distribuzione omogenea dell'aria e un impatto estetico minimo sugli ambienti interni.

In particolare, si è scelto il ventilconvettore dell'azienda italiana Innova, modello Ducto Thin, caratterizzato da un ingombro ridotto di soli 185 mm, che ne consente l'agevole

integrazione all'interno dei controsoffitti. A differenza dei tradizionali ventilconvettori canalizzati, dove il flusso varia in base alla resistenza dell'aria, il Ducto riconosce in ogni momento la resistenza che c'è nell'aria e automaticamente varia la velocità del ventilatore in modo tale che la portata dell'aria sia costante. La struttura portante di supporto è in lamiera di acciaio elettrozincata e la batteria di scambio in rame-alluminio con pacco alettato mandrinato ad alta efficienza e con trattamento idrofilico.



Figura 28: Ventilconvettore canalizzato modello Ducto Thin [30]

Per il dimensionamento e la determinazione del numero di terminali da installare si sono adottate le medesime considerazioni già esposte per il piano interrato. In particolare, si richiamano i principali parametri progettuali: la potenza termica resa nelle condizioni di progetto, la temperatura dell'acqua di alimentazione, la velocità di funzionamento del ventilatore e i livelli di rumorosità associati.

Impostando la velocità del ventilatore alla velocità media e adottando la temperatura dell'acqua in ingresso di 10°C, con un $\Delta 5^\circ\text{C}$, si ottengono le seguenti prestazioni:

MODELLO	VELOCITA'	Qa [m3/h]	Pc [kW]	Ps [kW]	PERDITA DI CARICO [kPa]
SLC 400	Media	290,0	1,33	1,13	8,30
SLC 600	Media	390,0	1,62	1,37	11,05
SLC 800	Media	550,0	2,23	2,13	11,60
SLC 1000	Media	680,0	2,59	2,45	12,71
SLC 1200	Media	870,0	4,04	3,21	16,40

Tabella 11: Potenze rese in raffrescamento dai ventilconvettori Ducto Thin canalizzati

Nella tabella si riportano il numero e il modello scelto di ventilconvettore, mettendo a confronto, per ogni singolo locale, le potenze calcolate e le potenze rese alle condizioni di progetto.

Si ricorda che, al piano terra e al piano primo, il sistema a ventilconvettori è destinato esclusivamente al servizio di raffrescamento, mentre il riscaldamento è garantito da un impianto radiante a pavimento, descritto nel paragrafo successivo; pertanto, nella tabella sono riportate unicamente le potenze relative al raffrescamento.

PIANO	AMBIENTE	TERMINALE	POTENZA CALCOLATA SENSIBILE [W]	POTENZA CALCOLATA TOTALE [W]	POTENZA RESA SENSIBILE [W]	POTENZA RESA TOTALE [W]	PORTATA ACQUA [l/h]
Terra	2-Sala da pranzo	2 x SLC 800	3163,0	3815,0	4260,0	4460,0	764,0
Terra	3-Salone	SLC 800	1830,0	2026,0	2130,0	2230,0	382,0
Terra	4-Cucina	SLC 600	1156,0	1387,0	1370,0	1620,0	239,1
Terra	5-Camera ospiti	SLC 600	626,0	786,0	1370,0	1620,0	237,8
Primo	8-Studio	2 x SLC 600	2318,0	2725,0	2740,0	3240,0	475,6
Primo	9-Camera matrimoniale	SLC 600	547,0	660,0	1370,0	1620,0	237,8
Primo	12-Camera singola	SLC 400	456,0	564,0	1130,0	1330,0	157,8
Primo	14-Camera singola	SLC 400	490,0	599,0	1130,0	1330,0	157,8

Tabella 12: Dimensionamento ventilconvettori piano terra e piano primo

Come per il piano interrato, la distribuzione del fluido termovettore all'interno dell'impianto avviene mediante una rete di tubazioni in multistrato, divisa tra due colonne montanti principali, la colonna montante 01 alimenta l'ala sud dell'edificio e la colonna montante 02 alimenta l'ala nord, dimensionate sulla base delle portate di progetto,

valutando le perdite di carico mediante l'utilizzo dei diagrammi caratteristici delle perdite di carico delle tubazioni.

COLONNA MONTANTE 01						
TRATTO	PORTATA [l/h]	TABAZIONE	DIAMETRO	PERDITE DI CARICO CONTINUE [mm ca/m]	LUNGHEZZA [m]	PERDITE DI CARICO CONTINUE [mm ca]
1 - 2	1268,1	Multistrato (MS)	Ø 32	20,0	92,0	1840,0
2 - 3	476,9	Multistrato (MS)	Ø 26	13,0	2,0	26,0
3 - 4	237,8	Multistrato (MS)	Ø 20	15,0	2,0	30,0
3 - 5	239,1	Multistrato (MS)	Ø 20	15,0	12,0	180,0
2 - 6	791,2	Multistrato (MS)	Ø 32	10,0	12,0	120,0
6 - 7	315,6	Multistrato (MS)	Ø 26	8,0	2,0	16,0
7 - 8	157,8	Multistrato (MS)	Ø 20	8,0	2,0	16,0
7 - 9	157,8	Multistrato (MS)	Ø 20	8,0	6,0	48,0
6 - 10	475,6	Multistrato (MS)	Ø 26	13,0	20,0	260,0
10 - 11	237,8	Multistrato (MS)	Ø 20	15,0	2,0	30,0
10 - 12	237,8	Multistrato (MS)	Ø 20	15,0	4,0	60,0

Tabella 13: Dimensionamento tubazioni e calcolo perdite di carico C.M.01

Circuito più sfavorito: tratto 1 – 2 – 6 – 10 – 12:

2280,0 mm ca + 30% perdite di carico concentrate = 2964,0 mm ca = 290,7 mbar

A cui si somma la perdita di carico della batteria del ventilconvettore pari a 11,05 kPa

290,7 mbar + 110,5 mbar = 401,2 mbar

COLONNA MONTANTE 02						
TRATTO	PORTATA [l/h]	TABAZIONE	DIAMETRO	PERDITE DI CARICO CONTINUE [mm ca/m]	LUNGHEZZA [m]	PERDITE DI CARICO CONTINUE [mm ca]
1 - 13	1383,8	Multistrato (MS)	Ø 32	22,0	106,0	2332,0
13 - 14	382,0	Multistrato (MS)	Ø 26	10,0	4,0	40,0
13 - 15	764,0	Multistrato (MS)	Ø 32	10,0	20,0	200,0
15 - 16	382,0	Multistrato (MS)	Ø 26	10,0	2,0	20,0
15 - 17	382,0	Multistrato (MS)	Ø 26	10,0	16,0	160,0
13 - 18	237,8	Multistrato (MS)	Ø 20	15,0	12,0	180,0

Tabella 14: Dimensionamento tubazioni e calcolo perdite di carico C.M.02

Circuito più sfavorito: tratto 1 – 13 – 15 – 17:

2280,0 mm ca + 30% perdite di carico concentrate = 2692,0 mm ca = 264,0 mbar

A cui si somma la perdita di carico della batteria del ventilconvettore pari a 11,6 kPa

264,0 mbar + 116 mbar = 380,0 mbar

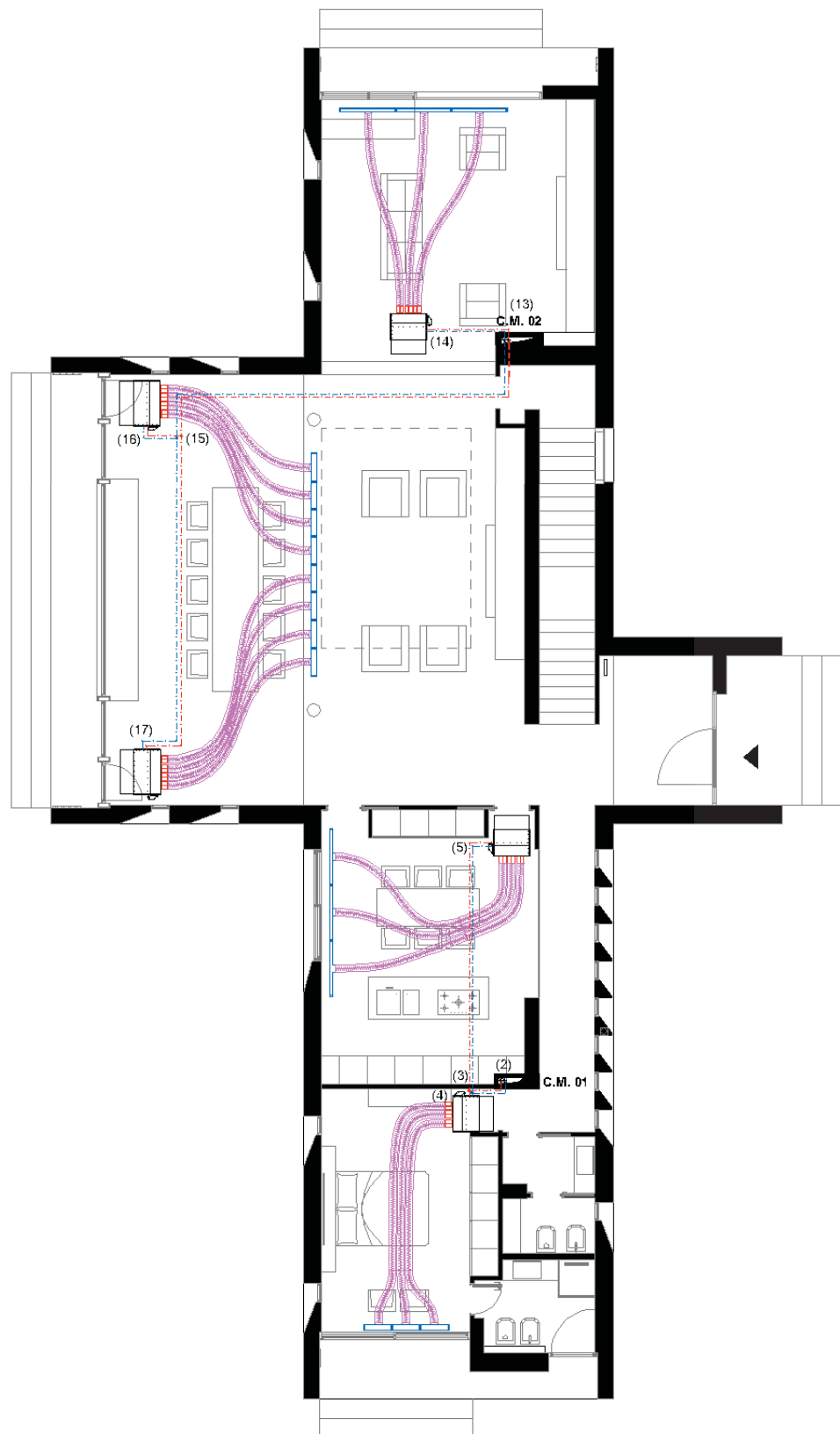


Figura 29: Distribuzione impianto a ventilconvettori canalizzati piano terra

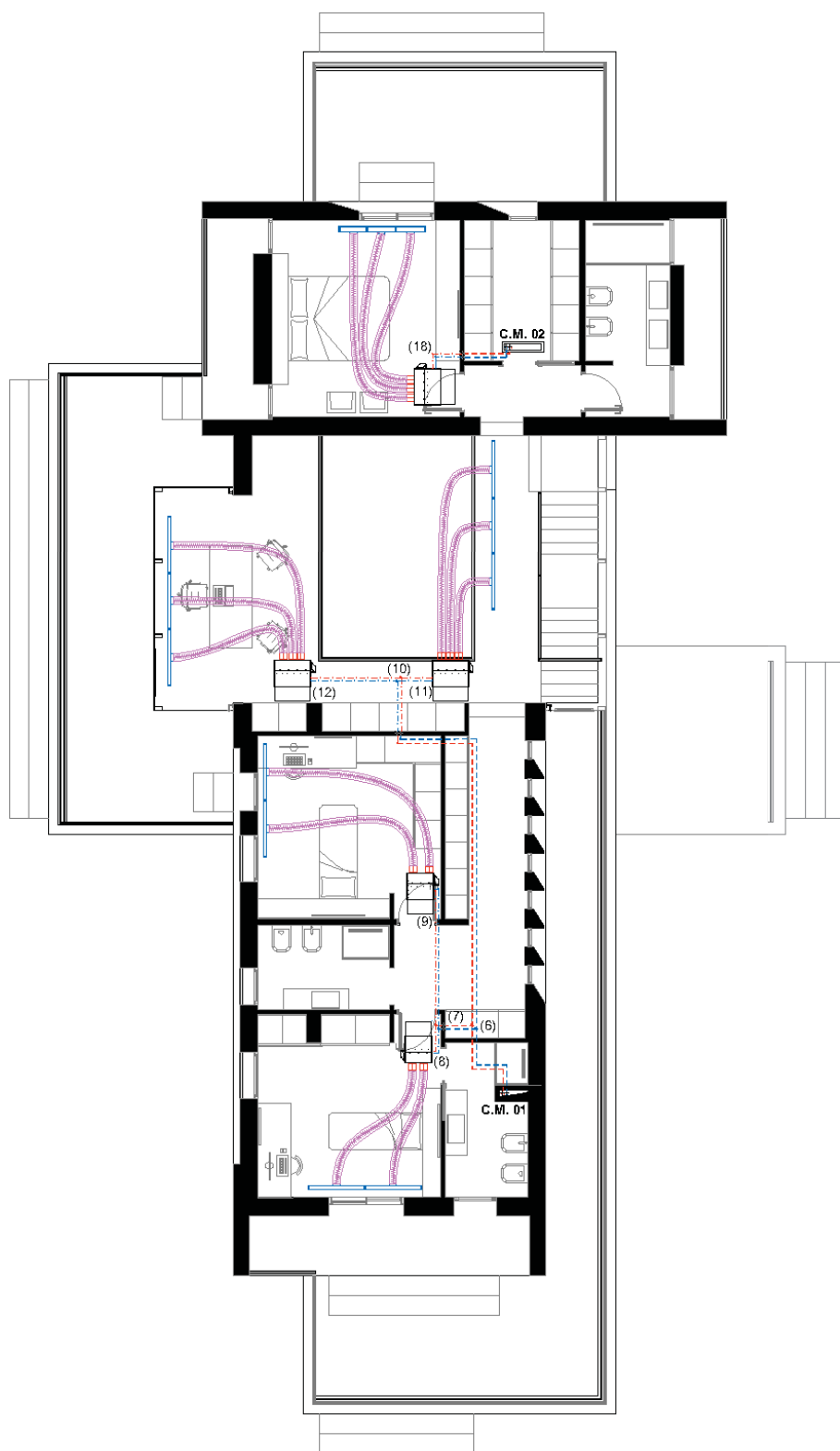
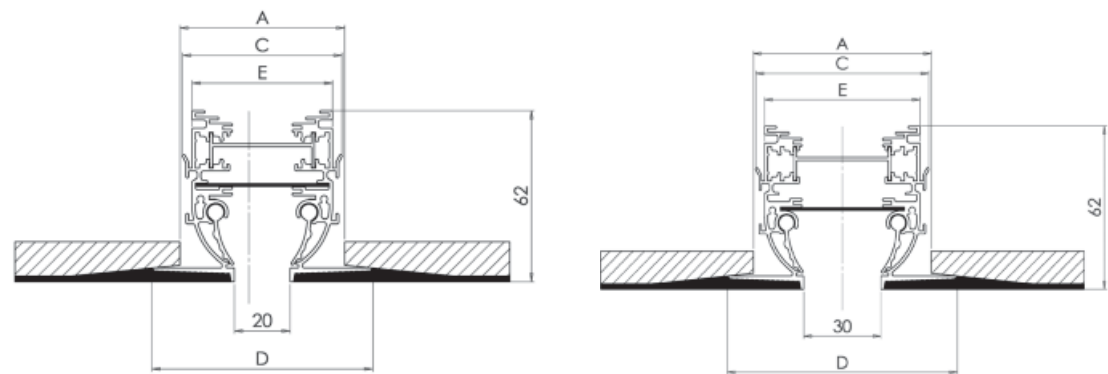


Figura 30: Distribuzione impianto a ventilconvettori canalizzati piano primo

Nella tabella n°11 è indicata anche la portata d'aria fornita dai terminali necessaria per il dimensionamento dei diffusori da installare. La distribuzione dell'aria avviene in controsoffitto tramite condotti circolari flessibili del diametro di Ø160 mm. Il condotto è realizzato in AL/PET/AL (alluminio/poliestere/alluminio) microforato per l'attenuazione del rumore al passaggio dell'aria, con rivestimento termoisolante in fibra di poliestere di spessore 25 mm.

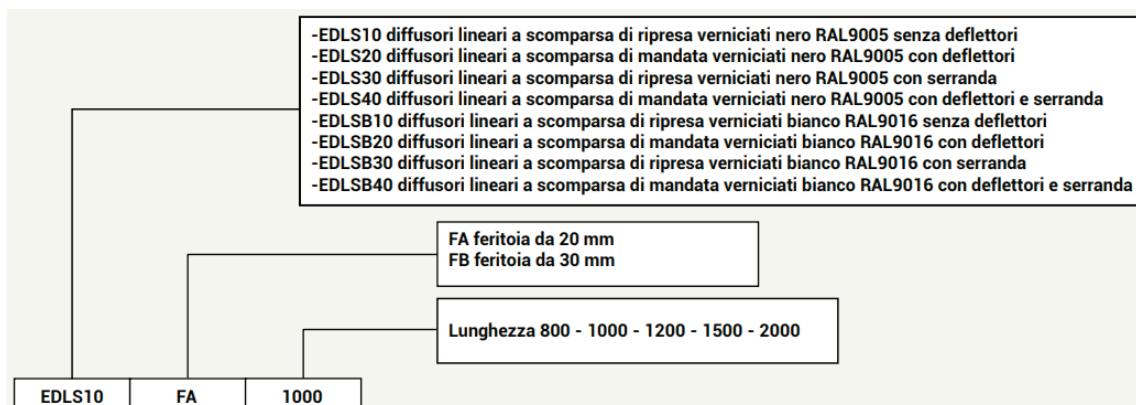
I diffusori scelti sono diffusori lineari a scomparsa, modello EDLS, disponibili nelle varianti con feritoia da 20 mm o da 30 mm, con profilo aerodinamico in alluminio e deflettori regolabili per un ottimale controllo del lancio dell'aria.



feritoia	L	A	B	C	D	numero ponti di fissaggio
feritoia da 20 mm	800	62	58	51	80	2
	1000					2
	1200					2
	1500					2
	2000					2
feritoia da 30 mm	800	72	68	61	90	2
	1000					2
	1200					2
	1500					2
	2000					2

Figura 31: Schema dimensionale diffusori lineari a scomparsa [31]

I diffusori sono catalogati con la seguente nomenclatura, che è riportata anche negli elaborati progettuali:



Data la portata d'aria, il dimensionamento dei diffusori viene eseguito utilizzando la relazione:

$$Q = v \cdot A \cdot 3600$$

Dove: Q = portata volumetrica dell'aria [m^3/h]

v = velocità media dell'aria [m/s]

A = l'area utile della sezione del diffusore [m^2]

A partire dalla portata assegnata, si ricava quindi l'area necessaria del diffusore imponendo un opportuno valore della velocità dell'aria. In particolare, la velocità viene mantenuta in un intervallo compreso tra 2 e 5 m/s, in modo da garantire un corretto compromesso tra dimensioni del componente ed emissione sonora.

PIANO	AMBIENTE	TERMINALE	Q [m^3/h]	n° DIFFUSORI	Q SINGOLO DIFFUSORE [m^3/h]	LARGHEZZA A FERITOIA [mm]	LUNGHEZZA [m]	v [m/s]	L TOTALE [m]
Terra	2-Sala da pranzo	2 x SLC 800	1100	8	137,5	40	0,60	4,30	4,80
					137,5	40	0,60	4,30	
					137,5	40	0,60	4,30	
					137,5	40	0,60	4,30	
					137,5	40	0,60	4,30	
					137,5	40	0,60	4,30	

					137,5	40	0,60	4,30	
					137,5	40	0,60	4,30	
Terra	3-Salone	SLC 800	550	4	137,5	30	1,20	3,20	4,80
					137,5	30	1,20	3,20	
					137,5	30	1,20	3,20	
					137,5	30	1,20	3,20	
Terra	4-Cucina	SLC 600	390	3	130,0	30	1,00	3,72	3,00
					130,0	30	1,00	3,72	
					130,0	30	1,00	3,72	
Terra	5-Camera ospiti	SLC 600	390	3	130,0	40	0,60	4,12	1,80
					130,0	40	0,60	4,12	
					130,0	40	0,60	4,12	
Primo	8-Studio	2 x SLC 600	780	6	130,0	30	1,20	3,10	7,20
					130,0	30	1,20	3,10	
					130,0	30	1,20	3,10	
					130,0	30	1,20	3,10	
					130,0	30	1,20	3,10	
					130,0	30	1,20	3,10	
Primo	9-Camera matrimoniale	SLC 600	390	3	130,0	40	0,60	4,12	1,80
					130,0	40	0,60	4,12	
					130,0	40	0,60	4,12	
Primo	12-Camera singola	SLC 400	290	2	145,0	30	1,20	3,46	2,40
					145,0	30	1,20	3,46	
Primo	14-Camera singola	SLC 400	290	2	145,0	30	1,20	3,46	2,40
					145,0	30	1,20	3,46	

Tabella 15: Dimensionamento lunghezze diffusori lineari per distribuzioni aria di condizionamento

5.2 Impianto radiante a pavimento

Come anticipato nel paragrafo precedente, si è scelto come sistema di emissione per il riscaldamento del piano terra e del piano primo il pannello radiante a pavimento. Questo sistema offre una distribuzione ottimale della temperatura garantendo il comfort termico degli occupanti grazie alle basse temperature della superficie e alla distribuzione uniforme della temperatura.

Il sistema radiante scelto è il pannello sagomato Varionova 30-2 della Rehau. La struttura sagomata con bugne consente il fissaggio del tubo in modo semplice, senza l'utilizzo di accessori aggiuntivi, ottimizzando i tempi di installazione.

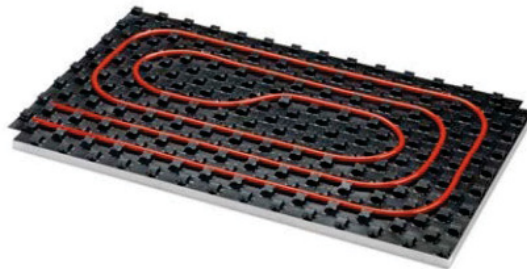


Figura 32: Sistema a pannello sagomato Varionova con isolamento anticalpestio 30-2 [22]

Il pannello è composto da EPS bianco ed EPS Silver con grafite, con prestazioni equivalenti al pannello totalmente in grafite pur mantenendo la solidità e la compattezza di un pannello in EPS bianco. Il pannello è dotato di un foglio di rivestimento multifunzione in polistirolo, che consente di fissare al meglio i tubi e rende il pannello più resistente al calpestio, impermeabile all'umidità ed alle infiltrazioni della parte liquida del massetto.

Si è scelto di adottare un passo di posa pari a 20 cm in tutti i locali, ad eccezione dei bagni e dello studio, dove il passo è stato ridotto a 10 cm. Nel caso dello studio, la presenza di un vuoto centrale comunicante con il soggiorno sottostante comporta una riduzione della superficie utile per la posa del sistema radiante a pavimento; di conseguenza, con un passo di 20 cm non sarebbe possibile soddisfare il carico termico richiesto.

Nei bagni, inoltre, saranno installati degli scaldasalviette a integrazione dell'impianto radiante, al fine di garantire un adeguato comfort termico.

Di seguito si riporta lo schema di posa in cui si evidenzia la suddivisione delle aree dei locali nel caso in cui siano di metratura troppo elevata per essere riscaldati con un solo circuito. Sono visibili anche le tubazioni di mandata (in rosso) e di ritorno (in blu) che, partendo dal collettore, alimentano i singoli pannelli.

Per ciascun piano dell'edificio è stata inoltre definita la posizione dei collettori, con l'obiettivo di minimizzare la sottrazione di spazio utile ai locali abitativi e di ridurre l'impatto estetico sugli ambienti.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori di potenza richiesti per ciascun ambiente e, per ogni collettore, i corrispondenti valori di emissione termica espressi in W/m^2 , la lunghezza dei circuiti dell'impianto radiante, le portate e le perdite di carico, determinate mediante il software di calcolo *MC4 Suite*.

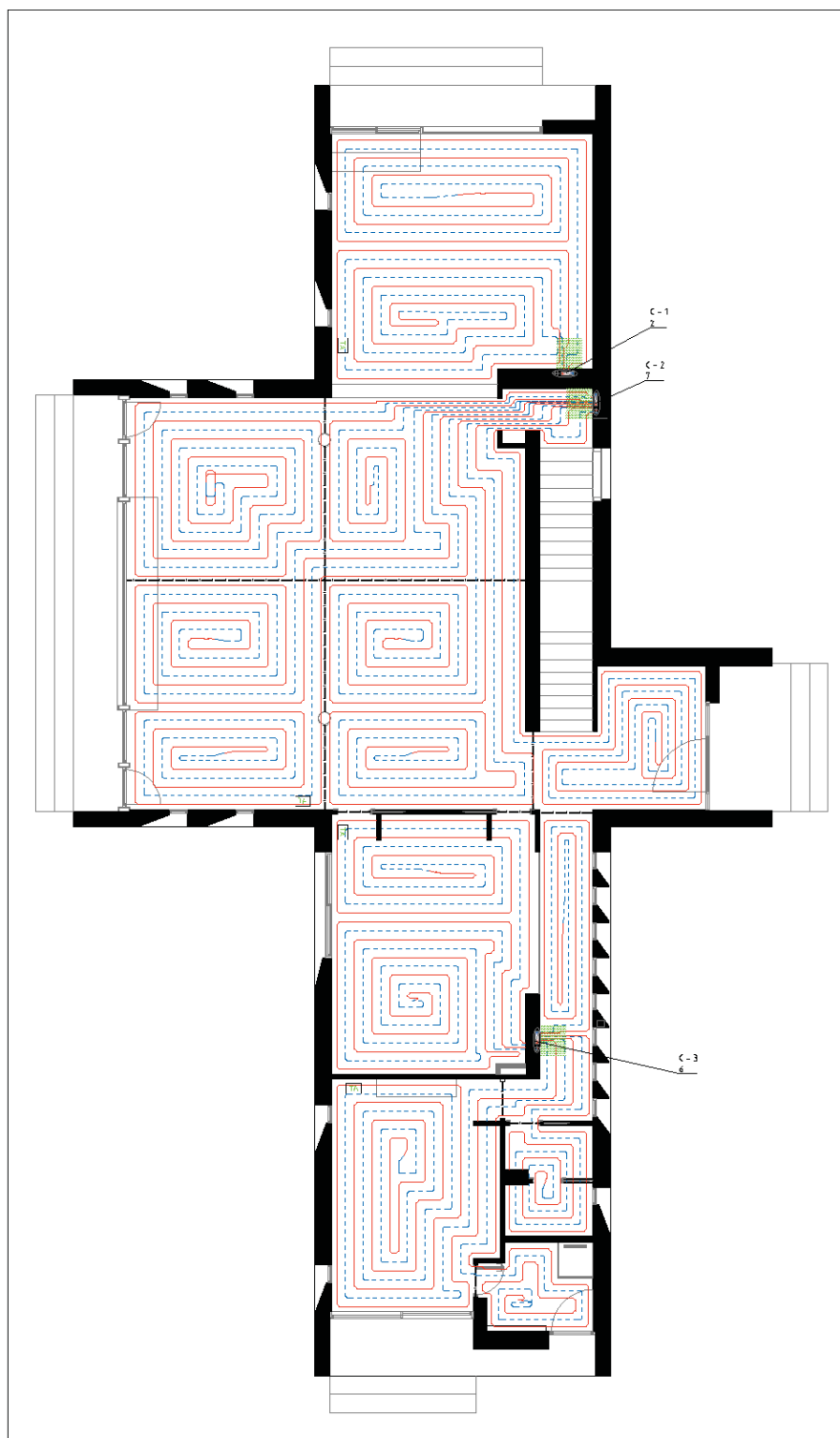


Figura 33: Schema di posa pannello radiante a pavimento piano terra

Collettore C-1								
Ambiente	Superficie [mq]	Potenza richiesta [W]	Densità di flusso [W/m2]	Circuito	Lunghezza tubo [m]	Portata [l/min]	Passo	Max Dp [daPa]
3_Salone	32,76	1278,5	60,55	1	76	2,7	200	2025
				2	80	3,0	200	

Collettore C-2								
Ambiente	Superficie [mq]	Potenza richiesta [W]	Densità di flusso [W/m2]	Circuito	Lunghezza tubo [m]	Portata [l/min]	Passo	Max Dp [daPa]
2_Sala da pranzo	83,77	2454,9	29,3	1	77	2,0	200	2074
				2	77	2,3	200	
				3	69	1,9	200	
				4	65	1,9	200	
				5	36	0,8	200	
				6	97	2,7	200	
__Ingresso	13,88	344,8	36,5	7	82	2,0	150	

Collettore C-3								
Ambiente	Superficie [mq]	Potenza richiesta [W]	Densità di flusso [W/m2]	Circuito	Lunghezza tubo [m]	Portata [l/min]	Passo	Max Dp [daPa]
4_Cucina	26,17	683,0	54,5	1	58	1,8	200	1185
				2	71	2,3	200	
5_Camera ospiti	18,72	746,0	42,5	3	86	2,2	200	
__Disimpegno	16,22	450,9	36,2	4	38	0,7	150	
6_Wc	4,65	176,0	74,8	5	38	1,0	150	
7_Bagno	4,71	212,0	73,8	6	36	1,0	150	

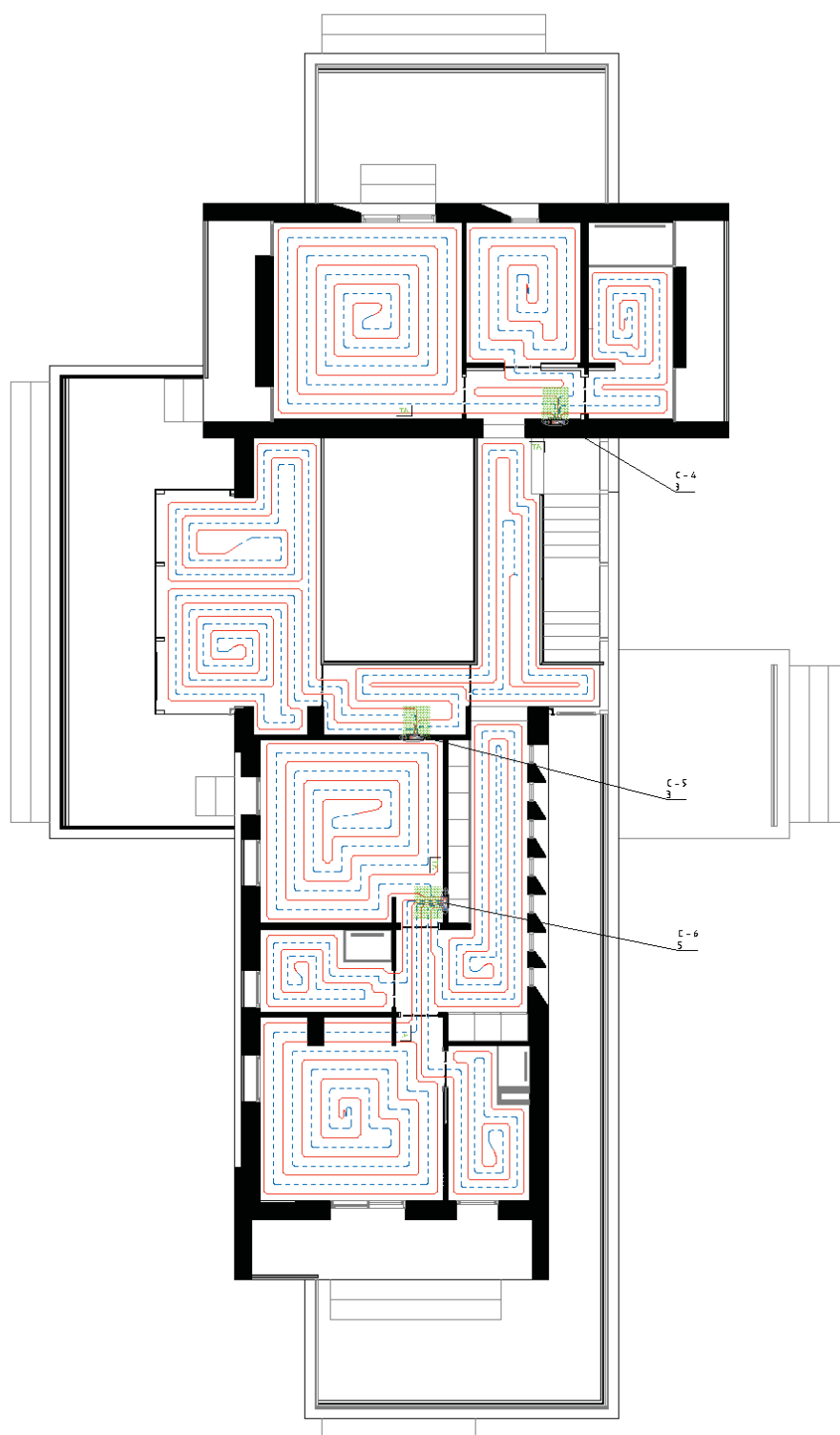


Figura 34: Schema di posa pannello radiante a pavimento piano primo

Collettore C-4								
Ambiente	Superfici e [mq]	Potenza richiesta [W]	Densità di flusso [W/m2]	Circuito	Lunghezza tubo [m]	Portata [l/min]	Passo	Max Dp [daPa]
10_Cabina armadio	7,35	217,5	61,5	1	43	1,3	200	1639
9_Camera	16,84	704,0	51,6	2	84	2,5	200	
11_Wc	7,48	360,0	41,8	3	35	0,9	150	

Collettore C-5								
Ambiente	Superfici e [mq]	Potenza richiesta [W]	Densità di flusso [W/m2]	Circuito	Lunghezza tubo [m]	Portata [l/min]	Passo	Max Dp [daPa]
8_Studio	33,25	2483,3	75,7	1	86	2,3	150	652
				2	56	2,2	150	
				3	58	2,3	150	

Collettore C-6								
Ambiente	Superfici e [mq]	Potenza richiesta [W]	Densità di flusso [W/m2]	Circuito	Lunghezza tubo [m]	Portata [l/min]	Passo	Max Dp [daPa]
__Disimpegn o	14,22	500,2	35,2	1	58	1,3	150	1099
12_Camera	15,17	500,0	48,2	2	74	2,1	200	
14_Camera	15,27	609,0	47,8	3	69	2,1	200	
15_Wc	5,77	216,6	66,3	4	36	1,1	150	
13_Wc	5,02	170,0	55,4	5	28	0,8	150	

5.3 Ventilazione meccanica controllata

L'impianto di ventilazione meccanica controllata (VMC) garantisce il continuo ricambio dell'aria, migliorando la qualità dell'ambiente interno e assicurando un elevato comfort abitativo. Allo stesso tempo, contribuisce alla riduzione dei consumi energetici grazie al recupero del calore dell'aria espulsa.

Nel caso specifico, è stato adottato un sistema di ventilazione meccanica controllata a doppio flusso con recupero di calore mediante le unità di ventilazione della Utek.



Figura 35: Principio di funzionamento unità di VMC a doppio flusso [32]

Le unità selezionate sono realizzate con struttura autoportante in pannelli sandwich dello spessore di 22 mm, isolati con schiuma poliuretanica ad alta densità. La carpenteria e i componenti interni sono in zinco-magnesio, materiale che garantisce un'elevata resistenza alla corrosione e una maggiore durabilità nel tempo.

Il recuperatore di calore statico ad alta efficienza, a flussi incrociati in controcorrente e realizzato in alluminio, consente il trasferimento dell'energia termica tra l'aria estratta e quella di rinnovo, senza miscelazione dei flussi. Grazie a questo sistema, l'unità è in grado di effettuare il ricambio dell'aria recuperando in modo efficiente il calore che altrimenti verrebbe disperso, migliorando così l'efficienza energetica complessiva dell'edificio.

Le unità sono inoltre equipaggiate con ventilatori centrifughi elettronici EC brushless a pale rovesce, caratterizzati da elevata efficienza energetica, ridotta rumorosità e adeguata prevalenza per compensare le perdite di carico della rete aeraulica.

Particolare attenzione è dedicata alla filtrazione dell'aria, elemento fondamentale per garantire elevati standard di qualità dell'aria interna. Sebbene l'aria esterna appaia pulita e inodore, essa contiene particelle fini, pollini, polveri e sostanze inquinanti che possono risultare dannose per la salute, soprattutto in contesti urbani.

Per questo motivo, l'unità è dotata di:

- filtro ePM1 55% (ex F7) sull'aria di immissione, idoneo alla filtrazione di polveri sottili, smog, pollini e particolato fine prima dell'immissione negli ambienti;
- filtro ePM10 50% (ex G4/M5) sull'aria di estrazione/ripresa, con funzione di protezione dello scambiatore di calore e dei ventilatori da polvere e impurità più grossolane provenienti dagli ambienti interni.

Questa configurazione consente di migliorare sensibilmente la qualità dell'aria immessa negli ambienti e, al contempo, di preservare nel tempo l'efficienza e l'affidabilità delle unità di ventilazione.

La regolazione viene gestita da una centralina di controllo dedicata, presente all'interno della macchina. Questa ha come scopo principale la gestione del funzionamento dei ventilatori in modo da regolare il livello di rinnovo dell'aria, oltre alle funzioni di "Free Cooling" e di "Free Heating", per le quali viene effettuato il rinnovo dell'aria senza recupero di calore né integrazioni termiche, qualora ve ne sia convenienza. La centralina di controllo rileva in maniera continuativa le temperature dell'aria esterna e di quella di ripresa dalle relative sonde: se si verificano condizioni favorevoli, viene comandata in apertura la serranda di by-pass, permettendo al flusso d'aria di immissione di non transitare nel recuperatore di calore e quindi di non subire variazioni di temperatura. Questa funzione permette, tipicamente nelle notti estive, di sfruttare l'aria esterna a temperatura inferiore per raffrescare gli ambienti domestici. Al contrario, nelle giornate di primavera o autunno più calde, la modalità Free Heating consente di riscaldare l'interno dell'abitazione. In entrambi i casi, si tratta di un sistema vantaggioso in quanto permette di ridurre i consumi energetici al minimo, senza ricorrere all'impianto di condizionamento o riscaldamento.

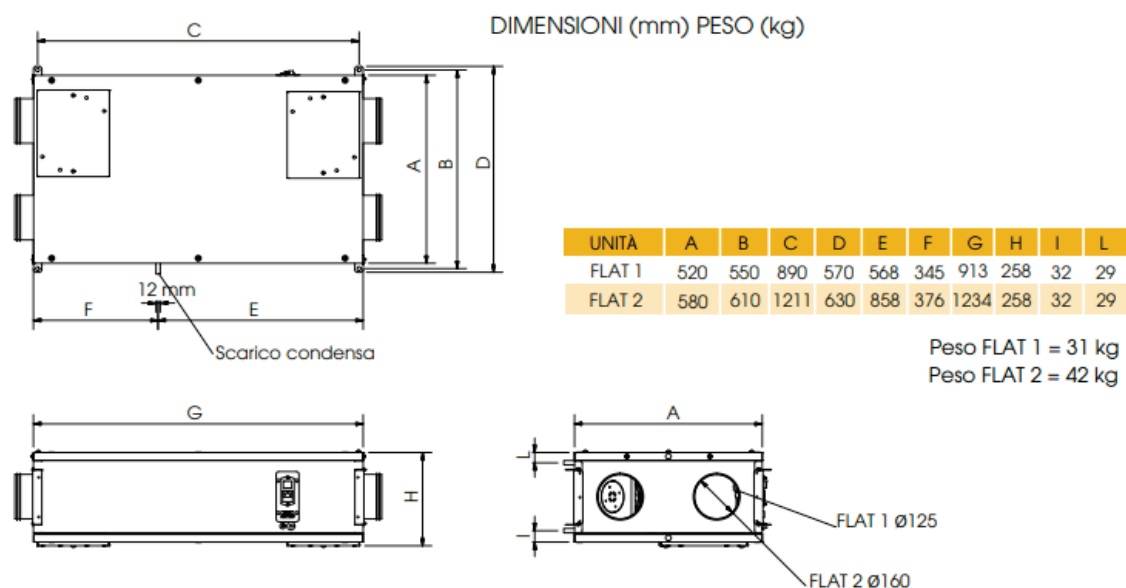


Figura 36: Schema dimensionale unità di ventilazione meccanica Utek Modello Flat [32]

Le unità di ventilazione a servizio del piano terra e del piano primo sono state installate all'interno dei controsoffitti dei locali di disimpegno e degli ambienti accessori, al fine di garantire una corretta integrazione architettonica e impiantistica.

Per evitare interferenze tra la rete aeraulica e gli elementi strutturali, in particolare in corrispondenza delle travi che impediscono il passaggio delle tubazioni, ciascun piano è stato suddiviso in più zone. Tale configurazione ha consentito l'installazione di un totale di cinque unità di ventilazione, di cui due a servizio del piano terra e tre a servizio del piano primo, riducendo le lunghezze delle canalizzazioni e contenendo le portate d'aria richieste per ciascuna unità.

Per ciascuna zona sono stati individuati i locali di immissione, costituiti dagli ambienti nobili quali soggiorni, camere da letto e studi, e i locali di estrazione, quali bagni, lavanderie e ambienti di servizio.

Sulla base dei volumi dei singoli ambienti e assumendo un tasso di ricambio d'aria pari a 0,5 vol/h, sono state determinate le portate di immissione per ciascuna zona, ponendo attenzione alla verifica delle portate minime da rispettare. I valori ottenuti hanno consentito il corretto dimensionamento e la scelta della taglia delle unità di ventilazione.

Portate minime di immissione ($G_{\min}$):

- Immissione minima 20 m³/h
- Soggiorni 35–45 m³/h
- Camera singola 20–25 m³/h
- Camera matrimoniale 40–50 m³/h

ZONA 1 - Piano Terra					
AMBIENTE	SUPERFICIE [m ²]	VOLUME [m ³]	TIPOLOGIA	PORTATA IMMISSIONE [m ³ /h]	PORTATA ESTRAZIONE [m ³ /h]
Sala da pranzo	82,8	223,56	Immissione	110,0	-
Soggiorno	32,7	88,29	Immissione	50,0	-
Disimpegno	2,5	6,75	Estrazione	-	160,0

La portata totale di rinnovo per la zona 1 è pari a 160 m³/h. Per tale portata è stata scelta l'unità di ventilazione della Utek, modello Flat 2, che raggiunge una portata massima di 220 m³/h.

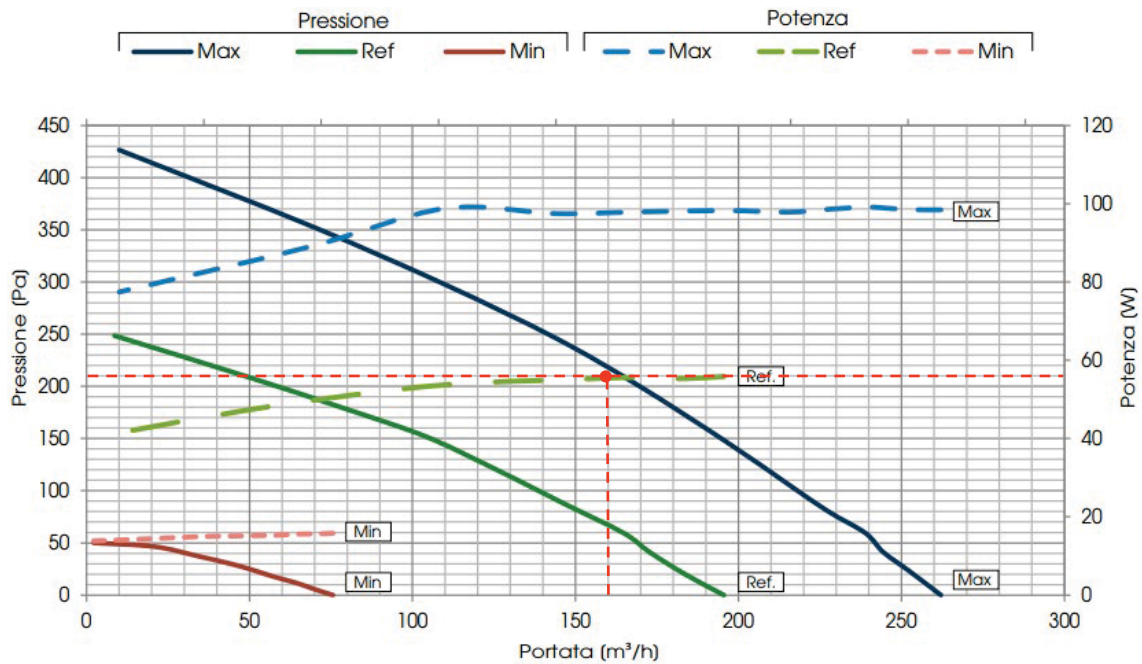


Figura 37: Prestazioni aerauliche modello Flat 2, zona 1 [32]

ZONA 2 - Piano Terra					
AMBIENTE	SUPERFICIE [m ²]	VOLUME [m ³]	TIPOLOGIA	PORTATA IMMISSIONE [m ³ /h]	PORTATA ESTRAZIONE [m ³ /h]
Ingresso	19,5	52,65	Immissione	30,0	-
Cucina	26,9	72,63	Immissione/ Estrazione	36,3 < G _{min} = 50,0	50,0
Camera ospiti	19,3	52,11	Immissione	26,1 < G _{min} = 50,0	-
Wc	4,8	12,96	Estrazione	-	30,0
Bagno	4,8	12,96	Estrazione	-	50,0

La portata totale di rinnovo per la zona 2 è pari a 130 m³/h. Per tale portata è stata scelta l'unità di ventilazione della Utek, modello Flat 1, che raggiunge una portata massima di 140 m³/h.

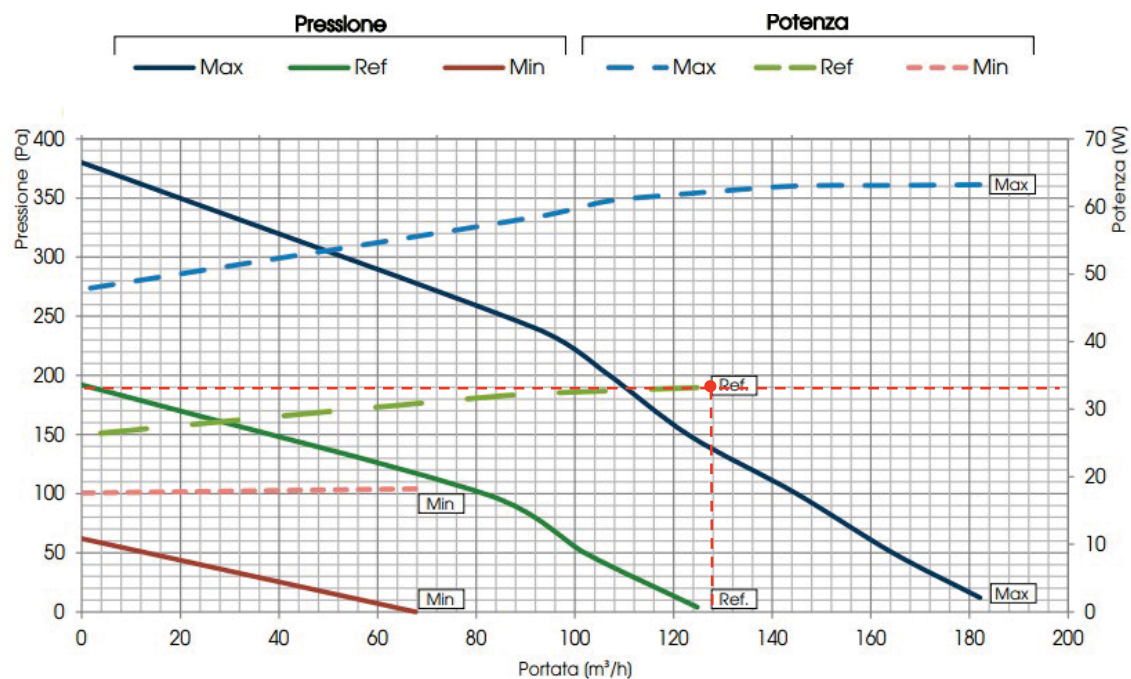


Figura 38: Prestazioni aerauliche modello Flat 1, zona 2 [32]

ZONA 3 - Piano Primo					
AMBIENTE	SUPERFICIE [m ²]	VOLUME [m ³]	TIPOLOGIA	PORTATA IMMISSIONE [m ³ /h]	PORTATA ESTRAZIONE [m ³ /h]
Camera matrimoniale	16,0	43,2	Immissione	21,6 < G _{min} = 55,0	-
Cabina armadio	7,3	19,71	Estrazione	-	55,0
Bagno padronale	7,4	19,98	Estrazione	-	55,0
Disimpegno	2,6	7,02	Immissione	55,0	-

La portata totale di rinnovo per la zona 3 è pari a 110 m³/h. Per tale portata è stata scelta l'unità di ventilazione della Utek, modello Flat 1.

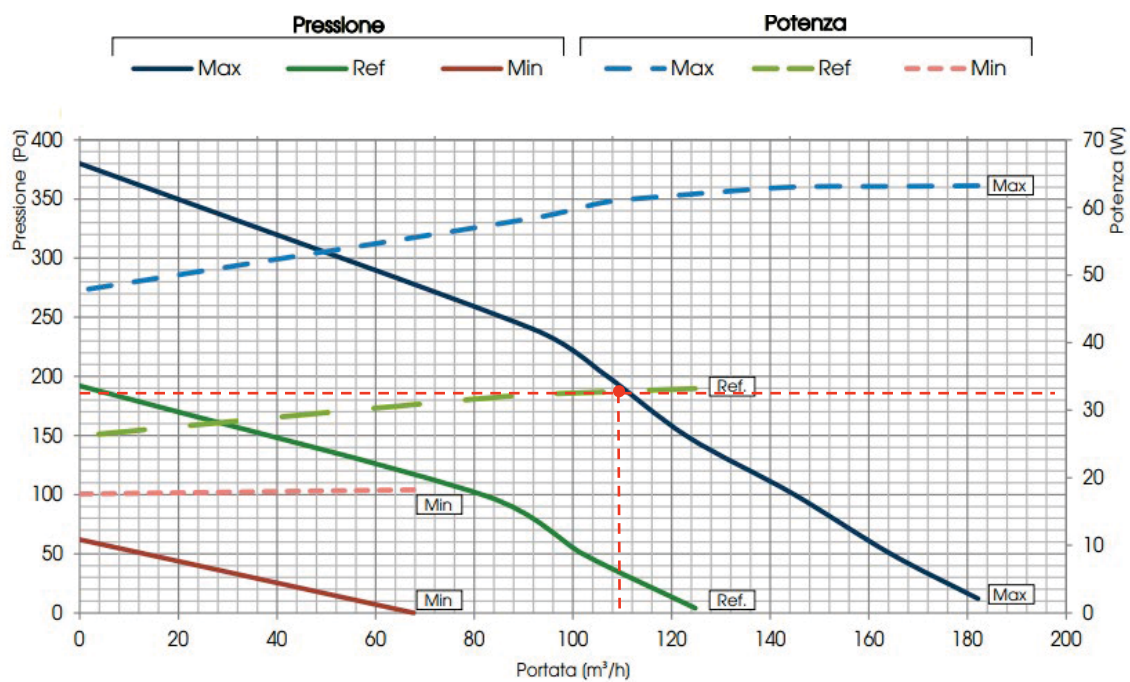


Figura 39: Prestazioni aerauliche modello Flat 1, zona 3 [32]

ZONA 4 - Piano Primo					
AMBIENTE	SUPERFICIE [m2]	VOLUME [m3]	TIPOLOGIA	PORTATA IMMISSIONE [m3/h]	PORTATA ESTRAZIONE [m3/h]
Studio/Disimpegno	65,3	176,364	Immissione/ Estrazione	90,0	90,0

La portata totale di rinnovo per la zona 4 è pari a 90 m³/h. Per tale portata è stata scelta l'unità di ventilazione della Utek, modello Flat 1.

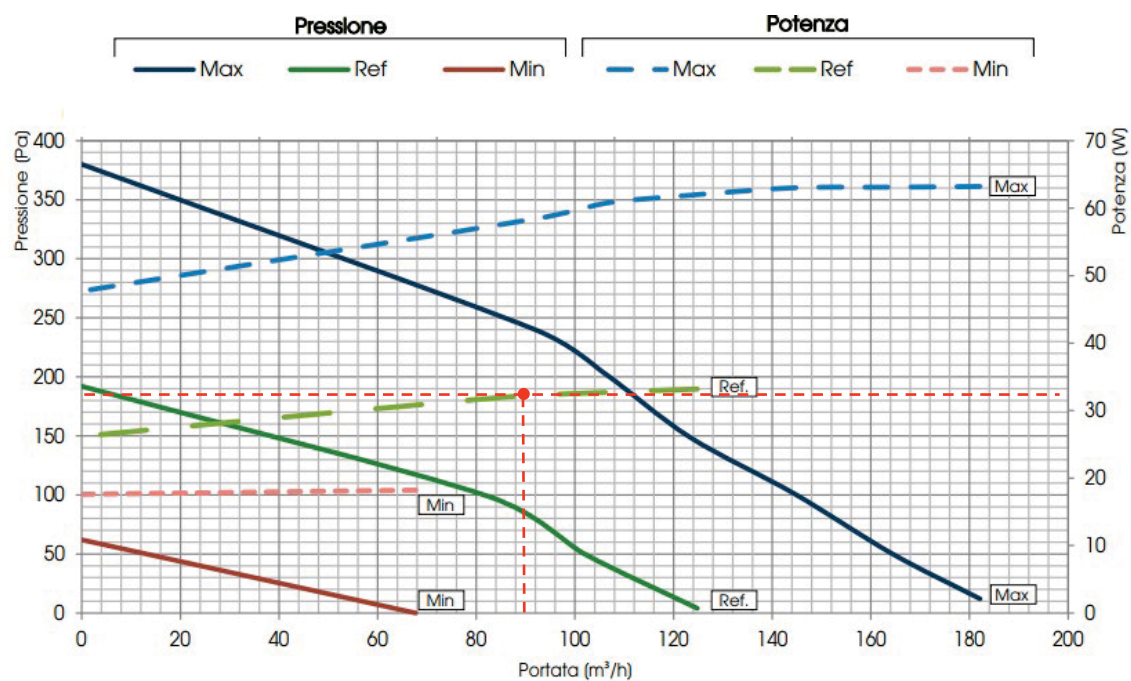


Figura 40: Prestazioni aerauliche modello Flat 1, zona 4 [32]

ZONA 5 - Piano Primo					
AMBIENTE	SUPERFICIE [m2]	VOLUME [m3]	TIPOLOGIA	PORTATA IMMISSIONE [m3/h]	PORTATA ESTRAZIONE [m3/h]
Camera 1	15,6	42,12	Immissione	21,6 < Gmin = 55,0	-
Bagno 1	5,1	13,77	Estrazione	-	55,0
Camera 2	15,0	40,5	Immissione	20,3 < Gmin = 55,0	-
Bagno 2	5,77	15,579	Estrazione	-	55,0

La portata totale di rinnovo per la zona 5 è pari a 110 m³/h. Per tale portata è stata scelta l'unità di ventilazione della Utek, modello Flat 1.

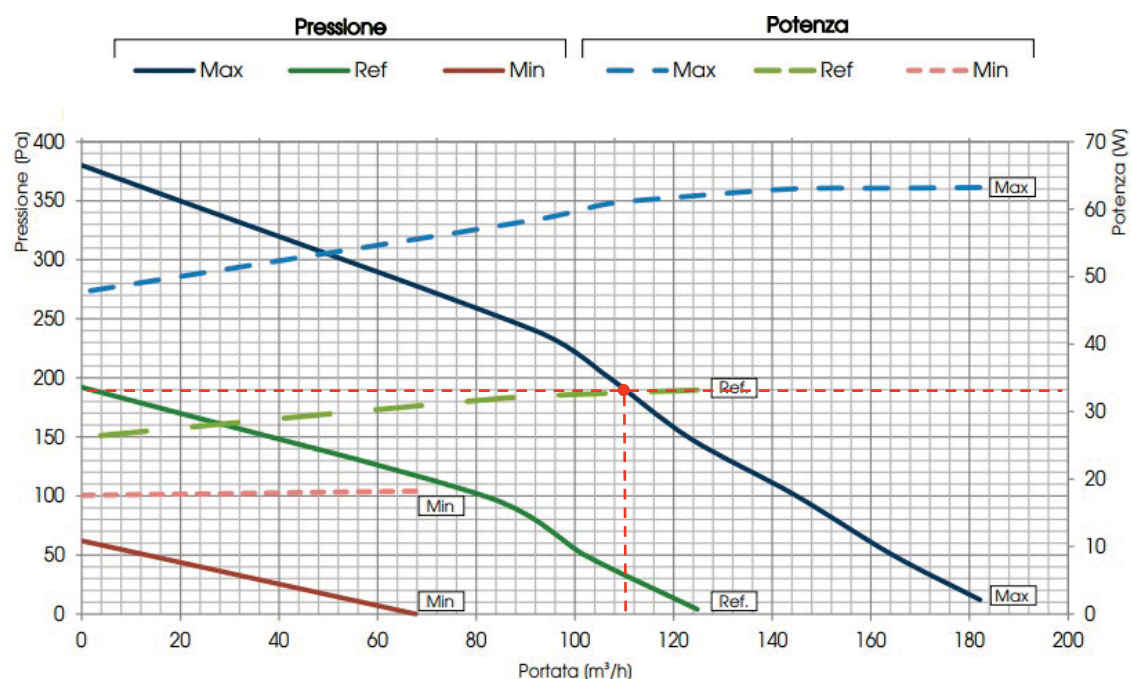


Figura 41: Prestazioni aerauliche modello Flat 1, zona 5 [32]

La distribuzione dell'aria avviene in controsoffitto tramite condotti circolari flessibili del diametro di Ø80 mm e diffusori lineari a scomparsa, utilizzati anche nella diffusione del condizionamento.

5.4 Centrale termica

La centrale termica è stata dimensionata sulla base dei carichi termici determinati mediante simulazione energetica dell'edificio, al fine di garantire il corretto soddisfacimento del fabbisogno energetico dell'intero sistema impiantistico.

In particolare, sono stati calcolati i seguenti carichi di progetto:

- carico termico estivo: 18.869,10 W;
- carico termico invernale: 16.387,40 W.

La centrale termica è stata collocata al piano interrato del padiglione piscina, in un apposito locale tecnico destinato ad accogliere i principali componenti dell'impianto. Al suo interno trovano posto le unità di generazione, i sistemi di distribuzione, i dispositivi di accumulo, nonché gli organi di regolazione, controllo e sicurezza necessari al corretto funzionamento dell'intero sistema.

Di seguito viene riportato lo schema altimetrico della centrale termica, utile a evidenziare la disposizione dei componenti impiantistici e le connessioni tra le diverse sezioni dell'impianto.

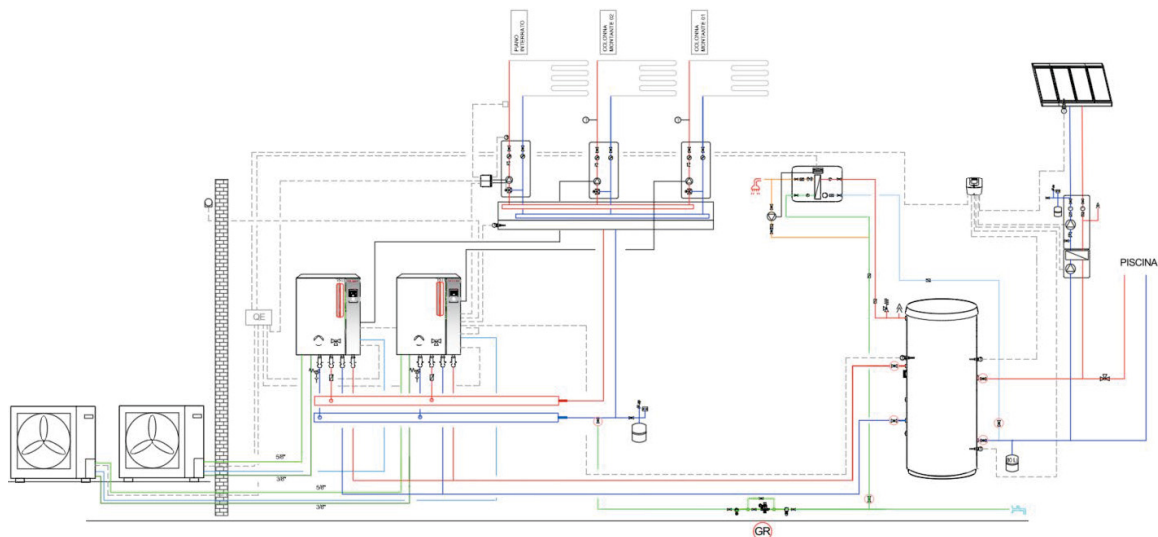


Figura 42: Schema altimetrico centrale termica

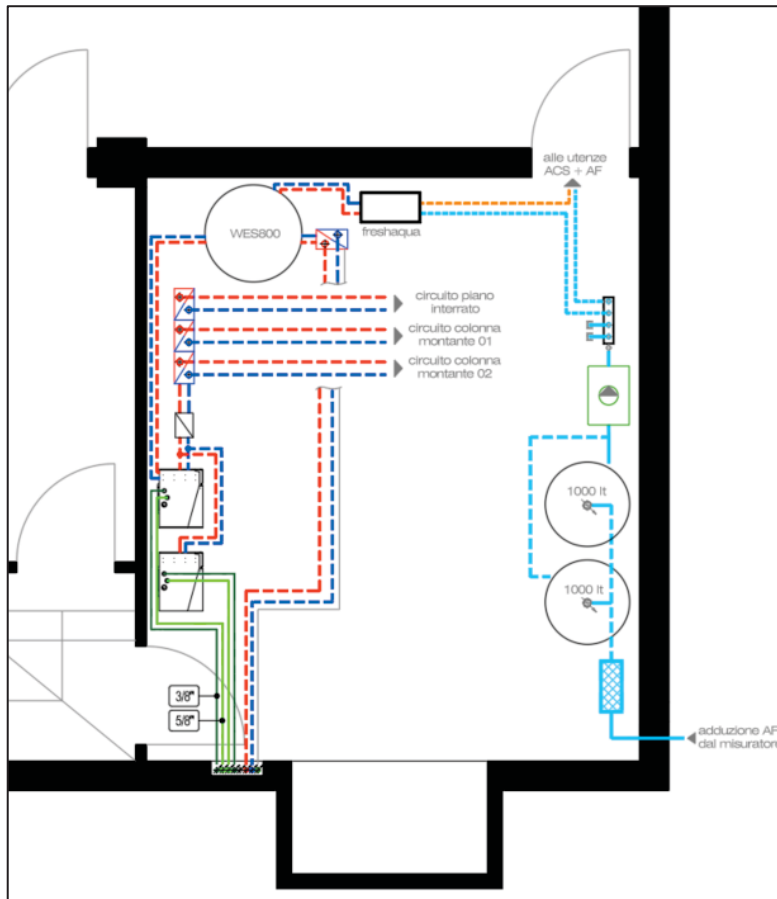


Figura 43: Stralcio pianta centrale termica

Il sistema di generazione è costituito da due pompe di calore aria-acqua, configurate in cascata al fine di garantire la copertura del fabbisogno termico e frigorifero dell'edificio, assicurando al contempo una maggiore flessibilità gestionale dell'impianto. La presenza di due unità consente inoltre di incrementare l'affidabilità complessiva del sistema, permettendo il funzionamento parziale dell'impianto anche in caso di manutenzione o fermo di una delle macchine.

La pompa di calore selezionata è il modello *Splitblock* di Weishaupt, idoneo sia per il funzionamento in riscaldamento sia in raffreddamento. La tecnologia split prevede la separazione del sistema in un'unità esterna e un'unità interna idronica, collegate mediante linee frigorifere contenenti gas refrigerante R410A.



Figura 44: Pompa di calore Weishaupt Splitblock, unità esterna e modulo idronico interno [33]

Le unità esterne sono state installate all'esterno dell'edificio, mentre le unità idroniche sono collocate all'interno del locale tecnico della centrale termica.

Di seguito si riportano le principali caratteristiche prestazionali delle pompe di calore installate [33]:

Condizioni normalizzate di esercizio A2 / W35					
	12-A-RME	15-A-RME	12-A-RMD	15-A-RMD	18-A-RMD
Potenza in riscaldamento	7,70 kW	9,64 kW	7,60 kW	8,80 kW	10,89 kW
Coefficiente di prestazione (COP)	3,50	3,20	3,79	3,72	3,38
Condizioni nominali normalizzate A7 / W35 e differenziale temperatura 5 K					
	12-A-RME	15-A-RME	12-A-RMD	15-A-RMD	18-A-RMD
Potenza in riscaldamento	10,90 kW	12,83 kW	10,23 kW	11,70 kW	15,70 kW
Coefficiente di prestazione (COP)	4,62	4,12	4,95	4,54	4,17
Condizioni normalizzate di esercizio A-7 / W35					
	12-A-RME	15-A-RME	12-A-RMD	15-A-RMD	18-A-RMD
Potenza in riscaldamento	9,00 kW	9,50 kW	9,57 kW	10,60 kW	13,30 kW
Coefficiente di prestazione (COP)	2,49	2,56	2,74	2,65	2,58

Condizioni nominali normizzate A35 / W7 e differenziale temperatura 5 K					
	12-A-RME	15-A-RME	12-A-RMD	15-A-RMD	18-A-RMD
Potenza in raffrescamento	5,20 kW	7,26 kW	5,74 kW	7,58 kW	8,70 kW
Indice efficienza energetica (EER)	2,80	2,38	2,33	2,37	2,15
Condizioni nominali normizzate A35 / W18 e differenziale temperatura 5 K					
	12-A-RME	15-A-RME	12-A-RMD	15-A-RMD	18-A-RMD
Potenza in raffrescamento	7,20 kW	10,50 kW	8,66 kW	10,22 kW	12,60 kW
Indice efficienza energetica (EER)	3,52	2,79	4,08	2,99	2,89

La scelta di adottare un sistema completamente elettrico (“full electric”) deriva dalla volontà di perseguire gli standard di sostenibilità ambientale ed efficienza energetica. L’impiego delle pompe di calore consente infatti di ridurre significativamente le emissioni di CO₂ associate alla climatizzazione rispetto ai tradizionali sistemi alimentati da combustibili fossili, favorendo al contempo l’integrazione con eventuali sistemi di produzione da fonti rinnovabili. Tale soluzione risulta coerente con gli attuali obiettivi di transizione energetica e con le strategie finalizzate alla decarbonizzazione del settore edilizio.

Il circuito secondario dell’impianto è costituito dai seguenti componenti principali:

- collettore di distribuzione con compensatore idraulico integrato, predisposto per l’alimentazione di tre circuiti distinti di riscaldamento/raffrescamento e dimensionato per una portata massima pari a 10,0 m³/h. Il compensatore idraulico consente il disaccoppiamento tra circuito di generazione e circuito di distribuzione, garantendo continuità di portata alle pompe di calore e una maggiore stabilità di funzionamento dell’impianto;
- tre gruppi di rilancio dedicati all’alimentazione del circuito del piano interrato e delle due colonne montanti principali (colonna montante 01 e colonna montante 02), ciascuno equipaggiato con circolatore elettronico ad alta efficienza per la regolazione delle portate ai vari terminali impiantistici. Le pompe sono state dimensionate in funzione dei valori di portata e prevalenza determinati nei calcoli precedentemente eseguiti. Si riportano di seguito le curve portata-prevalenza dei circolatori scelti per ciascun circuito.

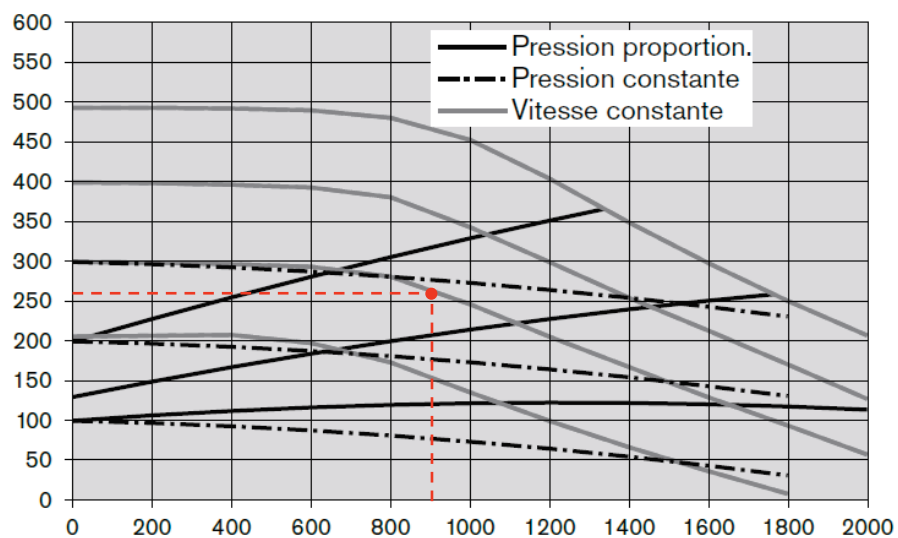


Figura 45: Curva portata-prevalenza pompa WHI pump 25-5 #5, circuito piano interrato [34]

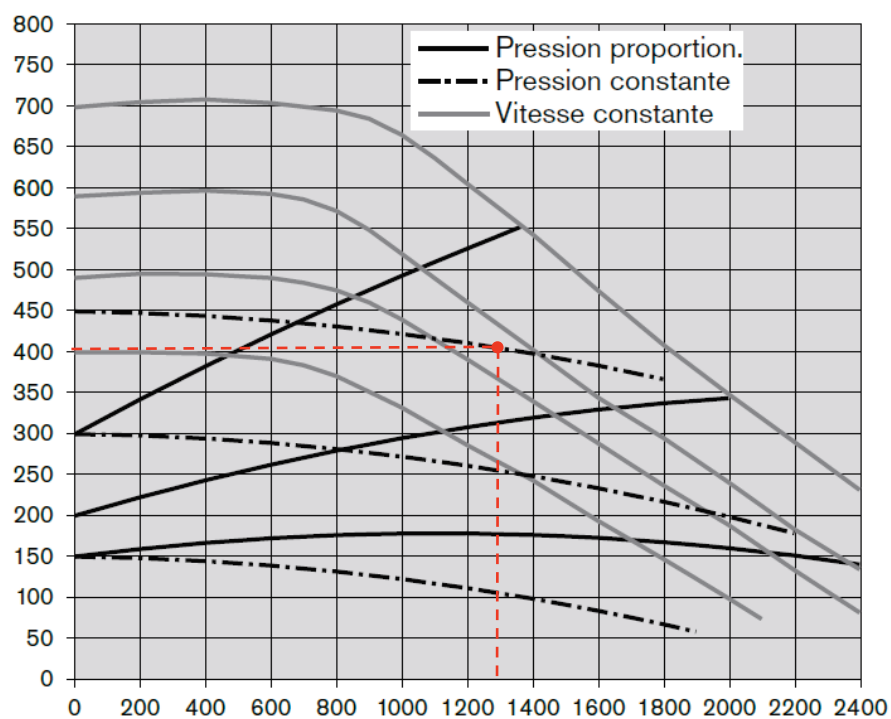


Figura 46: Curva portata-prevalenza pompa WHI pump 25-7#5, circuito colonna montante 01 [35]

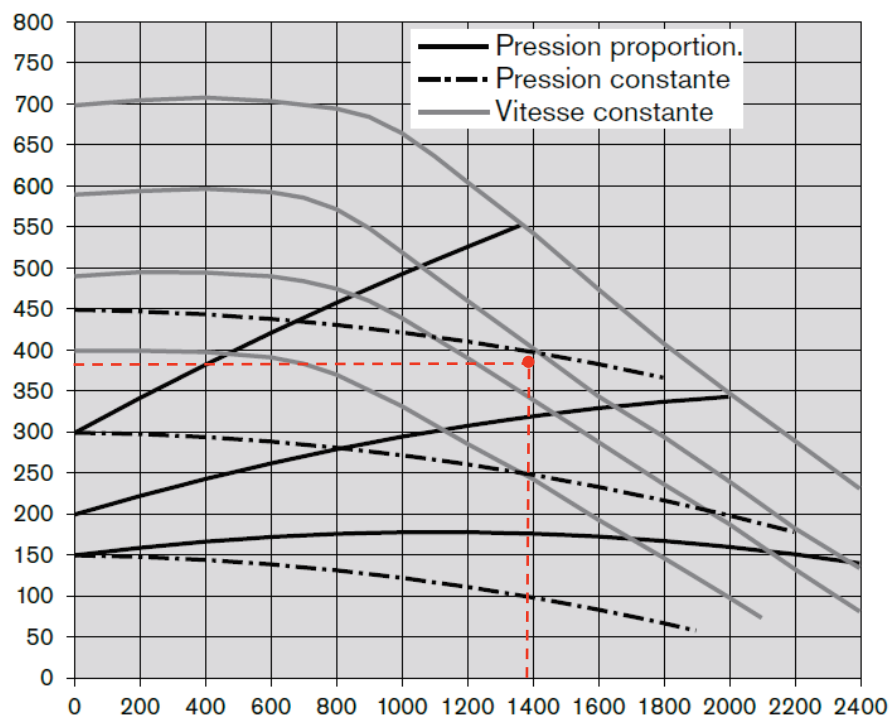


Figura 47: Curva portata-prevalenza pompa WHI pump 25-7#5, circuito colonna montante 02 [35]

- accumulo inerziale Weishaupt WES 800, con capacità nominale pari a circa 800 litri, utilizzato come volano termico per incrementare l'inerzia dell'impianto e ottimizzare il funzionamento delle pompe di calore. L'accumulo consente inoltre di ridurre i cicli di avviamento delle macchine, migliorare la stabilità termica del sistema e favorire il disaccoppiamento idraulico tra circuito di generazione e circuito di distribuzione;
- sistema di integrazione solare termica collegato all'accumulo inerziale, finalizzato al contributo energetico per la produzione di energia termica a supporto dell'impianto. L'energia captata dai collettori solari viene accumulata all'interno del serbatoio inerziale, contribuendo alla riduzione dei consumi elettrici delle pompe di calore e migliorando l'efficienza energetica complessiva del sistema, in particolare durante le mezze stagioni e nei periodi caratterizzati da maggiore disponibilità di irraggiamento solare;
- modulo per la produzione istantanea di acqua calda sanitaria di tipo FreshAcqua70, collegato all'accumulo inerziale. Il sistema consente la produzione di ACS mediante scambiatore a piastre ad alta efficienza, sfruttando l'energia termica accumulata nel serbatoio senza necessità di accumulare

direttamente acqua sanitaria. La stazione FreshAcqua70 è dotata di regolazione elettronica della temperatura e pompa modulante ad alta efficienza, garantendo continuità di erogazione, rapidità di risposta e ottimizzazione dei consumi energetici. Tale soluzione consente inoltre di mantenere elevati standard igienico-sanitari, riducendo il rischio di proliferazione della Legionella grazie alla produzione istantanea dell'acqua calda sanitaria.

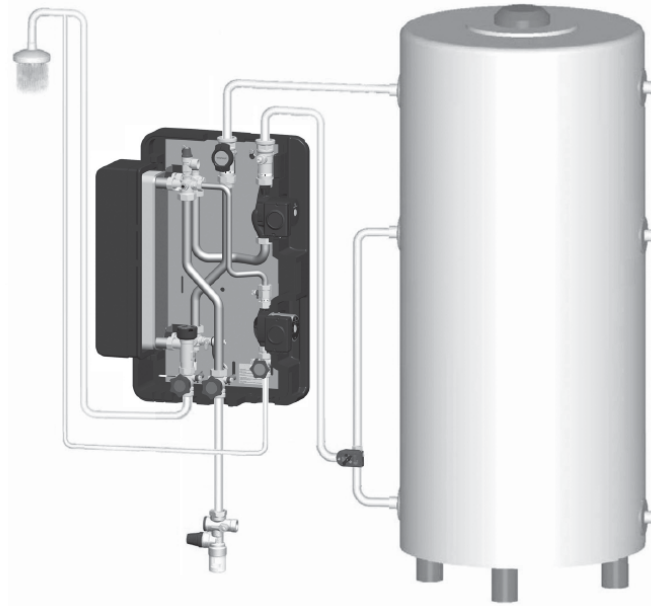


Figura 48: Collegamento modulo FreshAcqua all'accumulo inerziale [36]

5.4.1 Solare termico

Il sistema solare termico è costituito da n. 5 collettori solari piani Weishaupt modello WTS-F2 K5, installati orizzontalmente sulla copertura della struttura annessa alla piscina e integrati nella stessa, con un'inclinazione di 45° ed esposizione a Sud, come illustrato nella figura seguente.

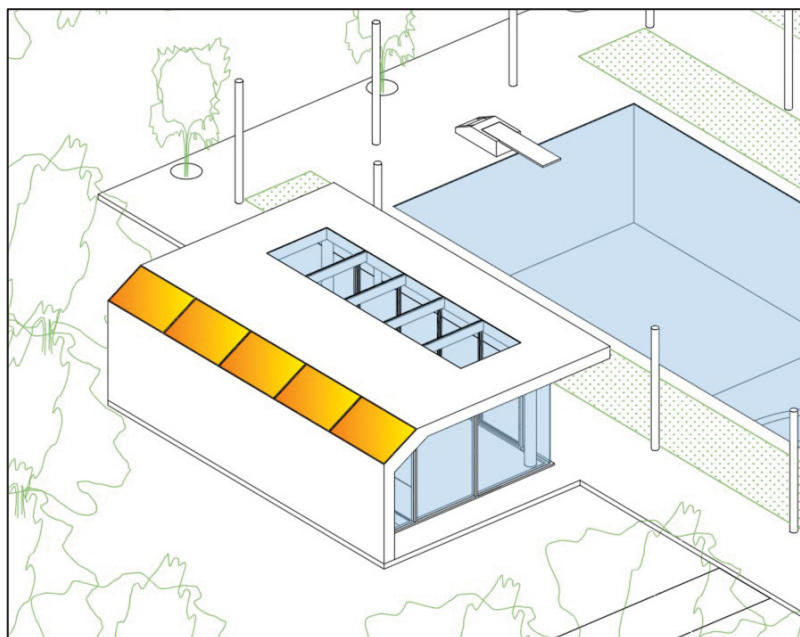


Figura 49: Disposizione collettori solari integrati in copertura

I collettori, progettati per installazioni su tetti inclinati e piani, sono caratterizzati da elevata efficienza energetica grazie all'assorbitore selettivo con rivestimento MiroTherm, in grado di sfruttare sia la radiazione solare diretta sia quella diffusa. La struttura è costituita da telaio in alluminio saldato resistente agli agenti atmosferici, vetro solare ad alta trasparenza e circuito in rame con saldatura laser ad alta efficienza per ottimizzare lo scambio termico. Ogni collettore presenta una superficie lorda di circa 2,51 m².

Presi in considerazione i dati climatici della zona di riferimento e l'irradiazione solare media mensile, si è giunti alla determinazione dei risultati relativi al fabbisogno energetico e alla copertura del servizio di produzione di acqua calda sanitaria (ACS).

DATI GEOGRAFICI

		Alt.	Lat.	Grad
		[m.s.l.]	[Deg]	[°C/m]
Comune	Teramo	265,00	42,66	
Stazione di rilevamento dei dati climatici				0,006

Dati climatici medi mensili utilizzati per il calcolo

DESCRIZIONE	U.M.	GE N	FE B	MA R	APR	MA G	GIU	LUG	AG O	SET	OTT	NO V	DI C
Temperatura media mensile Ta	[°C]	7,0 7	7,0 7	11,0 7	13,1 7	18,7 7	22,7 7	25,6 7	24,5 7	19,6 7	15,4 7	11,8 7	7,7 7

Irradiazione media mensile H	[MJ/m ²]	5,40	8,70	12,80	18,80	20,60	21,20	24,40	21,30	14,40	10,30	6,60	4,60
------------------------------	----------------------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------

Produzione di acqua calda sanitaria													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO
$Q_{W,d,in}$	319,24	288,35	319,24	308,94	319,24	308,94	319,24	319,24	308,94	319,24	308,94	319,24	3.758,81
$Q_{W,l,s}$													
$Q_{gn,out}$	319,24	288,35	319,24	308,94	319,24	308,94	319,24	319,24	308,94	319,24	308,94	319,24	3.758,81
$Q_{W,sol,out}$	213,88	242,24	309,28	308,94	319,24	308,94	319,24	319,24	308,94	304,95	246,80	190,47	3.392,17
f_W	0,67	0,84	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,80	0,60	0,90
$Q_{W,res}$	105,37	46,10	9,96							14,29	62,15	128,77	366,64

dove: $Q_{W,d,in}$: fabbisogno di energia termica per il servizio di produzione di acqua calda sanitaria (include le perdite del sistema di accumulo nel caso di serbatoio bivalente) [kWh];

$Q_{W,l,s}$: perdite del sistema di accumulo (nulle nel caso di serbatoio bivalente) [kWh];

$Q_{gn,out}$: fabbisogno applicato all'impianto solare termico [kWh];

$Q_{W,sol,out}$: energia solare prodotta per la produzione di acqua calda sanitaria [kWh];

f_W : frazione coperta del fabbisogno applicato per la produzione di acqua calda sanitaria;

$Q_{W,res}$: energia a copertura del fabbisogno per la produzione di acqua calda sanitaria [kWh].

Dall'analisi dei risultati relativi alla produzione di acqua calda sanitaria (ACS) si evidenzia un fabbisogno energetico annuo pari a 3.758,81 kWh, con un andamento pressoché costante nei diversi mesi dell'anno, poco influenzato dalla stagionalità. L'energia solare disponibile per la copertura del fabbisogno risulta pari al medesimo valore teorico, mentre l'energia effettivamente fornita dall'impianto solare termico è pari a 3.392,17 kWh annui.

Ne consegue una frazione media di copertura solare del fabbisogno pari a circa il 90%, con valori prossimi alla copertura totale nei mesi estivi ($f_W \approx 1,00$) e una riduzione progressiva nei mesi invernali, in cui la copertura scende fino a valori compresi tra 0,60 e 0,84, andamento dipendente dalla disponibilità di irraggiamento solare.

La quota residua di energia termica richiesta per la produzione di ACS, pari a 366,64 kWh annui, viene integrata dal sistema di generazione principale, risultando quindi marginale rispetto al fabbisogno complessivo.

5.5 Impianto fotovoltaico

Il principio progettuale alla base della collocazione e dell'orientamento di un impianto fotovoltaico consiste nella massimizzazione della captazione della radiazione solare annua disponibile. Tale obiettivo rappresenta uno degli elementi cardine nella progettazione energetica, poiché incide direttamente sulla producibilità dell'impianto e, conseguentemente, sulla sua sostenibilità economica.

In condizioni ideali, il generatore fotovoltaico dovrebbe essere posizionato in modo da garantire la massima esposizione alla radiazione solare durante tutto l'arco dell'anno. Nei contesti dell'emisfero nord, ciò si traduce generalmente in un orientamento verso Sud, accompagnato da un'inclinazione ottimale dei moduli rispetto al piano orizzontale. Questa configurazione consente di massimizzare l'irraggiamento incidente, sfruttando in modo efficiente il percorso apparente del sole nelle diverse stagioni.

Un ulteriore aspetto di primaria importanza è rappresentato dall'assenza di fenomeni di ombreggiamento. Ombre proiettate da edifici, alberi, elementi architettonici o altre infrastrutture possono ridurre significativamente la produzione energetica dell'impianto. Anche ombreggiamenti parziali o temporanei possono avere effetti rilevanti, soprattutto in configurazioni in cui i moduli sono collegati in serie, determinando perdite non lineari nella produzione complessiva.

Tuttavia, nella pratica progettuale, le condizioni ideali non sono sempre realizzabili. La presenza di vincoli architettonici, urbanistici o paesaggistici può limitare la possibilità di orientare i moduli secondo l'asse ottimale o di evitare completamente le ombre. In ambito edilizio, ad esempio, la geometria delle coperture o le prescrizioni normative locali possono imporre orientamenti diversi da quello ideale.

L'adozione di orientamenti differenti rispetto al Sud e la presenza di fenomeni di ombreggiamento sono quindi ammesse, purché vengano adeguatamente analizzate e quantificate. A tal fine, si ricorre a strumenti di simulazione e modellazione che permettono di stimare la producibilità dell'impianto in diverse condizioni operative.

Queste analisi consentono di valutare l'impatto delle perdite energetiche e di ottimizzare la configurazione del sistema.

Nel caso in esame, i moduli fotovoltaici sono posti sulle due falde della copertura, una orientata a Est ed una orientata ad Ovest, entrambe aventi un'inclinazione di 10° e caratterizzate da una configurazione concava.



Figura 50: Distribuzione moduli fotovoltaici sulla copertura dell'edificio

A causa di questa geometria concava è possibile che una falda proietti ombra sull'altra in determinate ore del giorno, come nelle prime ore del mattino o nel tardo pomeriggio. Tuttavia, l'impatto di tali ombreggiamenti risulta contenuto nel bilancio energetico complessivo, in quanto le due falde, essendo orientate rispettivamente verso Est e verso Ovest, producono energia in momenti diversi della giornata, contribuendo a una distribuzione più uniforme della produzione.

Al fine di compensare le perdite di produzione dovute a ombreggiamenti, l'impianto fotovoltaico è stato progettato secondo un'architettura ottimizzata basata sulla tecnologia sviluppata da *SolarEdge Technologies*, che prevede l'utilizzo di ottimizzatori di potenza associati ai singoli moduli fotovoltaici. Questa configurazione consente di migliorare le prestazioni energetiche complessive del sistema rispetto ai tradizionali impianti con inverter di stringa, grazie alla gestione indipendente del punto di massima potenza di ciascun modulo. Gli ottimizzatori regolano la tensione e la corrente prodotte dai moduli e compensano eventuali perdite dovute a fenomeni di mismatch, differenze di orientamento o ombreggiamenti parziali, permettendo a ciascun modulo di operare nelle condizioni di funzionamento ottimali. In questo modo si evita che il comportamento del

pannello meno performante limiti la produzione dell'intera stringa, migliorando l'efficienza globale del sistema.



Figura 51: Composizione e dati di potenza dell'impianto fotovoltaico

L'impianto è costituito da 84 moduli fotovoltaici in silicio monocristallino, ciascuno con una potenza nominale pari a 400 Wp, per una potenza complessiva installata pari a 33,6 kWp. Ogni modulo è accoppiato a un ottimizzatore di potenza, dispositivo elettronico di tipo DC-DC installato direttamente sul retro del pannello, il cui compito è quello di eseguire l'inseguimento del punto di massima potenza (Maximum Power Point Tracking, MPPT) a livello di singolo modulo.

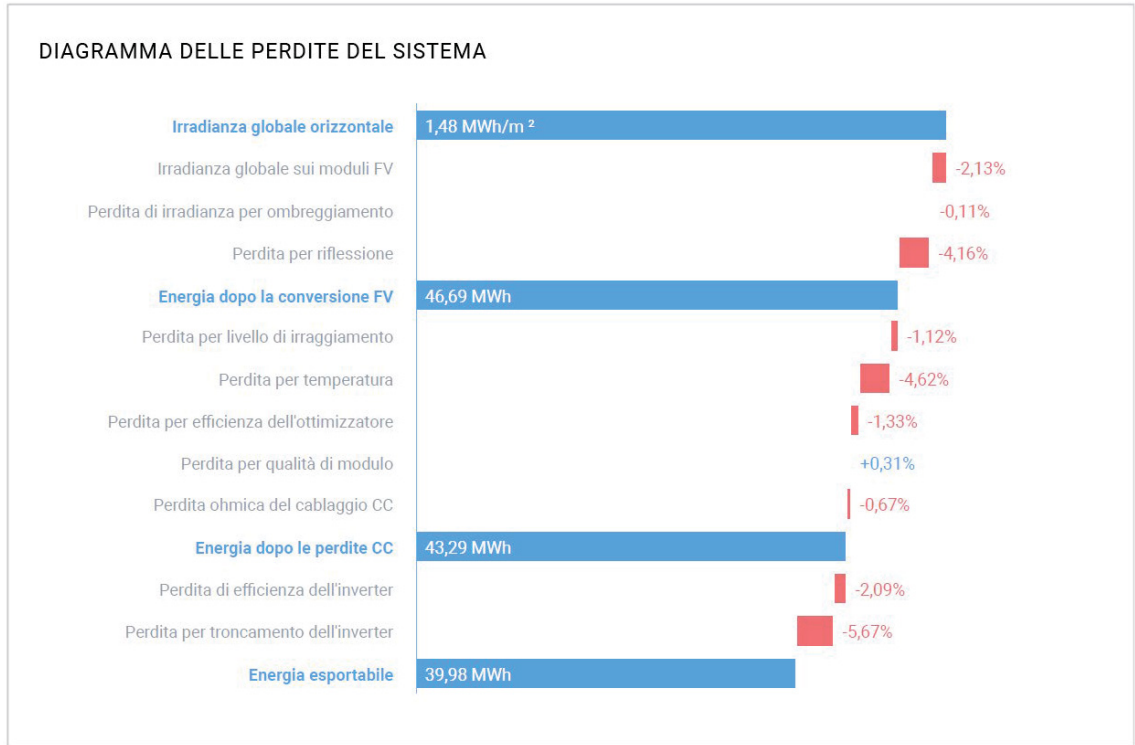


Figura 52: Diagramma delle perdite del sistema e prestazioni dell'impianto fotovoltaico

I moduli fotovoltaici sono collegati elettricamente in stringhe in corrente continua, nelle quali gli ottimizzatori di potenza regolano il livello di tensione inviato agli inverter. L'energia elettrica prodotta viene quindi convogliata verso due inverter trifase SolarEdge, rispettivamente da 10 kW e 8 kW di potenza nominale, che hanno il compito di convertire la corrente continua (DC) proveniente dalle stringhe in corrente alternata (AC) compatibile con la rete elettrica dell'edificio e con la rete di distribuzione. Gli inverter sono connessi a un sistema di accumulo costituito da 4 moduli di batterie al litio, della capacità totale di 18,4 kWh, che ha lo scopo di massimizzare l'autoconsumo dell'energia elettrica prodotta.

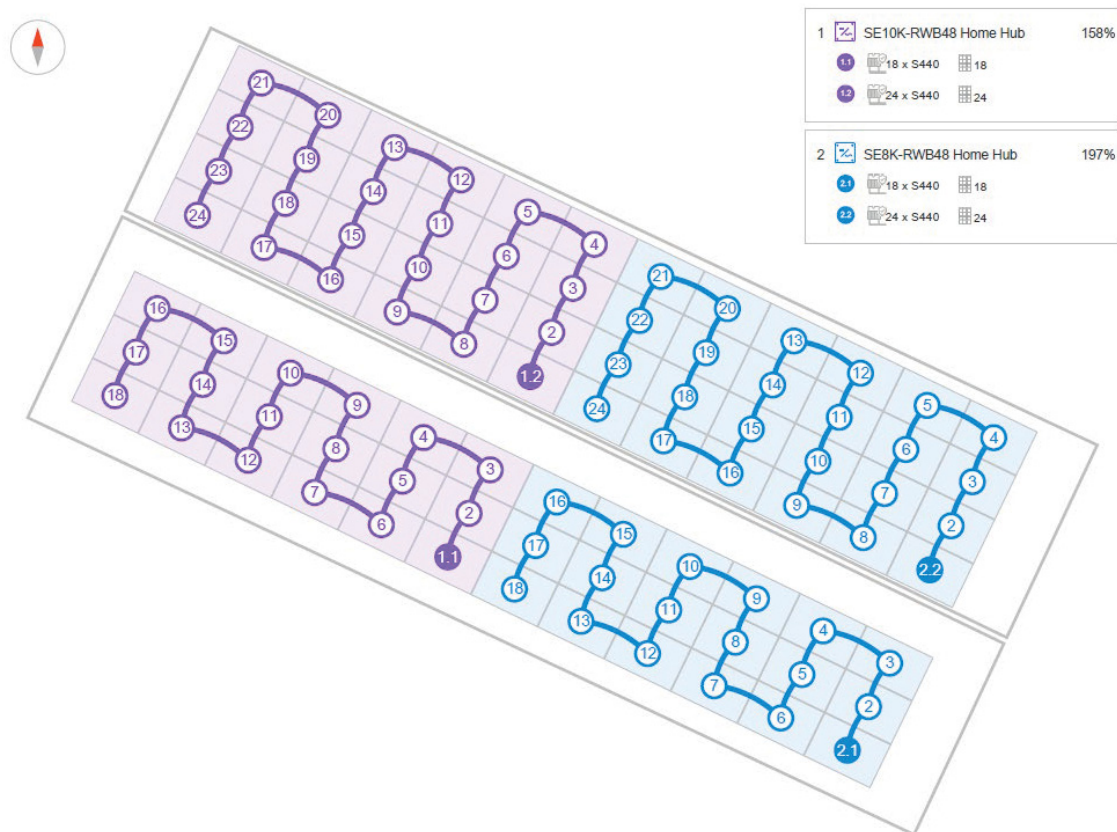


Figura 53: Stringatura impianto fotovoltaico

In questa architettura, la funzione di inseguimento del punto di massima potenza è delegata agli ottimizzatori di potenza, mentre gli inverter svolgono principalmente la funzione di conversione DC/AC e di gestione della connessione alla rete. Questa separazione delle funzioni consente di semplificare il funzionamento dell'inverter e di

migliorare la flessibilità di progettazione dell'impianto, soprattutto in presenza di condizioni non uniformi di irraggiamento.

Un ulteriore elemento caratteristico del sistema è rappresentato dalla piattaforma di monitoraggio integrata, che permette la supervisione delle prestazioni dell'impianto fotovoltaico a livello di singolo modulo. Attraverso tale sistema è possibile analizzare in tempo reale la produzione energetica, individuare eventuali anomalie di funzionamento e ottimizzare le operazioni di manutenzione.

Nel complesso, l'adozione della tecnologia fotovoltaica ottimizzata consente di ottenere una maggiore efficienza energetica, una migliore gestione delle condizioni di irraggiamento non uniformi e un controllo più dettagliato delle prestazioni dell'impianto. Tali caratteristiche rendono questa soluzione particolarmente indicata per installazioni di potenza medio-elevata in ambito residenziale, dove vincoli architettonici e possibili ombreggiamenti possono influenzare in modo significativo la producibilità del sistema.

6 VERIFICHE DI LEGGE

Dopo aver definito le caratteristiche geometriche e termo-fisiche dell'involucro edilizio, nonché la tipologia e il funzionamento degli impianti tecnologici adottati, è possibile procedere con l'analisi delle verifiche di conformità previste dalla normativa vigente in materia di prestazione energetica degli edifici.

Nel presente capitolo vengono quindi esaminate le verifiche di legge applicabili all'edificio oggetto di studio, con l'obiettivo di valutare il rispetto dei requisiti minimi imposti dalla legislazione nazionale in termini di efficienza energetica, contenimento dei consumi e qualità energetica dell'involucro e degli impianti.

L'obiettivo finale delle verifiche è quello di dimostrare che la soluzione progettuale adottata garantisca adeguati livelli di efficienza energetica e comfort abitativo, assicurando al contempo il rispetto delle prescrizioni legislative vigenti.

6.1 DM Requisiti Minimi 26/6/2015

Le verifiche sono state condotte secondo quanto previsto dal Decreto Requisiti Minimi del 26 giugno 2015 [9], il quale definisce le metodologie di calcolo e i parametri prestazionali da rispettare per gli edifici di nuova costruzione, per gli interventi di ristrutturazione importante e per le riqualificazioni energetiche. In funzione della tipologia di intervento considerata, il decreto individua specifici limiti prestazionali e differenti verifiche obbligatorie riguardanti sia l'involucro edilizio sia i sistemi impiantistici.

In particolare, l'analisi riguarda il controllo dei parametri energetici più significativi, quali le trasmittanze termiche delle strutture opache e trasparenti, il coefficiente medio globale di scambio termico, la prestazione energetica globale dell'edificio, il rendimento degli impianti e il contributo delle fonti energetiche rinnovabili. Tali verifiche vengono effettuate confrontando i valori calcolati per l'edificio di progetto con i limiti imposti dalla normativa o con quelli definiti per l'edificio di riferimento.

Per ciascuna verifica è riportato un estratto della relazione tecnica ex Legge 10 contenente i relativi risultati. La versione integrale dell'elaborato è riportata in Appendice.

6.1.1 Indice di prestazione energetica

$$EP_{H,nd} < EP_{H,nd,limite}$$

$$EP_{C,nd} < EP_{C,nd,limite}$$

$$EP_{gl,tot} < EP_{gl,tot,limite}$$

Dove:

$EP_{H,nd}$: è l'indice di prestazione termica utile per il riscaldamento [kWh/m²];

$EP_{C,nd}$: è l'indice di prestazione termica utile per il raffrescamento [kWh/m²];

$EP_{gl,tot}$: è l'indice di prestazione energetica globale dell'edificio totale (ovvero sia rinnovabile che non rinnovabile [kWh/m²];

$$EP_{gl,tot} = EP_{H,tot} + EP_{W,tot} + EP_{V,tot} + EP_{C,tot} + EP_{L,tot} + EP_{T,tot}$$

Dove:

EP_H : è l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale [kWh/m²];

EP_W : è l'indice di prestazione energetica per la produzione di ACS [kWh/m²];

EP_V : è indice di prestazione energetica per la ventilazione [kWh/m²];

EP_C : è l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva [kWh/m²];

EP_L : è indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale [kWh/m²];

EP_T : è indice di prestazione energetica per il trasporto di persone e cose [kWh/m²].

Verifica:

Indice di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale dell'edificio

Valore di progetto $EP_{H,nd}$	26.624 [kWh/m ²]
Valore limite $EP_{H,nd,limite}$	30.982 [kWh/m ²]
Verifica (positiva/negativa)	Positiva

Indice di prestazione termica utile per la climatizzazione estiva dell'edificio

Valore di progetto $EP_{C,nd}$	29.967 [kWh/m ²]
Valore limite $EP_{C,nd,limite}$	43.039 [kWh/m ²]
Verifica (positiva/negativa)	Positiva

Indice della prestazione energetica globale dell'edificio (Energia primaria)

Prestazione energetica per riscaldamento EP_H	35.787	[kWh/m ²]
Prestazione energetica per raffrescamento EP_C	5.595	[kWh/m ²]
Prestazione energetica per acqua sanitaria EP_W	7.738	[kWh/m ²]
Prestazione energetica per ventilazione EP_V	5.995	[kWh/m ²]
Prestazione energetica per illuminazione EP_L	0.000	[kWh/m ²]
Prestazione energetica per servizi EP_r	0.000	[kWh/m ²]
Valore di progetto $EP_{gl,tot}$	55.115	[kWh/m ²]
Valore limite $EP_{gl,tot,limite}$	221.347	[kWh/m ²]
Verifica (positiva/negativa)	Positiva	

6.1.2 Coefficiente medio globale di scambio termico

$$H'_T < H'_{T, limite}$$

Dove:

H'_T : è il coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente [W/m²K]

$$H'_T = H_{tr,adj} / \sum_k A_k \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Dove:

$H_{tr,adj}$: è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione dell'involucro (UNI/TS 11300-1) [W/K];

A_k : è la superficie del k-esimo componente (opaco o trasparente) costituente l'involucro [m²].

Il valore di H'_T deve essere inferiore al valore massimo ammissibile riportato in Tabella 10 in funzione della zona climatica e del rapporto S/V.

RAPPORTO DI FORMA (S/V)	Zona climatica				
	A e B	C	D	E	F
$S/V \geq 0,7$	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48
$0,7 > S/V \geq 0,4$	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53
$0,4 > S/V$	0,80	0,80	0,80	0,75	0,70

Verifica:

Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente (UNI EN ISO 13789)

Unità immobiliare

Superficie disperdente S	1312.67	[m ²]
Valore di progetto H' _T	0.4503	[W/m ² K]
Valore limite H' _{T,L}	0.580	[W/m ² K]
Verifica (positiva/negativa)	Positiva	

6.1.3 Divisori

$$U_{\text{divisori}} \leq 0.8 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Verifica:

- Caratteristiche termiche dei divisori **verticali** opachi e delle strutture **verticali** dei locali non climatizzati

DESCRIZIONE	U MEDIA [W/m ² K]	VALORE LIMITE [W/m ² K]	VERIFICA
Parete ca	0.194	0.800	Positiva

- Caratteristiche termiche dei divisori **orizzontali** opachi e delle strutture **orizzontali** dei locali non climatizzati

DESCRIZIONE	U MEDIA [W/m ² K]	VALORE LIMITE [W/m ² K]	VERIFICA
Pavimento P-1	0.212	0.800	Positiva
Soffitto P-1 - Garage	0.241	0.800	Positiva

6.1.4 Verifiche igrotermiche

Per le strutture opache che delimitano il volume climatizzato verso l'ambiente esterno, sono state effettuate le verifiche previste dalla normativa tecnica vigente, con particolare riferimento alla norma UNI EN ISO 13788, al fine di accertare:

- l'assenza del rischio di formazione superficiale di muffe;
- l'assenza di fenomeni di condensazione interstiziale.

Verifica:

Si riporta nell'appendice A il calcolo della temperatura superficiale e della condensa interstiziale delle strutture edilizie.

6.1.5 Area solare equivalente estiva

$$A_{\text{sol,est}}/A_{\text{sup utile}} < 0,030$$

Dove:

$A_{\text{sup utile}}$: è l'area della superficie utile dell'edificio;

$A_{\text{sol,est}}$: è l'area solare equivalente estiva dell'edificio [m²] calcolata come sommatoria delle aree equivalenti estive di ogni componente vetrato k, ovvero:

$$\sum_k F_{\text{sh,ob}} \times g_{\text{gl+sh}} \times (1 - F_F) \times A_{\text{w,p}} \times F_{\text{sol,est}}$$

Dove:

$F_{\text{sh,ob}}$: è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie vetrata k-esima, riferito al mese di luglio;

$g_{\text{gl+sh}}$: è la trasmittanza di energia solare totale della finestra calcolata nel mese di luglio, quando la schermatura solare è utilizzata;

F_F : è la frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente finestrato;

$A_{\text{w,p}}$: è l'area proiettata totale del componente vetrato (area del vano finestra);

$F_{\text{sol,est}}$: è il fattore di correzione per l'irraggiamento incidente, ricavato come rapporto tra l'irradianza media nel mese di luglio, nella località e sull'esposizione considerata, e l'irradianza media annuale di Roma, sul piano orizzontale.

Verifica:

Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile

Unità immobiliare

Superficie utile $A_{\text{sup utile}}$	494.15 [m ²]
Valore di progetto $A_{\text{sol,est}}/A_{\text{sup utile}}$	0.0296
Valore limite $(A_{\text{sol,est}}/A_{\text{sup utile}})_{\text{limite}}$	0.030
Verifica (positiva/negativa)	Positiva

6.1.6 Efficienza media stagionale

$$\eta_H > \eta_{H, \text{limite}}$$

$$\eta_W > \eta_{W, \text{limite}}$$

$$\eta_C > \eta_{C, \text{limite}}$$

Dove:

η_H : è l'efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale;

η_W : è l'efficienza media stagionale dell'impianto di produzione di ACS;

η_C : è l'efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione estiva.

Verifica:

Efficienze medie stagionali degli impianti

SERVIZI	η_g	η_g limite	VERIFICA
	[%]	[%]	
Riscaldamento	88.9	59.7	Positiva
Acqua calda sanitaria	71.2	59.4	Positiva
Raffrescamento	439.1	202.5	Positiva

6.1.7 Fonti rinnovabili

Gli edifici di nuova costruzione devono rispettare la copertura:

- del 60% dei consumi previsti per la produzione di acqua calda sanitaria;
- del 60% della somma dei consumi previsti per la produzione di acqua calda sanitaria, la climatizzazione invernale e la climatizzazione estiva.

La potenza elettrica degli impianti alimentati da fonti rinnovabili che devono essere installati, misurata in kW, è calcolata secondo la seguente formula:

$$P = k \times S$$

Dove:

k: per gli edifici di nuova costruzione è pari a 0,05;

S: è la superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno ovvero la proiezione al suolo della sagoma dell'edificio, misurata in m².

Verifica:

c) Impianti solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria

SOLARE TERMICO

Tipo di collettore solare	Collettore piano
Inclinazione ed orientamento	45 [°] Sud
Capacità dell'accumulo	780.00 [Lt]
Impianto integrazione (specificare tipo e alimentazione)	Integrazione sull'impianto di acqua calda sanitaria
Percentuale del fabbisogno termico coperto (fsol)	90.0 [%]
Superficie lorda dei collettori installati	12.5 [m²]

d) Impianti fotovoltaici

Percentuale di copertura del fabbisogno annuo	90.5 [%]
Fabbisogno di energia elettrica da rete	1047 [kWh _e]
Energia elettrica da produzione locale	33406 [kWh _e]
Superficie in pianta dell'edificio a livello del terreno S	220.00 [m²]
Potenza elettrica installata	33.60 [kW]

Verifica secondo DLgs 8 novembre 2021, n. 199 – Allegato III

Potenza elettrica richiesta	11.00 [kW]
Verifica (positiva/negativa)	Positiva

e) Consuntivo energia

Energia consegnata o fornita (E _{del})	29511 [kWh]
Energia rinnovabile (E _{gl,ren})	25194 [kWh]

Energia esportata (E_{exp})	23489 [kWh]
Fabbisogno annuale globale di energia primaria ($EP_{gl,tot}$)	27235 [kWh]
Energia rinnovabile in situ (elettrica)	33406 [kWh _e]
Energia rinnovabile in situ (termica)	3498 [kWh]

Copertura da fonti rinnovabili

Percentuale di copertura del fabbisogno annuo per ACS	97.9 [%]
Percentuale da fonte rinnovabile per tutti i servizi	92.9 [%]

Verifiche delle coperture minime secondo il DLgs n. 199/2021

Percentuale minima di copertura per ACS	60.0 [%]
Verifica (positiva/negativa)	Positiva
Percentuale minima di copertura per tutti i servizi	60.0 [%]
Verifica (positiva/negativa)	Positiva

(Verifica secondo DLgs 8 novembre 2021, n. 199 – Allegato III, comma 2 punto 1)

6.2 Edificio nZEB

Per edificio nZEB, si intende un sistema edificio-impianto ad altissima prestazione energetica in cui il fabbisogno energetico, sia in regime invernale che estivo, molto basso o quasi nullo, è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta in situ”, come stabilito da D.M. 26 giugno 2015 e dal D.Lgs. n.28 del 3 marzo 2011 [39]. A partire dal 1 gennaio 2021 in Italia tutti gli edifici di nuova costruzione o soggetti ad una ristrutturazione importante di primo livello devono rispondere ai requisiti tecnici e prestazionali imposti dall’Allegato 1 del D.M. 26/6/2015 per gli edifici a energia quasi zero (nZEB - nearly Energy Zero Building). Un edificio si definisce nZEB quando risultano rispettati tutti i requisiti analizzati nel paragrafo precedente relativi a coefficiente medio globale di scambio termico, indici di prestazione termica utile in regime invernale, indice di prestazione energetica globale, rendimenti medi stagionali degli impianti di climatizzazione e produzione di acqua calda calda sanitaria e copertura da fonti energetiche rinnovabili.

6.2.1 Attestato di prestazione energetica

ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI																																																		
CODICE IDENTIFICATIVO:	VALIDO FINO AL:																																																	
DATI GENERALI																																																		
Dati identificativi ☒ Residenziale ☐ Non residenziale Classificazione D.P.R. 412/93: E.1(1)	Oggetto dell'attestato ☐ Edificio ☒ Unità immobiliare ☐ Gruppo di unità immobiliari Numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: 1	☒ Nuova costruzione ☐ Passaggio di proprietà ☐ Locazione ☐ Ristrutturazione importante ☐ Riqualificazione energetica ☐ Altro:																																																
Dati identificativi Regione: Abruzzo Comune: Teramo Indirizzo: Via Settimio Costantini, Piano: Interno: Coordinate GIS: 42° 42' 0.8" N 13° 46' 33.6" E Zona climatica: D Anno di costruzione: 2025 Superficie utile riscaldata [m²]: 494.15 Superficie utile raffrescata [m²]: 437.79 Volume lordo riscaldato [m³]: 2123.26 Volume lordo raffrescato [m³]: 1850.59																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <tr> <th colspan="10">Comune catastale (Terreni):</th> <th colspan="2">Sezione</th> <th colspan="2">Foglio</th> <th colspan="2">Particella</th> </tr> <tr> <td>Subalterni</td> <td>da</td> <td></td> <td>a</td> <td></td> <td>\</td> <td>da</td> <td></td> <td>a</td> <td></td> <td>\</td> <td>da</td> <td></td> <td>a</td> <td></td> <td>\</td> </tr> <tr> <td colspan="16">Altri subalterni</td> </tr> </table>			Comune catastale (Terreni):										Sezione		Foglio		Particella		Subalterni	da		a		\	da		a		\	da		a		\	Altri subalterni															
Comune catastale (Terreni):										Sezione		Foglio		Particella																																				
Subalterni	da		a		\	da		a		\	da		a		\																																			
Altri subalterni																																																		
Servizi energetici presenti ☒ Climatizzazione invernale ☒ Ventilazione meccanica ☐ Illuminazione ☒ Climatizzazione estiva ☒ Produzione acqua calda sanitaria ☐ Trasporto di persone o cose																																																		
PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO																																																		
La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto dei rendimenti degli impianti presenti.																																																		
Prestazione energetica del fabbricato <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #d3d3d3;"> <th>INVERNO</th> <th>ESTATE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="height: 150px; vertical-align: middle;"> </td> <td style="height: 150px; vertical-align: middle;"> </td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;"> </td> <td style="font-size: x-small;"> </td> </tr> </tbody> </table>	INVERNO	ESTATE					Prestazione energetica globale EDIFICIO A ENERGIA QUASI ZERO CLASSE ENERGETICA A4 EP_{gl,nren} 4,13 kWh/m²anno	Riferimenti Gli immobili simili avrebbero in media la seguente classificazione: Se nuovi: A4 (74-87) Se esistenti: A2 (131-15)																																										
INVERNO	ESTATE																																																	

ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI					
CODICE IDENTIFICATIVO:	VALIDO FINO AL:				
PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI IMPIANTI E CONSUMI STIMATI					
La sezione riporta l'indice di prestazione energetica rinnovabile e non rinnovabile, nonché una stima dell'energia consumata annualmente dall'immobile secondo uno standard.					
Prestazioni energetiche degli impianti e stima dei consumi di energia					
	FONTI ENERGETICHE UTILIZZATE	Quantità annua consumata in uso standard	Indici di prestazione energetica globali ed emissioni		
☒	Energia elettrica da rete	1046.77 [kWh]	Indice della prestazione energetica non rinnovabile EP _{gl,nren} 4.13 kWh/m²anno		
☐	Gas naturale				
☐	GPL				
☐	Carbone				
☐	Gasolio e Olio combustibile				
☐	Biomasse solide		Indice della prestazione energetica rinnovabile EP _{gl,ren} 50.98 kWh/m²anno		
☐	Biomasse liquide				
☐	Biomasse gassose				
☒	Solare fotovoltaico	9917.58 [kWh]			
☒	Solare termico	3498.16 [kWh]			
☐	Eolico		Emissioni di CO ₂ 0.92 kg/m²anno		
☐	Teleriscaldamento				
☐	Teleraffrescamento				
☐	Altro:				
RACCOMANDAZIONI					
La sezione riporta gli interventi raccomandati e la stima dei risultati conseguibili, con il singolo intervento o con la realizzazione dell'insieme di essi, esprimendo una valutazione di massima del potenziale di miglioramento dell'edificio o immobile oggetto dell'attestato di prestazione energetica.					
RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE INTERVENTI RACCOMANDATI E RISULTATI CONSEGUIBILI					
Codice	TIPO DI INTERVENTO RACCOMANDATO	Comporta una Ristrutturazione importante	Tempo di ritorno dell'investimento anni	Classe Energetica raggiungibile con l'intervento (EP _{gl, nren} kWh / m²anno)	CLASSE ENERGETICA raggiungibile se si realizzano tutti gli interventi raccomandati
		┐			0.00
		┐			
		┐			
		┐			
		┐			
		┐			

		ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI							
CODICE IDENTIFICATIVO:		VALIDO FINO AL:							
ALTRI DATI ENERGETICI GENERALI									
Energia esportata		23488.68 kWh/anno		Vettore energetico: Energia elettrica					
ALTRI DATI DI DETTAGLIO DEL FABBRICATO									
V - Volume riscaldato		2123.26		m³					
S - Superficie disperdente		1312.67		m²					
Rapporto S/V		0.62							
EPH,nd		26.62		kWh/m²anno					
Asol/Asup,utile		0.0296		-					
YIE		0.0054		W/m²K					
DATI DI DETTAGLIO DEGLI IMPIANTI									
Servizio energetico	Tipo di impianto	Anno di installazione	Codice catasto regionale impianti termici	Vettore energetico utilizzato	Potenza Nominale kW	Efficienza media stagionale	EPren	EPnren	
Climatizzazione invernale	1 - HP elettrica aria-acqua	2026		Energia elettrica	18.70	0.744	η_H	32.44	3.35
	2 - HP elettrica aria-acqua	2026		Energia elettrica	18.70				
Climatizzazione estiva	1 - HP elettrica aria-acqua	2026		Energia elettrica	11.90	4.632	η_C	5.60	0.00
	2 - HP elettrica aria-acqua	2026		Energia elettrica	11.90				
Produzione acqua calda sanitaria	1 - HP elettrica aria-acqua	2026		Energia elettrica	18.70	0.712	η_W	7.58	0.16
	2 - HP elettrica aria-acqua	2026		Energia elettrica	18.70				
	3 - Impianto Solare Termico	2026		Energia termica	5.01				
Impianti combinati									
Produzione da fonti rinnovabili	1 - HP elettrica aria-acqua	2026		Energia elettrica	18.70	0.00			
	2 - Impianto Solare Termico	2026		Energia termica	5.01	0.00			
	3 - Impianto fotovoltaico	2026		Energia elettrica	33.60	0.00			
Ventilazione meccanica	1 - Ventilatori	2026		Energia elettrica	0.31	0.51		5.37	0.62
Illuminazione									
Trasporto di persone o cose									

7 CALCOLO DINAMICO ORARIO (UNI EN ISO 52016-1:2018)

Sebbene la normativa vigente non richieda l'impiego di una simulazione energetica dinamica oraria ai fini delle verifiche previste dal Decreto Requisiti Minimi, è stata comunque effettuata un'analisi mediante tale metodologia. Questa scelta è stata adottata al fine di ottenere una rappresentazione più realistica del comportamento energetico dell'edificio, considerando l'evoluzione temporale delle condizioni climatiche, degli apporti interni e solari e dell'interazione tra involucro e impianti. La simulazione dinamica consente infatti di descrivere con maggiore accuratezza i fenomeni transitori che caratterizzano il funzionamento dell'edificio durante l'intero anno, fornendo risultati maggiormente aderenti alle reali condizioni di esercizio rispetto ai tradizionali metodi di calcolo quasi stazionari. L'approccio dinamico risulta particolarmente significativo nel periodo estivo, quando il comportamento dell'edificio è fortemente influenzato dall'inerzia termica delle strutture, dall'entità degli apporti solari attraverso le superfici trasparenti e dalla capacità dell'involucro di attenuare e ritardare i picchi di temperatura provenienti dall'ambiente esterno.

La UNI EN ISO 52016-1:2018 [17] prevede fondamentalmente:

- la revisione del metodo mensile per il calcolo del fabbisogno energetico degli edifici, nell'ambito del quale è stato eliminato il metodo stagionale (ovvero l'individuazione dei periodi di riscaldamento e raffrescamento sulla base di un bilancio tra perdite energetiche ed apporti dell'involucro);
- la sostituzione del metodo orario semplificato con un metodo orario più dettagliato;
- nuovi e più articolati criteri per la zonizzazione termica.

La novità sostanziale è rappresentata dal fatto che, su base oraria, essa definisce anche le metodologie per:

- il calcolo della temperatura degli ambienti interni;
- il calcolo del carico termico sensibile per riscaldamento e raffrescamento;
- il calcolo del carico termico latente e l'umidità per l'umidificazione e la deumidificazione;

- il calcolo del carico termico di progetto sensibile e latente per riscaldamento e raffrescamento;
- la determinazione delle condizioni dell'aria di mandata da fornire per l'umidificazione e/o la deumidificazione.

Il calcolo del carico termico e del fabbisogno energetico può avvenire secondo due distinte logiche in rapporto a specifici obiettivi:

- determinazione del carico e del fabbisogno “ideale” di riscaldamento e raffrescamento ai fini dell'utilizzabilità dell'impianto (le cui specifiche non sono note); in questo caso, si presuppongono il funzionamento continuo dell'impianto, nessuna limitazione alla potenza (“evoluzione libera del sistema”), perdite di energia non recuperabili ed emissione termica esclusivamente convettiva;
- determinazione del carico e del fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento con un impianto di caratteristiche note, ai fini della valutazione degli effetti di una sua specifica gestione; in questo caso, si presuppongono il funzionamento discontinuo dell'impianto, potenza limitata a quella effettivamente disponibile, perdite di energia recuperabili ed emissione termica sia convettiva che radiativa.

7.1 Dati di input

I dati di ingresso per il metodo di calcolo orario riguardano, oltre ai dati generali dell'edificio già definiti inizialmente per la simulazione energetica, la classe di distribuzione della massa dei componenti opachi, periodo di funzionamento dell'impianto e set-point di temperature e umidità, profilo di apertura e chiusura degli oscuranti e delle schermature mobili, gli apporti gratuiti di natura endogena, dovuti alla presenza delle persone, dei dispositivi di illuminazione, apparecchiature, accumuli d'acqua, alla presenza di sistemi di climatizzazione e/o ventilazione e derivanti da processi.

7.1.1 Dati su componenti architettonici

Per i componenti opachi vengono definiti i coefficienti di scambio termico convettivo, i coefficienti di scambio termico radiativo e la classe di distribuzione della massa. Per quest'ultima, la norma identifica cinque classi in funzione della presenza o meno di strati isolanti e della loro distribuzione in merito alla struttura stessa.

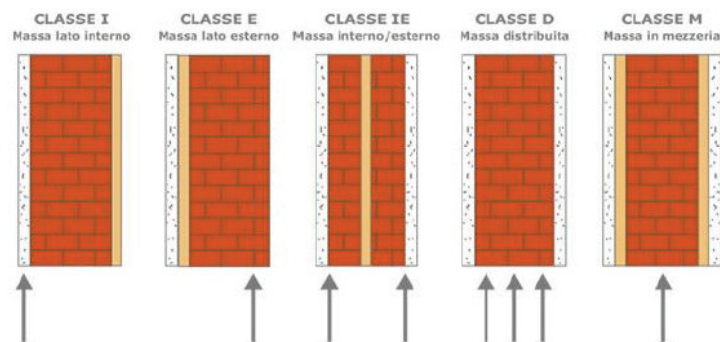


Figura 54: Classi di distribuzione della massa [12]

Classe	Identificazione	Dettaglio
I	Massa concentrata sul lato interno	Struttura dotata di strato isolante sul lato esterno
E	Massa concentrata sul lato esterno	Struttura dotata di strato isolante sul lato interno
IE	Massa suddivisa tra lato interno ed esterno	Struttura dotata di strato isolante suddiviso tra due blocchi principali
D	Massa equamente distribuita	Struttura non dotata di strato isolante
M	Massa concentrata all'interno	Struttura dotata di due strati di isolante, uno sul lato esterno l'altro sul lato interno

Nel caso in esame, per la parete perimetrale, essendo presente un sistema di isolamento a cappotto esterno è stato definito quanto segue:

Descrizione		Parete perimetrale	
Impostazioni generali			
Tipo struttura		Parete esterna	
Vetrata	Epsilon	☐	0.837
Colore			
Interno	Medio		
Esterno	Medio		
Colore 3d	 192; 80; 77		
Codice d'abaco	Stru101		
Scheda tecnica			
Impostazioni generali di calcolo			
Velocità del vento[m/s]		4.0	
Incr. Sic [%]		10.00	
Hi [W/(m²·K)]	He [W/(m²·K)]	7.692	25.000
U Imposto		☐	
Pareti speciali			
Tipo di struttura speciale		Parete Normale	
Impostazioni calcolo dinamico			
Coefficienti di scambio termico convettivo			
hci [W/(m²·K)]	hce [W/(m²·K)]	2.500	20.000
Coefficienti di scambio termico radiativo			
hri[W/(m²·K)]	hre[W/(m²·K)]	4.782	3.869
Classe di distribuzione della massa		Classe I (massa concentrata sul lato interno)	
Capacità termica areica Km [J/m²·K]		54660	

7.1.2 Profili orari di temperatura

Sono stati definiti i profili orari di set-point per il servizio di riscaldamento e raffrescamento.

Dati di calcolo	Carichi interni	Ventilazione
Riscaldamento		
Profilo orario temperature di set-point	RISCALDAMENTO	
$\vartheta_{red,H}[^{\circ}C]$	16.00	
$\vartheta_{nocc,H}[^{\circ}C]$	14.00	
Raffrescamento		
Profilo orario temperature di set-point	RAFFRESCAMENTO	
$\vartheta_{red,C}[^{\circ}C]$	30.00	
$\vartheta_{nocc,C}[^{\circ}C]$	32.00	

Dove:

- $\theta_{red,H}$: è la temperatura di attenuazione dell'impianto in regime di riscaldamento;
- $\theta_{nocc,H}$: è la temperatura di non occupazione dell'impianto in regime di riscaldamento;
- $\theta_{red,C}$: è la temperatura di attenuazione dell'impianto in regime di raffrescamento;
- $\theta_{nocc,C}$: è la temperatura di non occupazione dell'impianto in regime di raffrescamento.

Il profilo orario di riscaldamento è stato definito assumendo una temperatura di set-point pari a 20°C, ridotta a 18°C nelle ore notturne. Il servizio di riscaldamento è stato considerato attivo dal 1° novembre al 15 aprile.

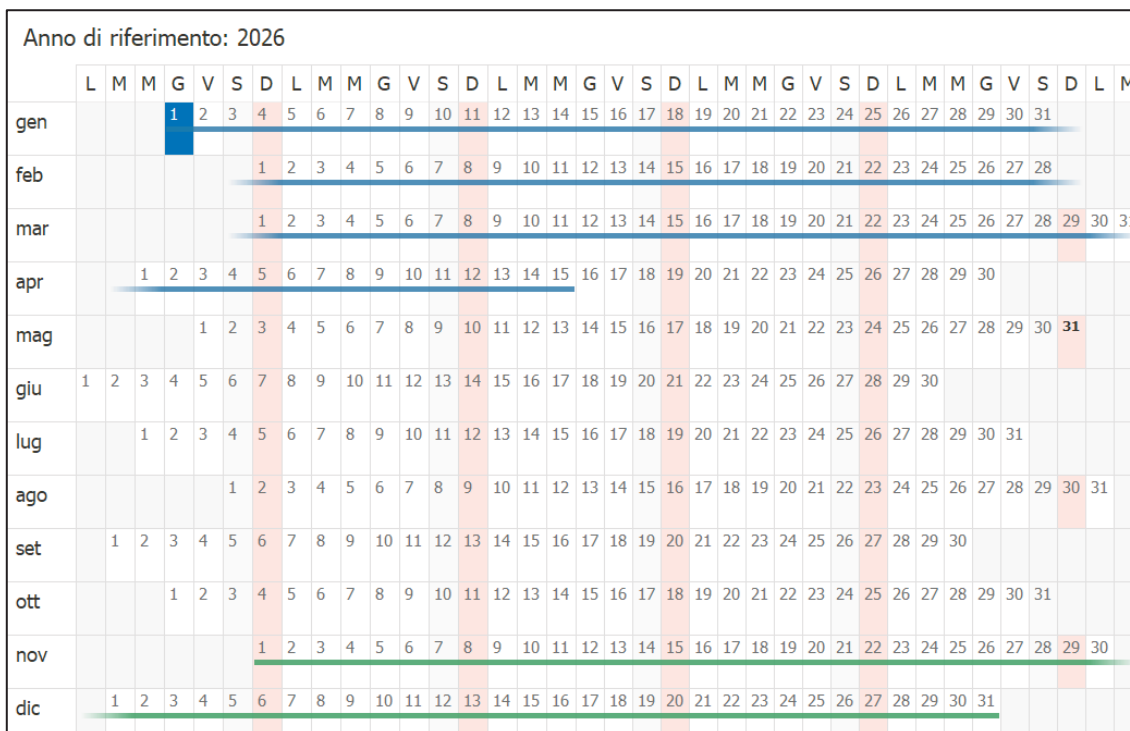


Figura 55: Profilo orario di funzionamento annuale del servizio di riscaldamento

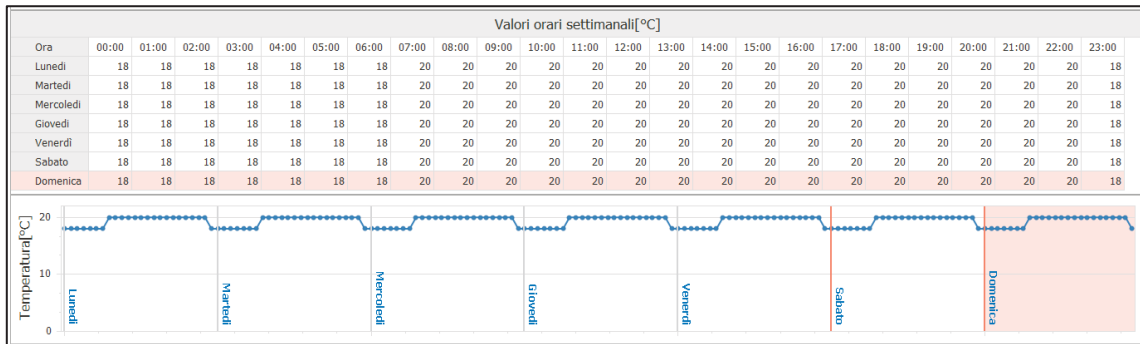


Figura 56: Profilo orario di funzionamento settimanale del servizio di riscaldamento

Il profilo orario di raffrescamento è stato impostato con una temperatura di set-point pari a 26°C, ridotta a 28°C nelle ore notturne. Il servizio di raffrescamento è stato considerato attivo dal 16 aprile al 31 ottobre.

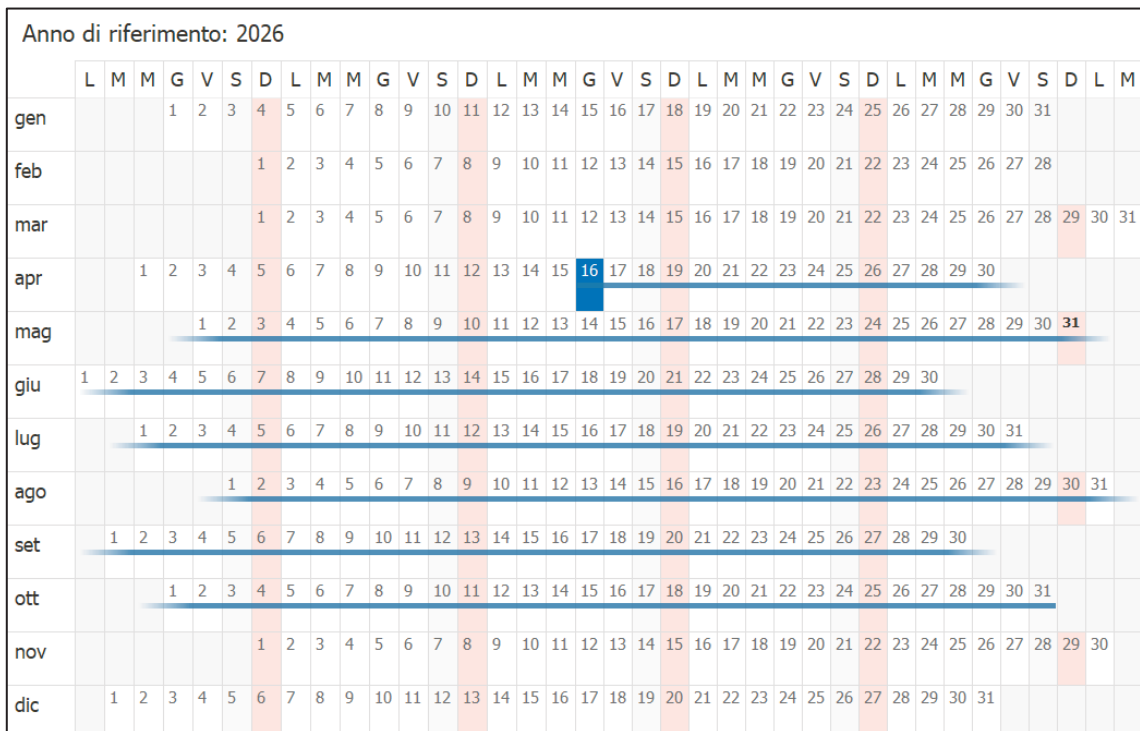


Figura 57: Profilo orario di funzionamento annuale del servizio di raffrescamento

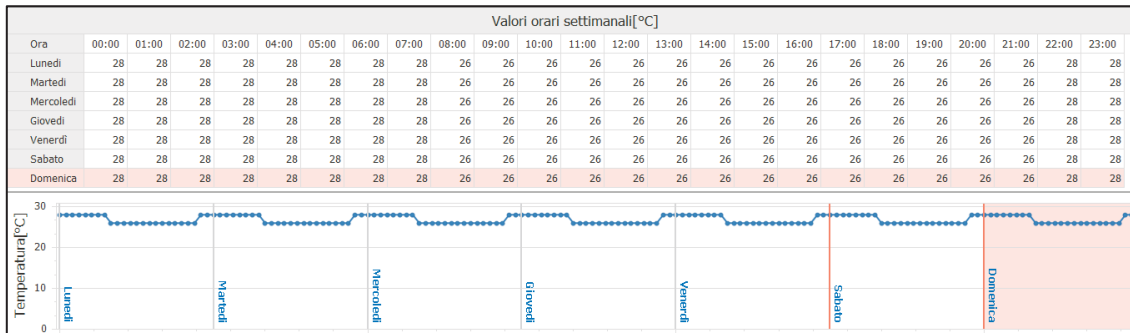


Figura 58: Profilo orario di funzionamento settimanale del servizio di raffrescamento

7.1.3 Profili orari carichi interni

Sono state stabilite le frazioni convettive degli apporti interni e i profili orari relativi all'occupazione e alla ventilazione.

Dati di calcolo	Carichi interni	Ventilazione
Frazioni convettive degli apporti interni [0..1]		
Carichi interni (f _{int})	0.40	
Sistema di riscaldamento (f _H)	0.50	***
Sistema di raffrescamento (f _C)	1.00	***

Dove:

f_{int}: il valore suggerito da norma è 0,4

f_H: il valore è stato desunto in funzione della tipologia di sistema di emissione:

Frazioni convettive del sistema di riscaldamento	f _H ;c
Ventilconvettori	1.00
Convettori naturali	0.90
Radiatori (multicolonna)	0.75
Radiatori (pannello doppio e triplo)	0.70
Radiatori (pannello singolo)	0.50
Pannello radiante annegato	0.50
Pannelli radianti a soffitto	0.33
Tubi radianti	0.10
Riscaldatori ad infrarossi	0.10

f_C: il valore è stato desunto in funzione della tipologia di sistema di emissione:

Frazioni convettive del sistema di riscaldamento	f _C ;c
Ventilconvettori	1.00
Altri sistemi	0.40

Il profilo orario di occupazione, espresso in termini percentuali, è stato definito assumendo una presenza pari al 100% nelle ore notturne e ridotta al 50% durante le ore diurne.

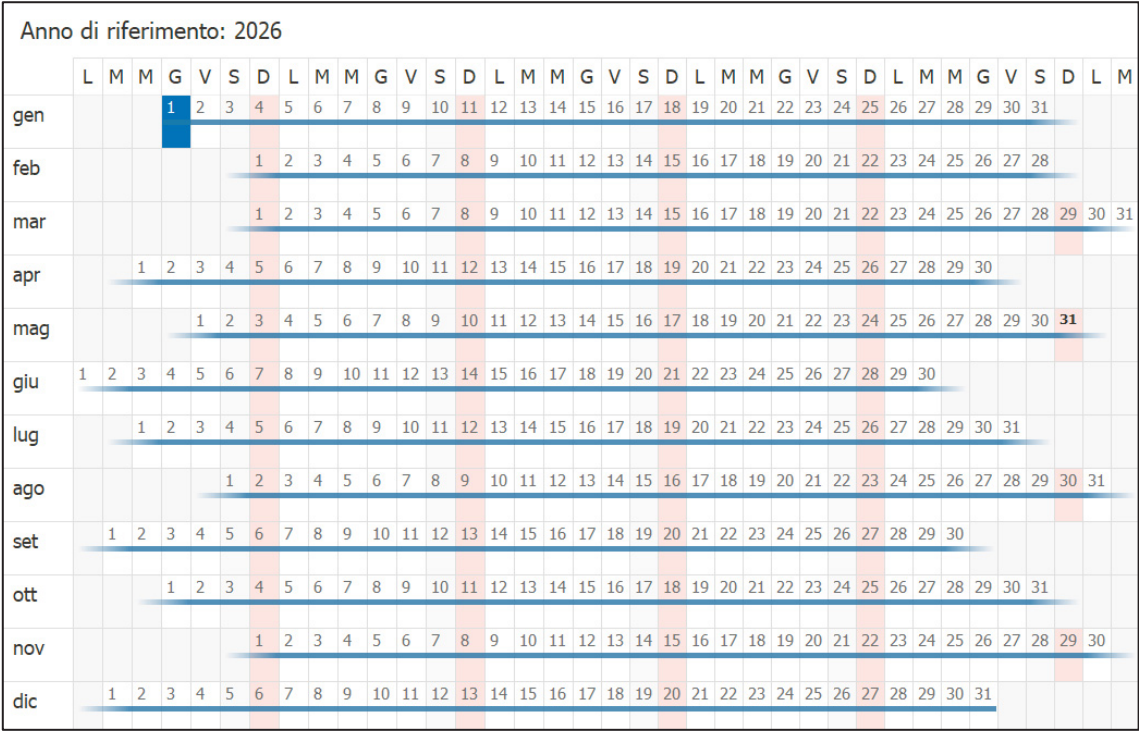


Figura 59: Profilo orario annuale di occupazione

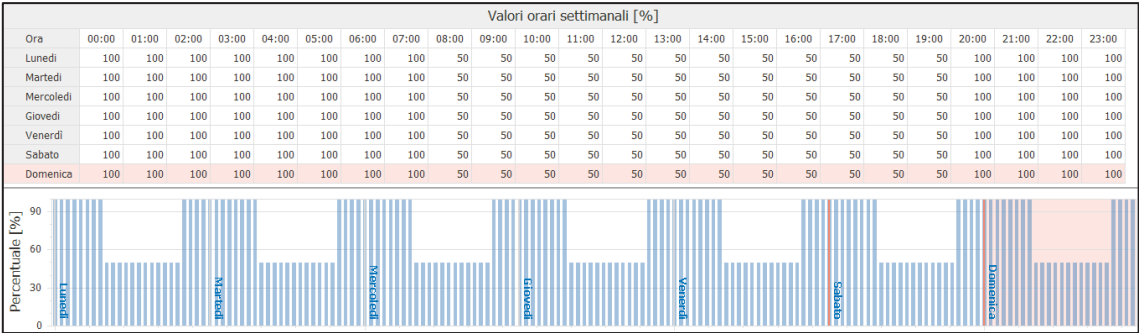


Figura 60: Profilo orario settimanale di occupazione

Il profilo orario di ventilazione acquisisce il valore di portata d'aria di progetto di ciascuna zona, attivo h24.

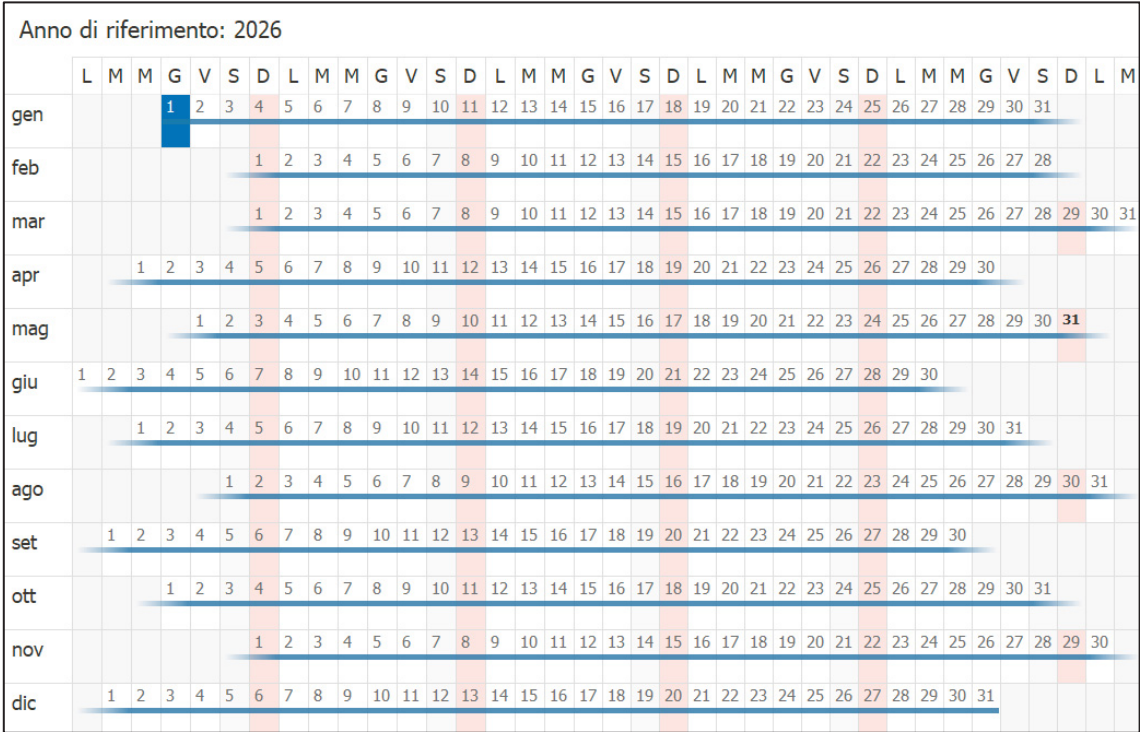


Figura 61: Profilo orario annuale di ventilazione

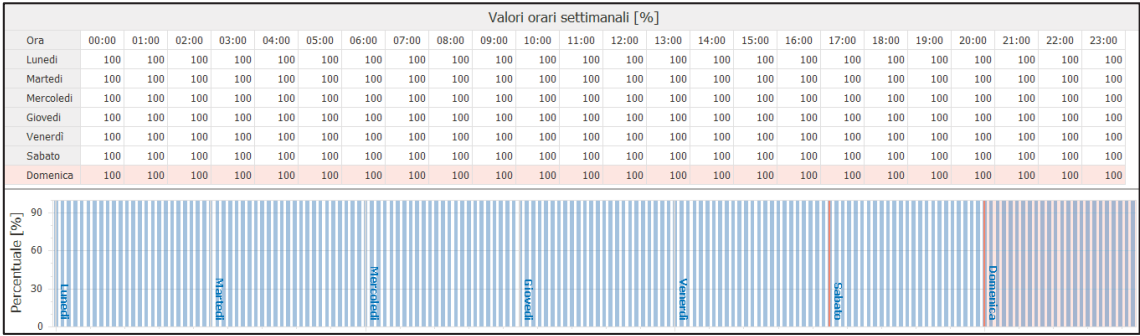


Figura 62: Profilo orario settimanale di ventilazione

7.2 Risultati

La sezione "Risultati" è suddivisa in tre sezioni che rispecchiano le tre logiche previste dalla norma per la determinazione del carico termico e del fabbisogno “ideale” di riscaldamento e raffrescamento:

- impianto spento, finalizzata alla stima della temperatura operativa in assenza di impianto;
- potenza illimitata, finalizzata alla valutazione dell'utilizzabilità dell'impianto (le cui specifiche non sono note); in questo caso si presuppongono il funzionamento continuo dell'impianto, nessuna limitazione alla potenza (“evoluzione libera del sistema”), perdite di energia non recuperabili ed emissione termica esclusivamente convettiva;
- potenza disponibile, finalizzata, in presenza di un impianto di caratteristiche note, alla valutazione degli effetti di una sua specifica gestione; in questo caso si presuppongono il funzionamento discontinuo dell'impianto, potenza limitata a quella disponibile, perdite di energia recuperabili ed emissione termica sia convettiva che radiativa.

La simulazione restituisce, per ogni ambiente e per ogni ora dell'anno, le condizioni termo-ambientali interne, tra cui la temperatura operativa e la temperatura media radiante. La temperatura operativa è definita come media aritmetica tra la temperatura dell'aria interna e la temperatura media radiante:

$$\theta_{int;op;zt;t} = \frac{\theta_{int;a;zt;t} + \theta_{int;r;mn;zt;t}}{2}$$

La temperatura media radiante corrisponde alla media pesata, sulle rispettive aree, delle temperature superficiali interne di tutti gli elementi di involucro dell'ambiente all'istante t:

$$\theta_{int;r;mn;zt;t} = \frac{\sum_{eli=1}^{eln} (A_{eli} \cdot \theta_{pli=pln;eli;t})}{\sum_{eli=1}^{eln} A_{eli}}$$

Vengono riportati i risultati delle simulazioni dinamiche riferiti al giorno più freddo e al giorno più caldo dell'anno. Il giorno più freddo è stato individuato nel 13 gennaio, con una temperatura esterna minima pari a -4.4°C registrata alle ore 7:00, mentre il giorno più caldo corrisponde al 30 agosto, con una temperatura esterna massima pari a 38.9°C alle ore 13.00. L'analisi è stata condotta con particolare riferimento alla zona soggiorno, individuata come ambiente principale di occupazione durante le attività quotidiane. Tale locale risulta inoltre particolarmente significativo ai fini della valutazione del comportamento termo-energetico estivo dell'edificio, in quanto caratterizzato dalla presenza di ampie superfici vetrate che lo rendono maggiormente sensibile agli apporti solari e al conseguente rischio di surriscaldamento.

7.2.1 Comportamento invernale

Si riportano di seguito i grafici relativi all'andamento delle temperature nella zona soggiorno durante i giorni più freddi dell'anno, compresi tra il 10 e il 14 gennaio. Al fine di valutare l'influenza delle diverse modalità di funzionamento dell'impianto sul comportamento termico dell'ambiente, vengono confrontati tre scenari di simulazione, come suggerito dalla norma: edificio con impianto di climatizzazione spento, edificio con impianto a potenza illimitata e edificio con impianto reale, caratterizzato dai limiti prestazionali effettivi del sistema installato.

Nei grafici sono evidenziate:

Θ_e : temperatura esterna, [$^{\circ}\text{C}$] (linea nera);

$\Theta_{\text{int,a}}$: temperatura dell'aria interna, [$^{\circ}\text{C}$] (linea azzurra);

$\Theta_{\text{media,rad}}$: temperatura media radiante, [$^{\circ}\text{C}$] (linea arancione);

$\Theta_{\text{int,op}}$: temperatura operante interna, [$^{\circ}\text{C}$] (linea verde);

$\Theta_{\text{int,set,H}}$: temperatura di set-point in riscaldamento, [$^{\circ}\text{C}$] (linea rossa tratteggiata);

$\Phi_{\text{H,ld,ac}}$: potenza da fornire in riscaldamento, [W] (linea viola).

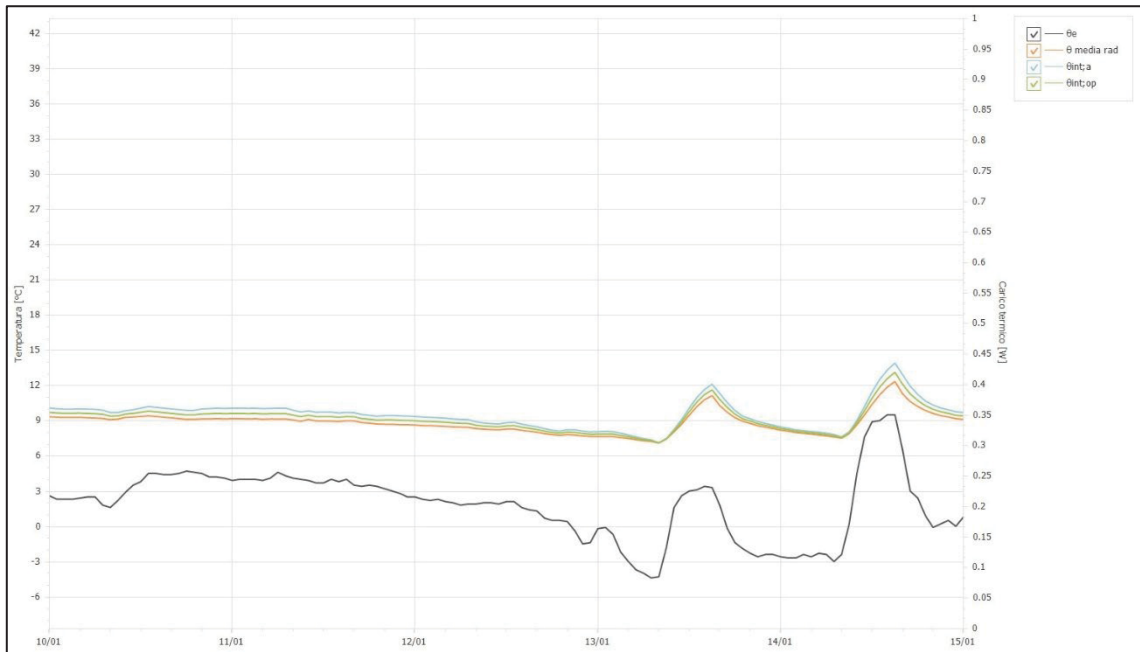


Figura 63: Grafico delle temperature a impianto spento del locale soggiorno (10-14 gennaio)

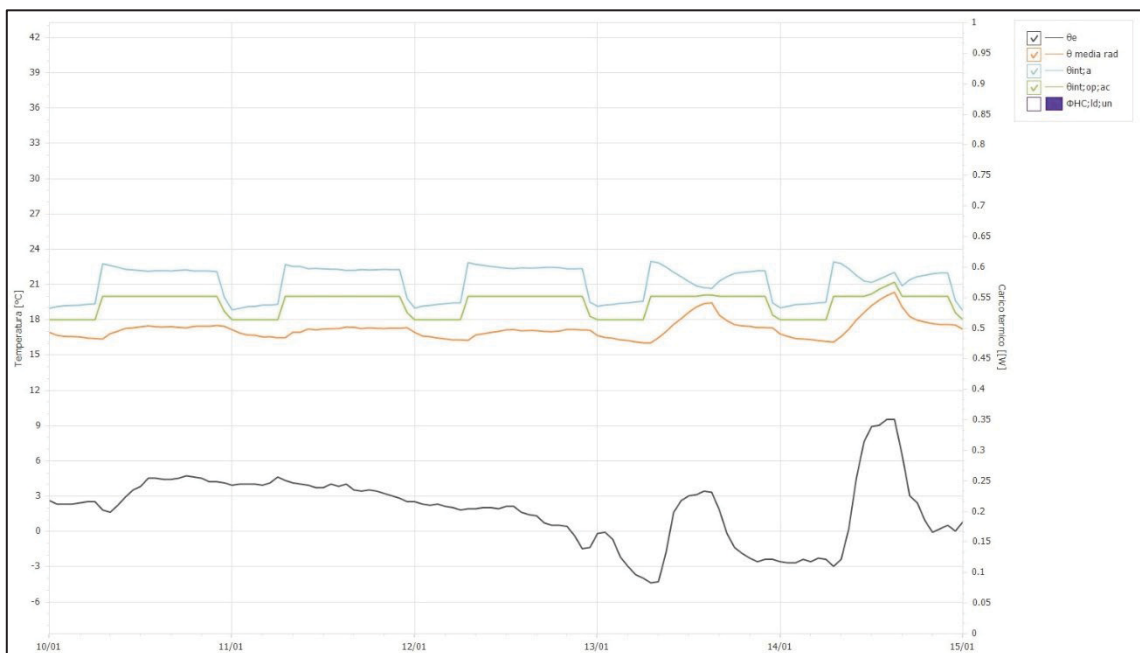


Figura 64: Grafico delle temperature a impianto con potenza illimitata del locale soggiorno (10-14 gennaio)

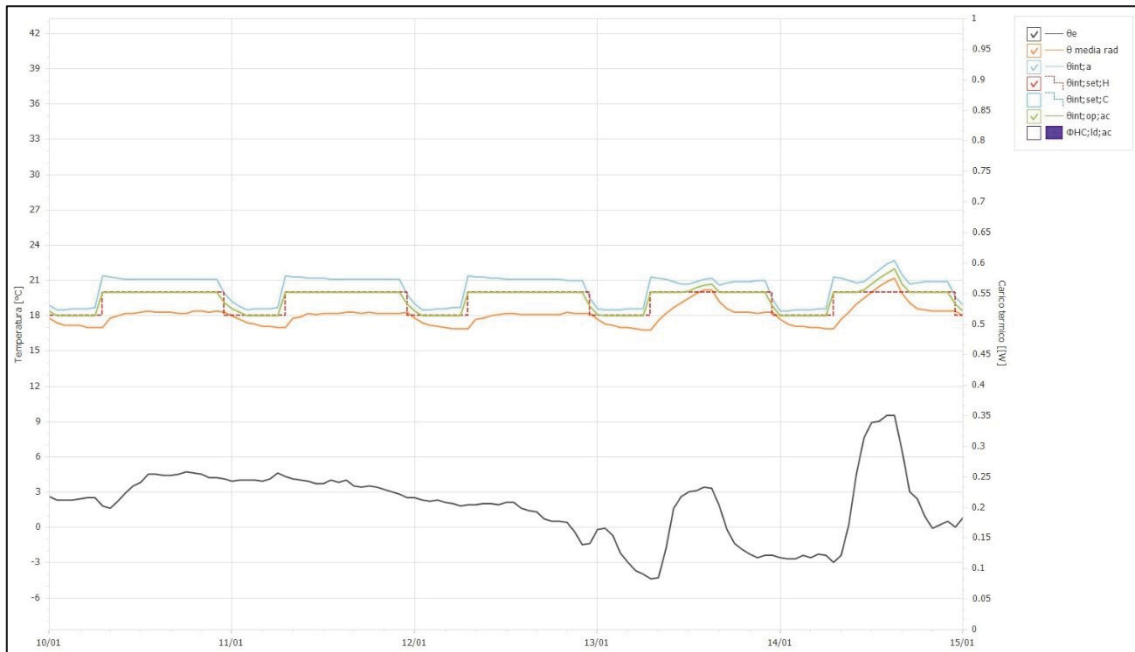


Figura 65: Grafico delle temperature a impianto reale del locale soggiorno (10-14 gennaio)

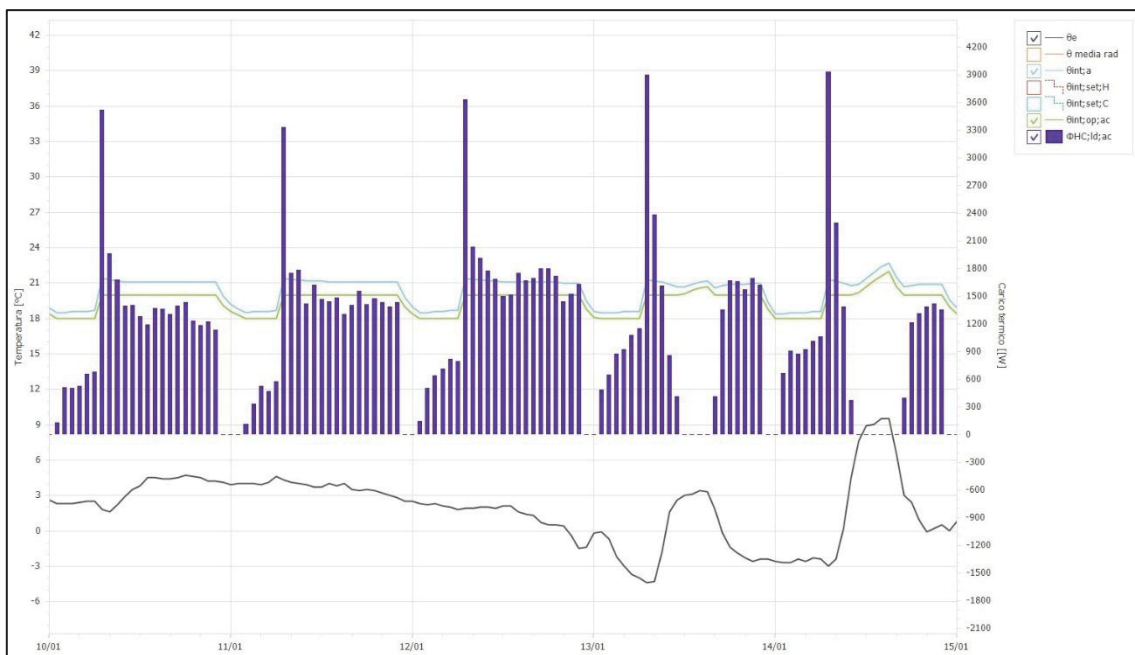


Figura 66: Grafico delle potenze nel caso di impianto reale (10-14 gennaio)

La temperatura esterna presenta un andamento variabile, con valori compresi tra circa -4.4 °C e 9.5 °C e un minimo registrato nella giornata del 13 gennaio. Nonostante le condizioni climatiche particolarmente rigide, la temperatura dell'aria interna e la temperatura operativa si mantengono entro un intervallo compatibile con le condizioni di comfort previste, oscillando attorno ai valori di set-point. Le leggere variazioni osservate

sono riconducibili alla regolazione dell'impianto e ai limiti prestazionali del sistema reale, che determinano scostamenti contenuti rispetto alle condizioni ideali.

Il carico termico richiesto all'impianto aumenta in corrispondenza delle giornate più fredde, raggiungendo i valori massimi quando la temperatura esterna assume i livelli più bassi. Tale comportamento evidenzia l'efficacia del sistema nel compensare le dispersioni termiche dell'involucro edilizio e nel garantire il mantenimento di condizioni interne stabili durante l'intero periodo analizzato.

Nel complesso, i risultati mostrano che l'impianto reale è in grado di assicurare adeguate condizioni di comfort termico all'interno del soggiorno anche durante la settimana caratterizzata dalle condizioni climatiche invernali più severe.

7.2.2 *Comportamento estivo*

Si riportano di seguito i grafici relativi all'andamento delle temperature nella zona soggiorno durante i giorni più caldi dell'anno, compresi tra il 27 e il 31 agosto.

Come visto per il comportamento invernale, anche per il caso estivo, si forniscono i grafici relativi all'edificio con impianto di climatizzazione spento, edificio con impianto a potenza illimitata e edificio con impianto reale.

Nei grafici sono evidenziate:

Θ_e : temperatura esterna, [°C] (linea nera);

$\Theta_{int,a}$: temperatura dell'aria interna, [°C] (linea azzurra);

$\Theta_{media,rad}$: temperatura media radiante, [°C] (linea arancione);

$\Theta_{int,op}$: temperatura operante interna, [°C] (linea verde);

$\Theta_{int,set,C}$: temperatura di set-point in raffrescamento, [°C] (linea azzurra tratteggiata);

$\Phi_{C,ld,ac}$: potenza da asportare in raffrescamento, [W] (linea viola).

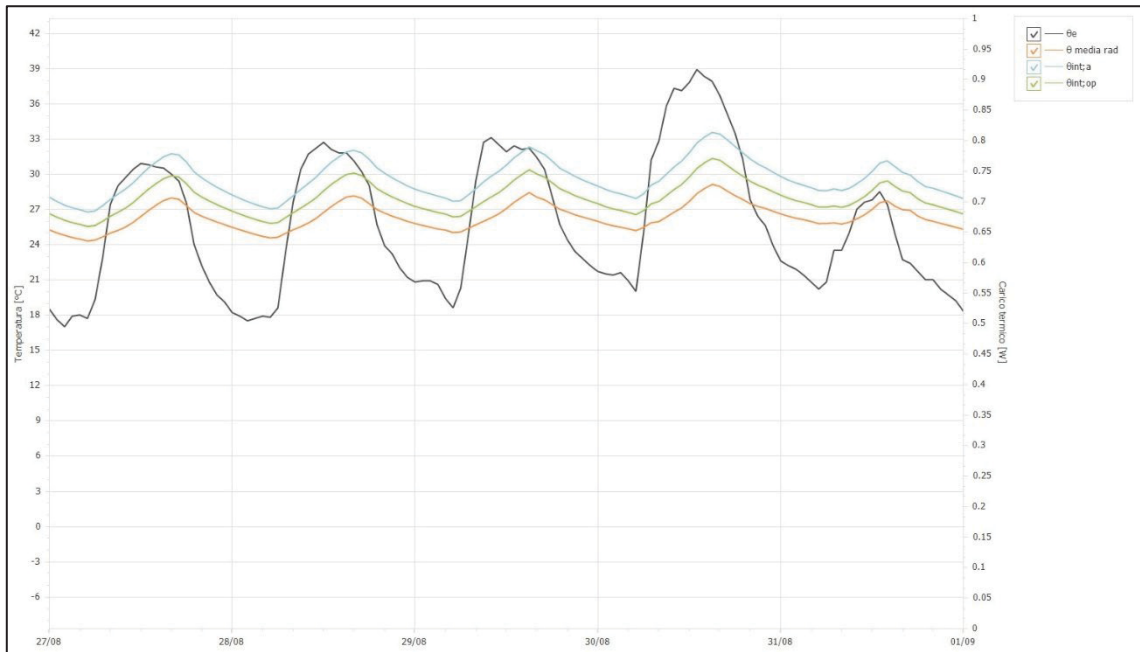


Figura 67: Grafico delle temperature a impianto spento del locale soggiorno (27-31 agosto)

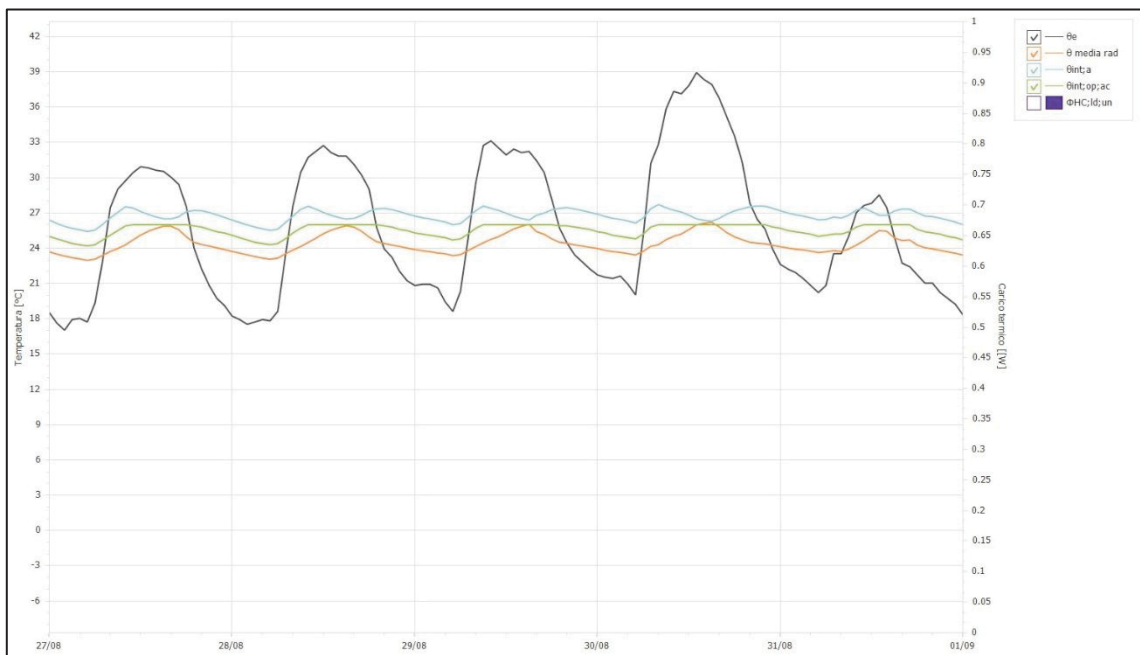


Figura 68: Grafico delle temperature a impianto con potenza illimitata del locale soggiorno (27-31 agosto)

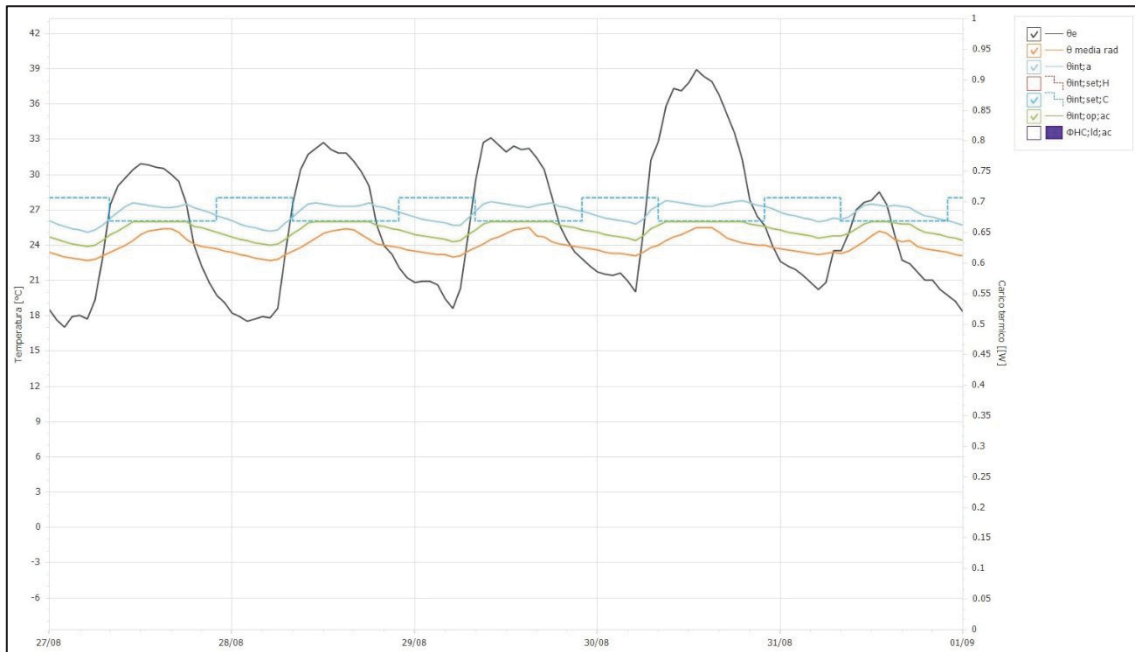


Figura 69: Grafico delle temperature a impianto reale del locale soggiorno (27-31 agosto)

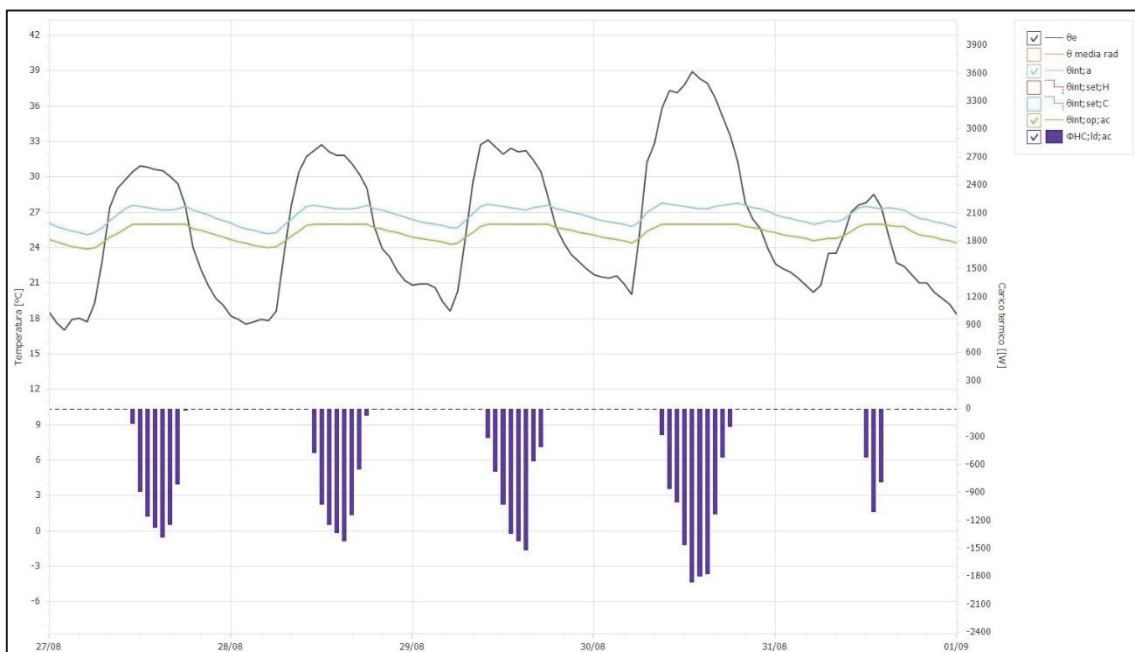


Figura 70: Grafico delle potenze a impianto reale (27-31 agosto)

La temperatura esterna raggiunge il valore massimo di 38,9 °C il 30 agosto alle ore 13:00, evidenziando condizioni climatiche particolarmente gravose per il mantenimento del comfort interno.

Nonostante gli elevati valori della temperatura esterna, la temperatura dell'aria interna e la temperatura operativa si mantengono generalmente comprese tra 24 °C e 28 °C. Durante le ore diurne si osserva un incremento delle temperature interne dovuto agli apporti solari attraverso le superfici vetrate del soggiorno, ambiente particolarmente esposto al surriscaldamento estivo. Le temperature interne seguono l'andamento della temperatura esterna con variazioni attenuate e ritardate nel tempo grazie all'effetto combinato dell'inerzia termica dell'involucro e dell'azione dell'impianto di raffrescamento.

7.2.3 Temperatura operante estiva

La temperatura operante consente di superare i limiti di una valutazione basata esclusivamente sulla temperatura dell'aria, poiché tiene conto dell'influenza esercitata dalle superfici interne sul benessere termoigrometrico degli occupanti. Durante il periodo estivo, infatti, superfici particolarmente riscaldate dall'irraggiamento solare possono determinare condizioni di discomfort anche in presenza di temperature dell'aria apparentemente accettabili.

In tale contesto, la simulazione dinamica oraria assume un ruolo fondamentale, poiché consente di ricostruire l'andamento temporale della temperatura operante durante l'intera stagione estiva. L'analisi delle serie temporali ottenute permette di individuare eventuali fenomeni di surriscaldamento, valutare l'efficacia delle strategie passive adottate e verificare la capacità dell'edificio di mantenere condizioni interne compatibili con il comfort degli occupanti.

Ai fini della verifica del comportamento estivo, il software procede al calcolo dello scostamento massimo, in valore assoluto, della temperatura operante interna rispetto alla temperatura operante di riferimento. La verifica risulta soddisfatta qualora tale differenza non superi il limite di 4 °C previsto dalla metodologia di calcolo adottata.

La temperatura operante estiva è determinata attraverso la procedura di calcolo dinamico orario descritto nella UNI EN ISO 52016-1 [17], con riferimento alla stagione estiva (20 giugno – 21 settembre).

La temperatura di riferimento è calcolata secondo la formula:

$$[(0,33 * \theta_{rm}) + 18,8]$$

Dove:

θ_{rm} rappresenta la temperatura esterna media mobile giornaliera determinata secondo UNI EN 16798-1.

Il criterio richiede che venga verificato che il numero di ore di occupazione del locale, in cui la differenza in valore assoluto tra la temperatura operante (in assenza di impianto di raffrescamento) e la temperatura di riferimento è inferiore a 4°C, risulti superiore all'85% delle ore di occupazione del locale tra il 20 giugno e il 21 settembre.

Si riporta la verifica della temperatura operante estiva relativa al periodo preso in considerazione in precedenza, che corrisponde ai giorni più caldi dell'anno, dal 27 al 31 agosto.

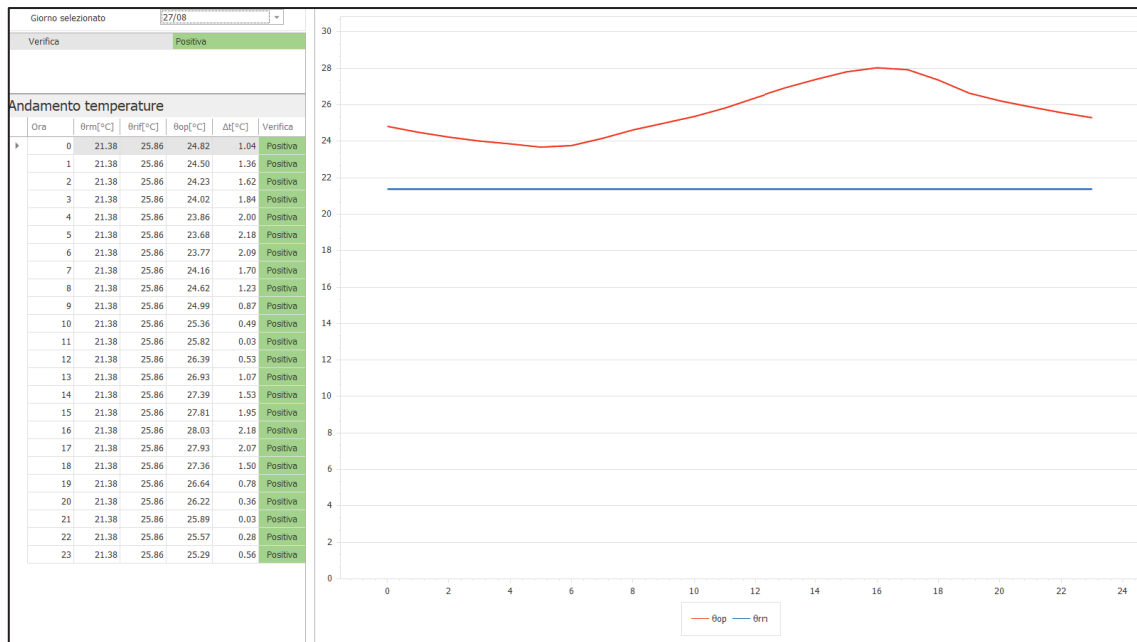


Figura 71: Verifica della temperatura operante estive (27 agosto)

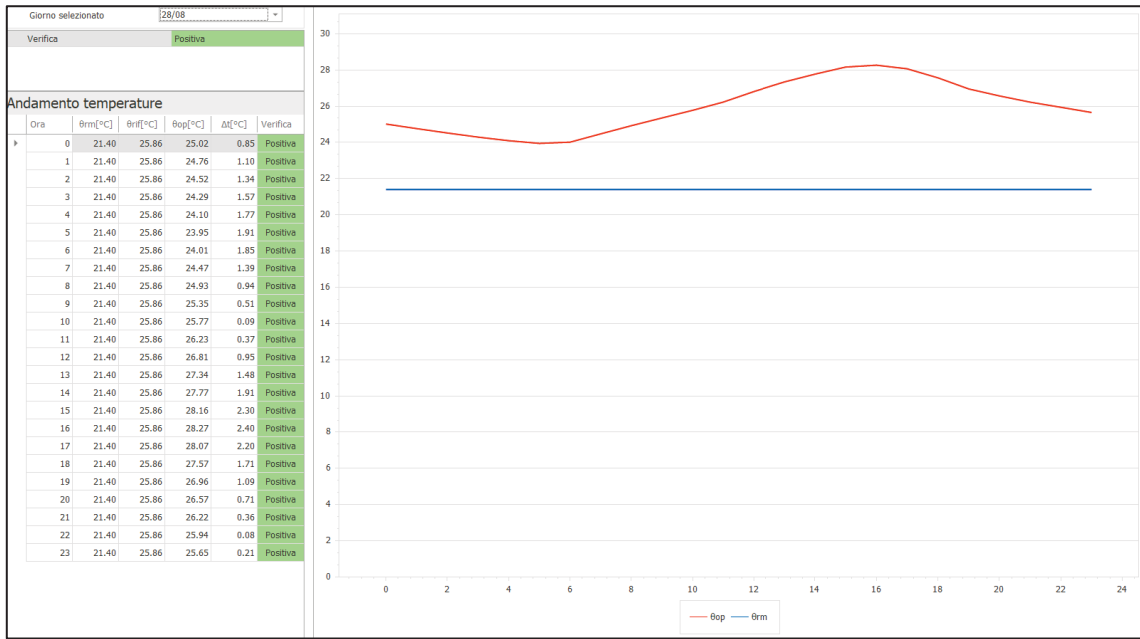


Figura 72: Verifica della temperatura operante estive (28 agosto)

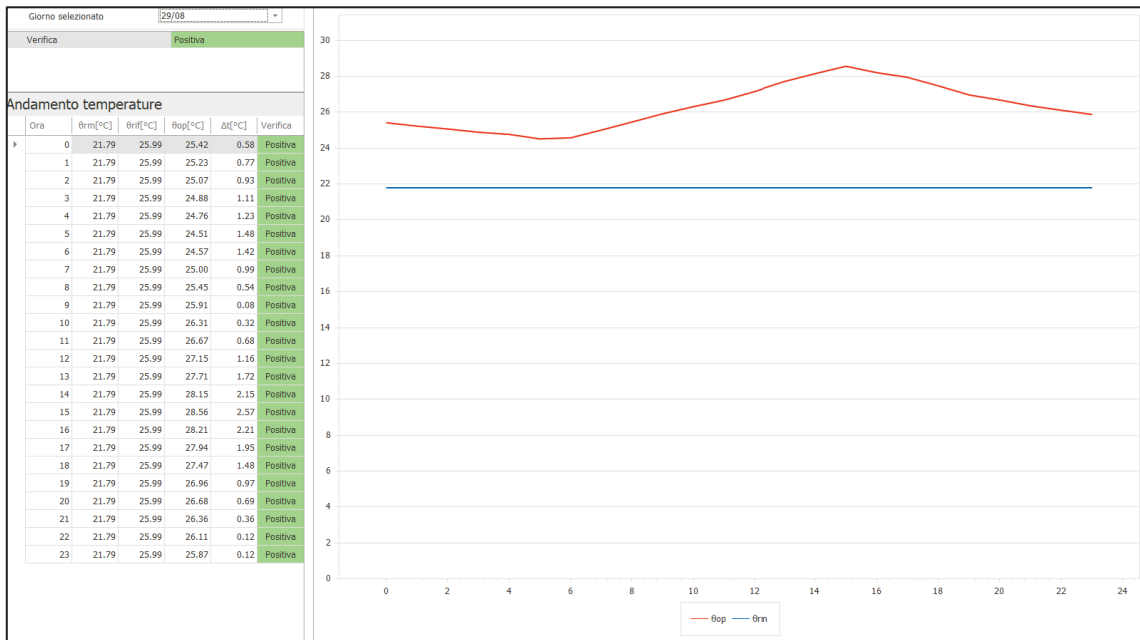


Figura 73: Verifica della temperatura operante estive (29 agosto)

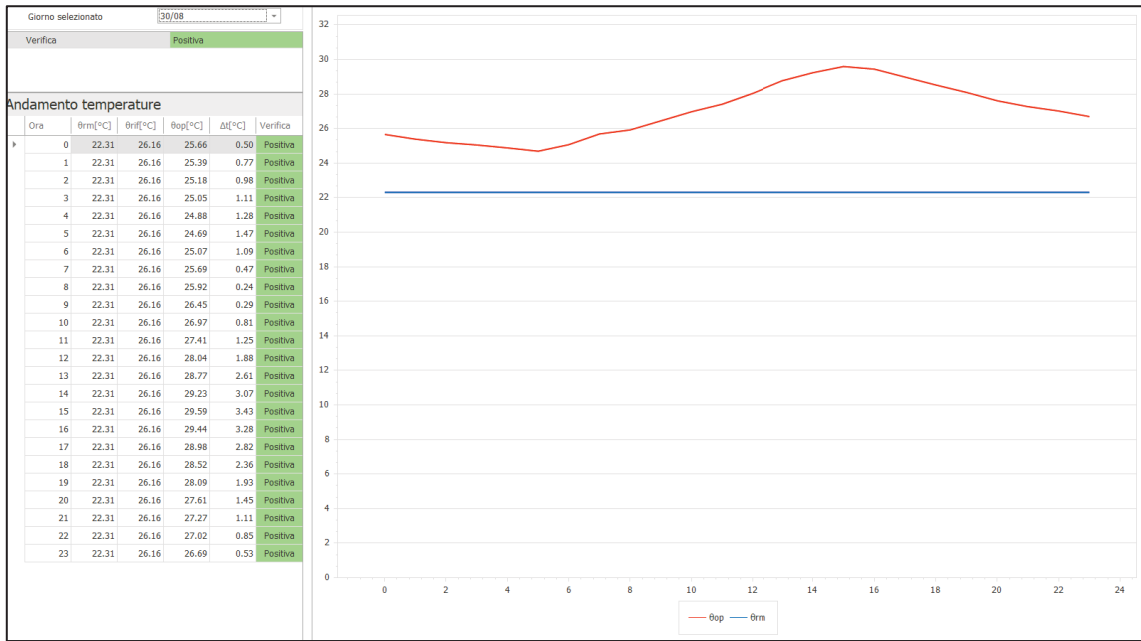


Figura 74: Verifica della temperatura operante estive (30 agosto)



Figura 75: Verifica della temperatura operante estive (31 agosto)

La verifica è stata effettuata confrontando, per ciascuna ora delle giornate analizzate, la temperatura operante interna con la temperatura di riferimento. I risultati evidenziano una temperatura di riferimento che varia tra 25.86 °C e 26.58 °C, mentre la temperatura operativa varia tra 23.68 °C e 29.59 °C. Lo scostamento tra i valori non supera mai i 4°C come richiesto dal metodo di verifica, pertanto la condizione di comfort termico può ritenersi soddisfatta per l'intera giornata, come confermato dall'esito positivo della verifica.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi ha avuto come obiettivo l'analisi energetica di un edificio residenziale di nuova costruzione, attraverso lo studio delle caratteristiche dell'involucro edilizio e dei sistemi impiantistici adottati, nonché la valutazione delle relative prestazioni mediante strumenti di simulazione energetica dinamica.

L'attività svolta ha permesso di verificare come le soluzioni progettuali individuate consentano di conseguire elevati livelli di efficienza energetica e di soddisfare i requisiti richiesti dalla normativa vigente per gli edifici a energia quasi zero (NZEB). Il raggiungimento di tale standard è il risultato di un approccio progettuale integrato, basato sulla combinazione di un involucro altamente performante, caratterizzato da ridotte dispersioni termiche e adeguata protezione dall'irraggiamento solare, di impianti ad alta efficienza e dell'impiego di sistemi alimentati da fonti energetiche rinnovabili. In particolare, l'impianto fotovoltaico contribuisce alla produzione di energia elettrica destinata all'alimentazione delle utenze e dei sistemi tecnologici dell'edificio, mentre l'impianto solare termico supporta la copertura del fabbisogno di acqua calda sanitaria, riducendo il ricorso a fonti energetiche convenzionali e contribuendo alla diminuzione dei consumi di energia primaria non rinnovabile.

Il dimensionamento degli impianti ha evidenziato la coerenza tra i fabbisogni energetici dell'edificio e le soluzioni tecnologiche adottate, assicurando il soddisfacimento delle esigenze di climatizzazione e produzione di acqua calda sanitaria con elevate prestazioni energetiche. Parallelamente, l'impiego della simulazione dinamica oraria ha consentito di analizzare il comportamento reale dell'edificio durante l'intero anno, fornendo informazioni dettagliate sull'evoluzione temporale dei carichi termici e sull'interazione tra involucro, impianti e condizioni climatiche esterne.

Particolare rilevanza ha assunto la valutazione del comportamento estivo dell'edificio mediante la verifica della temperatura operante interna. I risultati ottenuti hanno confermato il rispetto delle condizioni di comfort previste, evidenziando l'efficacia delle strategie passive e attive adottate nel contenimento del rischio di surriscaldamento degli ambienti. Ciò dimostra come la sola riduzione dei fabbisogni energetici non sia sufficiente a definire la qualità prestazionale di un edificio, rendendo necessaria una valutazione congiunta degli aspetti energetici e del comfort degli occupanti.

In conclusione, il lavoro svolto conferma l'importanza dell'analisi energetica dinamica quale strumento di supporto alle scelte progettuali, in grado di fornire una rappresentazione più realistica del comportamento dell'edificio rispetto ai metodi di calcolo tradizionali. I risultati ottenuti attestano la validità delle soluzioni adottate e dimostrano come un'attenta progettazione integrata dell'involucro, degli impianti e dei sistemi a fonti rinnovabili consenta di realizzare edifici conformi agli standard NZEB, caratterizzati da ridotti consumi di energia primaria, elevati livelli di comfort interno e un contenuto impatto ambientale. Tali aspetti risultano oggi fondamentali per il perseguimento degli obiettivi di sostenibilità e decarbonizzazione del settore delle costruzioni, sempre più orientato verso modelli edilizi ad alte prestazioni energetiche e a basso impatto ambientale.

APPENDICE

LEGGE 9 gennaio 1991, n. 10

RELAZIONE TECNICA

Decreto 26 giugno 2015

RELAZIONE TECNICA DI CUI AL COMMA 1 DELL'ARTICOLO 8 DEL DECRETO LEGISLATIVO 19 AGOSTO 2005, N. 192, ATTESTANTE LA RISPONDENZA ALLE PRESCRIZIONI IN MATERIA DI CONTENIMENTO DEL CONSUMO ENERGETICO DEGLI EDIFICI

Nuove costruzioni, ristrutturazioni importanti di primo livello, edifici ad energia quasi zero

Un edificio esistente è sottoposto a ristrutturazione importante di primo livello quando l'intervento ricade nelle tipologie indicate al paragrafo 1.4.1, comma 3, lettera a) dell'Allegato 1 del decreto di cui all'articolo 4, comma 1 del decreto legislativo 192/2005.

1. INFORMAZIONI GENERALI

Comune di **Teramo**

Provincia **Teramo**

Progetto per la realizzazione di (specificare il tipo di opere):

Intervento di nuova costruzione di una villa di civile abitazione

☐ L'edificio (o il complesso di edifici) rientra tra quelli di proprietà pubblica o adibiti ad uso pubblico ai fini dell'articolo 5, comma 15, del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412 (utilizzo delle fonti rinnovabili di energia) e dell'allegato I, comma 14 del decreto legislativo.

Sito in (specificare l'ubicazione o, in alternativa, indicare che è da edificare nel terreno in cui si riportano gli estremi del censimento al Nuovo Catasto Territoriale):

Via Settimio Costantini, San Nicolò a Tordino - 64100 Teramo

Richiesta permesso di costruire	_____	del	_____
Permesso di costruire/DIA/SCIA/CIL o CIA	_____	del	_____
Variante permesso di costruire/DIA/SCIA/CIL o CIA	_____	del	_____

Classificazione dell'edificio(o del complesso di edifici) in base alla categoria di cui all'articolo 3 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412; per edifici costituiti da parti appartenenti a categorie differenti, specificare le diverse categorie)

E.1(1) Abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo: Abitazioni civili e rurali

Numero delle unità immobiliari 1

Committente(i)

Progettista(i) degli impianti di climatizzazione (invernale ed estiva – specificare se differenti), dell'isolamento termico e del sistema di ricambio dell'aria dell'edificio

Direttore(i) dei lavori degli impianti di climatizzazione (invernale ed estiva – specificare se differenti), dell'isolamento termico e del sistema di ricambio dell'aria dell'edificio

Progettista(i) dei sistemi di illuminazione dell'edificio

Direttore(i) dei lavori dei sistemi di illuminazione dell'edificio

Tecnico incaricato per la redazione dell'Attestato di Prestazione Energetica (APE)

2. FATTORI TIPOLOGICI DELL'EDIFICIO (O DEL COMPLESSO DI EDIFICI)

Gli elementi tipologici da fornire, al solo scopo di supportare la presente relazione tecnica, sono costituiti dai primi tre allegati obbligatori di cui al punto 8 della presente relazione.

3. PARAMETRI CLIMATICI DELLA LOCALITÀ

Gradi giorno (della zona d'insediamento, determinati in base al DPR 412/93)	1834 [GG]
Temperatura minima di progetto (dell'aria esterna secondo norma UNI 5364 e successivi aggiornamenti)	0.0 [°C]
Temperatura massima estiva di progetto dell'aria esterna secondo norma	33.0 [°C]

4. DATI TECNICI E COSTRUTTIVI DELL'EDIFICIO (O DEL COMPLESSO DI EDIFICI) E DELLE RELATIVE STRUTTURE

Edificio: Edificio

Climatizzazione invernale

Volume delle parti di edificio climatizzate al lordo delle strutture che li delimitano (V)	2123.26 [m ³]
Superficie disperdente che delimita il volume climatizzato (S)	1312.67 [m ²]
Rapporto S/V	0.62 [1/m]
Superficie netta climatizzata dell'edificio	494.15 [m ²]
Superficie utile climatizzata dell'edificio	494.15 [m ²]
Valore di progetto della temperatura interna invernale	20.0 [°C]
Valore di progetto dell'umidità relativa interna invernale	50.8 [%]
Presenza sistema di contabilizzazione del calore	☐

Climatizzazione estiva

Volume delle parti di edificio climatizzate al lordo delle strutture che li delimitano (V)	1850.59 [m ³]
Superficie disperdente che delimita il volume climatizzato (S)	1085.90 [m ²]
Superficie netta climatizzata dell'edificio	437.79 [m ²]
Superficie utile climatizzata dell'edificio	437.79 [m ²]
Valore di progetto della temperatura interna estiva	26.0 [°C]
Valore di progetto dell'umidità relativa interna estiva	50.0 [%]
Presenza sistema di contabilizzazione del freddo	☐

Unità immobiliari

UNITA' IMMOBILIARI CENTRALIZZATE	V. LORDO	S. LORDA	S/V	S. NETTA	S. UTILE
	[m ³]	[m ²]	[l / m]	[m ²]	[m ²]
Unità immobiliare	2123.26	1312.67	0.62	494.15	494.15

Informazioni generali e prescrizioni

Presenza di reti di teleriscaldamento/raffreddamento a meno di 1000 m

☐

Motivazione della soluzione prescelta:

Nell'area oggetto di intervento non risultano presenti reti di teleriscaldamento/raffrescamento entro il raggio di 1000 m, come verificato tramite analisi territoriale e strumenti GIS comunali. Pertanto non è possibile il collegamento alla rete.

Livello di automazione per il controllo la regolazione e la gestione delle tecnologie dell'edificio e degli impianti termici (BACS, minimo classe B secondo UNI EN ISO 52120-1)

Il sistema impiantistico adotta un livello di automazione conforme alla classe B della UNI EN 15232, mediante regolazione climatica della generazione, termostati ambienti programmabili e controllo modulante delle apparecchiature.

Adozione di materiali ad elevata riflettanza solare per le coperture

☐

Descrizione e caratteristiche principali:

Valore di riflettanza solare	<u>0.70</u>	> 0,65 per coperture piane
Valore di riflettanza solare	<u>0.00</u>	> 0,30 per coperture a falda

Motivazioni che hanno portato al non utilizzo dei materiali riflettenti:

Adozione di tecnologie di climatizzazione passiva per le coperture

☐

Motivazione che hanno portato al non utilizzo:

Adozione di misuratori di energia (Energy Meter)

☐

Descrizione delle principali caratteristiche:

Non è prevista l'installazione di misuratori di energia dedicati in quanto l'intervento non comporta la creazione di sottosistemi energetici separati e non vi sono obblighi normativi specifici.

Adozione di sistemi di contabilizzazione diretta del calore, del freddo e dell'ACS

☐

Descrizione dei sistemi utilizzati o motivazioni che hanno portato al non utilizzo:

Non è prevista la contabilizzazione diretta del calore, del freddo e dell'ACS in quanto tutti gli impianti sono a servizio dell'unica unità immobiliare presente.

Utilizzazione di fonti di energia rinnovabili per la copertura dei consumi di calore, di elettricità e per il raffrescamento secondo i principi minimi di integrazione, le modalità e le decorrenze di cui all'allegato III, del decreto legislativo 8 novembre 2021, n. 199.

Descrizione e percentuali di copertura:

E' presente un impianto fotovoltaico costituito da n°84 moduli da 400 Wp, per una potenza totale installata pari a 33,60 kWp. L'impianto è dedicato all'autoconsumo e concorre alla copertura dei fabbisogni energetici dell'edificio in conformità ai requisiti del D.Lgs 199/2021, come risulta dai calcoli di progetto allegati.

Adozione sistemi di regolazione automatica della temperatura ambiente singoli locali o nelle zone termiche servite da impianti di climatizzazione invernale ☐

Adozione sistemi di compensazione climatica nella regolazione automatica della temperatura ambiente singoli locali o nelle zone termiche servite da impianti di climatizzazione invernale ☒

Motivazioni che hanno portato al non utilizzo:

Sono presenti termostati ambiente programmabili con regolazione automatica della temperatura interna, con controllo per zone e compensazione climatica lato generatore.

Valutazione sull'efficacia dei sistemi schermanti delle superfici vetrate sia esterni che interni presenti:

Le superfici vetrate presenti nell'edificio sono dotate di schermature interne costituite da sistemi di oscuramento mobili (tende/avvolgibili), che contribuiscono alla riduzione del fattore solare g_{tot} . I serramenti installati presentano vetri basso-emissivi con valore di trasmittanza contenuto e fattore solare del vetro adeguato al contenimento dei guadagni termici. La combinazione tra caratteristiche del vetro e schermature interne garantisce un'efficace attenuazione dell'irraggiamento diretto durante la stagione estiva, come verificato dai calcoli prestazionali secondo UNI/TS 11300. I sistemi presenti risultano pertanto idonei a limitare i carichi termici per raffrescamento.

Verifiche di cui alla lettera b) del punto 3.3.4 del decreto di cui all'articolo 4, comma 1 del decreto legislativo 192/2005 (vedi 'Caratteristiche di massa superficiale M_s e trasmittanza periodica Y_{IE} dei componenti opachi' nel capitolo 'Principali risultati dei calcoli').

Verifiche di cui alla lettera c) del punto 3.3.4 del decreto di cui all'articolo 4, comma 1 del decreto legislativo 192/2005 (utilizzo di tecniche e materiali, anche innovativi, ovvero coperture a verde).

Produrre adeguata documentazione:

5. DATI RELATIVI AGLI IMPIANTI

5.1 Impianti termici

Impianto tecnologico destinato ai servizi di climatizzazione invernale e/o estiva e/o produzione di acqua calda sanitaria, indipendentemente dal vettore energetico utilizzato.

a) Descrizione impianto

Tipologia

Impianto termico autonomo per la produzione di ACS e generazione di calore costituito da n°2 pompe di calore aria-acqua splittate trifase, della potenza termica di 18 kW cadauna.

Sistemi di generazione

Sistema di generazione del calore e produzione di ACS costituito da n°2 pompe di calore aria-acqua, della potenza termica pari a 18 kW cadauna. La produzione di ACS è garantita da n°1 serbatoio d'accumulo da circo 800 litri alimentato dalla pompa di calore e integrato con il solare termico.

Sistemi di termoregolazione

Sistema di termoregolazione del generatore di calore, costituito da regolatore elettronico e centralina climatica in grado di regolare la temperatura di mandata del fluido termovettore in funzione dell'potenze richieste dall'impianto e della temperatura esterna.

Sistemi di contabilizzazione dell'energia termica

Assente.

Sistemi di distribuzione del vettore termico

Sistema di distribuzione costituito da linea principale in tubazioni in multistrato coibentato e collettore di distribuzione per l'alimentazione di ciascun terminale di emissione di calore.

Sistemi di ventilazione forzata: tipologie

Impianto di ventilazione meccanica controllata costituito da unità di ventilazione canalizzate in controsoffitto, a doppio flusso con recupero di calore.

Sistemi di accumulo termico: tipologie

Sistema di accumulo per ACS costituito da un serbatoio da circo 800 litri alimentato dal sistema di generazione di calore a pompa di calore.

Sistemi di produzione e di distribuzione dell'acqua calda sanitaria

La produzione di acqua calda sanitaria è effettuata dalla pompa di calore, con gestione del carico di utilizzo del sistema in funzione del carico richiesto per l'alimentazione del serbatoio di accumulo per l'ACS, integrato con il solare termico costituito da n°5 collettori solari.

Durezza dell'acqua di alimentazione dei generatori di calore per potenza installata maggiore o uguale a 100 kW

Trattamento di condizionamento chimico per l'acqua, norma UNI 8065



Presenza di un filtro di sicurezza



b) Specifiche dei generatori di energia

Installazione di un contatore del volume di acqua calda sanitaria



Installazione di un contatore del volume di acqua di reintegro dell'impianto



Descrizione del generatore **Weishaupt GmbH-WSB 18-A RMD-AI**

Servizio **Riscaldamento, raffrescamento ed acqua calda sanitaria**

Fluido termovettore **Acqua**

Tipo generatore **Pompa di calore elettrica**

Combustibile

Energia elettrica

Tipo sorgente fredda

Aria

Potenza termica utile in riscaldamento

18.70 [kW]

Potenza elettrica assorbita

6.40 [kW]

Coefficiente di prestazione (COP)

4.17

Tipo sorgente calda

Aria

Potenza termica utile in raffrescamento

11.90 [kW]

Potenza elettrica assorbita

4.08 [kW]

Indice di efficienza energetica (EER)

2.92

Descrizione del generatore **Weishaupt GmbH-WSB 18-A RMD-AI**

Servizio **Riscaldamento, raffrescamento ed acqua calda sanitaria**

Fluido termovettore **Acqua**

Tipo generatore **Pompa di calore elettrica**

Combustibile

Energia elettrica

Tipo sorgente fredda

Aria

Potenza termica utile in riscaldamento

18.70 [kW]

Potenza elettrica assorbita

6.40 [kW]

Coefficiente di prestazione (COP)

4.17

Tipo sorgente calda

Aria

Potenza termica utile in raffrescamento

11.90 [kW]

Potenza elettrica assorbita

4.08 [kW]

Indice di efficienza energetica (EER)

2.92

Per gli impianti termici con o senza produzione di acqua calda sanitaria, che utilizzano, in tutto o in parte, macchine diverse da quelle sopra descritte, le prestazioni di dette macchine sono fornite utilizzando le caratteristiche fisiche della specifica apparecchiatura, e applicando, ove esistenti, le vigenti norme tecniche.

c) Specifiche relative ai sistemi di regolazione dell'impianto termico

Tipo di conduzione prevista

☒ Continua con attenuazione notturna

☐ Intermittente

☐ Altro

Tipo di conduzione estiva prevista

Intermittente

Sistema di telegestione dell'impianto termico, se esistente (descrizione sintetica delle funzioni)

L'impianto di regolazione è caratterizzato da una logica che lavora su due livelli di temperatura giornalieri e curva climatica per la regolazione delle portate e temperatura del fluido vettore.

e) Terminali di erogazione dell'energia termica

TIPO DI TERMINALI	NUMERO DI APPARECCHI	POTENZA TERMICA NOMINALE [W]
Pannelli radianti a pavimento		
Venticonvettori		

f) Condotti di evacuazione dei prodotti di combustione

Dimensionamento eseguito secondo norma _____

N°	COMBUSTIBILE	CANALE DA FUMO					CAMINO			
		MATERIALE	FORMA	D [mm]	L [m]	H [m]	MATERIALE	FORMA	D [mm]	H [m]

D Diametro (o lato) del canale da fumo o del camino

L Lunghezza del canale da fumo

h Altezza del canale da fumo o del camino

g) Sistemi di trattamento dell'acqua (tipo di trattamento)

Descrizione e caratteristiche principali

Trattamento acqua conforme al D.P.R. n°59/2009 per impianti di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, costituito da filtro di sicurezza non inferiore a 50 micron, dosatore di sali e defangatore.

h) Specifiche dell'isolamento termico della rete di distribuzione

DESCRIZIONE DELLA RETE	TIPO DI ISOLANTE	λ_{is} [W/mK]	sp_{is} [mm]
L'isolamento termico della rete di distribuzione del fluido termovettore deve essere tale da rispettare la conducibilità termica massima e lo spessore minimo riportati nella tabella 1 dell'Allegato B del DPR 412 del 26 Agosto 1993.	Polietilene	0.042	20.000

λ_{is} Conduttività termica del materiale isolante

sp_{is} Spessore del materiale isolante

i) Specifiche delle pompe di circolazione

Q.TA	CIRCUITO	MARCA - MODELLO	PUNTO DI LAVORO		
			G [kg/h]	ΔP [daPa]	Waux [W]

G Portata della pompa di circolazione

ΔP Prevalenza della pompa di circolazione

j) Schemi funzionali degli impianti termici

In allegato alla presente

5.2 Impianti fotovoltaici

Descrizione e caratteristiche tecniche

Impianto fotovoltaico installato in copertura, con esposizione est-ovest, composto da n°84 moduli monocristallini da 400 Wp cadauno, per una potenza totale di 33.60 kWp.

Schemi funzionali In allegato alla presente

5.3 Impianti solari termici

Descrizione e caratteristiche tecniche

Impianto solare termico costituito da n°5 collettori solari piani installati in copertura, con esposizione Sud.

Schemi funzionali In allegato alla presente

5.4 Impianti di illuminazione

Descrizione e caratteristiche tecniche

Schemi funzionali

5.5 Altri impianti

Descrizione e caratteristiche tecniche

Livello minimo di efficienza dei motori elettrici per ascensori e scale mobili

6. PRINCIPALI RISULTATI DEI CALCOLI

Edificio: Edificio

☒ Si dichiara che l'edificio oggetto della presente relazione può essere definito "edificio ad energia quasi zero" in quanto sono contemporaneamente rispettati:

- Tutti i requisiti dalla lettera b), del comma 2, del paragrafo 3.3 del decreto di cui all'articolo 4, comma 1 del decreto legislativo 192/2005, secondo i valori vigenti dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici;
- Gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'allegato III, comma 2, punto 1, del decreto legislativo 8 novembre 2021, n. 199.

a) Involucro edilizio e ricambi d'aria

- Verifica della riflettanza solare delle coperture

DESCRIZIONE	RIFLETTANZA [-]	VALORE LIMITE [-]	VERIFICA
Copertura	0.800	0.650	Positiva

- Caratteristiche termiche dei divisori **verticali** opachi e delle strutture **verticali** dei locali non climatizzati

DESCRIZIONE	U MEDIA [W/m²K]	VALORE LIMITE [W/m²K]	VERIFICA
Parete ca	0.194	0.800	Positiva

- Caratteristiche termiche dei divisori **orizzontali** opachi e delle strutture **orizzontali** dei locali non climatizzati

DESCRIZIONE	U MEDIA [W/m²K]	VALORE LIMITE [W/m²K]	VERIFICA
Pavimento P-1	0.212	0.800	Positiva
Soffitto P-1 - Garage	0.241	0.800	Positiva

- Caratteristiche igrometriche dei componenti opachi dell'involucro edilizio

DESCRIZIONE	CONDENSA	
	SUPERFICIALE	INTERSTIZIALE
Pavimento P-1	Positiva	Positiva
Parete ca	Positiva	Positiva
Parete perimetrale	Positiva	Positiva
Copertura	Positiva	Positiva

- Caratteristiche termiche dei serramenti vetrati ed opachi

DESCRIZIONE	TRASMITTANZA [W/(m² K)]	
	INFISSO U	VETRO Ug
Porta interna	1.500	□
P3 - Scala	1.100	1.000
F03 - 65x275	1.530	1.400

F01 - 432x275	1.270	1.400
F02 - 65x275	1.530	1.400
F04 - 65x249	1.540	1.400
F05 - 65x249	1.540	1.400
F06 - 75x249	1.600	1.400
F07 - 102x249	1.400	1.400
F08 - 441x249	1.600	1.400
F09 - 120x249	1.600	1.400
F10 - 79x249	1.100	1.400
F11 - 65x249	1.540	1.400
F12 - 65x249	1.540	1.400
F13 - 240x249	1.320	1.400
40x270	1.000	1.000
Portoncino ingresso	1.500	□
F14 - 65x249	1.540	1.400
F16 - 276x249	1.290	1.400
F15 - 65x249	1.540	1.400
P2 - Studio	1.100	1.000
P1 - Studio	1.100	1.000
F27 - 148x249	1.470	1.400
F26 - 86x249	1.440	1.400
F23 - 69x249	1.520	1.400
F24 - 88.5x249	1.430	1.400
F22 - 70x249	1.510	1.400
F20 - 182x245	1.410	1.400
F21 - 70x249	1.510	1.400
F17 - 89x249	1.430	1.400
F18 - 65x249	1.540	1.400
F28 - 79x249	1.470	1.400
F25 - 69x249	1.520	1.400
F30 - 82x233	1.380	1.400
F29 - 82x233	1.460	1.400
F19 - 65x269	1.540	1.400

– Numero di ricambi d'aria (media nelle 24 ore) – specificare per le diverse zone

DESCRIZIONE	VALORE MEDIO 24 ORE [vol/h]
ZONA CLIMATIZZATA PIANO INTERRATO	0.414
ZONA CLIMATIZZATA PIANO TERRA	0.342
ZONA CLIMATIZZATA PIANO PRIMO	0.461
ZONA RISCALDATA	0.724

– Portata d'aria di ricambio (solo nei casi di ventilazione meccanica controllata)

DESCRIZIONE	PORTATA G [m ³ /h]	PORTATA Gr [m ³ /h]	ηt [%]
ZONA CLIMATIZZATA PIANO INTERRATO	150.76	722.74	88.0
ZONA CLIMATIZZATA PIANO TERRA	188.15	760.14	88.0
ZONA CLIMATIZZATA PIANO PRIMO	137.72	709.71	88.0
ZONA RISCALDATA	107.77	679.75	88.0

G Portata d'aria di ricambio per ventilazione meccanica controllata

Gr Portata dell'aria circolante attraverso apparecchiature di recupero del calore disperso

ηt Rendimento termico delle apparecchiature di recupero del calore disperso

b) Indici di prestazione energetica per la climatizzazione invernale ed estiva, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e l'illuminazione

Determinazione dei seguenti indici di prestazione energetica, espressi in kWh/(m² anno), così come definiti al paragrafo 3.3 dell'Allegato 1 del decreto di cui all'articolo 4, comma 1 del decreto legislativo 192/2005, rendimenti e parametri che ne caratterizzano l'efficienza energetica:

Metodo di calcolo utilizzato (indicazione obbligatoria)

UNI/TS 11300 e norme correlate

Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente (UNI EN ISO 13789)

Unità immobiliare

Superficie disperdente S	1312.67	[m ²]
Valore di progetto H' _T	0.4576	[W/m ² K]
Valore limite H' _{T,L}	0.580	[W/m ² K]
Verifica (positiva/negativa)	Positiva	

Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile

Unità immobiliare

Superficie utile A _{sup utile}	494.15	[m ²]
Valore di progetto A _{sol,est} /A _{sup utile}	0.0296	
Valore limite (A _{sol,est} /A _{sup utile}) _{limite}	0.030	
Verifica (positiva/negativa)	Positiva	

Indice di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale dell'edificio

Valore di progetto EP _{H,nd}	27.155	[kWh/m ²]
Valore limite EP _{H,nd,limite}	30.982	[kWh/m ²]
Verifica (positiva/negativa)	Positiva	

Indice di prestazione termica utile per la climatizzazione estiva dell'edificio

Valore di progetto EP _{C,nd}	29.687	[kWh/m ²]
Valore limite EP _{C,nd,limite}	43.039	[kWh/m ²]
Verifica (positiva/negativa)	Positiva	

Indice della prestazione energetica globale dell'edificio (Energia primaria)

Prestazione energetica per riscaldamento EP _H	36.394	[kWh/m ²]
Prestazione energetica per raffrescamento EP _C	5.546	[kWh/m ²]
Prestazione energetica per acqua sanitaria EP _W	7.740	[kWh/m ²]
Prestazione energetica per ventilazione EP _V	6.004	[kWh/m ²]
Prestazione energetica per illuminazione EP _L	0.000	[kWh/m ²]

Prestazione energetica per servizi EP _T	0.000 [kWh/m ²]
Valore di progetto EP _{gl,tot}	55.683 [kWh/m ²]
Valore limite EP _{gl,tot,limite}	221.347 [kWh/m ²]
Verifica (positiva/negativa)	Positiva

Indice della prestazione energetica globale dell'edificio (Energia primaria non rinnovabile)

Valore di progetto EP _{gl,nr}	4.252 [kWh/m ²]
--	------------------------------------

Efficienze medie stagionali degli impianti

SERVIZI	η _g	η _g limite	VERIFICA
	[%]	[%]	
Riscaldamento	88.8	59.7	Positiva
Acqua calda sanitaria	71.2	59.4	Positiva
Raffrescamento	438.6	202.5	Positiva

c) Impianti solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria

SOLARE TERMICO

Tipo di collettore solare	Collettore piano
Inclinazione ed orientamento	45 [°] Sud
Capacità dell'accumulo	780.00 [Lt]
Impianto integrazione (specificare tipo e alimentazione)	Integrazione sull'impianto di acqua calda sanitaria
Percentuale del fabbisogno termico coperto (f _{sol})	90.0 [%]
Superficie lorda dei collettori installati	12.5 [m ²]

d) Impianti fotovoltaici

Percentuale di copertura del fabbisogno annuo	90.2 [%]
Fabbisogno di energia elettrica da rete	1077 [kWh _e]
Energia elettrica da produzione locale	33406 [kWh _e]
Superficie in pianta dell'edificio a livello del terreno S	437.52 [m ²]
Potenza elettrica installata	33.60 [kW]

Verifica secondo DLgs 8 novembre 2021, n. 199 – Allegato III

Potenza elettrica richiesta	21.88 [kW]
Verifica (positiva/negativa)	Positiva

e) Consuntivo energia

Energia consegnata o fornita (E _{del})	29648 [kWh]
Energia rinnovabile (E _{gl,ren})	25415 [kWh]

Energia esportata (E_{exp})	23483	[kWh]
Fabbisogno annuale globale di energia primaria ($EP_{gl,tot}$)	27516	[kWh]
Energia rinnovabile in situ (elettrica)	33406	[kWh _e]
Energia rinnovabile in situ (termica)	3498	[kWh]

Copertura da fonti rinnovabili

Percentuale di copertura del fabbisogno annuo per ACS	97.9	[%]
Percentuale da fonte rinnovabile per tutti i servizi	92.7	[%]

Verifiche delle coperture minime secondo il DLgs n. 199/2021

Percentuale minima di copertura per ACS	60.0	[%]
Verifica (positiva/negativa)	Positiva	
Percentuale minima di copertura per tutti i servizi	60.0	[%]
Verifica (positiva/negativa)	Positiva	

(Verifica secondo DLgs 8 novembre 2021, n. 199 – Allegato III, comma 2 punto 1)

f) Valutazione della fattibilità tecnica, ambientale ed economica per l'inserimento di sistemi ad alta efficienza

7. ELEMENTI SPECIFICI CHE MOTIVANO EVENTUALI DEROGHE A NORME FISSATE DALLA NORMATIVA VIGENTE

Nei casi in cui la normativa vigente consente di derogare ad obblighi generalmente validi, in questa sezione vanno adeguatamente illustrati i motivi che giustificano la deroga nel caso specifico.

8. DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

- ☐ Piante di ciascun piano degli edifici con orientamento e indicazione d'uso prevalente dei singoli locali e definizione degli elementi costruttivi
N. _____ Rif. _____
- ☐ Prospetti e sezioni degli edifici con evidenziazione dei sistemi fissi di protezione solare e definizione degli elementi costruttivi
N. _____ Rif. _____
- ☐ Elaborati grafici relativi ad eventuali sistemi solari passivi specificatamente progettati per favorire lo sfruttamento degli apporti solari
N. _____ Rif. _____
- ☐ Schemi funzionali degli impianti contenenti gli elementi di cui all'analogia voce del paragrafo "Dati relativi agli impianti"
N. _____ Rif. _____
- ☐ Tabelle con indicazione delle caratteristiche termiche, termo igrometriche e della massa efficace dei componenti opachi dell'involucro edilizio con verifica dell'assenza di rischio formazione di muffe e di condensazioni interstiziali
N. _____ Rif. _____
- ☐ Tabelle con indicazione delle caratteristiche termiche dei componenti finestrati dell'involucro edilizio e loro permeabilità all'aria
N. _____ Rif. _____
- ☐ Tabelle indicanti i provvedimenti ed i calcoli per l'attenuazione dei ponti termici
N. _____ Rif. _____
- ☐ Schede con indicazione della valutazione della fattibilità tecnica, ambientale ed economica per l'inserimento di sistemi alternativi ad alta efficienza
N. _____ Rif. _____
- ☐ Altri eventuali allegati non obbligatori
N. _____ Rif. _____

9. DICHIARAZIONE DI RISPONDENZA

Il sottoscritto

TITOLO

COGNOME

NOME

iscritto a

ALBO - ORDINE O COLLEGIO DI APPARTENENZA

N. ISCRIZIONE

essendo a conoscenza delle sanzioni previste dall'articolo 15 commi 1 e 2, del decreto legislativo del 19 Agosto 2005 n. 192 di attuazione della direttiva 2002/91CE, modificato ed integrato dal Decreto Legislativo 29 Dicembre 2006, n. 311 G.U. Serie Generale n. 26 del 01/02/07 e aggiornato dal Decreto del Presidente della Repubblica 2 Aprile 2009 n. 59 G.U. Serie Generale n. 132 del 10/06/09

DICHIARA

sotto la propria responsabilità che:

- a) il progetto relativo alle opere di cui sopra è rispondente alle prescrizioni contenute nel decreto legislativo 192/2005 nonché dal decreto di cui all'articolo 4, comma 1 del decreto legislativo 192/2005;
- b) il progetto relativo alle opere di cui sopra rispetta gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili secondo i principi minimi e le decorrenze di cui all'allegato III, comma 2, punto 1, del decreto legislativo 8 novembre 2021, n. 199;
- c) i dati e le informazioni contenuti nella relazione tecnica sono conformi a quanto contenuto o desumibile dagli elaborati progettuali.

Data, _____

Il progettista

TIMBRO

FIRMA

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia.*
- [2] *Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.*
- [3] *Direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio 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.*
- [4] *Direttiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 24 aprile 2024 sulla prestazione energetica nell'edilizia.*
- [5] *Decreto Legislativo 192/2005, "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico in edilizia".*
- [6] *Decreto Legislativo 311/2006, "Disposizioni correttive e integrative al D.lgs. 192/2005, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia".*
- [7] *Decreto Legislativo 63/2013, "Disposizioni urgenti per il recepimento della direttiva 2010/31/UE del parlamento europeo e del consiglio, sulla prestazione energetica nell'edilizia".*
- [8] *Legge 90/2013 "Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63".*
- [9] *Decreto Ministeriale 26/06/2015, "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici".*
- [10] *Decreto Ministeriale 26/06/2015, "Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici";*
- [11] *Decreto Ministeriale 26/06/2015, "Adeguamento del decreto del ministero dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 – Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici".*
- [12] *ANIT Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e Acustico, "Guida Requisiti Minimi Nazionali, 7 Settembre 2023".*

- [13] *Decreto Legislativo 10 giugno 2020, n. 48, “Attuazione della direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio, 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”.*
- [14] *UNI EN 12831, “Impianti di riscaldamento negli edifici- Metodo di calcolo del carico termico di progetto”.*
- [15] *UNI EN ISO 15927, “Prestazione termoigrometrica degli edifici - Calcolo e presentazione dei dati climatici - Medie mensili dei singoli elementi meteorologici”.*
- [16] *Infobuildenergia, “Zone climatiche, gradi giorno e periodo di riscaldamento: il DPR 412/93”.*
- [17] *UNI EN ISO 52016-1:2018, “Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo”.*
- [18] *Schüco, Scheda tecnica sistema per finestre AWS 65.*
- [19] *UNI 10349-1:2016, “Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata”.*
- [20] *Quaderni Caleffi, “I Circuiti e i terminali degli impianti di climatizzazione”.*
- [21] *UNI 7940-2, “Ventilconvettori. Condizioni di prova e caratteristiche”.*
- [22] *Rehau, “Riscaldamento e raffrescamento radiante – Fondamenti, tubazioni e sistemi di posa”.*
- [23] *Quaderni Caleffi, “Gli impianti a pannelli radianti”.*
- [24] *UNI EN ISO 7730, “Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale”.*
- [25] *Idraulica Caleffi, pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale, “Le unità di ventilazione e il dimensionamento degli impianti VMC”, Gennaio 2023.*
- [26] *Biblus Acca, “Macchine frigorifere e pompe di calore”.*
- [27] *Innova, Software di configurazione fancoil.*

- [28] *Innova, Catalogo Airleaf, fancoils per riscaldamento e raffrescamento ad alta efficienza.*
- [29] *Quaderni Caleffi, Tabelle e diagrammi perdite di carico acqua.*
- [30] *Innova, Catalogo Ducto, la gamma di fancoil canalizzati.*
- [31] *Ecoclima, Scheda tecnica EDLS – Diffusori lineari multiferoia a comparsa.*
- [32] *Utek, Scheda tecnica Flat – unità di VMC con recupero di calore.*
- [33] *Weishaupt, pompe di calore split – Splitblock WSB.*
- [34] *Weishaupt, Manuale prodotto, Gruppo spinta WHI pump 25-5 #5.*
- [35] *Weishaupt, Manuale prodotto, Gruppo spinta WHI pump 25-7#5.*
- [36] *Weishaupt, Scheda tecnica prodotto, Stazione acqua potabile WHI freshacqua.*