



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

Anno accademico 2024/2025

Analisi e modellazione di sistemi edificio-impianto volti alla valutazione tecnico-economica per edifici di nuova costruzione ad uso residenziale con qualifica n-Zeb e rispettanti i parametri delle EPBD di recente emanazione

Relatore

Prof. Marco Simonetti

Correlatore

Prof. Marco Carlo Masoero

Studente

Mosso Michaela

Torino, lì 17 Marzo 2025

Ringraziamenti

Alla mia mamma ed al mio papà, a Riccardo ed a Voi che da lassù vegliate su di me, semplicemente grazie.

Spero di avervi reso fieri di me

Michaela

Abstract

Il presente elaborato valuta la fattibilità tecnico-economica della nuova costruzione di edificio residenziale unifamiliare classificabile come nearly Zero Energy Building (nZEB), situato nel Comune di Santena (TO).

L'analisi prevede un confronto tra l'investimento necessario per la realizzazione dell'edificio di nuova concezione e quello che si dovrebbe affrontare nel caso si potesse ancora scegliere una via tradizionale, come per un immobile realizzato nel secolo scorso.

Lo scopo è determinare se il maggiore investimento iniziale per la costruzione di un edificio nZEB, rispetto ad un immobile tradizionale, venga compensato dalla riduzione dei consumi energetici nel tempo e quindi dei costi da essi derivanti. Laddove, comunque, tale recupero economico non risultasse essere sufficientemente interessante da un punto di vista finanziario, il presente studio andrebbe a confermare gli indirizzi regolatori intrapresi da molti enti locali che prediligono ed incentivano il recupero ed il riuso dell'esistente piuttosto che la realizzazione del nuovo con conseguente consumo ineluttabile di suolo.

Per determinare il fabbisogno energetico, sia dell'edificio Nzeb sia di quello tradizionale, è stato utilizzato il software Namirial Termo e fogli di calcolo EXCEL® per l'elaborazione dei dati ottenuti.

Per il fabbricato esistente, inoltre, i risultati della simulazione sono stati confrontati con i consumi reali reperiti dalle bollette di gas naturale ed energia elettrica. Questo ha permesso di verificare l'attendibilità del modello.

La progettazione dell'involucro edilizio del nuovo edificio è stata sviluppata con il supporto del produttore Nidus srl, ottenendo così un preventivo reale dei costi di costruzione.

Dopo una breve descrizione dei principi, si è proceduto con il dimensionamento dei componenti principali di impianto, dai terminali al sistema di generazione, sia per l'impianto idronico sia di ventilazione. In relazione al sistema di generazione è stata eseguita, inoltre, un'analisi specifica per la generazione da fonti rinnovabili: collettori solari a supporto della produzione di acqua calda sanitaria e impianto fotovoltaico con accumulo per la produzione di energia elettrica. Anche per la parte impiantistica sono stati contattati i relativi produttori per una stima realistica dei costi.

In conclusione, è stata verificata la conformità dell'edificio secondo i requisiti nZeb, nonché la valutazione economica dei flussi di cassa cumulati e opportunamente discontinuizzati (DCF) al fine di stimare i parametri economici utili all'analisi complessiva, in particolar modo il tempo di ritorno dell'investimento per la costruzione dell'edificio ad energia quasi zero. Tale valutazione ha tenuto in considerazione gli attuali incentivi previsti ed ha considerato invariati gli oneri professionali.

Questo elaborato è stato frutto di un'esperienza svolta presso ABSE Studio srl, società di ingegneria con consolidata esperienza nella progettazione di edifici ad alta efficienza energetica.

Indice

Ringraziamenti	1
Abstract.....	2
Indice delle Figure	7
Indice delle Tabelle	8
Indice dei Grafici	10
1. Introduzione	11
1.1. Casa Passiva e Casa nZEB	11
1.2. Requisiti minimi per la classificazione ad edificio nZEB	13
2. Il Software utilizzato	19
3. Calcolo dei carichi termici ed EPG	20
3.1. Calcolo dei carichi termici	20
3.2. Calcolo dell'indice EPG	21
4. Edificio esistente	23
4.1. Descrizione dell'edificio esistente	23
4.2. Parametri climatici	24
4.3. Involucro opaco	25
4.4. Involucro trasparente	26
4.5. Impianto	27
4.6. Modello Energetico	28
4.6.1. Risultati del calcolo	29
4.7. Valutazione dei consumi	30
4.7.1. Gas Naturale	30
4.7.2. Corrente elettrica.....	33
5. Edificio di nuova costruzione	35
5.1. Materiali utilizzati e stratigrafie	35
5.1.1. Componenti opachi verticali.....	35
5.1.1.1. Muratura verso esterno	36
5.1.1.2. Muratura esterna con rasante termoriflettente	39
5.1.1.3. Murature interne	40
5.1.2. Componenti opachi orizzontali.....	40
5.1.2.1. Basamento contro terra.....	40
5.1.2.2. Solaio interpiano.....	42
5.1.2.3. Solaio verso sottotetto	43
5.1.2.4. Copertura.....	44
5.1.3. Componenti Trasparenti	44

5.2. Potenze termiche.....	47
5.2.1. Regime invernale.....	47
5.2.2. Regime Estivo.....	48
5.3. Impianto	50
5.3.1. Impianto idronico	51
5.3.2. Sottosistema di emissione	52
5.3.2.1. Pannelli radianti.....	52
5.3.2.2. Dimensionamento impianto radiante a soffitto	54
5.3.2.3. Dimensionamento Termoarredo	57
5.3.2.4. Calcolo delle perdite di carico – pannelli radianti	58
5.3.3. Sottosistema di distribuzione	60
5.3.3.1 Dimensionamento collettori di zona	61
5.3.3.2. Dimensionamento colonne montanti di distribuzione.....	63
5.3.3.3. Dimensionamento pompe di circolazione.....	64
5.3.4. Sottosistema di generazione – Centrale Termica.....	65
5.3.4.1 Pompa di calore	65
5.3.4.2 Dimensionamento generazione – circuito primario	67
Pompa di calore	67
5.3.4.3. Dimensionamento componenti circuito primario	68
5.3.4.3.1. Vaso di espansione	68
5.3.4.3.2. Valvola di sicurezza	69
5.3.4.3.3. Separatore idraulico.....	71
5.3.4.4. P&I – Centrale termica.....	71
5.3.5. Sottosistema di generazione – rinnovabili.....	72
5.3.5.1. Impianto solare termico	72
5.3.5.1.1 Dimensionamento solare termico	72
5.3.5.2. Impianto fotovoltaico	76
5.3.5.2.1. Dimensionamento – impianto fotovoltaico 9,5kWp.....	78
5.3.5.2.2. Miglioramento – impianto fotovoltaico con potenza di picco 17kWp	81
5.3.5.3. Inverter	83
5.3.5.3.1. Dimensionamento inverter.....	84
5.3.6. Sottosistema di accumulo.....	85
5.3.6.1. Accumulo tecnico	85
5.3.6.2. Accumulo acqua calda sanitaria	85
5.3.6.3. Accumulo fotovoltaico.....	86
5.3.7. Sottosistema di regolazione.....	86

5.3.7.1. Dimensionamento sottosistema di regolazione	89
5.4. Ventilazione Meccanica Controllata	90
5.4.1. Dimensionamento impianto VMC	92
5.4.1.1. Calcolo delle portate necessarie.....	92
5.4.1.2. Distribuzione rete aria – calcolo delle perdite di carico	94
5.4.1.2.1. Immissione.....	97
5.4.1.2.2. Estrazione	99
5.4.1.2.3. Estrazione Bagni	101
5.5. Risultati del calcolo	102
5.5.1. Verifica edificio nZeb	102
6. Analisi Economica	104
6.1. Confronto consumi	105
6.1.1. Edificio esistente.....	105
6.1.2. Edificio nuova costruzione.....	106
6.2. Incentivi	107
6.3. Calcolo ritorno dell’investimento	108
6.4. Interventi di riqualificazione ed efficientamento energetico	112
7. Conclusioni	115
8. Fonti	117
9. Allegati	122
9.1. TAVOLA 1 – Radianti a soffitto e linea aria PIANO TERRA.....	122
9.2. TAVOLA 2 – Radianti a soffitto e linea aria PIANO PRIMO	123
9.3. TAVOLA 3 – Impianto fotovoltaico 9,5kWp e collettori solari.....	124
9.4. TAVOLA 4 – Impianto fotovoltaico 17kWp e collettori solari.....	125
9.5. TAVOLA 5 – P&I.....	126
9.6. Fabbisogno riscaldamento per singole zone	127
9.6.1. Salotto: carico termico estivo nell’ora di massimo carico ed andamento orario del carico globale – zona termica	127
9.6.2. Scala: carico termico estivo nell’ora di massimo carico ed andamento orario del carico globale – zona termica	128
9.6.3. Cucina: carico termico estivo nell’ora di massimo carico ed andamento orario del carico globale – zona termica	128
9.6.4. Camera: carico termico estivo nell’ora di massimo carico ed andamento orario del carico globale – zona termica	129
9.6.5. Matrimoniale: carico termico estivo nell’ora di massimo carico ed andamento orario del carico globale – zona termica.....	129
9.6.6. Studio: carico termico estivo nell’ora di massimo carico ed andamento orario del carico globale – zona termica	129

9.6.7. Corridoio: carico termico estivo nell'ora di massimo carico ed andamento orario del carico globale	130
9.7. Verifica condensa.....	131
9.7.1. Parete Nidus	131
9.1.1. Parete Nidus con RasoTherm	131
9.7.3. Parete Nidus interna	132
9.7.4. Solaio Nidus verso sottotetto	132
9.7.5. Solaio Nidus interpiano	133
9.7.6. Basamento in clc.....	133

Indice delle Figure

Figura 1: Requisiti edificio nZEB [4].....	12
Figura 2: Bilancio energetico dell'edificio invernale (sx) ed estivo (dx) [35]	20
Figura 3: Esempio classe energetica per un generico edificio	22
Figura 4: Vista esterna edificio esistente	23
Figura 5: Pianta edificio esistente – Piano Terra e Piano Primo	24
Figura 6: Esempio di infisso dell'edificio esistente.....	26
Figura 7: Caldaia installata nell'edificio esistente	27
Figura 8: Esempio di radiatore installato nell'edificio esistente	27
Figura 9: Vista 3D dell'edificio esistente da modello di Namirial Termo 6.0 [17]	28
Figura 10: Classe energetica dell'edificio esistente.....	29
Figura 11: valori di EPG ottenuti dalla modellazione relativi all'edificio esistente.....	29
Figura 12: Schema di montaggio parete NIDUS [44].....	35
Figura 13: Stratigrafia muratura verso l'esterno – edificio di nuova costruzione	36
Figura 14: Diagrammi di Glaser - muratura verso esterno edificio di nuova costruzione	38
Figura 15: Planimetrie dell'edificio con indicazione delle murature con RasoTherm	39
Figura 16: Stratigrafia muratura verso esterno con RasoTherm - edificio di nuova costruzione	39
Figura 17: Stratigrafia basamento contro terra - edificio di nuova costruzione.....	41
Figura 18: Diagrammi di Glaser - basamento contro terra edificio di nuova costruzione.....	41
Figura 19: Stratigrafia solaio interpiano - edificio di nuova costruzione.....	42
Figura 20: Stratigrafia solaio verso sottotetto - edificio di nuova costruzione.....	43
Figura 21: Stratigrafia copertura - edificio di nuova costruzione	44
Figura 22: Esempio di infisso - edificio di nuova costruzione	46
Figura 23: Stratigrafia pannello radiante a soffitto [56]	53
Figura 24: Esempio di pannello radiante - dimensioni RADIUS 240.....	54
Figura 25: Planimetrie con indicazione delle zone termiche - edificio di nuova costruzione	55
Figura 26: grafici resa termica pannelli radianti RADIUS in regime estivo ed invernale [58]	56
Figura 27: Esempio di termoarredo [59].....	57
Figura 28: Grafico per la determinazione delle perdite di carico pannelli RADIUS [60].....	59
Figura 29: Schema di funzionamento ciclo termodinamico inverso [69].....	67
Figura 30: Valori di F per pressioni di scarico da 0,5 a 12,5bar [76].....	70
Figura 31: P&I impianto - edificio di nuova costruzione	71
Figura 32: Valori dei parametri a e b [19]	73
Figura 33: Dimensioni collettore solare	74
Figura 34: Posizionamento moduli fotovoltaici per una potenza di piccol di 9,5 kWp	78
Figura 35: Dimensioni pannello fotovoltaico [85].....	78

Figura 36: Posizionamento moduli fotovoltaici per una potenza di piccol di 17kWp	82
Figura 37: Caratteristiche serbatoio di accumulo tecnico	85
Figura 38: Caratteristiche serbatoio di accumulo di acqua calda sanitaria	85
Figura 39: Esempio di curva climatica per impianti a bassa temperatura (pannelli radianti) ed alta temperatura (radiatori) [96].....	87
Figura 40: Esempio di sistema di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC) [103].....	91
Figura 41: Esempio di schema di funzionamento recuperatore di calore [104]	92
Figura 42: Perdite di carico concentrate bocchetta di immissione [110]	96
Figura 43: Classe energetica dell'edificio di nuova costruzione	102
Figura 44: Valori di EPG ottenuti dalla modellazione relativi all'edificio di nuova costruzione	102
Figura 45: Classe energetica edificio a seguito delle azioni di efficientamento eseguite sull'edificio esistente	113

Indice delle Tabelle

Tabella 1: Efficienze, parametri e indici di prestazione energetica [6]	14
Tabella 2: Valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico $H'T$ [14]	15
Tabella 3: Valore del fattore di trasmissione solare totale $g_{gl}+sh$ per componenti finestrati con orientamento da Est a Ovest passando per Sud [14]	15
Tabella 4: Valore massimo ammissibile del rapporto tra area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e l'area della superficie utile $Asol,est/Asup$ utile [-] [14].....	16
Tabella 5: Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra [14].....	16
Tabella 6: Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati [14]	16
Tabella 7: Trasmittanza termica U delle opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra [14]	17
Tabella 8: Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati [14].....	17
Tabella 9: Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti [14]	17
Tabella 10: Efficienze medie η_u dei sottosistemi di utilizzazione dell'edificio di riferimento per i servizi di H, C, W [14]	17
Tabella 11: – Efficienze medie η_{gn} dei sottosistemi di generazione dell'edificio di riferimento per la produzione di energia termica per i servizi di H, C, W e per la produzione di energia elettrica in situ [14]	18
Tabella 12: Scala di classificazione degli edifici sulla base dell'indice di Prestazione Energetica globale non rinnovabile $EP_{gl}, nren$ [39]	22
Tabella 13: Dati climatici città di Santena (TO) [41]	23
Tabella 14: Parametri caratteristici dell'edificio esistente	23
Tabella 15: Temperatura media mensile standard [°C] per la città di Santena (TO) [28]	24
Tabella 16: Irradianza media mensile [W/m ²] per la città di Santena (TO) [28]	24
Tabella 17: Dettagli componenti involucro opaco - edificio esistente	26
Tabella 18: Dettagli componenti involucro trasparente - edificio esistente.....	26
Tabella 19: Dati geometrici delle singole zone termiche dell'edificio esistente: aree [m ²] e volumi [m ³].....	28
Tabella 20: Fabbisogni di energia termica in [kWh] e [smc] - edificio esistente	30
Tabella 21: Consumi reali di gas naturale [smc] relativi all'anno di riferimento - edificio esistente	31
Tabella 22: Confronto consumi di gas naturale [sm ³] tra reale e modello – edificio esistente.....	32
Tabella 23: Consumi reali di corrente elettrica [kWh] ripartiti in fasce – edificio esistente.....	33
Tabella 24: Parametri caratteristici muratura verso l'esterno – edificio di nuova costruzione	36
Tabella 25: parametri caratteristici muratura verso esterno con RasoTherm - edificio di nuova costruzione	40
Tabella 26: Parametri caratteristici basamento contro terra - edificio di nuova costruzione	41
Tabella 27: Parametri caratteristici solaio interpiano - edificio di nuova costruzione	42
Tabella 28: Parametri caratteristici solaio verso sottotetto - edificio di nuova costruzione.....	43
Tabella 29: Parametri caratteristici copertura - edificio di nuova costruzione.....	44
Tabella 30: esempio parametri considerati per ogni infisso - edificio di nuova costruzione	46

Tabella 31: Parametri caratteristici infissi - edificio di nuova costruzione	47
Tabella 32: potenze termiche invernali [W], suddivisi per zone termiche – edificio di nuova costruzione	47
Tabella 33: Regime estivo - Carico globale, carico globale sensibile e latente per intero edificio di nuova costruzione ..	48
Tabella 34: Regime estivo - Carico globale orario per intero edificio di nuova costruzione	49
Tabella 35: Aree nette [m ²] ed aree [m ²] pannelli radianti RADIUS [57]	55
Tabella 36: Condizioni di esercizio pannelli radianti RADIUS e relativa resa termica [W/m ²]	56
Tabella 37: Dimensionamento pannelli radianti RADIUS	56
Tabella 38: Verifica corretto dimensionamento pannelli radianti RADIUS.....	57
Tabella 39: Determinazione del valore di portata circolante nel circuito dei pannelli radianti RADIUS	58
Tabella 40: Perdite di carico concentrate - circuito pannelli radianti RADIUS.....	60
Tabella 41: Perdite di carico distribuite collettore di zona - Piano Terra.....	62
Tabella 42: Perdite di carico distribuite collettore di zona - Piano Primo	62
Tabella 43: Perdite di carico collettori di zona	63
Tabella 44: Velocità fluido termovettore [60]	63
Tabella 45: Dimensionamento montanti di distribuzione.....	63
Tabella 46: Dimensionamento pompa di circolazione impianto di climatizzazione [65]	64
Tabella 47: Dimensionamento pompa di circolazione impianto collettori solari [66]	65
Tabella 48: Carico massimo da soddisfare	67
Tabella 49: Sezione minima trasversale valvola di sicurezza [cm ²]	70
Tabella 50: Diametro separatore idraulico [mm]	71
Tabella 51: Volume di acqua calda sanitaria necessario giornaliero [l/gg] e mensile [l].....	73
Tabella 52: Dati posizionamento collettori solari.....	73
Tabella 53: Caratteristiche campo collettori solari.....	74
Tabella 54: Fabbisogno di acqua calda sanitaria mensile [kWh].....	74
Tabella 55: Radiazione solare [kWh/m ²] e irradiazione solare [MJ/m ²] per la città di Santena (TO) [82]	75
Tabella 56: Consumo elettrico giornaliero per la produzione di acqua calda sanitaria mensile [kWh]	75
Tabella 57: Produzione calore da collettore solare, copertura giornaliera e risparmio energetico [kWh]	76
Tabella 58: Caratteristiche campo fotovoltaico.....	78
Tabella 59: Energia elettrica immessa e prelevata da rete con impianto fotovoltaico di potenza 9,5kWp	80
Tabella 60: Energia elettrica immessa e prelevata da rete con impianto fotovoltaico di potenza 17kWp	82
Tabella 61: Categorie di qualità ambientale interna [106].....	92
Tabella 62: Valori di portata di riferimento [l/s] per i tre metodi di calcolo [106]	93
Tabella 63: Portate d'aria e verifica del rispetto del valore di portata minima attraverso i tre metodi	93
Tabella 64: Portate d'aria VMC	94
Tabella 65: Perdite di carico concentrate – diffusori di immissione [110]	97
Tabella 66: Accidentalità considerate – immissione	97
Tabella 67: Perdite di carico concentrate - immissione	98
Tabella 68: Perdite di carico distribuite - immissione	98
Tabella 69: Perdite di carico - tratto sfavorito immissione.....	99
Tabella 70: Perdite di carico concentrate – diffusori di estrazione	99
Tabella 71: Accidentalità considerate – estrazione.....	100
Tabella 72: Perdite di carico concentrate – estrazione	100
Tabella 73: Perdite di carico distribuite – estrazione	100
Tabella 74: Perdite di carico – estrazione.....	101
Tabella 75: Perdite di carico – Bagni	101
Tabella 76: Dimensionamento ventilatore di estrazione – bagni.....	101
Tabella 77: Verifica del rispetto dei requisiti minimi per essere classificato come nZEB	103
Tabella 78: Costo corrente elettrica [euro/kWh]	104
Tabella 79: Costo gas naturale [euro/smc].....	104
Tabella 80: Costi reali da bolletta gas naturale - edificio esistente	105
Tabella 81: Costi reali da bolletta corrente elettrica - edificio esistente	106
Tabella 82: Consumi elettrici - edificio di nuova costruzione.....	106
Tabella 83: Costi stimati corrente elettrica - edificio di nuova costruzione	107

Tabella 84: Investimento per la costruzione dell'edificio nZEB	109
Tabella 85: Risparmio elettrico annuo stimato [kWh] confrontando edificio di nuova costruzione ed edificio esistente	109
Tabella 86: Risparmio monetario annuo stimato [euro] confrontando edificio di nuova costruzione ed edificio esistente	110
Tabella 87: Determinazione del VAN nel caso di nuova costruzione	110
Tabella 88: PBT e VAN per edificio di nuova costruzione	111
Tabella 89: Investimento per le opere di riqualificazione ed efficientamento energetico dell'edificio esistente	112
Tabella 90: Consumi elettrici, energia immessa e prelevata da rete - edificio esistente a seguito di interventi di riqualificazione ed efficientamento energetico	113
Tabella 91: Risparmio monetario annuo stimato [euro] confrontando edificio a seguito degli interventi di efficientamento e edificio esistente.....	113
Tabella 92: Determinazione del VAN nel caso di interventi di riqualificazione ed efficientamento energetico	114
Tabella 93: PBT e VAN per interventi di riqualificazione ed efficientamento energetico.....	114

Indice dei Grafici

Grafico 1: Fabbisogno di gas naturale [kWh,eq] - edificio esistente	30
Grafico 2: Fabbisogno di gas naturale [smc] - edificio esistente	31
Grafico 3: Consumi di gas naturale reali [smc] da bolletta per l'anno di riferimento - edificio esistente	32
Grafico 4: Confronto consumi reali ed ottenuti da modello di gas naturale - edificio esistente.....	33
Grafico 5: Consumi di corrente elettrica reali [kWh] da bolletta per l'anno di riferimento - edificio esistente	34
Grafico 6: Carico globale giornaliero estivo [W] per l'intero edificio	49
Grafico 7: Confronto tra produzione da impianto fotovoltaico 9,5kWp e consumi	80
Grafico 8: Copertura energia elettrica da campo fotovoltaico con potenza di picco 9,5kWp	81
Grafico 9: VAN nel caso di nuova costruzione.....	111

1. Introduzione

1.1. Casa Passiva e Casa nZEB

Negli ultimi anni, l'attenzione verso la sostenibilità ha assunto un ruolo di primaria importanza: questo ha portato a rivedere i modelli tradizionali di progettazione e costruzione nel settore dell'edilizia privata e no. Gli edifici sono infatti responsabili di una percentuale significativa del consumo energetico e delle emissioni di gas serra globali: questo ha reso indispensabile un approccio innovativo nella progettazione che permetta di combinare efficienza energetica, riduzione delle emissioni ed utilizzo di fonti rinnovabili. È in questo contesto che emergono i concetti di Passivhaus, nZEB (Nearly Zero Energy Building) e ZEB (Zero Energy Building).

Il concetto di Passivhaus, o "Casa Passiva" in italiano, è stato introdotto per la prima volta nel 1978 all'interno de "Regional guidelines for building passive energy conserving homes" dell'AIA Research Corporation. Solo però nel 1988 venne redatto il Protocollo [1]. Con Passivhaus si intendono gli edifici in grado di coprire la quota maggioritaria del loro fabbisogno attraverso l'uso di componenti di tipo passivo come l'isolamento termico delle superfici opache, la tenuta all'aria dell'involucro edilizio o l'utilizzo di sistemi di ventilazione meccanica con recupero di calore al fine di limitare il più possibile il lavoro richiesto all'impianto [2]. Una casa passiva deve quindi possedere tre caratteristiche fondamentali: alta efficienza energetica, confort e convenienza. In questo caso l'alta efficienza energetica è raggiunta grazie allo sfruttamento degli apporti interni e degli apporti gratuiti. Nella stagione invernale, vengono sfruttati gli apporti gratuiti del sole e degli occupanti, mentre, al contrario, nel periodo estivo vengono limitati gli apporti del sole per mezzo di opportuni ombreggiamenti. La ventilazione permette di garantire una qualità dell'aria ottima ma anche, attraverso l'uso di recuperatori di calore, massimizzare l'efficienza energetica [2].

Gli edifici nZEB (Nearly Zero Energy Building), o "Edifici ad energia quasi zero" in italiano, sono edifici progettati per avere un fabbisogno energetico estremamente basso, quasi zero appunto, coperto in larga parte da energia rinnovabile.

La Direttiva 2010/31/UE sul rendimento energetico degli edifici, nota come EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), costituisce la base per lo sviluppo degli standard nZEB nella definizione di edificio ad energia quasi zero, nella definizione degli obblighi temporali ed i vincoli rivolti agli Stati membri, i quali sono tenuti a definire requisiti nazionali specifici per gli edifici nZEB.

In Italia, gli edifici nZeb vengono definiti secondo quanto riportato all'interno della Legge n. 90/2013 come *"edificio ad altissima prestazione energetica, calcolata conformemente alle disposizioni del presente decreto, che rispetta i requisiti definiti al decreto di cui all'articolo 4, comma 1 (ovvero il D.M. 26/06/2015, cd. "Requisiti Minimi")*. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta all'interno del confine del sistema (in situ)" [3].

Gli edifici così classificati, sono quindi caratterizzati da prestazioni energetiche elevate grazie all'utilizzo di materiali dei quali sono costituiti, alla coibentazione, ma soprattutto grazie all'uso di soluzioni impiantistiche efficienti e che sfruttano le fonti rinnovabili [4].



Figura 1: Requisiti edificio nZEB [4]

Durante l'edizione della Direttiva EPBD tenutasi nel marzo 2024, è stata data maggior importanza al tema delle emissioni. Fino ad allora, infatti, le emissioni erano sempre solo state citate come un indicatore ausiliario e mai come punto chiave. Ora però la loro riduzione costituisce invece uno degli obiettivi principali. È stato così definito il concetto di edificio ZEB. Con edificio ZEB, o "edificio ad emissioni zero" in italiano, si va ad indicare un edificio ad altissima prestazione energetica, fabbisogno di energia pari a zero, o molto basso, e zero emissioni derivanti dall'uso di combustibili fossili come zero, o un quantitativo molto basso, emissioni di gas ad effetto serra. Sono quindi edifici per i quali il bilancio annuale risulta pari a 0 kWh/mq anno in termini di energia primaria: tutto questo risulta possibile grazie all'integrazione tra efficienza energetica ed autosufficienza. Inoltre, l'edificio ad emissioni zero ha alla base anche il concetto di resilienza ossia essere in grado di reagire ai segnali esterni e gestire i suoi consumi in funzione di ciò, gestendo di conseguenza la generazione e l'accumulo.

Poiché la seguente tesi ha come obiettivo quello di trattare la costruzione di un edificio di nuova costruzione ed in quanto nell'art. 4-bis de il D.Lgs. 192/2005 viene stabilito che «a partire dal 31 dicembre 2018, gli edifici di nuova costruzione utilizzati da Pubbliche Amministrazioni e di proprietà di queste ultime devono essere progettati e realizzati quali edifici a energia quasi zero. Dal 1° gennaio 2021 la predetta disposizione è estesa a tutti gli edifici di nuova costruzione», [5] e poiché per il momento non risultano obblighi relativi alla costruzione di edifici ZEB (sarà obbligatorio per gli edifici di proprietà di enti pubblici a partire dal 1° gennaio 2028 e dal 1° gennaio 2030 per gli altri edifici), si è deciso di concentrare l'analisi sul caso di edificio nZEB.

1.2. *Requisiti minimi per la classificazione ad edificio nZEB*

I requisiti minimi per poter considerare un edificio nZEB sono contenuti all'interno dall'Allegato 1 del D.M. 26/6/2015 per gli edifici a energia quasi zero [6].

Al momento della redazione dell'elaborato, è presente una bozza dell'aggiornamento del decreto requisiti minimi e l'attuazione, con il D. Lgs. n. 48/2020, della direttiva europea 844/2018/UE Energy Performance of Building Directive (EPBD III) [7] ed un orientamento verso l'EPBD IV, nota anche come "Direttiva case green" (direttiva 2024/1275) [8].

La bozza, attualmente in circolazione, mostra in anteprima la direzione che sarà presa, andando a sottolineare alcune differenze rispetto al D.M. precedente [9]. In particolare, sarà modificato [10]:

- Coefficiente medio globale di scambio termico H'_T : è un parametro che permette di definire le prestazioni energetiche delle superfici disperdenti. Nel caso degli edifici di nuova costruzione, il nuovo decreto prevede la medesima verifica del decreto attualmente vigente [125];
- Ponti termici: per gli edifici di nuova costruzione sono stati definiti valori di ponti termici di riferimento che dovranno essere sommati nel calcolo delle trasmittanze al fine di ottenere una caratterizzazione più accurata dell'edificio di riferimento. Nel calcolo dell'edificio di riferimento, quindi, si assume il valore delle trasmittanze pari al valore limite riportato nell'Appendice A del decreto (come avviene già nell'attuale versione), aggiungendo però a queste ultime il valore dei ponti termici [11] (assumendo per essi lunghezze pari a quelle dell'edificio reale);
- Infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici: per gli edifici di nuova costruzione è previsto l'obbligo di installazione di un numero minimo di punti di ricarica dei veicoli elettrici da installare. Il numero minimo è ricavabile da una serie di tabelle presenti all'interno del decreto e si basa, ad esempio, sulla destinazione d'uso dell'immobile [125].

In quanto al momento della scrittura risulta presente solo una bozza del nuovo decreto e poiché, inoltre, il punto relativo al coefficiente H'_T , nel caso di nuova costruzione, non cambia rispetto al decreto vigente ed essendo inoltre stato considerato l'inserimento di infrastrutture di ricarica, si ritiene di poter procedere con l'analisi riferendosi al decreto attualmente vigente.

Per quanto concerne la quota legata alle fonti rinnovabili, si fa riferimento all'articolo art. 26, comma 11, del D. Lgs. n. 199 del 2021 [12], il quale ha abrogato il D. Lgs. 28/2011.

Il D. Lgs. 199/2021, quale attuazione della direttiva europea (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, noto come "Decreto rinnovabili o REDII" dell'11 dicembre 2018 [13], sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, rende obbligatorio l'utilizzo delle fonti rinnovabili negli edifici di nuova

costruzione [12]. Indica, inoltre, le percentuali di produzione di energia da fonti rinnovabili. In particolare, nel caso di edifici privati valgono le seguenti percentuali:

- Riscaldamento + ACS + Raffrescamento: 60% del fabbisogno coperto da fonte rinnovabile [12];
- Acqua Calda Sanitaria (ACS): 50% del fabbisogno coperto da fonte rinnovabile [12].

I requisiti minimi da rispettare nella progettazione di un edificio di nuova costruzione classificabile come nZEB, secondo quanto riportato nell'Allegato 1 del D.M. 26-06-2015 [6], sono riportati in Tabella1.

Tabella 1: Efficienze, parametri e indici di prestazione energetica [6]

H'_T [W/ m ² K]	coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente
$A_{sol,est}/ A_{sup\ utile}$ [-]	area solare equivalente estiva per unità di superficie utile;
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]	indice di prestazione termica utile per riscaldamento;
η_H [-]	efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale;
EP_H [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot") ;
$EP_{W,nd}$ [kWh/m ²]	indice di prestazione termica utile per la produzione di acqua calda sanitaria;
η_W [-]	efficienza media stagionale dell'impianto di produzione dell'acqua calda sanitaria;
EP_W [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
EP_V [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica per la ventilazione. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]	indice di prestazione termica utile per il raffrescamento;
η_C [-]	efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità);
EP_C [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità). Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
EP_L [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale. Questo indice non si calcola per la categoria E.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3). Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
EP_T [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica del servizio per il trasporto di persone e cose (impianti ascensori, marciapiedi e scale mobili). Questo indice non si calcola per la categoria E.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3);
$EP_{gt} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L + EP_T$ [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica globale dell'edificio. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot").

Di seguito si analizzano nel dettaglio i requisiti minimi da rispettare nella progettazione di un nuovo edificio classificabile come nZEB e le loro modalità di calcolo secondo quanto stabilito nell'Appendice A del D.M. 26-06-2015 [14] (l'Appendice B è relativo al caso di edifici esistenti soggetti a riqualificazione [15]):

- Il Parametro H'_T : coefficiente medio globale di scambio termico e determinato come segue

$$H'_T = \frac{H_{tr,adj}}{\sum_K A_K} [W/m^2K]$$

Equazione 1: Calcolo del parametro H'_T [14]

Dove:

- $H_{tr,adj}$ [W/K]: coefficiente globale di scambio termico per trasmissione dell'involucro calcolato secondo la UNI/TS 11300-1 [16];
- A_k [m^2]: la superficie del k-esimo componente (opaco o trasparente) costituente l'involucro.

Il valore di H'_T deve risultare inferiore al valore massimo ammissibile, secondo quanto indicato nell'Appendice A del D.M. 26-06-2015 [14], riportato in Tabella 2 ed in funzione della zona climatica in cui è collocato l'edificio e del rapporto S/V (superficie/volume).

Numero Riga	RAPPORTO DI FORMA (S/V)	Zona climatica				
		A e B	C	D	E	F
1	$S/V \geq 0,7$	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48
2	$0,7 > S/V \geq 0,4$	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53
3	$0,4 > S/V$	0,80	0,80	0,80	0,75	0,70

Numero Riga	TIPOLOGIA DI INTERVENTO	Zona climatica				
		A e B	C	D	E	F
4	Ampliamenti e Ristrutturazioni importanti di secondo livello per tutte le tipologie edilizie	0,73	0,70	0,68	0,65	0,62

Tabella 2: Valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico H'_T [14]

- Il parametro $Asol,est/Asup\ utile$: il rapporto tra l'area solare equivalente estiva e la superficie utile deve essere inferiore ai valori riportati in Tabella 4.

In particolare, $Asol,est$ è determinata con la seguente relazione [14]:

$$Asol,est = \sum_k F_{sh,ob} * g_{gl+sh} * (1 - F_F) * A_{w,p} * F_{sol,est} [m^2]$$

Equazione 2: Calcolo del parametro $Asol,est$ [14]

Dove:

- $F_{sh,ob}$ [-]: 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_{gl+sh} [-]: trasmittanza di energia solare totale della finestra calcolata nel mese di luglio, quando la schermatura solare mobile è utilizzata. Il valore di g_{gl+sh} deve rispettare i limiti riportati in Tabella3.

Tabella 3: Valore del fattore di trasmissione solare totale g_{gl+sh} per componenti finestrati con orientamento da Est a Ovest passando per Sud [14]

Zona climatica	g_{gl+sh}	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
Tutte le zone	0,35	0,35

- F_F [-]: frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente finestrato;
- $A_{w,p}$ [m^2]: area del componente vetrato;

- $F_{sol,est}$ [-]: 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.

Tabella 4: Valore massimo ammissibile del rapporto tra area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e l'area della superficie utile $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$ [-] [14]

#	Categoria edificio	Tutte le zone climatiche
1	Categoria E.1 fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3)	$\leq 0,030$
2	Tutti gli altri edifici	$\leq 0,040$

- Confronto con l'edificio di riferimento. Con edificio di riferimento si intende "un edificio identico in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno e avente caratteristiche termiche e parametri energetici predeterminati" [14]. In base al confronto con l'edificio di riferimento, ne segue una verifica su:

- Gli indici di prestazione energetica $E_{Ph,nd}$, $E_{Pc,nd}$, $E_{Pgl,tot}$ devono risultare inferiori rispetto ai corrispondenti indici di prestazione dell'edificio di riferimento $E_{Ph,nd,limite}$, $E_{Pc,nd,limite}$, $E_{Pgl,tot,limite}$ [6].

Tali valori vengono determinati in base ai valori di trasmittanze che devono essere inferiori rispetto ai valori di trasmittanza dell'edificio di riferimento.

Tabella 5: Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra [14]

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e 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 6: Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati [14]

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e 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 7: Trasmittanza termica U delle opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra [14]

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e 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 8: Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati [14]

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e 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 9: Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti [14]

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
Tutte le zone	0,8	0,8

I valori di trasmittanza di riferimento con la quale confrontare i valori dell'edificio considerato, sono i valori relativi a quelli del 2019/2021.

- Per quello che concerne i parametri relativi agli impianti tecnici, le efficienze η_h , η_c e η_w risultare maggiori delle efficienze $\eta_{h, limite}$, $\eta_{c, limite}$ e $\eta_{w, limite}$ relative all'edificio di riferimento [6].

Dove i pedici H, C e W indicano, rispettivamente, i servizi di climatizzazione invernale, climatizzazione estiva ed acqua calda sanitaria.

Tabella 10: Efficienze medie η_u dei sottosistemi di utilizzazione dell'edificio di riferimento per i servizi di H, C, W [14]

Efficienza dei sottosistemi di utilizzazione η_u :	H	C	W
Distribuzione idronica	0,81	0,81	0,70
Distribuzione aeraulica	0,83	0,83	-
Distribuzione mista	0,82	0,82	-

Tabella 11: – Efficienze medie η_{gn} dei sottosistemi di generazione dell'edificio di riferimento per la produzione di energia termica per i servizi di H, C, W e per la produzione di energia elettrica in situ [14]

Sottosistemi di generazione:	Produzione di energia termica			Produzione di energia elettrica in situ
	H	C	W	
- Generatore a combustibile liquido	0,82	-	0,80	-
- Generatore a combustibile gassoso	0,95	-	0,85	-
- Generatore a combustibile solido	0,72	-	0,70	-
- Generatore a biomassa solida	0,72	-	0,65	-
- Generatore a biomassa liquida	0,82	-	0,75	-
- Pompa di calore a compressione di vapore con motore elettrico	3,00	(*)	2,50	-
- Macchina frigorifera a compressione di vapore a motore elettrico	-	2,50	-	-
- Pompa di calore ad assorbimento	1,20	(*)	1,10	-
- Macchina frigorifera a fiamma indiretta	-	$0,60 \times \eta_{gn}$ (**)	-	-
- Macchina frigorifera a fiamma diretta	-	0,60	-	-
- Pompa di calore a compressione di vapore a motore endotermico	1,15	1,00	1,05	-
- Cogeneratore	0,55	-	0,55	0,25
- Riscaldamento con resistenza elettrica	1,00	-	-	-
- Teleriscaldamento	0,97	-	-	-
- Teleraffrescamento	-	0,97	-	-
- Solare termico	0,3	-	0,3	-
- Solare fotovoltaico	-	-	-	0,1
- Mini eolico e mini idroelettrico	-	-	-	(**)

NOTA: Per i combustibili tutti i dati fanno riferimento al potere calorifico inferiore
 (*) Per pompe di calore che prevedono la funzione di raffrescamento di considera lo stesso valore delle macchine frigorifere della stessa tipologia
 (**) si assume l'efficienza media del sistema installato nell'edificio reale

- Almeno il 60% dei consumi per la climatizzazione invernata ed estiva e per la produzione di acqua calda sanitaria deve essere soddisfatta da impianti di produzione da fonti rinnovabili, come richiesto dall'articolo art. 26, comma 11, del decreto legislativo n. 199 del 2021 [12].

Nei paragrafi successivi verrà analizzato il caso studio e verificato il rispetto di quest'ultimo dei requisiti per essere classificato come edificio ad energia quasi zero.

2. *Il Software utilizzato*

Attraverso l'uso del software Namirial Termo 6.0 è stato possibile modellare l'edificio esistente e quello di nuova costruzione con le relative caratteristiche di componenti opachi, trasparenti ed impianti e calcolarne così, per entrambe i casi, il fabbisogno energetico estivo ed invernale [17].

Il software è compatibile con le più recenti specifiche tecniche, quali [18]:

- UNI/TS 11300-1:2014: "Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale" [16];
- UNI/TS 11300-2:2019: "Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali" [19];
- UNI/TS 11300-3:2010: "Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione e dei rendimenti per la climatizzazione estiva" [20];
- UNI/TS 11300-4:2016: "Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria" [21];
- UNI/TS 11300-5:2016: "Calcolo dell'energia primaria e della quota da energia rinnovabile" [22];
- UNI/TS 11300-6:2016: "Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori, scale mobili e marciapiedi mobili" [23];
- UNI 10349:2016: "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" [24];
- UNI EN ISO 13370: per il calcolo degli scambi con il terreno [25];
- UNI EN ISO 13786: per il calcolo della capacità termica [26];
- UNI EN 15193:2008: per la valutazione della prestazione energetica dei sistemi di illuminazione [27];
- Legge 10/91 D.P.R. n. 412/93 [28];
- D.G.R. n.46 – 11968 [29];
- D.Lgs. 192/2005 [5];
- D.M. 26/06/2015 [6] in materia di contenimento del consumo energetico degli edifici e con la Finanziaria 2008;
- D.M. 19/02/2007 aggiornato dal D.M. 07/04/2008 [30];
- D.M. 26/01/2010 [31];
- Il calcolo dinamico orario è eseguito secondo la norma UNI EN ISO 52016-1:2018 [32].

Lo scopo dell'utilizzo del software è stato quello di poter valutare i carichi termici, gli indici di prestazione energetica e la valutazione del rispetto, o meno, dei requisiti minimi sopra citati.

3. Calcolo dei carichi termici ed EPG

3.1. Calcolo dei carichi termici

La Normativa UNI/TS 11300 [33] fornisce la metodologia da seguire per il calcolo dei fabbisogni di energia termica, sia per il caso estivo sia invernale, al fine di mantenere la temperatura interna di progetto pari a:

- 20 °C nel caso invernale;
- 26°C nel caso estivo.

All'interno della Norma viene fornito un bilancio energetico da seguire per la zona termica in oggetto [34].

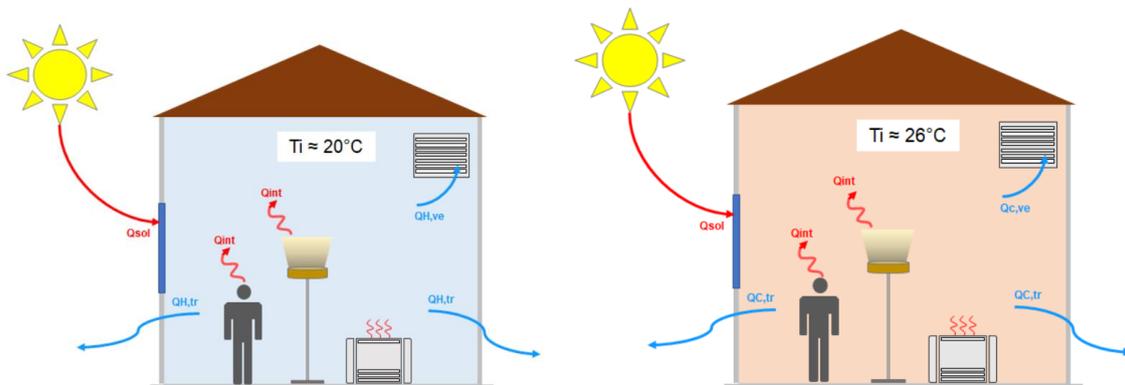


Figura 2: Bilancio energetico dell'edificio invernale (sx) ed estivo (dx) [35]

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

Equazione 3: Calcolo del Fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio in riscaldamento [33]

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

Equazione 4: Calcolo del Fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio in raffrescamento [33]

Legenda		
$Q_{H,nd}$	Fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per il riscaldamento	kWh
$Q_{C,nd}$	Fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per il raffrescamento	kWh
$Q_{H,ht}$	Scambio termico totale nel caso di riscaldamento	kWh
$Q_{C,ht}$	Scambio termico totale nel caso di raffrescamento	kWh
$Q_{H,tr}$	Scambio termico per trasmissione nel caso di riscaldamento	kWh
$Q_{C,tr}$	Scambio termico per trasmissione nel caso di raffrescamento	kWh
$Q_{H,ve}$	Scambio termico per ventilazione nel caso di riscaldamento	kWh
$Q_{C,ve}$	Scambio termico per ventilazione nel caso di raffrescamento	kWh
Q_{gn}	Apporti termici totali	kWh
Q_{int}	Apporti termici interni	kWh
Q_{sol}	Apporti termici solari	kWh
$\eta_{H,gn}$	Fattore di utilizzazione degli apporti termici	kWh
$\eta_{C,is}$	Fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche	kWh

Attraverso l'Equazione 2, è possibile ottenere il valore del fabbisogno ideale di energia termica richiesta dall'edificio per il riscaldamento: questo risulta essere pari alla differenza tra lo scambio termico totale (composto dalla somma del contributo di scambio termico per trasmissione e per ventilazione) e gli apporti

termici totali (definiti come la somma tra gli apporti solari e gli apporti interni) moltiplicati per un fattore di utilizzazione degli apporti stessi.

Dall'Equazione 3, invece, è possibile ottenere il valore del fabbisogno ideale di energia termica richiesta dall'edificio per il raffrescamento ottenuto dalla differenza tra gli apporti termici totali (la somma degli apporti solari ed interni) e lo scambio termico totale (la somma dello scambio termico per trasmissione e ventilazione) moltiplicati per un fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche.

Di seguito si analizza i singoli fattori costituenti le due equazioni sopra citate:

- Scambio termico per trasmissione: fa riferimento allo scambio termico che avviene tra la zona termica considerata e tutte le superfici disperdenti che la compongono come zone esterne, terreno, zone climatizzate e zone non climatizzate [36];
- Scambio termico per ventilazione: tiene conto dei ricambi d'aria necessari per garantire una corretta qualità dell'aria in base al livello di occupazione dei locali ed alla loro destinazione d'uso. Tale ricambio comporta uno scambio termico di ventilazione proporzionale alla differenza di temperatura tra ambiente climatizzato ed ambiente esterno [36];
- Apporti termici interni: considera tutti gli apporti di calore dovuti al metabolismo degli occupanti, al calore delle apparecchiature elettriche ed all'illuminazione. Tali valori sono valutati per ogni zona termica dell'edificio [36];
- Apporti termici solari: relativi all'irraggiamento solare riguardanti sia i componenti vetrati che i componenti opachi. Per la valutazione di tali apporti è necessaria una valutazione degli eventuali ombreggiamenti derivanti da edifici o vegetazione confinante con l'immobile [36].

3.2. *Calcolo dell'indice EPG*

Il valore di indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio $EP_{gl,nren}$, utile per l'Attestato di Prestazione Energetica (APE) dell'edificio, permette di avere una misura del consumo energetico dell'edificio: rappresenta infatti l'energia totale non rinnovabile necessaria ad un immobile climatizzato ogni anno per metro quadro di superficie utile all'anno.

Il valore dell'indice ottenuto, una volta confrontato con la scala di classificazione definita nel D.M. 60/06/2025 all'Articolo 4 Comma 4 [37] permette di determinare la classe energetica dell'edificio. Il concetto di "Classe Energetica" è contenuto all'interno del DM Linee Guida APE [38] e viene definita come "la Classe Energetica dell'edificio è determinata sulla base dell'Indice di Prestazione Energetica globale non rinnovabile dell'edificio $EP_{gl,nren}$, per mezzo del confronto con una scala di classi prefissate, ognuna delle quali rappresenta un intervallo di prestazione energetica definito" [38].

Gli intervalli di prestazione che caratterizzano le singole classi energetiche, contenuti all'interno del suddetto Decreto Ministeriale, vengono ricavati attraverso coefficienti moltiplicativi di riduzione/maggiorazione di un valore noto come $EP_{gl,nren,rif,standard}$ (2019/21) [39].

In Tabella 12 si riportano i valori dei coefficienti moltiplicativi.

Tabella 12: Scala di classificazione degli edifici sulla base dell'indice di Prestazione Energetica globale non rinnovabile $EP_{gl,nren}$ [39]

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

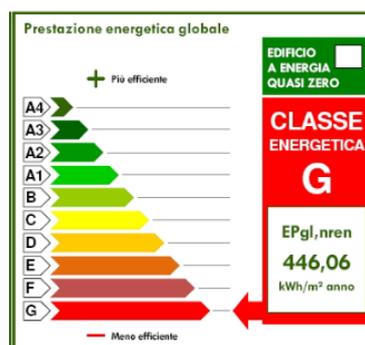


Figura 3: Esempio classe energetica per un generico edificio

L'indice $EP_{gl,nren}$ è ottenuto come somma di fattori [40] quali:

$$EP_{gl,nren} = EP_{H,nren} + EP_{W,nren} + EP_{C,nren} + EP_{V,nren} + EP_{L,nren} + EP_{T,nren} \quad [kWh/m^2 \text{ anno}]$$

Equazione 5: Calcolo dell'Indice di Prestazione Energetica globale non rinnovabile dell'edificio $EP_{gl,nren}$ [40]

Legenda:		
$EP_{H,nren}$	Prestazione energetica da fonti non rinnovabili per il riscaldamento	$kWh/m^2 \text{ anno}$
$EP_{W,nren}$	Prestazione energetica da fonti non rinnovabili per la produzione di acqua calda sanitaria	$kWh/m^2 \text{ anno}$
$EP_{C,nren}$	Prestazione energetica da fonti non rinnovabili per il raffrescamento	$kWh/m^2 \text{ anno}$
$EP_{V,nren}$	Prestazione energetica da fonti non rinnovabili per ventilazione;	$kWh/m^2 \text{ anno}$
$EP_{L,nren}$	Prestazione energetica da fonti non rinnovabili per illuminazione	$kWh/m^2 \text{ anno}$
$EP_{T,nren}$	Prestazione energetica da fonti non rinnovabili per i servizi ausiliari	$kWh/m^2 \text{ anno}$

4. Edificio esistente

4.1. Descrizione dell'edificio esistente

L'immobile esistente, con il quale verrà confrontato l'edificio di nuova costruzione, è situato nella città di Santena in provincia di Torino (TO).

Dati Climatici	
Località	Santena
Provincia	Torino
Altitudine s.l.m.	237 m
Latitudine	44° 56' N
Longitudine	7° 45' E
Zona Climatica	E

Tabella 13: Dati climatici città di Santena (TO) [41]

Edificato nei primi anni '90 del secolo scorso, con destinazione d'uso prevalente dell'immobile (DPR 412/93): "E.1 (1) Abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo: quali abitazioni civili e rurali" [28], risulta costituito da due piani fuori terra riscaldati ed un sottotetto non riscaldato. Al piano primo sono presenti i locali adibiti a zona salotto, cucina ed un bagno, mentre a piano primo sono presenti tre camere da letto ed un bagno.



Figura 4: Vista esterna edificio esistente

Tabella 14: Parametri caratteristici dell'edificio esistente

Zona	Superficie in pianta utile [m ²]	Volume netto [m ³]
Piano Terra	80,26	240,80
Piano Primo	80,45	241,37

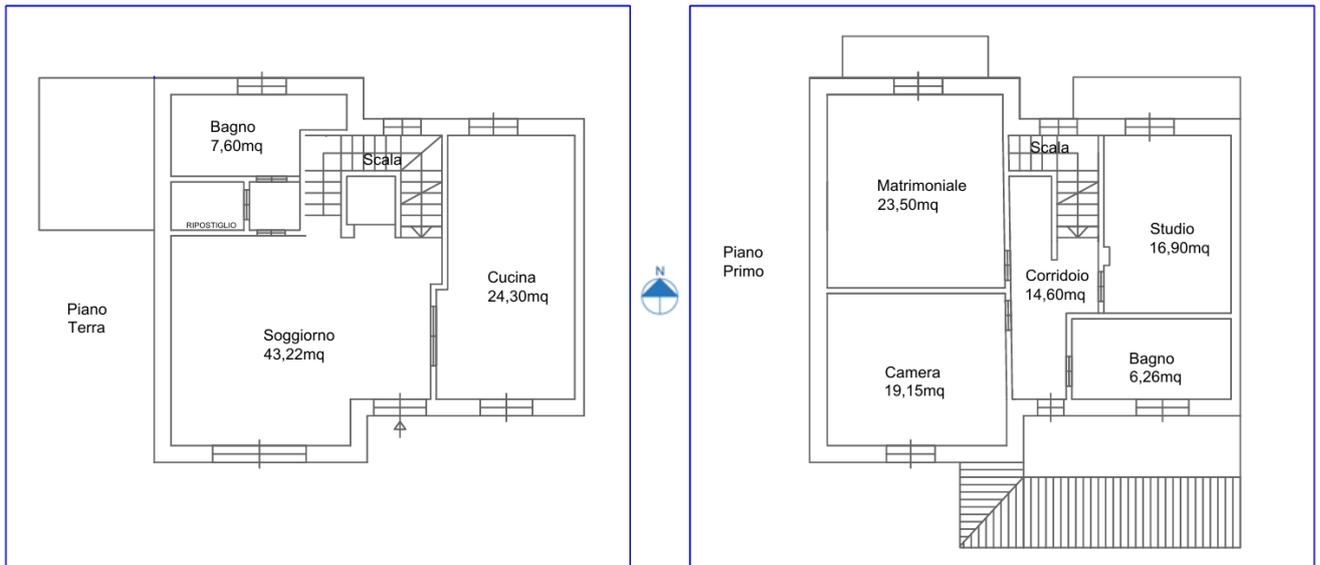


Figura 5: Pianta edificio esistente – Piano Terra e Piano Primo

L'immobile risulta libero su tre lati e confinante, sul lato est, con un edificio, anch'esso, con destinazione d'uso residenziale.

4.2. Parametri climatici

La località di riferimento per i dati climatici è Santena, a cui corrispondono 2580 GG (Gradi Giorno della zona d'insediamento, determinati in base al DPR 412/93 [28]), una zona climatica E ed un periodo di riscaldamento convenzionale giugno a settembre, per un totale di 183 giorni [42]. In Tabella 15 sono sintetizzati i dati climatici mensili standard utilizzati per il calcolo, ricavati dal software.

Temperatura media mensile [°C]												
gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	
1,2	3,1	8,3	11,9	18,0	22,1	23,6	22,6	19,1	12,3	6,8	2,6	

Tabella 15: Temperatura media mensile standard [°C] per la città di Santena (TO) [28]

La temperatura minima di progetto (dell'aria esterna secondo norma UNI 5364 e successivi aggiornamenti [43]) è pari a -8°C, mentre la temperatura massima estiva di progetto dell'aria esterna è pari a 30,7°C.

Irradianza media mensile [W/m ²]												
	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Orizzontale	53,2	89,1	135,4	185,2	228	263,9	277,8	233,8	169	104,2	55,6	45,1
S	92,9	117,6	131,3	121,4	114,1	117	127,4	135	139,6	124	81,9	87,9
SE/SO	73,1	99	124	135,4	138,8	148,1	161,4	158,2	141	107,8	66,4	67,9
E/O	42,7	67,8	98,9	127,9	149,3	169,8	181,1	158,3	120,4	77,9	42,4	37,1
NE/NO	21	37,7	60,8	91,1	122,1	145,1	149,8	118,8	79	45,1	23,9	17,2
N	19,2	30,9	41,9	58,8	90,4	112,8	110,9	79,3	51,9	35,3	21,8	16,1

Tabella 16: Irradianza media mensile [W/m²] per la città di Santena (TO) [28]

4.3. *Involucro opaco*

Per la determinazione puntuale e precisa delle stratigrafie dell'involucro, non essendo presente alcuna documentazione attestata le effettive caratteristiche (materiali usati, spessori e trasmittanze), sarebbe stato necessario effettuare operazioni invasive come, ad esempio, operazioni di carotaggio. Per non andare a danneggiare l'esistente, si è deciso di far riferimento alle tipologie costruttive tipicamente usate in edifici simili per utilizzo, tipologia, zona termica e costruiti nello stesso periodo storico. Si è però tenuto in considerazione di tutte le informazioni che è stato possibile reperire in loco (comprese le rimembranze riportate dai proprietari).

Per ogni componente è stata valutata la relativa stratigrafia con lo scopo di determinare la trasmittanza termica U.

L'involucro opaco verticale è stato diviso in tre categorie:

- Murature esterne: costituite da una struttura a cassavuota intonacata;
- Murature interne: i tramezzi costituiti mattone forato in laterizio ed intonaco;
- Muratura interna verso altra unità immobiliare: costituito da mattoni in laterizio ed intonaco.

Anche l'involucro orizzontale è stato differenziato in:

- Basamento controterra: costituito, oltre ad uno strato di ghiaia, da uno strato di intercapedine grazie all'utilizzo degli "igloo";
- Soletta interpiano: costituita da blocchi in laterizio, travetti in calcestruzzo e malta;
- Soletta verso sottotetto: simile alla soletta interpiano ma priva di pavimentazione;

La copertura, invece, in cemento con una porzione (circa 10cm) di intercapedine d'aria debolmente ventilata ad isolamento e tegole in terracotta a chiusura.

Per alleggerire la trattazione, nel caso dell'edificio esistente, si è scelto di riportare esclusivamente i valori delle grandezze significative relative alle strutture opache e non l'intera stratigrafia. La trattazione dettagliata di ogni grandezza sarà riportata nel Capitolo 5.1.

Di seguito, in Tabella 17, si riporta una sintesi delle caratteristiche dei componenti opachi.

Tabella 17: Dettagli componenti involucro opaco - edificio esistente

Componente opaco	Spessore [cm]	Massa superficiale [kg/m ²]	Trasmittanza termica periodica YIE [W/m ² K]	Sfasamento [h]	Capacità Termica [kJ/m ² K]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
Muratura esterna	30	245,21	0,169	8,941	54,476	0,443
Muratura interna	10	62	1,806	2,677	40,539	2,06
Muratura interna - Verso a.u.i.	25	242,99	0,419	8,434	52,622	1,182
Basamento controterra	43,5	134,25	0,267	8,112	63,199	0,869
Solaio interpiano	27,5	348,56	0,612	8,499	74,362	1,698
Solaio verso sottotetto	26	341,07	0,457	8,005	74,123	1,711
Copertura	32,6	311,25	0,661	7,835	74,531	1,672

4.4. Involucro trasparente

Gli infissi dell'edificio esistente sono costituiti da un telaio in legno e dotati di doppio vetro non basso-emissivo con intercapedine d'aria. Ad eccezione della finestra grande (F1:250X180) a piano terra (dotata di n.4 ante) e della porta finestra (P1:60X240) a piano primo (dotata di n.1 anta), tutti i serramenti sono a doppia anta. In tabella si riporta un riepilogo degli infissi presenti.

Tutte le finestre sono dotate di persiane, anche queste in legno.



Figura 6: Esempio di infisso dell'edificio esistente

In Tabella 18, si riporta una sintesi delle caratteristiche dell'involucro trasparente. Per alleggerire la trattazione, come nel caso dei componenti opachi, anche per i componenti trasparenti dell'edificio esistente si è scelto di riportare esclusivamente il valore delle aree e le trasmittanze dei componenti finestrati.

Componente trasparente	Tipologia vetro	Tipologia telaio	Altezza infisso [cm]	Larghezza infisso [cm]	Area Vetro [m ²]	Area Telaio [m ²]	Area Infisso [m ²]	Trasmittanza vetro [W/m ² K]	Trasmittanza infisso [W/m ² K]
F1	doppio	legno	180	250	4,12	0,38	4,5	2,7	2,95
F2	doppio	legno	130	160	1,9	0,18	2,08	2,7	2,95
F3	doppio	legno	70	100	0,63	0,07	0,7	2,7	2,98
P1	doppio	legno	240	60	1,32	0,12	1,44	2,7	2,94
P2	doppio	legno	240	130	2,88	0,24	3,12	2,7	2,93

Tabella 18: Dettagli componenti involucro trasparente - edificio esistente

Legenda	
F	Finestra
P	Portafinestra

4.5. Impianto

A livello impiantistico, l'immobile non risulta raffrescato nella stagione estiva, mentre per il riscaldamento invernale e l'acqua calda sanitaria è presente una caldaia a condensazione alimentata a metano installata in un locale esterno confinante con l'abitazione adibito a centrale termica, sostituita nel 2018, con potenza di 24,5kW e rendimento termico utile al 100% della potenza nominale pari a 92,4%.



Figura 7: Caldaia installata nell'edificio esistente

I terminali di emissione, per tutti i locali, sono radiatori in ghisa installati su pareti esterne.



Figura 8: Esempio di radiatore installato nell'edificio esistente

4.6. Modello Energetico

Per poter modellare l'edificio esistente attraverso il software Namirial Termo 6.0 [17], sono state, dapprima, definite le zone termiche.

Come indicato nella UNI TS 11300-1:2014 con zona termica si intende una "parte dell'ambiente climatizzato mantenuto a temperature (ed eventualmente umidità) uniforme attraverso lo stesso impianto di climatizzazione" [16].

In Tabella 19 si riportano le zone termiche individuate con relativi dati geometrici di superficie e altezza.

Tabella 19: Dati geometrici delle singole zone termiche dell'edificio esistente: aree [m²] e volumi [m³]

	Locale	Area [m ²]	Altezza netta [m]	Volume [m ³]
Piano Terra	Salotto	43,22	2,70	116,68
	Scala	5,13	6,00	30,76
	Cucina	24,29	2,70	65,57
	Bagno PT	7,63	2,70	20,61
Piano Primo	Corridoio	14,58	2,70	39,38
	Matrimoniale	23,53	2,70	63,54
	Studio	16,93	2,70	45,71
	Camera	19,15	2,70	51,71
	Bagno P1	6,26	2,70	16,91

Il valore di progetto della temperatura interna di set-point, per ogni zona termica, nella stagione invernale è stato posto pari a 20°C ed il valore di progetto dell'umidità relativa interna invernale pari al 50%. Anche se non presente l'impianto di climatizzazione estiva, sono stati inseriti i valori di progetto della temperatura interna di set-point e dell'umidità relativa interna estivi rispettivamente posti pari a 26°C e 50% [16].

A valle dell'inserimento dei componenti di involucro opaco e trasparente elencati nel paragrafo precedente e dell'impianto, ma anche dei profili di occupazione e di illuminazione, è stato possibile definire il modello 3D dell'edificio.

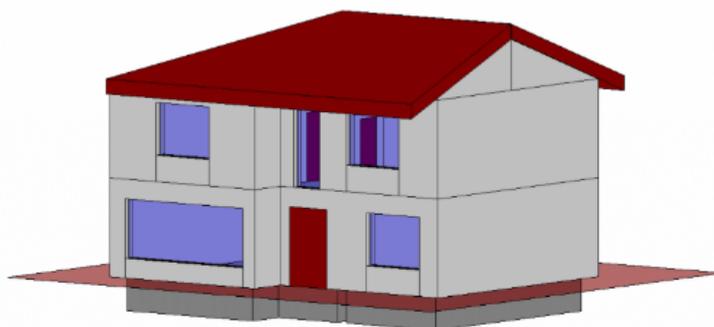


Figura 9: Vista 3D dell'edificio esistente da modello di Namirial Termo 6.0 [17]

4.6.1. Risultati del calcolo

I risultati di calcolo permettono di determinare la classe energetica del fabbricato che risulta rientrare nella classe F, secondo la classificazione prevista dal D.M. 26/05/2015 – Linee guida classificazione energetica [40] che vede la presenza di un $EP_{gl,nren}$ pari a $208,20 \frac{kWh}{m^2 anno}$.

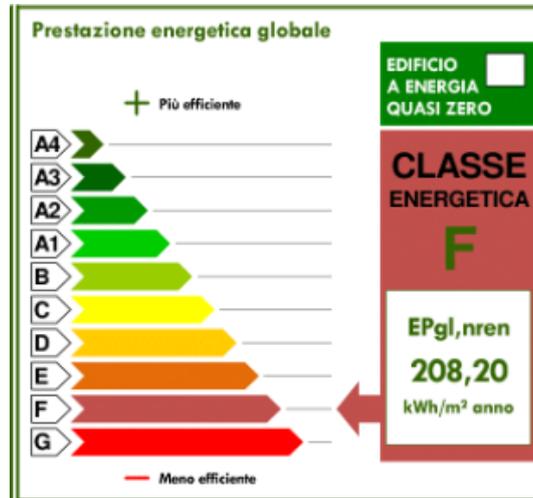


Figura 10: Classe energetica dell'edificio esistente

Certificazione	EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	CO ₂ [kg/m ²]	Classe
Subalterno	181,3	26,9	0,0	0,0	0,0	0,0	208,2	kWh/m ²	0,7983	0,5503	---	40,90	F

Figura 11: valori di EPG ottenuti dalla modellazione relativi all'edificio esistente

4.7. Valutazione dei consumi

Avendo a disposizione le bollette dei reali consumi di gas naturale e di corrente elettrica, si è scelto di confrontare questi ultimi con i valori ottenuti dal modello termico.

4.7.1. Gas Naturale

In Tabella 20 sono riportati i fabbisogni di energia termica, convertiti in m^3 di metano, ottenuti dal modello.

	Qp, tot, H [kWh]	Qp, tot, C [kWh]	Qp, tot, W [kWh]	Qp, tot [kWh]	Qp, tot [smc]
Gen	7.252,40	0,00	344	7.596,40	1.026,54
Feb	5.507,60	0,00	310,6	5.818,20	786,24
Mar	3.606,00	0,00	344	3.950,00	533,78
Apr	1.201,80	0,00	334,9	1.536,70	207,66
Mag	0	0	450,1	450,10	60,82
Giu	0	0	420	420,00	56,76
Lug	0	0	428,3	428,30	57,88
Ago	0	0	432,1	432,10	58,39
Set	0	0	431,4	431,40	58,30
Ott	1.492,80	0,00	345,6	1.838,40	248,43
Nov	4.604,10	0,00	332,8	4.936,90	667,15
Dic	6.670,90	0,00	343,9	7.014,80	947,95
TOTALE	30.335,60	0,00	4.517,70	34.853,30	4.709,91

Tabella 20: Fabbisogni di energia termica in [kWh] e [smc] - edificio esistente

Legenda		
$Q_{p,tot,H}$	Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento	[kWh]
$Q_{p,tot,C}$	Fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento	[kWh]
$Q_{p,tot,W}$	Fabbisogno di energia primaria per per l'acqua calda sanitaria	[kWh]
$Q_{p,tot}$	Fabbisogno di energia primaria totale	[kWh]

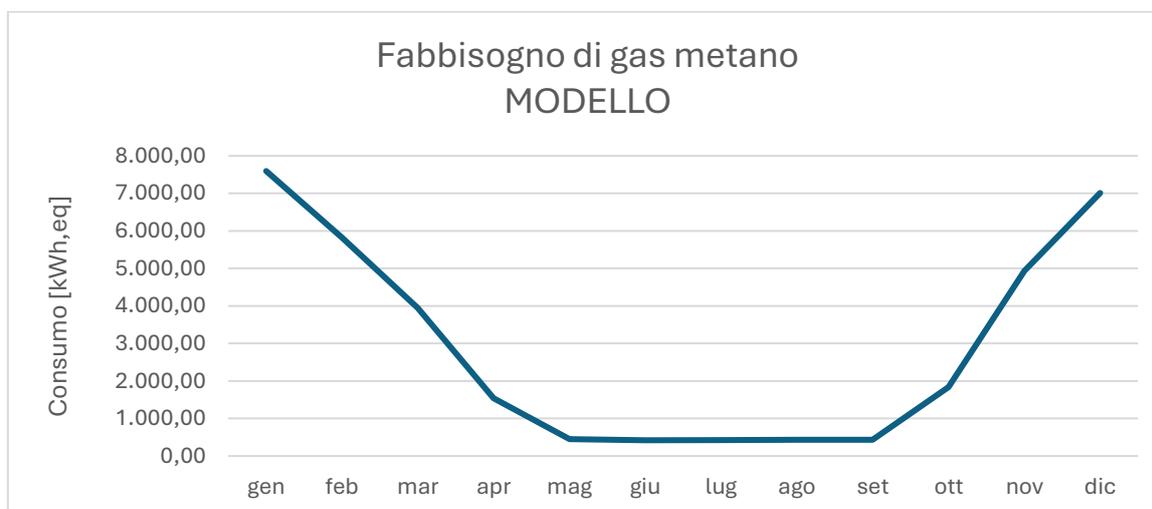


Grafico 1: Fabbisogno di gas naturale [kWh,eq] - edificio esistente

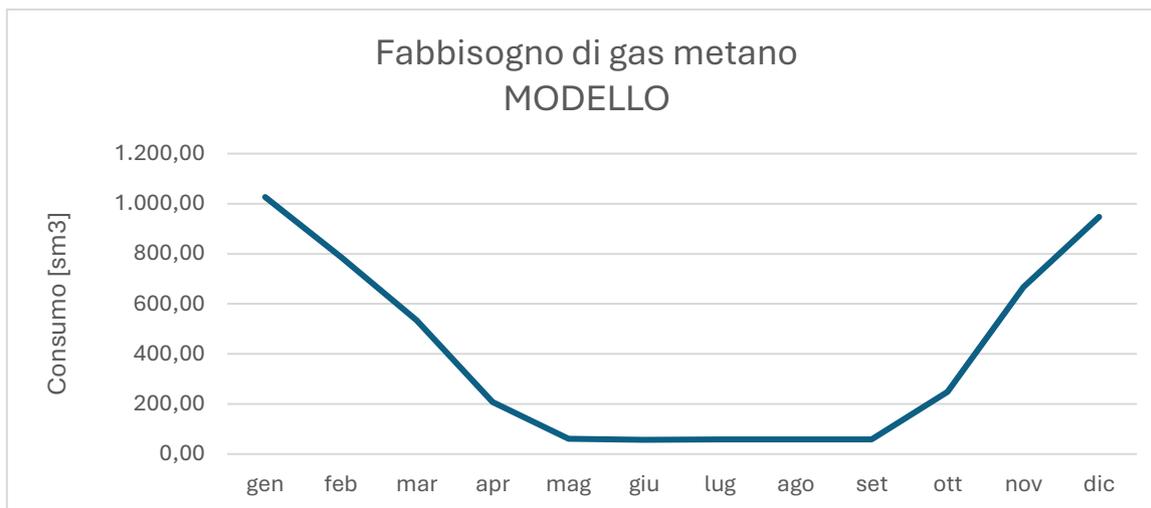


Grafico 2: Fabbisogno di gas naturale [smc] - edificio esistente

Tali valori sono stati confrontati con i consumi reali reperiti dalle bollette del gas naturale relative a 5 anni (2019-2024). Si è successivamente ottenuto l'andamento dei consumi per un anno considerato come anno di riferimento ottenuto come media dei consumi dei 5 anni considerati. In Tabella 21 si riportano i consumi di gas metano mensili dell'anno di riferimento.

Tabella 21: Consumi reali di gas naturale [smc] relativi all'anno di riferimento - edificio esistente

	Consumi Anno Riferimento [sm ³]
Gennaio	1030,00
Febbraio	717,34
Marzo	652,89
Aprile	269,64
Maggio	62,12
Giugno	15,22
Luglio	14,47
Agosto	15,73
Settembre	16,75
Ottobre	174,46
Novembre	581,73
Dicembre	978,22
TOTALE	4528,57

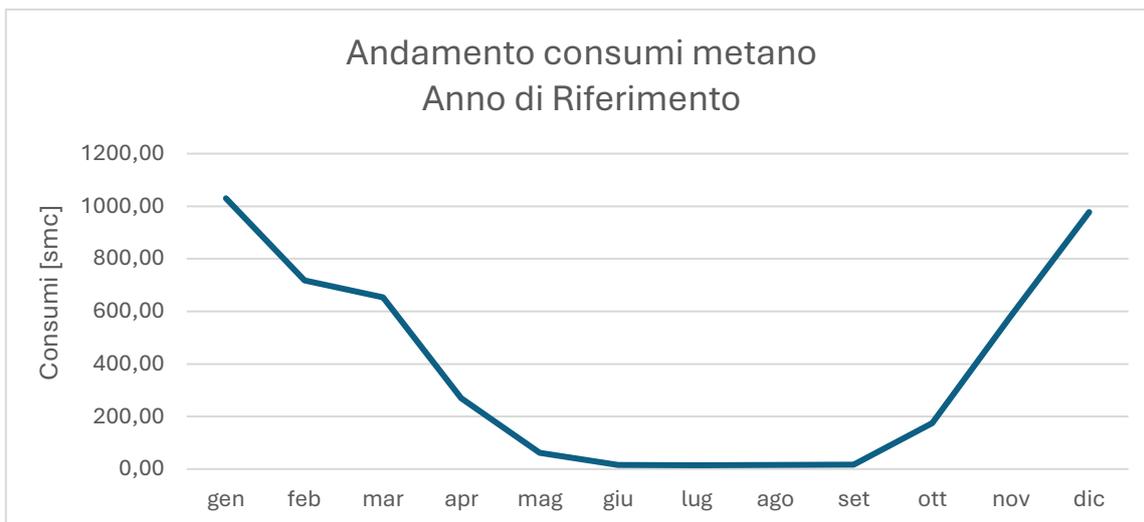


Grafico 3: Consumi di gas naturale reali [smc] da bolletta per l'anno di riferimento - edificio esistente

Analizzando l'andamento, si osserva un quasi totale annullamento dei consumi di gas nel periodo estivo, periodo nel quale l'impianto di riscaldamento risulta spento. I consumi non sono totalmente annullati a causa dei consumi legati all'acqua calda sanitaria.

Confrontando i valori di consumo da bolletta e quelli del modello, si osserva come tali valori abbiano un andamento coerente tra loro, come visibile nel Grafico 4. Si osserva una sottostima dei valori di consumo, nei periodi invernali, ed una sovrastima nei periodi estivi. Visto anche il valore di scostamento tra il totale di consumi reali rispetto al totale dei consumi stimati dal modello è pari circa il 4%, si può considerare il modello corretto e rappresentativo del reale.

Tabella 22: Confronto consumi di gas naturale [sm³] tra reale e modello – edificio esistente

	Modello [sm ³]	Reale [sm ³]
Gennaio	1026,54	1030,00
Febbraio	786,24	717,34
Marzo	533,78	652,89
Aprile	207,66	269,64
Maggio	60,82	62,12
Giugno	56,76	15,22
Luglio	57,88	14,47
Agosto	58,39	15,73
Settembre	58,30	16,75
Ottobre	248,43	174,46
Novembre	667,15	581,73
Dicembre	947,95	978,22
TOT	4709,91	4528,57

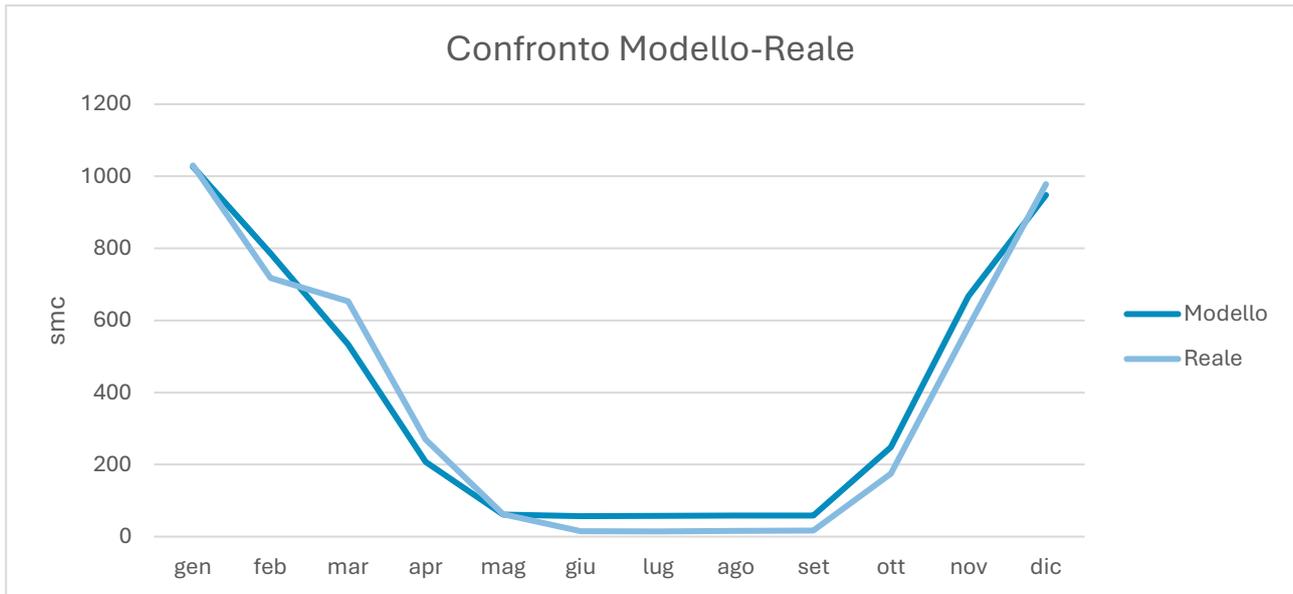


Grafico 4: Confronto consumi reali ed ottenuti da modello di gas naturale - edificio esistente

4.7.2. Corrente elettrica

Similmente a quanto fatto in precedenza per il gas naturale, si è proceduto con la medesima valutazione nel caso dei consumi di corrente elettrica. L'anno di riferimento, in questo caso, è stato calcolato basandosi sui consumi di 6 anni. (2018-2024).

Tabella 23: Consumi reali di corrente elettrica [kWh] ripartiti in fasce – edificio esistente

anno riferimento	F1 [kWh]	F2 [kWh]	F3 [kWh]	TOTALE mese [kWh]
gen	104,13	93,10	137,82	335,05
feb	93,50	91,66	108,22	293,38
mar	90,66	98,05	98,82	287,53
apr	70,63	86,83	105,92	263,38
mag	76,12	83,86	105,28	265,26
giu	82,78	76,51	99,23	258,52
lug	85,14	85,92	107,38	278,44
ago	90,53	84,52	102,65	277,70
set	86,92	91,10	95,40	273,42
ott	92,27	91,57	116,61	300,45
nov	92,01	89,46	113,67	295,14
dic	91,42	96,90	136,88	325,19
TOTALE anno [kWh]				3453,46

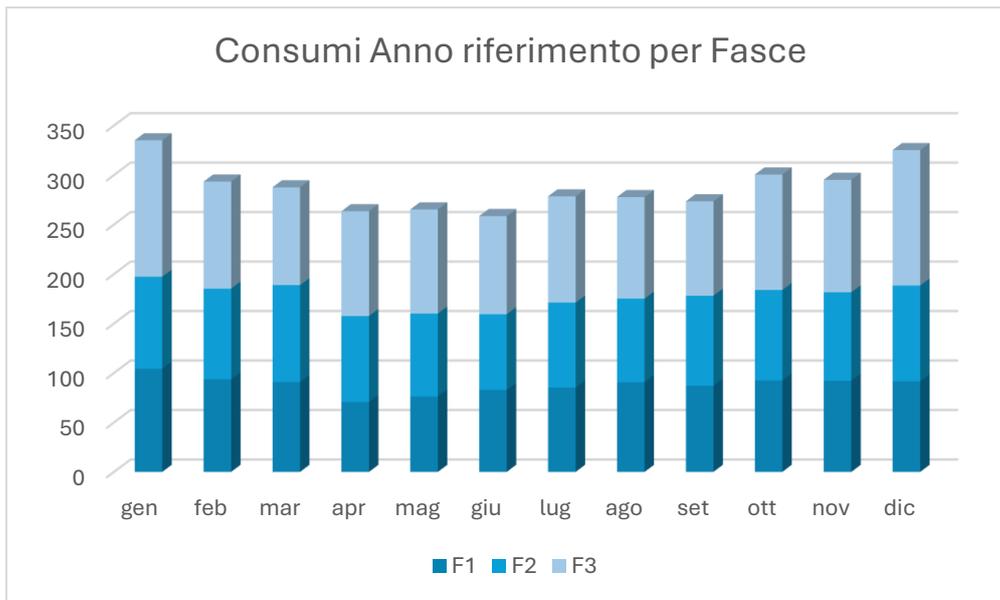


Grafico 5: Consumi di corrente elettrica reali [kWh] da bolletta per l'anno di riferimento - edificio esistente

Nel caso della corrente elettrica, si è deciso di non fare un confronto con i valori ottenuti dal modello in quanto la quota legata ai consumi di elettrodomestici etc non viene in esso considerata.

5. Edificio di nuova costruzione

Per l'edificio di nuova costruzione si è deciso di creare un edificio, medesimo nelle forme (per piante e prospetti) dell'esistente, ma che permettesse di rispettare i requisiti stabiliti dalle norme per le nuove costruzioni.

I valori di progetto sono stati considerati medesimi a quelli dell'edificio esistente, nel dettaglio:

- Inverno: Il valore di progetto della temperatura interna di set-point, per ogni zona termica, è stato posto pari a 20°C ed il valore di progetto dell'umidità relativa interna invernale pari al 50% [16];
- Estate: Il valore di progetto della temperatura interna di set-point, per ogni zona termica, è stato posto pari a 26°C ed il valore di progetto dell'umidità relativa interna invernale pari al 50% [16].

Di seguito saranno trattati nel dettaglio i componenti costituenti l'edificio di nuova costruzione.

5.1. Materiali utilizzati e stratigrafie

Lo scopo di questo paragrafo è quello di analizzare le stratigrafie e le relative proprietà dei componenti opachi e trasparenti utilizzati per la realizzazione dell'edificio di nuova costruzione. Attraverso il software Namirial Termo 6.0 [17] è stato possibile determinare i valori di trasmittanza dei componenti e la conseguente verifica termo-igrometrica del rispetto di queste ultime dei limiti imposti dalle normative vigenti.

5.1.1. Componenti opachi verticali

Per la struttura opaca del nuovo edificio è stata scelta la struttura in legno lamellare NIDUS [44], dell'omonima azienda. Il sistema costruttivo NIDUS si basa sull'utilizzo di materiali come il legno di abete lamellare, getto idrotermoregolatore in agglomerato a base di calce idraulica naturale e lana di legno. Ulteriore punto peculiare di questa tecnologia scelta sta nel fatto che la struttura è concepita come pannelli prefabbricati: i componenti vengono infatti realizzati in stabilimenti appositi e solo in seguito trasportati sul luogo di costruzione. Questo permette di avere un minor impatto ambientale in quanto, ad esempio, è possibile ridurre i rifiuti di cantiere o limitare i tempi di costruzione rispetto ai metodi tradizionali [44].

Inoltre, grazie all'assenza di giunzioni nei pannelli prefabbricati è possibile avere un'eliminazione dei ponti termici e, di conseguenza, degli effetti negativi che ne conseguirebbero.

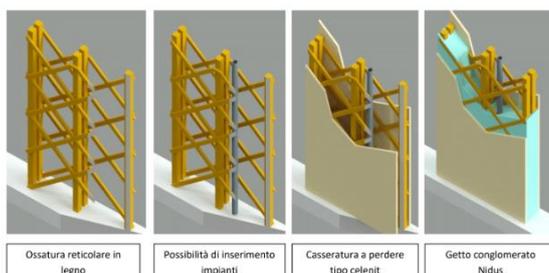


Figura 12: Schema di montaggio parete NIDUS [44]

5.1.1.1. Muratura verso esterno

In Figura 13 è riportata la stratigrafia delle murature verso l'esterno, mentre in Tabella 24 sono elencate le proprietà globali e dei singoli strati relativi alla precedente stratigrafia.

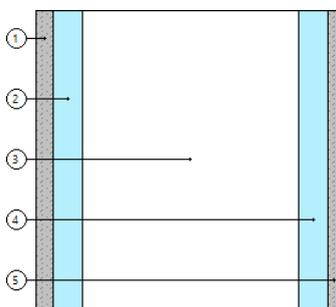


Figura 13: Stratigrafia muratura verso l'esterno – edificio di nuova costruzione

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	Spessore [cm]	λ [W/mK]	δ [kg/m ³]	R [m ² K/W]	μ [-]
1	Malta di calce	2	0,9	1800	0,022	22
2	CELENIT N	3,5	0,065	500	0,538	5
3	NIDUS88 Maggiorato Legno	26	0,09	442	2,889	8
4	CELENIT N	3,5	0,065	500	0,538	5
5	Malta di calce	1,5	0,9	1800	0,017	22
Spessore		36,5				

U [W/m ² K]	Massa superficiale [kg/m ²]	YIE [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C [kJ/m ² K]
0,24	212,92	0,015	19,229	44,437

Tabella 24: Parametri caratteristici muratura verso l'esterno – edificio di nuova costruzione

Legenda simboli	Denominazione	Unità di misura
s	Spessore	[mm]
λ	Conduktività termica	[W/mK]
δ	Massa Volumica	[kg/m ³]
R	Resistenza termica	[m ² K/W]
μ	Coefficiente di traspirabilità	[-]
U	Trasmittanza termica	[W/m ² K]
Yie	Trasmittanza termica periodica	[W/m ² K]
C	Capacità termica	[kJ/m ² K]

Di seguito si riporta una breve caratterizzazione dei parametri interessati, facendo riferimento al caso specifico di un generico materiale isolante:

- Spessore s [mm]: lo scopo principale di un isolante è quello di poter garantire elevate prestazioni di isolamento con il minor spessore possibile, in modo da non avere volumi persi;
- Conduktività termica λ [W/mK]: rappresenta la capacità del materiale nel condurre il calore. Un buon isolante deve quindi avere un valore di λ il più piccolo possibile;

- Coefficiente di traspirabilità μ [-]: un buon materiale isolante deve avere il valore di μ il minimo possibile per permettere una migliore trasmissibilità della parete ed evitare così formazione di condense superficiali e muffe;
- Capacità termica C [W/m^2K]: parametro molto utile in particolare nel caso di regime estivo. Maggiore è il valore di C e minore sarà il calore entrante dall'esterno verso l'interno;
- Sfasamento [h]: lo sfasamento termico indica il tempo necessario affinché il calore raggiunga gli ambienti interni. Tanto maggiore è il valore dello sfasamento e tanto migliore sarà la capacità del materiale isolante nel ritardare l'ingresso del calore e quindi mantenere le temperature interne stabili;
- Trasmittanza termica periodica YIE: è un parametro utile per valutare la capacità di un componente edilizio nell'attenuare e sfasare il flusso termico in condizioni di sollecitazione termica periodica, per questo è fortemente correlata allo sfasamento. Valutata in regime estivo e quindi in condizioni non stazionarie, nel caso di un materiale isolante deve assumere valori molto bassi e per un buon comportamento estivo, è utile associare ai materiali isolanti dei materiali con elevata capacità termica;
- Massa Volumica δ [kg/m^3]: materiali isolanti hanno generalmente un basso valore di δ in quanto contengono una grande quantità di aria o gas al loro interno, riducendo così la conduzione del calore;
- Resistenza termica R [m^2K/W]: rappresenta la capacità di un materiale di opporsi al passaggio del calore per conduzione. Nel caso di un materiale isolante, il valore di R deve essere il più alto possibile e, essendo il valore della resistenza determinato come il rapporto tra spessore del materiale e la sua conducibilità termica, R sarà tanto maggiore quanto tanto minore sarà il valore di λ , a parità di spessore.

Grazie alle proprietà dei materiali utilizzati, è stato possibile rientrare nei valori di trasmittanza imposti dalle normative vigenti. Inoltre, la struttura non risulta soggetta né a fenomeni di condensa superficiale né a condensa interstiziale.

Condensa interstiziale e superficiale

Con condensa interstiziale si intende la formazione di umidità tra i differenti strati dei diversi materiali che compongono una parete, un solaio o una copertura. Tale fenomeno si verifica quando il vapore acqueo presente nell'aria passa dallo stato gassoso a quello liquido: quando l'umidità relativa (rapporto tra la massa di vapore presente nell'umidità di volume d'aria ad una data temperatura e la massa di vapore necessaria per rendere satura l'aria alla stessa temperatura) dell'aria raggiunge il valore massimo (100%) si raggiunge il punto di rugiada ed il vapore in eccesso condensa. Questo processo è per altro fortemente influenzato dalla temperatura: durante i periodi freddi, l'aria interna, più calda e ricca di vapore, tende a spostarsi verso l'esterno, dove la pressione di vapore è più bassa e, se la temperatura all'interfaccia tra uno strato ed un altro è pari o inferiore a quella di rugiada, il vapore si condensa.

Diversamente, la condensa superficiale si forma sulla superficie, e non all'interno dello spessore, e si forma quando la temperatura superficiale del componente edilizio è pari, o minore, della temperatura di rugiada. Tale situazione si ha in corrispondenza dei ponti termici, zone in cui sono presenti discontinuità nei materiali, o in presenza di isolamento insufficiente.

I fenomeni di condensazione interstiziale vengono studiati sulla base della norma UNI EN ISO 13788 [45] e attraverso il metodo semplificato chiamato "metodo di Glaser".

Il metodo di Glaser permette di verificare se in una struttura, in determinate condizioni termo-igrometriche interne ed esterne, si verifica formazione di condensa e se tale formazione possa alterare le condizioni della struttura. Inoltre, permette anche di valutare se l'eventuale condensa formatasi rientri nei limiti di condensa massima ammissibile prescritta dalla norma.

La norma UNI EN ISO 13788 [45] stabilisce che:

- la condensa non deve mai superare i 500 g/m^2 ;
- l'eventuale condensa formatasi deve rievaporare nell'arco dell'anno in esame.

Il metodo permette di ottenere diagrammi, detti appunto diagrammi di Glaser, che rappresentano sugli assi la resistenza al vapore e la pressione del vapore confrontando l'andamento della pressione di vapore e della pressione di saturazione. Graficamente, si ha formazione di condensa interstiziale quando la pressione di vapore diventa maggiore della pressione di saturazione. In caso contrario non si a formazione di condensa interstiziale.

Come visibile in Figura 14, la linea della pressione di vapore (linea blu) rimane sempre al di sotto e non interseca mai la pressione di saturazione (linea rossa), rendendo nulla la formazione di condensa.

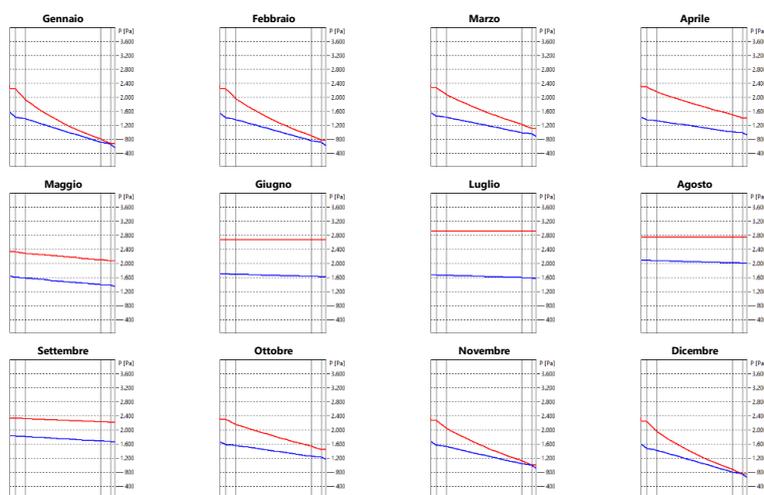


Figura 14: Diagrammi di Glaser - muratura verso esterno edificio di nuova costruzione

Nella sezione Allegati 9.7 si riportano i risultati delle verifiche termo-igrometriche sulla presenza di condensa.

5.1.1.2. Muratura esterna con rasante termoriflettente

Per alcune delle pareti esposte a nord, identificate con colorazione blu sulle piante presenti in Figura 15, si è deciso di posare uno strato pari a 1,2cm di rasante nanotecnologico per migliorare ulteriormente le prestazioni termiche della parete. Nello specifico è stato utilizzato RasoTherm [124]. Il RasoTherm è un rasante idraulico fibrorinforzato sviluppato dalla ditta NanoSilv [46]. Questo prodotto è biocompatibile in quanto composto da materiali come calce idrata, perlite espansa rivestita, vetro cellulare e inerti leggeri che, insieme, permettono di ottenere un composto all'interno del quale si ha la presenza di numerose microcelle d'aria che conferiscono così al rasante alte proprietà coibentanti mantenendo però al tempo stesso un'elevata traspirabilità [46].

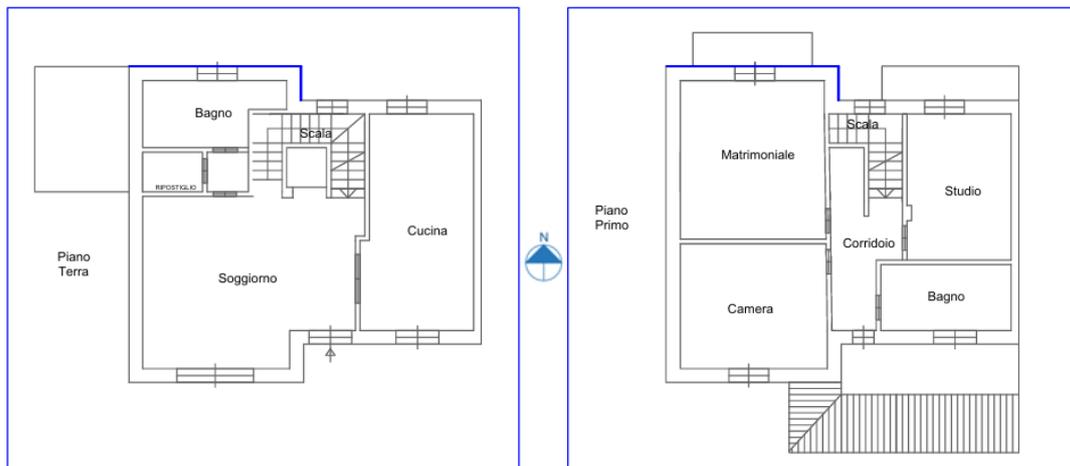


Figura 15: Planimetrie dell'edificio con indicazione delle murature con RasoTherm

In Figura 16 si riporta la stratigrafia e le relative grandezze delle pareti sopra evidenziate con la presenza di RasoTherm.

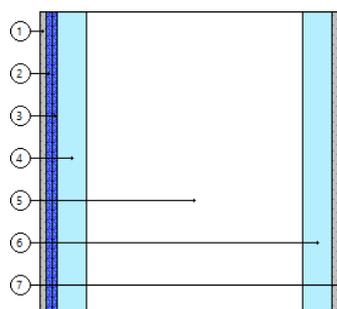


Figura 16: Stratigrafia muratura verso esterno con RasoTherm - edificio di nuova costruzione

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	S [cm]	λ [W/mK]	Cond [W/m ² K]	δ [kg/m ³]	R [m ² K/W]	μ [-]
1	Malta di calce	0,8	0,9		1800	0,09	22
2	Rasante termoriflettente	0,6		1,25	600	0,8	7
3	Rasante termoriflettente	0,6		1,25	600	0,8	7
4	CELENIT N	3,5	0,065		500	0,538	5
5	NIDUS88 Maggiorato Legno	26	0,09		442	2,889	8
6	CELENIT N	3,5	0,065		500	0,538	5
7	Malta di calce	1,5	0,9		1800	0,017	22
Spessore totale		36,5					
U [W/m ² K]	Massa superficiale [kg/m ²]	YIE [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C [kJ/m ² K]			
0,175	191,32	0,005	20,429	15,79			

Tabella 25: parametri caratteristici muratura verso esterno con RasoTherm - edificio di nuova costruzione

Come nel caso della parete senza RasoTherm, è stata eseguita la verifica sulla condensa. Anche per queste pareti non risultano soggette né a fenomeni di condensa superficiale né a condensa interstiziale.

Nella sezione Allegati 9.7 si riportano i grafici contenenti le verifiche.

5.1.1.3. Murature interne

I muri divisorii interni sono caratterizzati da medesimi materiali ma con spessore minore. Anche in questo caso le verifiche sia legate alla condensa sia alle trasmittanze sono rispettate. Nella sezione Allegati 9.7 si riportano i grafici relativi alle verifiche.

Per quanto riguarda la muratura divisoria verso l'unità immobiliare accanto, essa è medesima alla muratura esterna. Questo in particolare per permettere un isolamento termico e acustico ottimale.

5.1.2. Componenti opachi orizzontali

Anche per i componenti opachi orizzontali è stata utilizzata la medesima struttura NIDUS [44], fatta eccezione per il basamento controterra.

5.1.2.1. Basamento contro terra

Nel caso del basamento, è stato considerato un getto di cemento con la presenza di igloo. In edilizia, il termine "igloo" fa riferimento a un elemento costruttivo a forma di cupola, generalmente in polipropilene, utilizzato per creare vespai ventilati. Vengono infatti disposti in modo da formare un'intercapedine tra il pavimento e il terreno, favorendo il ricircolo dell'aria ed evitando così il ristagno di umidità. Inoltre, permettono di migliorare l'isolamento termico in quanto l'intercapedine contribuisce a separare il pavimento dal terreno, riducendo la dispersione di calore verso terra.

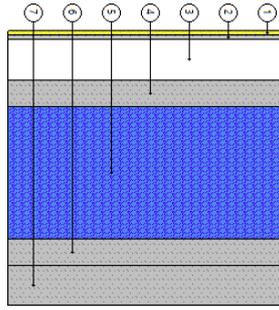


Figura 17: Stratigrafia basamento contro terra - edificio di nuova costruzione

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	Spessore [cm]	λ [W/mK]	Cond [W/m ² K]	δ [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Pavimentazione	1,5	1,47	-	1700	0,01
2	Massetto in calcestruzzo ordinario (1700 kg/m ³)	2	1,06	-	1700	0,019
3	Polistirene espanso sinterizzato 0,03	15	0,03	-	17	5
4	Calcestruzzo alleggerito (1200 kg/m ³)	10	0,33	-	1200	0,303
5	Aria intercapedine flusso orizzontale 500mm	50	-	7,423	1	0,135
6	Calcestruzzo alleggerito (1200 kg/m ³)	10	0,33	-	1200	0,303
7	Ghiaia grossa senza argilla con umidità 5%	15	1,2	-	1700	0,125
Spessore		103,5				

U [W/m ² K]	Massa superficiale [kg/m ²]	YIE [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C [kJ/m ² K]
0,164	557,67	0,009	17,607	46,547

Tabella 26: Parametri caratteristici basamento contro terra - edificio di nuova costruzione

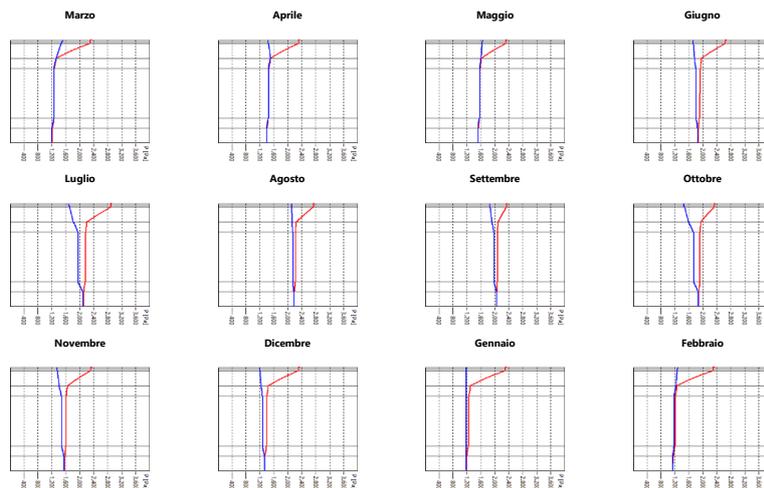


Figura 18: Diagrammi di Glaser - basamento contro terra edificio di nuova costruzione

Osservando i grafici in Figura 18, è possibile osservare come, nel mese di marzo, la struttura sia soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. Il valore di condensa massimo raggiunto nel mese di marzo è pari a 0,00637 kg/m². Tale fenomeno è accettabile in quanto la condensa evapora totalmente nei mesi successivi.

Nella sezione Allegati 9.7 si riporta i valori di verifica di presenza di condensa.

5.1.2.2. Solaio interpiano

La soletta interpiano è caratterizzata dalla struttura NIDUS [44]. Si ritrova anche uno strato di isolante, Polistirene espanso estruso con trasmittanza $U=0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$, utile a garantire il corretto funzionamento dei pannelli radianti a soffitto individuati come nuovi terminali di emissione e dei quali si parlerà nel Capitolo 5.3.2.1.

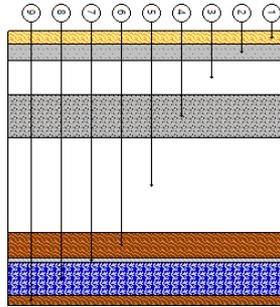


Figura 19: Stratigrafia solaio interpiano - edificio di nuova costruzione

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	Spessore [cm]	λ [W/mK]	Cond [W/m ² K]	δ [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Pavimentazione	1,5	1,3	-	2300	0,012
2	Massetto in calcestruzzo alleggerito (1600 kg/m ³)	2	1,08	-	1600	0,019
3	Polistirene espanso sinterizzato 0,03	4	0,03	-	17	1,333
4	Malta di calce o di calce e cemento	5	0,9	-	1800	0,056
5	NIDUS88 Maggioreto Legno	11	0,077	-	412	1,429
6	Legname (450kg/m ²)	3	0,12	-	450	0,25
7	Alluminio	0,5	220	-	2700	0
8	Polistirene espanso estruso, senza pelle (50 kg/m ²)	3,9	0,034	-	50	1,147
9	Cartongesso in lastre	1,1	0,21	-	900	0,052
Spessore		32				

U [W/m ² K]	Massa superficiale [kg/m ²]	YIE [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C [kJ/m ² K]
0,216	151,35	0,006	16,664	45,153

Tabella 27: Parametri caratteristici solaio interpiano - edificio di nuova costruzione

Le verifiche sia legate alla condensa sia alle trasmittanze sono rispettate. In ALLEGATO si riportano i dati contenenti le verifiche.

5.1.2.3. Solaio verso sottotetto

Per la soletta verso il sottotetto, anche in questo caso considerato non riscaldato come nell'edificio esistente.

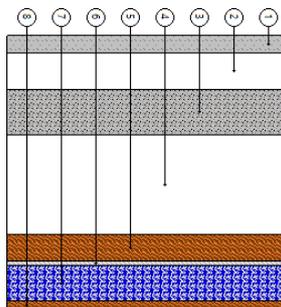


Figura 20: Stratigrafia solaio verso sottotetto - edificio di nuova costruzione

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	δ [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Massetto in calcestruzzo alleggerito (1600 kg/m ³)	2	1,08	-	1600	0,019
2	Polistirene espanso sinterizzato 0,03	4	0,03	-	17	1,333
3	Malta di calce o di calce e cemento	5	0,9	-	1800	0,056
4	NIDUS88 Maggioreto Legno	11	0,077	-	412	1,429
5	Legname (450kg/m ²)	3	0,12	-	450	0,25
6	Alluminio	0,5	220	-	2700	0
7	Polistirene espanso estruso, senza pelle (50 kg/m ²)	3,9	0,034	-	50	1,147
8	Cartongesso in lastre	1,1	0,21	-	900	0,052
Spessore		30,5				

U [W/m ² K]	Massa superficiale [kg/m ²]	YIE [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C [kJ/m ² K]
0,223	116,85	0,009	14,933	15,021

Tabella 28: Parametri caratteristici solaio verso sottotetto - edificio di nuova costruzione

Anche in questo caso le verifiche sia legate alla condensa sia alle trasmittanze sono rispettate. Nella sezione Allegati 9.7 si riportano i dati contenenti le verifiche.

5.1.2.4. Copertura

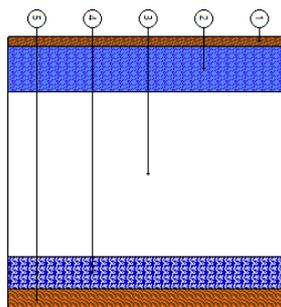


Figura 21: Stratigrafia copertura - edificio di nuova costruzione

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	δ [kg/m ³]	R [m ² K/W]
1	Terracotta	1,5	1	-	2000	0,015
2	Intercapedine debolmente ventilata	7	-	12,5	1	0,08
3	NIDUS88 Maggiorato Legno	25	0,077	-	412	3,247
4	Polistirene espanso estruso, senza pelle (50 kg/m ²)	5	0,034	-	50	1,471
5	Legname (450kg/m ²)	3,5	0,12	-	450	0,292
Spessore		42				

U [W/m ² K]	Massa superficiale [kg/m ²]	YIE [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C [kJ/m ² K]
0,191	151,34	0,017	15,954	23,325

Tabella 29: Parametri caratteristici copertura - edificio di nuova costruzione

5.1.3. Componenti Trasparenti

Inizialmente, è stata eseguita una prima verifica mantenendo dimensioni e posizioni dei componenti trasparenti inalterate rispetto all'edificio esistente. Al termine della simulazione, però, il fattore legato a $E_{pc,nd}$ risultava non rientrante nei limiti imposti. Per questa ragione, si è scelto di mantenere la stessa posizione degli infissi dell'immobile esistente, ma di modificare le dimensioni al fine di poter rispettare il requisito.

Si ottiene così un'area finestrata pari a $33,02m^2$ (rispetto ai $30,78m^2$ dell'esistente).

Tutte le finestre sono caratterizzate da un triplo vetro. Nello specifico il vetro scelto è un vetro $U_g=0,60$ $3+0,38+3/14we/4/12we/4+0,76+4$ Basso emissivo. Caratterizzato da trasmittanza termica pari a $U_g = 0,60$ W/m²K risulta composto come segue:

- 3 + 0,38 + 3: primo vetro stratificato (3 mm di vetro + 0,38 mm di intercalare PVB + 3 mm di vetro);
- 14 we: prima intercapedine con spessore 14 mm riempita con gas isolante (Argon). L'acronimo we indica il termine inglese Warm Edge ossia distanziatore termico;
- 4: seconda lastra di vetro di spessore 4 mm;

- 12 we: seconda intercapedine da 12 mm con gas isolante (Argon);
- 4 + 0,76 + 4 : terzo vetro stratificato (4 mm + 0,76 mm di intercalare PVB + 4 mm);

I vetri stratificati con PVB (Polivinilbutirrale) sono vetri composti da due o più lastre di vetro unite tra loro grazie ad uno o più strati di pellicola in PVB: questo permette di migliorare l'isolamento acustico e la protezione dai raggi UV del componente finestrato.

Inoltre, la scelta di utilizzare un gas all'interno delle vetrocamere permette ridurre la dispersione di calore durante la stagione invernale e di limitare il surriscaldamento nella stagione estiva grazie alla conducibilità termica del gas, che risulta essere minore rispetto quella dell'aria. Infatti, il gas avendo minor conducibilità termica rispetto all'aria permette di ridurre gli scambi termici.

La presenza dei distanziatori permette, inoltre, di migliorare l'isolamento termico lungo tutto il perimetro del vetro, riducendo così i ponti termici.

La scelta di utilizzare vetri basso emissivi ha lo scopo di sfruttare il fatto che, anch'essi, permettono di limitare le dispersioni di calore, e conseguentemente, migliorare l'efficienza energetica grazie all'uso di un sottile strato di ossido metallico (generalmente ossido di stagno, argento o titanio) posto sulla lastra di vetro. Lo strato di ossido metallico agisce quindi come una barriera termica selettiva in quanto riflettendo il calore indesiderato ossia la radiazione infrarossa consentendo però il passaggio della luce naturale. Questo è possibile grazie al principio della riflessione del calore: la radiazione termica proveniente dal riscaldamento o dal sole viene riflessa verso la sua origine, invece di disperdersi all'esterno o penetrare all'interno. In inverno, quindi, lo strato di ossido permette di trattenere il calore all'interno, riducendo le perdite di energia mentre, in estate, permette di limitare l'ingresso del calore solare, mantenendo così gli ambienti più freschi.

Sono state utilizzate due differenti tipologie di schermature solari:

- Tapparelle poste esternamente di colore pastello e finitura opaca con controllo combinato luce/tende/HVAC;
- Tende avvolgibili poste esternamente di colore bianco e finitura opaca.

Entrambe le schermature, al fine del calcolo dei fabbisogni, sono state considerate solo nel periodo estivo.

In Tabella 30, si riporta un esempio delle specifiche relative ad un infisso considerato come esemplificativo di tutti quelli presenti.

Figura 22: Esempio di infisso - edificio di nuova costruzione

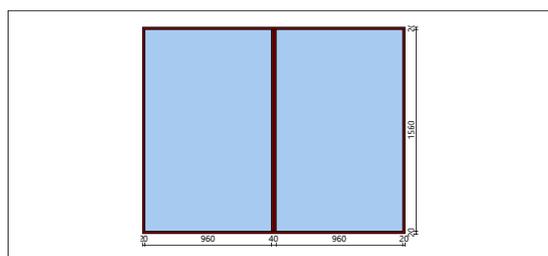


Tabella 30: Esempio parametri considerati per ogni infisso - edificio di nuova costruzione

Legenda	Descrizione	Unità misura
A_g	Area del vetro	m^2
A_f	Area del telaio	m^2
l_g	Perimetro della superficie vetrata	m
U_g	Trasmittanza termica dell'elemento vetrato	W/m^2K
U_f	Trasmittanza termica del telaio	W/m^2K
Ψ	Trasmittanza lineica	W/mK
A	Area totale della finestra	m^2
ΔR	Resistenza addizionale della chiusura oscurante	m^2K/W
U_w	Trasmittanza termica del componente trasparente senza chiusura oscurante	W/m^2K
U_{w+shut}	Trasmittanza termica del componente trasparente con chiusura oscurante	W/m^2K
$g_{gl,n}$	Fattore di trasmissione solare normale del vetro	-

Di seguito si riporta una breve caratterizzazione dei parametri principali considerati nel caso di un componente trasparente generico:

- Area totale della finestra $A [m^2]$: è considerata come la somma dell'area del solo vetro e del telaio;
- Trasmittanza termica del componente trasparente senza chiusura oscurante $U_w [W/m^2K]$: rappresenta la capacità dell'infisso di trasmettere il calore tra l'interno e l'esterno di un edificio. Dipende dal valore di trasmittanza del solo elemento vetrato e del solo telaio e dal valore di trasmittanza lineica, tutto riferito alle aree di vetro e telaio. Più basso è il valore, maggiore sarà l'isolamento termico. Il valore U_{w+shut} tiene conto dell'influenza della chiusura oscurante sulla diminuzione della trasmittanza termica dell'infisso;
- Trasmittanza lineica $\Psi [W/mK]$: rappresenta il flusso di calore che si disperde attraverso il bordo del serramento, il punto di contatto tra il vetro ed il profilo del telaio zona in cui è possibile il verificarsi di ponti termici;
- Fattore di trasmissione solare normale del vetro $g_{gl,n} [-]$: il fattore di trasmissione g rappresenta la quantità di energia solare che attraversa componente finestrato e che viene trasmessa all'interno di un ambiente. Esprime quindi l'efficacia di un infisso nel lasciare passare la radiazione solare, sia sotto forma di calore sia luce visibile. Nello specifico, l'indicazione del pedice n sta ad indicare che viene considerata solo la quota di radiazione normale all'infisso.

In Tabella 31 si riportano i valori delle grandezze significative, relative ad ogni componente finestrato.

	A_g [m ²]	A_f [m ²]	A [m ²]	l_g [m]	U_g [W/m ² K]	U_f [W/m ² K]	ψ [W/mK]	U_w [W/m ² K]	U_{w+shut} [W/m ² K]	$g_{gl,n}$ [-]
F1:250X180	7,638	0,462	8,1	22,76	0,5	0,2	0,05	0,623	0,573	0,33
F2:130X160	2,995	0,205	3,2	10,08	0,5	0,2	0,05	0,638	0,586	0,33
F3:100X70	0,634	0,066	0,7	3,24	0,5	0,2	0,05	0,779	0,702	0,33
P1:60X240	2,266	0,134	2,4	6,64	0,5	0,2	0,05	0,622	0,572	0,33
P2:130X240	2,879	0,241	3,12	11,88	0,5	0,2	0,05	0,729	0,661	0,33

Tabella 31: Parametri caratteristici infissi - edificio di nuova costruzione

Per il calcolo dei flussi termici scambiati, la temperatura esterna utilizzata è pari a -8,1°C. Tale temperatura coincide con la temperatura di progetto imposta dalla UNI 10349 [47] per il comune di Santena (TO).

5.2. Potenze termiche

Di seguito si riportano i valori delle potenze termiche, invernali ed estive, estrapolati dalle relazioni del software Namirial Termo 6.0.

5.2.1. Regime invernale

In Tabella 32 sono elencati i valori delle potenze termiche invernali, suddivisi per zone termiche.

Potenze termiche invernali									
	Locale	A [m ²]	h [m]	V [m ³]	T_i [°C]	Φ_{tr} [W]	Φ_{ve} [W]	Φ_{rh} [W]	Φ_{TOT} [W]
PT	Salotto	43,216	2,7	116,6832	20	701,36	574,63	514,24	1790,23
	Scala	5,127	6,0	30,762	20	155,67	34,47	47,85	237,99
	Cucina	24,286	2,7	65,5722	20	310,42	301,91	267,15	879,48
	Bagno PT	7,634	2,7	20,6118	20	293,33	93,65	83,97	470,95
P1	Corridoio	14,584	2,7	39,3768	20	260,36	175,63	160,02	596,01
	Matrimoniale	23,532	2,7	63,5364	20	483,07	294,12	258,85	1036,04
	Studio	16,928	2,7	45,7056	20	267,15	211,07	186,21	664,43
	Camera	19,151	2,7	51,7077	20	431,45	239,02	210,66	881,13
	Bagno P1	6,263	2,7	16,9101	20	169,17	76,93	68,89	314,99

Tabella 32: potenze termiche invernali [W], suddivisi per zone termiche – edificio di nuova costruzione

Legenda	Denominazione	Unità misura
A	Area	[m ²]
h	Altezza	[m]
V	Volume	[m ³]
T _i	Temperatura interna zona termica	[°C]
Φ_{tr}	Potenza termica dispersa per trasmissione	[W]
Φ_{ve}	Potenza termica dispersa per ventilazione	[W]
Φ_{rh}	Potenza termica dispersa per intermittenza	[W]
Φ_{TOT}	Potenza termica dispersa totale	[W]

5.2.2. Regime Estivo

Per il calcolo dei carichi termici estivi si è utilizzato, analogamente a quanto effettuato per il calcolo delle potenze invernali, il software Namirial Termo 6.0.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti riguardanti i valori massimi delle dispersioni, apporti e potenze per l'intero edificio. Nella sezione Allegati si riportano i risultati relativi alle singole zone termiche considerate. Nel Grafico 6, inoltre, si osserva l'andamento giornaliero del carico globale relativo all'intero edificio. Similmente, nella sezione Allegati, si riporta l'andamento giornaliero relativo alle singole zone termiche.

Legenda	Denominazione	Unità misura
Φ_{gl}	Carico globale	[W]
$\Phi_{gl, s}$	Carico globale sensibile	[W]
$\Phi_{gl, l}$	Carico globale latente	[W]
$\Phi_{gl, max}$	Carico globale massimo	[W]

Valutando l'andamento dell'immobile nel suo complesso, si ottengono i valori riportati in Tabella 33.

Tabella 33: Regime estivo - Carico globale, carico globale sensibile e latente per intero edificio di nuova costruzione

Carico ESTIVO immobile		
Φ_{gl} Edificio	3928	W
$\Phi_{gl, s}$ Edificio	2146	W
$\Phi_{gl, l}$ Edificio	1868	W

Tabella 34: Regime estivo - Carico globale orario per intero edificio di nuova costruzione

Ore	Φ_{gl} Edificio [W]
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	1276
7	2412
8	2370
9	1522
10	1832
11	2113
12	2336
13	3623
14	3727
15	3928
16	3134
17	2792
18	2319
19	2007
20	1890
21	2505
22	1878
23	0



Grafico 6: Carico globale giornaliero estivo [W] per l'intero edificio

5.3. Impianto

Sulla base delle potenze termiche ottenute dal software Namirial Termo 6.0, si è proceduto con il dimensionamento dell'impianto: dei suoi componenti principali e dei terminali di emissione.

All'intero di un edificio, l'impianto ha lo scopo di realizzare e mantenere, nel tempo, le condizioni di benessere termo-igrometrico degli occupanti presenti all'interno dell'edificio stesso. Per questo, è necessario che l'impianto provveda al controllo di parametri quali:

- Temperatura dell'ambiente interno;
- Umidità relativa dell'ambiente interno;
- Velocità dell'aria;
- Qualità dell'aria interna.

Sulla base di quali e quanti parametri vengono controllati dall'impianto stesso ed in base a quale regime lavora, si distinguono diverse tipologie di impianto:

- In regime invernale:
 - o Riscaldamento: controllo solo della temperatura. Non si ha il controllo di umidità, qualità e movimento dell'aria;
 - o Termoventilazione: controllo di temperatura e movimento dell'aria;
 - o Climatizzazione.
- In regime estivo;
 - o Raffrescamento: controllo solo della temperatura nella stagione estiva. Non si ha il controllo di umidità, qualità e movimento dell'aria;
 - o Condizionamento: controllo della temperatura e dell'umidità relativa. Viene quindi a mancare il controllo della qualità e movimento dell'aria;
 - o Climatizzazione.

A differenza di tutti gli altri casi sopra elencati, la climatizzazione permette di agire sul controllo di tutti i parametri (temperatura, umidità relativa, velocità e qualità dell'aria) permettendo così di ottenere il benessere termo-igrometrico degli occupanti. Secondo la descrizione contenuta all'interno della norma UNI 10339: " *Gli impianti di climatizzazione sono sistemi che effettuano il controllo continuativo delle condizioni termiche, igrometriche, di qualità e di movimento dell'aria comprese entro i limiti richiesti per assicurare il benessere alle persone*" [49]. L'acronimo usato HVAC, letteralmente "Heating, Ventilation & Air Conditioning", descrive bene gli aspetti di cui sopra [48].

Tra le molteplici soluzioni impiantistiche offerte dal mercato, si è deciso di installare un sistema di generazione full electric. Nello specifico, l'impianto è composto da una pompa di calore per la climatizzazione degli ambienti e per la produzione di acqua calda sanitaria.

A questa è stato affiancato un sistema a collettori solari per il supporto della produzione dell'acqua calda sanitaria ed un impianto fotovoltaico per la generazione di corrente elettrica. L'impianto fotovoltaico si è supposto essere ad uso dell'alimentazione elettrica di tutta la parte impiantistica ma anche per l'alimentazione elettrica dell'intero immobile, comprendendo così anche l'illuminazione.

Sia la climatizzazione invernale sia quella estiva sarà effettuata attraverso un soffitto radiante (terminale di impianto) realizzato attraverso l'uso di pannelli modulari.

La ventilazione, deumidificazione e purificazione dell'aria degli ambienti climatizzati è stata affidata ad una macchina di ventilazione meccanica con deumidificatore e scambiatore incorporati.

5.3.1. Impianto idronico

Con impianto idronico si indica un impianto di climatizzazione invernale e/o estiva che utilizza l'acqua come fluido termovettore: la distribuzione di energia termica, quindi, avviene grazie al passaggio di acqua (o una miscela di acqua e glicole per ridurre la temperatura di congelamento ed aumentare la temperatura di ebollizione) all'interno di apposite tubazioni.

L'alternativa all'impianto idronico è l'impianto ad espansione diretta. Tale soluzione impiantistica prevede, come fluido termovettore, l'utilizzo di gas refrigerante al posto dell'acqua utilizzata nel caso precedente. I gas ad oggi utilizzati sono i cosiddetti HFC ovvero gas idrofluorocarburi, entrati in commercio in sostituzione dei clorofluorocarburi (CFC) e idroclorofluorocarburi (HCFC) ritenuti dannosi per lo strato di ozono atmosferico [6]. Tra i refrigeranti oggi più utilizzati vi sono l'R32, R410 e R290.

La scelta dell'impianto idronico è stata spinta dagli innumerevoli vantaggi che comporta rispetto l'uso di un impianto ad espansione diretta tra cui, ad esempio, l'utilizzo di acqua come fluido termovettore in quanto l'acqua è un fluido non tossico, sia per gli occupanti sia per l'ambiente, a differenza dei gas refrigeranti usati negli impianti ad espansione diretta [50]. L'impianto idronico ha però lo svantaggio che, per un corretto funzionamento dell'impianto nel suo complesso, necessita di un preciso e corretto dimensionamento di ogni singolo componente che lo costituisce. Questo, unito al maggior numero di componenti presenti, aumenta anche i costi dell'impianto idronico rispetto all'impianto ad espansione diretta [51]. Nonostante questo si è preferito optare per questa opzione impiantistica.

Infatti, l'impianto idronico risulta composto da sottosistemi [52]:

- Sottosistema di generazione;
- Sottosistema di distribuzione;

- Sottosistema di accumulo;
- Sottosistema di emissione;
- Sottosistema di regolazione.

Di seguito si procederà con la caratterizzazione dei vari sottosistemi comprendenti l'impianto.

5.3.2. Sottosistema di emissione

Il sottosistema di emissione permette il trasferimento del fluido termovettore e, conseguentemente, dell'energia termica nei vari ambienti da climatizzare. Risulta composto dai terminali di impianto. I terminali di impianto sono i componenti che contribuiscono attivamente alla climatizzazione delle zone considerate. Il loro dimensionamento deve avvenire in modo tale da permettere la totale compensazione delle dispersioni termiche dei locali da riscaldare e/o raffreddare, valutate durante la fase di progettazione e nelle condizioni di progetto, ovvero nelle condizioni maggiormente sfavorevoli: questo approccio permette di dimensionare i terminali di impianto in modo da gestire qualsiasi scenario, incluse anche le condizioni più estremi. Esistono diverse tipologie di terminali di impianto che si differenziano tra loro in base alla funzione che svolgono: i radiatori, ad esempio, sono esclusivamente destinati al riscaldamento durante il regime invernale, ventilconvettori e pannelli radianti (indipendentemente da dove questi sono installati se a pavimento, soffitto o parete) possono invece essere utilizzati sia per il riscaldamento nel periodo invernale sia per il raffrescamento in quello estivo.

5.3.2.1. Pannelli radianti

Nel caso specifico, si è stato di utilizzare come terminali di impianto i pannelli radianti, al fine di poter sfruttare i numerosi vantaggi che caratterizzano questo tipo di terminale di emissione, tra cui:

- Benessere Termico: permettono di evitare la formazione di moti convettivi, tipici ad esempio dei ventilconvettori, che potrebbero causare sensazioni di malessere in quanto il fenomeno fisico sulla quale è basato lo scambio termico dei pannelli radianti è l'irraggiamento;
- Qualità dell'aria: l'assenza di moti convettivi permette di ridurre il movimento delle polveri nell'ambiente, migliorando così la qualità dell'aria;
- Utilizzo di calore a bassa temperatura: consentono l'uso di fluidi termovettori a più basse temperature (solitamente intorno ai 40°C) rispetto ai tradizionali terminali di impianto, come i radiatori, rendendo così più semplice l'abbinamento con generatori a bassa temperatura come le pompe di calore;
- Risparmio energetico: grazie al ridotto gradiente termico tra la superficie radiante e l'ambiente da riscaldare o raffreddare, permettono un risparmio energetico che può essere stimato tra il 10 e il 15% [53].

Esistono differenti tipologie di sistemi radianti che si distinguono tra loro per il posizionamento e per la direzione principale del flusso termico quali:

- Pannelli radianti installati a pavimento;
- Pannelli radianti installati a soffitto;
- Pannelli radianti installati a parete.

Nel caso in esame, sono stati scelti pannelli radianti a soffitto ed a parete.

L'installazione dei pannelli radianti a soffitto può avvenire o tramite la realizzazione di una serpentina di tubi (analogamente a quanto fatto nel caso del pavimento radiante) o attraverso l'uso di pannelli prefabbricati modulari. Per quest'ultima tipologia, i pannelli modulari sono composti da tre strati:

- Lastra in cartongesso;
- Serpentina radiante: la tubazione annegata nel cartongesso ed all'interno della quale scorrerà il fluido termovettore;
- Isolante termico: ha lo scopo di annullare, o limitare, le dispersioni termiche verso la direzione non desiderata (nel caso dei pannelli a soffitto, il soffitto stesso).

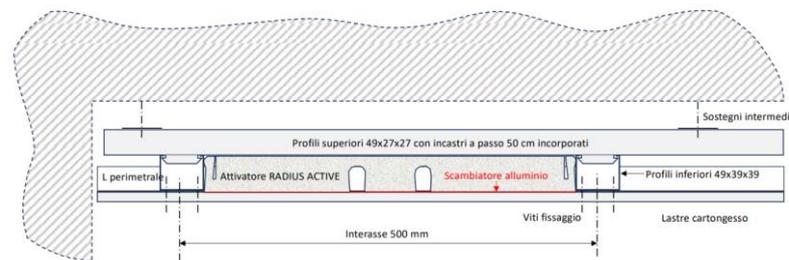


Figura 23: Stratigrafia pannello radiante a soffitto [56]

Soffitto VS Pavimento

La scelta di utilizzare pannelli radianti a soffitto, rispetto quelli a pavimento, è stata dettata da una serie di vantaggi che il posizionamento a soffitto offre.

Come il pavimento radiante, anche il soffitto radiante è un impianto a collettore e questo implica che, di conseguenza, ogni via del collettore alimenta un certo numero di pannelli con il fluido termovettore, che scorre prima attraverso una montante di distribuzione: questo genera però delle perdite di carico concentrate le quali comportano la necessità di un bilanciamento dell'impianto.

Ciò nonostante, il soffitto radiante vanta comunque numerosi vantaggi rispetto al pavimento radiante tra cui:

- Basso spessore: lo scambio termico nel soffitto radiante risulta più rapido ed efficiente grazie al minor spessore del pannello. Si stima infatti che un soffitto radiante raggiunga una temperatura superficiale

di circa 24-25°C in poco meno di 30 minuti, mentre il pavimento radiante può impiegare anche fino a 5 ore, nel caso in cui si consideri un massetto di spessore 45 cm (come indicato nella normativa UNI EN 1264 [54]). Questo è legato all'inerzia termica molto inferiore della struttura dei pannelli radianti a soffitto rispetto al massetto del pavimento [54];

- Superficie radiante libera da ostacoli: come il pavimento radiante, anche il soffitto radiante lo scambio termico avviene per irraggiamento. Tuttavia, il vantaggio del soffitto radiante sta nel fatto che la superficie radiante è libera da ostacoli, come mobili o tappeti, che potrebbero trovarsi nel caso del pavimento e che limitano, di conseguenza, lo scambio radiativo;
- Prestazioni migliori in regime estivo: il soffitto radiante garantisce migliori prestazioni in regime estivo di raffrescamento, in quanto l'acqua (fluido termovettore) nelle serpentine scorre a una temperatura di circa 16-19°C. In questo modo, occupanti ed oggetti, in quanto ad una temperatura superiore rispetto alla superficie del soffitto radiante, cedono calore alla superficie più fredda, abbassando così la loro temperatura;
- Semplicità di installazione: la posa dei pannelli radianti a soffitto, ma anche a parete, risulta più semplice e con assenza totale, o limitata, di opere murarie per l'installazione. I pannelli vengono infatti fissati a una struttura di supporto apposita. Inoltre, nell'intercapedine tra i pannelli e il soffitto è possibile posizionare impianti elettrici, idraulici e di ventilazione meccanica controllata, permettendo così uno sfruttamento migliore dello spazio disponibile.

5.3.2.2. Dimensionamento impianto radiante a soffitto

Per la realizzazione dell'impianto a pannelli radianti, posizionati a soffitto ed a parete, si è scelto di utilizzare i moduli della società Messina Italia srls [55].

I pannelli scelti sono i RADIUS ACTIVE e risultano disponibili in tre differenti taglie aventi le seguenti dimensioni nette [56]:

- RADIUS 90: 86cmx45cm;
- RADIUS 120: 120cmx45cm;
- RADIUS 240: 240cmx45cm.

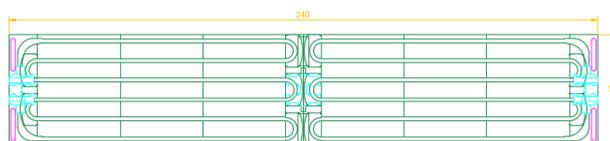


Figura 24: Esempio di pannello radiante - dimensioni RADIUS 240

In Tabella 35 si riportano i valori delle aree di un singolo pannello e per ogni tipologia di pannelli presenti.

Area radiante NETTA [m2]		
	RADIUS ACTIVE 90	0,348
	RADIUS ACTIVE 120	0,499
	RADIUS ACTIVE 240	0,976
Area RAD [m2]		
	RADIUS ACTIVE 90	0,387
	RADIUS ACTIVE 120	0,54
	RADIUS ACTIVE 240	1,08

Tabella 35: Aree nette [m2] ed aree [m2] pannelli radianti RADIUS [57]

Con area RAD si intende l' area totale del pannello radiante, mentre con area radiante netta si fa riferimento alla effettiva area in cui avviene lo scambio termico per irraggiamento e risulta minore rispetto all'area reale del pannello. L'area radiante netta è stata quindi quella utilizzata per il calcolo delle rese termiche.

Per ogni zona termica sono stati valutati:

- Numero e tipologia di pannelli;
- Resa termica in riscaldamento e in raffreddamento;
- Perdite di carico.

In Figura 25 si riposta l'individuazione delle zone termiche considerate. Queste ultime vanno a coincidere con i singoli locali.

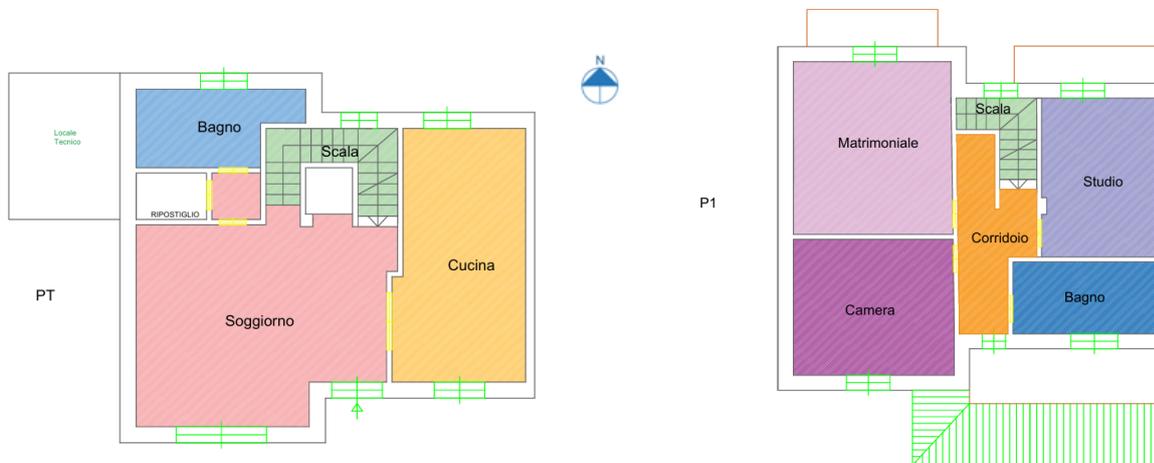


Figura 25: Planimetrie con indicazione delle zone termiche - edificio di nuova costruzione

Numero e tipologia di pannelli

Il numero e la tipologia di pannelli è stata scelta, oltre che per una questione geometrica di posizionamento del pannello, anche con lo scopo di massimizzare la resa termica al m^2 . Noto il valore dei carichi massimi di ogni zona termica, riportato nel Capitolo 5.2, sia per la stagione invernale sia per quella estiva, è stato posizionato quindi il numero di moduli tale da poter soddisfare il fabbisogno di riscaldamento e raffreddamento. Il valore di resa termica è stato ricavato, dopo avere definito le temperature operative dell'acqua di mandata e ritorno sia in condizioni invernali sia in condizioni estive di funzionamento, attraverso i grafici forniti dall'azienda Messina Italia [58]. In Tabella 36 si riportano le condizioni di esercizio considerate.

Tabella 36: Condizioni di esercizio pannelli radianti RADIUS e relativa resa termica [W/m2]

		Temperatura Acqua MANDATA [°C]	Temperatura Acqua RITORNO [°C]	Temperatura AMBIENTE [°C]	Tamb/Tmed H2O [°C]	Resa Termica [W/m2]
Soffitto	Riscaldamento	40	37	20	18,5	95
	Raffreddamento	15	18	26	9,5	70
Parete	Riscaldamento	40	37	20	18,5	100
	Raffreddamento	15	18	26	9,5	60

Figura 26: grafici resa termica pannelli radianti RADIUS in regime estivo ed invernale [58]

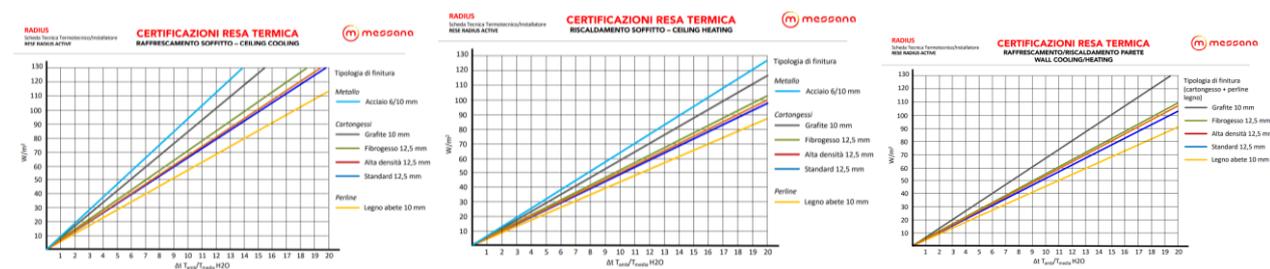


Tabella 37: Dimensionamento pannelli radianti RADIUS

	Locale	Circuito	N. RADIUS 90 [-]	N. RADIUS 120 [-]	N. RADIUS 240 [-]	Aree radiante [m2]	Resa Termica RAD INVERNO circuiti [W]	Resa Termica RAD INVERNO TOTALE [W]	Resa Termica RAD ESTATE circuiti [W]	Resa Termica RAD ESTATE TOTALE [W]
Soffitto	Salotto	1	-	-	8	7,808	741,76	1854,4	546,56	1366,4
		2	-	-	8	7,808	741,76		546,56	
		3	-	-	4	3,904	370,88		273,28	
	Cucina	4	-	-	7	6,832	649,04	1298,08	478,24	956,48
		5	-	-	7	6,832	649,04		478,24	
	Bagno PT	6	-	-	4	3,904	370,88	370,88	273,28	273,28
	Corridoio	1'	-	4	-	1,996	189,62	189,62	139,72	139,72
	Matrimoniale	3'	-	4	4	5,9	560,5	1121	413	826
		4'	-	4	4	5,9	560,5		413	
	Studio	5'	-	-	8	7,808	741,76	741,76	546,56	546,56
6'		-	4	4	5,9	560,5		413		
Camera	7'	-	3	3	4,425	420,375	980,875	309,75	722,75	
	7'	-	3	3	4,425	420,375		309,75		
Bagno P1	8'	-	3	3	4,425	420,375	420,375	309,75	309,75	
Parete	Scala	7	-	-	10	9,76	976	976	585,6	585,6
	Corridoio	2'	-	12	-	5,988	598,8	598,8	359,28	359,28

In Tabella 37 sono riportati il numero e la tipologia di pannelli considerati, le relative aree ed i valori di rese termiche, invernali ed estive, per ogni singola zona termica.

Tale valore di resa termica è stato confrontato con i valori del carico massimo, per ogni zona termica. La verifica relativa al totale soddisfacimento dei carichi termici richiesti da parte dei radianti è riportata in Tabella 38. Analizzando i valori, è possibile osservare come, per la configurazione scelta di pannelli, tutti i carichi siano soddisfatti (casella evidenziata di colore verde) ad eccezione del caso invernale della zona termica relativa al bagno a piano terra (casella evidenziata di colore rosso). Si è scelto di accettare questa condizione e di colmare la differenza andando ad ipotizzare l'installazione di un termoarredo elettrico che vada appunto a sopperire alla quota di carico termico non soddisfatta dai pannelli a soffitto.

	Locale	Resa Termica RAD INVERNO totale [W]	Resa Termica RAD ESTATE totale [W]	Carico max INVERNO [W]	Carico max ESTATE [W]	Verifica INVERNO	Verifica ESTATE
Piano TERRA	Salotto	1854,4	1366,4	1790	1340	64,4	26,4
	Scala	976	585,6	237,99	513	738,01	72,6
	Cucina	1298,08	956,48	879,48	812	418,6	144,48
	Bagno PT	370,88	273,28	470,95	196	-100,07	77,28
Piano PRIMO	Corridoio	788,42	499	596,01	462	192,41	37
	Matrimoniale	1121	826	1036,05	251	84,95	575
	Studio	741,76	546,56	664,43	184	77,33	362,56
	Camera	980,875	722,75	881,14	215	99,735	507,75
	Bagno P1	420,375	309,75	314,99	182	105,385	127,75

Tabella 38: Verifica corretto dimensionamento pannelli radianti RADIUS

5.3.2.3. Dimensionamento Termoarredo

Per sopperire alla parte di carico termico non coperta dai pannelli a soffitto radiante nella zona del bagno a piano terra, si è deciso di affiancare a questi ultimi un termoarredo elettrico. Si è scelto di installare un termoarredo elettrico in quanto questi offrono la possibilità di gestire in maniera indipendente dal sistema di riscaldamento centrale la temperatura della zona in cui sono installati.

Come riportato in Tabella 38, si osserva che, nel bagno a piano terra, i pannelli radianti non riescano a coprire la quota di 100,07W. E' stato considerato un termoarredo con 16 elementi, altezza 790mm e larghezza L 430mm il quale permette di raggiungere un valore di potenza pari a 400W, valore che permette di coprire ampiamente quanto non coperto dal soffitto radiante.

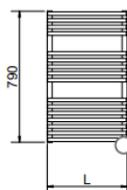


Figura 27: Esempio di termoarredo [59]

5.3.2.4. Calcolo delle perdite di carico – pannelli radianti

Avendo fissato il valore della differenza di temperatura tra la temperatura media dell'acqua circolante all'interno dei pannelli e la temperatura ambiente e calcolata così la resa termica al m^2 dei pannelli, si è proceduto con la determinazione del valore della portata di fluido termodinamico (acqua tecnica) circolante nei singoli pannelli e dunque la portata complessiva circolante nell'intero impianto radiante per mezza della seguente relazione:

$$Q = \frac{P}{c_p \cdot (T_{in} - T_{out})} * 3600 \text{ [l/h]}$$

Equazione 6: Calcolo portata acqua tecnica

Il valore di portata Q è quindi ottenuto come il rapporto tra il valore di potenza ed il prodotto tra il calore specifico dell'acqua a pressione costante e la differenza tra la temperatura mandata (T_{in}) e quella di ritorno (T_{out}), entrambe espresse in °C, il tutto moltiplicato per 3600 per ottenere il valore in l/h.

T_{in} [°C]	T_{out} [°C]	
40	37	Inverno
15	18	estate

Tabella 39: Determinazione del valore di portata circolante nel circuito dei pannelli radianti RADIUS

Locale	Circuito	Resa Termica RAD INVERNO circuiti [W]	Portata INVERNO [l/h]	Resa Termica RAD ESTATE circuiti [W]	Portata ESTATE [l/h]	Portata MAX [l/h]
Salotto	1	741,76	212,64	546,56	156,68	212,64
	2	741,76	212,64	546,56	156,68	212,64
	3	370,88	106,32	273,28	78,34	106,32
Cucina	4	649,04	186,06	478,24	137,10	186,06
	5	649,04	186,06	478,24	137,10	186,06
Bagno PT	6	370,88	106,32	273,28	78,34	106,32
Corridoio	1'	189,62	54,36	139,72	40,05	54,36
Matrimoniale	3'	560,5	160,68	413,00	118,39	160,68
	4'	560,5	160,68	413,00	118,39	160,68
Studio	5'	741,76	212,64	546,56	156,68	212,64
Camera	6'	560,5	160,68	413,00	118,39	160,68
	7'	420,375	120,51	309,75	88,80	120,51
Bagno P1	8'	420,375	120,51	309,75	88,80	120,51
Scala	7	976	279,79	585,60	167,87	279,79
Corridoio	2'	598,8	171,66	359,28	102,99	171,66

Grazie al valore di portata circolante, attraverso l'uso del grafico fornito dall'azienda, è stato possibile determinare le perdite di carico concentrate dei singoli circuiti dei pannelli radianti [60].

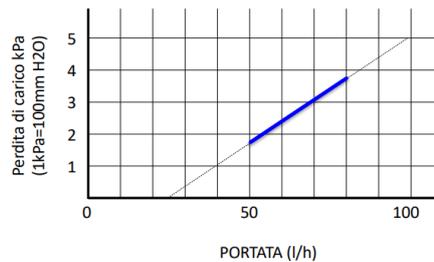


Figura 28: Grafico per la determinazione delle perdite di carico pannelli RADIUS [60]

L'azienda, in aggiunta al grafico, dichiara che *“tali valori di perdite di carico non variano con l'installazione, a patto che i pannelli vengano installati in serie fino ad un massimo di 8”* [55], dove i pannelli RADIUS240 valgono come unità, mentre i RADIUS120 e RADIUS90 valgono 0,5. Per questa ragione, nel posizionamento, è stata seguita questa indicazione di collegamento di un numero massimo di 8 pannelli in serie [55].

Bilanciamento

Si parla di circuito idrico bilanciato quando le perdite di carico del tratto maggiormente favorito, ossia il tratto relativo al terminale più vicino al generatore, sono uguali alle perdite di carico del tratto maggiormente sfavorito, relativo al terminale più lontano dal generatore. Le perdite di carico sono influenzate da fattori come:

- la lunghezza del tratto di tubazione;
- il materiale costituente la tubazione, in particolare la sua rugosità;
- la presenza di raccordi, gomiti, pezzi speciali, ecc.

In generale, eguagliando le lunghezze dei rami di tubazione che vanno dal generatore ai singoli terminali di emissione, il circuito risulta, circa, bilanciato.

In base a quanto dichiarato dal costruttore, *“i pannelli Radius Active sono completamente autobilancianti e non richiedono taratura dei circuiti sui collettori di distribuzione tranne in casi molto particolari quando convivono circuiti con adduzioni molto lunghe con molti attivatori e molto corte con pochi attivatori”* [55].

Al fine di tener conto delle perdite di carico concentrate relative ai raccordi e alle eventuali curve della tubazione che collega i pannelli radianti alla montane di distribuzione si è deciso di maggiorare le perdite di carico distribuite calcolate di un valore pari al 30% di queste ultime.

Tabella 40: Perdite di carico concentrate - circuito pannelli radianti RADIUS

Locale	Circuito	Portata MAX [l/h]	Perdite Carico Concentrate [kPa]
Salotto	1	212,64	7,7
	2	212,64	7,7
	3	106,32	3,8
Cucina	4	186,06	6,7
	5	186,06	6,7
Bagno PT	6	106,32	3,8
Corridoio	1'	54,36	2,0
Matrimoniale	3'	160,68	5,8
	4'	160,68	5,8
Studio	5'	212,64	7,7
Camera	6'	160,68	5,8
	7'	120,51	4,3
Bagno P1	8'	120,51	4,3
Scala	7	279,79	10,1
Corridoio	2'	171,66	6,2

5.3.3. Sottosistema di distribuzione

Con sottosistema di distribuzione si intende l'insieme dei collegamenti tra i vari sottosistemi (come, ad esempio, tubazioni di acqua) e dai componenti ausiliari che permettono il movimento del fluido termovettore (come, ad esempio, pompe di circolazione) nell'intero edificio [61]. Sulla base della configurazione delle tubazioni, si possono distinguere diverse tipologie di distribuzione possibili [62]:

- Circuito monotubo: utilizza un'unica tubazione che attraversa i terminali di emissione per ritornare poi, dopo averli attraversati tutti, al generatore. In questa configurazione, i terminali risultano alimentati in serie: l'acqua di uscita dal primo corpo scaldante diventa di mandata per il secondo e così via. Tuttavia, questo implica una progressiva diminuzione della temperatura dell'acqua. Ad oggi, questa configurazione non è più utilizzata;
- Circuito bitubo a ritorno diretto senza collettori complanari: i terminali sono collegati in parallelo tra loro e sono presenti due tubazioni principali: una per la mandata ed una per il ritorno. Dalla tubazione di mandata, che parte dal generatore, si diramano tante montanti quanti sono i terminali. L'acqua di ritorno proveniente da ciascun terminale confluisce direttamente nella tubazione principale di ritorno, che riporta il fluido al generatore;
- Circuito bitubo a ritorno diretto con collettori complanari: i terminali sono disposti in parallelo con la presenza di collettori complanari nei quali giungono le tubazioni di mandata e di ritorno principali. Da ogni collettore poi si diramano tante tubazioni di mandata e di ritorno quanti sono i terminali;

- Circuito bitubo a ritorno inverso: molto simile al caso a ritorno diretto senza collettori complanari, ma con la presenza di due tubazioni di ritorno. In questo caso, le tubazioni di ritorno dei singoli terminali convergono dapprima in una tubazione di ritorno secondaria, per confluire poi nella tubazione di ritorno principale.

Nel caso in esame è stata scelta la modalità di distribuzione mediante circuito bitubo a ritorno diretto senza collettori complanari. Sono stati utilizzati due collettori di zona, uno per il piano terra ed uno per il piano primo.

Oltre ai collettori, un altro componente fondamentale del sottosistema di distribuzione sono le pompe di circolazione, che, se azionate da motori elettrici, sono dette elettropompe. Hanno il compito di fornire all'acqua (fluido termovettore) l'energia necessaria per superare le perdite di carico totali, date dalla somma delle perdite di carico distribuite e concentrate, consentendo così di raggiungere i così tutti i terminali di emissione. Le pompe di circolazione più comunemente utilizzate negli impianti sono pompe centrifughe, le quali risultano caratterizzate dalla presenza di una girante che imprime al fluido una spinta nella direzione dell'asse di rotazione. Inoltre, è possibile distinguere il caso di pompe di circolazione a giri fissi o a giri variabili. Si tende a prediligere i giri variabili poiché, grazie alla presenza di un inverter, permette di modulare, in base alle reali esigenze, la circolazione del fluido. Questo permette di avere una riduzione dei consumi energetici, cosa non possibile con l'uso dei giri fissi [61].

5.3.3.1 Dimensionamento collettori di zona

Per tenere in conto delle perdite di carico concentrate relative a raccordi e curve effettuate dalla tubazione che dal collettore di zona giunge ai pannelli, si è deciso di maggiorare del 30% il valore delle perdite di carico distribuite. A queste sono state sommate le perdite di carico concentrate relative ai pannelli, le quali risultano costanti nel circuito dei pannelli [60] ed è così stato ottenuto il valore delle perdite di carico, per ogni collettore di zona.

Per la valutazione delle perdite di carico distribuite, è stato considerato il tratto più sfavorito: questo è stato individuato considerando il tratto con distanza maggiore tra il terminale ed il collettore.

Nel caso del collettore di zona a piano terra, il tratto più sfavorito è stato individuato nella tubazione verso i pannelli radianti della zona cucina.

Tabella 41: Perdite di carico distribuite collettore di zona - Piano Terra

Piano TERRA								
tratto sfavorito	Lunghezza tratto [m]	Portata [l/h]	v [m/s]	DN [mm]	Sezione [mm ²]	r	Perdite Carico Distribuite [mmca]	Perdite Carico Distribuite [kPa]
1	2	2451,54	0,854	32	3215,36	26,64	53,28	0,0483485
2	2,7	2451,54	0,854	32	3215,36	26,64	71,928	0,0652704
3	1,8	1289,83	0,736	25	1962,5	26,64	47,952	0,0435136
4	1,2	186,06	1,037	8	200,96	26,64	31,968	0,0290091
5	1,15	186,06	1,037	8	200,96	26,64	30,636	0,0278004
6	1,9	186,06	1,037	8	200,96	26,64	50,616	0,045931
7	0,85	186,06	1,037	8	200,96	26,64	22,644	0,0205481
8	1,6	186,06	1,037	8	200,96	26,64	42,624	0,0386788
9	0,9	186,06	1,037	8	200,96	26,64	23,976	0,0217568
10	1,6	186,06	1,037	8	200,96	26,64	42,624	0,0386788
11	1,45	186,06	1,037	8	200,96	26,64	38,628	0,0350526
12	0,2	186,06	1,037	8	200,96	26,64	5,328	0,0048348
TOTALE							462,204	0,4194229

Per il collettore della zona a piano terra, si è scelto un collettore con tubazione di ingresso al collettore di diametro nominale da 1' e 8+8 circuiti (8 rubinetti di mandata e 8 rubinetti di ritorno)[63], un circuito per ogni zona termica individuata ed un ingresso ed un'uscita aggiuntive per tenere in considerazione del rubinetto di ritorno necessario per lo scarico condensa della macchina di ventilazione controllata.

Nel caso del collettore di zona a piano primo, il tratto più sfavorito è stato individuato nella tubazione verso i pannelli radianti della zona camera matrimoniale.

Tabella 42: Perdite di carico distribuite collettore di zona - Piano Primo

Piano PRIMO								
tratto sfavorito	Lunghezza tratto [m]	Portata [l/h]	v [m/s]	DN [mm]	Sezione [mm ²]	r	Perdite Carico Distribuite [mmca]	Perdite Carico Distribuite [kPa]
1	2	2451,54	0,854	32	3215,36	26,64	53,28	0,0483485
2	2,7	2451,54	0,854	32	3215,36	26,64	71,928	0,0652704
3	3	1161,71	0,663	25	1962,5	26,64	79,92	0,0725227
4	1,2	1161,71	0,663	25	1962,5	26,64	31,968	0,0290091
5	4,9	1161,71	0,663	25	1962,5	26,64	130,536	0,1184537
6	0,85	160,68	0,896	8	200,96	26,64	22,644	0,0205481
7	0,75	160,68	0,896	8	200,96	26,64	19,98	0,0181307
8	2,4	160,68	0,896	8	200,96	26,64	63,936	0,0580181
9	0,2	160,68	0,896	8	200,96	26,64	5,328	0,0048348
TOTALE							479,52	0,4351361

Per il collettore della zona a piano primo, si è scelto un collettore con tubazione di ingresso al collettore di diametro nominale da 1' e 9+9 circuiti (9 rubinetti di mandata e 9 rubinetti di ritorno) [64]. Anche in questo caso le vie del collettore sono state maggiorate di 1 rubinetto di mandata ed 1 di ritorno, rispetto a quelli necessari per le zone termiche, per tenere in considerazione del rubinetto di ritorno necessario per lo scarico condensa della macchina di ventilazione controllata.

In Tabella 43 sono riportati i valori di perdita di carico del tratto sfavorito dei due collettori di zona.

Tabella 43: Perdite di carico collettori di zona

Zona	Portata collettore [l/s]	Perdite Carico Concentrate RAD sfavorito [kPa]	Perdite Carico Distribuite sfavorito [kPa]	Perdite carico TOTALI [kPa]
Piano terra	1289,83	6,7	0,419	7,118
Piano primo	1161,71	5,8	0,435	6,220

Il bilanciamento delle vie dei collettori verrà effettuato in fase di messa in funzione dell'impianto.

5.3.3.2. Dimensionamento colonne montanti di distribuzione

Il dimensionamento delle colonne montanti di distribuzione è stato eseguito, note le portate, imponendo la velocità massima del fluido termovettore al loro intero pari a 1,5m/s. Tali valori sono stati forniti dall'azienda Messina Italia [60].

Tabella 44: Velocità fluido termovettore [60]

Velocità in RAD [m/s]	0,75
Velocità H2O in montanti [m/s]	1,5

In Tabella 45 sono riportati i valori dei diametri delle montanti.

Tabella 45: Dimensionamento montanti di distribuzione

	Piano Terra	Piano Primo
Lunghezza colonna montante [m]	4,7	7,7
Portata [l/h]	2451,54	1161,71
Portata [m ³ /h]	2,45	1,16
Sezione teorica [m ²]	0,000454	0,000215
Diametro Teorico [mm]	24,0	16,6
Diamentro reale [mm]	32	25
Diamentro reale [pollici]	1' 1/4	1'
Velocità effettiva [m/s]	0,854	0,663

5.3.3.3. Dimensionamento pompe di circolazione

Sono stati previsti n.2 gruppi di rilancio: uno dedicato all'alimentazione dei terminali d'impianto ed uno per il sistema di collettori solari.

Per l'alimentazione dei collettori del soffitto radiante è stato selezionato un gruppo di rilancio miscelato unico per entrambi i collettori, costituito da:

- Dispositivo di intercettazione con valvola a sfera e termometro;
- Miscelatore a tre vie con attuatore 230 V a tre punti;
- Pompa di circolazione.

Il dimensionamento della pompa di circolazione, fondamentale per la circolazione del fluido termovettore (acqua) nei terminali, è stato eseguito sulla base dei valori di perdite di carico e portata dei terminali di emissione. La pompa di circolazione per l'impianto di climatizzazione selezionata è dotata di un sistema di regolazione che permette di regolare il numero di giri della pompa per adattarsi alla richiesta effettiva e lavorare così nel suo punto di progetto.

Noti quindi dai paragrafi precedenti il valore di perdite di carico e di portata necessaria, in Tabella 46 si riportano le caratteristiche della pompa di circolazione scelta [65].

Tabella 46: Dimensionamento pompa di circolazione impianto di climatizzazione [65]

Caratteristiche circuito		
	Q [m ³ /h]	Δp_{tot} [mca]
Piano Terra	1,29	0,46
Piano Primo	1,16	0,48
TOTALE	2,45	0,94
Caratteristiche pompa di circolazione		
	Q [m ³ /h]	H [m]
	3	1,6

Si osserva, dai valori in Tabella 46, come la prevalenza della pompa permetta di vincere le perdite di carico del circuito ed il valore di portata destinabile dalla pompa è maggiore rispetto il valore di portata presente nell'impianto: questo permette un corretto funzionamento dell'impianto.

Per l'alimentazione dell'impianto solare è stato considerato, anche in questo caso, un circolatore in grado di vincere le perdite di carico. All'interno di ogni collettore solare sono presenti, al massimo, 1,7 litri di fluido tecnico. Il valore della portata di fluido circolante nel circuito dell'accumulo solare è stato ricavato all'interno della scheda tecnica del sistema selezionato [66] e considerata pari al valore massimo disponibile in modo da porsi in condizioni conservative e dimensionare così la pompa di circolazione in modo tale da lavorare correttamente anche nella condizione più gravosa. Similmente a quanto fatto per il circuito idraulico, sono state determinate le perdite di carico e, sulla base di questi valori, determinato il circolatore. Le grandezze relative alla pompa di circolazione selezionata sono riportate in Tabella 47.

Tabella 47: Dimensionamento pompa di circolazione impianto collettori solari [66]

Caratteristiche circuito	
Q [m ³ /h]	Δp_{tot} [mca]
0,761	0,21312
Caratteristiche pompa di circolazione	
Q [m ³ /h]	H [m]
0,9	5

Anche in questo caso, si osserva come la prevalenza e della pompa abbia un valore maggiore rispetto alle perdite di carico del circuito, similmente anche il valore della portata che la pompa può gestire è maggiore rispetto quella presente nell'impianto.

5.3.4. Sottosistema di generazione – Centrale Termica

Con il termine sistema di generazione si va ad indicare tutte le apparecchiature fondamentali per la produzione di acqua tecnica (calda o fredda, in base alla stagione) e di acqua calda sanitaria.

Esistono diverse opportunità disponibili in commercio, tra cui:

- Generatori di calore a combustione;
- Pompa di calore;
- Sistema ibrido.

In tutti e tre i casi sopra elencati è possibile affiancare al generatore eventuali integrazioni da fonti rinnovabili come, ad esempio, impianti solari termici.

Nello specifico si è deciso di trattare esclusivamente il sistema a pompa di calore, per seguire ed allinearsi agli obiettivi del Green Deal Europeo, che punta alla neutralità climatica entro il 2050, con conseguente eliminazione dell'uso dei combustibili fossili [67].

5.3.4.1 Pompa di calore

Esistono differenti tipologie di pompe di calore, classificabili sia in base al tipo di compressione sia in base alla sorgente termica.

Nel caso di classificazione in base al tipo di compressione si dividono in:

- Pompa di calore a compressione con motore elettrico;
- Pompa di calore a compressione con motore endotermico;
- Pompa di calore ad assorbimento.

Se si considera, invece, la classificazione in base al tipo di sorgente esterna, si parla di:

- Pompa di calore aria-aria: scambiano calore direttamente tra l'aria esterna e interna;
- Pompa di calore aria-acqua: trasferiscono il calore dall'aria all'acqua;
- Pompa di calore acqua-acqua: prelevano calore da acque di falda, laghi o fiumi;
- Pompa di calore geotermica: utilizzano il calore circa costante del terreno come sorgente.

Le pompe di calore possono essere utilizzate sia in condizioni invernali, in riscaldamento, sia in condizioni estive, in raffreddamento [68]. Di seguito una descrizione del principio di funzionamento nei due regimi:

- Inverno: In modalità riscaldamento, la pompa di calore preleva calore da una sorgente esterna (anche a basse temperature) e lo trasferisce all'interno.

Fasi di funzionamento:

- o Assorbimento del calore dalla sorgente esterna: all'interno dell'evaporatore il fluido refrigerante a bassa temperatura entra in contatto con la sorgente esterna (aria, acqua o terreno). Il calore viene assorbito dal refrigerante, che passa dallo stato liquido a quello gassoso (evaporazione);
 - o Compressione del refrigerante: Il gas refrigerante viene compresso aumentando così sia la temperatura sia la pressione;
 - o Rilascio del calore all'interno: Il gas compresso entra all'interno del condensatore dove cede il suo calore al fluido termovettore (aria o acqua). Durante questa fase, il gas refrigerante si raffredda e torna allo stato liquido;
 - o Espansione e riciclo: Attraverso la valvola di espansione, il refrigerante allo stato liquido espande e, di conseguenza, diminuisce la sua temperatura e torna al livello di pressione iniziale.
- Estate: In modalità raffrescamento, il ciclo frigorifero viene invertito grazie a una valvola reversibile. Questo consente alla pompa di calore di estrarre il calore dall'ambiente interno e di trasferirlo all'esterno.

Fasi di funzionamento:

- o Assorbimento del calore interno: Il refrigerante all'interno dell'evaporatore assorbe calore dall'aria interna, evaporando e diventando gas;
- o Compressione del refrigerante: Il gas refrigerante viene compresso all'interno del compressore, aumentando conseguentemente la sua temperatura e pressione.
- o Rilascio del calore all'esterno: Nel condensatore il refrigerante caldo cede il calore assorbito all'interno e torna allo stato liquido.
- o Espansione e riciclo: Il refrigerante passa attraverso la valvola di espansione, abbassando la sua temperatura e pressione, che torna al valore.

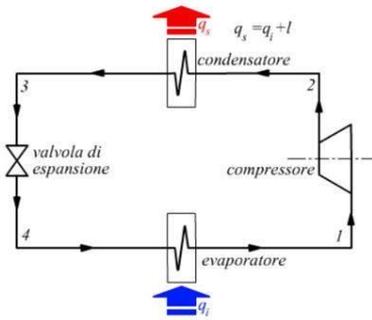


Figura 29: Schema di funzionamento ciclo termodinamico inverso [69]

In base al funzionamento, l'efficienza della pompa di calore, in inverno, o macchina frigorifera, in estate, è espressa con indici e si distingue:

- Nel caso invernale si parla di COP (Coefficient of Performance) dato da rapporto tra la potenza termica disponibile e la potenza elettrica assorbita, entrambe espresse in W;

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

Equazione 7: Calcolo Coefficient of Performance (COP)

-
- In condizioni estive, invece, si parla di EER (Energy Efficiency Ratio) e definito come il rapporto tra la potenza termica sottratta e la potenza termica assorbita, entrambe in W.

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

Equazione 8: Calcolo Energy Efficiency Ratio (EER)

5.3.4.2 Dimensionamento generazione – circuito primario

Pompa di calore

Il dimensionamento della pompa di calore è stato eseguito in maniera tale da soddisfare il carico termico sensibile richiesto, sia nel regime invernale sia in quello estivo. I valori di carico cui si fa riferimento sono quelli riportati nel Capitolo 5.3.

Per il periodo di funzionamento invernale, visti i vincoli per il corretto funzionamento della macchina in funzione della temperatura esterna, è stata eseguita una verifica che, la temperatura esterna fosse maggiore rispetto a quella minima di corretto funzionamento della pompa di calore [70].

	Potenza sensibile [W]
Carico Massimo RISCALDAMENTO [W]	6871,04
Carico Massimo RAFFREDDAMENTO [W]	4155,00

Tabella 48: Carico massimo da soddisfare

La pompa di calore selezionata è una pompa di calore aria-acqua con potenza termica utile in riscaldamento di 12,00 kW e indici di prestazione pari a COP=4,90 ed EER=4,40 [70]. Attraverso il software Namirial Termo 6.0 è stato inoltre possibile verificare che la pompa di calore fosse in grado di coprire la richiesta sia nel periodo invernale sia in quello estivo. Tale verifica ha avuto esito positivo.

Oltre che per la climatizzazione, la pompa di calore lavorerà anche per la produzione di acqua calda sanitaria, motivo per cui risulta con una potenza maggiore rispetto a quanto sarebbe richiesto per compensare i soli carichi termici.

Il gas refrigerante utilizzato all'interno della pompa di calore scelta è l'R32. Conformemente a quanto contenuto all'interno del Regolamento europeo 517/2014 [71] il quale stabilisce che dal 2025 sarà vietato l'utilizzo di gas ad alto potenziale di surriscaldamento, con GWP (Global Warning Potential) superiore a 750, l'utilizzo di una pompa di calore che utilizza nel suo ciclo gas refrigerante R32 permette di seguire quanto stabilito. L'R32, infatti, ha un valore di GWP di 675, il che significa che l'emissione in atmosfera di 1 Kg di questo gas equivale all'emissione di 675 Kg di anidride carbonica [72].

Inoltre, la macchina scelta compie cicli di sbrinamento per permettere di rimuovere l'eventuale brina formatasi sullo scambiatore, nei casi in cui la temperatura esterna nel periodo invernale scenda al di sotto degli 0°C, fenomeno che potrebbe limitare il funzionamento della pompa di calore.

5.3.4.3. Dimensionamento componenti circuito primario

5.3.4.3.1. Vaso di espansione

Il vaso di espansione permette di compensare gli eventuali sbalzi di pressione o di volume nel circuito dovute, a loro volta, da variazioni improvvise di temperatura e/o pressione: grazie a questo, contribuisce a ridurre lo stress sulle tubature e sugli altri componenti dell'impianto.

Essendo presenti due serbatoi di accumulo, uno per il fluido tecnico ed uno per l'acqua calda sanitaria, si è scelto di installare due vasi di espansione, uno per ogni accumulo.

Nel caso in esame, si è scelto di utilizzare un vaso di espansione chiuso a membrana.

Inoltre, è stato dimensionato anche un vaso di espansione per l'intero impianto: quest'ultimo avrà la funzione di bilanciare le fluttuazioni di pressione dell'impianto nel suo complesso.

I vasi di espansione sono stati dimensionati secondo l'espressione:

$$V_{ve} = \frac{E}{1 - \frac{p_i}{p_f}} [m^3]$$

Equazione 9: Calcolo del volume totale del vaso di espansione

Dove:

- V_{ve} : volume totale del vaso di espansione [m^3];
- E: volume di espansione [m^3]. A sua volta, il valore di E è stato ottenuto tramite l'espressione:

$$E = e * c \text{ [m}^3\text{]}$$

Equazione 10: Calcolo del volume di espansione

Dove:

- o e: coefficiente di dilatazione per H₂O tra 10°-90°C;
- o C: contenuto di acqua [l]: coincidente con il volume dei serbatoi di accumulo. Si rimanda al Capitolo 5.3.6 per il calcolo del volume di accumulo.
- p_i : pressione iniziale [bar]: definito come somma della pressione idrostatica e quella di precarica. La pressione idrostatica corrisponde al carico geodetico ovvero la somma dell'altezza nella quale è collocato il vaso di espansione e l'altezza delle tubazioni, mentre la pressione di precarica è la pressione del gas presente all'interno del vaso di espansione, dato ricavato dalla scheda tecnica;
- p_f : pressione finale [bar]: definita come somma della pressione di taratura, nota da scheda tecnica, e del dislivello tra valvola di sicurezza e vaso di espansione.

Dai calcoli eseguiti ne deriva un vaso di espansione di volume pari a 24 litri [73] per l'impianto e per gli accumuli un vaso di espansione con capacità 35 litri [74] per il serbatoio di accumulo di fluido tecnico ed uno per volume pari a 12 litri l'accumulo di acqua calda sanitaria [75].

5.3.4.3.2. Valvola di sicurezza

La valvola di sicurezza ha lo scopo scaricare automaticamente il fluido in eccesso presente nel circuito nel caso in cui la pressione di quest'ultimo raggiunga un livello predeterminato, detto pressione di taratura, e ritenuto pericoloso. Questo permette di evitare possibili danni alle attrezzature e prevenire situazioni potenzialmente pericolose.

Il dimensionamento della valvola di sicurezza associata alla caldaia è stato eseguito seguendo l'espressione:

$$A = 0,005 * \frac{F}{0,9 * K} \text{ [cm}^2\text{]}$$

Equazione 11: Calcolo della sezione trasversale della valvola di sicurezza

Dove:

- A: area minima della sezione trasversale netta dell'orifizio della valvola [cm²];
- 0,9: coefficiente di sicurezza;
- P: pressione di scarico [bar]: determinata secondo l'espressione:

$$P_{scarico} = P_{taratura\ valvola} + \Delta p \text{ [bar]}$$

Equazione 12: Calcolo della pressione di scarico

Dove:

- $P_{taratura\ valvola}$ [bar]: determinata da Scheda Tecnica della valvola [78];
- Δp [bar]: pari al valore minore tra 0,1 bar ed il 20% della pressione di taratura;
- F: fattore di pressione ottenuto dalla Figura 30, in funzione della pressione di scarico;
- K: coefficiente di efflusso desunto da certificato di accettazione, posto pari a 1,14;
- W: capacità di scarico del vapore prodotto [kg/h] ed ottenuto come:

$$W = \frac{Q}{0,58} \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Equazione 13: Calcolo della capacità di scarico del vapore prodotto

Dove:

- Q: potenza installata nel generatore di calore [kW];

Determinato il valore della pressione di scarico, pari a 1,60bar, è stato determinato il valore di F e successivamente il valore della sezione della valvola di sicurezza pari a DN15.

Figura 30: Valori di F per pressioni di scarico da 0,5 a 12,5bar [76]

p	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70
F	2,47	2,32	2,19	2,07	1,97	1,87	1,79	1,71	1,63	1,57	1,51	1,45	1,40
p	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00
F	1,35	1,31	1,26	1,22	1,19	1,15	1,12	1,09	1,06	1,03	1,01	0,98	0,96
p	3,10	3,20	3,30	3,40	3,50	3,60	3,70	3,80	3,90	4,00	4,20	4,40	4,60
F	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,84	0,82	0,80	0,79	0,77	0,74	0,71	0,69
p	4,80	5,00	5,20	5,40	5,60	5,80	6,00	6,20	6,40	6,60	6,80	7,00	7,20
F	0,67	0,65	0,62	0,61	0,59	0,57	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50	0,49	0,48
p	7,40	7,60	7,80	8,00	8,20	8,40	8,60	8,80	9,00	9,50	10,0	10,5	11,0
F	0,46	0,45	0,44	0,43	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,37	0,36	0,34	0,32

In Tabella 49 si riporta quanto ottenuto.

Tabella 49: Sezione minima trasversale valvola di sicurezza [cm²]

Potenza generatore [kW]	12
Pressione taratura valvola [bar]	1,5
Δp [bar]	0,1
Pressione di scarico [bar]	1,6
F [-]	1,45
Capacità scarico volume prodotto W [kg/h]	20,69
K [-]	1,14
Sezione minima trasversale netta dell'orificio della valvola [cm ²]	0,15

Si è successivamente verificato che quanto ottenuto fosse conforme con quanto riportato all'interno della norma UNI EN 12828, la quale fa riferimento agli impianti di riscaldamento e secondo cui la sezione minima dell'orificio della valvola per pompe di calore fino a 35 kW deve essere maggiore o uguale a ½" (DN15) [77].

Il risultato ottenuto è conforme alla norma, è stata quindi selezionata dalle valvole di sicurezza presenti in commercio quella rispettante i parametri calcolati [78].

5.3.4.3.3. Separatore idraulico

Il separatore idraulico permette di disaccoppiare idraulicamente il circuito primario, ossia quello del generatore di calore, dal circuito secondario, quello delle utenze ed evitare così influenze reciproche e generando così uno zero idraulico [79]. Viene utilizzato principalmente in impianti costituiti da più circuiti, come nel caso dell'impianto a pannelli radianti. Permette, ad esempio, di limitare le possibili variazioni di temperatura e riduzioni delle prestazioni, dovute alle differenti portate tra primario e secondario.

Il dimensionamento del separatore è stato eseguito in base all'espressione:

$$D = \sqrt{\frac{Q \cdot 354}{V}} \quad [\text{mm}]$$

Equazione 14: Calcolo del diametro interno separatore idraulico

Dove:

- D [mm]: diametro interno separatore;
- Q [m³/h]: portata circolante nell'impianto;
- V [m/s]: velocità dell'acqua all'interno del separatore (considerata pari a 0,25m/s);

Ne deriva un separatore idraulico con diametro pari a 65mm [80]. È stata inoltre eseguita la verifica che il diametro del separatore fosse uguale o maggiore rispetto alle tubazioni di connessione tra primario e secondario per evitare possibili sbilanciamenti. Essendo le tubazioni con DN32, la verifica è rispettata.

D [mm]	64,27
D reale [mm]	65

Tabella 50: Diametro separatore idraulico [mm]

5.3.4.4. P&I – Centrale termica

In Figura 31 è riportato il P&I, acronimo di Piping & Instrumentation, dei principali componenti presenti nella centrale termica e precedentemente dimensionati. Nella sezione Allegati si riporta il disegno per una più chiara lettura.

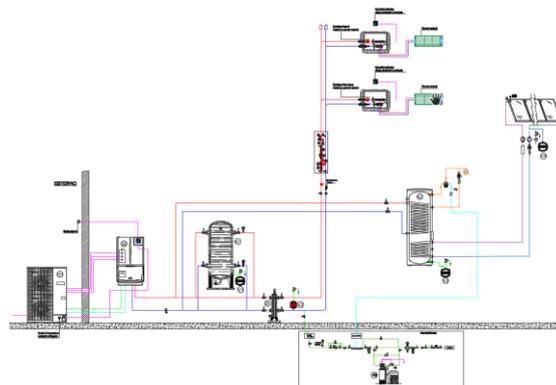


Figura 31: P&I impianto - edificio di nuova costruzione

5.3.5. Sottosistema di generazione – rinnovabili

5.3.5.1. Impianto solare termico

Nel settore dell'edilizia, un impianto solare termico sfrutta la radiazione solare o per scaldare l'acqua calda sanitaria o come supporto ed integrazione dell'impianto di riscaldamento. Esistono diverse tipologie di collettori solari termici:

- Collettori solari piani: costituiti da una superficie piatta ed un assorbitore coperto da una lastra di vetro a protezione. Sono i più comuni nell'ambito degli usi domestici, soprattutto grazie al loro costo più contenuto rispetto alle altre tipologie;
- Collettori solari sottovuoto: sfruttano tubi di vetro sottovuoto che circondano l'assorbitore. Questo permette di ridurre le perdite di calore per convezione e per questo risultano più efficienti dei collettori piani, ma più costosi;
- Collettori ad aria: non riscaldano un liquido ma aria che può così essere direttamente utilizzata per il riscaldamento degli ambienti;
- Collettori solari concentrati: utilizzano superfici riflettenti (come specchi o lenti) per concentrare la luce solare su un assorbitore di piccole dimensioni, generano temperature molto elevate. Non sono quindi utilizzati in ambiti domestici, ma vengono usati in applicazioni industriali o per produrre energia elettrica tramite turbine a vapore.

Nel caso specifico dell'uso dei collettori solari per uso domestico, sfruttando la luce del sole che attraversa la copertura trasparente e raggiunge così l'assorbitore, questo converte la radiazione solare in calore, il quale viene trasferito al fluido termovettore grazie al suo scorrimento all'interno di tubi posti a contatto con l'assorbitore. Il fluido riscaldato trasporta poi il calore o verso un accumulo termico, dal quale verrà utilizzato in un secondo momento, o utilizzato direttamente per il fabbisogno energetico dell'edificio.

5.3.5.1.1 Dimensionamento solare termico

Il valore di volume di acqua calda sanitaria necessario è stato determinato, come definito nella norma UNI/TS 11300-2 [5] secondo la relazione:

$$V_W = a * S_u * b \quad [l]$$

Equazione 15: Calcolo del valore di volume di acqua calda sanitaria necessario

Dove:

- $S_u [m^2]$: superficie utile dell'abitazione;
- $a [l/m^2gg]$: parametro ricavato dal prospetto 30 della UNI/TS 11300-2:2014 [19];
- $b [l/gg]$: parametro ricavato dal prospetto 30 della UNI/TS 11300-2:2014 [19].

Superficie utile S_u [m ²]	$S_u \leq 35$	$35 < S_u \leq 50$	$50 < S_u \leq 200$	$S_u > 200$
Parametro a [litri/(m ² × giorno)]	0	2,667	1,067	0
Parametro b [litri/giorno]	50	-43,33	36,67	250

Figura 32: Valori dei parametri a e b [19]

Ne deriva un consumo giornaliero pari a 208,16 litri per l'intero immobile con superficie utile di circa 161m². Moltiplicando il valore giornaliero per il totale dei giorni in ogni mese sono stati ottenuti, come riportato in Tabella 51, i litri di acqua calda sanitaria necessari per ogni mese e, di conseguenza, per un anno intero.

Tabella 51: Volume di acqua calda sanitaria necessario giornaliero [l/gg] e mensile [l]

Su [m ²]	a [l/(m ² gg)]	b [l/gg]		Giorni	Vw [l/gg]	Vw [l]
160,721	1,067	36,67	Gennaio	31	208,16	6452,94
			Febbraio	28	208,16	5828,46
			Marzo	31	208,16	6452,94
			Aprile	30	208,16	6244,78
			Maggio	31	208,16	6452,94
			Giugno	30	208,16	6244,78
			Luglio	31	208,16	6452,94
			Agosto	31	208,16	6452,94
			Settembre	30	208,16	6244,78
			Ottobre	31	208,16	6452,94
			Novembre	30	208,16	6244,78
			Dicembre	31	208,16	6452,94
			TOTALE			75978,15

La valutazione del campo solare è stata eseguita seguendo la UNI/TS 11300-4 [21]. Ne deriva un campo solare termico costituito da n.2 collettori solari piani orientati a Sud. In Tabella 52 si riportano i dati di posizionamento dei collettori solari.

Dati posizionamento collettori solari	Unità [°]
Orientamento rispetto SUD	0
Inclinazione (rispetto l'orizzontale)	15

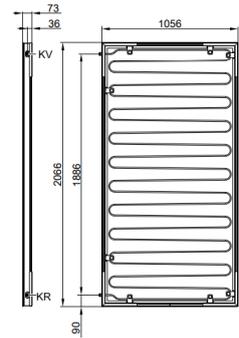
Tabella 52: Dati posizionamento collettori solari

In Tabella 53, si riportano le caratteristiche principali del campo solare termico. In Figura 33, si riportano, invece, le dimensioni, ricavate dalla scheda tecnica del costruttore [81].

Tabella 53: Caratteristiche campo collettori solari

Numero di pannelli	2
Superficie totale sistema [m^2]	4,02
Superficie totale captante [m^2]	3,618
a_1 [W/m^2K]	1,8
a_2 [W/m^2K^2]	0,008
η_0 [-]	0,90
IAM [-]	0,97

Figura 33: Dimensioni collettore solare



Legenda		
η_0 [-]	efficienza ottica	l'efficienza del collettore in condizioni ideali, ovvero quando non ci sono perdite termiche. Rappresenta la frazione dell'energia solare incidente che viene assorbita e trasferita al fluido termovettore
a_1 [W/m^2K]	coefficiente di perdita termica lineare	tiene conto delle perdite di calore del collettore in funzione della differenza di temperatura tra l'assorbitore e l'ambiente esterno
a_2 [W/m^2K^2]	coefficiente di perdita termica quadratico	tiene conto della quota di perdite termiche che aumentano in maniera non lineare con la temperatura
IAM [-]	Incidence Angle Modifier	fattore che corregge l'efficienza del collettore sulla base dell'angolo di incidenza della radiazione solare sul collettore stesso, considerando massima l'efficienza nella condizione in cui il sole è perpendicolare al collettore
Nota	Questi parametri vengono solitamente forniti dai produttori e sono determinati attraverso test standardizzati.	

I fabbisogni di acqua calda sanitaria $Q_{p,tot,W}$, per i differenti mesi, sono stati determinati attraverso l'uso del software Namirial Termo 6.0. In Tabella 54 si riportano i valori, suddivisi per singolo mese.

IMMOBILE					
	Giorni	V_W [l]	T_0 [°C]	T_{er} [°C]	$Q_{p,tot,W}$ [kWh]
Gennaio	31	208,15	12,67	40	495,6
Febbraio	28	208,15	12,67	40	417,2
Marzo	31	208,15	12,67	40	392,1
Aprile	30	208,15	12,67	40	410,2
Maggio	31	208,15	12,67	40	448,8
Giugno	30	208,15	12,67	40	396,6
Luglio	31	208,15	12,67	40	395,2
Agosto	31	208,15	12,67	40	402,9
Settembre	30	208,15	12,67	40	421,1
Ottobre	31	208,15	12,67	40	418,6
Novembre	30	208,15	12,67	40	402,3
Dicembre	31	208,15	12,67	40	479,1
TOTALE					5079,7

Tabella 54: Fabbisogno di acqua calda sanitaria mensile [kWh]

Legenda		
T_{er}	T di erogazione dell'acqua	[°C]
T_0	Temperatura dell'acqua fredda in ingresso	[°C]
V_W	Volume di acqua calda sanitaria	[l]
$Q_{p,tot,W}$	Fabbisogno di acqua calda sanitaria	[kWh]

Il valore di irradiazione solare globale al suolo su piano orizzontale (MJ/m^2) è stato determinato a partire dal valore radiazione solare globale al suolo su piano orizzontale (kWh/m^2) media mensile, reperite all'interno dell'Atlante italiano della radiazione solare di ENEA per la città di Torino [82]. Non essendo presente la città di Santena, si è ritenuto idoneo poter considerare la radiazione di Torino simile a quella di Santena.

Tabella 55: Radiazione solare [kWh/m^2] e irradiazione solare [MJ/m^2] per la città di Santena (TO) [82]

Reg	Provincia	Comune	Lat	Long	Alt	Anno							
Pmn	TO	Torino	45°03.9'	7°40.9'	239	2006÷2022							
Radiazione solare globale al suolo su piano orizzontale (kWh/m^2) - giornaliera media mensile													
gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	TOTALE annua	
1,746	2,562	3,905	4,925	5,743	6,452	6,602	5,782	4,446	2,754	1,687	1,415	1464,1	
Irradiazione solare globale al suolo su piano orizzontale (Mj/m^2) - giornaliera media mensile													
6,2856	9,2232	14,058	17,73	20,6748	23,2272	23,7672	20,8152	16,0056	9,9144	6,0732	5,094	172,8684	

Tabella 56: Consumo elettrico giornaliero per la produzione di acqua calda sanitaria mensile [kWh]

	gg/mese	Fabbisogno ACS [kWh]	Fabbisogno ACS giornaliero [kWh/gg]	Fabbisogno ACS giornaliero NETTO [MJ/gg]	Fabbisogno ACS giornaliero LORDO [MJ/gg]	Consumo elettrico giorno [kWh]
Gennaio	31	495,60	15,99	57,55	90,28	21,32
Febbraio	28	417,20	14,90	53,64	84,14	19,87
Marzo	31	392,10	12,65	45,53	71,43	16,86
Aprile	30	410,20	13,67	49,22	77,21	18,23
Maggio	31	448,80	14,48	52,12	81,75	19,30
Giugno	30	396,60	13,22	47,59	74,65	17,63
Luglio	31	395,20	12,75	45,89	71,99	17,00
Agosto	31	402,90	13,00	46,79	73,39	17,33
Settembre	30	421,10	14,04	50,53	79,27	18,72
Ottobre	31	418,60	13,50	48,61	76,25	18,00
Novembre	30	402,30	13,41	48,28	75,73	17,88
Dicembre	31	479,10	15,45	55,64	87,27	20,61

Il valore del fabbisogno di acqua calda sanitaria giornaliera lordo è stato determinato, noto il valore di fabbisogno netto, tenendo in considerazione delle perdite. In particolare, sono stati considerati:

- Un rendimento delle piastre, pari al rapporto tra energia termica utile rispetto a quella incidente sulla piastra captante, uguale a l 75% [83];

- Un rendimento di accumulo, al fine di poter tenere in conto delle perdite d'irraggiamento e convezione, pari a 85%.

Il valore di consumo elettrico giornaliero è stato calcolato ipotizzando l'utilizzo di un boiler elettrico standard con rendimento elettrico pari a 75% [19].

Noto il valore di fabbisogno lordo, è stato possibile determinare la percentuale di copertura di produzione di acqua calda sanitaria per mezzo dei collettori solari installati.

	gg/mese	Radiazione solare giornaliera [MJ/m ² gg]	Radiazione solare mensile [MJ/m ²]	Produzione calore da SOLARE [MJ/mese]	Copertura giornaliera [%]	Risparmio giornaliero [kWh/gg]	Risparmio mensile [kWh]
Gennaio	31	6,2859	195	499,4	18%	3,8	117,9
Febbraio	28	9,2232	258	661,8	28%	5,6	156,3
Marzo	31	14,058	436	1116,8	50%	8,5	263,7
Aprile	30	17,73	532	1363,1	59%	10,7	321,8
Maggio	31	20,6748	641	1642,5	65%	12,5	387,8
Giugno	30	23,2272	697	1785,8	80%	14,1	421,6
Luglio	31	23,7672	737	1888,2	85%	14,4	445,8
Agosto	31	20,8152	645	1653,7	73%	12,6	390,4
Settembre	30	16,0056	480	1230,6	52%	9,7	290,5
Ottobre	31	9,9144	307	787,7	33%	6,0	186,0
Novembre	30	6,0732	182	466,9	21%	3,7	110,2
Dicembre	31	5,094	158	404,7	15%	3,1	95,6

Tabella 57: Produzione calore da collettore solare, copertura giornaliera e risparmio energetico [kWh]

Si osserva un picco della copertura del fabbisogno di acqua calda sanitaria nel mese di luglio, con una copertura dell'85%, ed un valore minimo nel mese di dicembre.

Si è scelto, nonostante fosse ancora presente sulla copertura dell'immobile un'area residua in cui poter collocare ulteriori collettori, di non installarli per non incorrere in problemi di ristagno, i quali potrebbero comportare problemi alla salute.

5.3.5.2. Impianto fotovoltaico

I moduli fotovoltaici sono dispositivi tecnologici usati per la produzione di energia da fonte rinnovabile: sono in grado, infatti, di trasformare la luce solare in energia elettrica tramite l'effetto fotovoltaico.

I materiali vengono classificati in base alla posizione ed al comportamento degli elettroni che li costituiscono ovvero gli elettroni di valenza (elettroni che, se scambiati con altri atomi stabiliscono legami chimici) e gli elettroni di conduzione (elettroni liberi che trasportano elettricità di conduzione) in [84]:

- Materiali isolanti: materiali in cui la banda energetica degli elettroni di conduzione è molto distante dalla banda di valenza. Questo porta gli elettroni a rimanere bloccati nella banda di valenza e non riescono a migrare verso la banda di conduzione, impedendo così la generazione di corrente elettrica;
- Materiali conduttori: materiali che presentano una banda di conduzione sovrapposta o molto vicina alla banda di valenza. Gli elettroni sono quindi liberi di muoversi facilmente tra le due bande, facilitando così la conduzione di corrente elettrica;
- Materiali semiconduttori: materiali con bande di valenza e conduzione vicine ma non sovrapposte. In questo caso, una piccola quantità di energia è sufficiente per promuovere gli elettroni dalla banda di valenza a quella di conduzione, consentendo così la formazione di corrente elettrica.

Il semiconduttore più comunemente utilizzato, nel caso dei moduli fotovoltaici, è il silicio. Per questo scopo il silicio viene contaminato con delle impurezze, attraverso un fenomeno detto di drogaggio. Esistono due differenti modalità di drogaggio:

- Drogaggio di tipo p: il silicio viene “drogato” con sostanze trivalenti quali il boro, detti anche atomi donatori. Questo lo rende ricco in cariche negative;
- Drogaggio di tipo n: il silicio viene “drogato” con sostanze pentavalenti come il fosforo, detti anche atomi accettori. Questo lo rende ricco in lacune (cariche positive fittizie) dovute all'assenza di elettroni.

Dalla giunzione p-n si genera la cella fotovoltaica, ossia un cristallo di silicio che da un lato è prevalentemente drogato di tipo n e dall'altro di tipo p: si ottiene così una zona con prevalenza di elettroni, cariche negative, ed una con assenza di elettroni, con prevalenza quindi di lacune.

Questo è alla base dell'effetto fotovoltaico e, di conseguenza, del funzionamento dei pannelli fotovoltaici. Infatti, quando la radiazione solare, composta da fotoni, colpisce la giunzione, l'energia dei fotoni viene assorbita dal semiconduttore. Questo provoca l'eccitazione degli elettroni presenti nella giunzione che si liberano dalle loro posizioni nella banda di valenza e si spostano verso la banda di conduzione generando così un campo elettrico interno che spinge gli elettroni verso il lato n e le lacune verso il lato p creando così un flusso di cariche ovvero una corrente elettrica continua (DC). La corrente così prodotta può essere utilizzata direttamente in dispositivi a corrente continua o, più comunemente, convertita in corrente alternata (AC) tramite l'uso di un inverter.

Esistono diverse tipologie di moduli fotovoltaici in commercio, che si distinguono per il tipo di celle utilizzate e per le loro caratteristiche:

- moduli monocristallini: realizzati con silicio di alta purezza, ottenuto da un unico cristallo di silicio, offrono un'elevata efficienza;

- moduli policristallini: ottenuti dalla fusione di diversi cristalli di silicio e, per questo, hanno un'efficienza inferiori rispetto ai moduli monocristallini;
- moduli a film sottile, o amorfi: realizzati depositando uno strato di materiale semiconduttore su una superficie come vetro o plastica. Questi moduli hanno un'efficienza inferiore rispetto ai moduli cristallini.

5.3.5.2.1. Dimensionamento – impianto fotovoltaico 9,5kWp

Si è deciso di installare sulla copertura dell'edificio dei moduli fotovoltaici collocati sulla falda rivolta a sud.

Secondo quanto stabilito dall'Articolo 26 del D.Lgs 199/2021 [12], il 60% dei consumi, nel caso di edifici di nuova costruzione, deve essere coperto da energia proveniente da fonti rinnovabili. [45]

Per raggiungere tale obiettivo, rispettando anche le aree disponibili sulla copertura, in particolare sulla porzione di copertura rivolta a Sud, sono stati posizionati n.19 moduli, come visibile in Figura 34.

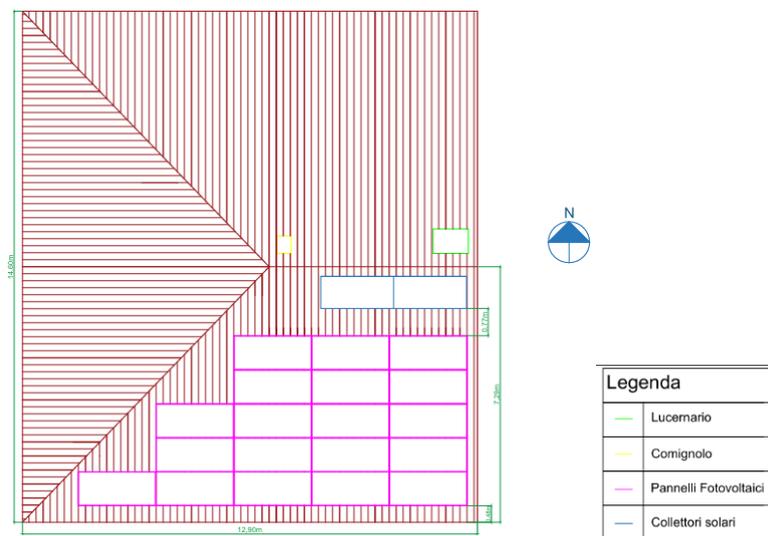


Figura 34: Posizionamento moduli fotovoltaici per una potenza di piccol di 9,5 kWp

I moduli installati sono moduli SunPower Performance 6 monocristallini [85] con potenza nominale di picco pari a 500kWp, un'area del singolo pannello pari a $2,39m^2$ ed un'efficienza pari al 21,0%. Ne risulta un impianto con potenza di picco pari a 9,50kWp ed un'area totale occupata dai moduli pari a $45,41m^2$.

Caratteristiche campo fotovoltaico	
Orientamento rispetto SUD [°]	0
Inclinazione rispetto al piano orizzontale [°]	15
Numero moduli [-]	19
Superficie singolo modulo [m^2]	2,39
Superficie totale [m^2]	45,41
Potenza piccol singolo modulo [W]	500
Potenza di piccol totale [kW]	9,5

Tabella 58: Caratteristiche campo fotovoltaico

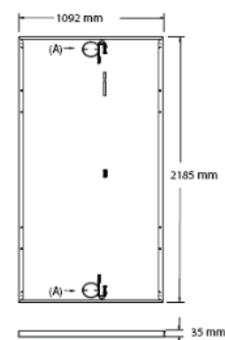


Figura 35: Dimensioni pannello fotovoltaico [85]

Secondo quanto stabilito dal D.Lgs. 199/2021 [12], il valore di potenza d'obbligo minima valutata in kW, P, che deve essere installata obbligatoriamente sopra o all'interno di un edificio deve essere tale da rispettare l'equazione 16:

$$P = k * S \text{ [kW]}$$

Equazione 16: Calcolo del valore di potenza minima d'obbligo [12]

Dove:

- S [m^2]: superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno. Nel calcolo della superficie non vengono però considerate le aree delle pertinenze, sulle quali, però, è consentita l'installazione degli impianti;
- K: un coefficiente specifico alla tipologia di edificio e che nel caso di edifici di nuova costruzione vale 0,05. Il reciproco del valore di k è il valore w che, nel caso di nuova costruzione, vale 20 [12].

Questo implica che, per l'edificio di nuova costruzione avente una superficie in pianta pari a circa $80m^2$, l'installazione di un impianto con potenza di picco pari a 9,5kWp soddisfa il minimo di potenza richiesto pari a 4kWp [86].

Si sottolinea come il posizionamento dei moduli fotovoltaici ha tenuto in conto dell'inclinazione della copertura (15°) e delle aree necessarie per le manovre di installazione.

Il valore di inclinazione ottimale dei moduli, l'angolo di tilt beta, ossia l'angolo che permette di massimizzare la producibilità dei moduli a parità di area installata, è stato determinato tramite il software PVGIS [87]. Tale valore è di circa 33° . Stando però a quanto contenuto all'interno dell'allegato III del D. Lgs. 199/2021 [12], è necessario che i moduli fotovoltaici, disposti su tetti a falda, vengano integrati in essa. Questo implica che l'angolo di tilt debba coincidere con l'inclinazione della copertura e che, di conseguenza, la producibilità non risulterà massimizzata.

Si è infatti scelto di lasciare delle porzioni di colmo non coperte dai moduli per permettere un'installazione non troppo vicina al colmo né troppo a filo con il bordo della copertura.

Si è considerato che l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico vada ad uso di:

- Impianto di climatizzazione estiva ed invernale;
- Impianto di ventilazione meccanica;
- Produzione di acqua calda sanitaria;
- Impianto di ventilazione meccanica controllata;
- Illuminazione;
- Uso di elettrodomestici, apparecchi elettronici etc.

Per la valutazione della copertura di energia elettrica da produzione solare, il valore di consumo ottenuto dal software Namirial Termo 6.0, dal quale è possibile estrapolare i consumi elettrici relativi all'impianto per la quota di climatizzazione e acqua calda sanitaria, è stato maggiorato di una quota pari a 7,5kWh/giorno considerati rappresentativi dei consumi elettrici per l'alimentazione di elettrodomestici ed illuminazione per una famiglia di cinque persone (ipotizzando un valore di 1,5kWh/giorno per persona [88]).

Tabella 59: Energia elettrica immessa e prelevata da rete con impianto fotovoltaico di potenza 9,5kWp

	gg/mese	Produzione PV [kWh]	Consumi elettrici impianto [kWh]	Consumi elettrici immobile [kWh]	Consumi elettrici TOTALI [kWh]	Copertura PV	Energia Elettrica prelevata da rete [kWh]	Energia Elettrica immessa in rete o accumulata [kWh]
gennaio	31	835	1205,5	232,5	1438	93,97%	603	
febbraio	28	902	871,7	210	1081,7	98,20%	179,7	
marzo	31	1225	723,7	232,5	956,2	102,69%		268,8
aprile	30	1242	558,8	225	783,8	104,58%		458,2
maggio	31	1305	527,8	232,5	760,3	105,45%		544,7
giugno	30	1321	630,5	225	855,5	104,66%		465,5
luglio	31	1437	686	232,5	918,5	105,19%		518,5
agosto	31	1379	748,6	232,5	981,1	103,98%		397,9
settembre	30	1171	521,9	225	746,9	104,24%		424,1
ottobre	31	939	595,7	232,5	828,2	101,11%		110,8
novembre	30	714	789,9	225	1014,9	96,99%	300,9	
dicembre	31	729	1125,6	232,5	1358,1	93,71%	629,1	

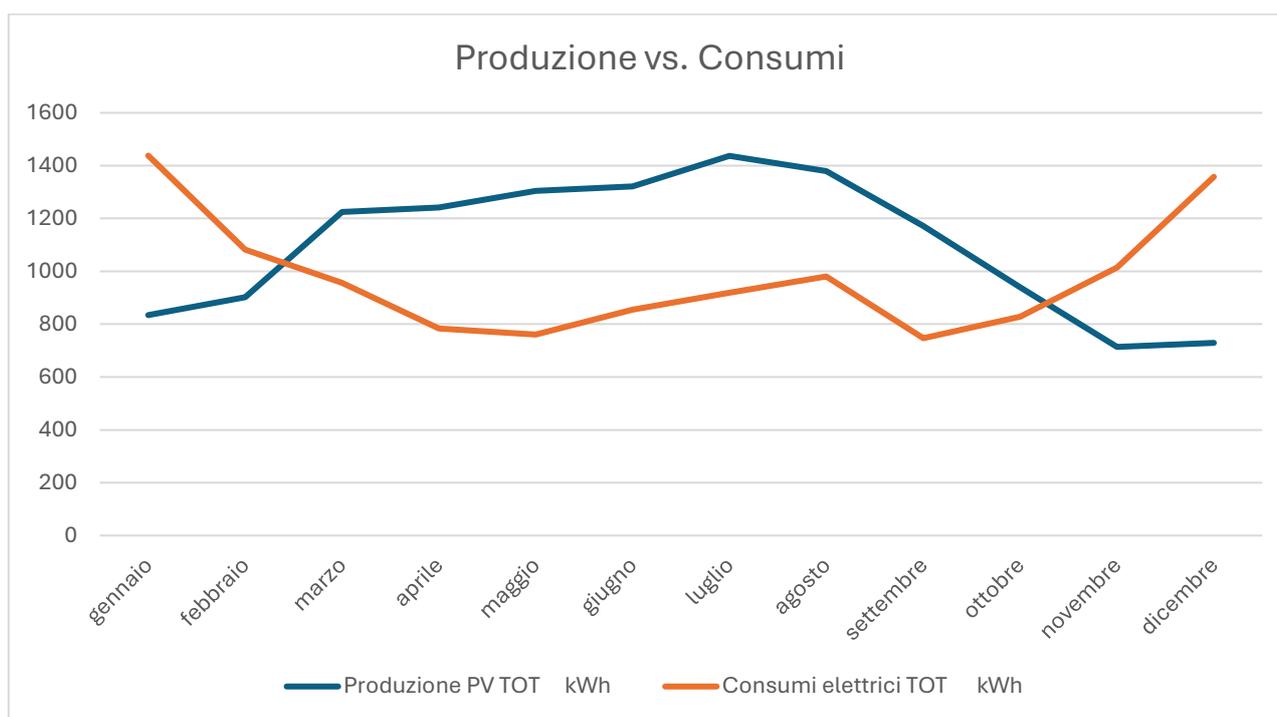


Grafico 7: Confronto tra produzione da impianto fotovoltaico 9,5kWp e consumi

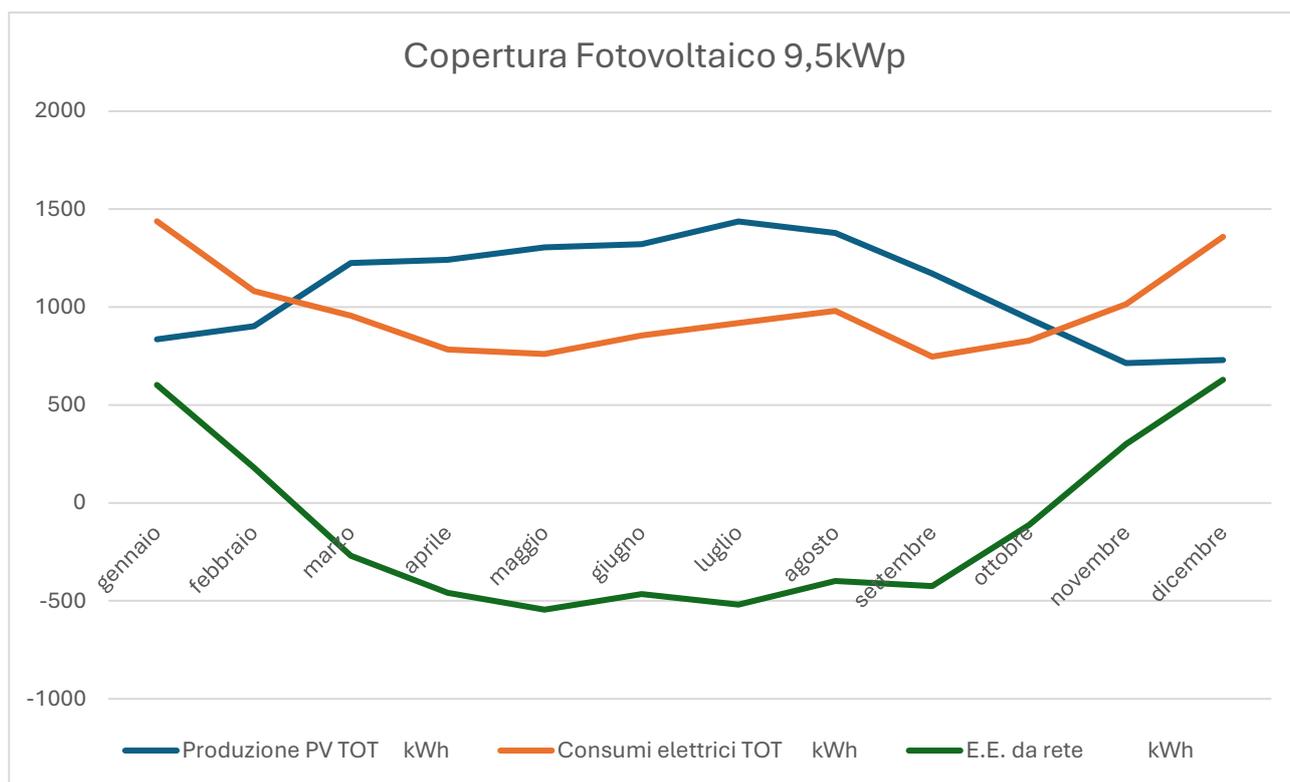


Grafico 8: Copertura energia elettrica da campo fotovoltaico con potenza di picco 9,5kWp

Il campo fotovoltaico, come visibile dal Grafico 8 e dalla Tabella 59, permette di avere una copertura totale dei consumi elettrici, con anche una produzione maggiore rispetto alla richiesta che permette la vendita o l'accumulo in batterie di accumulo, nei mesi che vanno da marzo ad ottobre. Nei restanti mesi dell'anno (da novembre a febbraio) una quota di energia elettrica deve essere prelevata da rete.

5.3.5.2.2. *Miglioramento – impianto fotovoltaico con potenza di picco 17kWp*

Una possibile miglioramento volto a diminuire la quota di energia elettrica prelevata da rete potrebbe essere quello di aumentare la potenza installata e sfruttare la maggior parte dell'area di copertura disponibile.

Ipotizzando di installare i medesimi moduli fotovoltaici utilizzati per il caso sopra esposto anche sulla falda di copertura esposta ad Ovest, con i medesimi accorgimenti precedentemente descritti sul posizionamento, ne risulta la possibilità di installare una potenza aggiuntiva pari a 7,5kWp. Questo permetterebbe l'installazione di un totale di 17kWp, tra le due falde.

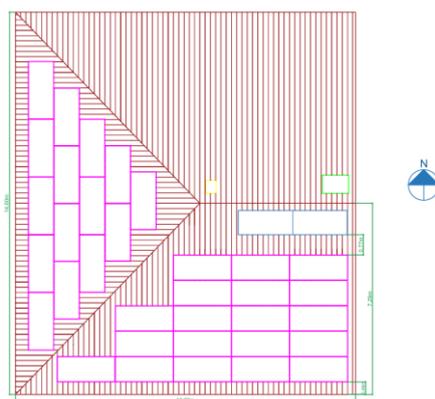
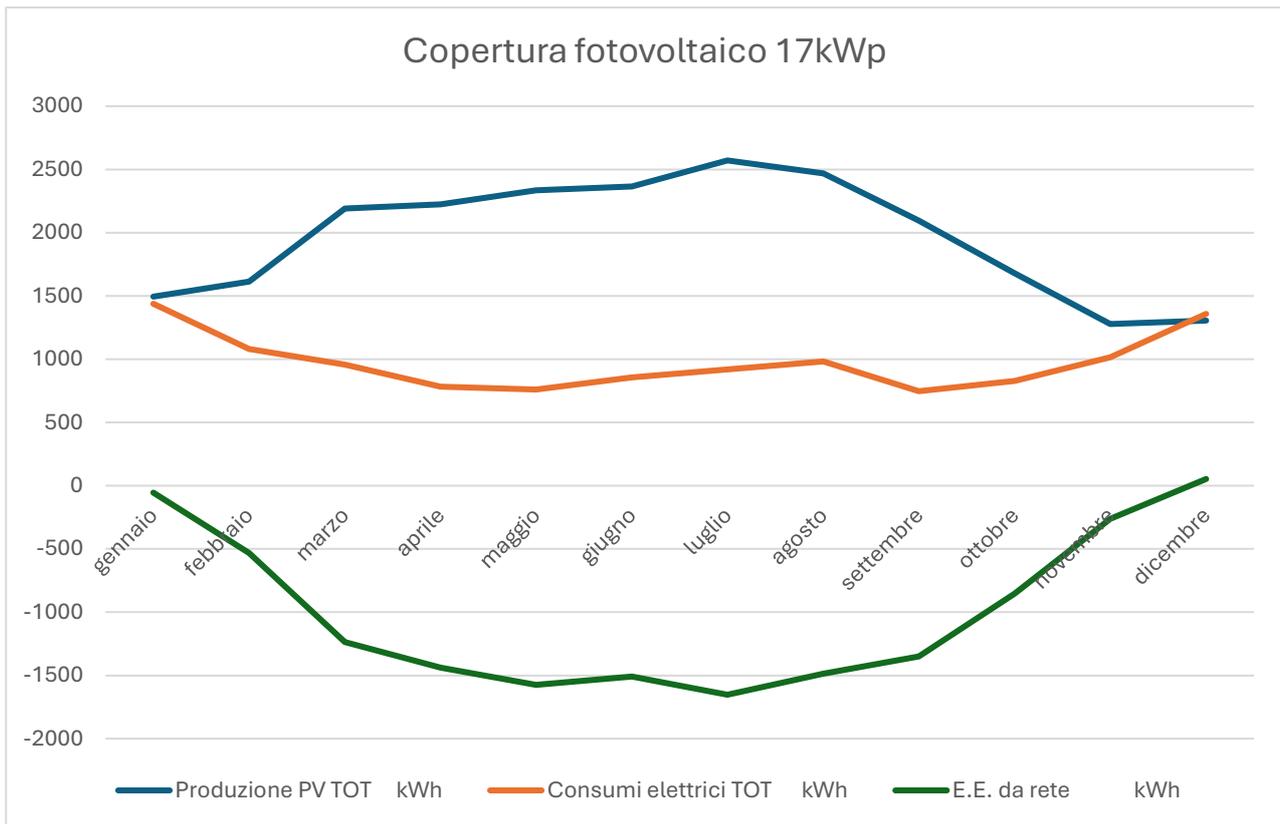


Figura 36: Posizionamento moduli fotovoltaici per una potenza di piccolo di 17kWp

Come visibile dalla Tabella 60, questo aumento di potenza permette di aumentare i mesi totalmente coperti dalla produzione dell'impianto fotovoltaico e solo per il mese di dicembre risulta necessario il prelievo di energia elettrica da rete. Questo permette di avere un prelievo da rete diminuito, rispetto al caso dell'impianto da 9,5kWp, di 1659,6kWh.

Tabella 60: Energia elettrica immessa e prelevata da rete con impianto fotovoltaico di potenza 17kWp

	gg/mese	Produzione PV [kWh]	Produzione PV 7,5kW	Produzione PV TOT kWh	Consumi elettrici impianto [kWh]	Consumi elettrici immobile [kWh]	Consumi elettrici TOTALI [kWh]	Copertura PV	Energia Elettrica prelevata da rete [kWh]	Energia Elettrica immessa in rete o accumulata [kWh]
gennaio	31	835	659	1494	1205,5	232,5	1438	100,56%		56
febbraio	28	902	712	1614	871,7	210	1081,7	105,32%		532,3
marzo	31	1225	967	2192	723,7	232,5	956,2	112,36%		1235,8
aprile	30	1242	981	2223	558,8	225	783,8	114,39%		1439,2
maggio	31	1305	1030	2335	527,8	232,5	760,3	115,75%		1574,7
giugno	30	1321	1043	2364	630,5	225	855,5	115,09%		1508,5
luglio	31	1437	1134	2571	686	232,5	918,5	116,53%		1652,5
agosto	31	1379	1089	2468	748,6	232,5	981,1	114,87%		1486,9
settembre	30	1171	925	2096	521,9	225	746,9	113,49%		1349,1
ottobre	31	939	741	1680	595,7	232,5	828,2	108,52%		851,8
novembre	30	714	564	1278	789,9	225	1014,9	102,63%		263,1
dicembre	31	729	576	1305	1125,6	232,5	1358,1	99,47%	53,1	



Copertura energia elettrica da campo fotovoltaico con potenza di picco 17kWp

Si è deciso di continuare l'analisi considerando il caso di impianto fotovoltaico con potenza 9,5kWp totalmente installato sulla falda Sud.

5.3.5.3. Inverter

L'utilizzo di un inverter risulta necessario nel caso di utilizzo della corrente prodotta dall'impianto fotovoltaico. L'inverte, infatti, permette di convertire la corrente continua (prodotta grazie ai moduli fotovoltaici) in corrente alternata, rendendola così utilizzabile.

Nota la potenza del campo fotovoltaico, la potenza nominale dell'inverter sarà pari ad un valore compreso tra:

$$0,8 * P_{Fotovoltaico} \leq P_{inverter} \leq 1,2 * P_{Fotovoltaico}$$

Equazione 17: Calcolo della potenza nominale dell'inverter

In funzione della scelta della potenza dell'inverte, viene definito il rapporto tra la potenza dei moduli e quella dell'inverter, noto come ratio DC/AC. Tale rapporto può valere:

- Ratio DC/AC = 1: quando inverter ed impianto hanno potenza nominale uguale;
- Ratio DC/AC > 1: l'inverter è sottodimensionato rispetto al campo fotovoltaico. Questa scelta permette di lavorare con un carico maggiore nelle ore di punta;

- Ratio DC/AC < 1: l'inverter è sovradimensionato rispetto al campo fotovoltaico. Questa scelta risulta meno conveniente in quanto potrebbe comportare un funzionamento inefficiente dell'intero impianto.

Ulteriore verifica necessaria è il controllo della compatibilità elettrica tra l'inverter ed i valori elettrici dei moduli fotovoltaici. In particolare, vengono verificati i valori di:

- Tensione di lavoro (V_{mp}) e tensione a circuito aperto (V_{oc}) dei moduli fotovoltaici devono rientrare nell'intervallo accettato dall'inverter;
- Corrente di cortocircuito (I_{sc}) e corrente di massima potenza (I_{mp}) dei moduli fotovoltaici devono essere compatibili con l'inverter.

E' necessario però, al fine di poter determinare la configurazione delle stringhe dei pannello e quindi determinare il numero di pannelli in serie e in parallelo, rispettare le seguenti condizioni riportate in Equazione 18 e 19.

$$V_{min,inverter} \leq V_{stringa} \leq V_{max,inverter}$$

Equazione 18: Condizione di compatibilità sulla tensione tra stringhe ed inverter

$$I_{stringa} \leq I_{max,inverter}$$

Equazione 19: Condizione di compatibilità sulla corrente tra stringhe ed inverter

5.3.5.3.1. Dimensionamento inverter

È stato selezionato un inverter SOLARMAX con potenza pari a 10kW, superiore rispetto alla potenza dell'impianto fotovoltaico ed avente ratio DC/AC= 0,95 e rispettante le condizioni di compatibilità [89].

5.3.6. Sottosistema di accumulo

L'utilizzo di accumuli, sia per l'acqua tecnica quindi riferita al solo uso per l'impianto e sia accumuli per acqua calda sanitaria, permette di ottenere un disaccoppiamento temporale tra generazione ed utilizzo del calore.

5.3.6.1. Accumulo tecnico

L'impianto prevede l'utilizzo di un sistema di accumulo tecnico a supporto dell'impianto di climatizzazione. Il dimensionamento dell'accumulo tecnico è stato eseguito ipotizzando un periodo di inattività dell'impianto pari a 2 ore [90]. Attraverso il software Namirial Termo 6.0 è stato possibile determinare il valore del volume di acqua tecnica di accumulo necessario.

Ne deriva un serbatoio di accumulo tecnico con volume pari a 350 litri [91] utilizzato solo come ad uso dell'impianto di riscaldamento.

In Figura 37 si riporta uno stralcio del software con le caratteristiche del serbatoio per l'accumulo tecnico.

The screenshot shows a software interface for configuring a technical storage tank. At the top, a dropdown menu is set to 'Solo riscaldamento'. Below it, there are several input fields and calculated values: 'Dispersione termica nota' is unchecked; 'Superficie disperdente' is 6,310 m²; 'Spessore strato isolante' is 10,7 cm; 'Conductività isolante' is 0,036 W/mK; 'Volume serbatoio' is 350,0 l; 'Dispersione termica' is 2,123 W/K; and 'Temperatura media accumulo' is 42,0 °C.

Figura 37: Caratteristiche serbatoio di accumulo tecnico

5.3.6.2. Accumulo acqua calda sanitaria

Noti i fabbisogni di acqua calda sanitaria, attraverso il software Namirial Termo 6.0 è stato dimensionato il sistema di accumulo solare per l'acqua calda sanitaria.

Il fabbisogno di acqua giornaliero risulta di 208,15 litri, il volume del serbatoio di accumulo che ne deriva è di 200 litri [92]. La scelta di avere un volume minore di accumulo, rispetto ai litri necessari, permette di evitare problemi di stagnazione.

The screenshot shows a software interface for configuring a solar hot water storage tank. At the top, a dropdown menu is set to 'Solo acqua calda sanitaria'. Below it, there are several input fields and calculated values: 'Dispersione termica nota' is unchecked; 'Superficie disperdente' is 2,740 m²; 'Spessore strato isolante' is 1,0 cm; 'Conductività isolante' is 0,050 W/mK; 'Volume serbatoio' is 200,0 l; 'Dispersione termica' is 13,700 W/K; 'Temperatura media accumulo' is 42,0 °C; and 'Zona di installazione' is set to '<Centrale termica>'. At the bottom, the 'Accumulo solare' checkbox is checked.

Figura 38: Caratteristiche serbatoio di accumulo di acqua calda sanitaria

In Figura 38 si riporta uno stralcio del software con le caratteristiche del serbatoio per l'accumulo solare di acqua calda sanitaria.

5.3.6.3. *Accumulo fotovoltaico*

Per poter gestire l'eccesso di energia prodotta, e non consumata, dal campo fotovoltaico, si è scelto di utilizzare batterie di accumulo per l'energia elettrica.

Il dimensionamento è stato eseguito in base all'Equazione 20:

$$Accumulo = \frac{Energia\ elettrica\ non\ consumata\ annua}{N_{mesi,E.E.non\ consumata} * 99mese} [kWh]$$

Equazione 20:Calcolo capacità di accumulo batterie

Per il caso di impianto fotovoltaico con potenza di picco pari a 9,5kWh, ne deriva, dal calcolo con l'equazione sopra riportata un valore di accumulo pari a 13kWh. Si è scelto di installare un pacco batterie con capacità di accumulo pari a 15kWh, taglia presente in commercio [93].

Nel caso in cui si facesse riferimento, invece, al caso di impianto fotovoltaico di potenza di picco pari a 17kWp, le batterie scelte, a seguito dei calcoli eseguiti come sopra, avrebbero capacità di accumulo pari a 40kWh [94].

5.3.7. *Sottosistema di regolazione*

Il sottosistema di regolazione ha il compito di gestione degli altri sottosistemi (accumulo, emissione etc) per garantire il soddisfacimento dei fabbisogni energetici richiesti ma permettendo anche di ottenere risparmi energetici come, ad esempio, nel caso di regolazione della potenza dei terminali di emissione in funzione della temperatura voluta all'intero degli ambienti, detta temperatura di set-point ed in funzione degli apporti gratuiti.

Una prima distinzione dei sistemi di regolazione deve essere fatta tra il caso di regolazione manuale ed automatica. Con regolazione manuale si intende la regolazione eseguita direttamente dall'utente, mentre, con regolazione automatica, si intende l'utilizzo di appositi sensori utilizzati per il reperimento dei i parametri climatici necessari i quali inviano in seguito informazioni al sistema e ne determinano la conseguente regolazione [95].

I sistemi di regolazione posso agire su differenti parametri, che possono essere a loro volta combinati tra loro e possono essere:

- Temperatura di mandata del fluido termovettore;
- Temperatura dell'ambiente interno;
- Temperatura della singola zona termica.

Di seguito si analizzano le differenti modalità di regolazione possibili.

Regolazione Temperatura di Mandata

Attraverso questa modalità di regolazione, viene imposta la temperatura di mandata al generatore di calore del fluido termovettore. A sua volta si distinguono, in base al criterio di funzionamento in [96]:

- Regolazione a punto fisso: il valore della temperatura di mandata è mantenuto pari ad un valore costante preimpostato, indipendente dalle condizioni climatiche esterne;
- Regolazione a punto fisso compensato: come nel caso del punto fisso, la temperatura di mandata è mantenuta pari ad un valore preimpostato, ma, in aggiunta, vi è una compensazione che tiene in conto dell'effettiva richiesta di calore andando a tenere in considerazione anche il salto termico tra mandata e ritorno del fluido termovettore e si distingue nei casi di:
 - o Salto termico alto: maggiore richiesta di calore per il raggiungimento delle condizioni di set-point con conseguente innalzamento della temperatura di mandata;
 - o Salto termico basso: minore richiesta di calore con conseguente diminuzione della temperatura di mandata.

Anche in questo caso non si ha però correlazione con le condizioni esterne.

- Regolazione climatica: attraverso l'uso di una sonda di temperatura esterna collegata direttamente al generatore di calore. Solitamente la sonda viene posizionata all'ombra ed esposta a Nord in modo da essere influenzata il meno possibile dalla presenza del sole. Con questo tipo di regolazione si tiene in considerazione quindi delle reali condizioni climatiche esterne: le dispersioni termiche, e, di conseguenza, i relativi consumi, sono infatti direttamente proporzionali alla differenza di temperatura tra ambiente interno ed esterno. Viene quindi definita una curva climatica con la quale ricavare la temperatura di mandata in funzione del valore di temperatura esterna realmente misurata dalla sonda. La curva climatica deve però essere definita in maniera precisa ed in modo tale da rappresentare le effettive esigenze, in funzione delle caratteristiche dell'edificio e dell'impianto. In Figura 39 è riportato un esempio di curva climatica per impianti ad alta temperatura e bassa temperatura (come i pannelli radianti).

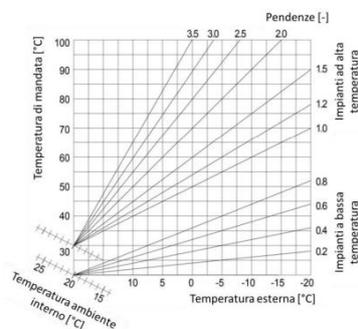


Figura 39: Esempio di curva climatica per impianti a bassa temperatura (pannelli radianti) ed alta temperatura (radiatori) [96]

Legenda	
Pendenza	Rapporto tra la variazione della temperatura di mandata e la variazione della temperatura esterna
Sfasamento	Valore costante di temperatura con cui far traslare la curva in alto o in basso, in base alla percezione dell'occupante

Regolazione temperatura ambiente

La regolazione della temperatura ambiente ha lo scopo di regolare l'emissione dei terminali all'interno degli ambienti, in modo da mantenere al loro interno la temperatura di set-point desiderata. Essa può avvenire tramite i metodi seguenti [96]:

- Regolazione ON/OFF: attraverso l'uso di un termostato, la temperatura viene mantenuta tra un valore minimo ed un valore massimo. Quando la temperatura misurata è inferiore al valore minimo il termostato si accende (ON), al contrario, quando raggiunge il valore imposto, si spegne (OFF). La regolazione così ottenuta non è però ottimale;
- Regolazione modulante: tramite l'uso di una centralina di regolazione in grado di adattarsi alle variazioni di carico interno, permette di mantenere in maniera continuativa la temperatura di set-point all'interno dell'ambiente stesso. Esistono tre principali metodologie di regolazione modulante:
 - o Proporzionale P: si basa sulla verifica costante del valore di temperatura ambiente. Agisce andando a regolare la portata in maniera proporzionale alla differenza di temperatura di set-point attesa e quella effettiva grazie alla regolazione dell'apertura della valvola regolatrice. Ad esempio, considerando una situazione in cui la temperatura ambiente è minore di quella di set-point, la valvola regolatrice si apre totalmente, per chiudersi poi gradualmente, man mano che ci si avvicina al set-point, che corrisponde alla chiusura totale della valvola. L'intervallo di temperatura entro cui si attiva il movimento della valvola prende il nome di banda proporzionale;
 - o Proporzionale Integrale PI: oltre al controllo sulla differenza di temperatura, come nel caso del P, si ha un controllo aggiuntivo sui valori passati della temperatura ambiente. Questo è permesso grazie all'uso di uno storico di valori di temperatura ambiente misurati;
 - o Proporzionale Integrale Derivativo PID: in aggiunta ai punti precedenti comprende anche un controllo basato sulla previsione della variazione della temperatura ambiente.

La regolazione ambiente può inoltre essere resa più accurata venendo definita regolazione di zona. Tramite la regolazione di zona, una volta definite le zone termiche, la regolazione avviene per ognuna di esse in maniera indipendente dalle altre zone, rendendo così la regolazione ancora più efficace.

Ulteriore vantaggio è quello di poter combinare tra loro le regolazioni sopra citate ed ottenere così una regolazione climatica unita ad una regolazione ambiente o ad una regolazione di zona.

Secondo quanto contenuto in Gazzetta Ufficiale [97] i sistemi di termoregolazione vengono classificati in classi. I sistemi definiti "evoluti" appartengono alle classi V, VI o VIII e si definiscono:

- Classe V - Termostato d'ambiente modulante: dispositivo in grado di variare la potenza termica del generatore di calore mantenendone un funzionamento continuo[97];

- Classe VI – Centralina di termoregolazione e sensore ambientale: la regolazione è basata su più sensori che misurano vari parametri come temperatura esterna, temperatura dell'acqua di ritorno etc[97];
- Classe VIII – Controllo della temperatura ambientale a sensori plurimi: sistemi muniti di un controllo elettronico della temperatura con almeno 3 o più sensori ambientali ed in modo tale che la climatizzazione sia dipendente dalla variazione tra il valore della temperatura ambiente realmente misurata e quella del termostato stesso[97].

All'aumentare della classe, i dispositivi diventano più avanzati e migliora la regolazione. Tutti questi dispositivi sono destinati all'uso con apparecchi di riscaldamento modulanti.

5.3.7.1. Dimensionamento sottosistema di regolazione

Nello specifico, è stata considerata una regolazione climatica unita ad una regolazione di zona con sistema PID e .

Inoltre, l'azienda Messana Italia offre un sistema di regolazione da associare ai suoi pannelli radianti. Un unico sistema permette, contemporaneamente, di regolare temperatura e umidità, temperatura di mandata in funzione del carico termico e della temperatura di rugiada, della temperatura realmente percepita dagli occupanti il tutto escludendo le zone nelle quali il livello di umidità è maggiore come docce, finestre aperte, etc [98]. Secondo quanto dichiarato dall'Azienda [98], questo permetterebbe una resa dei pannelli migliorata, una protezione dalla condensa, anche nel caso in cui non fosse presente un deumidificatore ed un elevato risparmio energetico. Inoltre, fra i vari componenti, utilizza una sonda ambiente BIOSENSE, ovvero una sonda a pozzetto per il controllo della temperatura di mandata e di ritorno [99].

5.4. Ventilazione Meccanica Controllata

La ventilazione è fondamentale per garantire, negli ambienti chiusi, la corretta qualità dell'aria ed il comfort termico grazie ad un ricambio d'aria costante.

Il valore di ricambio d'aria viene determinato grazie all'Equazione 21:

$$n = \frac{q_v}{V} \text{ [1/h]}$$

Equazione 21: Calcolo del numero di ricambio d'aria orario

Dove:

- n [1/h]: tasso di ricambio orario;
- q_v [m³/h]: portata d'aria;
- V [m³]: volume interno dell'ambiente.

La normativa UNI EN 12792:2005 [100] fornisce i criteri per la valutazione della qualità dell'aria e la classificazione dei sistemi di ricambio d'aria negli ambienti interni [101]. Dalla normativa [100], i sistemi di ricambio d'aria vengono classificati in:

- **Areazione:** il ricambio d'aria avviene grazie all'apertura e chiusura manuale degli infissi (finestre, porte, ecc.) da parte dell'utente. Questo permette all'aria nuova di entrare negli ambienti senza l'ausilio di dispositivi meccanici, ma ha lo svantaggio che la qualità del ricambio dipende esclusivamente dal comportamento degli occupanti e, per questo, non è possibile avere un controllo sul rispetto degli standard di qualità dell'aria;
- **Ventilazione:** basata sull'uso di sistemi meccanici che permettono il ricambio d'aria attraverso l'uso di dispositivi per l'immissione di aria pulita e l'estrazione di aria contaminata dagli ambienti. Entrambe i valori di portata, sia di immissione sia di estrazione, sono opportunamente calcolate permettendo così una regolazione precisa del numero di ricambi d'aria. Inoltre, questo permette di seguire quanto stabilito dalla norma UNI EN 15251:2008 [102], la quale impone che la ventilazione debba essere continuativa negli edifici quando occupati e in parte diminuita, ma non annullata, quando non occupati. A sua volta, la ventilazione può essere suddivisa in:
 - **Ventilazione naturale:** si basa sull'uso di aperture e condotti che favoriscono il movimento naturale dell'aria. Uno dei principi alla base della ventilazione naturale è l'effetto camino secondo cui la ventilazione è generata dalle differenze di temperatura. Infatti, l'aria calda, più leggera, tende ad avere un moto ascensionale e a "richiamare" a sé altra aria;
 - **Ventilazione meccanica controllata:** prevede sia l'immissione sia l'estrazione dell'aria, all'interno di appositi condotti, attraverso l'uso di ventilatori meccanici. Questo permette di gestire la ventilazione e di raggiungere il numero di ricambi d'aria imposto dalle norme;

- Ventilazione ibrida: combina elementi di ventilazione naturale e ventilazione meccanica;

Nel caso della ventilazione meccanica controllata, nota anche con l'acronimo VMC, è possibile elencare i componenti principali costituenti il sistema:

- Unità di trattamento aria (UTA): gestisce il flusso d'aria, spesso dotata di sistemi di filtrazione, riscaldamento/raffreddamento e recupero del calore;
- Ventilatori: creano il movimento dell'aria forzato;
- Filtri: rimuovono polveri, allergeni, pollini e altri contaminanti dall'aria immessa;
- Condotti di ventilazione: canali che trasportano l'aria immessa ed estratta;
- Sensori di qualità dell'aria: rilevano i livelli di CO₂, umidità e altri inquinanti per ottimizzare il ricambio d'aria in modo automatico.

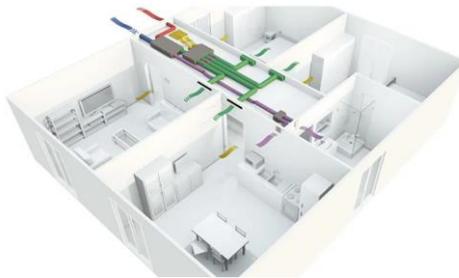


Figura 40: Esempio di sistema di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC) [103]

La ventilazione meccanica controllata permette di avere innumerevoli vantaggi, come:

- Qualità dell'aria migliorata: consente di eliminare umidità, odori, polveri e sostanze nocive (composti organici volatili (VOC), CO₂, ecc.), nei casi in cui il semplice aprire le finestre non è sufficiente;
- Controllo della temperatura e dell'umidità interne: permette di mantenere condizioni confortevoli all'interno degli ambienti in base alle reali condizioni;
- Riduzione delle muffe e della condensa sulle pareti: grazie all'estrazione controllata è possibile evitare, o almeno limitare, la formazione di muffe e di condensa superficiale;
- Aumento dell'efficienza energetica: attraverso l'uso di sistemi di ventilazione con recupero di calore è possibile ridurre il consumo energetico complessivo. Questi sistemi, infatti, sfruttano il recupero di parte dell'energia contenuta nell'aria estratta per pre-trattare l'aria immessa attraverso il passaggio all'interno di uno recuperatore. In particolare, un recuperatore di calore è uno scambiatore a doppio flusso che permette uno scambio di energia tra due flussi d'aria che lo attraversano, nello specifico:
 - In condizioni invernali di funzionamento: l'aria calda espulsa dall'ambiente interno cede parte del suo calore sensibile (nel caso di recuperatore entalpico, anche la quota latente) all'aria immessa. Solo dopo viene espulsa all'esterno;

- In condizioni di funzionamento estive: l'aria fresca espulsa dall'ambiente interno sottrae calore, riscaldandosi a sua volta, all'aria immessa dall'esterno.

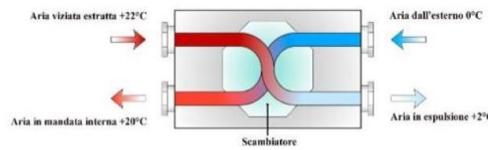


Figura 41: Esempio di schema di funzionamento recuperatore di calore [104]

5.4.1. Dimensionamento impianto VMC

5.4.1.1. Calcolo delle portate necessarie

Dal 1° luglio 2024, la norma di riferimento per gli impianti aeraulici, la UNI 10339:1995 “Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura”, è stata “ritirata senza sostituzione” e di conseguenza non esiste, al momento, una nuova norma italiana che la sostituisca direttamente [105]. È però possibili seguire, come riferimento per la progettazione di impianti aeraulici, le norme europee della serie UNI EN 16798 [106]. In particolare, per il calcolo delle portate di ventilazione, le norme di riferimento attuali sono la UNI EN 16798-1 e la UNI EN 16798-3 [107].

Il numero di persone presenti è stato determinato in base al numero di posti letto: sono presenti due camere matrimoniali ed una singola, per un totale, quindi, di n.5 persone considerate.

La norma stabilisce tre differenti metodologie da poter seguire per la determinazione delle portate di immissione ed estrazione. In tutte e tre le metodologie, similmente, si considera che l'aria venga immessa nei locali living e camere da letto ed estratta dai locali umidi e di passaggio.

Inoltre, la norma [106] definisce delle categorie di qualità ambientale interna, come riportate in Tabella 61 le quali dipendono dal livello di qualità dell'aria che gli occupanti possono avere in un determinato ambiente e vengono definite come:

- Livello Alto: usato nel caso di occupanti con necessità particolari, come bambini, anziani etc;
- Livello Medio: è il livello comune;
- Livello Moderato o Basso: non comportano rischi per la salute degli occupanti, ma potrebbero comportare la diminuzione del confort.

Categoria	Livello di aspettativa	Applicazione
IEQ I	Alto	
IEQ II	Medio	Livello normale
IEQ III	Moderato	
IEQ IV	Basso	

Tabella 61: Categorie di qualità ambientale interna [106]

Ad ogni categoria, secondo i vari metodi possibili, vengono definiti i valori di portata di riferimento, come riportato in Tabella 62.

Tabella 62: Valori di portata di riferimento [l/s] per i tre metodi di calcolo [106]

Categoria	Metodo 1		Metodo 2	Metodo 3	
	Vs, m2	ACH	Vs (pers)	Qp l/s Pers	QB l/s, m2
I	0,49	7	10	3,5	0,25
II	0,42	0,6	7	2,5	0,15
III	0,35	0,5	4	1,5	0,1
IV	0,23	0,4	-	-	-

Tabella 63: Portate d'aria e verifica del rispetto del valore di portata minima attraverso i tre metodi

Categoria	Metodo 1										Metodo 2		Metodo 3																
	Piano TERRA					Verifica portata minima					Piano PRIMO					Verifica portata minima					Piano TERRA		Verifica portata minima		Piano PRIMO		Verifica portata minima		
	TOT [m3/h]	per pers [m3/h]	ACQ [1/h]	[l/s/pers]	Portata effettiva [l/s/pers]	TOT [m3/h]	per pers [m3/h]	ACQ [1/h]	[l/s/pers]	Portata effettiva [l/s/pers]	TOT [m3/h]	per pers [m3/h]	ACQ [1/h]	[l/s/pers]	Portata effettiva [l/s/pers]	[Vs]	[m3/h]	Qp [m3/h]	QB [m3/h]	[l/s/pers]	Portata effettiva [l/s/pers]	Qp [m3/h]	QB [m3/h]	[l/s/pers]	Portata effettiva [l/s/pers]	Qp [m3/h]	QB [m3/h]	[l/s/pers]	Portata effettiva [l/s/pers]
I	154,7557	30,95114	0,653333	8,59754	8,59754	141,92791	28,38558	0,653333	7,884884	7,884884	50	180	63	43,5087	5,91715	5,91715	63	53,6499	6,48055	6,48055	63	53,6499	6,48055	6,48055	6,48055	6,48055	6,48055	6,48055	6,48055
II	132,6478	26,52955	0,56	7,36932	7,36932	121,6525	24,3305	0,56	6,758472	6,758472	35	126	45	26,10522	3,95029	4	45	32,18994	4,28833	4,28833	4	45	32,18994	4,28833	4,28833	4,28833	4,28833	4,28833	4,28833
III	110,5398	22,10796	0,466667	6,1411	6,1411	101,37708	20,27542	0,466667	5,63206	5,63206	20	72	27	17,40348	2,46686	4	27	21,45996	2,69222	2,69222	4	27	21,45996	2,69222	2,69222	2,69222	2,69222	2,69222	2,69222
IV	72,64044	14,52809	0,306667	4,03558	4,03558	66,619224	13,32384	0,306667	3,701068	3,701068	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Legenda	
IEQ	Qualità ambientale interna
IEQCAT	Qualità ambientale interna per la progettazione
ACQ [1/h]	Ricambi d'aria per ora
Qp [l/s pers]	Tasso di ventilazione di ricambio per persona
QB [l/s m2]	Tasso di ventilazione per le emissioni dell'edificio

Dopo aver calcolato, per le tre metodologie possibili e per le quattro categorie di qualità ambientale interna, il valore di portata espressa in l/s per persona e riportati in Tabella 63, tale valore è stato confrontato con il valore minimo imposto dall'OMS.

L'Organismo mondiale della sanità (OMS), ha infatti stabilito che la portata minima di ricambi d'aria negli ambienti interni non deve essere inferiore a 4 l/s/pers (equivalenti a 14,4 m3/h/pers) [108]. Nei casi in cui il valore di portata calcolato è risultato inferiore a tale valore minimo, il valore considerato è stato pari a quello imposto dall'OMS e non quello calcolato.

Si è scelto di considerare, come categoria di qualità ambientale interna, la categoria II, relativa al livello Medio e, seguendo la Metodologia 1, è stato considerato il valore di ricambi orari pari a 0,56 1/h. Noto il volume dei locali da trattare, è stata poi determinata la portata d'aria da trattare complessiva andando a moltiplicare il valore di ricambio orario per il volume.

Per evitare la formazione di rumori fastidiosi causati dall'eccessiva velocità dei ventilatori, il valore di portata ottenuto è stato aumentato di una quota percentuale, 20%, in modo da permettere alla macchina di lavorare a circa l'80% della sua portata nominale massima. Si ottiene così, come riportato in Tabella 64, il valore della portata nominale della macchina VMC.

Ricambi orari [1/h]	0,56	
	Piano TERRA	Piano PRIMO
Volume [m^3]	130,5261	160,9497
Portata aria rinnovo [m^3/h]	73,09462	90,13183
Portata nominale VMC [m^3/h]	87,71354	108,1582

Tabella 64: Portate d'aria VMC

Avendo così calcolato i valori di portata d'aria per entrambe i piani, sia per il piano terra sia per il piano primo, sono state individuate le due unità di ventilazione meccanica controllata in grado di soddisfare le portate richieste. Sono state scelte n. 2 VMC (macchine di ventilazione meccanica controllata) integrate con recuperatore di calore e scambiatore in controcorrente e sezione di trattamento aria con deumidificazione con portata massima nominale pari a $157m^3/h$, tale da gestire la portata necessaria.

Sulla base di quanto dichiarato dalla casa costruttrice [109], nel funzionamento in ventilazione e deumidificazione, *“continuerà a soddisfare la ventilazione meccanica con recupero calore ad alta efficienza ma aumenterà la portata aria, ricircolando da un condotto dedicato aria ambiente per aumentare il volume aria sulla parte di integrazione.”*

Questa versione di VMC con integrazione trova il suo maggior utilizzo nel caso degli impianti a pannelli radianti, nei quali si rende necessaria sia la deumidificazione dell'aria sia l'integrazione del raffrescamento durante il periodo estivo. Quando l'unità è in funzione nel periodo estivo, un sistema di controllo basato su sonde di umidità e temperatura ambiente rileva le condizioni climatiche interne e, se necessario, attiva il circuito frigorifero. Durante il periodo invernale, invece, l'unità può essere utilizzata per integrare il riscaldamento fornito dall'impianto radiante: in questa modalità, il sistema utilizza una batteria idronica alimentata ad acqua calda che rilascia rapidamente calore nell'ambiente, essendo così a supporto dell'impianto radiante.

5.4.1.2. Distribuzione rete aria – calcolo delle perdite di carico

Per la distribuzione dell'aria, sia per la portata di immissione sia per quella di estrazione, sono stati considerati canali flessibili specifici per gli impianti di ventilazione.

La determinazione del numero di bocchette di immissione e di estrazione è stata eseguita in modo tale da avere, per ogni zona termica, almeno una bocchetta di immissione ed una di ripresa. Si è preferito inserire un numero maggiore di bocchette di immissione per facilitare e migliorare il movimento dell'aria ed evitare fenomeni di ristagno e diminuire l'eventuale rumorosità o discomfort dovuti a portate immesse maggiori.

Sono stati previsti collettori di immissione composti da lamiera d'alluminio foderata con materiale fonoassorbente al fine di limitare la rumorosità.

Sia i collettori sia le macchine di ventilazione meccanica controllata sono stati posti nel controsoffitto di ogni piano, in zone opportunamente studiate prive di pannelli radianti a soffitto.

Dopo aver ipotizzato un possibile collocamento dei componenti e delle bocchette di immissione e di estrazione, si è proceduto con la valutazione delle perdite di carico al fine di poter verificare se la macchina scelta fosse in grado di vincere le perdite di carico e, di conseguenza, garantire la portata richiesta alla bocchetta più svantaggiata.

Per la scelta della bocchetta più sfavorita, si è considerata la bocchetta più lontana dalla macchina VMC e con un numero maggiore di curve, sia per il caso dell'immissione e sia per l'estrazione. Un dimensionamento a sé stante è stato fatto per il caso dell'estrazione dei bagni. Si è scelto di eseguire, per i due bagni, un'estrazione separata e non circolante all'interno dei canali di estrazione dell'impianto di ventilazione meccanica controllata dell'immobile. Questa scelta è stata fatta per avere una migliore efficienza di estrazione di odori ed umidità, evitando così contaminazioni nell'aria delle altre stanze.

Calcolo perdite di carico

Le perdite di carico rappresentano la perdita di pressione subita dall'aria a causa dell'attrito e delle resistenze che l'aria incontra lungo il suo percorso nei condotti. Queste perdite devono essere compensate dal ventilatore per permettere al flusso d'aria di raggiungere tutte le zone con la portata necessaria, comprese le zone identificate come le "più sfavorite".

Le perdite di carico si suddividono a loro volta in perdite di carico distribuite e perdite di carico concentrate.

Le perdite di carico concentrate sono perdite di pressione che si verificano in punti specifici del sistema di distribuzione dell'aria, a causa di variazioni brusche del flusso d'aria. Le principali cause delle perdite di carico concentrate sono:

- Curve o gomiti nei condotti: il cambio di direzione del flusso d'aria genera turbolenze;
- Derivazioni o raccordi: interrompendo il flusso dell'aria ne modificano la velocità;
- Serrande, valvole e filtri: ostacolano il passaggio dell'aria e creano resistenze locali;
- Griglie o diffusori: riducendo la sezione di passaggio modificano la velocità del flusso d'aria.

Queste perdite vengono calcolate utilizzando coefficienti sperimentali detti coefficienti di perdita (ζ), che dipendono dalla geometria dell'ostacolo e dalla velocità dell'aria nel condotto. Il valore della perdita di carico concentrata si esprime con la formula:

$$\Delta P = \zeta * \frac{\rho * v^2}{2} [Pa]$$

Equazione 22: Calcolo delle perdite di carico concentrate

Dove:

- ΔP [Pa]: la perdita di pressione;
- ζ [-]: coefficiente di perdita;
- ρ [kg/m³]: densità dell'aria;
- v [m/s]: velocità dell'aria.

Solitamente, per la determinazione delle perdite di carico concentrate delle bocchette, si fa riferimento alle relative schede tecniche: all'interno di queste ultime sono infatti forniti schemi in cui, in funzione del valore di portata e di diametro della bocchetta, è possibile determinare il valore di perdita di carico localizzata nella bocchetta. Ugualmente per il caso del plenum. In questo caso, quindi, si ottiene direttamente il valore di perdita di carico e non risulta necessario eseguire il calcolo come da Equazione 22.

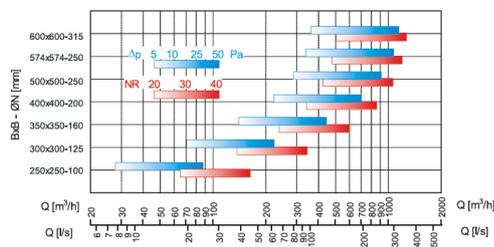


Figura 42: Perdite di carico concentrate bocchetta di immissione [110]

I valori di ζ sono stati reperiti, in base al tipo di accidentalità che causa la perdita di carico, all'interno dal quaderno Caleffi "Tabelle e Diagrammi Perdite di Carico Aria" in funzione dei rapporti adimensionali tra le dimensioni caratteristiche dei condotti [123].

Le perdite di carico distribuite, invece, sono le perdite di pressione che si verificano lungo tutto il percorso dell'aria nei condotti, dovute all'attrito tra il fluido (l'aria) e le pareti interne del condotto. Dipendono da fattori come la lunghezza del canale, la sua rugosità interna, il diametro e la velocità dell'aria e vengono calcolate attraverso la formula:

$$\Delta P_d = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{\rho * v^2}{2} \text{ [Pa]}$$

Equazione 23: Calcolo delle perdite di carico distribuite

Dove:

- ΔP_d [Pa]: perdita di pressione distribuita;
- λ [-]: coefficiente di attrito dipendente dal materiale del condotto e dal regime di flusso;
- L [m]: lunghezza del condotto;
- D [m]: diametro interno del condotto;
- ρ [kg/m³]: densità dell'aria;
- v [m/s]: velocità dell'aria.

Di seguito si riporta quanto ottenuto da calcolo delle perdite di carico per la rete di immissione ed estrazione.

5.4.1.2.1. Immissione

Perdite di carico concentrate

In Tabella 65 sono riportati i valori delle perdite di carico relative alle bocchette di immissione scelte [110].

Perdite di carico CONCENTRATE diffusori Immissione						
	Locale	modello diffusore	portata immissione [m ³ /h]	quantità [-]	Δp unitario diffusore [Pa]	Δp TOT [Pa]
Piano Terra	Salotto	DK- 250X250	50	2	15	30
	cucina	DK- 250X250	50	1	15	15
Piano Primo	Matrimoniale	DK- 250X250	50	1	15	15
	Camera	DK- 250X250	50	1	15	15
	Studio	DK- 250X250	30	1	7	7

Tabella 65: Perdite di carico concentrate – diffusori di immissione [110]

Accidentalità IMMISSIONE	
CIRCOLARI	
C1	Curva a 90°
C2	Sbocco con invito
C3	Imbocco con invito
C4	curva e controcurva
C5	Deviatrice a Y

Tabella 66: Accidentalità considerate – immissione

Al valore di perdite di carico concentrate relative alle bocchette vengono sommati i valori di perdite concentrate relative alle accidentalità considerate (riportate in Tabella 65). In Tabella 66 il calcolo del totale delle perdite di carico per i canali di immissione dell'aria.

Tabella 67: Perdite di carico concentrate - immissione

Piano	Condotto	Tipo Accidentalità	Tipo condotto	D [mm]	r/d [-]	ζ [-]	velocità [m/s]	Densità	Perdita di carico Localizzata [Pa]	TOTALE [Pa]
Piano TERRA	PT-1	C1	CIRCOLARE	160	1	0,4	1,2	1,193	0,343	1,202
		C2	CIRCOLARE	160		0,6	1,2	1,193	0,515	
		C3	CIRCOLARE	160		0,4	1,2	1,193	0,343	
	PT-2	C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,9	1,193	0,861	5,597
		C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,9	1,193	0,861	
		C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,9	1,193	0,861	
		C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,9	1,193	0,861	
		C2	CIRCOLARE	90		0,6	1,9	1,193	1,292	
		C3	CIRCOLARE	90		0,4	1,9	1,193	0,861	
	PT-3	C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,9	1,193	0,861	5,597
		C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,9	1,193	0,861	
		C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,9	1,193	0,861	
		C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,9	1,193	0,861	
		C2	CIRCOLARE	90		0,6	1,9	1,193	1,292	
		C3	CIRCOLARE	90		0,4	1,9	1,193	0,861	
	PT-4	C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,9	1,193	0,861	4,736
		C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,9	1,193	0,861	
		C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,9	1,193	0,861	
C2		CIRCOLARE	90		0,6	1,9	1,193	1,292		
C3		CIRCOLARE	90		0,4	1,9	1,193	0,861		
Piano PRIMO	P1-2	C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,9	1,193	0,861	3,014
		C2	CIRCOLARE	90		0,6	1,9	1,193	1,292	
		C3	CIRCOLARE	90		0,4	1,9	1,193	0,861	
	P1-3	C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,9	1,193	0,861	3,014
		C2	CIRCOLARE	90		0,6	1,9	1,193	1,292	
		C3	CIRCOLARE	90		0,4	1,9	1,193	0,861	
	P1-4	C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,9	1,193	0,861	3,014
		C2	CIRCOLARE	90		0,6	1,9	1,193	1,292	
		C3	CIRCOLARE	90		0,4	1,9	1,193	0,861	

Perdite di carico distribuite

In Tabella 68 si riportano i valori ottenuti dal calcolo delle perdite distribuite, per i canali di immissione aria relativi ad entrambe i piani dell'immobile.

	Tratto	lunghezza canale [m]	portata canale [m]	diametro commerciale [mm]	velocità canale [m/s]	perdita unitaria [Pa/m]	perdita totale [Pa]	numero Reynolds	fattore di attrito
PERDITE DI CARICO DISTRIBUITE IMMISSIONE - PT									
Piano Terra	PT-1	0,6	129,2	160,0	1,8	3,743	2,321	5950,8	0,03596
	PT-2	10,5	43,9	90,0	1,9	9,008	94,131	3119,1	0,04227
	PT-3	7,6	43,9	90,0	1,9	9,008	68,008	3119,1	0,04227
	PT-4	7,5	41,4	90,0	1,8	7,931	59,166	3300,6	0,04167
PERDITE DI CARICO DISTRIBUITE IMMISSIONE - P1									
Piano Primo	P1-1	0,4	108,2	160,0	1,5	2,511	1,055	7106,3	0,03440
	P1-2	1,4	43,3	90,0	1,9	8,736	12,230	3161,9	0,04212
	P1-3	3,2	43,3	90,0	1,9	8,736	28,217	3161,9	0,04212
	P1-4	2,2	21,6	90,0	0,9	1,836	4,022	6323,8	0,03542

Tabella 68: Perdite di carico distribuite - immissione

Perdite di carico tratto sfavorito

Per il successivo dimensionamento della macchina di ventilazione meccanica controllata, in Tabella 69 si riporta il valore totale di perdite di carico, date dalla somma delle perdite concentrate e distribuite, per i tratti sfavoriti sia a piano terra sia a piano primo.

Tabella 69: Perdite di carico - tratto sfavorito immissione

TRATTO SFAVORITO - immissione					
Piano	Perdite di carico distribuite [Pa]	Perdite di carico concentrate DIFFUSORE [Pa]	Perdite di carico concentrate VMC [Pa]	Perdite di carico LOCALIZZATE [Pa]	TOTALE perdite di carico [Pa]
Piano TERRA	94,13	0	4,5	5,60	104,23
Piano PRIMO	28,22	0	4,5	3,01	35,73

5.4.1.2.2. Estrazione

Nel caso dell'estrazione si è proceduto in maniera analoga a quanto fatto nel caso dell'immissione. Di seguito le tabelle riassuntive dei calcoli per la determinazione delle perdite di carico concentrate (Tabella 72), distribuite (Tabella 73) ed il valore totale di perdite di carico per i tratti più sfavoriti (Tabella 74).

Perdite di carico concentrate

Tabella 70: Perdite di carico concentrate – diffusori di estrazione

Perdite di carico CONCENTRATE diffusori estrazione						
	Locale	modello diffusore	portata estrazione Diffusore [m3/h]	quantità	Δp unitario diffusore [Pa]	Δp TOT [Pa]
Piano Terra	Salotto	EVVRC - EVVRB 80	20	1	35	35
	cucina	EVVRC - EVVRB 80	50	1	55	55
	Bagno	EVVRC - EVVRB 80	40	1	35	35
TOT PT						125
Piano Primo	Corridoio	EVVRC - EVVRB 80	40	1	35	35
	Bagno	EVVRC - EVVRB 100	80	1	35	35
TOT P1						70

Tabella 71: Accidentalità considerate – estrazione

Accidentalità ESTRAZIONE	
CIRCOLARI	
C1	Curva a 90°
C2	Sbocco con invito
C3	Imbocco con invito
C4	curva e controcurva
C5	Collettore a Y
C6	Curva a 45

Tabella 72: Perdite di carico concentrate – estrazione

Piano	Condotto	Tipo Accidentalità	Tipo condotto	D [mm]	r/d [-]	ζ [-]	velocità [m/s]	Densità	Perdita di carico Localizzata [Pa]	TOTALE [Pa]
	PT-2'	C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,8	1,193	0,773	4,637
		C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,8	1,193	0,773	
		C2	CIRCOLARE	90		0,6	1,8	1,193	1,159	
		C3	CIRCOLARE	90		0,4	1,8	1,193	0,773	
		C5	CIRCOLARE	90		0,6	1,8	1,193	1,159	
	PT-3'	C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,8	1,193	0,773	4,637
		C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,8	1,193	0,773	
		C2	CIRCOLARE	90		0,6	1,8	1,193	1,159	
		C3	CIRCOLARE	90		0,4	1,8	1,193	0,773	
		C5	CIRCOLARE	90		0,6	1,8	1,193	1,159	
Piano PRIMO	P1-1'	C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,6	1,193	0,611	4,427
		C1	CIRCOLARE	90	1	0,4	1,6	1,193	0,611	
		C2	CIRCOLARE	90		0,6	1,6	1,193	0,916	
		C3	CIRCOLARE	90		0,4	1,6	1,193	0,611	
		C4	CIRCOLARE	90		0,4	1,6	1,193	0,611	
		C6	CIRCOLARE	90		0,7	1,6	1,193	1,069	

Perdite di carico distribuite

Tabella 73: Perdite di carico distribuite – estrazione

	Tratto	lunghezza canale [m]	portata canale [m]	diametro commerciale [mm]	velocità canale [m/s]	perdita unitaria [Pa/m]	perdita totale [Pa]	numero Reynolds	fattore di attrito
PERDITE DI CARICO DISTRIBUITE ESTRAZIONE - PT									
Piano Terra	PT-1'	0,8	59,9	160,0	0,8	0,664	0,531	12839,0	0,02967
	PT-2'	2,9	41,4	90,0	1,8	7,931	23,159	3300,6	0,04167
	Estr.	4,3	59,9	90,0	2,6	18,141	77,825	2285,1	0,04569
	Bagno	0,8	32,2	80,0	1,8	8,869	7,095	2980,5	0,04275
PERDITE DI CARICO DISTRIBUITE ESTRAZIONE - P1									
Piano Primo	P1-1'	6,5	113,6	160,0	1,6	2,803	18,104	6767,9	0,03483
	Bagno	0,9	39,7	90,0	1,7	7,219	6,497	3441,5	0,04124
	Estr. 1'	5,6	113,6	160,0	1,6	2,803	15,778	6767,9	0,03483
	Estr.2'	0,6	153,3	160,0	2,1	5,506	3,138	5013,2	0,03754

Perdite di carico tratto sfavorito

Tabella 74: Perdite di carico – estrazione

TRATTO SFAVORITO estrazione					
Piano	Perdite di carico distribuite [Pa]	Perdite di carico concentrate DIFFUSORE [Pa]	Perdite di carico concentrate VMC [Pa]	Perdite di carico LOCALIZZATE [Pa]	perdite di carico [Pa]
Piano TERRA	26,97	55	4,5	4,64	91,11
Piano PRIMO	18,10	35	4,5	4,43	62,03

5.4.1.2.3. Estrazione Bagni

Tabella 75: Perdite di carico – Bagni

BAGNI				
Piano	Perdite di carico distribuite [Pa]	Perdite di carico concentrate DIFFUSORE [Pa]	Perdite di carico LOCALIZZATE [Pa]	perdite di carico [Pa]
Piano TERRA	7,10	35	1,72	43,82
Piano PRIMO	6,50	35	1,72	43,22

Noti i valori delle perdite di carico dei tratti sfavoriti, è stata eseguita la verifica relativa al ventilatore presente all'interno della macchina VMC selezionata. Come riportato all'interno della scheda tecnica [109], sono presenti n. 2 ventilatori radiali a pala rovescia con motore elettronico con pressione utile unitaria pari a 100Pa. Questo permette di vincere le perdite di carico, sia per il piano terra sia per il piano primo, dei tratti sfavoriti.

Il dimensionamento dell'impianto verrà eseguito in fase di accensione dell'impianto tramite opportuni regolatori di portata i quali, variando a sezione di uscita dei canali, regolano il valore di perdita di carico imponendolo pari al valore tale da bilanciare l'impianto.

Nel caso dei bagni, è stato dimensionato un ventilatore specifico per ognuno. Il ventilatore, anche in questo caso, deve permettere di gestire la portata di estrazione e vincere le perdite di carico.

Sono stati individuati due aspiratori con caratteristiche riportate in Tabella 76 [111].

Tabella 76: Dimensionamento ventilatore di estrazione – bagni

	Portata di estrazione [m ³ /h]	Perdite di carico [Pa]	Portata ventilatore [m ³ /h]	Pressione [Pa]
Bagno PT	32,23	43,82	60	45
Bagno P1	39,748	43,22	60	45

5.5. Risultati del calcolo

A termine dei dimensionamenti di tutte le tecnologie impiantistiche scelte, ed il conseguente inserimento all'interno del software Namiial Termo 6.0, si è ottenuta la classe energetica dell'edificio di nuova costruzione.

Come visibile in Figura 44, questo rientra all'interno della classe energetica A4, la più alta secondo la classificazione prevista dal D.M. 26/05/2015 – Linee guida classificazione energetica, e con un valore di $E_{p,gl,nren}$ pari a 0 kWh/m²anno.



Figura 43: Classe energetica dell'edificio di nuova costruzione

Certificazione	EPH, _{nren}	EPW, _{nren}	EPC, _{nren}	EPV, _{nren}	EPL, _{nren}	EPT, _{nren}	EPgl, _{nren}	UM EP	etaH	etaW	etaC	CO ₂ [kg/m ²]	Classe
Subalterno	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0 kWh/m ²	3,0472	0,4749	1,3905	0,00	A4

Figura 44: Valori di EPG ottenuti dalla modellazione relativi all'edificio di nuova costruzione

5.5.1. Verifica edificio nZeb

Attraverso il software Namirial Termo 6.0, nella sezione “Verifiche di Legge”, è possibile verificare, o meno, se l'edificio di nuova costruzione rientra nella classificazione di edificio nZEB.

Con le tecnologie costruttive e di impianto scelte, si ottiene un edificio classificabile come edificio ad energia quasi zero.

Di seguito si riporta la verifica del rispetto dei requisiti minimi [6].

Tabella 77: Verifica del rispetto dei requisiti minimi per essere classificato come nZEB

Parametro	Unità misura	Requisito	Valore edificio nuova costruzione	Verifica
$H't$	[W/m ² K]	<0,55	0,19	x
Asol/Asup,utile	[-]	<0,03	0,01	x
$EP_{H,nd}$	[kWh/m ²]	<83,132	51,866	x
$EP_{C,nd}$	[kWh/m ²]	<9,663	8,82	x
$EP_{gl,tot}$	[kWh/m ²]	<136,742	55,054	x
η_H	[-]	>1,7751	3,0472	x
η_W	[-]	>0,4179	0,4749	x
η_C	[-]	>0,2306	1,3905	x
Copertura totale da fonte rinnovabile	[-]	>60%	60,90%	x
Verifica potenza elettrica installata	[kW]	4	9,5	x

Come visibile nella Tabella 77, tutti i requisiti minimi per la classificazione come edificio nZEB sono rispettate.

6. Analisi Economica

Lo scopo del seguente capitolo è quello di valutare, da un punto di vista economico, la fattibilità, o meno, della costruzione di un nuovo edificio classificabile come nZEB. Nello specifico si analizzerà il tempo di ritorno dell'extra investimento necessario per la realizzazione dell'edificio di nuova concezione rispetto a quello che si dovrebbe affrontare, nel caso in cui fosse ancora possibile scegliere la via tradizionale, prendendo come riferimento il caso dell'immobile esistente.

Si è proceduto, innanzitutto, con un confronto tra i consumi (reali) di energia elettrica e di gas naturale dell'edificio esistente e di quelli (stimati) dell'edificio di nuova costruzione al fine di stimare il risparmio annuo generato dall'investimento ed il conseguente tempo di rientro dello stesso attraverso l'indice economico del Simple Pay-Back Time (PBT). Il PBT è definito come il rapporto tra l'investimento iniziale ed il risparmio annuo, ipotizzato costante. Grazie a questo indicatore è possibile valutare il numero di anni necessari affinché i risparmi cumulati eguagliano l'extra costo di investimento iniziale [112].

$$PBT = \frac{\text{Investimento}}{\text{Risparmio annuo}}$$

Equazione 24: Calcolo del Simple Pay-Back Time

Per la valutazione dei costi energetici si è fatto riferimento al valore di prezzo medio reperito dalle reali bollette a disposizione per le due fonti energetiche utilizzate, gas naturale e corrente elettrica.

Tabella 78: Costo corrente elettrica [euro/kWh]

Corrente elettrica				
	Materia prima		Comprensivo di accise	
F1	0,148	euro/kWh	0,294	euro/kWh
F23	0,137	euro/kWh	0,283	euro/kWh

Tabella 79: Costo gas naturale [euro/smc]

Gas Naturale			
Materia prima		Comprensivo di accise	
0,4822	euro/smc	1,348	euro/smc

Dopo aver definito il tempo semplice di ritorno, si è scelto di eseguire il calcolo del Valore Attuale Netto (VAN) [112]. Questo ha permesso di tenere in considerazione anche la variazione, negli anni, del costo del gas naturale e dell'energia elettrica.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+r)^t} - C_0$$

Equazione 25: Calcolo del Valore Attuale Netto [112]

Dove:

- S_t = risparmio annuo stimato nell'anno t;
- r = tasso di attualizzazione [113];
- C_0 = extra costo iniziale dell'edificio nZEB;
- n = numero di anni fino al pareggio dell'investimento;

6.1. Confronto consumi

6.1.1. Edificio esistente

Per l'immobile esistente, si è fatto riferimento ai valori dei consumi reperiti dalle bollette, come riportato nel Capitolo 4. Di seguito, nelle Tabelle 80 e 81, si riportano i conseguenti costi, suddividendo il caso di costo solo legato alla materia prima e quello comprendente anche la quota di accise.

Tabella 80: Costi reali da bolletta gas naturale - edificio esistente

COSTO METANO			
		costo materia prima	costo con accise
	smc	euro	euro
Gennaio	1030	496,67 €	1.388,59 €
Febbraio	717	345,90 €	967,08 €
Marzo	653	314,82 €	880,18 €
Aprile	270	130,02 €	363,52 €
Maggio	62	29,95€	83,74 €
Giugno	15	7,34€	20,51 €
Luglio	14	6,98€	19,50 €
Agosto	16	7,59€	21,21 €
Settembre	17	8,08€	22,58 €
Ottobre	174	84,12€	235,19 €
Novembre	582	280,51 €	784,26 €
Dicembre	978	471,70 €	1.318,77 €
TOT smc/anno	4529	2.183,67 €	6.105,15 €

Nel caso dell'energia elettrica, i costi sono inoltre stati divisi sulle tre fasce presenti, considerando il medesimo costo euro/kWh nelle fasce 2 e 3.

Tabella 81: Costi reali da bolletta corrente elettrica - edificio esistente

COSTO ENERGIA ELETTRICA									
	costo materia prima						costo con accise		
anno rif.	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
	[kWh]			euro			euro		
Gennaio	204,13	193,10	237,82	30,21 €	26,45 €	32,58 €	60,07 €	54,70 €	67,37 €
Febbraio	193,50	191,66	208,22	28,64 €	26,26 €	28,53 €	56,95 €	54,29 €	58,99 €
Marzo	190,66	198,05	198,82	28,22 €	27,13 €	27,24 €	56,11 €	56,11 €	56,32 €
Aprile	170,63	186,83	205,92	25,25 €	25,60 €	28,21 €	50,21 €	52,93 €	58,33 €
Maggio	176,12	183,86	205,28	26,07 €	25,19 €	28,12 €	51,83 €	52,08 €	58,15 €
Giugno	182,78	176,51	199,23	27,05 €	24,18 €	27,30 €	53,79 €	50,00 €	56,44 €
Luglio	185,14	185,92	207,38	27,40 €	25,47 €	28,41 €	54,48 €	52,67 €	58,75 €
Agosto	190,53	184,52	202,65	28,20 €	25,28 €	27,76 €	56,07 €	52,27 €	57,41 €
Settembre	186,92	191,10	195,40	27,66 €	26,18 €	26,77 €	55,01 €	54,14 €	55,35 €
Ottobre	192,27	191,57	216,61	28,46 €	26,25 €	29,68 €	56,58 €	54,27 €	61,36 €
Novembre	192,02	189,46	213,67	28,42 €	25,96 €	29,27 €	56,51 €	53,67 €	60,53 €
Dicembre	191,42	196,90	236,88	28,33 €	26,98 €	32,45 €	56,33 €	55,78 €	67,10 €
TOT anno	3453,45			903,38 €			2.022,97 €		

6.1.2. Edificio nuova costruzione

Per il caso dell'immobile di nuova costruzione, invece, si è fatto riferimento ai valori di fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione e per la produzione di acqua calda sanitaria determinati attraverso il software Namirial Termo 6.0. In Tabella 82 si riporta quanto ottenuto. In particolare, i consumi elettrici dell'impianto sono dati dalla somma dei consumi legati al riscaldamento, al raffrescamento ed alla produzione di acqua calda sanitaria, per ogni mese, mentre i consumi elettrici dell'immobile sono quelli ottenuti considerando un consumo per illuminazione, elettrodomestici per un immobile con 5 occupanti, come già esposto nel Capitolo 5.4. I consumi totali sono dati dalla somma di questi ultimi.

	$Q_{ptot,H}$	$Q_{ptot,C}$	$Q_{ptot,C}$	Consumi elettrici impianto [kWh]	Consumi elettrici immobile [kWh]	Consumi elettrici TOTALI [kWh]
Gennaio	709,9	0	495,6	1205,5	232,5	1438
Febbraio	454,5	0	417,2	871,7	210	1081,7
Marzo	331,6	0	392,1	723,7	232,5	956,2
Aprile	148,6	0	410,2	558,8	225	783,8
Maggio	0	79	448,8	527,8	232,5	760,3
Giugno	0	233,7	396,8	630,5	225	855,5
Luglio	0	290,8	395,2	686	232,5	918,5
Agosto	0	345,7	402,9	748,6	232,5	981,1
Settembre	0	100,8	421,1	521,9	225	746,9
Ottobre	177,1	0	418,6	595,7	232,5	828,2
Novembre	387,5	0	402,4	789,9	225	1014,9
Dicembre	646,5	0	479,1	1125,6	232,5	1358,1

Tabella 82: Consumi elettrici - edificio di nuova costruzione

Consumi elettrici TOTALI [kWh]	Produzione PV TOT [kWh]	Energia elettrica prelevata da rete [kWh]	Energia elettrica immessa in rete [kWh]	Costo [euro]
1438	835	603		174,14 €
1081,7	902	179,7		51,90 €
956,2	1225		268,8	
783,8	1242		458,2	
760,3	1305		544,7	
855,5	1321		465,5	
918,5	1437		518,5	
981,1	1379		397,9	
746,9	1171		424,1	
828,2	939		110,8	
1014,9	714	300,9		86,90 €
1358,1	729	629,1		181,68 €
				494,61 €

Tabella 83: Costi stimati corrente elettrica - edificio di nuova costruzione

In Tabella 82 sono riportati i costi annui da sostenere per l'acquisto dell'energia elettrica, pari a circa 495euro, ed ottenuti come i costi per l'acquisto della sola quota di energia elettrica prelevata da rete, al netto della quota di autoconsumo legata all'impianto fotovoltaico installato.

Visto l'utilizzo di un impianto full electric, il costo del gas naturale risulta azzerato.

6.2. Incentivi

Ai risparmi economici dovuti ai minori consumi di corrente elettrica e l'azzeramento dei costi legati al gas naturale, si aggiunge un'analisi sugli incentivi.

Nel caso specifico delle nuove costruzioni, però, non risultano presenti incentivi. Diversamente da quanto accade nel caso delle ristrutturazioni e riqualificazioni energetiche [114], nel caso di nuova costruzione non è prevista la riduzione al 50% (nel caso specifico di edifici classificati come abitazione principale) dei costi sostenuti. Unica eccezione al caso appena descritto lo fa la costruzione di nuovi box auto di pertinenza di un'immobile già esistente: per questi vale la detrazione come nel caso della ristrutturazione [115].

Nel calcolo del tempo di ritorno, di conseguenza, non sono stati considerati sgravi fiscali di questa natura.

È stata però considerata la tariffa incentivante per l'autoconsumo. Con autoconsumo si intende la possibilità di consumare, in loco, l'energia elettrica prodotta dal proprio impianto fotovoltaico per far fronte ai fabbisogni energetici dell'immobile [116]. Questo permette, autoconsumando l'energia prodotta dal proprio impianto fotovoltaico, di ottenere vantaggi economici.

L'autoconsumo può essere diviso in:

- Autoconsumo diretto: quando l'energia prodotta viene consumata in tempo reale;
- Autoconsumo differito: attraverso l'uso di un sistema di accumulo, l'energia prodotta e non utilizzata può essere immagazzinata e utilizzata quando necessario.

Nel caso di autoconsumo totale, ovvero quando l'energia prodotta viene totalmente consumata in situ ovvero direttamente dall'immobile sul quale risulta installato l'impianto fotovoltaico, il risparmio equivale al prezzo al kWh che si sarebbe dovuto sostenere per l'acquisto dell'energia elettrica proveniente dalla rete. In alternativa, esistono meccanismi, ad esempio, come la cessione totale o lo scambio sul posto per i quali è possibile ottenere un compenso da parte del GSE (Gestore dei Servizi Energetici) [117].

Un'ulteriore modalità è l'accesso all'interno di una comunità energetica rinnovabile (CER).

Con CER si intende *“un soggetto giuridico i cui soci o membri con potere di controllo all'interno della CER possono essere cittadini, piccole e medie imprese (per le quali la partecipazione alla CER non costituisca l'attività commerciale e industriale principale), enti territoriali e autorità locali, incluse le amministrazioni comunali, le associazioni con personalità giuridica di diritto privato, gli enti di ricerca e formazione, gli enti religiosi, quelli del terzo settore e di protezione ambientale, che condividono, tramite i loro consumi, l'energia elettrica rinnovabile prodotta da impianti a fonte rinnovabile”* [118].

Per una valutazione economica più cautelativa, si è deciso di non tenere in considerazione di questi ultimi possibili incentivi, ma di considerare solamente la quota risparmiata per il mancato acquisto di energia elettrica dalla rete.

Per la stessa ragione di cautela, non sono state considerate, anche nel caso dell'impianto fotovoltaico, agevolazioni fiscali.

6.3. Calcolo ritorno dell'investimento

Per ottenere una stima dei costi quanto più realistica possibile, sono state contattate direttamente le aziende produttrici, dalle quali è stato possibile ottenere preventivi realistici.

In particolare, sono state contattate:

- Nidus srl per la parte di involucro [44];
- Messina Italia srls per la parte di pannelli radianti e componenti dell'impianto [55].

Per le altre voci, per le quali non sono state contattate aziende in particolare, si è fatto riferimento al Prezziario della Regione Piemonte dell'anno 2024 [119] ed il prezziario DEI 2022 [120].

Nel totale dei costi, non sono stati inclusi i costi relativi alla progettazione dell'edificio in quanto ritenuti invariati.

All'interno delle voci di costo è stata però prevista la quota relativa alla manodopera.

Il costo complessivo per la costruzione dell'edificio classificabile come nZEB è stato ottenuto come sommatoria delle singole voci, come riportato in Tabella 84.

SENZA ONERI PROFESSIONALI				
IMPORTO TOTALE LAVORI				
Categoria		Importo netto	IVA	Importo ivato
OPERE PROVVISORIALI	totale	19.406,22 €	10%	21.346,84 €
COSTRUZIONE	totale	186.718,05 €	10%	205.389,86 €
COIBENTAZIONI STRUTTURE OPACHE	totale	6.075,00 €	10%	6.682,50 €
INFISSI	totale	31.096,66 €	10%	34.206,33 €
IMPIANTI - TERMICO E VENTILAZIONE	totale	54.057,15 €	10%	59.462,86 €
IMPIANTO FOTOVOLTAICO	totale	19.219,80 €	10%	21.141,78 €
SISTEMA DI ACCUMULO	totale	12.723,60 €	10%	13.995,96 €
COLONNINA DI RICARICA VEICOLI	totale	3.036,20 €	10%	3.339,82 €
IMPIANTO ELETTRICO	totale	38.200,00 €	10%	42.020,00 €
BUILDING AUTOMATION	totale	8.132,40 €	10%	8.945,64 €
OPERE EDILI	totale	15.942,28 €	10%	17.536,51 €
IMPORTO TOTALE IVATO				434.068,09 €

Tabella 84: Investimento per la costruzione dell'edificio nZEB

Analizzando i dati riportati dall'Agenzia dell'Entrate [121], si osserva come, nel 2023, la quotazione media degli immobili presenti sul territorio della provincia di Torino, sia pari a 1780 €/m². Per un'immobile, quindi, di dimensioni paragonabili a quelle quell'edificio di nuova costruzione, il valore è pari a circa 285000euro. Ne deriva, come costo aggiuntivo per la realizzazione di un immobile con la qualifica di nZEB, un valore di 149068,09euro.

	ESISTENTE	NUOVO		
	Costi Energia elettrica [euro]	Costi Energia elettrica [euro]	Risparmio per autoconsumo [euro]	Risparmio [euro]
Gennaio	182,15 €	174,14 €		1.596,78 €
Febbraio	170,23 €	51,90 €		
Marzo	168,54 €		77,63 €	
Aprile	161,48 €		132,32 €	
Maggio	162,07 €		157,30 €	
Giugno	160,23 €		134,43 €	
Luglio	165,90 €		149,74 €	
Agosto	165,75 €		114,91 €	
Settembre	164,50 €		122,47 €	
Ottobre	172,22 €		32,00 €	
Novembre	170,71 €	86,90 €		
Dicembre	179,21 €	181,68 €		
TOTALE	2.022,97 €	494,61 €	920,80 €	

Tabella 85: Risparmio elettrico annuo stimato [kWh] confrontando edificio di nuova costruzione ed edificio esistente

Dall'analisi della diminuzione dei consumi di energia elettrica e del risparmio per l'autoconsumo ed il conseguente mancato acquisto dalla rete, ne deriva un risparmio annuo pari a 1596,78euro.

Questi vanno a sommarsi al risparmio dovuto all'azzeramento dei consumi di gas naturale, dato l'utilizzo di una tecnologia full electric.

In Tabella 86 sono riassunti i costi ed il risparmio totale, stimato a 7633,52 euro/anno.

	Costi esistente [euro]	Costi nuovo [euro]	Risparmio TOTALE [euro]
Gas Naturale	6.105,15 €	- €	6.105,15 €
Corrente elettrica	2.022,97 €	494,61 €	1.528,37 €
TOTALE	8.128,13 €	494,61 €	7.633,52 €

Tabella 86: Risparmio monetario annuo stimato [euro] confrontando edificio di nuova costruzione ed edificio esistente

Il tempo di ritorno semplice, non considerando le variazioni di costo della fornitura di gas naturale ed energia elettrica, è stato calcolato come il rapporto tra differenza tra il costo per la costruzione dell'edificio classificato ad energia quasi zero e la costruzione di un edificio tradizionale ed il risparmio annuale garantito dall'edificio nZEB: ne deriva un ritorno dell'investimento stimato in 19,55 anni, approssimabile in circa 20 anni.

Il valore del VAN, tenendo in considerazione delle variazioni dei costi per la materia prima, permette di ottenere un valore pari a 16 anni.

Anno	Risparmio Annuo [€]	Risparmio Attualizzato [€]	VAN Cumulato [€]
1	8015,19522	7781,742932	7781,742932
2	8415,954981	7932,844736	15714,58767
3	8836,75273	8086,880556	23801,46822
4	9278,590366	8243,907363	32045,37559
5	10120,6976	8730,20265	40775,57824
6	10708,4332	8968,144217	49743,72245
7	11330,45763	9212,698915	58956,42137
8	11988,77944	9464,053198	68420,47457
9	12685,52528	9722,398833	78142,8734
10	13422,94683	9987,933053	88130,80645
11	14203,42816	10260,85871	98391,66516
12	15029,49361	10541,38443	108933,0496
13	15903,81597	10829,7248	119762,7744
14	16829,22531	11126,10051	130888,8749
15	17808,71823	11430,73856	142319,6135
16	18845,46769	11743,87242	154063,4859
17	19942,83344	12065,74221	166129,2281
18	21104,37302	12396,59491	178525,823
19	22333,85346	12736,68455	191262,5075
20	23635,26362	13086,27241	204348,78

Tabella 87: Determinazione del VAN nel caso di nuova costruzione

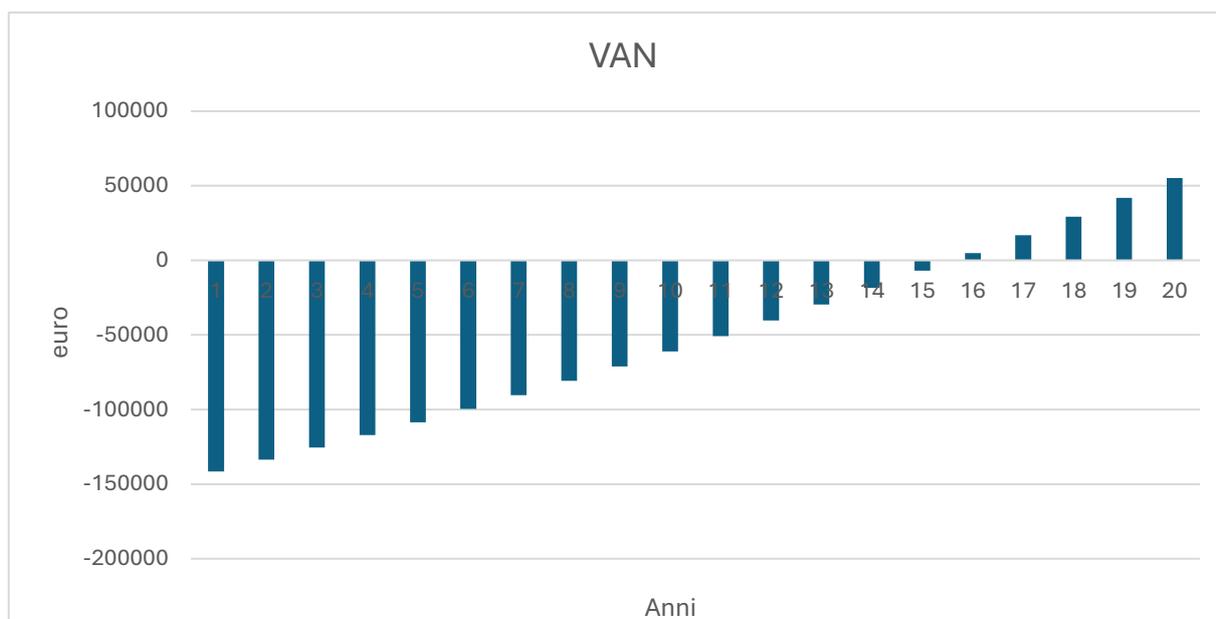


Grafico 9: VAN nel caso di nuova costruzione

Costo Investimento	Importo detrazione	PBT	VAN
149.268,09 €	- €	19,55	16

Tabella 88: PBT e VAN per edificio di nuova costruzione

Si osserva che, a causa dell'aumento dei costi di fornitura di gas naturale ed energia elettrica e del conseguente aumento del risparmio rispetto alla situazione attuale, con il trascorrere degli anni, questi vadano ad influire sul tempo di ritorno attualizzato facendolo diminuire rispetto al valore del tempo di ritorno semplice.

Nel caso specifico, benché si possa supporre una vita media di un immobile anche superiore ai 50 anni, edifici con un'età pari o superiore ai 30 anni vengono generalmente considerati vetusti [122].

Per questa ragione, tenendo conto anche della necessità di eventuali interventi di manutenzione nel tempo e della naturale perdita di efficienza dei componenti installati, si ritiene che un tempo di ritorno pari a circa metà della vita utile dell'immobile prima che venga classificato come "vecchio" o, nel peggiore dei casi pari a circa due terzi della vita dell'immobile, non possa essere considerato accettabile.

Inoltre, si può osservare che una valida alternativa alla costruzione di un nuovo edificio classificabile come nZEB potrebbe essere quella di eseguire interventi di ristrutturazione ed efficientamento energetico sull'immobile esistente. Questa soluzione comporterebbe un investimento iniziale inferiore rispetto alla nuova costruzione e, di conseguenza, un tempo di ritorno più breve. Un ulteriore vantaggio di quest'ultima opzione, deriva dalla possibilità di accedere a incentivi ed agevolazioni fiscali previsti per le opere di ristrutturazione ed efficientamento energetico. Un esempio è possibile farlo considerando la quota di costi legati all'impianto di climatizzazione.

6.4. Interventi di riqualificazione ed efficientamento energetico

Si è deciso di valutare l'investimento necessario per interventi di efficientamento energetico eseguiti sull'immobile esistente volti ad ottenere, almeno, la classe energetica A4, pari a quella dell'edificio di nuova costruzione. Ipotizzando come interventi:

- Isolamento termico delle pareti verticali verso l'esterno. È stato considerato uno strato di 2,4cm di rasante nanotecnologico (medesimo materiale utilizzato per l'edificio di nuova costruzione);
- Isolamento termico della soletta verso il sottotetto: attraverso l'uso di uno strato di 16cm di polistirene estruso espanso;
- Sostituzione degli infissi: con caratteristiche uguale a quelle usate nel caso dell'edificio di nuova costruzione;
- Sostituzione sistema di emissione: con installazione di pannelli radianti a soffitto in tutte le zone termiche;
- Sostituzione sistema di generazione: con pompa di calore con potenza e valori di rendimento uguali al caso dell'edificio di nuova costruzione;
- Installazione impianto fotovoltaico: installata una potenza di 9,5kWp con 15kWh di accumulo.

In Tabella 89 di riportano i costi relativi agli interventi di efficientamento sopra descritti, le relative percentuali di detrazione ed il valore di detrazione ottenibile.

IMPORTO TOTALE LAVORI						
Categoria		Importo netto	IVA	Importo ivato	DETRAZIONE [%]	Importo DETRAZIONE
IMPIANTO CLIMATIZZAZIONE	totale	22.920,47 €	10%	25.212,52 €	50%	12.606,26 €
IMPIANTO FOTOVOLTAICO	totale	19.219,80 €	10%	21.141,78 €	50%	10.570,89 €
SISTEMA DI ACCUMULO	totale	12.723,60 €	10%	13.995,96 €	50%	6.997,98 €
INFISSI	totale	31.096,99 €	10%	34.206,69 €	50%	17.103,34 €
COIBENTAZIONE STRUTTURE VERTICALI	totale	14.622,50 €	10%	16.084,75 €	50%	8.042,38 €
COIBENTAZIONE STRUTTURE ORIZZONTALI	totale	6.047,45 €	10%	6.652,20 €	50%	3.326,10 €
		106.630,81 €				58.646,95 €

Tabella 89: Investimento per le opere di riqualificazione ed efficientamento energetico dell'edificio esistente

Grazie agli interventi sopra citati, l'edificio raggiungerebbe la Classe Energetica A4, pur non risultando classificabile come edificio a energia quasi zero. Tuttavia, essendo queste opere di riqualificazione ed efficientamento energetico, le normative non impongono l'obbligo del raggiungimento della classificazione a nZEB. Per questo motivo, il risultato ottenuto è considerato soddisfacente.

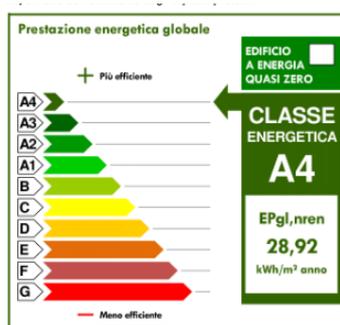


Figura 45: Classe energetica edificio a seguito delle azioni di efficientamento eseguite sull'edificio esistente

	Consumi elettrici impianto [kWh]	Consumi elettrici immobile [kWh]	Consumi elettrici TOTALI [kWh]	Produzione PV TOT [kWh]	Energia elettrica prelevata da rete [kWh]	Energia elettrica immessa in rete [kWh]	Costo [euro]
Gennaio	2573,34	232,5	2805,84	835	1970,84		569,15€
Febbraio	1497,74	210	1707,74	902	805,74		232,69€
Marzo	1284,04	232,5	1516,54	1225	291,54		84,19€
Aprile	934,24	225	1159,24	1242		82,76	-
Maggio	555,64	232,5	788,14	1305		516,86	-
Giugno	680,34	225	905,34	1321		415,66	-
Luglio	737,44	232,5	969,94	1437		467,06	-
Agosto	792,34	232,5	1024,84	1379		354,16	-
Settembre	547,44	225	772,44	1171		398,56	-
Ottobre	781,84	232,5	1014,34	939	75,34		21,76€
Novembre	1878,94	225	2103,94	714	1389,94		401,40€
Dicembre	2198,94	232,5	2431,44	729	1702,44		491,64€
TOTALE							1.800,83 €

Tabella 90: Consumi elettrici, energia immessa e prelevata da rete - edificio esistente a seguito di interventi di riqualificazione ed efficientamento energetico

Dalla modellazione attraverso l'uso del software Namirial Termo 6.0, è possibile ottenere i valori di fabbisogno elettrici dell'immobile. Noti questi, è stato ottenuto il valore di energia elettrica necessaria in prelievo dalla rete e, conseguentemente, il costo di tale prelievo.

	Costi esistente [euro]	Costi efficientamento [euro]	Risparmio TOTALE [euro]
Gas Naturale	6.105,15 €	- €	6.105,15 €
Corrente elettrica	2.022,97 €	1.800,83 €	222,14 €
TOTALE	8.128,13 €	1.800,83 €	6.327,29 €

Tabella 91: Risparmio monetario annuo stimato [euro] confrontando edificio a seguito degli interventi di efficientamento e edificio esistente

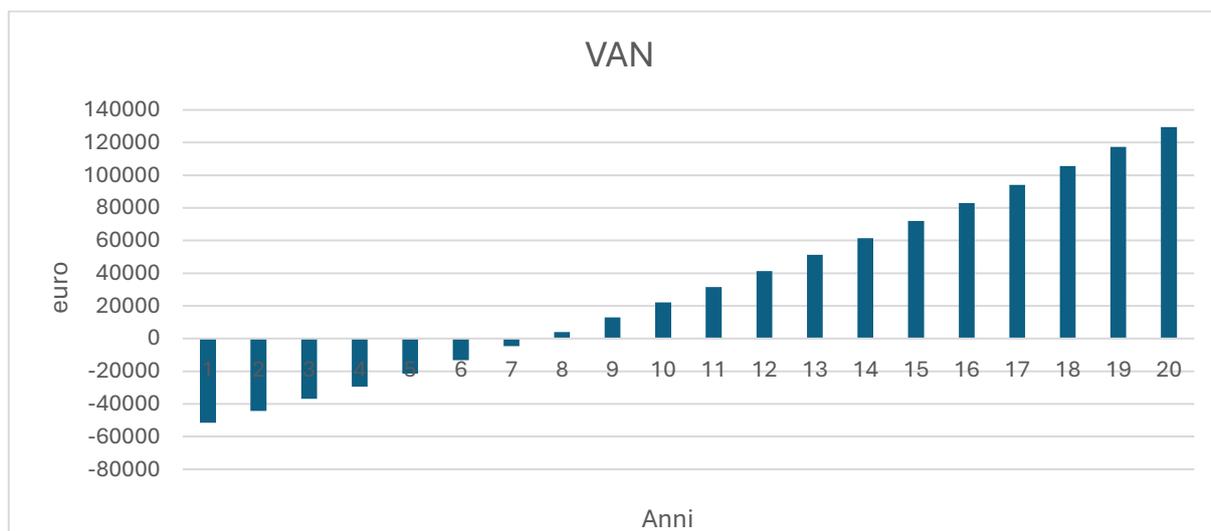
La Tabella 91 mostra il confronto tra i costi di acquisto delle fonti energetiche considerate, gas naturale ed energia elettrica, dell'edificio esistente e dell'edificio a seguito della riqualificazione energetica. Dall'analisi emerge un incremento nei consumi di energia elettrica nell'edificio riqualificato, dovuto all'utilizzo di un impianto full electric. Tuttavia, nonostante questo aumento, questa scelta permette di ottenere un annullamento dei costi relativi al consumo di gas naturale, contribuendo a un miglior bilanciamento complessivo della spesa energetica nel lungo periodo.

Per la determinazione del tempo di ritorno dell'investimento, è stata inoltre considerata l'applicazione delle agevolazioni fiscali al 50%.

Ne deriva un PBT pari a circa 8,5 anni ed un VAN di 7 anni.

Anno	Risparmio Annuo [€]	Risparmio Attualizzato [€]	VAN Cumulato [€]
1	7.321,39 €	7.108,14 €	7.108,14 €
2	7.687,46 €	7.246,17 €	14.354,31 €
3	8.071,83 €	7.386,87 €	21.741,18 €
4	8.475,42 €	7.530,30 €	29.271,48 €
5	9.277,37 €	8.002,74 €	37.274,22 €
6	9.822,94 €	8.226,56 €	45.500,78 €
7	10.400,69 €	8.456,71 €	53.957,50 €
8	11.012,52 €	8.693,39 €	62.650,88 €
9	11.660,46 €	8.936,77 €	71.587,65 €
10	12.346,62 €	9.187,05 €	80.774,70 €
11	13.073,29 €	9.444,42 €	90.219,12 €
12	13.842,85 €	9.709,10 €	99.928,22 €
13	14.657,84 €	9.981,28 €	109.909,49 €
14	15.520,95 €	10.261,18 €	120.170,67 €
15	16.435,03 €	10.549,02 €	130.719,69 €
16	17.403,09 €	10.845,03 €	141.564,72 €
17	18.428,34 €	11.149,45 €	152.714,17 €
18	19.514,16 €	11.462,51 €	164.176,68 €
19	20.664,12 €	11.784,46 €	175.961,14 €
20	21.882,05 €	12.115,56 €	188.076,70 €

Tabella 92: Determinazione del VAN nel caso di interventi di riqualificazione ed efficientamento energetico



VAN nel caso di interventi di riqualificazione ed efficientamento energetico

Costo Investimento	Importo detrazione	PBT	VAN
106.630,81 €	58.646,95 €	8,41	7

Tabella 93: PBT e VAN per interventi di riqualificazione ed efficientamento energetico

7. Conclusioni

Il presente lavoro ha avuto lo scopo di valutare la fattibilità tecnico-economica della costruzione di un nuovo edificio residenziale unifamiliare, classificabile come edificio ad emissioni quasi zero (nZEB), medesimo nella forma ad un edificio esistente costruito nei primi anni '90 del secolo scorso. Lo studio ha permesso di eseguire un'analisi energetica, di progettazione impiantistica ed un'analisi economica, al fine di determinare se l'extra-investimento necessario per la costruzione di un edificio nZEB possa essere, o meno, compensato dalla riduzione dei consumi nel tempo. Le due abitazioni sono state collocate nella medesima città per poter considerare i fabbisogni nelle medesime condizioni climatiche esterne.

In una prima fase, sono state analizzate le prestazioni energetiche dell'edificio esistente attraverso l'uso del Software Namirial Termo 6.0. Quanto ottenuto dal modello è stato poi confrontato con gli effettivi consumi, di gas e corrente elettrica, reperiti dalle reali bollette messe a disposizione dai proprietari.

Per l'edificio di nuova costruzione, è stata sviluppata una progettazione integrata dell'involucro edilizio e degli impianti al fine di calcolare, attraverso l'uso del medesimo software, i fabbisogni energetici e la verifica del rispetto dei requisiti minimi per essere classificato come nZEB. Il sistema impiantistico è stato dimensionato, in tutti i componenti principali dei suoi sottosistemi costituenti, in modo tale da garantire elevate prestazioni energetiche e rispettante quanto stabilito dalle Norme vigenti. La climatizzazione è stata affidata ad un sistema radiante a soffitto ed a parete alimentato da una pompa di calore, in grado di garantire sia il riscaldamento sia il raffrescamento delle zone termiche dell'edificio. La qualità dell'aria interna è stata assicurata attraverso l'installazione di un impianto di ventilazione meccanica controllata (VMC) dotato di recuperatore di calore. Particolare attenzione è stata data al sottosistema di regolazione, vista la sempre maggior importanza attribuita a quest'ultimo. Per quanto riguarda i sistemi di generazione derivanti dall'uso di fonti rinnovabili, è stata prevista l'installazione di collettori solari termici a supporto della produzione di acqua calda sanitaria, con relativo serbatoio di accumulo, e di un impianto fotovoltaico anch'esso dotato di batterie di accumulo, con lo scopo di aumentare la quota di autoconsumo e ridurre la dipendenza dalla rete. Questo ha permesso, inoltre, di rispettare il requisito di copertura del fabbisogno dell'immobile dall'uso di fonti rinnovabili del 60%, come indicato nel D. Lgs. n. 199/2021.

Dopo aver verificato la fattibilità tecnica, conseguente ai dimensionamenti, è stata verificata la fattibilità economica per determinare la sostenibilità finanziaria dell'investimento. I costi di costruzione e di parte dei componenti dell'impianto di climatizzazione, sono stati determinati grazie a preventivi diretti forniti da aziende del settore quali Nidus Srl, per la quota dei costi dell'involucro edilizio, e Messina Italia srls, per la parte di costi legata al sistema di emissione. Per le voci non coperte da offerte commerciali si è invece fatto riferimento ai prezziari DEI e Regione Piemonte.

L'analisi economica si è basata sul calcolo del tempo semplice di ritorno (PBT) e del Valore Attuale Netto (VAN), il quale ha permesso di tenera in considerazione anche della variabilità dei prezzi della materia prima e l'attualizzazione dei flussi di cassa. I risultati ottenuti mostrano come il VAN dell'investimento per la costruzione di un edificio nZEB (ossia l'extra costo necessario per la costruzione di un edificio ad alta efficienza, rispetto al costo che si sarebbe speso nel caso di costruzione di un edificio "tradizionale" ed i risparmi annui) sia di circa 16 anni, un valore che, sebbene tecnicamente conveniente, risulta invece non conveniente dal punto di vista economico, vista anche l'assenza di incentivi specifici per le nuove costruzioni e vista l'unica fonte di risparmio dovuta all'annullamento dell'utilizzo di gas naturale e la diminuzione dell'uso di corrente elettrica.

Alla luce di questi risultati, si è scelto di eseguire un'ulteriore verifica sulla fattibilità, dapprima tecnica e successivamente economica, di interventi di riqualificazione ed efficientamento energetico applicati, questa volta, all'edificio esistente, lo stesso già considerato. Lo scopo di questa seconda analisi è stato quello di verificare se tali azioni di efficientamento possano risultare maggiormente vantaggiose a livello economico rispetto alla nuova costruzione. Gli interventi considerati hanno riguardato l'isolamento delle superfici verticali ed orizzontali (solaio verso sottotetto), la sostituzione degli infissi, la sostituzione del generatore di calore e del sistema di emissione, oltre all'installazione di un impianto fotovoltaico con batterie di accumulo.

A differenza del caso della costruzione di un nuovo edificio, nel questo caso di riqualificazione ed efficientamento è stato possibile tenere in considerazione, per il risparmio, anche le agevolazioni fiscali presenti, e pari ad una detrazione del 50%. L'analisi economica ha evidenziato che, grazie soprattutto alla presenza degli incentivi e del minor costo di investimento di partenza, il VAN nel caso di riqualificazione si riduce a circa 7 anni, rendendolo economicamente più vantaggioso rispetto alla costruzione di un nuovo edificio nZEB.

Dall'analisi dei risultati ottenuti, sebbene la costruzione di edifici nZEB rappresenti una strategia utile per la transizione energetica e possa aiutare alla riduzione delle emissioni di CO₂, gli interventi di riqualificazione ed efficientamento energetico di edifici esistenti risultano, attualmente, più vantaggiosi da un punto di vista economico, rispetto alla costruzione di nuovi edifici, anche se con prestazioni migliori.

Questo risultato conferma le tendenze delle politiche nazionali ed europee le quali, attraverso meccanismi di incentivazione, tendono a favorire gli interventi di riqualificazione a discapito delle nuove costruzioni, per le quali sono stati resi ancora più severi i requisiti da rispettare. Si ritiene, quindi, che la scelta tra la costruzione di un nuovo edificio o riqualificazione ed efficientamento di un immobile già esistente debba essere valutata caso per caso, considerando non solo gli aspetti energetici ed ambientali, ma anche quelli economici e normativi.

8. Fonti

- [1] «Wikipedia» [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Casa_passiva Ultimo accesso 06/03/2025.
- [2] «Passive House» [Online]. Available: <https://passivehouse.com/index.html> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [3] Legge 3 agosto 2013, n. 90/2013.
- [4] «Portale Nazionale sulla Prestazione Energetica degli edifici» [Online]. Available: <https://pnpe2.enea.it/nzeb> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [5] Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192/2005.
- [6] Allegato 1 - D.M. 26 giugno 2015.
- [7] Decreto Legislativo 10 giugno 2020, n.48/2020.
- [8] Direttiva europea (UE) 8 maggio 2024, n.1275/2024.
- [9] “Guida EPBD Case Green”, N. Furcolo. [Online]. Available: <https://www.ingenio-web.it/pdfs/guida-epbd-case-green-nicola-furcolo.pdf> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [10] “Decreto requisiti minimi: cosa cambia nella progettazione energetica”, L. Montesi. [Online]. Available: <https://www.ingenio-web.it/pdfs/decreto-requisiti-minimi-cosa-cambia-nella-progettazione-energetica-namirial.pdf> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [11] «Ingegno» [Online]. Available: <https://www.ingenio-web.it/articoli/ape-e-relazione-tecnica-ex-legge-10-2024-come-cambiano-con-il-nuovo-decreto-requisiti-minimi/> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [12] Decreto Legislativo 8 novembre 2021, n. 199/2021
- [13] Direttiva europea (UE) 11 dicembre 2018, n. 2018/2001
- [14] Appendice A - D.M. 26 giugno 2015.
- [15] Appendice B - D.M. 26 giugno 2015.
- [16] UNI/TS 11300-1:2014: “Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”
- [17] NAMIRIAL S.p.A [Online]. Available: <https://www.edilizianamirial.it/software-certificazione-energetica/>
- [18] «Namirial – Certificato di conformità» [Online]. Available: <https://www.edilizianamirial.it/software-certificazione-energetica/#dettagli> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [19] UNI/TS 11300-2:2019: “Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l’illuminazione in edifici non residenziali”.
- [20] UNI/TS 11300-3:2010: “Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione e dei rendimenti per la climatizzazione estiva”.
- [21] UNI/TS 11300-4:2016: “Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria”.
- [22] UNI/TS 11300-5:2016: “Calcolo dell’energia primaria e della quota da energia rinnovabile”.
- [23] UNI/TS 11300-6:2016: “Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori, scale mobili e marciapiedi mobili”.
- [24] UNI 10349:2016: “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”.
- [25] UNI EN ISO 13370.

- [26] UNI EN ISO 13786
- [27] UNI EN 15193:2008
- [28] Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412/1993.
- [29] Deliberazione della Giunta Regionale 4 agosto 2009, n. 46 – 11968.
- [30] Decreto ministeriale 7 aprile 2008.
- [31] Decreto ministeriale 26 gennaio 2010.
- [32] UNI EN ISO 52016-1:2018.
- [33] UNI/TS 11300.
- [34] “Metodologie di calcolo del Fabbisogno energetico degli edifici: metodi dinamici. Sviluppo e applicazione di un codice di calcolo II”, Mazzarella L., Alongi A., Angelotti A., Pasini M. [Online]. Available: https://www2.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2019-2021/tecnologie-efficienza-risparmio-edifici/report-rds_ptr_2020_112.pdf Ultimo accesso 06/03/2025.
- [35] «Biblus Acca,» [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/uni-ts-11300-1/> Ultimo accesso 06/03/2025.
<https://biblus.acca.it/download/decreto-legislativo-n-48-2020-recepimento-direttiva-ue-2018-44/>
- [36] Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380/2001
- [37] Decreto ministeriale, 60/06/2025 all’Articolo 4 Comma 4
- [38] Decreto interministeriale 26 giugno 2015, D.M. Linee guida APE
- [39] Allegato 1, D.M. Linee Guida APE
- [40] Decreto Ministeriale 26 giugno 2015
- [41] «Google Maps» [Online]. Available: https://www.google.it/maps/place/10026+Santena+TO/@44.9514764,7.7555674,4694m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x478809432db6e06b:0x9d0011c5181fc3f9!8m2!3d44.9500874!4d7.7733629!16zL20vMGc4bHpo?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDIyNi4xIKXMDSOASAFQAw%3D%3D Ultimo accesso 06/03/2025.
- [42] Decreto del Presidente della Repubblica 16 aprile 2013, n. 74/2013
- [43] UNI 5364
- [44] «Nidus» [Online]. Available: <https://www.nidus.eu/> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [45] UNI EN ISO 13788
- [46] «Nanosilv» [Online]. Available: <https://www.nanosilv.it/> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [47] UNI 10349
- [48] “Impianti di climatizzazione e di condizionamento: differenze e requisiti normativi”, C. Brocato, G. Forte.
- [49] UNI 10339
- [50] “IMPIANTI HVAC: SISTEMI IDRONICI E AD ESPANSIONE DIRETTA A CONFRONTO”, Ing. Pol.
- [51] Decreto Legislativo 10 giugno 2020, n. 48/2020
- [52] “Sistemi Impiantistici e regolazione”, Consiglio nazionale Ingegneri, 10 gennaio 2022
[Online]. Available: https://www.cni.it/images/eventi/2023/CNI_10-01-2023.pdf Ultimo accesso 06/03/2025.
- [53] ASHRAE, “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”, 24 gennaio 2004.
- [54] UNI EN 1264

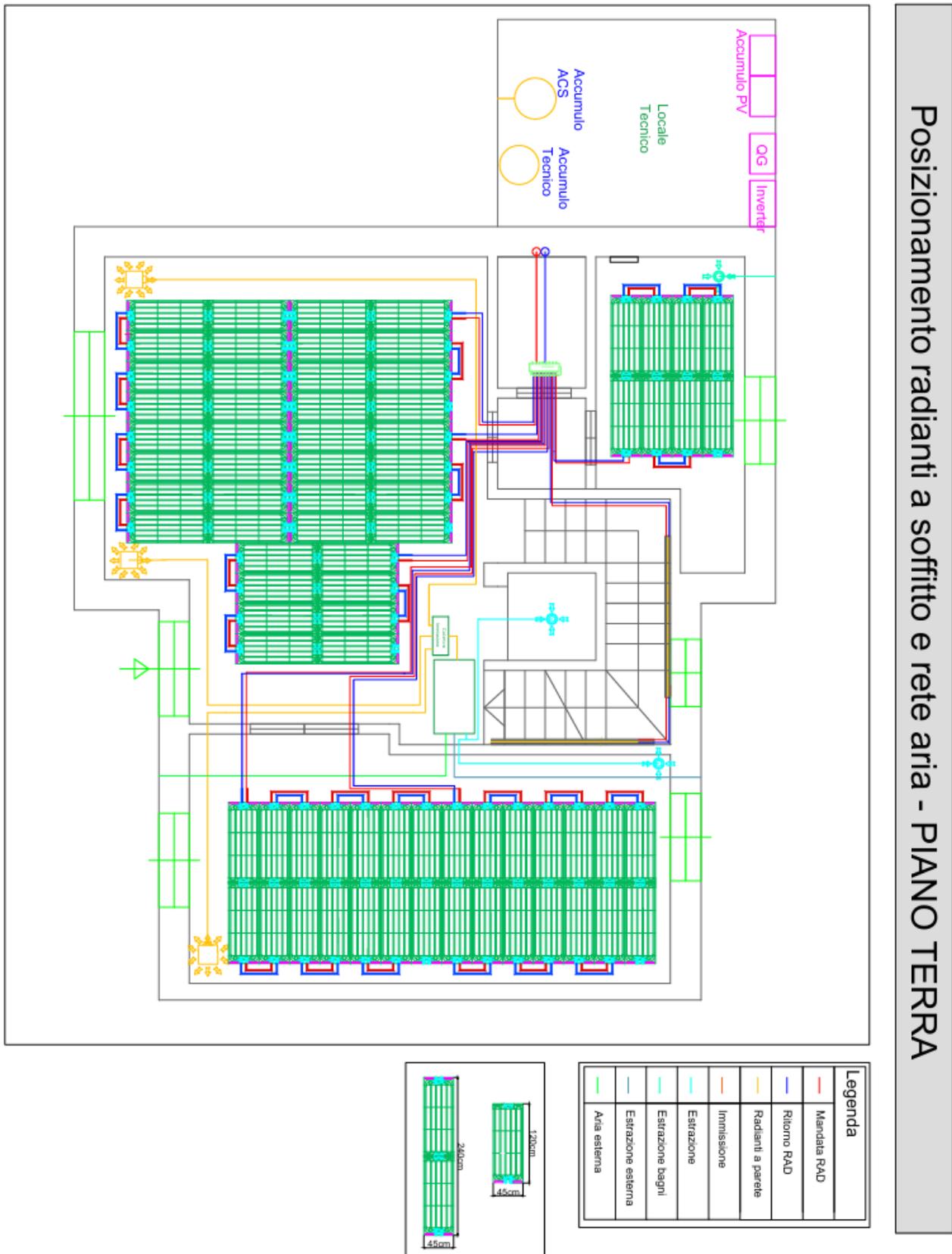
- [55] «Messana» [Online]. Available: <https://www.messanaitalia.com/> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [56] «Messana, Radius Active» [Online]. Available: https://www.messanaitalia.com/wp-content/uploads/2024/07/Radius-Active-2.25_compressed.pdf Ultimo accesso 06/03/2025.
- [57] «Messana, Voce di Capitolato» [Online]. Available: <https://www.messanaitalia.com/wp-content/uploads/2024/09/VOCE DI CAPITOLATO RADIUS ACTIVE-1.pdf> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [58] «Messana, Certificazioni Resa» [Online]. Available: <https://www.messanaitalia.com/wp-content/uploads/2024/09/Certificazioni-resa-2024-RA-1.pdf> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [59] Cordivari, Scheda Tecnica - GLORIA 22 ELETTRICO.
- [60] «Messana» [Online]. Available: https://www.radiantarchitecture.it/extension/module/product_downloads/get?did=164 Ultimo accesso 06/03/2025.
- [61] “Riqualificazione energetica: consigli sulla corretta scelta degli impianti termici”, A. Longhitano, M. Pinto.
- [62] «Biblus Acca» [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/impianto-termico-e-sistema-di-distribuzione-tutto-quello-che-devi-sapere/> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [63] Cappellotto, Scheda Tecnica – Collettore MDSS per Impianti Radianti 8 Vie
- [64] Caleffi, Scheda Tecnica – Collettore premontato 663 a 9 vie
- [65] DAB Water Technology, Scheda tecnica - EVOSTA 2 Circolatori elettrici a rotore bagnato
- [66] DAB Water Technology, Scheda tecnica - EVOSTA 2 Circolatori elettrici a rotore bagnato
- SCHEDE TECNICHE POMPA DI CIRCOLAZIONE SOLARE
- [67] «Consiglio dell’Unione Europea» [Online]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/european-green-deal/#:~:text=Cos%27C3%A8%20il%20Green%20Deal%20europeo,-Il%20Green%20Deal&text=Il%20Green%20Deal%20sostiene%20la,lotta%20contro%20i%20cambiamenti%20climatici> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [68] Caleffi, Idraulica “Gli impianti a pompa di calore aria-acqua”, n.61 dicembre 2021, M. Tomasoni, F. Guidetti, A. Soldarini, C. Ardizzioia, D. Boetto, D. Mazzetti, M. Tomasoni, R. Planca
- [69] “Sistemi a pompa di calore: classificazione, dimensionamento, vantaggi e svantaggi”, G. Bufo.
- [70] Daikin, Scheda Tecnica – Pompa di calore Altherma 3 R MT F
- [71] Regolamento (UE) 16 aprile 2014, n. 517/2014
- [72] “Indicatore Level(s) 1.2: Potenziale di riscaldamento globale (GWP) del ciclo di vita”, N. Dodd, S. Donatello, M. Cordella.
- [73] CIMM, Scheda Tecnica – Gamma ERE, vaso espansione 24l.
- [74] CIMM, Scheda Tecnica – Gamma ERE, vaso espansione 35l.
- [75] CIMM, Scheda Tecnica – Gamma ACS/AS, vaso espansione 12l.
- [76] «Caleffi, Fascicolo R.2 Dispositivi di sicurezza, protezione e controllo» [Online]. Available: https://raccoltar.caleffi.it/r2_dispositivisicurezza.html Ultimo accesso 06/03/2025.
- [77] UNI EN 12828
- [78] Caleffi, Scheda Tecnica – Valvola di sicurezza 312440
- [79] “Il separatore Idraulico”, Caleffi Hydronic solution [Online]. Available: https://www.caleffi.com/sites/default/files/media/external-file/08511_IT.pdf Ultimo accesso 06/03/2025.
- [80] Caleffi, Scheda Tecnica – Serie 548 Separatore idraulico.
- [81] Viessmann, Scheda Tecnica – Vitosol 200F

- [82] «ENEA, Atlante italiano della radiazione solare» [Online]. Available: <http://www.solaritaly.enea.it/TabelleRad/TabelleRadIt.php> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [83] «Biblus Acca» [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/collettore-solare-cos-e-come-funziona-incentivi/> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [84] «Biblus Acca» [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/effetto-fotovoltaico-cos-e-come-funziona/#:~:text=Si%20genera%20dunque%20un%20campo,luce%20solare%20produce%20energia%20elettrica.> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [85] Sunpower, Scheda Tecnica – Pannelli solari Performance 6, 500W
- [86] «Studio Legale Appalti» [Online]. Available: <https://www.studiolegaleappalti.it/fotovoltaico/quota-dobbigo-fotovoltaico#:~:text=Ad%20esempio%20per%20nuovi%20edifici,superficie%20in%20pianta%20della%20costruzione.> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [87] «PVGIS» [Online]. Available: [JRC Photovoltaic Geographical Information System \(PVGIS\) - European Commission](https://www.jrc.ec.europa.eu/pvgis/) Ultimo accesso 06/03/2025.
- [88] «ARERA» [Online]. Available: <https://www.arera.it/dati-e-statistiche/dettaglio/analisi-dei-consumi-dei-clienti-domestici> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [89] SolarMax, Scheda Tecnica - Inverter Trifase 10 kW 2 MPPT NEW10SMT-LCD
- [90] “Idraulica: produzione di acqua calda ad accumulo”, Quaderno Caleffi n.16, M. Doninelli.
- [91] Viessman, Scheda Tecnica - Vitocell 100 – E/- W
- [92] Viessman, Scheda Tecnica – Vitocell 100 – E
- [93] Huawei, Scheda Tecnica - Batteria al Litio LUNA2000-15-SO 15kWh
- [94] Huawei, Scheda Tecnica - Batteria al Litio LUNA2000-15-SO 20kWh
- [95] “Riqualificazione energetica: consigli sulla corretta scelta degli impianti termici”, A. Longhitano, M. Pinto.
- [96] “Le pompe di calore e la termoregolazione”, A. Lorenzati.
- [97] «Gazzetta Ufficiale» [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=OJ%3AC%3A2014%3A207%3AFULL> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [98] «Messana, sistemi di controllo» [Online]. Available: <https://www.messanaitalia.com/sistemi-di-controllo/> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [99] «Messana, K10 biosense» [Online]. Available: <https://www.messanaitalia.com/prodotti/serie-k10-biosense/> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [100] UNI EN 12792.
- [101] “La ventilazione meccanica controllate”, 3AME [Online]. Available: <https://energiazero.org/cartelle/3AME/impianti/la-ventilazione-meccanica-controllata.pdf> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [102] UNI EN 15251.
- [103] «IRSAP air» [Online]. Available: https://www.irsap.com/it/air?_gl=1*jo4ym6*_up*MQ..*_ga*MTM1MTQ0Njk5LjE3Mzk2MjlxNjg.*_ga_QXN88H0VXS*MTczOTYyMjE2Ny4xLjAuMTczOTYyMjE2Ny4wLjAuMzkxMTEzMTgy Ultimo accesso 06/03/2025.
- [104] «InfoBuilding» [Online]. Available: <https://www.infobuild.it/approfondimenti/la-ventilazione-naturale-meccanica-e-il-comfort-termico/> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [105] “La ventilazione meccanica, naturale e il comfort termico”, F. Valentini.
- [106] UNI EN 16798.

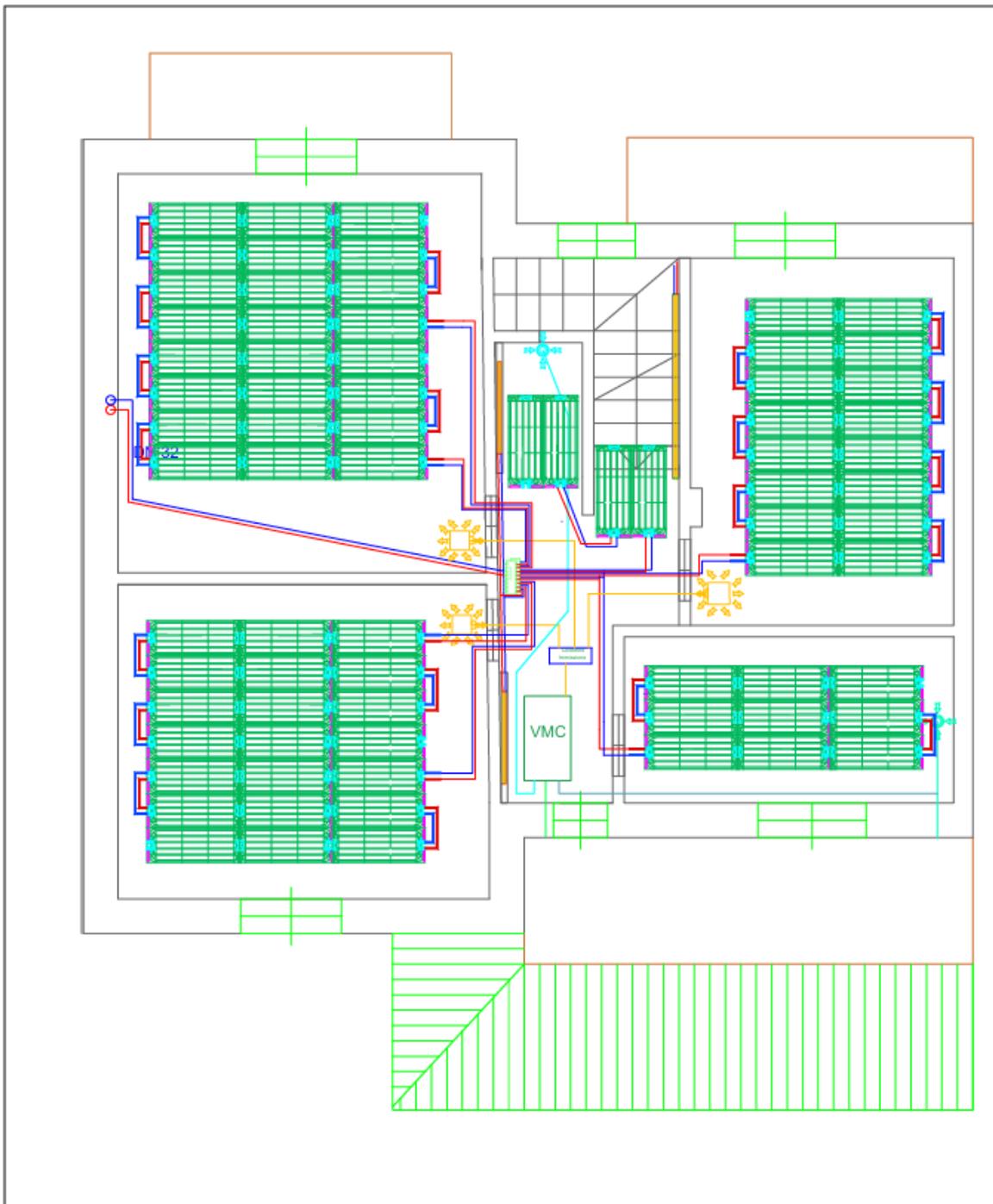
- [107] “Il calcolo delle portate di rinnovo dell’aria per impianti VMC residenziali: quale normativa utilizzare?”, V. Raisa.
- [108] «Certifico» [Online]. Available: <https://www.certifico.com/sicurezza-lavoro/documenti-sicurezza/67-documenti-riservati-sicurezza/19607-calcolo-ventilazione-ricambi-d-aria-edifici-en-16798-1> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [109] Fantini Cosmi, Scheda Tecnica - ASPIRCOMFORT PRO dH
- [110] Tecno Ventil, Scheda Tecnica - DK - DIFFUSORI QUADRATI A SCHERMO PIATTO REGOLABILE
- [111] S&P, Scheda Tecnica - SILENT DUAL 100
- [112] “Metodi di Valutazione degli Investimenti”, slide Gian Paolo Stella [Online]. Available: https://elearning.uniparthenope.it/pluginfile.php/277531/mod_resource/content/1/Lezione%207.pdf Ultimo accesso 06/03/2025.
- [113] ARERA deliberazione 28 novembre 2023, 556/2023/R/COM [Online]. Available: https://www.arera.it/fileadmin/allegati/docs/23/556_23alla.pdf Ultimo accesso 06/03/2025.
- [114] “Legge di bilancio 2025 – 13: nuove aliquote per i bonus edilizi”, Fisco Oggi, P. De Juliis.
- [115] “Costruzione nuova abitazione: le agevolazioni fiscali previste e per quali opere”, S. Bellanza.
- [116] «GSE» [Online]. Available: <https://www.gse.it/servizi-per-te/fotovoltaico/autoconsumo> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [117] “Comunità energetiche: oltre 430 richieste di accesso. Come funzionano gli incentivi”, C. Dominelli
- [118]] «GSE» [Online]. Available: <https://www.gse.it/servizi-per-te/autoconsumo/gruppi-di-autoconsumatori-e-comunita-di-energia-rinnovabile/comunit%C3%A0-energetiche-rinnovabili> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [119] Prezziario Regione Piemonte 2024 [Online]. Available: <https://www.servizi.piemonte.it/srv/prezzario/> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [120] Prezziario DEI [Online]. Available: <https://www.build.it/prezzari/dei/> Ultimo accesso 06/03/2025.
- [121] “Statistiche regionali Il mercato immobiliare residenziale. Piemonte”, F. Mazzitelli, B. Moine, C. Rosso https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/documents/20143/6198423/SR2024_Piemonte.pdf/f3261536-7627-44d5-9714-e3efd5bcd0bb
- [122] “GLOSSARIO DELLE DEFINIZIONI TECNICHE IN USO NEL SETTORE ECONOMICO-IMMOBILIARE”, Agenzia del Territorio e Tecnoborsa https://www1.agenziaentrate.gov.it/servizi/Consultazione/glossario_omi.pdf
- [123] “Tabelle e Diagrammi Perdite di Carico Aria”, Caleffi.
- [124] Nanosilv, Scheda tecnica – RasoTherm.
- [125] «Biblus Acca» [Online]. Available: <https://biblus.acca.it/download/decreto-requisiti-minimi-dm-26-giugno-2015/> Ultimo accesso 06/03/2025.

9. Allegati

9.1. TAVOLA 1 – Radianti a soffitto e linea aria PIANO TERRA

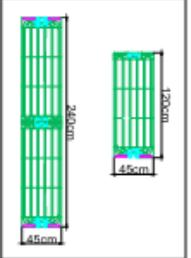


9.2. TAVOLA 2 – Radianti a soffitto e linea aria PIANO PRIMO

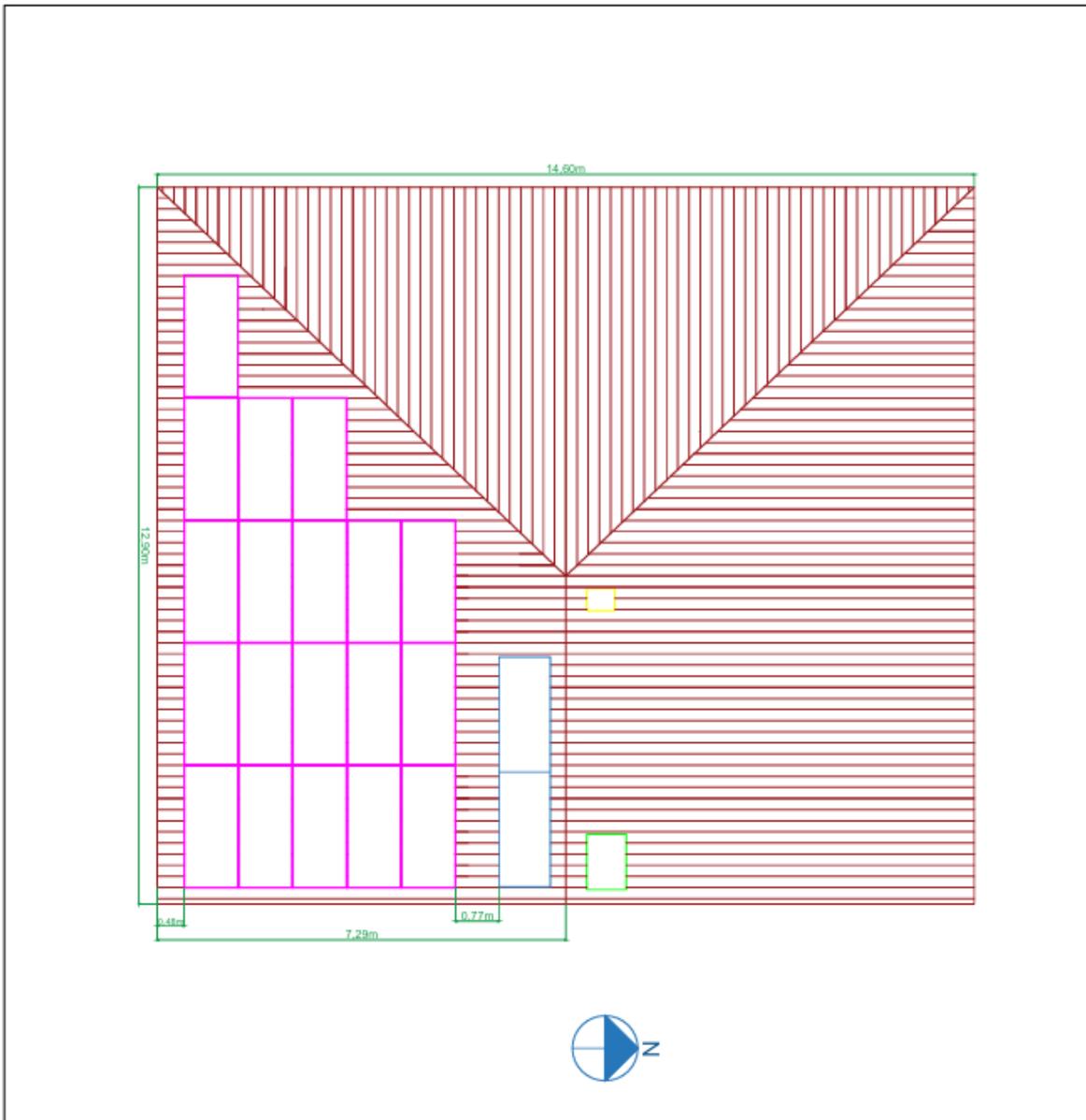


Posizionamento radianti a soffitto e rete aria -PIANO PRIMO

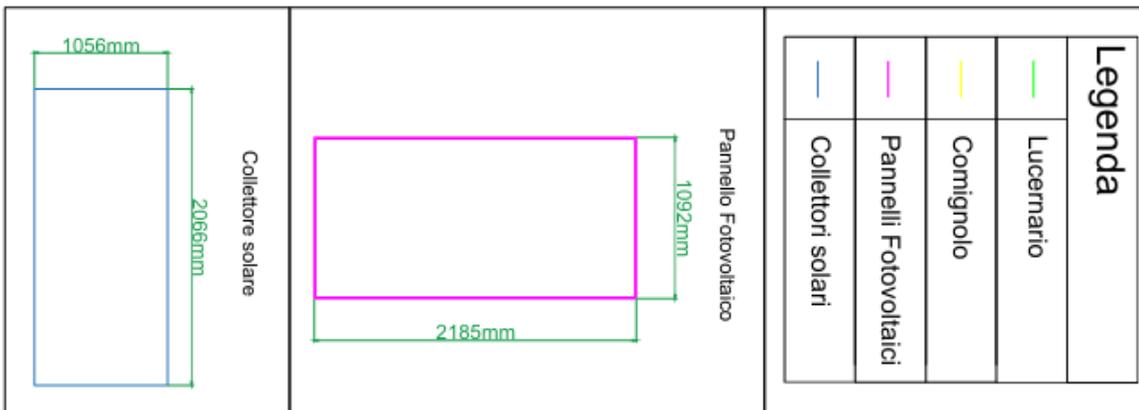
Legenda	
	Mandata RAD
	Ritorno RAD
	Radianti a parete
	Inmissione
	Estrazione
	Estrazione bagni
	Estrazione esterna
	Aria esterna



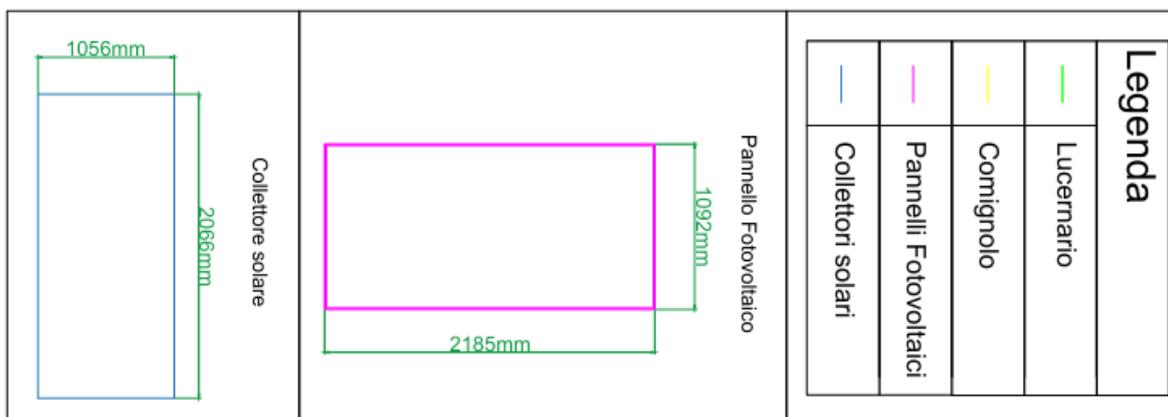
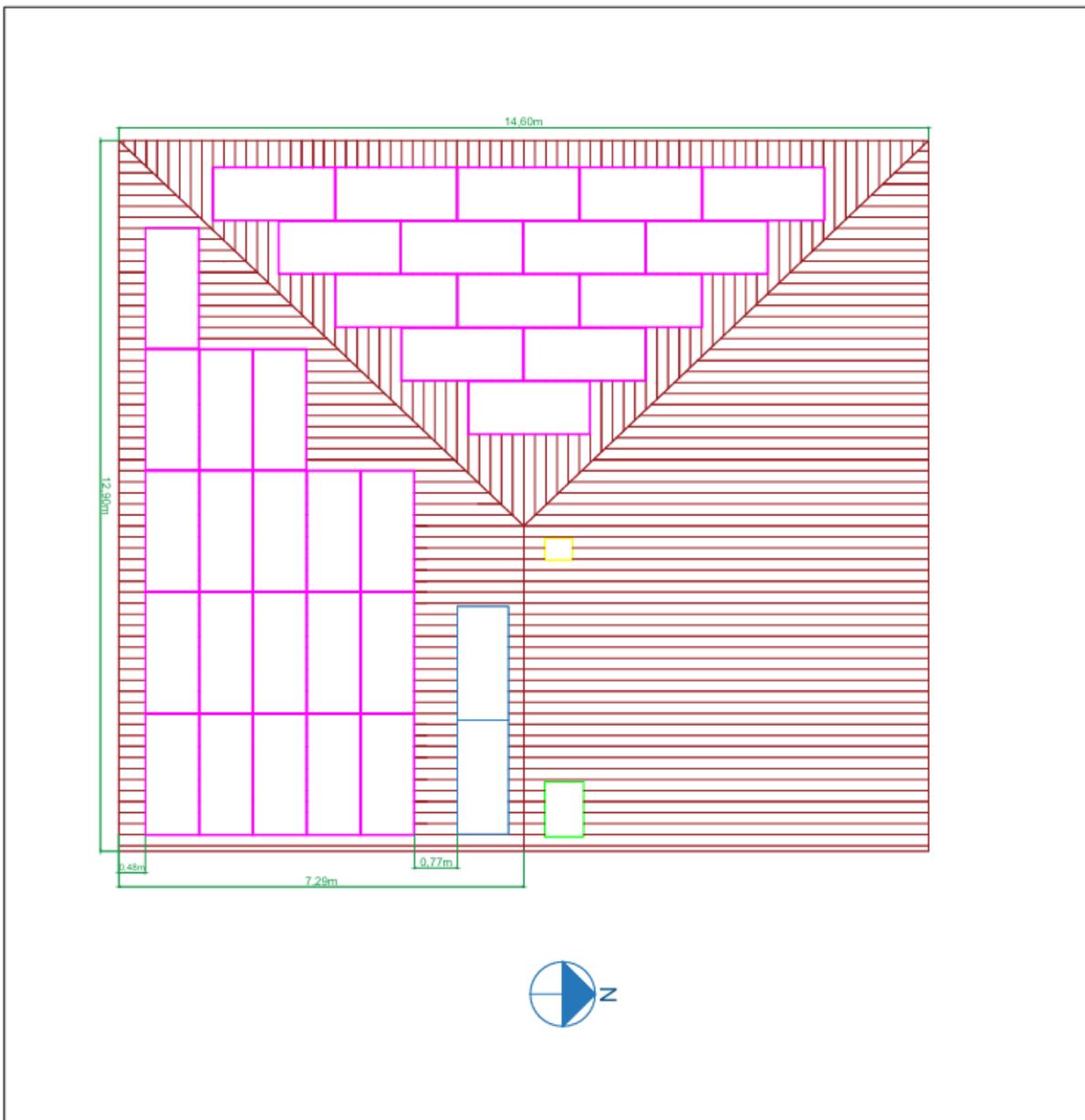
9.3. TAVOLA 3 – Impianto fotovoltaico 9,5kWp e collettori solari



Posizionamento collettori collettori e pannelli fotovoltaici 9,5kWp

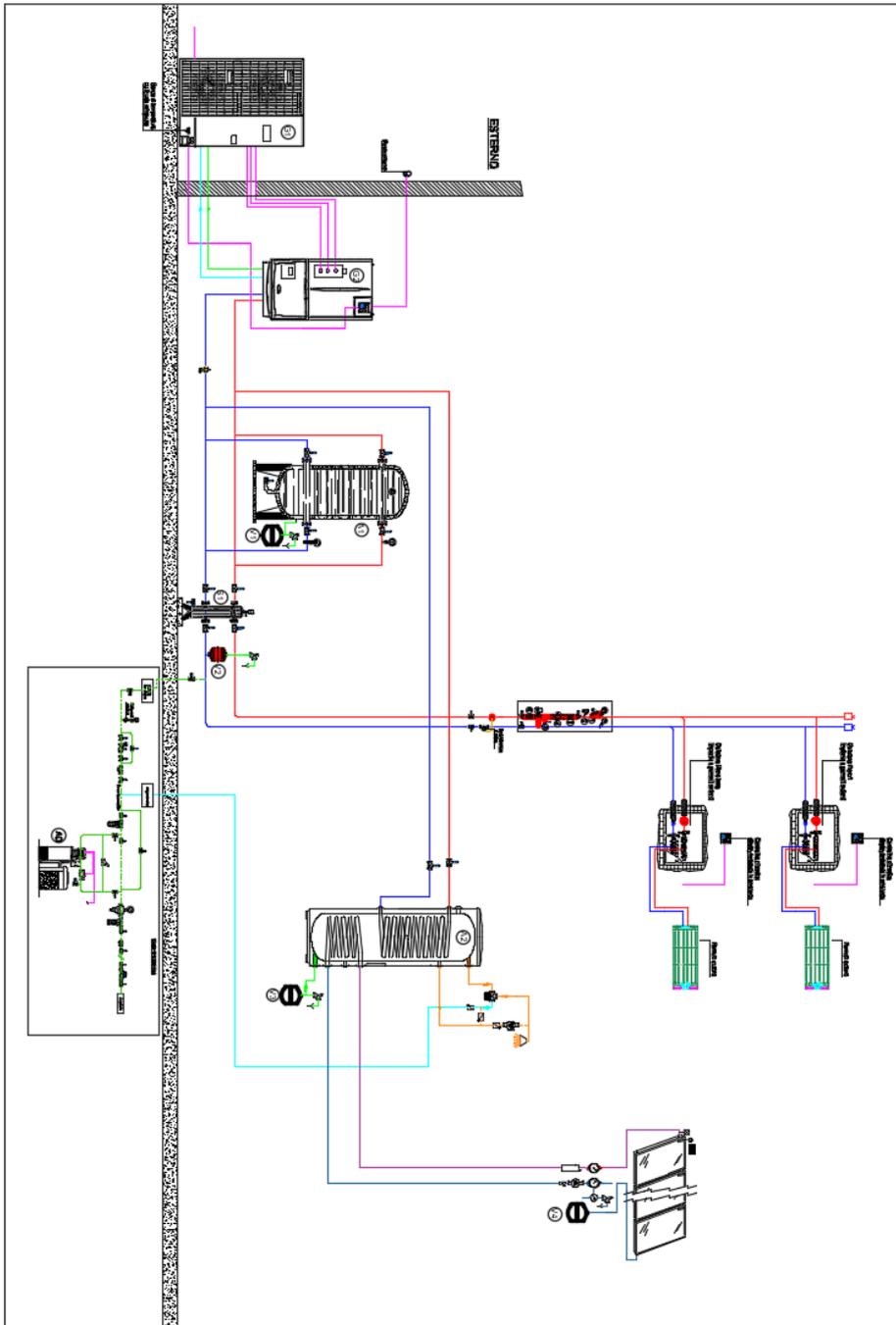


9.4. TAVOLA 4 – Impianto fotovoltaico 17kWp e collettori solari



Posizionamento collettori collettori e pannelli fotovoltaici 17kWp

9.5. TAVOLA 5 – P&I



P&I

Legenda

G1 Pompa di calore - Unità esterna
 G2 Pompa di calore - Unità interna
 A1 Accumulo tecnico
 A2 Accumulo acqua calda sanitaria
 V1 Vaso di espansione accumulatore tecnico
 V2 Vaso di espansione accumulatore ACS
 V3 Vaso di espansione collettori solari
 V4 Vaso di espansione collettori solari
 S1 Separatore idraulico
 A.D. Addizione

Legenda

① Sonda di misura
 ② Termocoppia di sicurezza
 temperatura 45 °C
 ③ Valvola di non ritorno
 ④ Pompa di circolazione in
 velocità variabile
 Portata 1041 l/h
 Prevalenza 1,40 mCA
 ⑤ Valvole di by-pass da 1/2"
 ⑥ Valvole a tre vie miscelatrici
 ⑦ Indichere il temperatura 0-120 °C

LEGENDA TUBAZIONI

● Tubazione di miscelazione
 ● Tubazione di ritorno riscaldamento
 ● Tubazione fumidivisa/alla alimentazione acqua calda
 ● Tubazione preriscaldamento alimentazione acqua calda sanitaria
 ● Tubazione di ritorno ACS/ACS
 ● Tubazione ritorno acqua calda
 ● Linea rigurgoli idraulica
 ● Linea rigurgoli idraulica
 ● Alimentazione idraulica

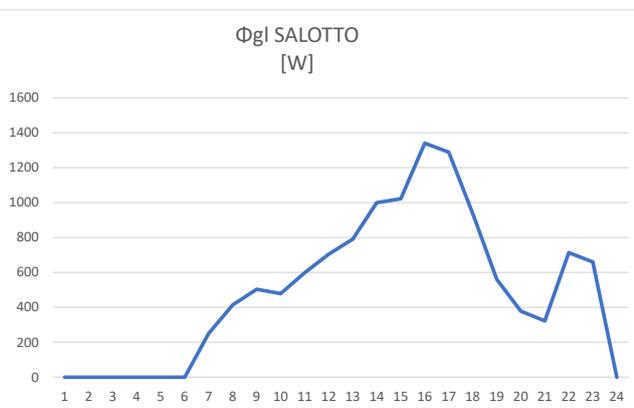
9.6. Fabbisogno riscaldamento per singole zone

In tabella è riportata la legenda dei simboli utilizzati.

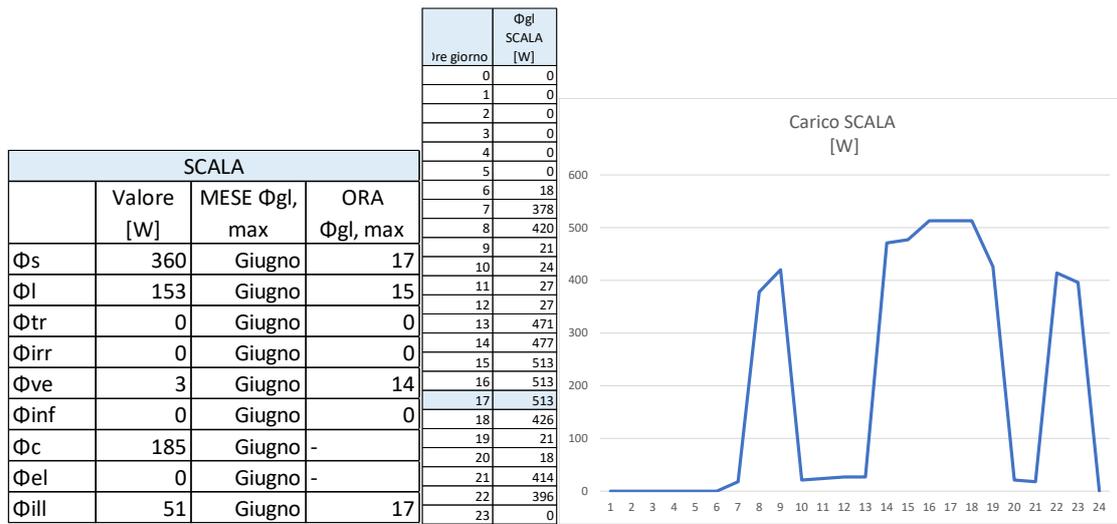
Legenda	Denominazione	Unità misura
Φ_s	Carico Sensibile	W
Φ_l	Carico Latente	W
Φ_{tr}	Carico per Trasmissione	W
Φ_{irr}	Carico per Irraggiamento	W
Φ_{ve}	Carico per ventilazione (non trattata)	W
Φ_{inf}	Carico Infiltrazioni	W
Φ_c	Carico persone	W
Φ_{el}	Carico Apparecchiature Elettriche	W
Φ_{ill}	Carico Illuminazione	W
Φ_{gl}	Carico globale	W
$\Phi_{gl, max}$	Carico globale massimo	W

9.6.1. Salotto: carico termico estivo nell'ora di massimo carico ed andamento orario del carico globale – zona termica

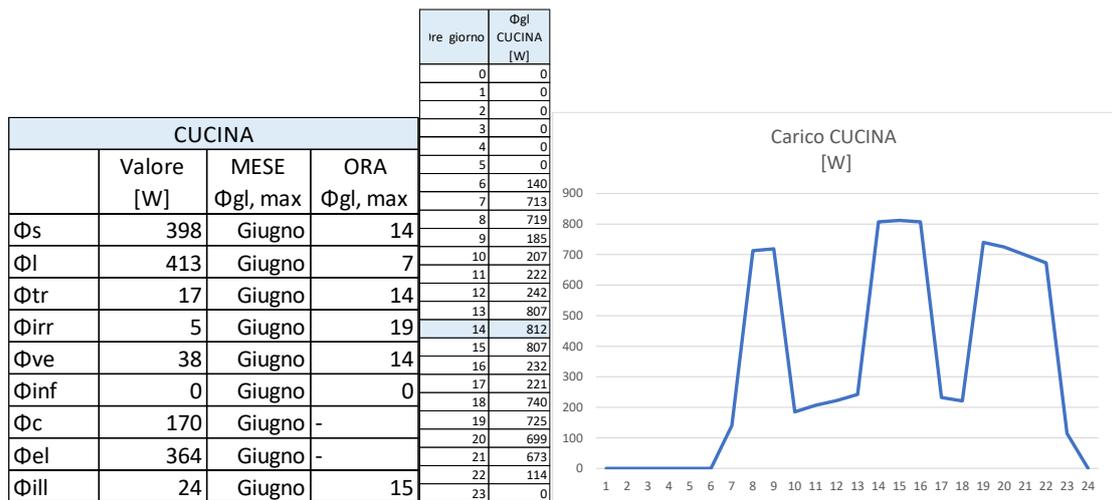
SALOTTO				Ore giorno	Φ_{gl} SALOTTO [W]
	Valore [W]	MESE	ORA		
		$\Phi_{gl, max}$	$\Phi_{gl, max}$		
Φ_s	831	Giugno	15	0	0
Φ_l	509	Giugno	15	1	0
Φ_{tr}	53	Giugno	16	2	0
Φ_{irr}	385	Giugno	14	3	0
Φ_{ve}	73	Giugno	14	4	0
Φ_{inf}	0	Giugno	0	5	0
Φ_c	100	Giugno	-	6	251
Φ_{el}	327	Giugno	-	7	414
Φ_{ill}	51	Giugno	17	8	503
				9	479
				10	598
				11	704
				12	791
				13	999
				14	1022
				15	1340
				16	1289
				17	937
				18	560
				19	379
				20	323
				21	714
				22	660
				23	0



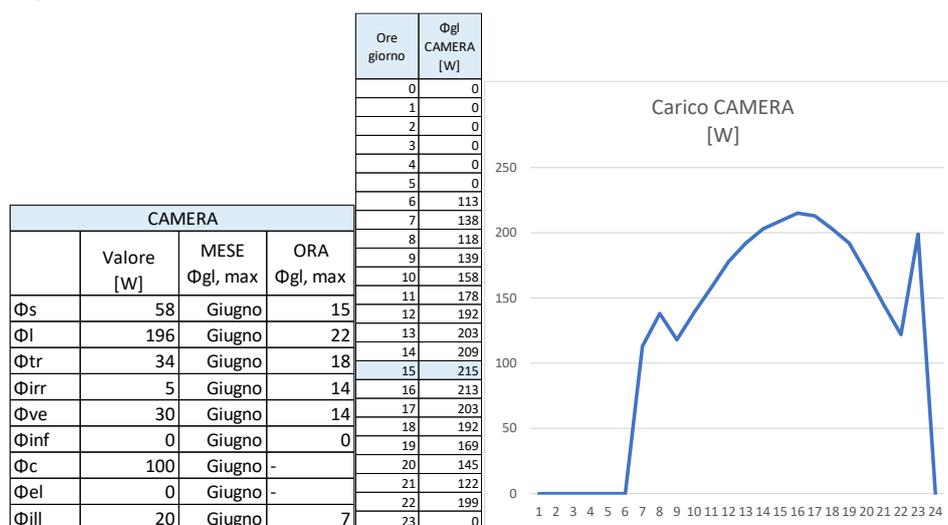
9.6.2. *Scala: carico termico estivo nell'ora di massimo carico ed andamento orario del carico globale – zona termica*



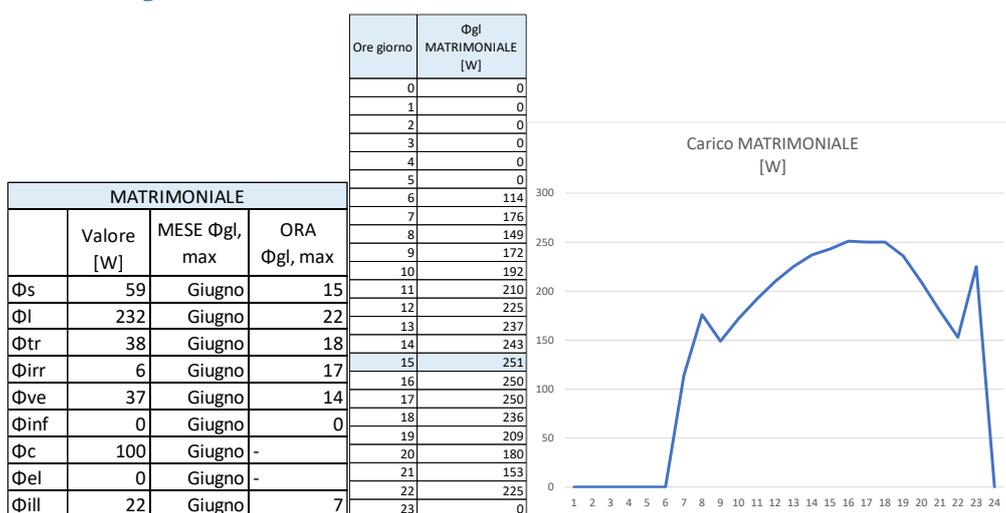
9.6.3. *Cucina: carico termico estivo nell'ora di massimo carico ed andamento orario del carico globale – zona termica*



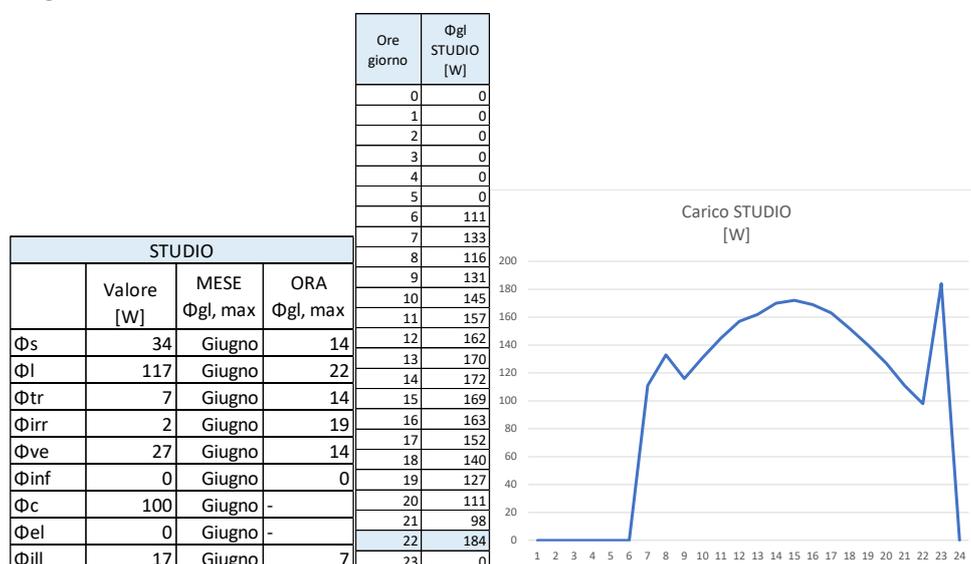
9.6.4. Camera: carico termico estivo nell'ora di massimo carico ed andamento orario del carico globale – zona termica



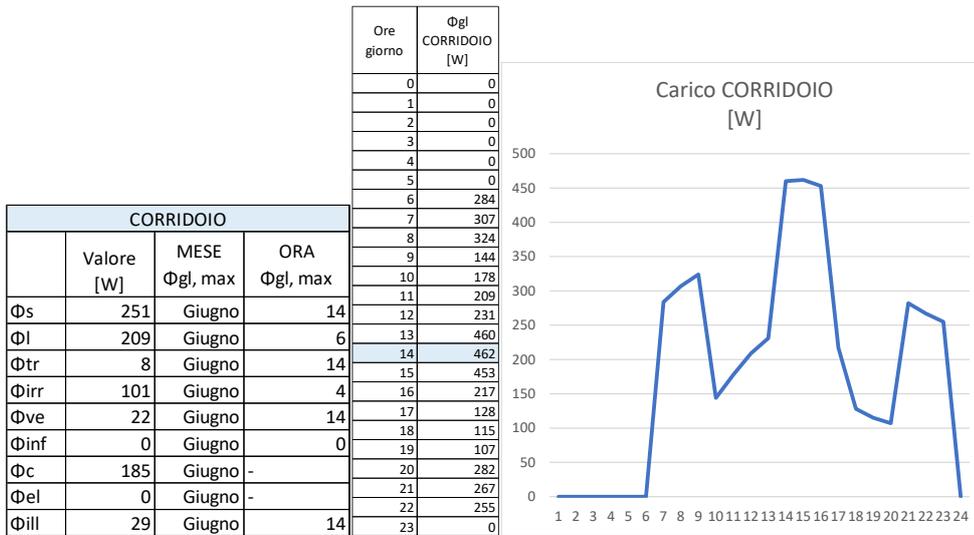
9.6.5. Matrimoniale: carico termico estivo nell'ora di massimo carico ed andamento orario del carico globale – zona termica



9.6.6. Studio: carico termico estivo nell'ora di massimo carico ed andamento orario del carico globale – zona termica

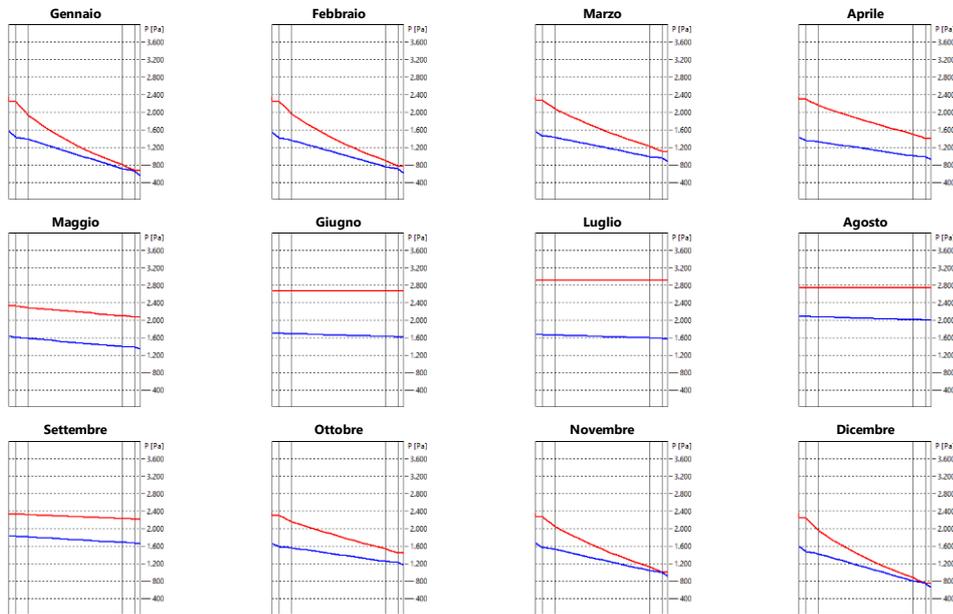


9.6.7. *Corridoio: carico termico estivo nell'ora di massimo carico ed andamento orario del carico globale*



9.7. Verifica condensata

9.7.1. Parete Nidus

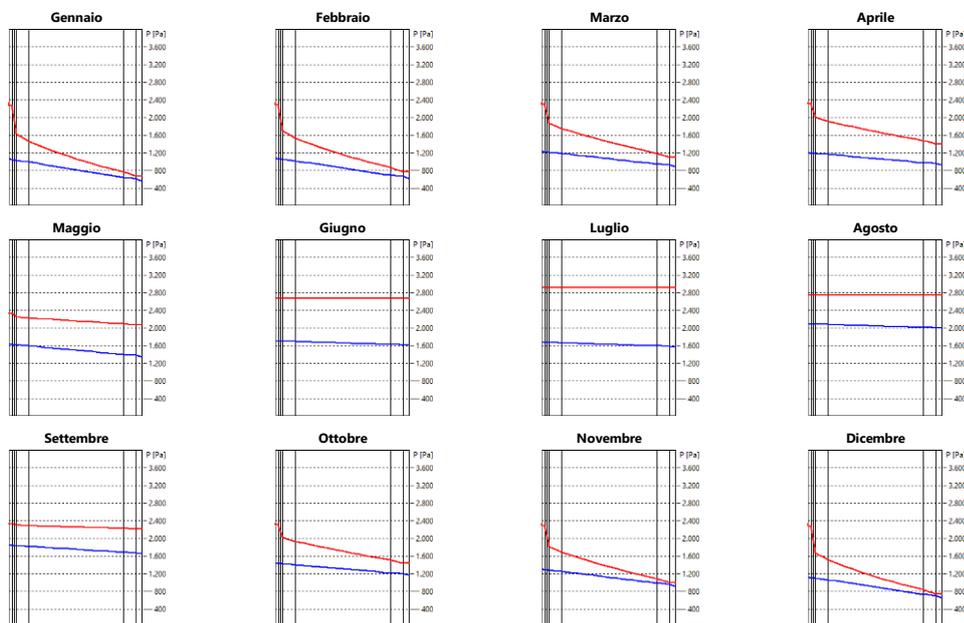


fRsi Struttura: 0,9418

La struttura non presenta rischi di formazione muffe.

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

9.1.1. Parete Nidus con RasoTherm

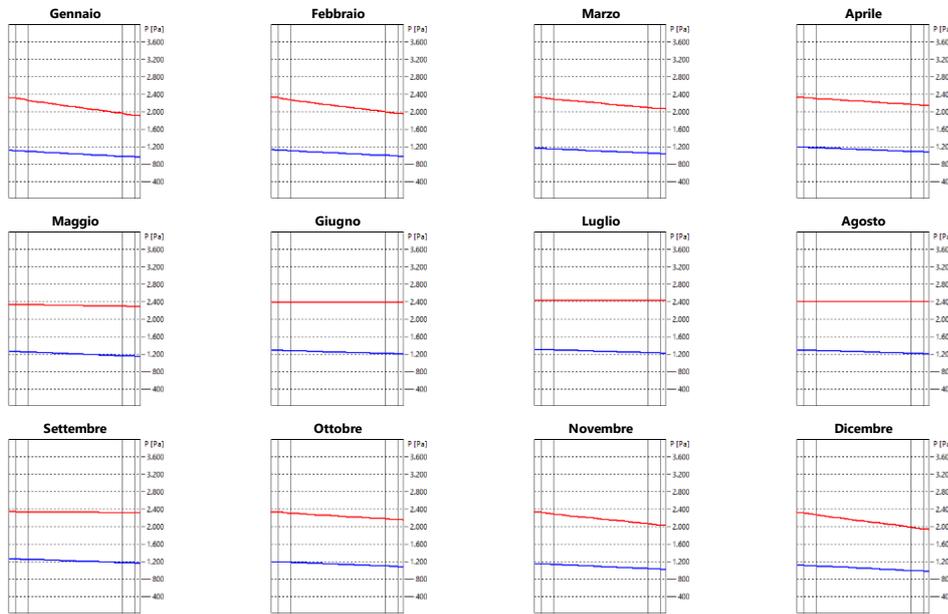


fRsi Struttura: 0,9575

La struttura non presenta rischi di formazione muffe.

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

9.7.3. Parete Nidus interna

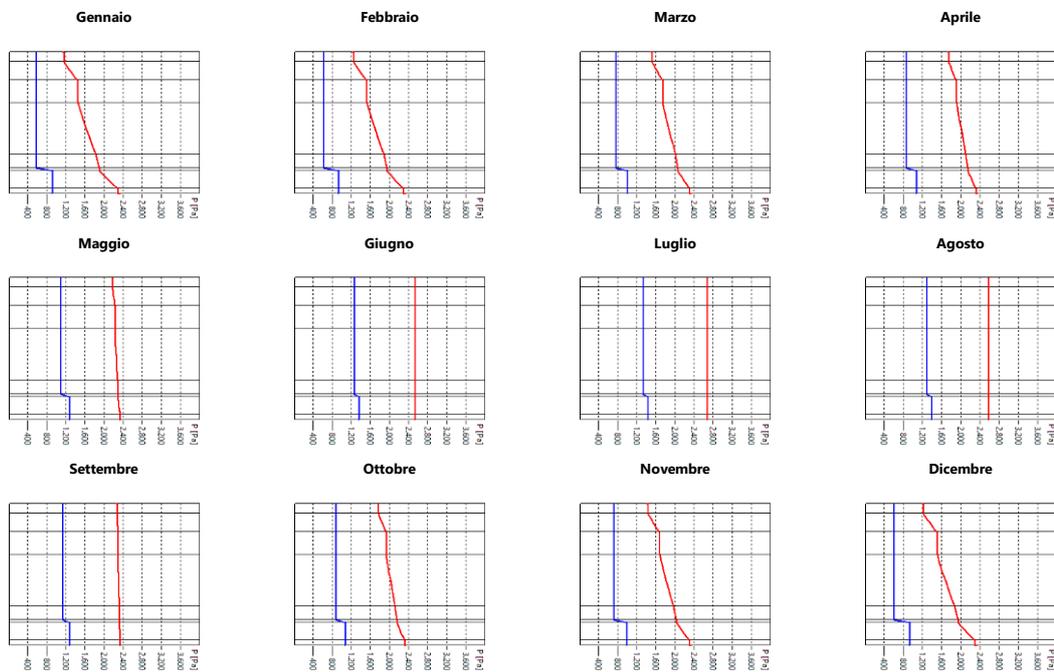


fRsi Struttura: 0,9430

La struttura non presenta rischi di formazione muffe.

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

9.7.4. Solaio Nidus verso sottotetto

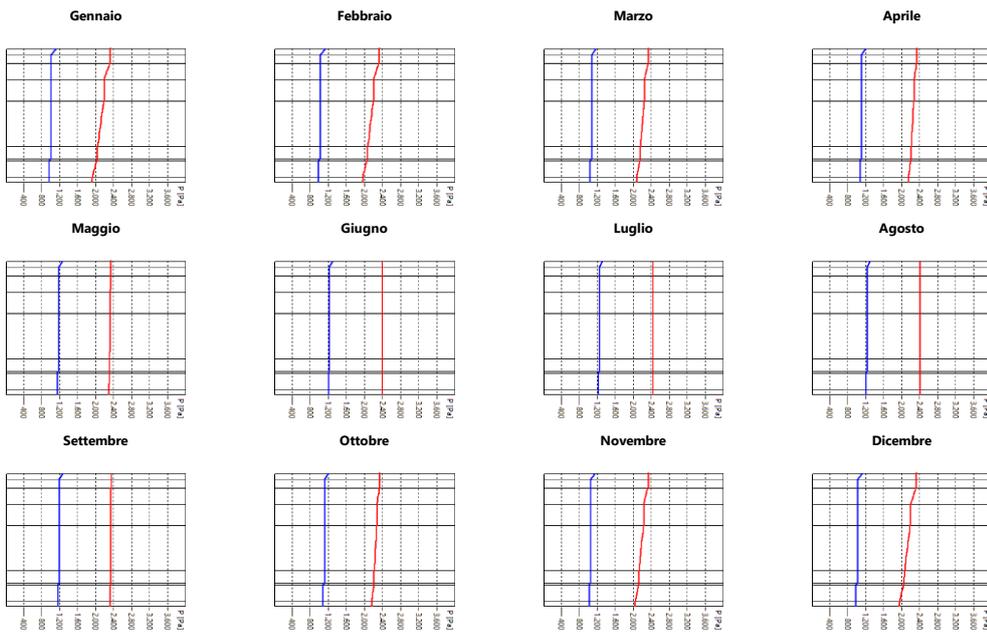


fRsi Struttura: 0,9461

La struttura non presenta rischi di formazione muffe.

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

9.7.5. Solaio Nidus interpiano

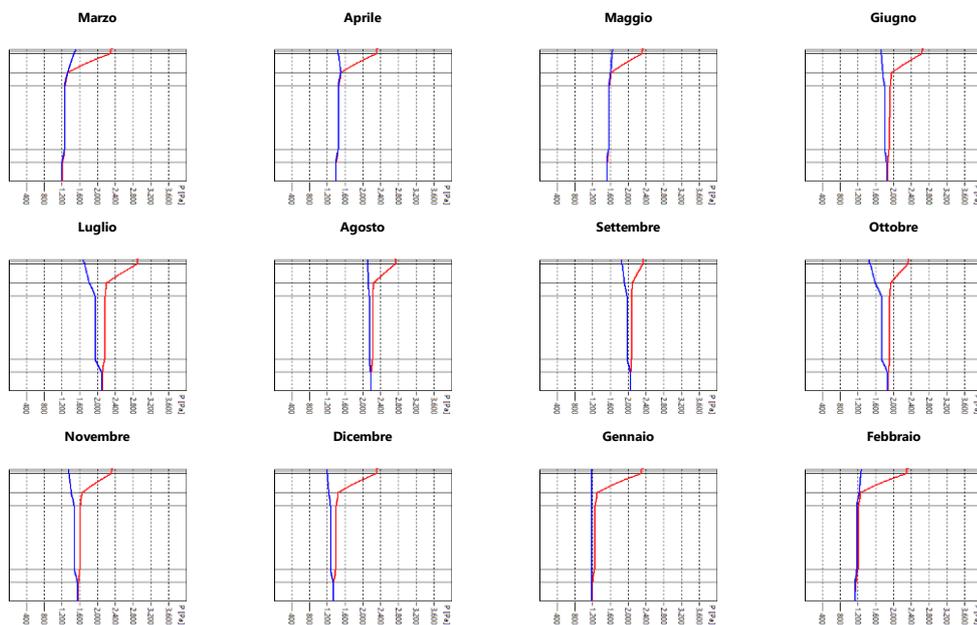


fRsi Struttura: 0,9470

La struttura non presenta rischi di formazione muffe.

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

9.7.6. Basamento in clc



fRsi Struttura: 0,9596

La struttura non presenta rischi di formazione muffe.

La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale (inizia a marzo).

La quantità di condensa massima (a marzo) è di 0,00637 kg/m².

La condensa evapora completamente nei mesi successivi.