POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Analisi prestazionale ed energetica e progettazione impiantistica di un edificio residenziale bioclimatico all'interno del Parco Regionale "La Mandria".

Relatore:

Prof. Marco Carlo Masoero

Candidato:

Simone Marietta Oddone

Anno accademico 2021-2022

INDICE

PARTE I

1. Sommario
2. Inquadramento territoriale, urbanistico e legislativo dell'opera
3. Contestualizzazione storica edificio esistente
4. Progetto di sostituzione edilizia con ampliamento
   4.1. Descrizione dell'intervento e delle modalità realizzative
   4.2. Le scelte progettuali
5. Villa Ginevra
   5.1. Descrizione generale del progetto architettonico
   5.2. Performance energetiche e progettazione impiantistica
      5.2.1. Impianto fotovoltaico con pompa di calore e batterie di accumulo
      5.2.2. Descrizione impianti Villa Ginevra
   5.3. Materiali utilizzati
      5.3.1. Componenti opachi
      5.3.2. Componenti trasparenti
6. Protocollo ITACA
   6.1. Criteri, Categorie e Aree di Valutazione
   6.2. Protocollo ITACA Villa Ginevra
      6.2.1. Area A – Qualità del sito
      6.2.2. Area B – Consumo di risorse
      6.2.3. Area C – Carichi ambientali
      6.2.4. Area D – Qualità ambientale indoor
      6.2.5. Area E – Qualità del servizio
7. Passive House e nearly Zero Energy Building
   7.1. Requisiti per essere una casa passiva
   7.2. Requisiti per essere una casa a energia quasi zero
   7.3. Villa Ginevra: abitazione passiva o nZEB?

PARTE II

8. Ricostruzione edificio preesistente in EDILCLIMA
9. Progetto di efficientamento energetico
   9.1. Rifacimento involucro con cappotto esterno
   9.2. Sostituzione serramenti
   9.3. Sostituzione impianto
10. Confronto prestazionale ed energetico tra i due edifici
    Conclusioni
    Fonti
    Ringraziamenti

LISTA DELLE FIGURE

Figura 1: Mappa Parco Naturale La Mandria. [1] 9
Figura 2: Planimetria con indicazioni per raggiungere l'edificio. [3] 10
Figura 3: Estratto di mappa catastale Comune di Fiano. [3] 11
Figura 4: Mappa delle acclività. [3] 11
Figura 5: Edificio esistente dei primi anni 70. 14
Figura 6: Planimetria piano interrato vecchio edificio. [3] 15
Figura 7: Planimetria piano primo vecchio edificio. [3] 16
Figura 8: Planimetria piano primo vecchio edificio. [3] 16
Figura 9: Sovrapposizione prospetto Sud-Est. 20
Figura 10: Sovrapposizione prospetto Sud-Ovest. 20
Figura 11: Sovrapposizione prospetto Nord-Ovest. 20
Figura 12: Sovrapposizione prospetto Nord-Est. 21
Figura 13: Rendering Villa Ginevra. [3] 22
Figura 14: Planimetria Villa Ginevra progetto esecutivo scala 1:100. [3] 23
Figura 15: Estratto di planimetria Villa Ginevra dal software EDILCLIMA. [3] 24
Figura 16: Sezione Villa Ginevra. [3] 25
Figura 17: Prospetto Sud-Est. [3] 26
Figura 18: Prospetti Nord-Ovest. [3] 26
Figura 19: Prospetto Sud-Ovest. [3] 27
Figura 20: Prospetto Nord-Est. [3] 27
Figura 21: Prestazione energetica globale Villa Ginevra. 27
Figura 22: Celle solari standard (a) e PERC (b). [10] 29
Figura 23: Collettore COMISA con 6 attacchi. [13] 32
Figura 24: Dispositivi al plasma freddo per la purificazione dell'aria. [14] 37
Figura 25: UTA in pompa di calore installata nella zona piscina. [15] 38
Figura 26: Modalità di funzionamento UTA durante la stagione invernale. [15] 38
Figura 27: Modalità di funzionamento UTA durante la stagione estiva con circuito frigo. [15] 39
Figura 28: Modalità di funzionamento UTA durante la stagione estiva con prevalente deumidificazione e scarso condizionamento. [15] 39

Figura 29: Modalità di funzionamento UTA durante la stagione estiva sfruttando l'acqua della piscina. [15] 40
Figura 30: Estratto di planimetria area analizzata. [3] 56
Figura 31: Distanza dell'edificio dal bar. 59
Figura 32: Distanza dell'edificio dal ristorante. 59
Figura 33: Distanza dell'edificio dal negozio di alimentari. 60
Figura 34: Distanza dell'edificio dal campo da golf. 60
Figura 35: Tecniche costruttive da implementare in una casa passiva. [33] 92
Figura 36: Planimetria del lotto di terreno con edificio preesistente. 124
Figura 37: Prospetto Sud-Ovest edificio preesistente. 125
Figura 38: Configurazione ipotizzata per impianto fotovoltaico. 125
Figura 39: Ripartizione carichi riscaldamento tra generatori. 128
Figura 40: Ripartizione carichi ACS tra generatori. 128
Figura 41: Peso percentuale dispersioni involucro edificio preesistente. 135
Figura 42: Peso percentuale dispersioni involucro Villa Ginevra. 135
Figura 43: Ripartizione energia primaria tra i servizi, edificio preesistente. 138
Figura 44: Ripartizione energia primaria tra i servizi, Villa Ginevra. 138

LISTA DELLE TABELLE

Tabella 1: Scala di classificazione degli edifici sulla base di $EPgl, nren$. [8] 28
Tabella 2: Dati elettrici moduli fotovoltaici P19-320-BLK. 29
Tabella 3: Resoconto dati impianto fotovoltaico alloggio 1. 30
Tabella 4: Resoconto dati impianto fotovoltaico alloggio 2. 30
Tabella 5: Temperature di cut-off pompe di calore. 31
Tabella 6: Fabbisogno termico locali alloggio 1. 33
Tabella 7: Fabbisogno termico locali alloggio 2. 34
Tabella 8: Fabbisogno termico locali zona comune. 34
Tabella 9: Dimensionamento collettori. 34
Tabella 10: Perdite di pressione nei tubi. 35
Tabella 11: Perdite di pressione alle pompe. 35
Tabella 12: Dimensionamento collettori in Centrale Termica. 35
Tabella 13: Valori di riferimento per dimensionamento collettori. [3] 36
Tabella 14: Riassunto fabbisogno di energia primaria e indici di prestazione impianti. 41
Tabella 15: Stratigrafia muro verso esterno. 43
Tabella 16: Stratigrafia muro divisorio tra zone. 44
Tabella 17: Stratigrafia muro divisorio interno con impianti. 45
Tabella 18: Stratigrafia muro divisorio tra alloggi. 46
Tabella 19: Stratigrafia pavimento verso terra. 47
Tabella 20: Stratigrafia copertura alta 4,10 m. 48
Tabella 21: Stratigrafia copertura zona piscina alta 2,70 m. 48
Tabella 22: Parametri comuni a tutti i componenti finestrati della Villa. 49
Tabella 23: Scheda tecnica componente finestrato. 50
Tabella 24: Riassunto componenti finestrati con parametri di maggiore interesse. 51
Tabella 25: Criteri, Categorie e Aree di Valutazione. [26] 55
Tabella 26: Calcolo Indicatore A1.5. 57
Tabella 27: Parametri per calcolo Indicatore A1.8. 58
Tabella 28: Calcolo Indicatore A1.10. 61
Tabella 29: Superfici e volumi Alloggio 1, 2 e Zona comune. 62
Tabella 30: Approvvigionamento energetico Alloggio 1. 62
Tabella 31: Approvvigionamento energetico Alloggio 2. 62

Tabella 32: Approvvigionamento energetico Zona comune. 63
Tabella 33: Materiali utilizzati dotati di certificazioni ambientali. 72
Tabella 34: Materiali utilizzati per coperture e relativi SRI. 78
Tabella 35: Scala prestazionale del parametro Z_i. 81
Tabella 36: Valori di Z_i per il mese di luglio delle 3 zone. 81
Tabella 37: Esempio foglio di calcolo mese di luglio. 83
Tabella 38: Eventuale presenza di sorgenti di campo magnetico. 87
Tabella 39: Configurazione di distribuzione energia elettrica. 87
Tabella 40: Descrizione impianto domotico. 89
Tabella 41: Efficienze, parametri e indici di prestazioni energetica. [8] 93
Tabella 42: Valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico. [35] 94
Tabella 43: Valore massimo ammissibile per il rapporto $A_{sol,est}/A_{sup,utile}$.[35] 94
Tabella 44: Trasmittanze principali dell'edificio di riferimento. [35] 95
Tabella 45: Efficienze medie dei sottosistemi di utilizzazione dell'edificio di riferimento.[35] 95
Tabella 46: Efficienze medie dei sottosistemi di generazione dell'edificio di riferimento.[35] 96
Tabella 47: Verifica requisiti minimi casa passiva. 97
Tabella 48: Portate d'aria e volumi riscaldati delle diverse zone. 97
Tabella 49: Verifica requisiti minimi casa a energia quasi zero. 98
Tabella 50: Coefficienti globali di scambio termico per trasmissione. 99
Tabella 51: Stratigrafia muro verso esterno di spessore 30 cm. 102
Tabella 52: Stratigrafia divisorio interno. 102
Tabella 53: Stratigrafia muri piano interrato. 104
Tabella 54: Stratigrafia pavimento contro terra. 105
Tabella 55: Verifica criticità di condensa superficiale. 105
Tabella 56: Stratigrafia solette interpiano. 106
Tabella 57: Stratigrafia copertura. 106
Tabella 58: Parametri comuni a tutti i componenti finestrati. 107
Tabella 59: Scheda tecnica componente finestrato. 108
Tabella 60: Confronto parametri energetici tra edificio vecchio e Villa Ginevra. 110
Tabella 61: Requisiti minimi trasmittanze. [42] 113
Tabella 62: Confronto parametri tra materiali isolanti. [19] 115

Tabella 63: Stratigrafia muratura perimetrale con cappotto esterno. 116
Tabella 64: Dispersioni componenti opachi edificio allo stato di fatto, senza cappotto. 117
Tabella 65: Dispersioni componenti opachi edificio con cappotto esterno. 117
Tabella 66: Stratigrafia parete piano interrato con cappotto interno. 118
Tabella 67: Dispersioni componenti opachi edificio con cappotto esterno e interno. 119
Tabella 68: Dispersioni componenti vetrati edificio dopo sostituzione dei serramenti con vetri doppi basso emissivi. 121
Tabella 69: Principali parametri serramenti a doppio vetro basso emissivi. 122
Tabella 70: Dispersioni componenti vetrati edificio allo stato di fatto. 123
Tabella 71: Dispersioni componenti vetrati edificio dopo sostituzione dei serramenti con vetri tripli basso emissivi. 123
Tabella 72: Divisione fabbisogno riscaldamento. 127
Tabella 73: Divisione fabbisogno acqua calda sanitaria. 129
Tabella 74: Dettagli impianto fotovoltaico. 129
Tabella 75: Parametri verifica termoigrometrica murature con cappotto. 130
Tabella 76: Verifica requisiti efficienze. 131
Tabella 77: Confronto superfici e volumi edifici. 133
Tabella 78: Confronto strutture disperdenti opache. 134
Tabella 79: Confronto strutture disperdenti trasparenti. 134
Tabella 80: Potenza totale richiesta dagli edifici. 136
Tabella 81: Consumi specifici per unità di superficie e di volume. 136
Tabella 82: Fabbisogni energia primaria. 137
Tabella 83: Ripartizione servizi energia primaria. 137
Tabella 84: Confronto indici di prestazione energetica. 139
Tabella 85: Confronto impianto fotovoltaico. 139

PARTE I

1. Sommario

La Parte I del trattato è incentrata sulla descrizione di Villa Ginevra, costruzione situata all'interno del Parco Naturale de "La Mandria" sotto il comune di Fiano (TO). Premessa fondamentale da fare è che, precedentemente alla realizzazione dell'attuale villa, era presente un altro edificio che, per questioni che verranno approfondite nelle seguenti pagine, si è preferito demolire. L'analisi ha come oggetto principale l'impianto fotovoltaico che alimenta le pompe di calore e i materiali utilizzati per la realizzazione della casa, argomenti di maggiore interesse in ambito energetico. Tutti i risultati che verranno mostrati nel corso della trattazione sono stati ottenuti sfruttando il software EDILCLIMA®, utilizzato per la progettazione e la simulazione delle prestazioni dell'edificio, e fogli di calcolo EXCEL® per elaborare i dati ottenuti.

Ci si soffermerà poi sulla definizione e sull'analisi del Protocollo ITACA, documento tanto attuale quanto prestigioso per gli edifici di nuova costruzione, siccome tanto migliori sono le performance dell'edificio in analisi, tanto maggiore sarà il punteggio ottenuto nel Protocollo stesso.

Nella prosecuzione, si cercherà poi di capire se Villa Ginevra possa essere considerata una "Passive House" o una "nearly Zero Energy Building" essendo essa quasi del tutto autosufficiente dal punto di vista energetico: proprio su queste tematiche verterà l'analisi iniziale di questo trattato, volta a focalizzare l'attenzione del lettore sul notevole impatto ambientale positivo di questa abitazione, soffermandosi in particolare sulla produzione di energia pulita da fonti rinnovabili e sulla riduzione delle emissioni di CO_2, sia in fase di costruzione che durante l'intera vita dell'immobile.

La Parte II si pone invece un altro scopo: un confronto tra l'edificio allo stato attuale e quello preesistente, con una ricostruzione di quest'ultimo mediante il medesimo software citato in precedenza, implementando però alcuni accorgimenti di efficientamento energetico, quali rifacimento dell'involucro edilizio, iniziando dai componenti opachi per poi passare a quelli trasparenti, ed installazione di impianto fotovoltaico il quale alimenterà la pompa di calore installata in un sistema ibrido con caldaia a condensazione. L'obiettivo che ci si è posti è quindi quello di avere un confronto realistico tra le prestazioni energetiche dei due edifici, volto a mostrare quali sono i parametri da tenere in considerazione da un punto di vista tecnico-prestazionale per decidere se efficientare energeticamente una abitazione esistente o, se la normativa lo permette, demolire e ricostruire un nuovo immobile.

L'elaborato è frutto di un'esperienza di stage curriculare presso la società di ingegneria ME ENGINEERING, la quale vanta un'esperienza di oltre trent'anni nell'ambito della progettazione di edifici residenziali e commerciali volti a soddisfare i requisiti di sostenibilità economica, sociale e ambientale: Villa Ginevra incarna perfettamente lo spirito innovativo e sostenibile dello studio, motivo per il quale è stato deciso di sviluppare un elaborato completamente incentrato su tale simbolo di innovazione architettonica e tecnologica.

La maggior parte dei dati e dei documenti utilizzati per la redazione del trattato sono stati forniti direttamente dallo studio e messi a disposizione del candidato, motivo per il quale vi sarà una voce specifica nella bibliografia delle fonti.

2. Inquadramento territoriale, urbanistico e legislativo dell'opera

L'edificio analizzato durante l'intera stesura del trattato, denominato Villa Ginevra, ha sede in Via Rotta di Fiano 11, sito nel Parco Naturale de "La Mandria", riserva naturale nel cuore della provincia di Torino, che si estende tra i comuni di Venaria Reale, Druento, Robassomero, Fiano, La Cassa e San Gillio, con una superficie di oltre 6500 ettari.

Il parco è suddiviso in più zone, come è possibile capire chiaramente dalla mappa in Figura 1: la zona di pre-parco, in giallo, fa da contorno a quelle che sono rispettivamente la zona residenziale privata, nella parte occidentale dell'area naturale (in arancione), e la zona di proprietà regionale, istituita nel 1978 come "area protetta" regionale che ospita bellezze e rarità non solo naturali, quali diverse specie di animali selvatici e domestici, ma anche storico-architettoniche come ben oltre 20 edifici tutelati, tra cui il complesso del Borgo Castello, con gli appartamenti reali in cui era abituale soggiornare il primo Re d'Italia Vittorio Emanuele II, numerose cascine e due reposoir di caccia, La Bizzarria e la Villa dei Laghi. Per sottolineare l'importanza della collocazione geografica di Villa Ginevra, basti pensare che il parco de "La Mandria" rientra tra i siti dichiarati dall'Unesco "Patrimonio dell'Umanità" nell'ambito delle Residenze Reali del Piemonte. [1]

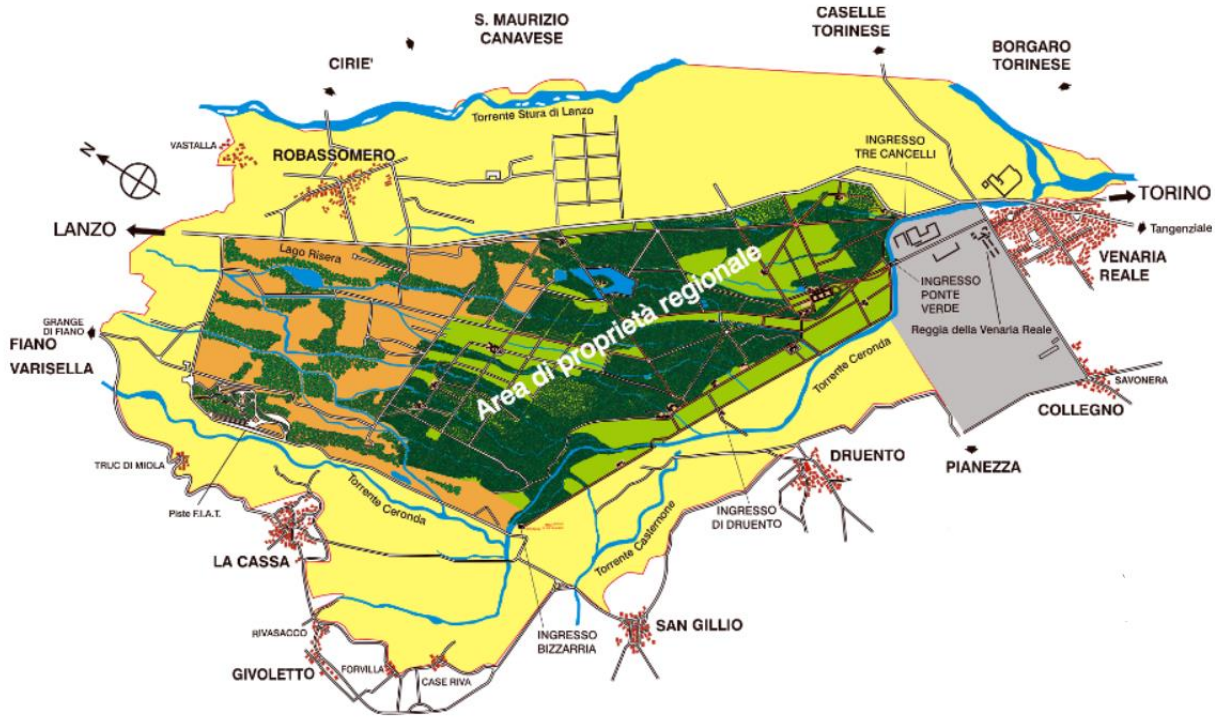


Figura 1: Mappa Parco Naturale La Mandria. [1]

L'area oggetto di intervento è situata all'interno del Comprensorio Lago Risera, nella parte nord occidentale del parco, sotto il Comune di Fiano. Per raggiungere l'immobile, si può vedere nella planimetria in Figura 2, si deve percorrere la Strada Provinciale delle Valli di Lanzo e, una volta entrati nel Parco Naturale, percorrere Via Rotta Cerbiatta e Via Rotta di Fiano.

Figura 2: Planimetria con indicazioni per raggiungere l'edificio. [3]

Il territorio del Comune di Fiano è suddiviso in differenti zone: il versante sud orientale del Monte Corno, il settore compreso tra il Rio San Rocco e la strada Vallo – Monasterolo, la valle del torrente Ceronda ed i valloni del Rio Tronta e del Rio San Rocco e, per finire, la zona in cui è riconoscibile l'area di intervento analizzata, le superfici terrazzate tra il concentrico di Fiano e La Mandria, precisamente zona Lago Risera. L'area risulta vincolata ai sensi del D.M. 01/08/1985 "Galassini" a tutela degli aspetti panoramici e storici, del paesaggio della valle, dei boschi e della fauna. [2]

La zona oggetto di intervento si inserisce in un'area normativa a prevalente funzione residenziale, all'interno di un contesto boschivo tutelato, essendo essa particolarmente significativa dal punto di vista ambientale, non solo per le differenti biodiversità incontrate al suo interno, ma anche per le sue bellezze panoramiche, come riportato nel D.M. 01/08/1985 all'articolo 136, comma 1, lettera C. [2]

Dal punto di vista urbanistico, l'area si colloca nel territorio del Parco Regionale "La Mandria" con riferimento al Piano d'Area – II variante del 28/02/2000, Zona Zs – area residenziale, come indicato alla lettera A – Area Attrezzata delle vigenti Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del Comune di Fiano. [3]

Figura 3: Estratto di mappa catastale Comune di Fiano. [3]

L'area di progetto, riconoscibile con un cerchio rosso nell'estratto cartografico mostrato in Figura 3, è inserita nella Classe II di pericolosità geologica, dovuta al grado di acclività e alla natura litologica del substrato. Il lotto presenta una pendenza costante compresa tra i 2.5° e i 5° ed è identificato quale settore pianeggiante e sub-pianeggiante, come indicato nella mappa delle acclività in Figura 4.

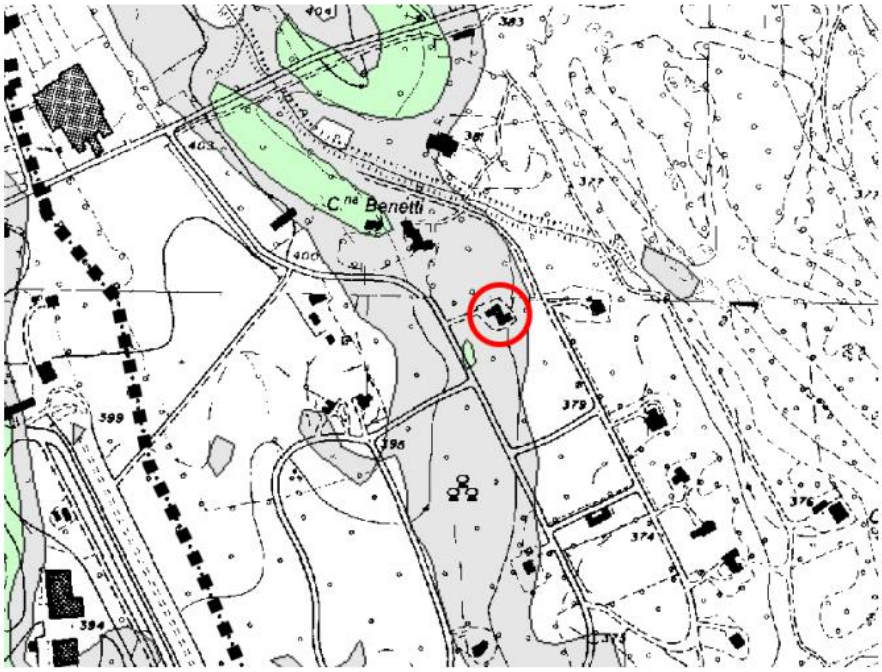


Figura 4: Mappa delle acclività. [3]

L'analisi morfologica indica che il paesaggio è contraddistinto dal pianoro di origine fluvioglaciale fortemente inciso dai corsi d'acqua che ne hanno eroso la superficie con bruschi cambi di livello, originando vallette incassate con andamento nord-sud totalmente boscate, con boschi di latifoglie sul margine occidentale, radure e ampie superfici coltivate.

La proprietà è arricchita con specie arboree a basso ed alto fusto distribuite in modo disomogeneo sull'intera superficie, e sono inoltre presenti folti boschi a lato delle proprietà confinanti con diradamenti a seguito dell'avvicinamento alle zone residenziali.

Dall'analisi del Piano Paesaggistico Regionale (PPR) del quadrante P4.10, l'area in cui è presente Villa Ginevra risulta essere integrata come fulcro naturale (art. 30) facente parte di un'area con componenti morfologici ed insediativi del tipo "insule" specializzate (art. 39) con emergenze architettoniche isolate. [4]

Per un inquadramento più approfondito dell'edificio analizzato, è bene focalizzare l'attenzione sugli obiettivi imposti dal Piano Regionale in merito all'ambito di appartenenza dell'edificio stesso: [4]

- 1.2.4. *"Contenimento dei processi di frammentazione del territorio per favorire una più radicata integrazione delle sue componenti naturali ed antropiche […]"* [4];
- 1.5.2. *"Contenimento e razionalizzazione delle proliferazioni insediative e di attrezzature, arteriali o diffuse nelle aree urbane e suburbane"* [4];
- 4.3.1. *"Integrazione paesaggistico-ambientale e mitigazione degli impatti degli insediamenti produttivi, da considerare a partire dalle loro caratteristiche progettuali […]"* [4].

Dal punto di vista normativo, l'area in cui è presente l'abitazione oggetto del trattato è tutelata secondo:

- Decreto Ministeriale del 31/03/1952 (A105);
- Decreto legislativo 42/2004 – art. 142 "Aree tutelate per legge", comma 1 lett. b, c, f, g: la tipologia di intervento, sostituzione edilizia con ampliamento, non interferisce né influenza quanto individuato in tale Decreto, relativamente a immobili e aree di notevole interesse pubblico, in quanto ci si trova in un'area residenziale interna al parco, con delle emergenze architettoniche non vincolate: la costruzione del nuovo edificio si pone come obiettivo la valorizzazione dell'area in ogni suo aspetto;
- Piano Regolatore Generale Comunale ai sensi dell'art.15 comma 11 della LR 56/77 – Allegato "A" alla Deliberazione della Giunta Regionale 18-1091 in data 30/11/2010 relativa all'approvazione della Variante di revisione del P.R.G.C. vigente predisposta dal Comune di Fiano con successive deliberazioni consiliari n. 28 in data 07.04.2006, n. 20 in data 30.03.2007 e n.32 in data 27.11.2009;
- Parco naturale La Mandria (Piano d'Area approvato con D.C.R. n. 441-6439 del 28/07/1983, D.C.R. n.206-10497 del 10/07/1986, D.C.R. n. 999-2216 del 16/02/1989, D.C.R. n. 620-3606 del 28/02/2000).

Un’ultima considerazione importante, riguarda la tessitura insediativa presente nell’intorno dell’area analizzata, caratterizzata da alcune emergenze architettoniche di interesse, per le quali però non si ritiene siano presenti vincoli monumentali e, in conseguenza, l’intervento progettuale non interferisce con esse.

3. Contestualizzazione storica edificio esistente

L'edificio residenziale preesistente è caratterizzato da due unità immobiliari distinte e venne costruito nei primi anni '70, rispettando i canoni architettonici dell'architettura piemontese dell'epoca.

L'abitazione è caratterizzata da 2 piani fuori terra, con un sistema distributivo interno che prevede la zona giorno al piano primo fuori terra e con la zona notte al piano secondo, considerati zona abitabile con una superficie di circa 480 m^2, suddivisi rispettivamente in 250 m^2 per l'alloggio 1 e 230 m^2 per il secondo alloggio, più un piano interrato in cui sono presenti box auto di circa 410 m^2 e tavernetta di 112 m^2 (61 m^2 per appartamento) ed infine è circondata da circa 1,8 ettari di giardino, come è possibile apprezzare in Figura 5. [3]

Figura 5: Edificio esistente dei primi anni 70.

L'edificio presenta le seguenti caratteristiche strutturali e componentistiche:

- Struttura in calcestruzzo armato con tamponamenti in laterocemento;
- Murature perimetrali a cassa vuota dello spessore di 30 cm;
- Tramezzi interni dello spessore di 12 cm;
- Serramenti in legno con vetro doppio e persiane;
- Copertura a falde ricoperta in coppi;
- Impianto con caldaia a condensazione da 34 kW con distribuzione a radiatori e presenza di 4 splitter elettrici ausiliari per il raffrescamento nell'alloggio 1 e caldaia tradizionale da 34 kW con distribuzione a radiatori per l'alloggio 2.

L'alloggio 1 presenta un impianto più recente siccome esso venne sostituito all'inizio degli anni 2000 quando anche un intervento di ampliamento fu realizzato, rendendo le due unità non più perfettamente simmetriche come era all'inizio degli anni '70, quando l'edificio venne progettato e costruito: la realizzazione della camera da letto al primo piano in direzione Nord-Est è l'oggetto principale del suddetto ampliamento che, come è possibile osservare nelle seguenti planimetrie, non è presente per l'alloggio 2.

Osservando le planimetrie, è utile sapere che l'alloggio 1 è quello di sinistra, mentre il locale denominato "alloggio 2" è quello di destra: i due sono separati da un muro divisorio dello spessore di 30 cm, anch'esso a cassa vuota come le murature perimetrali.

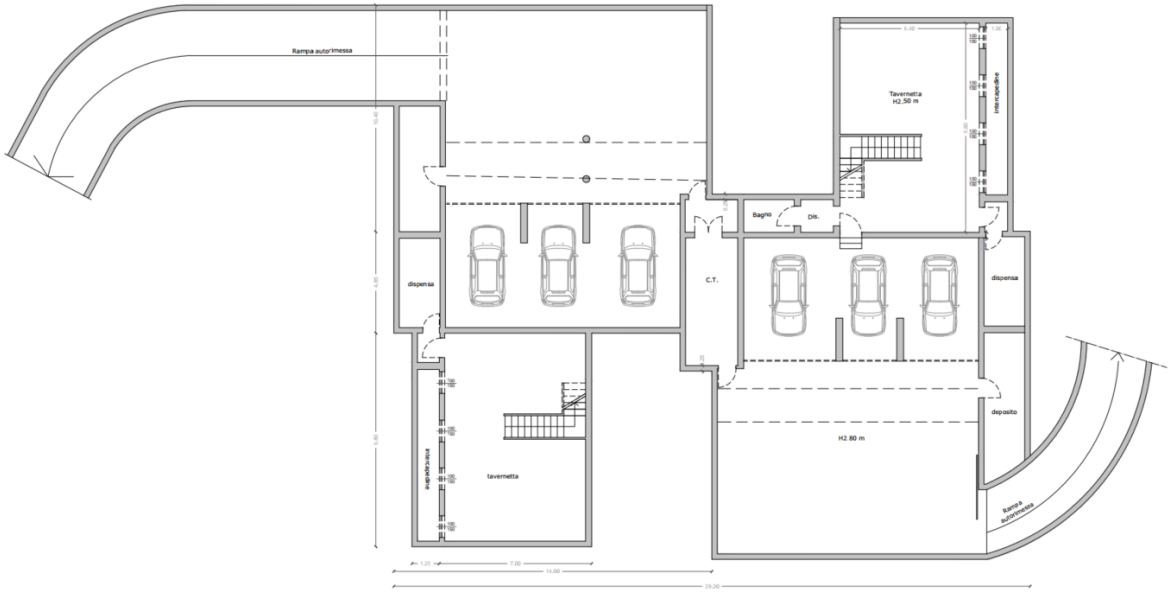


Figura 6: Planimetria piano interrato vecchio edificio. [3]

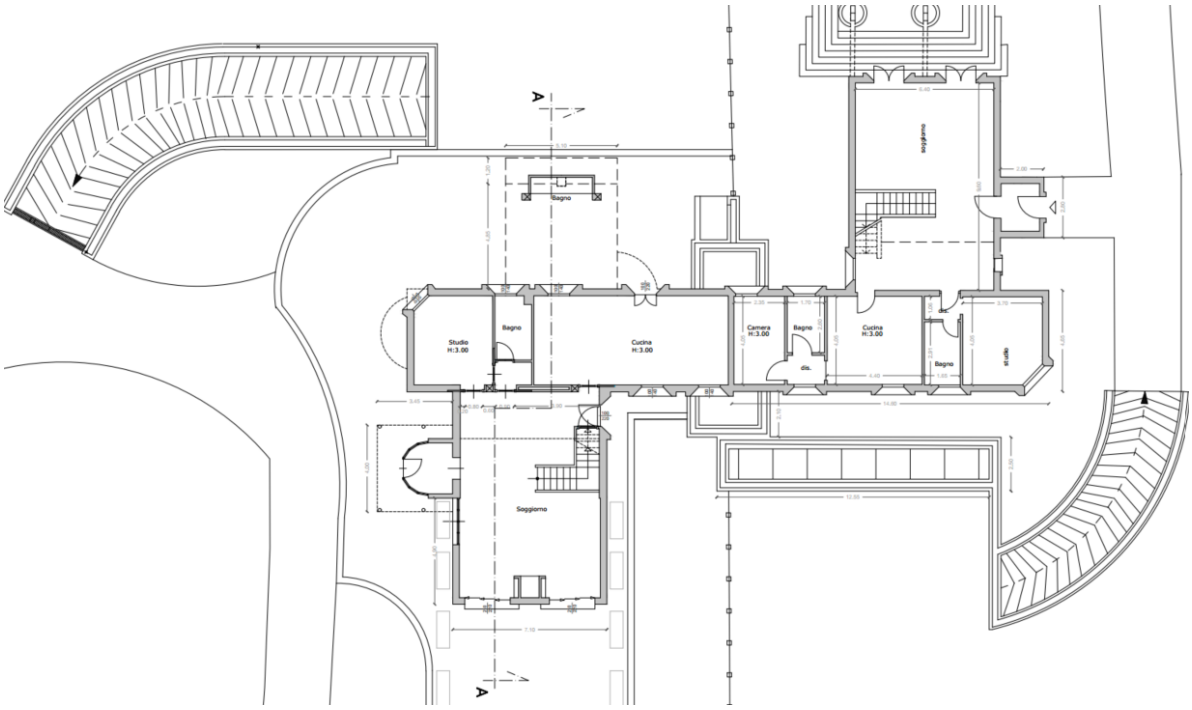


Figura 7: Planimetria piano primo vecchio edificio. [3]

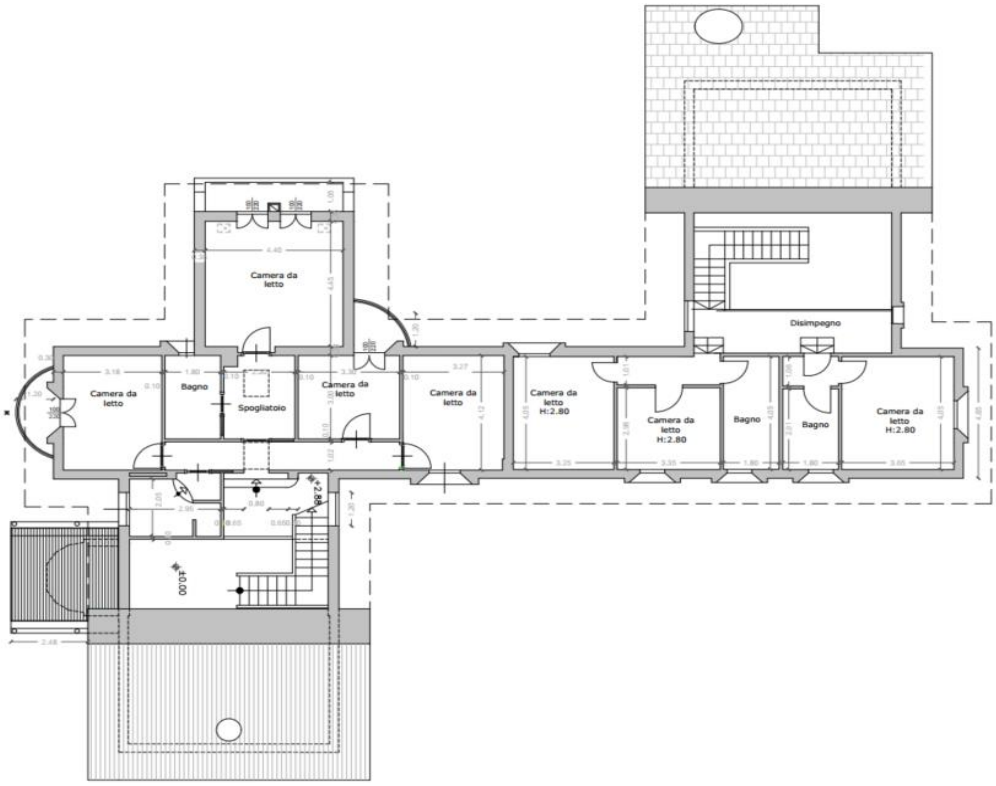


Figura 8: Planimetria piano primo vecchio edificio. [3]

Siccome nella Parte II della trattazione verrà realizzato un confronto tra i due edifici, si rimanda al Capitolo 8 per una analisi più dettagliata dell'edificio preesistente, in particolare vi sarà un'attenta focalizzazione sulle stratigrafie delle murature, sui serramenti presenti e su molti altri dettagli fondamentali per la ricostruzione dell'abitazione con il software EDILCLIMA.

4. Progetto di sostituzione edilizia con ampliamento

Per la realizzazione di Villa Ginevra è stato demolito l'edificio precedentemente descritto nel Paragrafo 3, siccome esso presentava due importanti criticità:

- La presenza di un edificato a due piani fuori terra riduce la percentuale di verde visibile all'osservatore;
- Uno stile architettonico che poco si integra con il contesto naturale.

Per "Sostituzione edilizia" si intende la sostituzione dell'intera preesistenza edilizia di un lotto sul quale si andrà a realizzare un nuovo edificio totalmente diverso dal precedente, inoltre, siccome la volumetria della nuova abitazione è maggiore rispetto a quello precedente, si può anche parlare di "Sostituzione edilizia con ampliamento": è bene comunque specificare che questo termine non è presente nella legislazione italiana, nemmeno il D.P.R. n. 380/2001 (Testo Unico dell'Edilizia) ne contiene una definizione ufficiale.

In precedenza, gli interventi di demolizione e ricostruzione che non comportassero aumento della volumetria dell'edificio esistente erano compresi nella definizione di "Ristrutturazione edilizia", alla lettera d dell'Art. 3 del Testo Unico dell'Edilizia (T.U.E.). Grazie alle modifiche apportate dal Decreto semplificazioni (D. Lgs. 76/2020), si possono inserire nella definizione di "Ristrutturazione edilizia" tutti gli interventi di demolizione e ricostruzione con possibilità di incrementare la volumetria nei soli casi previsti dalla legislazione vigente, con delle limitazioni che verranno analizzate nella continuazione del trattato, e con possibilità di modificare:

- sagoma;
- prospetti;
- caratteristiche planivolumetriche;
- caratteristiche tipologiche;
- sedime.

Come citato in precedenza, vi sono alcune limitazioni da tenere in considerazione, in particolare si può fare riferimento all'Art. 10 del T.U.E. comma 1 lettera c, in cui viene specificato che *"costituiscono interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia del territorio e sono subordinati al permesso di costruire [...] gli interventi che comportino modificazioni della sagoma o della volumetria complessiva degli edifici o dei prospetti di immobili sottoposti a tutela ai sensi del Codice dei beni culturali e del paesaggio di cui al decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42".* [5]

Siccome il Parco La Mandria ricade all'interno della categoria citata nell'art. 10 comma 1, la tipologia di intervento necessaria nella situazione analizzata, andrebbe a ricadere nella categoria di "Trasformazione urbanistica" e non di "Sostituzione edilizia con ampliamento". Si deve quindi fare riferimento alla normativa locale vigente in merito alle sostituzioni edilizie, in particolare all'Art. 11 comma 2 lettera d della Legge regionale 16/2018, il quale sostiene che *"gli edifici o ambiti localizzati all'interno delle aree naturali protette devono rispettare le normative dei piani d'area vigenti nel caso in cui siano più restrittive"* [6], modificato però dall'Art. 95 della Legge regionale 19/2018, il quale aggiunge *", fatta eccezione per gli edifici realizzati successivamente al 1950, non soggetti a tutela ai sensi della Parte Seconda del d.lgs. 42/2004 e non individuati*

quali edifici aventi valore storico-artistico, paesaggistico o documentario […]; tali interventi non costituiscono variante ai piani d'area e devono rispettare le disposizioni tipologiche e costruttive definite dai piani d'area stessi e gli indirizzi, le direttive e le prescrizioni del PPR" [7].

Inoltre, il Regolamento edilizio del Comune di Fiano, come autorizzato con Delibera della Giunta regionale n. 548-9691 in data 29/07/1999 e Successive Modificazioni e Integrazioni, utilizza come parametro per le verifiche edilizie la Superficie Utile Lorda.

L'edificio esistente, autorizzato con licenza edilizia numero 859 del 1974 ha un volume di 1499,40 m^3. Al fine di poter procedere alla definizione della massima superficie edificabile, si divide il volume autorizzato per l'altezza teorica di 3 metri, ottenendo quindi 499,80 m^2 realizzabili. A questi, sono da aggiungere 24,81 m^2 dovuti ad un ampliamento una Tantum nel 2001.

La Superficie Utile Lorda totale edificabile risulta quindi essere pari a 524,61 m^2.

Applicando quanto definito all'Art. 5 della Legge regionale n. 16 del 2018 e s.m.i. si prevede un intervento di sostituzione edilizia con ampliamento della superficie esistente pari, così come definito al comma 2, al 25 per cento della superficie o volume esistente, calcolati secondo quanto previsto dal regolamento edilizio o PRG vigente nel Comune, e come definito al comma 5, di un ulteriore 5 per cento nel caso in cui i materiali prodotti dalla demolizione vengano avviati ad operazioni di recupero, secondo i criteri stabiliti dalla Giunta regionale [6] [7].

La superficie massima realizzabile per il nuovo edificio, ottenuta a seguito degli incrementi previsti dalla L.R. 16/18 è quindi di:

$$524{,}61 * 30\% = 681{,}99 \text{ m}^2.$$

Essendo la Superficie Utile Lorda in progetto di 623,64 m^2 inferiore alla superficie massima realizzabile, si può concludere che l'immobile in progetto viene autorizzato mediante l'intervento "Sostituzione edilizia con ampliamento", così come indicato nelle Leggi Regionali n. 16 del 4 ottobre 2018 all'Art. 5 e n. 19 del 17 dicembre 2018 all'Art. 95.

È bene specificare che il progetto è soggetto a Permesso di Costruire (PDC) per il quale, il rilascio è subordinato alla deliberazione del Consiglio Comunale, come previsto dall'Art. 3 della L.R. 16/18, nonché alla presentazione della seguente documentazione integrativa all'ufficio tecnico del Comune di Fiano: [3]

- Computo metrico estimativo relativo alla demolizione del fabbricato, redatto in base al prezziario della Regione Piemonte in versione aggiornata;
- Modulo 801, debitamente compilato, per il calcolo del Costo di Costruzione;
- Relazione sui requisiti acustici passivi;
- Valutazione previsionale del clima acustico ai sensi dell'Art. 8 comma 3 della L. 447/1995;
- Elaborato Tecnico di Copertura (ETC) redatto ai sensi della D.P.G.R. 23 maggio 2016, n. 6/R – Regolamento di Attuazione;
- Relazione tecnica sul rispetto delle prescrizioni in materia di risparmio energetico ai sensi dell'Art. 125 del D.P.R. 380/2001 e del D.Lgs 192/2005.

Inoltre, anche la componente paesaggistica non è da trascurare per questa tipologia di progetti, con particolare attenzione all'inquadramento nella Rete Natura 2000 definita nella Legge regionale n. 19/2009 "Testo unico sulla tutela delle aree naturali e delle biodiversità". Si redige quindi nei paragrafi 4.1 e 4.2 un'analisi maggiormente dettagliata degli interventi in progetto, in modo tale da giustificare il perfetto inserimento di Villa Ginevra nel contesto naturale.

4.1 Descrizione dell'intervento e delle modalità realizzative

L'intervento in oggetto intende autorizzare la rimodellazione del volume edilizio esistente al fine di ottenere un'architettura che, nel rispetto dei canoni compositivi presenti nell'area d'intervento, proponga una migliore soluzione abitativa.

I vincoli progettuali sono dettati dall'appartenenza dell'area di progetto ad un contesto paesaggistico vincolato al sistema naturalistico della tenuta La Mandria: l'idea è quindi quella di creare un edificio a bassissimo impatto ambientale che si sposi perfettamente con l'ambiente circostante.

I principi di sostenibilità non vanno solamente ricercati nei materiali architettonici utilizzati, ma fanno parte sia della fase di progettazione, sia della fase di cantiere: una progettazione sostenibile studia le forme e i volumi che meglio rispondono alle esigenze funzionali e paesaggistiche dettate dal contesto. L'obiettivo è contrastare la deconnotazione tra edificato e sistema paesaggio, facendo nascere così un volume studiato per non alterare i caratteri costitutivi dell'ambiente circostante, ma rafforzarli, facendoli diventare la chiave compositiva per la massimizzazione del rapporto edificio-natura.

La scelta dei materiali dell'edificio in progetto prevede l'utilizzo di un basamento in calcestruzzo sul quale fissare una struttura lignea. Questa scelta progettuale è dettata dalla necessità di diminuire le tempistiche di cantierizzazione e allo stesso tempo utilizzare un materiale per l'edificato in grado di garantire elevati livelli di salubrità, resistenza e il minimo impatto ambientale, adatto a mantenere integri gli equilibri funzionali dei sistemi ecologici presenti nella zona.

4.2 Le scelte progettuali

Le scelte progettuali volumetriche sono dettate dalla volontà di rispettare il paesaggio intorno: il nuovo edificio si erige infatti su un solo livello, e quindi l'osservatore esterno avrà un'accresciuta percezione del verde, grazie alla riduzione degli impedimenti visivi.

Il "verde" diventa il protagonista dell'intervento, con piantumazioni che sembrano nascere dal cuore dell'edificio affiorando dal volume: tale mossa compositiva produce come effetto visivo un edificio che nasce dall'abbraccio con il contesto boschivo, senza inoltre produrre impatti importanti sulla morfologia del terreno.

La scelta dei materiali di facciata è studiata al fine di minimizzare l'impatto cromatico sul contesto, con colori tenui e de-saturati utili all'esaltazione del verde circostante.

La tipologia di materiale utilizzato avrà oltre un basso impatto ambientale sia per le fasi di produzione sia per una minore manutenzione richiesta durante la sua vita utile, ma questi argomenti verranno poi approfonditi nel proseguo della trattazione (Capitolo 5).

Inoltre, al fine di soddisfare gli aspetti relativi alla panoramicità dell'area, la coesione visiva tra l'edificio e la composizione degli elementi scenici presenti nella zona parco, è previsto l'inserimento puntuale di alberature internamente alla volumetria dell'intervento, con essenze arboree ad alto e basso fusto in modo tale da mitigare l'impatto visivo della struttura. La scelta delle tipologie di tali arbusti sarà eseguita in coerenza alle specie già presenti in loco.

Le figure sottostanti mostrano le sovrapposizioni tra il vecchio edificio, in giallo, e quello in progetto, rappresentato in rosso [3].

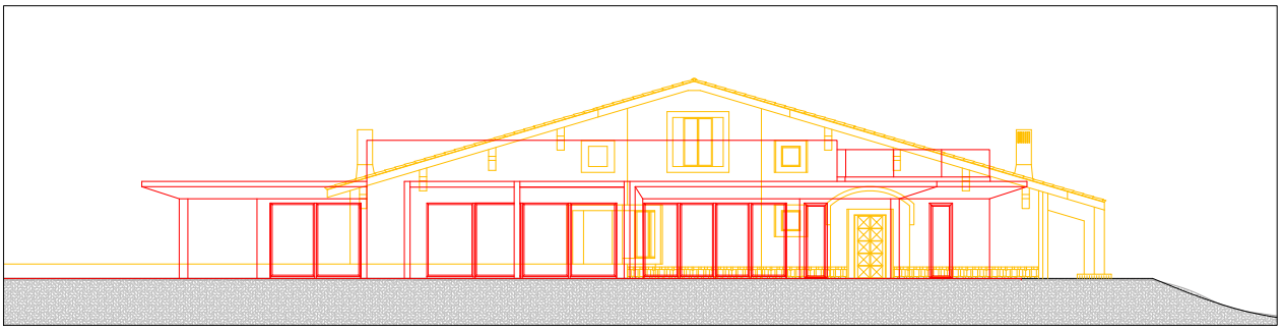


Figura 9: Sovrapposizione prospetto Sud-Est.

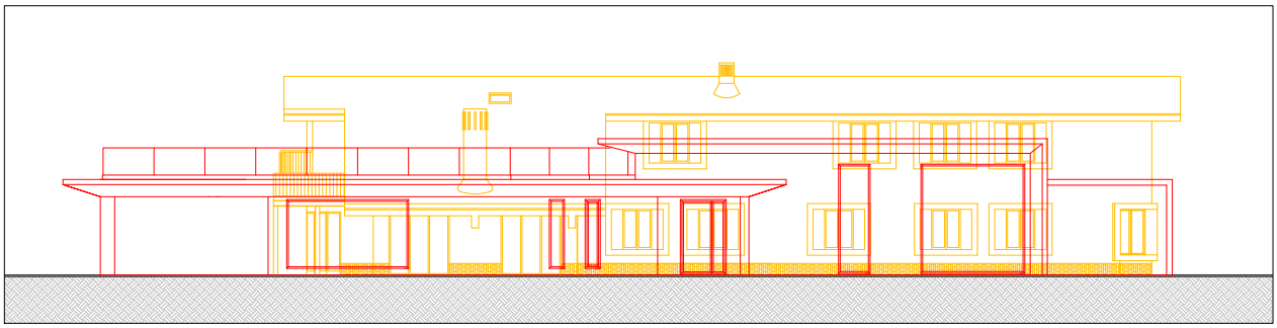


Figura 10: Sovrapposizione prospetto Sud-Ovest.

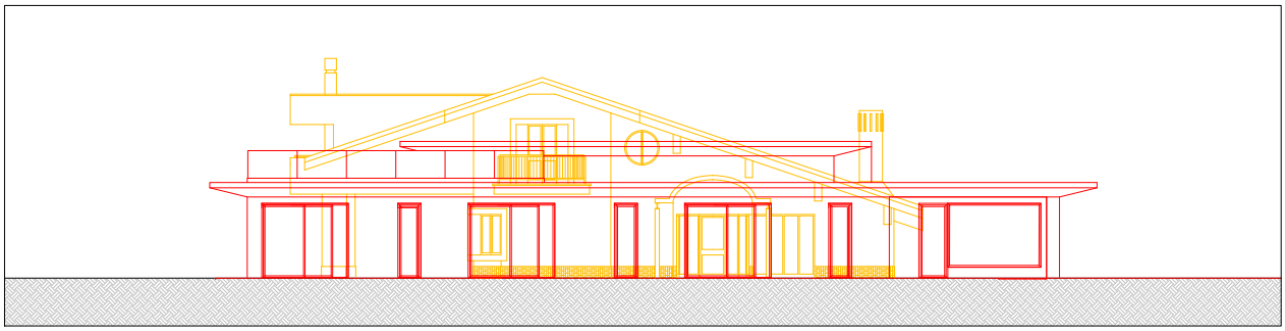


Figura 11: Sovrapposizione prospetto Nord-Ovest.

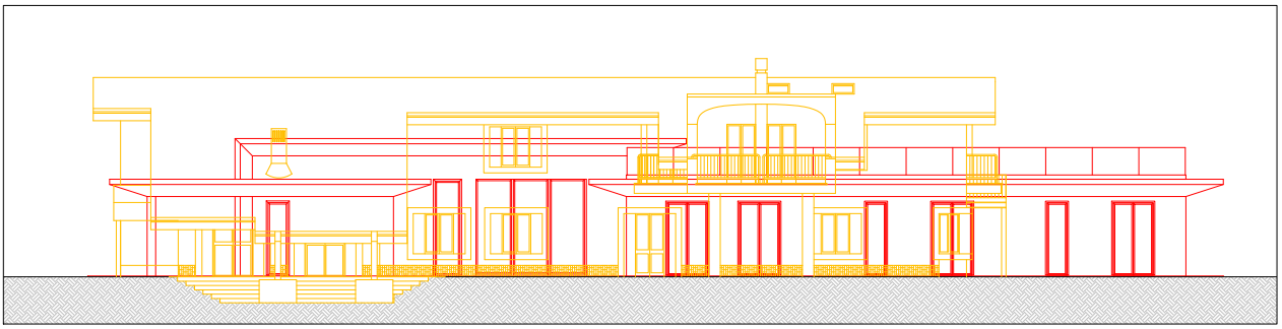


Figura 12: Sovrapposizione prospetto Nord-Est.

Come è possibile apprezzare nei prospetti, l'impatto visivo del nuovo edificio sarà notevolmente minore rispetto a quello della costruzione antecedente, con un miglior connubio tra stile architettonico e natura circostante.

In conclusione, si può affermare che, essendo l'intervento poco visibile sia dalla strada di accesso sia dai lotti limitrofi, e soprattutto grazie alle conseguenti migliorie architettoniche apportate al contesto, l'impatto complessivo sul paesaggio non offra spunti di criticità, valorizzando al contempo un'area residenziale con alcune criticità presenti in precedenza.

5. Villa Ginevra

L'obiettivo di questo Capitolo è quello di descrivere in maniera dettagliata l'edificio oggetto di tutta la trattazione, illustrandolo in un primo momento dal punto di vista delle sue caratteristiche architettoniche e strutturali per poi focalizzare l'attenzione sulla parte impiantistica e, conseguentemente, sulla parte energetica, ritenuta quella di maggiore interesse.

In Figura 13 viene mostrato quello che sarà l'impatto visivo della Villa mediante un rendering:

Figura 13: Rendering Villa Ginevra. [3]

5.1 Descrizione generale del progetto architettonico

Come riportato nel Capitolo 4, la demolizione con ricostruzione di un edificio completamente diverso da quello preesistente ha l'obiettivo di realizzare una struttura in grado di sposarsi con il contesto circostante in maniera migliore rispetto alla precedente, che, come detto, risultava essere inadeguata, soprattutto dal punto di vista visivo. Al fine di ovviare a questo problema, il nuovo edificio sarà caratterizzato da un unico piano fuori terra, con una superficie utile lorda di 780 m^2 suddivisa in tre unità immobiliari differenti, denominate nel proseguo del trattato "alloggio 1", "alloggio 2" e "zona comune", ognuna di esse caratterizzata da molteplici locali, e un piano interrato adibito ad uso di autorimessa e con un locale per la centrale termica.

Si inseriscono ora due immagini che ritraggono le planimetrie dell'edificio, in modo tale da mostrarne la configurazione in pianta e, in particolare in Figura 15, mettere in evidenza la divisione delle zone: osservando la planimetria, l'alloggio 1 si erige nella parte destra, mentre l'alloggio 2 viene separato da esso dai muri di color rosa sul disegno; la cosiddetta zona comune, caratterizzata dalla piscina interna e la zona fitness, è invece posizionata lungo l'ala inclinata, sulla sinistra del disegno. [3]

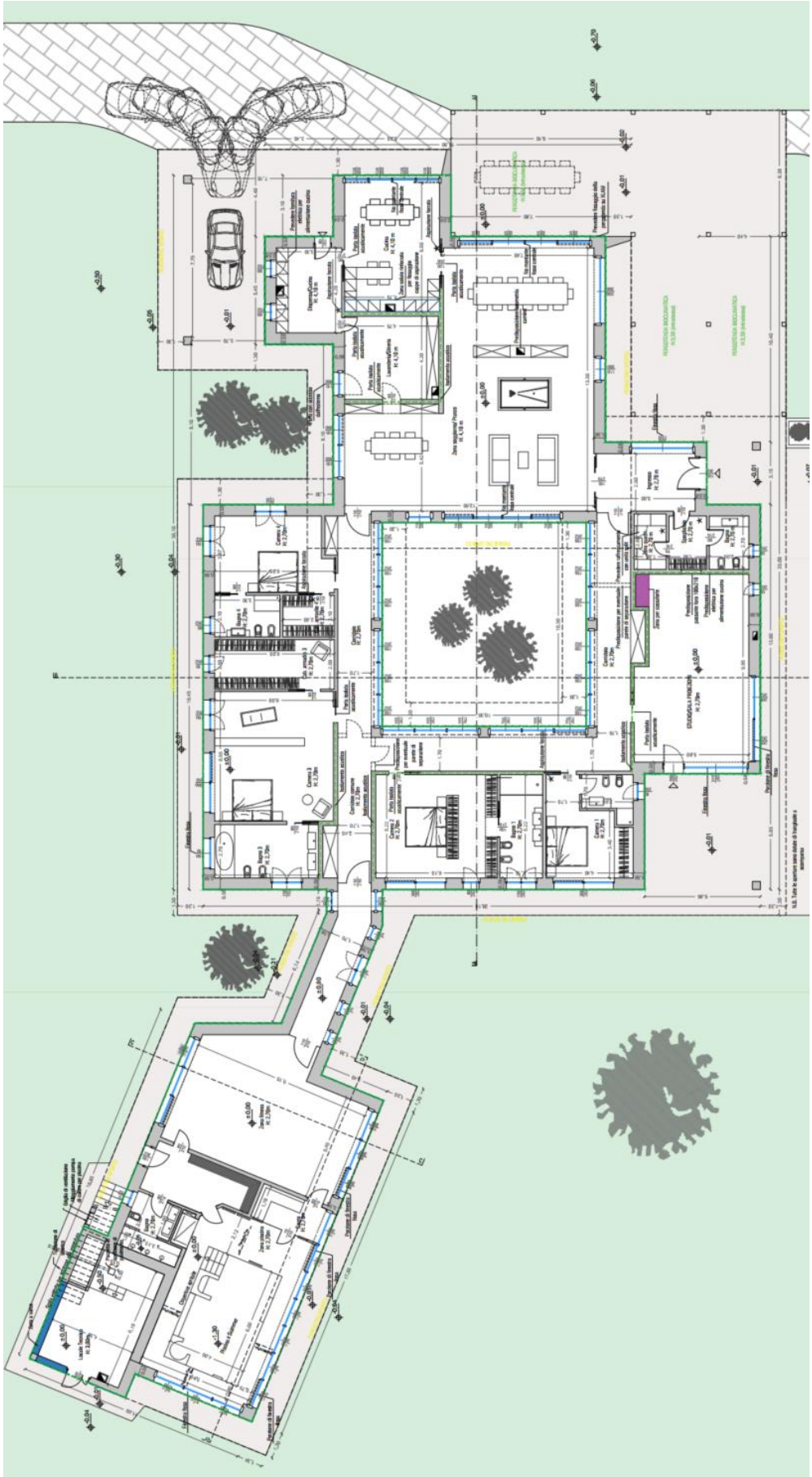


Figura 14: Planimetria Villa Ginevra progetto esecutivo scala 1:100. [3]

Figura 15: Estratto di planimetria Villa Ginevra dal software EDILCLIMA. [3]

Si vuole sottolineare che in Figura 15 l'immagine risulta essere meno nitida rispetto a quella precedente: questo è dovuto al fatto che essa sia stata ricavata direttamente da EDILCLIMA, programma utilizzato per svolgere i calcoli prestazionali dell'edificio e quindi non caratterizzato da una grafica ottimale, con l'unico scopo di focalizzare l'attenzione sulla divisione delle zone.

L'edificio è caratterizzato da materiali altamente tecnologici e performanti da un punto di vista strutturale e, soprattutto, energetico: la struttura portante è infatti realizzata con pareti in X-LAM, ossia una struttura in pannelli di legno a strati incrociati ed incollati che permette quindi di ottenere spessori variabili in base alle esigenze. I serramenti sono realizzati in legno con doppia camera contenente gas argon e tripli vetri stratificati che garantiscono un comfort termo-igrometrico elevato, mentre i parapetti presenti in copertura nella zona benessere sono in vetro temperato, dotati di un'elevata resistenza agli urti. Si rimanda l'attenzione al Paragrafo 5.3 per i dettagli sulle stratigrafie e sui materiali utilizzati.

Una peculiarità dell'edificio è legata alle differenti altezze dei soffitti che caratterizzano l'unico piano fuori terra conferendo ad esso un piacevole senso di irregolarità, senza però ostruire la vista verso la natura circostante: come si può già osservare nel rendering in Figura 13, il soggiorno dell'alloggio 1 ha un'altezza maggiore rispetto al resto dell'edificio, essendo infatti alto 4,10 m ad esso viene conferito un senso di respiro e magnificenza. Ancora differente è invece l'altezza delle due cucine e della lavanderia del medesimo alloggio: questi locali sono infatti caratterizzati da un'altezza di 3,50 m. La zona dedicata alla palestra e alla piscina coperta è invece alta 2,70 m, così come le camere e i bagni di entrambi gli alloggi: la differenza di altezze è apprezzabile nella sezione mostrata in Figura 16:

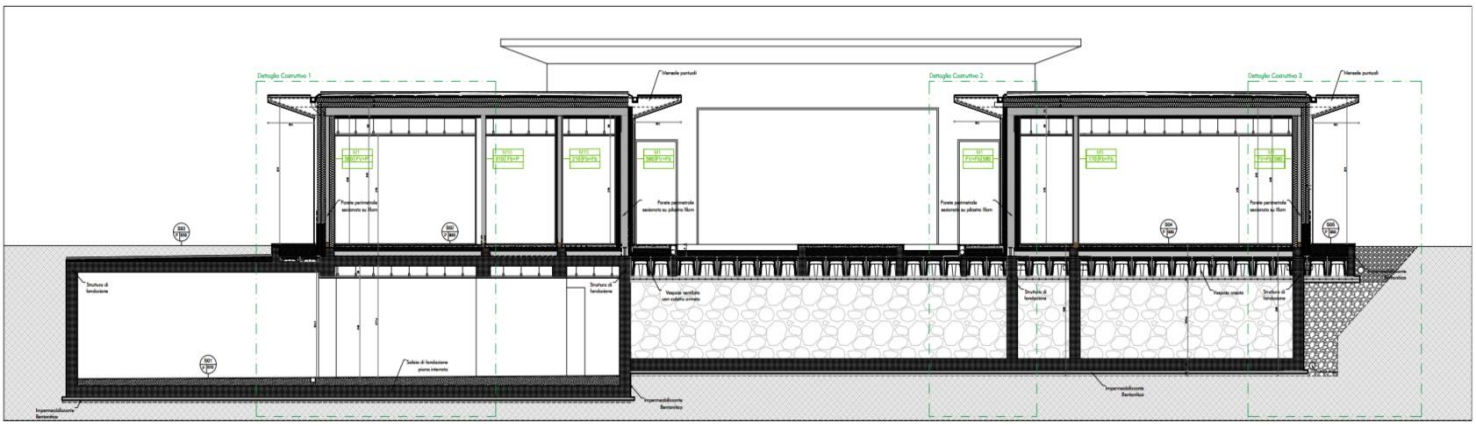


Figura 16: Sezione Villa Ginevra. [3]

Una vera e propria perla che contraddistingue Villa Ginevra è l'area centrale, un giardino interno di circa 115 m^2 che conferisce un tocco esotico a tutta l'abitazione: la vegetazione è protagonista della scena e la si può osservare dai corridoi che circondano il giardino stesso, delimitati dalle pareti interamente in vetro, le quali svolgono un doppio ruolo fondamentale: permettono l'ingresso della luce naturale nell'abitazione, favorendo gli apporti gratuiti, e allo stesso tempo agli occupanti di godere di una vista poco usuale per il contesto in cui è eretta la Villa.

Oltre alla pergola bioclimatica che si estende all'esterno, lungo l'angolo a sud della casa, creando un ambiente luminoso ma allo stesso tempo riparato, sia da sole che dall'intemperie climatiche grazie alle sue lamelle orientabili, l'altro grande elemento di spicco è la piscina coperta e riscaldata mediante pompa di calore, di circa 25 m^2, circondata da una zona fitness con macchinari appositi per svolgere esercizio fisico e sauna. Per un'analisi più approfondita sull'impianto di deumidificazione della piscina, si rimanda al Paragrafo 5.2.2.

Prima di focalizzare del tutto l'attenzione sulla parte impiantistica, vengono mostrati i prospetti di Villa Ginevra che permettono di apprezzare quale sarà il risultato finale, tutti in scala 1:100:

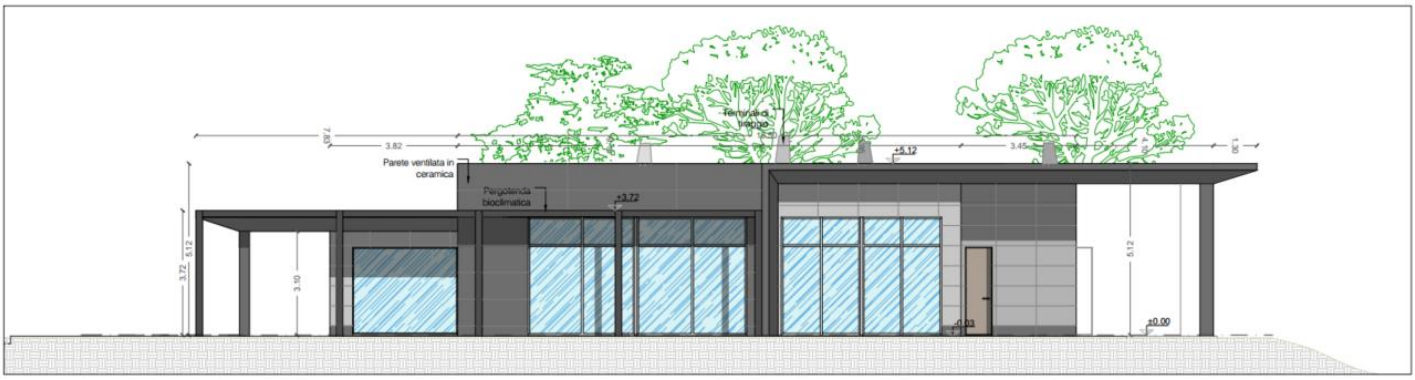


Figura 17: Prospetto Sud-Est. [3]

Figura 18: Prospetti Nord-Ovest. [3]

Figura 19: Prospetto Sud-Ovest. [3]

Figura 20: Prospetto Nord-Est. [3]

5.2 Performance energetiche e progettazione impiantistica

Per quanto Villa Ginevra sia caratterizzata da un'architettura degna di nota e perfettamente inseribile nel contesto del Parco Naturale nella quale essa è collocata, un suo punto di forza sta nelle prestazioni energetiche che essa è in grado di fornire: i calcoli performati dal software EDILCLIMA permettono di ottenere l'Attestato di Prestazione Energetica (APE) dell'edificio il quale mostra che la classe energetica, determinata sulla base dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio $EP_{gl,nren}$, in cui si colloca l'abitazione è la migliore, ossia la A4. Questo risultato è giustificabile inserendo il suddetto indice di prestazione all'interno della scala di classificazione definita nel DM 26.06.2015, all'Articolo 4 Comma 4.

$$EP_{gl,nren} = 23{,}04 \left[\frac{kWh}{m^2 anno}\right]$$

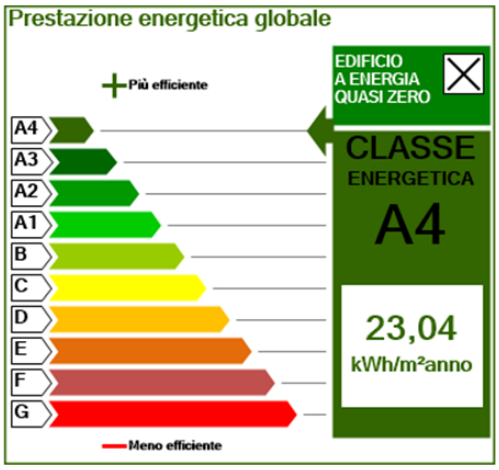


Figura 21: Prestazione energetica globale Villa Ginevra.

Si arriva a tale risultato perché, come detto in precedenza, inserendo questo valore all'interno della scala di prestazione mostrata in Tabella 1, esso rispetta i canoni della Classe A4: si vuole fornire prima una definizione dell'indice, mostrando quali sono tutti i fattori in gioco che portano ad essa: [8]

$$EP_{gl,nren} = EP_{H,nren} + EP_{W,nren} + EP_{C,nren} + EP_{V,nren} + EP_{L,nren} + EP_{T,nren} \left[\frac{kWh}{m^2 anno}\right]$$

Dove, i termini dell'equazione si riferiscono alle prestazioni energetiche legate al contributo di fonti non rinnovabili:

- $EP_{H,nren}$: Prestazione energetica per riscaldamento;
- $EP_{W,nren}$: Prestazione energetica per acqua sanitaria;
- $EP_{C,nren}$: Prestazione energetica per raffrescamento;
- $EP_{V,nren}$: Prestazione energetica per ventilazione;
- $EP_{L,nren}$: Prestazione energetica per illuminazione;
- $EP_{T,nren}$: Prestazione energetica per servizi.

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

Tabella 1: Scala di classificazione degli edifici sulla base di $EP_{gl,nren}$. [8]

Per essere collocato in tale classe energetica, i materiali e gli impianti utilizzati nell'edificio devono essere all'avanguardia e tecnologicamente efficienti e performanti: si entra nel dettaglio in merito a tali componenti nei seguenti Paragrafi del trattato.

5.2.1 Impianto fotovoltaico con pompa di calore e batterie di accumulo

Il punto di forza impiantistico di Villa Ginevra è sicuramente la grande produzione da fonti rinnovabili, incentrata sull'installazione di 124 moduli fotovoltaici modello "SUNPOWER P19-320-BLK", suddivisi a metà, 62 per l'alloggio 1 e 62 per l'alloggio 2, per una potenza complessiva di circa 40 kW nominali e un'area di tetto occupata di 210 m^2. Vengono mostrate in Tabella 2 i

parametri fondamentali dei pannelli installati, estratti direttamente dal catalogo ufficiale SunPower [9]:

Dati Elettrici						
Modello	SPR-P19-335-BLK	SPR-P19-330-BLK	SPR-P19-325-BLK	SPR-P19-320-BLK	SPR-P19-315-BLK	SPR-P19-310-BLK
Potenza nominale (Pnom)[4]	335 W	330 W	325 W	320 W	315 W	310 W
Tolleranza di potenza	+5/−0%	+5/−0%	+5/−0%	+5/−0%	+5/−0%	+5/−0%
Efficienza media del modulo	19,9%	19,6%	19,3%	19,0%	18,7%	18,4%
Tensione al punto di massima potenza (Vmpp)	37,5 V	37,2 V	36,9 V	36,4 V	35,9 V	35,4 V
Corrente al punto di massima potenza (Impp)	8,94 A	8,87 A	8,80 A	8,79 A	8,77 A	8,76 A
Tensione a circuito aperto (Voc)	44,8 V	44,6 V	44,4 V	43,9 V	43,7 V	43,2 V
Corrente di cortocircuito (Isc)	9,51 A	9,44 A	9,37 A	9,35 A	9,33 A	9,28 A
Tensione massima del sistema	1000 V IEC					
Corrente massima del fusibile	18 A					
Coeff. temp. potenza	−0,37% / °C					
Coeff. temp. tensione	−0,29% / °C					
Coeff. temp. corrente	0,05% / °C					

Tabella 2: Dati elettrici moduli fotovoltaici P19-320-BLK.

Si può quindi osservare che ogni singolo modulo è caratterizzato da una potenza nominale di 320 W_p per un'area di 1,69 m^2. Le celle solari utilizzate sono del tipo "Passivated Emitter and Rear Cell" (PERC) monocristallino, celle altamente performanti che differiscono rispetto a quelle tradizionali utilizzate comunemente, per il loro metodo di costruzione e distribuzione degli strati presenti: se per i moduli standard (Figura 22a), si ha uno strato iniziale di pasta d'argento serigrafata per i contatti e, proseguendo verso il lato posteriore del pannello, un rivestimento antiriflesso, wafer al silicio drogato con atomi di fosforo e boro per massimizzare le performance delle giunzioni PN, uno strato posteriore di alluminio (BSF) ed infine uno strato di pasta di alluminio serigrafata. Per i moduli PERC, per quanto la struttura sia simile (Figura 22b), essi si basano sull'imprigionamento della luce solare in prossimità della superficie posteriore del pannello stesso, ottimizzando la cattura degli elettroni grazie all'apposito strato di nitruro di silicio (SiN_x). Il grande vantaggio di questo innovativo tipo di celle solari è legato alla massimizzazione dell'efficienza rispetto alle celle standard utilizzate sia nei pannelli monocristallini che in quelli policristallini: per quanto la procedura di produzione sia più complessa, l'aumento delle performance e dei rendimenti raggiunti andrebbe ad abbassarne il costo rendendoli più convenienti non solo da un punto di vista prestazionale ma anche economico [10].

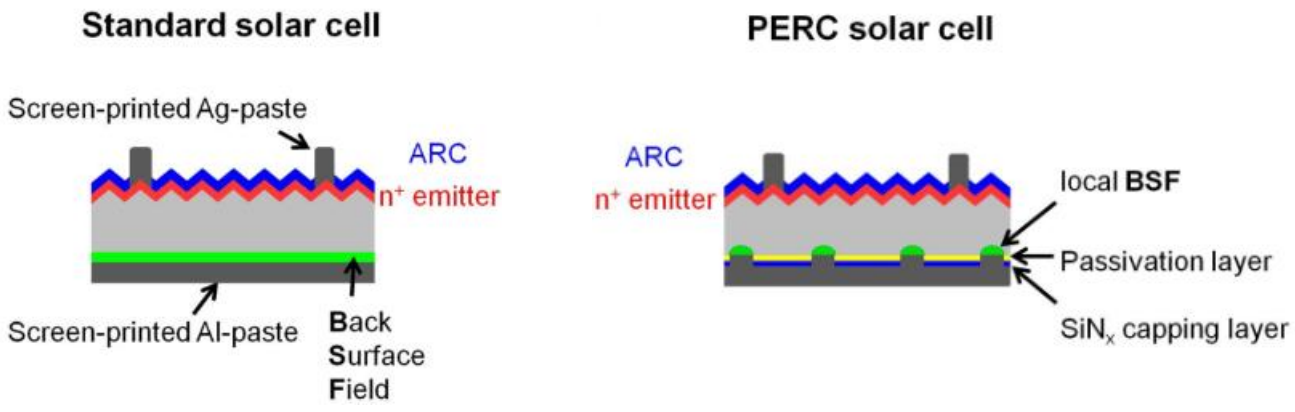


Figura 22: Celle solari standard (a) e PERC (b). [10]

Il vetro utilizzato per questo tipo di pannelli è temperato antiriflesso ad alta trasmissione, in grado quindi di massimizzare la luce solare assorbita e, inoltre, caratteristica fondamentale del vetro temperato è la sua grande resistenza agli urti, sempre più importante con l'intensificarsi di fenomeni meteorologici estremi, quali per esempio, grandinate.

L'angolo di azimut γ ottimale è di 0°, quindi orientamento a sud dei pannelli, mentre quello di inclinazione β, per la località in cui è costruita la casa, è di 29,5° (ricavato da EDILCLIMA): massimizzare le performance dei pannelli è di fondamentale importanza siccome essi sono i responsabili dell'alimentazione delle tre pompe di calore presenti che si occupano di coprire i servizi di climatizzazione invernale ed estiva, ventilazione meccanica, produzione di acqua calda sanitaria e illuminazione dell'intero edificio.

In Tabella 3 e 4 vengono presentati i risultati annuali dell'impianto fotovoltaico dei due alloggi, suddivisi mensilmente, in modo tale da rendere l'idea di quanta energia venga prodotta dai pannelli e di quanta ne venga richiesta alla rete:

Alloggio 1						
Mese	Irradiazione mensile [kWh/m2]	Qfv [kWh]	Qaux [kWh]	Copertura [%]	E.E. da rete [kWh]	E.E. non consumata [kWh]
Gennaio	64,1	953	1.603	60	649	0
Febbraio	85,4	1.271	1.048	100	0	223
Marzo	123,4	1.836	482	100	0	1.354
Aprile	141,7	2.108	275	100	0	1.833
Maggio	164,1	2.442	399	100	0	2.043
Giugno	176,3	2.623	727	100	0	1.896
Luglio	195,6	2.911	872	100	0	2.039
Agosto	179,2	2.667	762	100	0	1.905
Settembre	142,6	2.121	335	100	0	1.786
Ottobre	105,3	1.567	309	100	0	1.258
Novembre	60,7	904	899	100	0	4
Dicembre	56,7	844	1.511	56	667	0
Totale annuo	1.495,1	22.247	9.222	-	1.316	14.341

Tabella 3: Resoconto dati impianto fotovoltaico alloggio 1.

Alloggio 2						
Mese	Irradiazione mensile [kWh/m2]	Qfv [kWh]	Qaux [kWh]	Copertura [%]	E.E. da rete [kWh]	E.E. non consumata [kWh]
Gennaio	64,1	953	812	100	0	142
Febbraio	85,4	1.271	545	100	0	726
Marzo	123,4	1.836	279	100	0	1.557
Aprile	141,7	2.108	184	100	0	1.925
Maggio	164,1	2.442	249	100	0	2.193
Giugno	176,3	2.623	423	100	0	2.200
Luglio	195,6	2.911	495	100	0	2.416
Agosto	179,2	2.667	442	100	0	2.225
Settembre	142,6	2.121	220	100	0	1.901
Ottobre	105,3	1.567	198	100	0	1.369
Novembre	60,7	904	459	100	0	444
Dicembre	56,7	844	764	100	0	79
Totale annuo	1.495,1	22.247	5.070	-	0	17.177

Tabella 4: Resoconto dati impianto fotovoltaico alloggio 2.

Osservando i dati delle precedenti Tabelle, si può notare come la percentuale di copertura annuale dei carichi sia molto elevata da parte dell'impianto in questione: solamente per l'alloggio 1, nei mesi più freddi di gennaio e dicembre, il fabbisogno non è del tutto coperto dai pannelli fotovoltaici e quindi bisogna attingere alla rete per ricavare energia elettrica utile al funzionamento delle pompe di calore (Q_{aux}).

Un risultato notevole è dato dalla quantità di energia elettrica che viene prodotta dai pannelli e non consumata: a tal proposito, l'installazione di un impianto di batterie di accumulo da 80 kWh nominali è prevista, al fine di immagazzinare energia durante le ore centrali della giornata, in cui la produzione dei pannelli è massima e i consumi sono più bassi, per poi renderla disponibile durante le ore di picco serali, in cui i consumi degli abitanti crescono e la produzione dei pannelli diminuisce fino a diventare nulla nella notte. È opportuno segnalare che, durante il periodo di stesura del trattato, le batterie per l'accumulo elettrico non sono ancora state installate e quindi non è possibile fornirne i dettagli tecnici di esse.

Le pompe di calore installate sono del tipo aria-acqua modello "STIEBEL ELTRON HPA-O 13 C PREMIUM", da 13 kW di potenza nominale con installazione mediante split esterna. Essendo caratterizzate da tecnologia inverter, esse sono in grado di modulare il numero di giri del compressore lavorando quindi a carichi parziali, garantendo comunque un'alta efficienza energetica. Il fluido utilizzato come refrigerante di sicurezza è l'R410A mentre quelli utilizzati come sorgente fredda e sorgente calda sono rispettivamente l'aria esterna e l'acqua, caratterizzate dalle seguenti temperature di cut-off per il funzionamento in modalità riscaldamento: [11]

Sorgente fredda: aria esterna		Sorgente calda: acqua di impianto	
T_{min}	-20°C	T_{min}	15°C
T_{max}	40°C	T_{max}	65°C

Tabella 5: Temperature di cut-off pompe di calore.

Ultimi due parametri degni di nota per le pompe di calore sono il coefficiente di prestazione COP e la potenza utile che assumono valori di 3,95 e 11,53 kW. Il COP di questi macchinari può essere definito come l'efficienza della pompa, infatti non è altro che il rapporto tra l'energia termica utile prodotta e l'energia elettrica consumata:

$$COP = \frac{E_{utile}}{E_{spesa}} \quad [-]$$

Tanto più alto è il valore di questo parametro, tanto migliori saranno le performance energetiche della pompa di calore, e conseguentemente tanto minori saranno i consumi. Secondo la direttiva europea 2002/31/CE, la classe energetica migliore per questi macchinari è la classe A, che viene raggiunta se il valore del coefficiente di prestazione è maggiore di 3,60: nel caso in esame, si può quindi affermare che le performance delle pompe di calore installate siano ottimali [12].

5.2.2 Descrizione impianti Villa Ginevra

Appurato che tutti gli impianti verranno alimentati dalle pompe di calore ad energia elettrica, si vuole adesso fornire una descrizione dettagliata di ognuno di essi:

- **Impianto termico di riscaldamento**: tale sistema è a pavimento radiante "Sistema KILMA-ISI STRONG" di RBM CLIMATIZZAZIONE RADIANTE, una tecnologia che permette di unire un elevato livello di comfort termico ad un notevole risparmio

energetico, poiché consente di avere un riscaldamento uniforme entro i volumi vivibili dell'abitazione utilizzando acqua a bassa temperatura. Tale caratteristica lo rende ottimale per essere alimentato da pompe di calore che raggiungono ottime rese a basse temperature di mandata del fluido termovettore. Inoltre, il sistema di emissione con tubi annegati nel pavimento è in grado di rendere l'impianto invisibile a vantaggio dell'estetica e della fruibilità degli spazi. Si segnala inoltre che la regolazione della temperatura viene gestita con cronotermostati di zona. La distribuzione è affidata a 8 collettori modello "COMISA serie 663", prodotti in acciaio inox AISI 304, caratterizzati da un numero di attacchi variabile tra i 2 e i 13, a seconda delle necessità e del dimensionamento, con filettatura che segue la norma ISO228 in modo tale da poter collegare le tubazioni grazie all'apposito sistema o-ring, senza quindi la necessità di sigillanti che andrebbero a rendere la manutenzione delle giunzioni più complicata. Tali collettori sono inoltre muniti di un sistema di misuratori di portata e di flussometri, rispettivamente utili per le funzioni di regolazione e bilanciamento delle singole portate, permettendo inoltre le opere di manutenzione grazie ad alcuni chiusure temporanee di una sola sezione dell'impianto. La temperatura di esercizio del fluido può essere compresa tra gli 0°C e i 100°C mentre la pressione misurata al flussimetro non deve superare i 6 bar e l'umidità relativa l'80%. [13]
In Figura 23 viene mostrato il collettore con 6 attacchi specificando la direzione dei flussi dell'acqua, in modo tale da chiarificare il funzionamento di tali collettori utilizzati sia per funzioni di riscaldamento che per l'approvvigionamento dell'ACS:

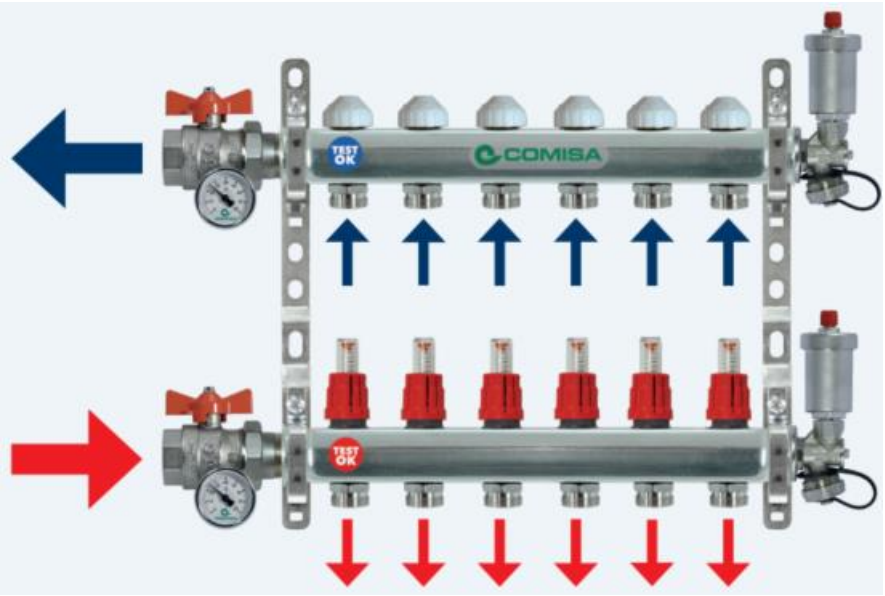


Figura 23: Collettore COMISA con 6 attacchi. [13]

Al fine di dimensionare i circuiti e i collettori, per prima cosa è necessario estrapolare i risultati del fabbricato ottenuti da EDILCLIMA, locale per locale, considerando per ognuno di essi il volume, la superficie e i flussi richiesti per trovare la dispersione totale Φ_{hl}:

$$\Phi_{hl} = \Phi_{tr} + \Phi_{ve} + \Phi_{rh} \ [W]$$

Dove:

- Φ_{tr} è la dispersione per trasmissione, in [W];
- Φ_{ve} è la dispersione per ventilazione, in [W];
- Φ_{rh} è la dispersione per intermittenza, in [W].

Per essere più cautelativi tale valore di dispersione, trovato per ogni locale, viene aumentato del 15%: sommando poi i valori dei locali alimentati dal singolo collettore (stesso colore nelle Tabelle seguenti) si trova la potenza richiesta per ognuno di essi e, conseguentemente al dimensionamento realizzato dall'azienda produttrice dei pannelli radianti, si possono trovare la portata d'acqua necessaria in $\left[\frac{l}{h}\right]$ per soddisfare tale fabbisogno e la prevalenza, ossia le perdite di carico misurate in $[Pa]$.
Si inseriscono le Tabelle con i relativi dati di ogni unità immobiliare e il conseguente dimensionamento dei collettori:

Alloggio 1									
Locale	Descrizione	θi	V	S	Φtr	Φve	Φrh	Φhl	Φhl(+15%)
		[°C]	[m³]	[m²]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
1	Ingresso	21	39,4	14,6	823	40	0	863	992,45
2	Guardaroba	21	18,3	6,76	57	18	0	75	86,25
3	Bagno 1	21	14	5,17	218	56	0	274	315,1
4	Zona quadri	20	8,7	3,22	28	8	0	36	41,4
5	Camera 3	20	35,9	13,28	321	35	0	355	408,25
6	Soggiorno	21	451,4	110,29	2981	453	0	3434	3949,1
7	Lavanderia / stireria	21	52,9	15,11	358	64	0	422	485,3
8	Cucina 2	21	45,5	13,01	729	137	0	866	995,9
9	Cucina 1	21	114,9	32,84	1199	346	0	1545	1776,75
10	Corridoio 2	21	50,7	18,79	1023	51	0	1074	1235,1
11	Camera 4	20	62,5	23,13	669	61	0	730	839,5
12	Cabina armadio 1	20	22	8,16	70	21	0	91	104,65
13	Bagno 6	24	24,9	9,22	232	110	0	341	392,15
14	Camera 2	20	69,4	25,69	524	67	0	591	679,65
15	Bagno 5	20	20,1	7,44	179	78	0	257	295,55
16	Bagno 4	24	34,9	12,94	565	154	0	720	828
17	Cabina armadio 2	20	17	6,28	54	16	0	71	81,65
18	Bagno 2	21	7,2	2,67	186	29	0	215	247,25
19	Disimpegno 1	21	9,9	3,68	129	10	0	139	159,85
20	Corridoio 1	21	38,7	14,35	133	39	0	172	197,8
21	Disimpegno 2	21	32,6	12,08	113	33	0	145	166,75

Tabella 6: Fabbisogno termico locali alloggio 1.

Alloggio 2									
Locale	Descrizione	θi	V	S	Φtr	Φve	Φrh	Φhl	Φhl(+15%)
		[°C]	[m³]	[m²]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
1	Cucina / Soggiorno	21	154,9	57,36	1486	280	0	1766	2030,9
2	Corridoio 2	21	95	35,18	2230	95	0	2326	2674,9
3	Cabina armadio	21	44,8	16,58	342	45	0	387	445,05
4	Bagno 3	24	58,5	21,67	690	258	0	948	1090,2
5	Camera 1	21	82,4	30,53	674	83	0	757	870,55

Tabella 7: Fabbisogno termico locali alloggio 2.

Zona comune									
Locale	Descrizione	θi	V	S	Φtr	Φve	Φrh	Φhl	Φhl(+15%)
		[°C]	[m³]	[m²]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
1	Bagno 7	21	14,3	5,32	128	287	0	416	478,4
2	Spogliatoio	21	27,2	10,09	232	137	0	368	423,2
3	Corridoio	21	37,5	13,9	960	188	0	1148	1320,2
4	Zona fitness	21	134,1	49,68	1452	2692	0	4143	4764,45

Tabella 8: Fabbisogno termico locali zona comune.

	Potenza richiesta [W]	Portata [l/h]	deltaP [Pa]	Collettore CT [W]	Portata [l/h]
Collettore 1	4.434	1.030	12.700	9.206	2.087
Collettore 2	3.378	770	9.890		
Collettore 3	1.394	287	7.270		
Collettore 4	2.571	652	12.240	5.031	1.303
Collettore 5	2.460	651	10.240		
Collettore 6	2.406	644	10.400	7.112	1.741
Collettore 7	4.706	1.097	14.710		
Collettore 8	6.986	1.227	10.720	6.986	1.227

Tabella 9: Dimensionamento collettori.

A questo punto, dopo aver dimensionato i collettori che permettono una migliore regolazione delle temperature delle diverse zone, si passa al dimensionamento delle pompe, fondamentali per la circolazione dell'acqua nei tubi. Anche per esse deve essere calcolato il salto di pressione, il quale è ottenuto come somma del salto di pressione di ogni collettore, del salto di pressione che si ha lungo i tubi e delle perdite puntuali, che per semplicità sono considerate il 30% della somma dei primi due contributi:

$$\Delta P_{pompa} = \Delta P_{collettore} + \Delta P_{tubi} + \Delta P_{puntuali}\ [Pa]$$

Se la caduta di pressione dei collettori viene fornita dai produttori dei pannelli, quella sui tubi viene calcolata con la seguente formula:

$$\Delta P_{tubi} = 2 * l_{tubo} * \Delta P_{tab} * 9{,}806\ [Pa]$$

Dove:

- l_{tubo} è la lunghezza di ogni tubo in $[m]$, moltiplicata per 2 siccome devono essere considerate sia la mandata che il ritorno;
- ΔP_{tab} è la caduta di pressione tabellare, ottenuto per tubi di polietilene reticolato, incrociando il valore di portata circolante nei tubi e il diametro dei tubi stessi, misurato in $\left[\frac{mm\ c.a.}{m}\right]$; [3]
- 9,806 è il fattore correttivo per passare da mm a Pa.

Si mostrano adesso in Tabella 10 i risultati ottenuti per le perdite di pressione all'interno dei tubi:

Perdite di pressione nei tubi					
Collettore	Lunghezza tubo [m]	Portata [l/h]	deltaP tabellare [mmca/m]	Diametro Nominale	deltaP tubo [Pa]
1	40	1030	48	DN 26	18828,25
2	40	770	30	DN 26	11767,66
3	54	287	6	DN 26	3177,27
4	32	652	25	DN 26	7845,10
5	54	651	25	DN 26	13238,61
7	72	1097	55	DN 26	38833,26
6	60	644	20	DN 26	11767,66
8	94	1227	65	DN 26	59916,98

Tabella 10: Perdite di pressione nei tubi.

Si possono quindi trovare ora le dimensioni delle pompe, sommando i contributi dei collettori e dei tubi: le pompe necessarie per alimentare il sistema sono 4 e le loro dimensioni sono mostrate in Tabella 11, ricordando che anche le perdite puntuali sono state considerate al fine di sovradimensionare le pompe e lavorare in condizioni di maggiore sicurezza:

Perdite di pressione alle pompe	
Pompa	deltaP Pompa [kPa]
P1	33,12
P2	20,64
P3	69,61
P4	91,83

Tabella 11: Perdite di pressione alle pompe.

Una volta dimensionate le pompe, l'ultimo passaggio è legato al dimensionamento dei 3 collettori posizionati in centrale termica (CT), uno per l'alloggio 1, uno per l'alloggio 2 e uno per la zona comune, per i quali la portata è rappresentata dalla somma delle portate dei collettori più piccoli che confluiscono in ognuno di essi. Una volta ricavata la portata e il conseguente diametro nominale di ogni tubo, si deve trovare quella che è la sezione del collettore e, infine, il suo diametro, espresso solitamente in pollici.
I risultati del dimensionamento dei collettori in centrale termica, sono mostrati in Tabella 12:

Dimensionamento collettori centrale termica			
Collettore in CT	Portata [l/h]	Sezione [cm2]	Diametro tubo collettore ["]
Alloggio 1	2739	63	4"
Alloggio 2	2392	47,25	3"
Zona Comune	1227	15,75	2"

Tabella 12: Dimensionamento collettori in Centrale Termica.

La sezione di ogni collettore è stata ricavata considerando una maggiorazione del 50% al fine di essere più conservativi: una volta ricavato questo valore, esso è stato inserito in Tabella 13 al fine di ricavare il diametro espresso in pollici di ogni collettore:

Ø Tubo	DN	Ø est. mm	Ø int. mm	sezione cm²
1/2"	15	21.3	18.6	2.19
3/4"	20	26.9	22.2	3.91
1"	25	33.7	27.9	6.11
1¼"	32	42.4	36.6	10.50
1½"	40	48.3	42.5	14.20
2"	50	60.3	53.8	22.80
2½"	65	76.1	69.6	38.20
3"	80	88.9	81.6	52.40
4"	100	114.3	106.2	88.70
5"	125	139.7	129.9	134.00
6"	150	165.0	155.2	197.00
8"	200	216.0	204.0	343.00
10"	250	267.0	254.0	508.00

Tabella 13: Valori di riferimento per dimensionamento collettori. [3]

- **Impianto termico di raffrescamento**: la regolazione della temperatura ambiente durante la stagione estiva è garantita da ventilconvettori idronici canalizzati a soffitto con un rendimento di emissione del 98%. Queste macchine sono composte da un ventilatore e da una batteria di raffreddamento alimentata da acqua refrigerata in arrivo dalle pompe di calore, che permettono quindi di controllare parzialmente anche l'umidità. Normalmente la regolazione puntuale dell'umidità non si effettua in ambiti residenziali perché il tasso di questa è pressoché costante. Tuttavia, si può effettuare un controllo specifico dell'umidità nel locale lavanderia, poiché in esso si generano maggiori quantità di vapore. Per far ciò, occorre installare a valle della VMC un deumidificatore con una batteria di raffreddamento alimentata dalle pompe di calore e una di riscaldamento elettrica. I sistemi di distribuzione dell'aria in ambiente sono delle bocchette integrate nel controsoffitto modello "INDUL AVI 24" con dimensione variabile in funzione della portata, per le quali solamente la feritoia per la fuoriuscita dell'aria è visibile, quindi l'impatto visivo è minimo.
- **Impianto di trattamento aria**: la ventilazione meccanica controllata (VMC) è un sistema che, per mezzo di un ventilatore, assicura l'immissione di aria "nuova", ovvero di aria presa dall'esterno e adeguatamente filtrata, al fine di garantire il benessere e le condizioni igieniche dell'ambiente. Nel caso in analisi, 5 recuperatori di calore rotativi con setaccio molecolare modello "KOMFOVENT DOMEKERT R 400F", in grado di ridurre i consumi energetici grazie all'alta efficienza di recupero di energia entalpica, sono inseriti nell'impianto di ventilazione, al fine di preriscaldare l'aria di nuova immissione in inverno e di preraffreddarla in estate. A valle dell'impianto VMC sono inseriti alcuni appositi dispositivi modello "JONIX DUCT 70MIC2C" per la sanificazione dell'aria e per la decontaminazione delle condotte di distribuzione, caratterizzati da una tecnologia al plasma freddo, ossia una miscela di gas ionizzanti composta principalmente da particelle cariche, i quali necessitano solamente di un collegamento elettrico in grado di abbattere la carica batterica presente nell'aria, senza l'utilizzo di prodotti chimici.

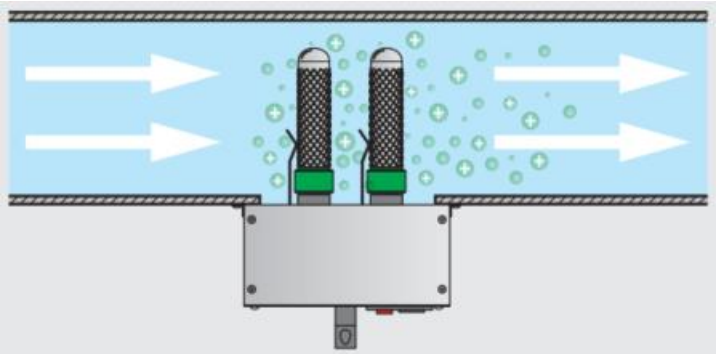


Figura 24: Dispositivi al plasma freddo per la purificazione dell'aria. [14]

Le bocchette sono della stessa tipologia utilizzata per l'impianto di raffrescamento con collocazione nel controsoffitto per l'estrazione dell'aria, mentre quelle per l'immissione saranno integrate nella parte bassa delle pareti.

- **Impianto di climatizzazione e deumidificazione della zona piscina**: il controllo della temperatura, dell'umidità ambiente e dei ricambi di aria per la zona piscina sono garantiti da un'unità di trattamento aria (UTA) in pompa di calore, modello "DTP PLUS (doppio flusso)". Tale tipologia impiantistica permette di avere un controllo separato delle caratteristiche termo-igrometriche (temperatura e umidità) dell'ambiente tramite l'immissione di aria da un canale posto nel controsoffitto. Al fine di controllare puntualmente l'umidità, che nella zona piscina risulta un parametro importante, una batteria di riscaldamento, una di raffreddamento e una di post-riscaldamento sono installate in tale tipologia di UTA: una miscela di aria esterna e aria ricircolata viene in un primo momento raffreddata e deumidificata dall'evaporatore a espansione diretta della pompa di calore per poi essere riscaldata dal condensatore.

  È fondamentale specificare che questa macchina è in grado di garantire autonomamente la deumidificazione del locale piscina sfruttando un processo termodinamico che necessita del minimo apporto di aria fresca, abbattendo i costi di gestione dell'impianto globale. La regolazione della miscela d'aria avviene in una apposita camera a 3 serrande e, grazie alle sezioni di mandata e ripresa, il microprocessore installato nel macchinario apporta al locale la corretta quantità d'aria di rinnovo, calcolata basandosi su quelle che sono le condizioni istantanee del locale. Sono inoltre presenti degli elementi filtranti in grado di rimuovere le impurità più piccole dall'aria prima che essa venga iniettata in ambiente. Il recuperatore statico a flussi incrociati in controcorrente in polipropilene è un elemento chiave per il recupero dell'aria ricircolata, la quale altrimenti verrebbe solamente espulsa, diminuendo quindi la richiesta di aria "nuova". Vi è infine la presenza di uno scambiatore ad acqua in lega di cromo e molibdeno che consente la ripartizione della potenza di condensazione quando il locale piscina è nelle condizioni termo-igrometriche ottimali per l'occupante: il condensatore ad aria garantisce unicamente il post riscaldamento dell'aria in uscita all'evaporatore mentre il secondo condensatore, a piastre, è utilizzato per integrare il lavoro della pompa di calore nella funzione di riscaldamento dell'acqua della piscina, rendendola utilizzabile anche durante i mesi invernali. Questa seconda funzione risulta rilevante siccome un coefficiente di prestazione (COP)

maggiore di 5 viene garantito. Si mostra in Figura 25 il sistema UTA appena descritto: [15]

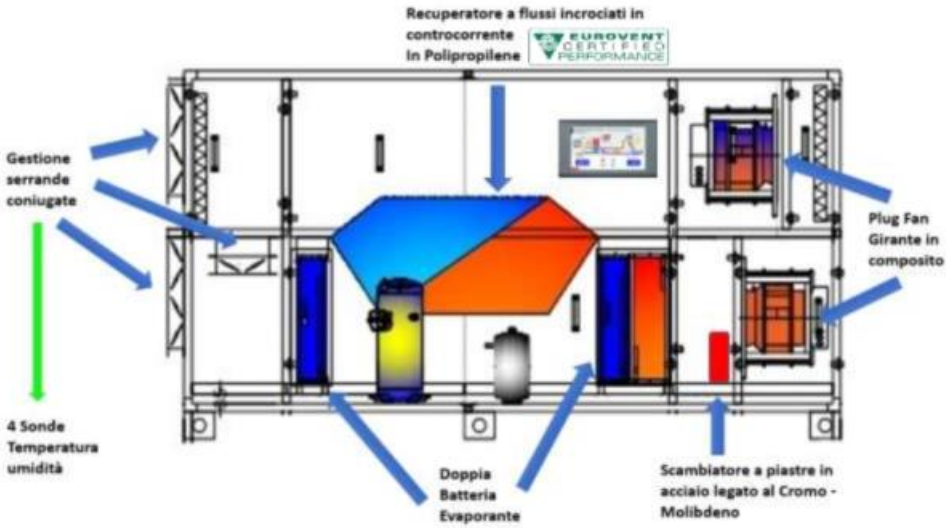


Figura 25: UTA in pompa di calore installata nella zona piscina. [15]

Si ritiene utile descrivere il diverso funzionamento durante il periodo invernale e durante quello estivo dell'unità di trattamento aria.
Durante l'inverno, la portata d'aria esterna viene mantenuta al minimo necessario per garantire le condizioni termo-igrometriche richieste per il locale piscina, il circuito frigorifero è spento mentre il recuperatore di calore e la batteria di post-riscaldamento sono attivi in modo tale da ridurre i consumi:

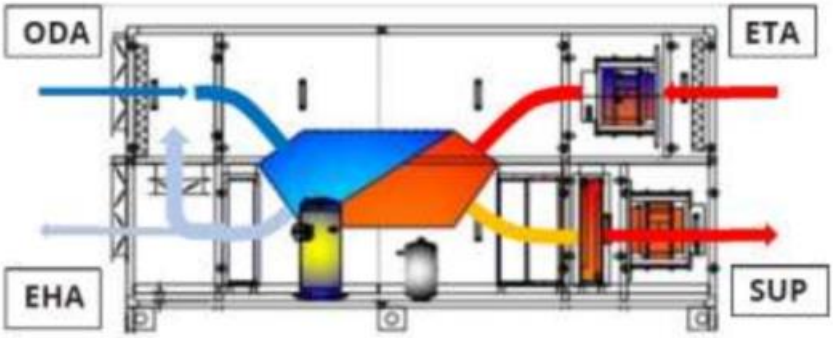


Figura 26: Modalità di funzionamento UTA durante la stagione invernale. [15]

Dove, le abbreviazioni dei flussi sono definite seguendo la normativa DIN EN 13779:

- ODA = portata di aria esterna;
- ETA = portata di ritorno;
- EHA = portata espulsa;
- SUP = portata di mandata.

Durante l'estate invece la piscina viene trattata in maniera diversa rispetto al caso precedente siccome il fabbisogno termico è minore e quello di deumidificazione maggiore: il calore ceduto al condensatore risulta essere eccessivo e quindi un ulteriore apposito condensatore deve essere presente per lo smaltimento di esso. Regolando la portata d'aria esterna, tutto il calore generato dalla macchina durante la

sua fase operativa non è disperso in ambiente bensì può essere utilizzato per aumentare la deumidificazione, incrementando quindi l'effetto utile e riducendo gli sprechi.
In questo periodo dell'anno, la deumidificazione del locale piscina può essere realizzata con diversi metodi:

1. Deumidificazione con circuito frigo, utilizzando solamente la prima batteria di evaporazione e il recuperatore di calore, ma non la batteria di post-riscaldamento. La miscela di aria utile ha una composizione dell'80% di aria ricircolata e del 20% di aria esterna, ossia la percentuale minima per garantire le condizioni igieniche richieste.

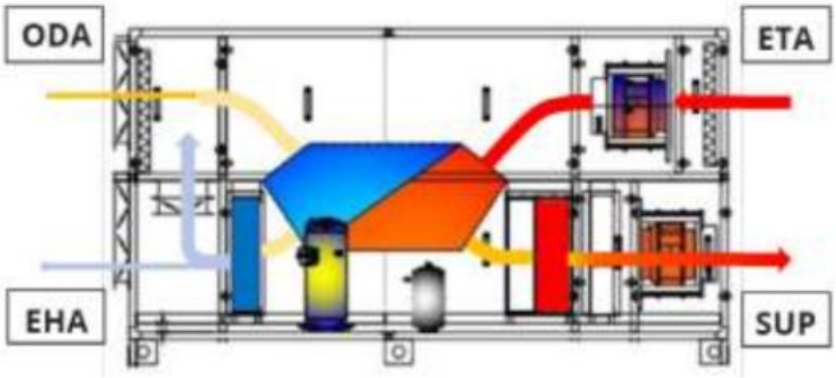


Figura 27: Modalità di funzionamento UTA durante la stagione estiva con circuito frigo. [15]

2. Forte deumidificazione e leggero condizionamento: rispetto al caso 1, anche la seconda batteria evaporante è attiva, viene quindi favorita una intensa fase deumidificante come descritto precedentemente. La miscela d'aria ha la stessa composizione del primo caso.

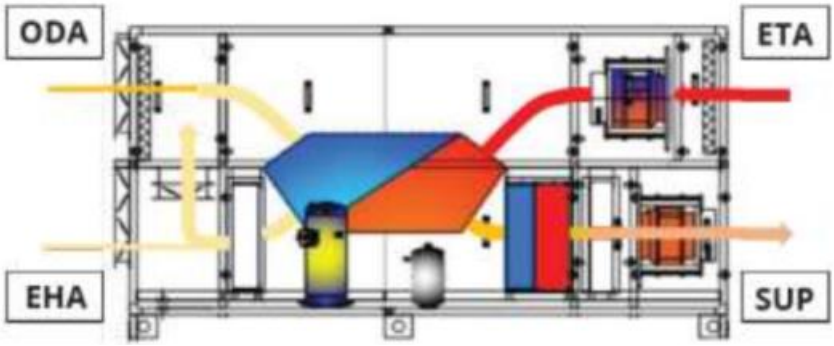


Figura 28: Modalità di funzionamento UTA durante la stagione estiva con prevalente deumidificazione e scarso condizionamento. [15]

3. Deumidificazione con il riscaldamento dell'acqua della piscina: a differenza dei primi due casi, la batteria di post riscaldamento è spenta come anche quella di condensazione; tale procedura è quindi garantita dallo scambiatore acqua / freon, inutilizzato nei casi 1 e 2.

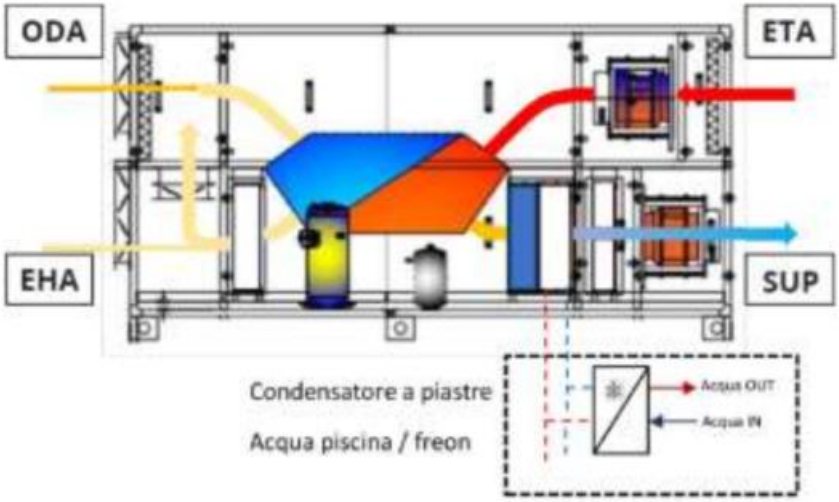


Figura 29: Modalità di funzionamento UTA durante la stagione estiva sfruttando l'acqua della piscina. [15]

Oltre quindi al grande vantaggio del comfort che viene garantito grazie al controllo separato di temperatura e umidità, anche gli aspetti tecno-economici sono un punto di forza di tale tipologia di UTA: i risparmi nei costi di gestione e dell'impianto stesso sono garantiti rispettivamente grazie all'incremento dell'efficienza in abbinamento con la pompa di calore e alla configurazione stessa della macchina, essendo essa totalmente costruita in alluminio ed installabile sia all'interno che all'esterno dell'edificio; non vi è quindi la necessità di un locale con centrale termica dedicata. Infine l'ultimo grande vantaggio è legato all'indipendenza della portata di aria esterna dalle esigenze di controllo igrometrico, essendo ormai solo più funzione dell'affollamento del locale: il microprocessore che controlla l'intero sistema è in grado di regolare tale portata rendendola, se possibile, nulla, sfruttando quindi solamente la portata di ricircolo.

È opportuno inoltre sottolineare la presenza di un doppio sistema di accumulo per gli impianti termici, uno di tipo inerziale e l'altro appositamente installato per l'acqua calda sanitaria.

La prima tipologia di accumulo modello "ENERCOMB STIEBEL ELTRON SBP 700 E" è fondamentale per immagazzinare energia termica quando vi è un surplus di produzione da fonti rinnovabili al fine di renderlo disponibile attraverso un sistema di termoregolazione. È un sistema perfettamente abbinabile con le pompe di calore siccome ottimizza il loro rendimento, limitandone i cicli di accensione e spegnimento e permettendone un utilizzo a carico pressoché costante. Il sistema installato è caratterizzato da una singola serpentina (accumulatore monovalente) e il suo volume è stato appositamente calcolato mediante software in modo tale da ottimizzarne le prestazioni e soddisfare i carichi di riscaldamento di tutte le unità immobiliari: ricordando che l'accumulatore è caratterizzato da forma cilindrica, il suo diametro di base è di 910 mm mentre l'altezza è di 1890 mm, per una capienza totale di 720 litri di acqua. Considerando che lo spessore dell'isolante è di 8 cm e la sua conduttività $\lambda_s = 0{,}040 \left[\frac{W}{mK}\right]$, essendo schiuma di poliuretano, le perdite risultano limitate e quindi la presenza dell'accumulo ottimizza le prestazioni dell'impianto globale. [16]

Anche il sistema per l'acqua calda sanitaria è di tipo centralizzato modello "ENERCOMB STIEBEL ELTRON SBB 600 WP SOL" ed i vantaggi ottenuti mediante la sua installazione sono notevoli: la possibilità di avere acqua calda sanitaria sempre a disposizione grazie all'ottimo isolamento termico garantito dalla schiuma di polistirene espanso termostabilizzato che caratterizza i bollitori, assicura un elevato livello di comfort in maniera continuativa. Il diametro di base è di 970 mm, compreso di isolante, e l'altezza è di 1775 mm per una capacità di 565 litri, in grado di lavorare a pressioni e temperature massime di 10 bar e 95°C. [17]

Per concludere il Paragrafo, vengono illustrati i fabbisogni di energia primaria e gli indici di prestazione di ogni singolo impianto descritto in precedenza:

Servizio	Qp,nren [kWh]	Qp,ren [kWh]	Qp,tot [kWh]	EP,nren [kWh/m²]	EP,ren [kWh/m²]	EP,tot [kWh/m²]
Riscaldamento	5267	31765	37033	7,88	47,54	55,43
Acqua calda sanitaria	2254	10049	12303	3,37	15,04	18,41
Raffrescamento	4588	4638	9225	6,87	6,94	13,81
Ventilazione	1340	2132	3472	2,01	3,19	5,20
TOTALE	**13449**	**48585**	**62033**	**20,13**	**72,72**	**92,85**

Tabella 14: Riassunto fabbisogno di energia primaria e indici di prestazione impianti.

Come ci si poteva attendere, sia i valori degli indici prestazionali che quelli dei fabbisogni di energia, sono molto maggiori per i contributi da fonti rinnovabili rispetto che quelli da fonti non rinnovabili per ogni tipologia di impianto installato.

5.3 Materiali utilizzati

Villa Ginevra non è solo un simbolo di architettura moderna all'interno del Parco La Mandria, bensì anche di bioedilizia, essendo un edificio altamente performante grazie ai suoi impianti, descritti nel Paragrafo 5.2, ma anche grazie alle tecnologie passive in essa presenti, quali serramenti di ultima generazione e involucro edilizio realizzato per la maggior parte in materiali rinnovabili: non solo le performance energetiche ma anche l'impatto ambientale positivo è quindi un concetto chiave nella progettazione di questa abitazione.

L'obiettivo di questo Paragrafo è quello di descrivere e presentare i materiali utilizzati per la costruzione, mostrando le stratigrafie dei muri, illustrandone le proprietà al fine di giustificare la scelta di essi: tutti i risultati mostrati sono stati ottenuti dal software EDILCLIMA, il quale rispetta le normative vigenti quali UNI EN 12831, UNI EN ISO 6946, UNI EN ISO 13370, UNI EN ISO 10077 e UNI TS 11300-1 per le verifiche termiche e igrometriche dei componenti opachi e finestrati.

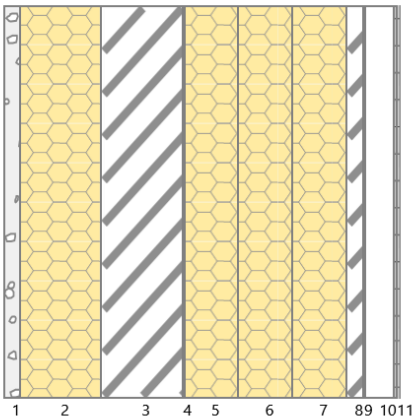
5.3.1 Componenti opachi

La struttura della Villa è realizzata con pannelli in legno mediante tecnologia X-LAM, sfruttando quindi la sovrapposizione di più strati lamellari con l'utilizzo di colle prive di formaldeide, in modo tale da garantire ottime performance acustiche e energetiche ma allo stesso tempo anche di resistenza al fuoco, incremento della superficie calpestabile e, soprattutto, sostenibilità ambientale, essendo il materiale del tutto rinnovabile.

I muri verso l'esterno sono caratterizzati dalla struttura portante in X-LAM e ben 4 strati di "STEICO FLEX 036", ossia fibra di legno utilizzata come isolante acustico e termico: tale isolante permette di ottenere ottimi risultati sia durante l'inverno che, in particolare, durante l'estate, grazie all'elevato sfasamento termico che è in grado di garantire sfruttando la sua elevata capacità termica volumica $C\ \left[\frac{Wh}{m^3}\right]$, ottenuta dal prodotto del calore specifico e la densità del materiale stesso. Per quanto le prestazioni di questo materiale siano molto positive durante tutto l'anno e, inoltre, esso è capace di garantire anche un'ottima traspirabilità alle pareti e ai soffitti, elevati spessori devono essere installati per ottenere questi risultati: questo è il motivo per il quale ben 4 strati dello spessore di 8 cm (3 strati interni) e 12 cm (strato più esterno) devono posizionati sulle pareti verso l'esterno [18]. Il grande vantaggio della fibra di legno è quindi la sua sostenibilità abbinata agli ottimi risultati energetici che permette di ottenere; l'unico grande aspetto negativo, al giorno d'oggi, è il prezzo relativamente elevato rispetto ad altri isolanti polimerici (tra i $50-80\left[\frac{€}{m^2}\right]$ rispetto ai $40\left[\frac{€}{m^2}\right]$ del poliuretano espanso) [19].

In Tabella 15 viene mostrata la stratigrafia del muro verso l'esterno, le sue proprietà globali e quelle di ogni singolo strato:

Trasmittanza termica	*0,091*	W/m²K
Spessore	*584*	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	*-9,1*	°C
Permeanza	*6,828*	10^{-12}kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	*142*	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	*120*	kg/m²
Trasmittanza periodica	*0,001*	W/m²K
Fattore attenuazione	*0,014*	-
Sfasamento onda termica	*-23,3*	h



N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	*0,130*	-	-	-
1	Placca Carrarro - Fibrogesso	*25,00*	*0,3320*	-	*894*	*1,00*	*4*
2	Steico flex 036	*120,00*	*0,0380*	-	*60*	*2,10*	*1*
3	Pannelo XLAM	*120,00*	*0,1200*	-	*500*	*1,60*	*50*
4	USB Micro Light - Freno al vapore	*1,00*	*0,2200*	-	*211*	*1,70*	*17544*
5	Steico flex 036	*80,00*	*0,0380*	-	*60*	*2,10*	*1*
6	Steico flex 036	*80,00*	*0,0380*	-	*60*	*2,10*	*1*
7	Steico flex 036	*80,00*	*0,0380*	-	*60*	*2,10*	*1*
8	Pannello OSB3	*25,00*	*0,1300*	-	*600*	*2,10*	*200*
9	USB Windtop UV - Membrana traspirante	*1,00*	*0,2200*	-	*320*	*1,70*	*280*
10	Intercapedine debolmente ventilata Av=1400 mm²/m	*42,00*	-	-	-	-	-
11	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	*10,00*	*1,3000*	-	*2300*	*0,84*	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	*0,071*	-	-	-

Tabella 15: Stratigrafia muro verso esterno.

I parametri elencati in Tabella 15 rappresentano rispettivamente:

- s = spessore in $[mm]$;
- Cond. = conduttività termica in $\left[\frac{W}{mK}\right]$;
- R = resistenza termica in $\left[\frac{m^2K}{W}\right]$;
- M.V. = massa volumica in $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$;
- C.T. = capacità termica specifica in $\left[\frac{kJ}{kgK}\right]$;
- R.V. = fattore di resistenza alla diffusione del vapore, adimensionale.

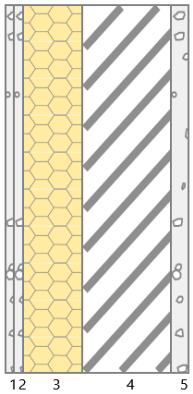
È bene focalizzare l'attenzione anche sulla membrana traspirante "USB WINDTOP UV" in polipropilene rivestito con una spalmatura poliuretanica resistente ai raggi UV la quale conferisce ottime caratteristiche di traspirabilità, impermeabilità all'acqua e tenuta al vento per pareti ventilate come quella in questione [20] e su quella "USB MICRO LIGHT", utilizzata come freno al vapore grazie alla sua particolare struttura a 3 strati che la rende impermeabile sia all'acqua che

all'aria. I suddetti 3 strati vengono saldati tra loro mediante termosaldatura ad espansione molecolare e sono rispettivamente in tessuto non tessuto in polipropilene quello superiore e in copolimero di polipropilene e polietilene i due inferiori [21].

Grazie alle proprietà dei materiali utilizzati la struttura non risulta essere soggetta né a fenomeni di condensa superficiale né a fenomeni di condensa interstiziale. Fondamentale è il risultato di 23,3 ore di sfasamento termico tra interno ed esterno che rappresenta al meglio il comfort estivo che si ottiene all'interno dell'abitazione grazie al ritardo nell'ingresso del calore legato alla capacità volumica della fibra di legno.

Il muro divisorio tra le zone è invece caratterizzato da uno spessore minore con un unico strato di fibra di legno rivestita da uno doppio di cartongesso:

Trasmittanza termica	*0,282*	W/m²K
Spessore	*250*	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	*20,0*	°C
Permeanza	*31,068*	10^{-12}kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	*110*	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	*65*	kg/m²
Trasmittanza periodica	*0,069*	W/m²K
Fattore attenuazione	*0,243*	-
Sfasamento onda termica	*-10,9*	h



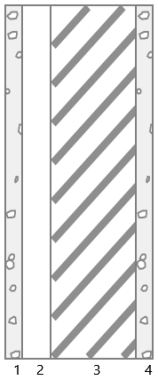
N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	*0,130*	-	-	-
1	Cartongesso in lastre	*12,50*	*0,2500*	*0,050*	*900*	*1,00*	*10*
2	Cartongesso in lastre	*12,50*	*0,2500*	*0,050*	*900*	*1,00*	*10*
3	Steico flex 036	*80,00*	*0,0380*	*2,105*	*60*	*2,10*	*1*
4	Pannelo XLAM	*120,00*	*0,1200*	*1,000*	*500*	*1,60*	*50*
5	Placca Carrarro - Fibrogesso	*25,00*	*0,3320*	*0,075*	*894*	*1,00*	*4*
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	*0,130*	-	-	-

Tabella 16: Stratigrafia muro divisorio tra zone.

Anche in questo caso la struttura in esame non è soggetta ad alcun tipo di condensa per merito delle proprietà dei materiali.

Al fine di non appesantire il trattato, si presenterà ora un'unica struttura per i divisori interni, specificando però che essi non sono tutti uguali: lo spessore dell'X-LAM può variare tra 80 mm e 120 mm e un'intercapedine debolmente ventilata può essere presente per consentire il passaggio dei tubi degli impianti. I valori di sfasamento dell'onda termica sono diversi in funzione dello spessore dell'X-LAM, così come la trasmittanza periodica e il fattore di attenuazione, maggiormente influenzati dalla presenza dell'intercapedine d'aria. In Tabella 17 vengono mostrati gli strati e i risultati ottenuti per un divisorio con una struttura in X-LAM da 120 mm e la presenza dell'intercapedine che permette il passaggio degli impianti.

Trasmittanza termica	*0,629*	W/m²K
Spessore	*210*	mm
Permeanza	*32,129*	10^{-12}kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	*105*	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	*60*	kg/m²
Trasmittanza periodica	*0,277*	W/m²K
Fattore attenuazione	*0,441*	-
Sfasamento onda termica	*-8,2*	h



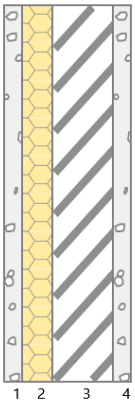
N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	*0,130*	-	-	-
1	Placca Carrarro - Fibrogesso	*25,00*	*0,3320*	*0,075*	*894*	*1,00*	*4*
2	Intercapedine non ventilata Av<500 mm²/m	*40,00*	*0,2222*	*0,180*	-	-	-
3	Pannelo XLAM	*120,00*	*0,1200*	*1,000*	*500*	*1,60*	*50*
4	Placca Carrarro - Fibrogesso	*25,00*	*0,3320*	*0,075*	*894*	*1,00*	*4*
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	*0,130*	-	-	-

Tabella 17: Stratigrafia muro divisorio interno con impianti.

Ci si vuole soffermare ora sulle caratteristiche prestazionali e i vantaggi che comporta l'uso dei pannelli di fibrogesso, un materiale naturale ottenuto da un impasto di gesso scagliola, acqua e fibra di vetro che lo rende ideale per l'applicazione in ambiti residenziali grazie alla sua facilità di allestimento e all'abilità di essere integrato con gli impianti all'interno dell'intercapedine. Tale materiale è inoltre in grado di offrire un'ottima compattezza, resistenza meccanica, resistenza al fuoco e traspirabilità al muro, permettendo la regolazione dell'umidità ambientale (grazie ad un coefficiente di traspirabilità al vapore $\mu = 4{,}3$) oltre che un buon isolamento termico (conduttività termica $\lambda = 0{,}332 \left[\frac{W}{mK}\right]$ e trasmittanza termica $U = 4{,}065 \left[\frac{W}{m^2K}\right]$) e acustico. Tale materiale è quindi perfettamente integrabile in applicazioni di bioedilizia come Villa Ginevra [22].

L'ultima struttura opaca verticale che viene rappresentata è il divisorio tra alloggi, simile al divisorio tra zone ma il doppio strato di cartongesso è rimpiazzato da uno singolo di fibrogesso e lo spessore del pannello di fibra di legno STEICO FLEX è di spessore minore (40 mm al posto che 80 mm): tali cambiamenti comportano una variazione significativa dei valori di trasmittanza periodica e fattore di attenuazione (entrambi maggiori rispetto al divisorio tra zone) ma anche dello sfasamento termico che invece diminuisce. Anche questo muro non è soggetto a condensa superficiale.

Trasmittanza termica	*0,470*	W/m²K
Spessore	*170*	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	*20,0*	°C
Permeanza	*47,004*	10^{-12}kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	*87*	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	*42*	kg/m²
Trasmittanza periodica	*0,234*	W/m²K
Fattore attenuazione	*0,499*	-
Sfasamento onda termica	*-7,2*	h

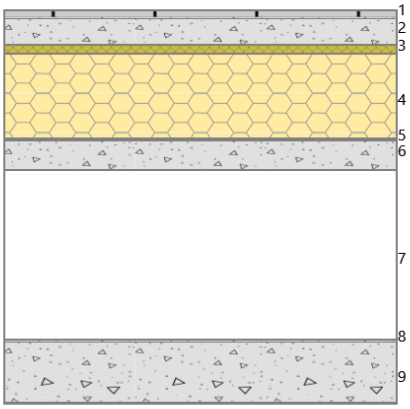


N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	*0,130*	-	-	-
1	Placca Carrarro - Fibrogesso	*25,00*	*0,3320*	*0,075*	*894*	*1,00*	*4*
2	Steico flex 036	*40,00*	*0,0380*	*1,053*	*60*	*2,10*	*1*
3	Pannelo XLAM	*80,00*	*0,1200*	*0,667*	*500*	*1,60*	*50*
4	Placca Carrarro - Fibrogesso	*25,00*	*0,3320*	*0,075*	*894*	*1,00*	*4*
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	*0,130*	-	-	-

Tabella 18: Stratigrafia muro divisorio tra alloggi.

Per ciò che concerne gli elementi orizzontali quali soffitti e pavimenti invece, si può iniziare l'analisi dal pavimento verso terra. Esso è spesso quasi un metro e lo strato dominante è l'intercapedine d'aria di 400 mm che permette al pavimento di superare le verifiche di condensa superficiale. Lo strato 4 in Tabella 19, denominato "POLITERM BLU 200 & POLITERM BLU FEIN 200" è un impasto cementizio leggero e termoisolante composto da perle a cella chiusa di polistirene espanso che garantiscono la perfetta impastabilità con il legante idraulico e l'assenza di funghi e batteri siccome non sono caratterizzate da componenti organici [23].

Trasmittanza termica	*0,224*	W/m²K
Trasmittanza controterra	*0,151*	W/m²K
Spessore	*932*	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	*-9,1*	°C
Permeanza	*0,955*	10^{-12}kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	*614*	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	*614*	kg/m²
Trasmittanza periodica	*0,008*	W/m²K
Fattore attenuazione	*0,053*	-
Sfasamento onda termica	*-20,7*	h



N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	*0,170*	-	-	-
1	Piastrelle in marmo	*20,00*	*3,0000*	-	*2700*	*1,00*	*10000*
2	Caldana addittivata per pannelli	*65,00*	*1,0000*	-	*1800*	*0,88*	*30*
3	Polistirene espanso per COVER	*20,00*	*0,0350*	-	*25*	*1,30*	*70*
4	POLITERM BLU 200 & POLITERM BLU FEIN 200	*200,00*	*0,0650*	-	*215*	*1,00*	*6*
5	Damproll materassino in gomma	*5,00*	*0,0990*	-	*600*	*1,74*	*20*
6	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	*70,00*	*1,4900*	-	*2200*	*0,88*	*70*
7	Intercapedine debolmente ventilata Av=600 mm²/m	*400,00*	-	-	-	-	-
8	Impermeabilizzazione con bitume	*2,00*	*0,1700*	-	*1200*	*1,00*	-
9	Sottofondo di cemento magro	*150,00*	*0,7000*	-	*1600*	*0,88*	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	*0,040*	-	-	-

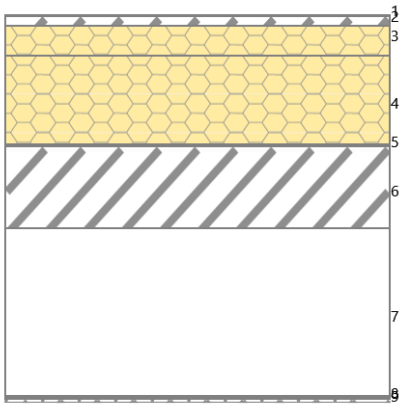
Tabella 19: Stratigrafia pavimento verso terra.

Per quanto riguarda la copertura invece alcuni materiali differenti vengono utilizzati, come per esempio membrana impermeabile "EVALON V", caratterizzata da un primo strato di etilene-vinil-acetato (EVA) e da un secondo di tessuto non tessuto che lo rendono resistente nel tempo e ideale per applicazione in cool-roof grazie anche all'abbinamento con un pannello di polistirene [24]. Sia per la copertura di altezza 2,70 m che per quella alta 4,10 m vi è l'utilizzo della fibra di legno come isolante, con un doppio spessore: verso l'esterno vi è un primo strato di "STEICO FLEX 036" da 80 mm, lo stesso utilizzato nelle pareti verticali, mentre il secondo è più spesso (240 mm) ed è del tipo "NATURALTHERM", apposito per isolamento di tetti e coperture.

La differenza nelle stratigrafie delle coperture di altezza differente sta nell'ultimo strato verso l'esterno: se la parte più bassa è rivestita da piastrelle di ceramica visto il suo utilizzo da parte degli abitanti, la parte alta 4,10 m è caratterizzata dallo strato finale di membrana EVALON siccome deve ospitare solamente i pannelli fotovoltaici e non quindi un uso continuativo da parte di persone bensì solo saltuario, in caso di manutenzione per esempio.

In Tabella 20 la stratigrafia della copertura alta 4,10 m viene mostrata:

Trasmittanza termica	*0,092*	W/m²K
Spessore	*1035*	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	*-9,1*	°C
Permeanza	*3,039*	10^{-12}kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	*173*	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	*173*	kg/m²
Trasmittanza periodica	*0,000*	W/m²K
Fattore attenuazione	*0,003*	-
Sfasamento onda termica	*-8,4*	h

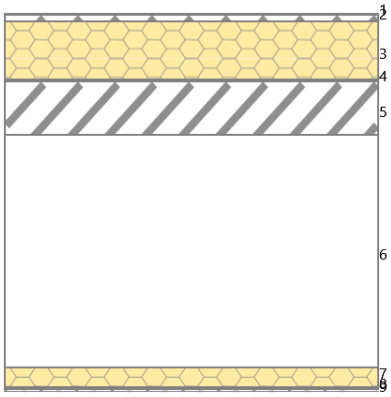


N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-
1	Evalon V - Membrana impermeabile	1,50	0,1700	0,009	1250	1,46	20000
2	Pannello OSB3	25,00	0,1300	0,192	600	2,10	200
3	Steico flex 036	80,00	0,0380	2,105	60	2,10	1
4	Naturatherm	240,00	0,0380	6,316	120	2,40	3
5	USB Micro 230/20 - Freno al vapore	1,00	0,2200	0,005	208	1,70	18868
6	Pannelo XLAM	220,00	0,1200	1,833	500	1,60	50
7	Intercapedine non ventilata Av<500 mm²/m	450,00	2,8125	0,160	-	-	-
8	Strato smorzante PHONOPRILL	5,00	0,1500	0,033	680	1,00	1
9	Cartongesso PHONOPRILL	12,50	0,2100	0,060	744	1,00	10
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Tabella 20: Stratigrafia copertura alta 4,10 m.

L'ultima struttura opaca è la copertura utilizzata per la zona piscina: siccome le condizioni termo-igrometriche di questo locale sono particolari, uno spessore maggiore per la copertura è da considerare. Sono presenti due strati separati di fibra di legno di diverso spessore con un'intercapedine d'aria di 950 mm che svolge la funzione di traspirante principale al fine di rimuovere il più possibile la condensa interstiziale.

Trasmittanza termica	0,092	W/m²K
Spessore	1535	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-9,1	°C
Permeanza	3,039	10^{-12}kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	173	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	173	kg/m²
Trasmittanza periodica	0,000	W/m²K
Fattore attenuazione	0,002	-
Sfasamento onda termica	-7,8	h



N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,071	-	-	-
1	Evalon V - Membrana impermeabile	1,50	0,1700	0,009	1250	1,46	20000
2	Pannello OSB3	25,00	0,1300	0,192	600	2,10	200
3	Naturatherm	240,00	0,0380	6,316	120	2,40	3
4	USB Micro 230/20 - Freno al vapore	1,00	0,2200	0,005	208	1,70	18868
5	Pannelo XLAM	220,00	0,1200	1,833	500	1,60	50
6	Intercapedine non ventilata Av<500 mm²/m	950,00	5,9375	0,160	-	-	-
7	Steico flex 036	80,00	0,0380	2,105	60	2,10	1
8	Strato smorzante PHONOPRILL	5,00	0,1500	0,033	680	1,00	1
9	Cartongesso PHONOPRILL	12,50	0,2100	0,060	744	1,00	10
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Tabella 21: Stratigrafia copertura zona piscina alta 2,70 m.

Si vuole specificare che fenomeni di condensa superficiali sono assenti per tutti gli elementi orizzontali descritti mentre quella interstiziale potrebbe essere presente in quantità talmente basse da poter essere considerata evaporabile durante il periodo estivo.

5.3.2 Componenti trasparenti

Se Villa Ginevra può essere considerata una perla della tenuta La Mandria, un grande merito è dei componenti finestrati di essa, i quali sono fondamentali per conferire un senso di respiro e comfort agli occupanti dell'abitazione, garantendo una visuale su tutto il giardino che circonda la Villa e permettendo l'ingresso della luce naturale in grado di far risaltare i colori degli interni: ben 32 finestre di dimensioni differenti sono presenti per una superficie totale di oltre 350 m^2.

Tutte le finestre dell'edificio sono caratterizzate da un triplo vetro dello spessore di 8 mm separati da 2 strati di argon da 12 mm. Si tratta quindi di vetri ad alte prestazioni in grado di garantire un risparmio energetico legato ai bassi valori di dispersioni che li contraddistinguono.

Alcuni parametri comuni a tutti i serramenti sono riassunti in Tabella 22:

Parametro	Unità di misura	Valore
Emissività ε	[-]	0,100
Fattore di trasmittanza solare $g_{gl,n}$	[-]	0,500
Trasmittanza vetro $[U_g]$	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	0,700
Fattore di trasmissione solare g	[-]	0,83

Tabella 22: Parametri comuni a tutti i componenti finestrati della Villa.

Tali parametri sono caratteristici unicamente del vetro utilizzato e non dipendono dalle dimensioni della finestra o dalla presenza o dal tipo di una chiusura oscurante: essi sono infatti dei valori che vengono ottenuti dal catalogo e riportati nel software che performa i calcoli prestazionali dell'edificio siccome sono fondamentali per i calcoli energetici degli apporti solari gratuiti e per quelli delle dispersioni. Da EDILCLIMA si può infatti arrivare alla conclusione che oltre 10 kW (Tabella 24 per risultati parziali) sono persi attraverso gli elementi finestrati (circa il 50% delle dispersioni totali, nonostante le ottime performance di questo tipo di vetri) ma allo stesso tempo si possono guadagnare circa 21 kWh grazie agli apporti solari invernali.

La trasmittanza termica di ogni componente finestrato dipende dalle dimensioni del telaio: si riporta il valor medio, pesato rispetto alle superfici di ogni finestra, ottenuto dal software (vedere Tabella 24 per i valori di ogni singolo componente):

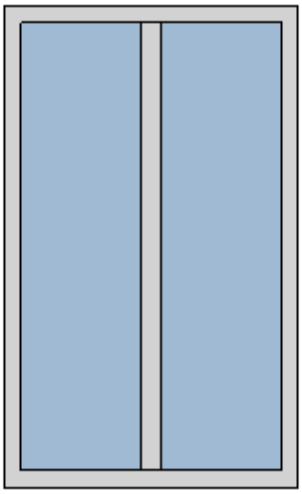
$$U_w = 0{,}915 \left[\frac{W}{m^2K}\right]$$

È bene sottolineare il fatto che ad ogni finestra venga associato uno specifico ponte termico caratterizzato da un valore di trasmittanza termica lineica Ψ standard:

$$\Psi = 0{,}040 \left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{mK}}\right]$$

Esso, se moltiplicato per il perimetro del serramento, permette di ricavare le perdite che devono essere associate ad ogni finestra.

Si riporta in Tabella 23, a titolo di esempio, la scheda con tutti i parametri che devono essere considerati quando si svolgono i calcoli delle prestazioni degli elementi finestrati:



Caratteristiche del serramento			
Tipologia di serramento	-		
Classe di permeabilità	*Classe 4 secondo Norma UNI EN 12207*		
Trasmittanza termica	U_w	*0,980*	W/m^2K
Trasmittanza solo vetro	U_g	*0,700*	W/m^2K
Dati per il calcolo degli apporti solari			
Emissività	ε	*0,100*	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\ inv}$	*1,00*	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\ est}$	*0,22*	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	*0,500*	-
Fattore trasmissione solare totale	g_{gl+sh}	*0,489*	-
Caratteristiche delle chiusure oscuranti			
Resistenza termica chiusure		*0,12*	m^2K/W
f shut		*0,6*	-
Dimensioni del serramento			
Larghezza		*160,0*	cm
Altezza		*262,0*	cm
Caratteristiche del telaio			
K distanziale	K_d	*0,08*	W/mK
Area totale	A_w	*4,192*	m^2
Area vetro	A_g	*3,193*	m^2
Area telaio	A_f	*0,999*	m^2
Fattore di forma	F_f	*0,76*	-
Perimetro vetro	L_g	*12,348*	m
Perimetro telaio	L_f	*8,440*	m
Caratteristiche del modulo			
Trasmittanza termica del modulo	U	*1,060*	W/m^2K
Ponte termico del serramento			
Ponte termico associato	*Z1*	*W - Parete - Telaio*	
Trasmittanza termica lineica	Ψ	*0,040*	W/mK
Lunghezza perimetrale		*8,44*	m

Tabella 23: Scheda tecnica componente finestrato.

Si ritiene però opportuno mostrare i valori fondamentali di ogni elemento vetrato, riassunti in Tabella 24, in modo tale da dare un'idea delle dimensioni di ogni finestra di Villa Ginevra e delle dispersioni che ognuna di esse ha per trasmissione:

Descrizione elemento	U_w [W/m²K]	θe [°C]	S_{Tot} [m²]	Φ_{tr} [W]	% Φ_{Tot} [%]
555x262 veneziana interna	*0,920*	*-9,1*	*14,54*	*467*	*2,3*
625x262 veneziana interna	*0,830*	*-9,1*	*16,38*	*435*	*2,1*
430x262 veneziana interna	*0,920*	*-9,1*	*33,81*	*1011*	*5,0*
60x262 veneziana interna	*1,070*	*-9,1*	*4,71*	*161*	*0,8*
150x262	*1,000*	*-9,1*	*3,93*	*126*	*0,6*
80x262	*1,000*	*-9,1*	*4,20*	*147*	*0,7*
110x340	*0,950*	*-9,1*	*7,48*	*222*	*1,1*
160x262	*0,980*	*-9,1*	*8,38*	*287*	*1,4*
300x262	*0,900*	*-9,1*	*7,86*	*247*	*1,2*
242x262 porta	*0,900*	*-9,1*	*9,73*	*268*	*1,3*
280x262	*0,810*	*-9,1*	*7,34*	*190*	*0,9*
245x340	*0,800*	*-9,1*	*8,33*	*204*	*1,0*
480x230	*0,890*	*-9,1*	*11,04*	*315*	*1,5*
325x340	*0,950*	*-9,1*	*11,05*	*336*	*1,7*
80x160	*1,020*	*-9,1*	*2,56*	*91*	*0,4*
530x340	*0,860*	*-9,1*	*18,02*	*541*	*2,7*
60x262	*1,070*	*-9,1*	*3,14*	*105*	*0,5*
70x160 veneziana interna	*1,140*	*-9,1*	*1,12*	*43*	*0,2*
90x262 veneziana interna	*0,890*	*-9,1*	*6,12*	*178*	*0,9*
680x340	*0,810*	*-9,1*	*23,12*	*627*	*3,1*
485x262	*0,820*	*-9,1*	*50,84*	*1365*	*6,7*
150x160	*0,880*	*-9,1*	*2,40*	*74*	*0,4*
120x262	*0,940*	*-9,1*	*12,56*	*387*	*1,9*
Lucernario 95x830	*1,000*	*-9,1*	*7,89*	*230*	*1,1*
150x262	*1,000*	*-9,1*	*3,93*	*132*	*0,6*
60x262	*1,070*	*-9,1*	*1,57*	*51*	*0,3*
160x262	*0,980*	*-9,1*	*4,19*	*137*	*0,7*
300x262	*0,900*	*-9,1*	*15,72*	*473*	*2,3*
80x262	*1,000*	*-9,1*	*2,10*	*70*	*0,3*
680x340	*0,810*	*-9,1*	*23,12*	*599*	*2,9*
150x262 veneziana interna	*1,000*	*-9,1*	*3,93*	*126*	*0,6*
430x262	*0,920*	*-9,1*	*22,54*	*664*	*3,3*
Totale	***-***	***-***	***353,65***	***10308***	***50,6***

Tabella 24: Riassunto componenti finestrati con parametri di maggiore interesse.

È utile sottolineare che la temperatura esterna alla quale vengono calcolati questi flussi è quella di progetto, equivalente a -9,1°C, ossia la temperatura imposta dalla Legge UNI 10349 del 2016 per il Comune nel quale è situata la costruzione: la situazione descritta è quindi la peggiore possibile che deve essere tenuta in considerazione in fase progettuale. Ci si auspica però che le perdite per trasmissione siano minori nel corso dell'anno, ma al fine di dimensionare gli impianti dell'edificio, il massimo flusso deve essere considerato.

6. Protocollo ITACA

Per l'abitazione oggetto del trattato è stato redatto il cosiddetto Protocollo ITACA, uno strumento per la certificazione del livello di sostenibilità ambientale degli edifici, attuato da alcune Regioni italiane al fine di promuovere la transizione energetica verso edifici sempre più performanti sotto ogni punto di vista, a partire da quello strutturale fino ad arrivare a quello energetico.

Il Comitato di Gestione è l'organo addetto alla gestione e alla redazione di tale documento ed è costituito da alcuni rappresentanti delle Regioni, da un team di membri di ITACA, cioè l'Istituto per l'Innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale, e vede inoltre la partecipazione di alcuni membri iiSBE Italia, ente fondatore del metodo *"SBMethod"*, sul quale si basa il Protocollo stesso. Tale metodologia nacque ad inizio degli anni 2000 all'interno di un processo internazionale coordinato da iiSBE (international initiative for a Sustainable Built Environment) con il nome di *"Green Building Challenge"* con l'obiettivo di sviluppare una sorta di standard di valutazione multicriteria degli edifici di tutto il mondo, lasciando comunque la possibilità di contestualizzazione rispetto ai singoli ambiti nazionali di applicazione. Il principio fondamentale di questo metodo è la quantificazione delle performance dell'edificio in questione, in particolare sul suo livello di sostenibilità: un punteggio di prestazione definito benchmark, variabile tra -1 (negativo) e +5 (ottimo), viene infatti assegnato per ogni indice, seguendo uno schema gerarchico a tre livelli: Aree, Categorie e Criteri.

È bene infatti specificare che questo punteggio finale è la somma pesata di alcuni specifici criteri prestazionali, economici, ambientali e sociali che, una volta aggregati, definiscono il punteggio complessivo della Categoria analizzata. La combinazione dei risultati parziali delle diverse Categorie va poi a determinare il punteggio delle Aree e delle performance dell'edificio al quale viene infine assegnato un punteggio finale sintetico che definisce il grado di miglioramento delle prestazioni energetico-ambientali rispetto al livello standard [25].

Pur mantenendo quindi la stessa struttura e le stesse linee guida di base, tale documento permette anche a livello nazionale, una contestualizzazione legata alle differenti caratteristiche territoriali di ogni Regione italiana, tenendo in considerazione per esempio i diversi profili climatici piuttosto che le diverse normative vigenti a livello locale.

In particolare, la Regione Piemonte, ha deciso di approvare il sistema di valutazione denominato *"Protocollo ITACA – Regione Piemonte – Edifici"* con la Deliberazione della Giunta Regionale n. 42-7890 del 16 novembre 2018, accorpando quelli che erano i precedenti standard tecnici in vigore, cioè il *"Protocollo ITACA sintetico 2009 Regione Piemonte"* e il *"Protocollo ITACA – Regione Piemonte – Edifici Pubblici 2017"* [26]. Tale passo importante è stato fatto soprattutto per ottenere uno strumento unico per la valutazione della sostenibilità degli edifici di ogni tipo, sia con destinazione residenziale che non residenziale, e soprattutto per cercare di ottenere un sistema burocratico più efficiente.

Il Protocollo ITACA della Regione Piemonte si basa quindi su una procedura che può essere articolata in 3 fasi distinte:

- Caratterizzazione: quantificazione delle prestazioni della costruzione in oggetto attraverso opportuni Indicatori;

- Normalizzazione: ogni Indicatore precedentemente definito viene adimensionalizzato e ad ogni Criterio viene assegnato un punteggio normalizzato tra -1 e +5;
- Aggregazione: combinazione dei punteggi parziali normalizzati al fine di ottenere il punteggio finale.

6.1 Criteri, Categorie e Aree di Valutazione

Come riportato in precedenza, il Protocollo ITACA si basa su una classificazione gerarchica che comprende Aree di Valutazione, formate da più Categorie, le quali a loro volta sono l'insieme di più Criteri: si andrà in questa sezione ad approfondire più dettagliatamente ogni singolo livello della piramide gerarchica.

Partendo dal vertice, si possono in prima istanza definire le cosiddette 5 macro Aree di Valutazione delle performance dell'edificio:

- Area A – Qualità del sito;
- Area B – Consumo di risorse;
- Area C – Carichi ambientali;
- Area D – Qualità ambientale indoor;
- Area E – Qualità del servizio.

Tali Aree sono suddivise in Categorie, ciascuna delle quali tratta aspetti maggiormente specifici rispetto ai macro-temi sopra citati, come per esempio quanta energia da fonti rinnovabili viene prodotta nell'edificio analizzato (Area B, Categoria B3.2) oppure le emissioni previste in fase operativa (Area C, Categoria C1.2). Esse sono infine suddivise in singoli Criteri di Valutazione, i quali rappresentano le voci di valutazione del metodo, alla base quindi di tutta la redazione del Protocollo, siccome sono i parametri fondamentali per la valutazione prestazionale dell'edificio per il quale si sta redigendo il documento.

È importante sottolineare il fatto che i Criteri possono essere di duplice natura:

- Criteri quantitativi, i quali vengono associati ad una o più grandezze fisiche definite Indicatori;
- Criteri qualitativi, i quali comparano un numero di differenti scenari di riferimento definiti dall'Indicatore di performance specifico.

Prima di andare a elencare tutti i parametri considerati per la definizione del Protocollo ITACA di Villa Ginevra, si ritiene ancora opportuno definire le singole voci che formano le cosiddette "schede criterio": [26]

- Esigenza: quale obiettivo di qualità ci si pone e si intende perseguire con la costruzione dell'edificio;
- Indicatore di prestazione: fornisce la possibilità di quantificare in modo oggettivo e numerico la prestazione della costruzione. Possono essere dotati di unità di misura oppure adimensionali;
- Unità di misura: indica in quale unità di misura del Sistema Internazionale viene espresso ogni singolo Indicatore, salvo esso sia adimensionale;

- Scala di prestazione: definisce la scala di normalizzazione per ogni Indicatore nell'intervallo da -1 a +5;
- Metodo e strumenti di verifica: vengono specificati siccome stanno alla base della caratterizzazione del valore di ogni singolo indicatore.

Si riporta in Tabella 25, il riassunto di ogni Area con le Categorie e i Criteri che la compongono, con i relativi pesi percentuali che ognuno di essi ha nella stesura del Protocollo ITACA per edifici residenziali in Piemonte: si ritiene opportuno specificare che la mancata consecutività nella numerazione dei codici dei parametri, non è un errore, bensì è dovuto al fatto che tali codici siano assegnati in riferimento alla lista dell'SBTool internazionale.

		PESI	
		nella categoria	nel tool completo
Qualità della localizzazione		**10%**	
Area A. Qualità del sito		**100%**	
A1 Selezione del sito		100%	
A1.5	Riutilizzo del territorio	45%	5%
A1.6	Accessibilità al trasporto pubblico	30%	3%
A1.8	Mix funzionale dell'area	10%	1%
A1.10	Adiacenza ad infrastrutture	15%	2%
Qualità dell'edificio		**90%**	
Area A. Qualità del sito		**5%**	
A3 Progettazione dell'area		100%	
A3.3	Aree esterne di uso comune attrezzate	33%	2%
A3.4	Supporto all'uso di biciclette	67%	3%
Area B. Consumo di risorse		**45%**	
B1 Energia primaria richiesta durante il ciclo di vita dell'edificio		29%	
B1.2	Energia primaria globale non rinnovabile	50%	6%
B1.3	Energia primaria totale	50%	6%
B3 Energia da fonti rinnovabili		12%	
B3.2	Energia rinnovabile per usi termici	50%	2%
B3.3	Energia prodotta nel sito per usi elettrici	50%	2%
B4 Materiali eco-compatibili		24%	
B4.6	Materiali riciclati/recuperati	53%	5%
B4.7	Materiali da fonti rinnovabili	24%	2%
B4.11	Materiali certificati	24%	2%
B5 Acqua Potabile		18%	
B5.1	Acqua potabile per usi irrigazione	50%	4%
B5.2	Acqua potabile per usi indoor	50%	4%
B6 Prestazioni dell'involucro		18%	
B6.1	Energia termica utile per il riscaldamento	50%	4%
B6.2	Energia termica utile per il raffrescamento	50%	4%
Area C. Carichi ambientali		**20%**	
C1 Emissioni di CO2 equivalente		33%	
C1.2	Emissioni previste in fase operativa	100%	6%
C4 Acque reflue		42%	
C4.3	Permeabilità del suolo	100%	8%
C6 Impatto sull'ambiente circostante		25%	
C6.8	Effetto isola di calore	100%	5%
Area D. Qualità ambientale indoor		**20%**	
D2 Ventilazione		20%	
D2.5	Ventilazione e qualità dell'aria	100%	4%
D3 Benessere termoigrometrico		25%	
D3.2	Temperatura operativa nel periodo estivo	100%	5%
D4 Benessere visivo		20%	
D4.1	Illuminazione naturale	100%	4%
D5 Benessere acustico		25%	
D5.6	Qualità acustica dell'edificio	100%	5%
D6 Inquinamento elettromagnetico		10%	
D6.1	Campi magnetici	100%	2%
Area E. Qualità del servizio		**10%**	
E3 Controllabilità degli impianti		38%	
E3.5	BACS	75%	3%
E3.6	Impianti domotici	25%	1%
E6 Mantenimento delle prestazioni in fase operativa		63%	
E6.5	Disponibilità della documentazione tecnica degli edifici	100%	6%

Tabella 25: Criteri, Categorie e Aree di Valutazione. [26]

6.2 Protocollo ITACA Villa Ginevra

L'obiettivo di questo capitolo è quello di focalizzare l'attenzione sulla redazione del Protocollo ITACA per l'edificio oggetto di tutta la trattazione: Villa Ginevra.

Come descritto nel Capitolo 5, le prestazioni della Villa possono considerarsi notevoli, sia dal punto di vista energetico che dal punto di vista della sostenibilità ambientale, tanto che il punteggio finale ITACA totalizzato da essa è di 2,9.

Si vuole ora entrare maggiormente nel dettaglio in modo tale da comprendere come si è arrivati ad ottenere tale punteggio finale, analizzando con accuratezza e precisione, i parametri più significativi per la redazione del Protocollo, focalizzandosi in particolare sui Criteri energetici ed i loro rispettivi Indicatori.

6.2.1 Area A – Qualità del sito

La prima macro Area di Valutazione è inerente alla qualità della localizzazione dell'abitazione e ha un peso del 10% sul totale del punteggio del Protocollo.

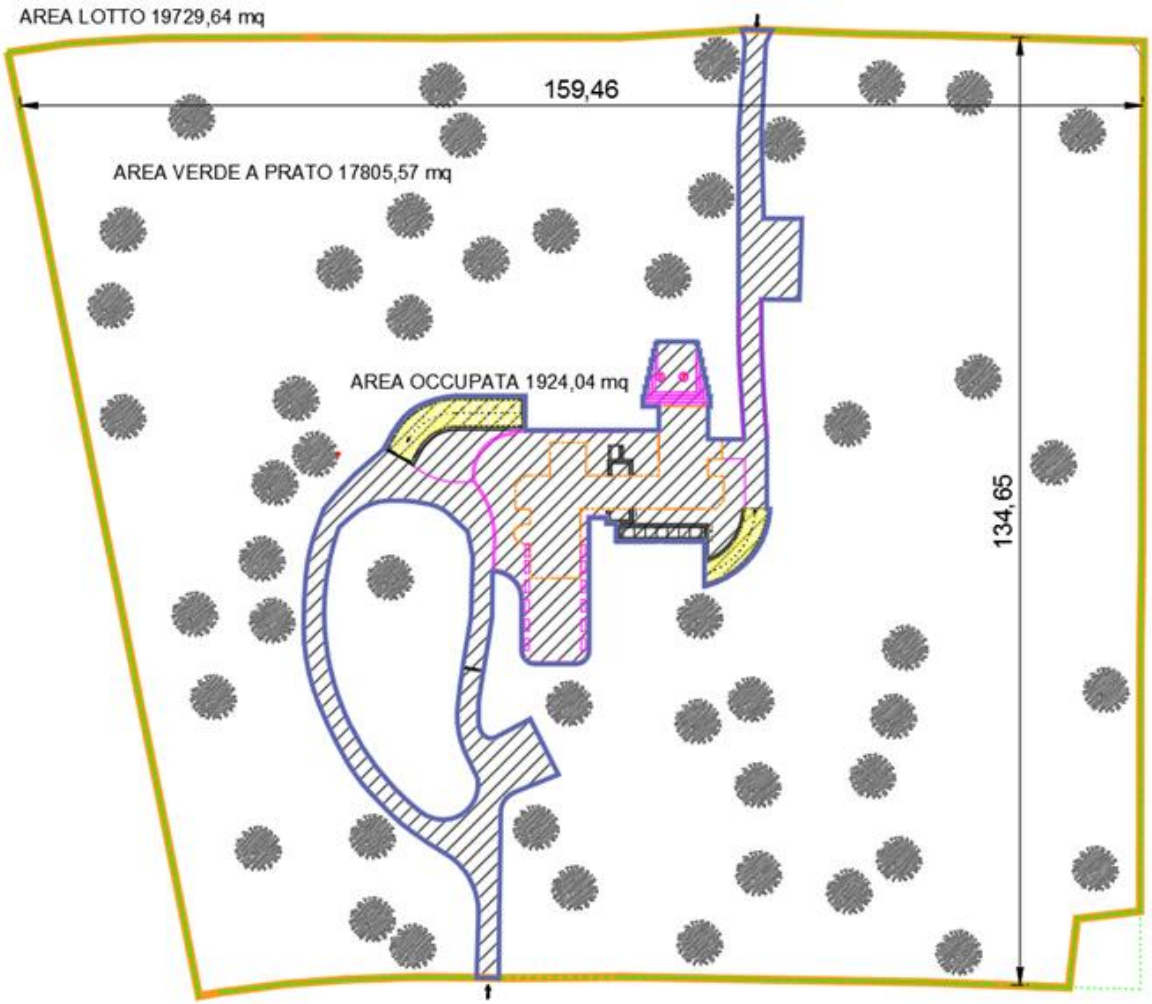


Figura 30: Estratto di planimetria area analizzata. [3]

In Figura 30 viene mostrato un estratto di planimetria con le dimensioni del lotto in questione, dell'area verde a prato, la quale non comprende al suo interno alcuna zona boschiva ed infine l'area effettivamente occupata dall'edificio.

Il primo Criterio, il quale conta un maggior peso percentuale in questa Area (45%), è il "Riutilizzo del territorio":

A1.5	Riutilizzo del territorio

SCALA DI PRESTAZIONE		
	-	PUNTI
NEGATIVO	<0	-1
SUFFICIENTE	0	0
BUONO	3	3
OTTIMO	5	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	0,3	
PUNTEGGIO:		0,3

Il punteggio ottenuto è di 0,3, quindi un risultato appena sufficiente: essendo stata demolita la vecchia abitazione per poi esserne costruita una nuova, ci si poteva attendere che il risultato non sarebbe stato particolarmente elevato. Per arrivare a tale punteggio, il seguente Indicatore è stato utilizzato:

$$Indicatore = \frac{Aa}{A} \cdot (-1) + \frac{Ab}{A} \cdot (0) + \frac{Ac}{A} \cdot (3) + \frac{Ad}{A} \cdot (5)$$

1. Individuare l'area del lotto di intervento e calcolarne l'estensione superficiale complessiva, A [m^2];

2. In base alle condizioni pre-intervento, verificare le caratteristiche dell'area del lotto e suddividere quest'ultimo in aree che siano omogeneamente attribuibili alle seguenti categorie:
   Aa: Area con caratteristiche del terreno allo stato naturale;
   Ab: Area verde e/o sulla quale erano ospitate attività di tipo agricolo;
   Ac: Area occupata da strutture edilizie o infrastrutture;
   Ad: Area sulla quale sono state svolte (o sono in programma) operazioni di bonifica del terreno (secondo quanto previsto dal D.Lgs. n.152/06).

AREE LOTTO	Superficie [m^2]	Indicatore [-]
A	19729,64	0,29
Aa	0	
Ab	17805,57	
Ac	1924,04	
Ad	0	

Tabella 26: Calcolo Indicatore A1.5.

Proseguendo nell'analisi di tale Area, il secondo Criterio riguarda l'accessibilità con trasporti pubblici: essendo la Villa localizzata all'interno del Parco Regionale de "La Mandria", il trasporto pubblico non è presente in alcun tipo, di conseguenza il punteggio per tale Criterio è di -1.

A1.6	Accessibilità al trasporto pubblico

SCALA DI PRESTAZIONE					
	CAPOLUOGO DI REGIONE	CAPOLUOGO DI PROVINCIA	CENTRO URBANO CON POPOLAZIONE > 5000 AB	CENTRO URBANO CON POPOLAZIONE ≤ 5000 AB	PUNTI
NEGATIVO	<2,5	<1,5	<1	<0,5	-1
SUFFICIENTE	2,5	1,5	1	0,5	0
BUONO	13	7,8	5,2	2,6	3
OTTIMO	20	12	8	4	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	0,0	
PUNTEGGIO:		-1

Per quanto riguarda il Criterio A1.8, esso è basato su quanto l'area disti a piedi da alcune tipologie di servizi, quali: bar, ristorante, negozio di alimentari, campo da golf e parco pubblico. I servizi tenuti in considerazione sono indicati in Tabella 27, nella quale viene specificata anche la distanza, mostrata poi nella Figure sottostanti.

	ID attività	Tipo	Ragione sociale	Indirizzo	Distanza [m]	Distanza media d_{media} [m]
Commercio	1	Bar	Bella Rosina	Rotta Fiano, 10070 Fiano TO	800	1380
Commercio	2	Ristorante	Romitage - Romi Snc Di Tanzilli Giovanni & C.	Via Rossini, 195, 10070 Borla TO	800	
Commercio	3	Negozio beni alimentari	Panda Market SRL	Largo Vittime di Bologna, 1, 10070 Cotonificio TO	2700	
Sport/Cultura	4	Campo da golf	Circolo Golf Torino - La Mandria	Via Agnelli, 40, 10070 Fiano TO	2400	
Servizi	5	Parco pubblico	Parco Naturale La Mandria	Via Carlo Emanuele II, 256 - 10078 Venaria Reale (TO) Edificio inserito all'interno del parco naturale	200	

Tabella 27: Parametri per calcolo Indicatore A1.8.

L'Indicatore è stato semplicemente calcolato come la distanza media tra le 5 distanze ricavate da Google Maps [27].

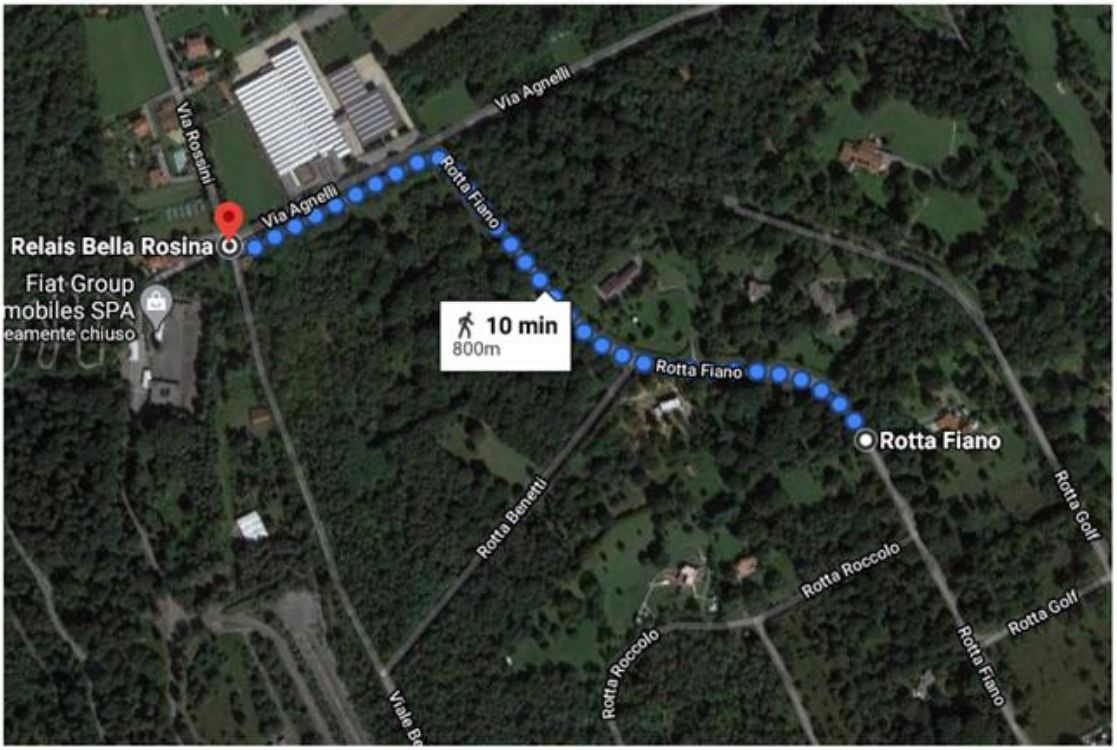


Figura 31: Distanza dell'edificio dal bar.

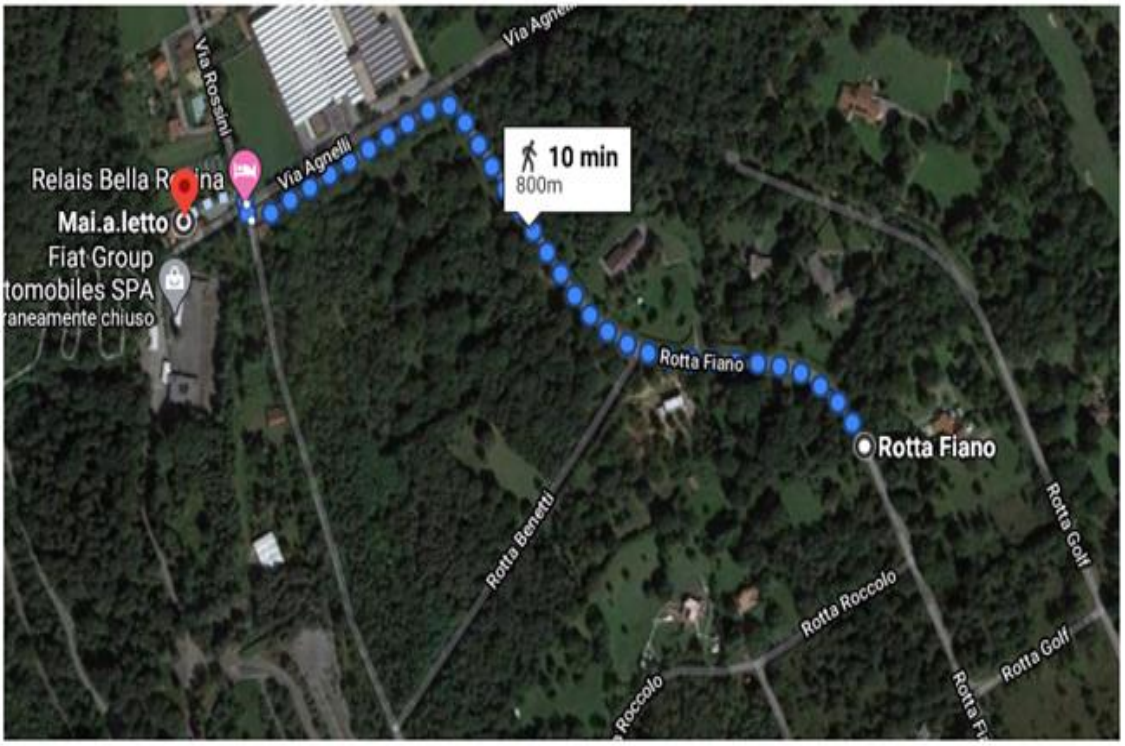


Figura 32: Distanza dell'edificio dal ristorante.

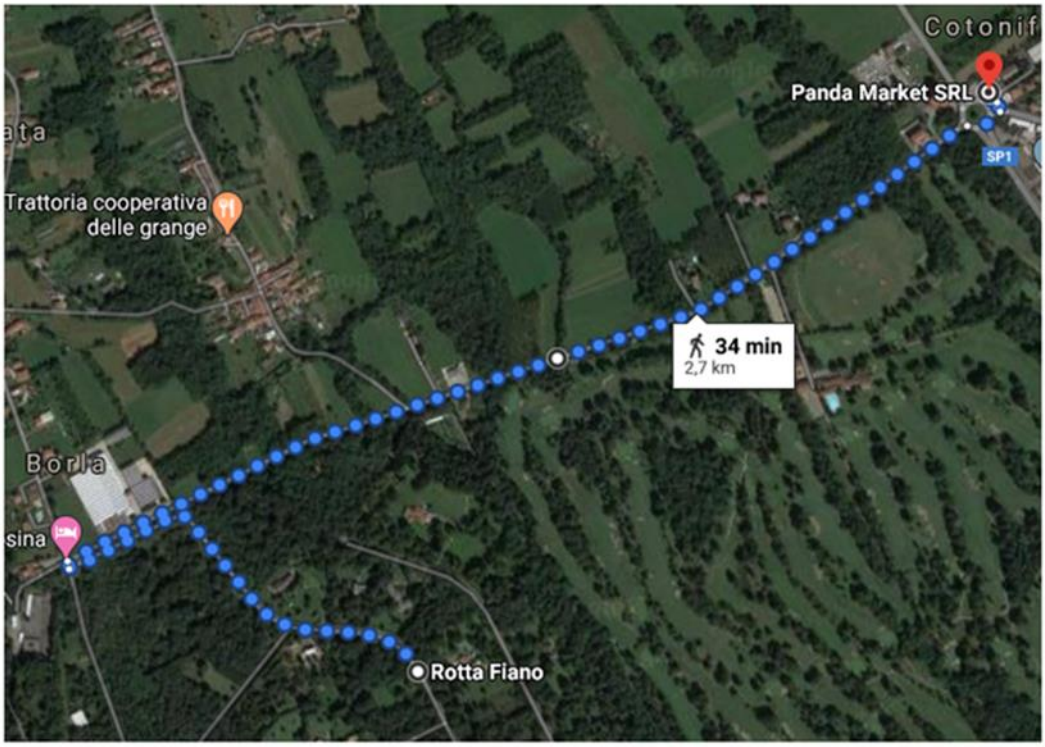


Figura 33: Distanza dell'edificio dal negozio di alimentari.

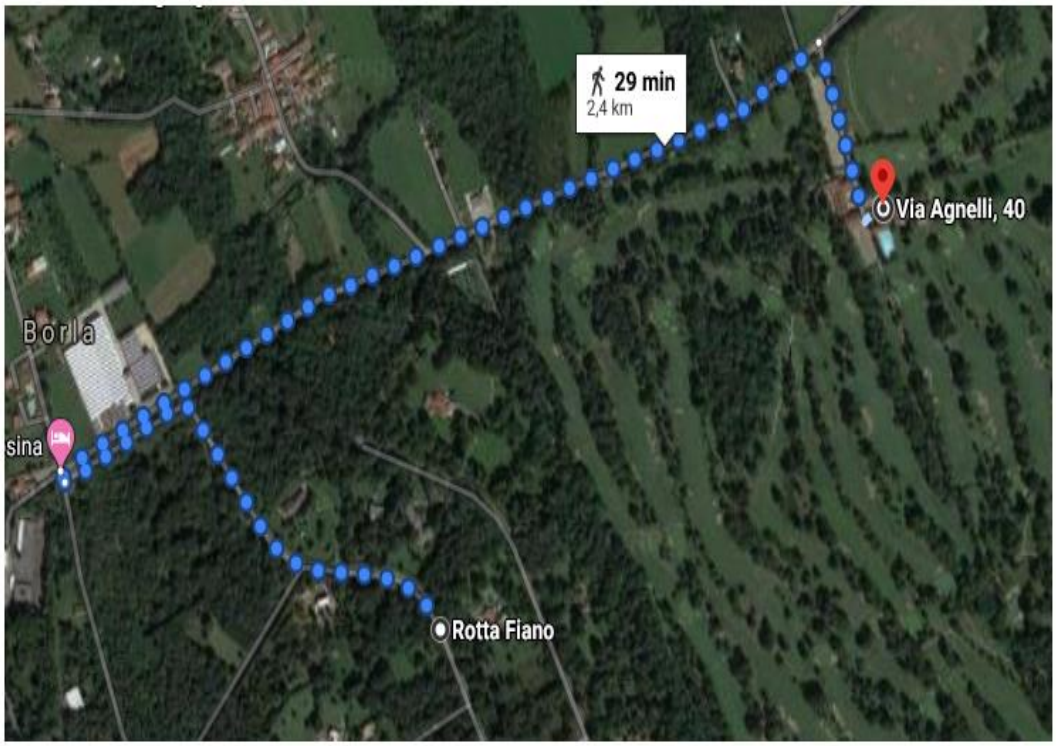


Figura 34: Distanza dell'edificio dal campo da golf.

L'ultimo Criterio analizzato per l'Area A è quello inerente all'adiacenza alle infrastrutture: essendo Villa Ginevra realizzata in una porzione di suolo già precedentemente occupata da un edificio, le reti da tenere in considerazione per la definizione di questo Criterio erano già presenti, il risultato sarà quindi ottimo.

A1.10 Adiacenza ad infrastrutture

SCALA DI PRESTAZIONE		
	m	PUNTI
NEGATIVO	>100	-1
SUFFICIENTE	100	0
BUONO	55	3
OTTIMO	25	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	25	
PUNTEGGIO:		5

$$Indicatore = \frac{De + Da + Df + Dg}{4}$$

De: lunghezza della linea per allacciamento alla rete elettrica [m];
Da: lunghezza della linea per allacciamento alla condotta di distribuzione dell'acqua potabile [m];
Df: lunghezza della linea per allacciamento alla rete fognaria [m];
Dg: lunghezza della linea per allacciamento alla rete di distribuzione del gas [m].

Infrastrutture	Distanza [m]	Indicatore [m]
De	25,00	25,00
Da	25,00	
Df	25,00	
Dg	25,00	

Tabella 28: Calcolo Indicatore A1.10.

Infine, è bene specificare che anche altri due Criteri devono essere considerati, quali "Aree esterne di uso comune attrezzate" e "Supporto all'uso di biciclette", i quali hanno ottenuto rispettivamente un punteggio di 3 e 5, siccome la Villa è caratterizzata da aree di sosta e aggregazione degli occupanti dell'edificio, dotate di sedute e zone d'ombra e aree per l'esercizio fisico all'aperto, in particolare con uno spazio dell'area al benessere fisico dotata di una pavimentazione idonea e di alcuni attrezzi per esercizi a corpo libero.

6.2.2 Area B – Consumo di risorse

La seconda Area di Valutazione che deve essere analizzata approfonditamente è quella inerente al consumo di risorse che, essendo incentrata sulle prestazioni energetiche dell'edificio, verrà studiata con un maggiore grado di dettaglio rispetto all'Area A.

Il primo Criterio da analizzare è quello riferito alla produzione di energia da fonti non rinnovabili, che, più basso sarà il risultato, tanto migliore sarà l'impatto ambientale dell'edificio.

Al fine di calcolare l'Indicatore per questo Criterio, bisogna confrontare l'edificio in analisi con un suo corrispettivo definito "Standard", per il quale si ipotizza di avere installati elementi edilizi e impianti standard, e redigere l'Attestato di Prestazione Energetica (APE) per entrambi, mantenendo costanti il volume riscaldato e la superficie disperdente; da tale documento, redatto grazie ai risultati ottenuti svolgendo i calcoli prestazionali dell'edificio sfruttando il software EDILCLIMA, si possono poi ricavare i valori utili per il calcolo dell'Indicatore. Risulta importante ricordare che la Villa è formata da due alloggi separati ed una zona comune: il suddetto confronto è stato fatto separatamente per ogni unità immobiliare.

Volume riscaldato - Alloggio 1	**2351,96**	**m^3**
Superficie disperdente - Alloggio 1	**1530,69**	**m^2**
Volume riscaldato - Alloggio 2	**953,81**	**m^3**
Superficie disperdente - Alloggio 2	**668,80**	**m^2**
Volume riscaldato - Zona comune	**908,06**	**m^3**
Superficie disperdente - Zona comune	**716,57**	**m^2**

Tabella 29: Superfici e volumi Alloggio 1, 2 e Zona comune.

I seguenti dati sono stati considerati per i calcoli dell'Indicatore:

Alloggio 1 – "Standard"		**Alloggio 1**	
Fonti energetiche utilizzate		**Fonti energetiche utilizzate**	
Energia elettrica da rete	**5785 kWh**	**Energia elettrica da rete**	**1316 kWh**
Gas Naturale	**7152 m^3**	**Solare fotovoltaico**	**7906 kWh**

Tabella 30: Approvvigionamento energetico Alloggio 1.

Alloggio 2 – "Standard"		**Alloggio 2**	
Fonti energetiche utilizzate		**Fonti energetiche utilizzate**	
Energia elettrica da rete	**3341 kWh**	**Energia elettrica da rete**	**487 kWh**
Gas Naturale	**3051 m^3**	**Solare fotovoltaico**	**4583 kWh**

Tabella 31: Approvvigionamento energetico Alloggio 2.

Zona comune – "Standard"		Zona comune	
Fonti energetiche utilizzate		Fonti energetiche utilizzate	
Energia elettrica da rete	4292 kWh	Energia elettrica da rete	6875 kWh
Gas Naturale	3402 m^3	Solare fotovoltaico	0 kWh

Tabella 32: Approvvigionamento energetico Zona comune.

Si possono adesso ricavare quelli che sono i parametri da inserire nella formula finale che viene riportata in seguito: si ricorda che S_i è la superficie utile riscaldata e non quella disperdente totale.

CALCOLI

1. Determinare il valore dell'indice di prestazione energetica globale dell'edificio, espresso in energia primaria non rinnovabile, (B).

Alloggio 1

$EP_{gl,nren}$ = 7,16 [kWh/m^2anno]

S_i = 358,27 [m^2]

Alloggio 2

$EP_{gl,nren}$ = 5,87 [kWh/m^2anno]

S_i = 161,77 [m^2]

Zona comune

$EP_{gl,nren}$ = 90,54 [kWh/m^2anno]

S_i = 148,08 [m^2]

$$EP_{gl,nren,medio} = \Sigma_i(EP_{gl,nren,i} \cdot S_i) \ / \ \Sigma_i(S_j)$$

$EP_{gl,nren,medio}$ = 25,328 [kWh/m^2anno]

2. Determinare il valore dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio di riferimento ipotizzando che in esso siano installati elementi edilizi e impianti standard, (A).

Alloggio 1

$EP_{gl,nren,rif,standard(2019/21)}$ = 239,84 [kWh/m²anno]

S_i = 358,27 [m²]

Alloggio 2

$EP_{gl,nren,rif,standard(2019/21)}$ = 237,11 [kWh/m²anno]

S_i = 161,77 [m²]

Zona comune

$EP_{gl,nren,rif,standard(2019/21)}$ = 296,29 [kWh/m²anno]

S_i = 148,08 [m²]

$$EP_{gl,nren,rif,standard(2019/21),medio} = \Sigma_i(EP_{gl,nren,rif,standard(2019/21),i} \cdot S_i) \ / \ \Sigma_i(S_i)$$

$EP_{gl,nren,rif,standard(2019/21),medio}$ = 251,690 [kWh/m²anno]

3. Calcolare il valore dell'indicatore di prestazione come rapporto percentuale tra il valore di EPgl,nren (B), e il valore di $EP_{gl,nren,rif,standard(2019/21)}$ (A), calcolati nei punti precedenti:

$$Indicatore = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{EP_{gl,nren}}{EP_{gl,nren,rif,standard}(2019/21)} \cdot 100$$

Indicatore = 10,06 [%]

Inserendo adesso questo risultato nella scala di prestazione del Protocollo ITACA, può essere ricavato il valore al Criterio B1.2:

B1.2 Energia primaria globale non rinnovabile

SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	>100	-1
SUFFICIENTE	100	0
BUONO	64	3
OTTIMO	40	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	10,06	
PUNTEGGIO:		5

Come ci si poteva aspettare, il risultato ottenuto è il migliore, essendo la Villa dotata di un impianto alimentato quasi totalmente da fonti rinnovabili: siccome il contributo da fonti non rinnovabili risulta essere minimo, per non dire assente, il punteggio ottenuto è uguale a 5.

Il secondo Criterio molto importante da tenere in considerazione è quello inerente all'energia primaria totale: al fine di determinare l'Indicatore, è necessario calcolare l'indice di prestazione energetica globale dell'edificio $EP_{gl,tot}$ come:

$$EP_{gl,tot} = EP_H + EP_W + EP_C + EP_V + EP_L + EP_T \quad \left[\frac{kWh}{m^2 anno}\right]$$

Dove, i termini precedenti indicano:

- EP_H: Prestazione energetica per riscaldamento;
- EP_W: Prestazione energetica per acqua sanitaria;
- EP_C: Prestazione energetica per raffrescamento;
- EP_V: Prestazione energetica per ventilazione;
- EP_L: Prestazione energetica per illuminazione;
- EP_T: Prestazione energetica per servizi.

Tale risultato, deve poi essere confrontato con il suo corrispettivo standard, ossia il valore limite che non deve essere superato, $EP_{gl,tot,limite}$.

CALCOLI

1. Determinare il valore dell'indice di prestazione energetica globale dell'edificio, espresso in energia primaria totale, (B).

Edificio

$EP_{gl,tot}$ = 94,97 [kWh/m²anno]

2. Determinare il valore limite dell'indice di prestazione energetica globale dell'edificio, espresso in energia primaria totale, (A).

Edificio

$EP_{gl,tot,lim}$ = 261,13 [kWh/m²anno]

3. Calcolare il valore dell'indicatore di prestazione come rapporto percentuale tra l'indice di prestazione energetica globale totale dell'edificio di progetto (EPgl,tot) e il valore limite determinato per l'edificio di riferimento ($EP_{gl,tot,limite}$):

$$Indicatore = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{EP_{gl,tot}}{EP_{gl,tot,\lim}} \cdot 100$$

Indicatore = 36,37 [%]

Dopo aver ottenuto questo valore di 36,37%, inserendolo nella tabella delle valutazioni, si può osservare come il risultato raggiunga il massimo anche per questo Criterio:

B1.3	Energia primaria totale

SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	>100	-1
SUFFICIENTE	100	0
BUONO	64	3
OTTIMO	40	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	36,37	
PUNTEGGIO:		5

Il terzo ed il quarto Criterio dell'Area B sono di fondamentale importanza per ciò che concerne l'utilizzo di energia prodotta da fonti rinnovabili: il Criterio B3.2 è infatti basato sull'energia rinnovabile utilizzata per scopi termici, quali riscaldamento degli ambienti e acqua calda sanitaria, mentre il Criterio B3.3 fa riferimento all'energia prodotta in sito per usi elettrici.

I risultati che sono stati ottenuti sono concordi alle aspettative: essendo installati 40 kWp di pannelli fotovoltaici, l'abitazione è quasi del tutto alimentata da essi, e, di conseguenza, i risultati per entrambi i Criteri mostrano un punteggio ottimale.

Si ritiene opportuno mostrare come si è giunti ai risultati sopra commentati e i calcoli svolti per gli Indicatori che hanno portato alla definizione dei Criteri B3.2 e B3.3:

B3.2	Energia rinnovabile per usi termici

SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	<100	-1
SUFFICIENTE	100	0
BUONO	112	3
OTTIMO	120	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	151,48	
PUNTEGGIO:		5

CALCOLI

1. Calcolare la QR quota di energia da fonti rinnovabili per i servizi energetici di riscaldamento, acqua calda sanitaria, e raffrescamento, secondo le norme tecniche in vigore e secondo quando indicato nel D.Lgs. 28/2011 e ss.mm.ii (B).

QR = 75,74 [%]

2. Determinare la quota di energia da fonti rinnovabili limite per i servizi energetici di riscaldamento, acqua calda sanitaria, e raffrescamento (QRlimite) a seconda che l'edificio sia privato o pubblico seguendo quando indicato nel D.Lgs. 28/2011 e ss.mm.ii. (A)

QR_{limite} = 50,00 [%]

3. Calcolare l'indicatore di prestazione come rapporto percentuale tra il valore della quota QR dell'edificio di progetto e il corrispondente valore limite (QRlimite), secondo la seguente formula:

$$\text{Indicatore} = B / A \cdot 100 = QR / QR_{limite} \cdot 100$$

Indicatore = 151,48 [%]

È bene inoltre mostrare come è stato calcolato il parametro QR:

$$QR = \frac{Q_{p,ren}}{Q_{p,tot}} = \frac{48056}{63451} = 75{,}74\ \%$$

Dove, i due valori di $Q_{p,ren}$ e $Q_{p,tot}$ sono stati ricavati da EDILCLIMA e rappresentano rispettivamente il fabbisogno termico coperto da fonti rinnovabili per il riscaldamento, ACS e raffrescamento, e quello totale dell'intero edificio.

Inerente all'energia prodotta in sito e sfruttata per usi elettrici, essendo il limite minimo di produzione da fonti rinnovabili imposto per Legge, secondo il Decreto legislativo 28/2011 (12,90 kW), molto minore rispetto alla potenza installata (40 kW), è lecito attendersi che il punteggio sarà massimizzato anche per il Criterio B3.3.

B3.3 Energia prodotta nel sito per usi elettrici

SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	<100	-1
SUFFICIENTE	100	0
BUONO	160	3
OTTIMO	200	5
VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	229,1	
PUNTEGGIO:		5

CALCOLI

1. Calcolare la potenza P [kW] di impianti a fonti energetiche rinnovabili elettriche (FER) installati in situ ovvero sopra o all'interno o nelle immediate vicinanze dell'edificio di progetto in relazione alle scelte progettuali e costruttive del sistema stesso, (B).

P = 40,00 [kW]

2. Calcolare il valore limite della potenza Plimite [kW] a seconda che l'edificio sia privato o pubblico seguendo quando indicato nel D.Lgs. 28/2011 e ss.mm.ii. (A).

P_{limite} = 17,46 [kW]

3. Calcolare il rapporto percentuale tra la potenza installata nell'edificio e la potenza limite secondo la seguente formula:

$$\text{Indicatore} = B / A \cdot 100 = P / P_{limite} \cdot 100$$

Indicatore = 229,10 [%]

Non solo la produzione energetica caratterizza l'Area B del Protocollo ITACA, bensì anche la definizione dei materiali utilizzati per la costruzione dell'edificio: ci si sposterà infatti adesso sull'analisi dei materiali riciclati utilizzati per poi passare a quelli prodotti da fonti rinnovabili. È doveroso attendersi che, essendo Villa Ginevra totalmente costruita con pannelli in legno, la componente rinnovabile avrà un ruolo fondamentale, favorendo un impatto più che positivo dal punto di vista ambientale, in particolare relativo alle emissioni di CO_2 evitate, non solo in fase di costruzione ma anche in fase di produzione dei materiali stessi: è bene ricordare che gli alberi immagazzinano al loro interno CO_2 durante il processo di fotosintesi, svolgendo un ruolo di sequestratori naturali di anidride carbonica e che quindi, anche un domani in fase di smaltimento in cui il materiale potrebbe essere bruciato producendo CO_2, l'impatto sull'ambiente sarà comunque nullo.

Come si può evincere dalla valutazione del Criterio B4.6 inerente ai materiali riciclati invece, il risultato è alquanto negativo: una percentuale rilevante di materiale riciclato la si può osservare solamente per i pannelli in fibra di legno utilizzati come isolanti termici (100% materiali recuperati) e per i pannelli in lana di roccia utilizzati come isolanti acustici in alcune pareti (35% materiali recuperati).

B4.6 Materiali riciclati/recuperati

SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	< 15	-1
SUFFICIENTE	15	0
BUONO	36	3
OTTIMO	50	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	5,83	
PUNTEGGIO:		-1

Al fine di rendere più chiaro il raggiungimento di tale risultato, si mostra la procedura di calcolo dell'Indicatore prestazionale, considerando che tutti il peso complessivo dei materiali utilizzati è stato ricavato dal software (vedere Paragrafo 5.3 per le stratigrafie dei componenti):

2. Calcolare il peso complessivo Ptot [kg] dei materiali utilizzati per l'edificio contenuti nell'inventario (vedi punto 1) tramite la formula (A):

$$P_{tot} = \sum P_i$$

dove:
P_i = peso del materiale i-esimo, [kg].

P_{tot} = 1302924,06 [kg]

3. Calcolare il peso dei singoli materiali riciclati e/o di recupero utilizzati per l'edificio.

$$\mathrm{Pr}_j = P_j \cdot R_j$$

dove:
P_j = peso del materiale j-esimo, [m³];
R_j = percentuale di materiale riciclato/recuperato del materiale j-esimo, [%].

Pr_j = vedasi tabella [kg]

4. Calcolare il peso complessivo Prtot [kg] dei materiali riciclati e/o di recupero utilizzati per l'edificio (B) tramite la formula:

$$\mathrm{Pr}_{tot} = \sum \mathrm{Pr}_j$$

dove:
Pr_j = peso di materiale riciclato/recuperato contenuto nel materiale/componente j-esimo, [kg].

Pr_{tot} = 75951,29 [kg]

5. Calcolare il valore dell'indicatore di prestazione come rapporto percentuale tra il peso Prtot [kg] dei materiali riciclati/recuperati impiegati in progetto (B) e il peso totale Ptot [kg] dei materiali impiegati nell'intervento in esame (A):

$$Indicatore = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{\mathrm{Pr}_{tot}}{P_{tot}} \cdot 100$$

Indicatore = 5,83 [%]

Per ciò che concerne invece il calcolo dell'Indicatore riguardante i materiali da fonti rinnovabili, cioè il Criterio B4.7, i risultati ottenuti sono maggiormente significativi: il punteggio ottenuto è di 2,7, quindi un risultato quasi buono secondo la scala di prestazione; per quanto ci si potesse aspettare di più da questo Criterio, è bene ricordare che alcuni materiali utilizzati, quali per esempio le membrane traspiranti anti muffe, piuttosto che i vetri delle finestre, non siano caratterizzati da alcuna percentuale rinnovabile e, essendo l'Indicatore definito tenendo in considerazione la totalità dei materiali, si può comprendere il motivo per il quale il punteggio non sia tendente all'ottimo ma si stanzi nell'intorno del buono.

B4.7	Materiali da fonti rinnovabili

SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	-	-1
SUFFICIENTE	0,0	0
BUONO	19,8	3
OTTIMO	33,0	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	17,66	
PUNTEGGIO:		2,7

La metodologia di calcolo utilizzata per arrivare a tale risultato è simile a quella per il Criterio B4.6:

2. Calcolare il peso complessivo Ptot [kg] dei materiali utilizzati per l'edificio contenuti nell'inventario (vedi punto 1) tramite la formula (A):

$$P_{tot} = \sum P_i$$

dove:
P_i = peso del materiale i-esimo, [kg].

P_{tot} = 1302924,06 [kg]

3. Calcolare il peso dei singoli materiali da fonte rinnovabile utilizzati per l'edificio.

$$\mathrm{Pr}_j = P_j \cdot R_j$$

dove:
P_j = peso del materiale j-esimo, [m³];
R_j = percentuale di materiale da fonte rinnovabile del materiale j-esimo, [%].

Pr_j = vedasi tabella [kg]

4. Calcolare il peso complessivo Prtot [kg] dei materiali riciclati e/o di recupero utilizzati per l'edificio (B) tramite la formula:

$$\mathrm{Pr}_{tot} = \sum \mathrm{Pr}_j$$

dove:
Prj = peso di materiale da fonte rinnovabile contenuto nel materiale j-esimo, [kg].

Pr_{tot} = 230031,25 [kg]

5. Calcolare il valore dell'indicatore di prestazione come rapporto percentuale tra il peso Prtot [kg] dei materiali riciclati/recuperati impiegati in progetto (B) e il peso totale Ptot [kg] dei materiali impiegati nell'intervento in esame (A):

$$Indicatore = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{\mathrm{Pr}_{tot}}{P_{tot}} \cdot 100$$

Indicatore = 17,66 [%]

L'analisi procede con il Criterio B4.11, denominato "materiali certificati": risulta doveroso approfondire cosa si intende per "certificazione" dei materiali.

I materiali utilizzati per le costruzioni edilizie vengono sottoposti alla cosiddetta Dichiarazione Ambientale di Prodotto, nota come EPD (dall'inglese, Environmental Product Declaration), la quale descrive qual è l'impatto ambientale di uno specifico prodotto, tenendo in considerazione tutto il suo Life Cycle Assessment (LCA), quindi da quando le materie prime necessarie per la realizzazione del prodotto finale vengono estratte, passando per il loro trasporto fino ad arrivare alla dismissione del prodotto stesso: questa analisi completa di tutto il ciclo di vita di un materiale è nota come "from cradle to grave", cioè "dalla culla alla tomba".

Consumi energetici, emissioni di CO_2, consumo di materie prime, produzione di rifiuti riciclabili e non, portano ad ottenere indicatori sintetici finali per ogni materiale utilizzato, tra cui il cosiddetto "Global Warming Potential", piuttosto che le quantità di anidride carbonica prodotta per ogni tonnellata di prodotto analizzato: l'obiettivo di questo documento è quindi quello di ottenere un risultato oggettivo e comparabile con quelli di altri prodotti della stessa categoria.

È bene sottolineare che le etichettature ambientali definite dalla serie di norme ISO 14020 dei prodotti sono di tre tipologie: [28]

- Tipo I: etichette ecologiche volontarie basate su un sistema multicriteria che considera l'intero ciclo di vita del prodotto, sottoposte a certificazione esterna da parte di un ente indipendente e definite dalla normativa ISO 14024;
- Tipo II: etichette ecologiche che riportano auto-dichiarazioni ambientali da parte di produttori, importatori o distributori di prodotti, senza che vi sia l'intervento di un organismo indipendente di certificazione, definite dalla ISO 14021;
- Tipo III: etichette ecologiche che riportano dichiarazioni basate su parametri stabiliti e che contengono una quantificazione degli impatti ambientali associati al ciclo di vita del prodotto calcolato attraverso un sistema LCA. Tale categoria comprende proprio le certificazioni EPD, le quali sono sottoposte ad un controllo indipendente e vengono regolate dalla normativa UNI EN ISO 14025.

Appurato che le certificazioni di interesse nel caso specifico analizzato durante la trattazione siano quelle di Tipo III, al fine di comprendere come l'Indicatore B4.11 venga calcolato, si ritiene opportuno entrare nel dettaglio dei suddetti documenti, specificando che un'ulteriore norma ne regoli la definizione, la UNI EN 15804 *"Sostenibilità delle costruzioni – Dichiarazioni ambientali di prodotto – Regole quadro di sviluppo per categoria di prodotto"* [29]. Essa si pone l'obiettivo di allineare il contenuto tecnico delle EPD a livello internazionale, richiedendo alcuni requisiti di qualità dei dati maggiormente dettagliati, soprattutto in merito alla rappresentatività tecnologica e geografica degli stessi, ma anche l'analisi della qualità dei dati, in modo da rendere più comprensibile le informazioni contenute nelle Certificazioni anche agli estranei del mondo LCA.

Come si può osservare nella Tabella 33, i materiali utilizzati per la costruzione di Villa Ginevra dotati di certificazioni ambientali sono i seguenti:

Materiale	Etichettatura ambientale di Tipo I - UNI EN ISO 14024	Dichiarazione EPD di categoria - UNI EN 15804	Dichiarazione EPD specifica di prodotto - UNI EN 15804	Dichiarazione ambientale di Tipo III - UNI EN ISO 14025
3Therm Wall 180 - Pannello in fibra di legno	-	-	1	-
3Therm Top 180 - Pannello in fibra di legno	-	-	1	-
Natutatherm - Materassino fibra di legno	-	-	1	-
USB Micro 230/20 – Freno al vapore	-	-	1	-
USB Micro light – Freno al vapore	-	-	1	-
USB Windtop UV – Membrana traspirante	-	-	1	-
Placca Carraro - fibrogesso	-	-	1	-
Evalon V - Membrana impermeabile	-	-	1	-

Tabella 33: Materiali utilizzati dotati di certificazioni ambientali.

B4.11 Materiali certificati

SCALA DI PRESTAZIONE		
	-	PUNTI
NEGATIVO	-	-1
SUFFICIENTE	0	0
BUONO	15	3
OTTIMO	25	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	10	
PUNTEGGIO:		2

Al fine di ottenere questo risultato per tale Indicatore, si vuole mostrare quali sono i calcoli che sono stati effettuati seguendo la procedura fornita dal Protocollo ITACA:

CALCOLI

1. Determinare il numero (A) complessivo di prodotti dotati di marchio/dichiarazione di Tipo I, conforme alla norma UNI EN ISO 14024.

A = 0

2.Determinare il numero (B) complessivo di prodotti dotati di EPD di categoria, conforme alla norma UNI EN 15804.

B = 0

3. Determinare il numero (C) complessivo di prodotti dotati di EPD specifica di prodotto, conforme alla UNI EN 15804.

C = 8

4. Determinare il numero (D) complessivo di prodotti dotati di marchio/dichiarazione di Tipo III conforme alla UNI EN ISO 14025.

D = 0

5. Calcolare il valore dell'indicatore di prestazione secondo la seguente formula:

$$Indicatore = A \cdot 1{,}5 + B \cdot 0{,}5 + C \cdot 1{,}25 + D \cdot 1$$

Indicatore = 10,00

Il risultato ottenuto è intermedio, viene raggiunta la sufficienza ma senza eccellere.

Non ci si soffermerà ora particolarmente sui Criteri B5.1 "Acqua potabile per usi irrigazione" e B5.2 "Acqua potabile per usi indoor", non essendo di particolare interesse ai fini dello sviluppo del trattato; si ritiene solamente utile, a fini giustificativi del punteggio globale ottenuto dall'edificio, mostrare i punteggi parziali ottenuti per i Criteri sopra citati:

B5.1 Acqua potabile per usi irrigazione

SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	-	-1
SUFFICIENTE	0	0
BUONO	60	3
OTTIMO	100	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	62,12	
PUNTEGGIO:		3,1

B5.2 Acqua potabile per usi indoor

SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	-	-1
SUFFICIENTE	0	0
BUONO	30	3
OTTIMO	50	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	15,80	
PUNTEGGIO:		1,6

Risultano invece molto più significativi e degni di nota gli ultimi due Criteri dell'Area B, riguardanti l'energia termica utile per il riscaldamento e per il raffrescamento dell'abitazione.

Per ciò che concerne l'energia termica utile per il riscaldamento, Criterio B6.1, i risultati ottenuti sono ottimali, non migliorabili:

B6.1 Energia termica utile per il riscaldamento

SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	>100	-1
SUFFICIENTE	100	0
BUONO	80	3
OTTIMO	66,7	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	50,68	
PUNTEGGIO:		5

Sfruttando la metodologia riportata in seguito e servendosi dei risultati dei calcoli performati con il software EDILCLIMA, risulta evidente il motivo per il quale l'Indicatore abbia un punteggio massimo.

CALCOLI

1. Determinare il valore dell'indice di prestazione termica utile per riscaldamento dell'edificio, (B) $EP_{H,nd}$ [kWh/m²].

$EP_{H,nd}$ = 49,09 [kWh/m²]

2. Determinare il valore limite dell'indice di prestazione termica utile per riscaldamento dell'edificio, (A) $EPH_{,nd,limite}$ [kWh/m²].

$EP_{H,nd,limite}$ = 96,86 [kWh/m²]

3. Calcolare il valore dell'indicatore di prestazione come rapporto percentuale tra il valore dell'indice di prestazione termica utile per il riscaldamento dell'edificio di progetto e il valore limite dell'indice di prestazione termica utile per il riscaldamento dell'edificio di riferimento:

$$Indicatore = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{EP_{H,nd}}{EP_{H,nd,\lim}} \cdot 100$$

Indicatore = 50,68 [%]

Dove il parametro chiave $EP_{H,nd}$ è stato ottenuto dividendo il valore $QP_{H,nd}$ ottenuto dal software, per la superficie totale che dell'edificio (ed inoltre mostrato nell'Attestato di Prestazione Energetica allegato). Procedimento analogo è stato fatto anche per il valore limite sfruttato per il confronto e l'ottenimento dell'Indicatore.

Situazione e procedura analoga sono sfruttate per il Criterio B6.2, soffermandosi però sui fabbisogni e consumi energetici per il raffrescamento.

B6.2 Energia termica utile per il raffrescamento

SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	>100	-1
SUFFICIENTE	100	0
BUONO	80	3
OTTIMO	66,7	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	65,13	
PUNTEGGIO:		5

CALCOLI

1. Determinare il valore dell'indice di prestazione termica utile per il raffrescamento dell'edificio, (B) $EPc_{,nd}$ [kWh/m²].

$EPc_{,nd}$ = 19,48 [kWh/m²]

2. Determinare il valore limite dell'indice di prestazione termica utile per il raffrescamento dell'edificio, (A) $EPc_{,nd,limite}$ [kWh/m²].

$EPc_{,nd,limite}$ = 29,91 [kWh/m²]

3. Calcolare il valore dell'indicatore di prestazione come rapporto percentuale tra il valore dell'indice di prestazione termica utile per il raffrescamento dell'edificio di progetto e il valore limite dell'indice di prestazione termica utile per il raffrescamento dell'edificio di riferimento:

$$Indicatore = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{EP_{C,nd}}{EP_{C,nd,\lim}} \cdot 100$$

Indicatore = 65,13 [%]

Si ricorda sempre che tutti i valori utilizzati per il calcolo dell'Indicatore vengono ricavati mediante simulazione delle performance energetiche dell'edificio tramite software e successivamente inseriti in un apposito foglio di calcolo fornito specificatamente per la redazione del Protocollo ITACA.

6.2.3 Area C – Carichi ambientali

La sottosezione C del Protocollo approfondisce quelli che sono gli aspetti legati ai carichi ambientali dell'edificio analizzato, mettendo in risalto molteplici aspetti, dalle emissioni di anidride carbonica previste durante la sua vita, all'impatto che esso avrà sul suolo sul quale è edificato. È bene specificare che tale Area è più breve e meno ricca di informazioni rispetto alla precedente, ciononostante il suo peso percentuale sulla valutazione complessiva dell'edificio è comunque del 20%.

Il Criterio C1.2 è sicuramente quello di maggiore rilevanza in questa sezione: esso è intitolato "Emissioni previste in fase operativa" ed è quindi incentrato sull'impatto ambientale che la costruzione ha sull'ambiente circostante, in particolar modo fornendo un parametro quantitativo su quelle che saranno le emissioni di CO_2 previste da parte dell'edificio stesso, durante la sua vita. È importante porre l'attenzione sul fatto che, per l'analisi di questo Criterio, venga tenuta in considerazione solamente la fase operativa della Villa, e che quindi le fasi di costruzione piuttosto che del potenziale smantellamento dell'edificio vengano escluse ai fini dei calcoli.

Come già è stato fatto per il calcolo dell'Indicatore B1.2, anche in questo caso bisogna prendere un edificio "standard" come riferimento, in modo tale da poter avere un confronto tra le emissioni prodotte dall'edificio reale e quelle che sarebbero prodotte se l'edificio avesse impianti standard, quindi caldaia a condensazione per riscaldamento e acqua calda sanitaria e non fossero presenti impianti da fonti rinnovabili.

CALCOLI

1. Determinare la quantità di emissioni di CO2 equivalente [kg/m^2] annua prodotta per l'esercizio dell'edificio di progetto, (B).

B = 5 [kg/m^2]

2. Determinare la quantità di emissioni di CO2 equivalente [kg/m^2] annua prodotta per l'esercizio dell'edificio di riferimento
ipotizzando che in esso siano installati elementi edilizi e impianti standard, (A).

A = 52 [kg/m²]

3. Calcolare il valore dell'indicatore di prestazione come rapporto percentuale tra la quantità di emissioni di CO2 equivalente prodotta per l'esercizio dell'edificio di progetto, e la quantità di emissioni di CO2 equivalente prodotta per l'esercizio dell'edificio di riferimento con tecnologie standard, secondo la seguente formula:

$$Indicatore = \frac{B}{A} \cdot 100$$

dove:
B = emissioni di CO_2 equivalente annua prodotta per l'esercizio dell'edificio di progetto, [kg CO_2/m^2];
A = emissioni di CO_2 equivalente annua prodotta per l'esercizio dell'edificio di riferimento dotato di tecnologie standard, [kg CO_2/m^2].

Indicatore = 9,61 [%]

Inserendo questo valore percentuale ottenuto all'interno della scala di prestazione, risulta evidente come il risultato ottenuto per l'abitazione analizzata non sia solo ottimo, ma sia di molto inferiore alla soglia del raggiungimento del risultato massimo.

C1.2 Emissioni previste in fase operativa

SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	>100	-1
SUFFICIENTE	100	0
BUONO	64	3
OTTIMO	40	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	9,61	
PUNTEGGIO:		5

Il risultato che si è ottenuto per questo Indicatore conferma quelle che sono le aspettative: essendo Villa Ginevra alimentata unicamente da fonti rinnovabili, in particolare grazie al contributo dei pannelli fotovoltaici che alimentano le pompe di calore responsabili del riscaldamento degli ambienti, è doveroso aspettarsi che le emissioni di CO_2 equivalente siano pressoché nulle, come infatti è evidenziato dal parametro B ($5\,\frac{kg}{m^2}$), di gran lunga minore rispetto al parametro A ($52\,\frac{kg}{m^2}$), caratterizzante l'edificio standard. Entrambi i parametri sono stati trovati svolgendo i calcoli mediante il software EDILCLIMA e riportati nella compilazione del Protocollo ITACA.

Nella redazione del trattato si è deciso di non entrare nel dettaglio del Criterio C4.3 "Permeabilità del suolo", per il quale l'edificio ha ottenuto un punteggio di 4,4, essendo considerato poco rilevante ai fini energetici, mentre si vuole focalizzare maggiormente l'attenzione su quello che è il Criterio C6.8, inerente al cosiddetto "Effetto isola di calore".

Questo termine viene utilizzato per indicare l'incremento di temperatura che si ha, quando ci si sposta dalle zone prettamente rurali ai centri cittadini, dovuto soprattutto alla presenza di attività umane, al diradarsi delle aree verdi, all'utilizzo di materiali predisposti ad assorbire calore, come per esempio l'asfalto delle strade e i rivestimenti degli edifici urbani, o, ancora, il contributo legato al traffico, molto maggiore in città rispetto alle zone rurali.

Al fine di determinare tale effetto per Villa Ginevra, bisogna come prima cosa definire quali sono i materiali utilizzati per le coperture e le aree scoperte, con il relativo indice di riflessione solare (SRI):

Tipologia	Si,i [m²]	SRI Indice di riflessione solare	Sreic,i [m²]
Copertura piana con membrana Evalon V	891,88	78	891,88
Pavimentazione carrabile lastricato di pietra grigia	745,08	45	0
Pavimentazione esterna in pietra grigia	251,72	45	0
Pavimentazione pedonale pietra scura	176,98	14	0
Pavimentazione in ghiaia	43,41	22	0
Rampa di accesso piano interrato	130,9	37	0

Tabella 34: Materiali utilizzati per coperture e relativi SRI.

Una volta definite le superfici coprenti, si può procedere con il calcolo dell'Indicatore che rappresenta come viene ridotto l'effetto isola di calore:

1. Calcolare l'area complessiva del lotto, (A).

S_i = 19729,64 [m²]

2. Calcolare l'area complessiva delle superfici esterne di pertinenza e della copertura dell'edificio in grado di diminuire l'effetto "isola di calore", (B).

$S_{i,verde}$ = 17324,44 [m²]

S_{reic} = 18216,32 [m²]

3. Calcolare il rapporto percentuale tra l'estensione complessiva delle superfici del lotto in grado di diminuire l'effetto "isola di calore", e la superficie del lotto di intervento.

$$Indicatore = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{S_{reic}}{S_i} \cdot 100$$

Indicatore = 92,33 [%]

Inserendo questo valore nella scala di prestazione, si ottiene un punteggio di 4,6, ritenuto praticamente ottimale.

C6.8 Effetto isola di calore

SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	-	-1
SUFFICIENTE	0	0
BUONO	60	3
OTTIMO	100	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	92,33	
PUNTEGGIO:		4,6

Ci si poteva attendere tale risultato essendo Villa Ginevra all'interno di un parco naturale in una cornice di verde e lontana da attività industriali o zone a traffico intenso ed inoltre i materiali utilizzati tendono a ridurre l'effetto grazie alle loro caratteristiche.

6.2.4 Area D – Qualità ambientale indoor

L'Area D del Protocollo (20% del peso globale) è totalmente incentrata sull'analisi della qualità degli ambienti interni dell'abitazione, ponendosi come obiettivo quello di fornire dei parametri quantitativi sul comfort percepito dagli occupanti, in particolare soffermandosi sulla qualità dell'aria, la temperatura operativa, l'illuminazione naturale e la qualità acustica.

Il primo Criterio da tenere in considerazione è il D2.5, denominato "Ventilazione e qualità dell'aria". Come descritto nel Capitolo 5, l'impianto di ventilazione installato nella villa è di tipo VMC, ventilazione meccanica controllata, il che comporta una riduzione non indifferente dei consumi energetici grazie alla presenza di alcuni recuperatori di calore e, conseguentemente, un buon risultato nella scala prestazionale del Protocollo ITACA:

D2.5	Ventilazione e qualità dell'aria

SCALA DI PRESTAZIONE		
		PUNTI
NEGATIVO	-	-1
SUFFICIENTE	L'aerazione è ottenuta, nella maggior parte degli ambienti principali, dall'apertura di un solo serramento.	0
	L'aerazione è ottenuta, nella maggior parte degli ambienti principali, dall'apertura di un solo serramento e da una griglia di aerazione.	1
	L'aerazione è ottenuta, nella maggior parte degli ambienti principali, dall'apertura di due o più serramenti su pareti con diverse esposizioni.	2
BUONO	La ventilazione è ottenuta, nella maggior parte degli ambienti principali, dall'apertura di almeno un serramento e da un sistema di ventilazione meccanica controllata (VMC) dotato di recuperatore di calore e in grado di garantire durante il periodo di occupazione un ricambio d'aria pari a 0.5 vol/h corrispondente alla categoria III di qualità dell'aria secondo la UNI EN 15251.	3
	La ventilazione è ottenuta, nella maggior parte degli ambienti principali, dall'apertura di almeno un serramento e da un sistema di ventilazione meccanica controllata (VMC) dotato di recuperatore di calore e in grado di garantire durante il periodo di occupazione un ricambio d'aria pari a 0.6 vol/h corrispondente alla categoria II di qualità dell'aria secondo la UNI EN 15251.	4
OTTIMO	La ventilazione è ottenuta, nella maggior parte degli ambienti principali, dall'apertura di almeno un serramento e da un sistema di ventilazione meccanica controllata (VMC) dotato di recuperatore di calore e in grado di garantire durante il periodo di occupazione un ricambio d'aria pari a 0.7 vol/h corrispondente alla categoria I di qualità dell'aria secondo la UNI EN 15251.	5

PUNTEGGIO:	3

Per ciò che concerne il Criterio D3.2 "Temperatura operativa nel periodo estivo", esso è basato sulla norma UNI 10375, la quale richiede i seguenti dati da inserire in un apposito foglio di calcolo:

- dati di ingresso dei parametri termofisici dei componenti di involucro esterni e interni inerenti alla trasmissione termica (scambi termici dovuti alla differenza di temperatura tra due lati del componente);
- dati di ingresso dei parametri termofisici dei componenti di involucro esterni opachi/finestrati inerenti alla trasmissione solare (scambi termici dovuti alla radiazione solare incidente sulle superfici esterne di involucro);
- dati di ingresso dei parametri legati al comportamento dell'utenza (ventilazione naturale/meccanica, apporti termici interni);
- risultati (distribuzione oraria e valore medio di temperatura dell'aria interna, temperatura media radiante, temperatura operativa interna);
- risultati aggiuntivi (carico termico totale e carichi termici per ventilazione, apporti interni, trasmissione termica attraverso componenti opachi e finestrati).

Siccome si ritiene inopportuno allegare tutto il foglio di calcolo al fine di evitare di appesantire il trattato, si riporta solamente l'esempio di calcolo per il mese di luglio di entrambi gli alloggi, il quale mostra tutti parametri sopra elencati con il parametro finale Z_i, ottenuto mediante una funzione *"SE"* sul parametro $|\Delta T_i|$, ossia la differenza di temperatura tra interno ed esterno, calcolato come indicato nella norma UNI EN 15251:

$\|\Delta T_i\|$	Z_i
≥ 4	-1
$3 \leq \Delta T_i \leq 4$	0
$2 \leq \Delta T_i \leq 3$	3
≤ 2	5

Tabella 35: Scala prestazionale del parametro Z_i.

Alloggio 1		Alloggio 2		Zona comune	
$\|\Delta T_i\|$	Z_i	$\|\Delta T_i\|$	Z_i	$\|\Delta T_i\|$	Z_i
$5,5$	-1	$3,26$	0	$3,28$	0

Tabella 36: Valori di Z_i per il mese di luglio delle 3 zone.

Unità	$S_{u,i}$ [m²]	Mese	Ora	T_a [°C]	T_{mr} [°C]	$T_{op,i,t}$ [°C]	$T_{op,m,i}$ [°C]	F(t) [°C]	$\Delta\vartheta_{max}$ [°C]	$T_{est,t}$ [°C]	$T_{est,m}$ [°C]	|ΔTi| [°C]	Z_i [-]
Alloggio 1	358,27	Luglio	0	21,90	21,70	21,80	22,11	0,82	11,00	23,88	26,71	5,50	-1
			1	21,80	21,70	21,75		0,87		23,33			
			2	21,80	21,70	21,75		0,92		22,78			
			3	21,70	21,60	21,65		0,96		22,34			
			4	21,70	21,60	21,65		0,99		22,01			
			5	21,60	21,60	21,60		1,00		21,90			
			6	21,70	21,60	21,65		0,98		22,12			
			7	21,70	21,60	21,65		0,93		22,67			
			8	22,10	21,80	21,95		0,84		23,66			
			9	22,30	21,90	22,10		0,71		25,09			
			10	22,40	22,00	22,20		0,56		26,74			
			11	22,40	22,10	22,25		0,39		28,61			
			12	22,60	22,20	22,40		0,23		30,37			
			13	22,70	22,30	22,50		0,11		31,69			
			14	22,70	22,40	22,55		0,03		32,57			
			15	22,80	22,40	22,60		0,00		32,90			
			16	22,70	22,40	22,55		0,03		32,57			
			17	22,60	22,30	22,45		0,10		31,80			
			18	22,50	22,30	22,40		0,21		30,59			
			19	22,40	22,30	22,35		0,34		29,16			
			20	22,40	22,20	22,30		0,47		27,73			
			21	22,30	22,20	22,25		0,58		26,52			
			22	22,30	22,10	22,20		0,68		25,42			
			23	22,20	22,10	22,15		0,76		24,54			

Unità	$S_{u,i}$ [m²]	Mese	Ora	T_a [°C]	T_{mr} [°C]	$T_{op,i,t}$ [°C]	$T_{op,m,i}$ [°C]	F(t) [°C]	$\Delta\vartheta_{max}$ [°C]	$T_{est,t}$ [°C]	$T_{est,m}$ [°C]	|ΔTi| [°C]	Z_i [-]
Alloggio 2	161,77	Luglio	0	23,90	23,90	23,90	24,36	0,82	11,00	23,88	26,71	3,26	0
			1	23,90	23,80	23,85		0,87		23,33			
			2	23,80	23,80	23,80		0,92		22,78			
			3	23,80	23,70	23,75		0,96		22,34			
			4	23,70	23,70	23,70		0,99		22,01			
			5	23,70	23,60	23,65		1,00		21,90			
			6	23,70	23,60	23,65		0,98		22,12			
			7	23,70	23,70	23,70		0,93		22,67			
			8	24,40	24,10	24,25		0,84		23,66			
			9	24,60	24,30	24,45		0,71		25,09			
			10	24,80	24,40	24,60		0,56		26,74			
			11	24,90	24,50	24,70		0,39		28,61			

			12	25,10	24,70	24,90		0,23		30,37			
			13	25,10	24,70	24,90		0,11		31,69			
			14	25,20	24,80	25,00		0,03		32,57			
			15	25,20	24,80	25,00		0,00		32,90			
			16	25,10	24,80	24,95		0,03		32,57			
			17	24,90	24,70	24,80		0,10		31,80			
			18	24,70	24,60	24,65		0,21		30,59			
			19	24,70	24,60	24,65		0,34		29,16			
			20	24,60	24,50	24,55		0,47		27,73			
			21	24,50	24,40	24,45		0,58		26,52			
			22	24,40	24,40	24,40		0,68		25,42			
			23	24,40	24,30	24,35		0,76		24,54			

Unità	$S_{u,i}$ [m²]	Mese	Ora	T_a [°C]	T_{mr} [°C]	$T_{op,i,t}$ [°C]	$T_{op,m,i}$ [°C]	F(t) [°C]	$\Delta\vartheta_{max}$ [°C]	$T_{est,t}$ [°C]	$T_{est,m}$ [°C]	|ΔTi| [°C]	Z_i [-]
Zona Comune	148,08	Luglio	0	23,70	23,70	23,70	24,33	0,82	11,00	23,88	26,71	3,28	0
			1	23,70	23,80	23,80		0,87		23,33			
			2	23,80	23,80	23,80		0,92		22,78			
			3	23,80	23,80	23,70		0,96		22,34			
			4	23,65	23,70	23,65		0,99		22,01			
			5	23,65	23,60	23,65		1,00		21,90			
			6	23,70	23,70	23,65		0,98		22,12			
			7	23,70	23,80	23,70		0,93		22,67			
			8	24,20	24,30	24,20		0,84		23,66			
			9	24,50	24,40	24,40		0,71		25,09			
			10	24,80	24,40	24,50		0,56		26,74			
			11	24,90	24,50	24,65		0,39		28,61			
			12	25,10	24,60	24,80		0,23		30,37			
			13	25,15	24,70	24,90		0,11		31,69			
			14	25,20	25,10	25,10		0,03		32,57			
			15	25,40	25,20	25,20		0,00		32,90			
			16	25,10	24,90	24,95		0,03		32,57			
			17	24,80	24,80	24,80		0,10		31,80			
			18	24,70	24,60	24,65		0,21		30,59			
			19	24,65	24,60	24,55		0,34		29,16			
			20	24,65	24,60	24,55		0,47		27,73			
			21	24,60	24,50	24,45		0,58		26,52			
			22	24,40	24,40	24,35		0,68		25,42			
			23	24,40	24,30	24,30		0,76		24,54			

Tabella 37: Esempio foglio di calcolo mese di luglio.

L'ultimo parametro necessario per stabilire il valore quantitativo del Criterio è Z_m, ottenuto come una media pesata per la superficie utile dei valori di Z_i ottenuti per tutti i mesi estivi:

$$Z_m = \frac{\sum Z_i * S_{u,j}}{\sum S_{u,j}} = -0{,}72\ [-]$$

Dove:

- Z_i è il parametro i-esimo di ogni mese estivo;
- $S_{u,j}$ è la superficie utile dell'ambiente i-esimo in [m^2].

Inserendo questo valore nella scala prestazionale del Criterio, si ottiene un risultato negativo.

D3.2 Temperatura operativa nel periodo estivo

SCALA DI PRESTAZIONE		
		PUNTI
NEGATIVO	< 0	-1
SUFFICIENTE	0,0	0
BUONO	3,0	3
OTTIMO	5,0	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	-0,72	
PUNTEGGIO:		-1

Risultato ben diverso dal precedente lo si ottiene per il Criterio incentrato sull'illuminazione naturale: siccome Villa Ginevra è caratterizzata da molteplici aperture e componenti finestrati che forniscono un importante contributo dal punto di vista della luce naturale, il risultato che si otterrà per questo parametro ci si può aspettare sia ottimale.

I dati da tenere in considerazione per il raggiungimento di un valore quantitativo sono i seguenti:

- dati di ingresso dell'ambiente (piano fuori terra, dimensioni, fattore medio di riflessione luminosa);
- dati di ingresso degli elementi finestrati (area netta e fattore di trasmissione luminosa dei componenti trasparenti, angoli di ostruzione frontale e superiore, fattore finestra);
- risultati (fattore medio di luce diurna).
- risultati (rapporto tra il fattore medio di luce diurna dell'edificio in progetto e dell'edificio limite).

Il parametro da calcolare è denominato "fattore medio di luce diurna η_m", il quale viene ottenuto sfruttando la seguente formula:

$$\eta_m = \frac{\sum(A_i * \tau_i * \varepsilon_i * \psi_i)}{S * (1 - \rho_m)}$$

Dove:

- A_i: area della superficie della finestra senza telaio;
- τ_i: fattore di trasmissione luminosa del vetro;
- ε_i: fattore finestra, rappresentativo della posizione di volta celeste cista dal baricentro della finestra;
- ψ_i: fattore di riduzione del fattore finestra;
- S: area totale delle superfici che delimitano l'ambiente compreso la finestra;
- ρ_m: fattore medio ponderato di riflessione luminosa delle superfici che delimitano l'ambiente.

Come per il Criterio precedente, anche in questo caso il valore dell'Indicatore lo si ottiene con una media pesata sulle superfici utili di ogni ambiente considerato.

$$\eta_m = \frac{\sum \eta_{m,i} * S_{u,i}}{\sum S_{u,i}} = 7{,}61\ \%$$

Dove:

- $\eta_{m,i}$ è il fattore medio di luce diurna dell'ambiente i-esimo [%];
- $S_{u,i}$ è la superficie utile dell'ambiente i-esimo in [m^2]:

	$\eta_{m,i}$	$S_{u,i}$ $[m^2]$
Alloggio 1	**8%**	**358,27**
Alloggio 2	**5%**	**161,77**
Zona comune	**9,5%**	**148,08**

Il risultato finale è quindi, come si poteva attendere, ottimo, come si può osservare secondo la scala di prestazione del Protocollo.

D4.1 Illuminazione naturale

SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	< 2,00	-1
SUFFICIENTE	2,00	0
BUONO	2,60	3
OTTIMO	3,00	5

VALORE INDICATORE DI PRESTAZIONE:	7,61	
PUNTEGGIO:		5

È bene specificare, arrivati a questo punto dell'analisi del Protocollo ITACA per l'abitazione oggetto del trattato, che il Criterio D5.6 "Qualità acustica dell'edificio" non può essere ancora valutato, siccome esso richiede il collaudo acustico dell'edificio che viene realizzato una volta terminati i lavori (non ancora possibile nel periodo di redazione della tesi).

Di maggior interesse è invece il Criterio D6.1 riguardante i campi magnetici che sono presenti: essi vengono ritenuti pericolosi per la salute umana e quindi si cerca di evitarli in prossimità degli ambienti che risultano maggiormente vissuti dagli occupanti dell'abitazione, questo soprattutto perché, se i campi elettrici riescono ad essere schermati dal semplice utilizzo di mattoni o pareti in legno, i campi magnetici sono molto più difficili da fermare con materiali utilizzati comunemente per la costruzione delle case.

D6.1 Campi magnetici

SCALA DI PRESTAZIONE		
		PUNTI
NEGATIVO	Presenza di un ambiente principale adiacente a significative sorgenti di campo magnetico.	-1
SUFFICIENTE	Presenza di opportune schermature per tutti gli ambienti principali adiacenti a significative sorgenti di campo magnetico.	0
BUONO	Nessun ambiente principale è adiacente a significative sorgenti di campo magnetico.	3
OTTIMO	Nessun ambiente principale è adiacente a significative sorgenti di campo magnetico. La configurazione dell'impianto elettrico in tutti gli ambienti principali minimizza le emissioni di campo magnetico.	5

PUNTEGGIO:	3

Al fine di ottenere questo risultato, è doveroso fare alcune osservazioni in merito al posizionamento degli strumenti che causano la presenza di campi magnetici:

- I quadri elettrici delle zone comuni dei due alloggi verranno installati al piano interrato, non in prossimità dei locali adibiti ad uso abitativo;
- I quadri delle singole unità abitative verranno posizionati all'interno dei ripostigli, locali quindi non particolarmente frequentati dagli abitanti;
- I montanti e le dorsali di conduttori correranno all'interno della pavimentazione;
- I contatori verranno installati in lontananza dai vani principali.

Unità	Ambiente principale	SORGENTI DI CAMPO MAGNETICO				
		Linee interrate a media e alta tensione	Cabine di trasformazione	Quadro generale	Montanti e dorsali di conduttori	Contatori
Alloggio 1	Soggiorno/Pranzo	NO	NO	NO	NO	NO
	Cucine			NO	NO	NO
	Camera 1			NO	NO	NO
	Camera 2			NO	NO	NO
	Camera 3			NO	NO	NO
	Camera 4			NO	NO	NO
Alloggio 2	Cucina	NO	NO	NO	NO	NO
	Camera			NO	NO	NO
	Soggiorno			NO	NO	NO

Tabella 38: Eventuale presenza di sorgenti di campo magnetico.

Infine, è anche fondamentale verificare la configurazione di distribuzione dell'energia elettrica negli ambienti principali, ricordando quello che già è stato descritto nel Capitolo 5 in merito all'impianto elettrico di Villa Ginevra:

Unità	Ambiente principale	Configurazione di distribuzione energia elettrica	
		Sistema di alimentazione	Tipo di distribuzione
Alloggio 1	Soggiorno/Pranzo	TT	a stella
	Cucine		a stella
	Camera 1		a stella
	Camera 2		a stella
	Camera 3		a stella
	Camera 4		a stella
Alloggio 2	Cucina	TT	a stella
	Camera		a stella
	Soggiorno		a stella

Tabella 39: Configurazione di distribuzione energia elettrica.

Si segnala che la zona comune non è stata tenuta in considerazione siccome viene ritenuta una zona di carattere abitativo non continuativo, così come i bagni o i corridoi che, come è possibile osservare nelle Tabelle precedenti, non sono presenti.

6.2.5 Area E – Qualità del servizio

L'ultima Area che compone il Protocollo ha un peso minore (10%) rispetto alle tre Aree precedentemente analizzate, ma comunque maggiore rispetto all'Area A. I Criteri in questa sezione sono solamente tre, il primo dei quali vede come protagonisti i cosiddetti *"Building & Automation Control System"*, anche noti come BACS: essi rappresentano quindi i sistemi di automazione e controllo di una abitazione e hanno il principale obiettivo di aumentarne l'efficienza energetica in modo "attivo", non quindi solamente in modo "passivo" come l'isolamento dell'involucro o l'utilizzo di componenti finestrati ad alte prestazioni [30].

Secondo la normativa, i BACS vengono definiti all'interno del Decreto legislativo n.48/2020 come *"un sistema comprendente tutti i prodotti, i software e i servizi tecnici che contribuiscono al funzionamento sicuro, economico ed efficiente sotto il profilo dell'energia dei sistemi tecnici per l'edilizia tramite controlli automatici e facilitando la gestione manuale di tali sistemi"* [31].

L'obiettivo principale di questi strumenti è quindi quello di utilizzare e regolare gli impianti tecnologici nella maniera migliore possibile da un punto di vista del comfort, assicurandone un livello ottimale per gli abitanti al variare delle condizioni esterne. Dal punto di vista energetico invece, il grande vantaggio che si può ottenere con l'installazione di tali dispositivi, è la riduzione dei consumi che si ottiene grazie alla regolazione automatica gestita dai BACS stessi, spaziando dal riscaldamento all'acqua calda sanitaria, passando per la ventilazione e l'illuminazione artificiale [30].

Dopo aver definito e descritto la funzione dei BACS, è però opportuno specificare che nel periodo in cui è stato redatto il trattato, essi non sono ancora stati progettati per Villa Ginevra, quindi non è presente un punteggio quantitativo per questo Criterio.

Impianto già in progetto è invece quello domotico, oggetto del Criterio E3.6: esso prevede il miglioramento del comfort abitativo, della sicurezza e del benessere di cui si potrà godere all'interno dell'edificio, andando a gestire con un unico sistema la sicurezza (impianto antintrusione, allarmi tecnici), la climatizzazione (pompe di calore, tempi di accensione e spegnimento), l'illuminazione, la motorizzazione (tende, scuri, serrande, basculanti, cancelli, porte), le prese elettriche e i consumi elettrici dell'intera abitazione.

Gli appartamenti saranno dotati di pannelli touch screen, attraverso il quale sarà sufficiente toccare lo schermo del terminale di controllo per accedere ai servizi che gestiranno completamente l'abitazione. Lo scenario è quello di un edificio in cui tutti gli impianti sono integrati e controllati tramite un software personalizzato.

Funzioni domotiche	UNITA'	
	ALLOGGIO 1	ALLOGGIO 2
Gestione carichi elettrici	1	1
Allarme antintrusione	1	1
Videosorveglianza locali unità abitativa	-	-
Contabilizzazione consumi energetici (termici e acqua calda sanitaria)	1	1
Contabilizzazione consumi idrici	-	-
Termoregolazione locali unità abitativa	-	-
Possibilità di programmazione di comandi multipli: scenari	1	1
Rilevazione incendi	-	-
Sistema antiallagamento	-	-
Sistema rilevazione fughe di gas	-	-
Allarme tecnico e successiva funzione di telesoccorso per anziani e disabili	-	-
Controllo remoto delle funzioni domotiche	1	1
Controllo motori tapparelle e/o tende	1	1
Gestione e controllo dell'illuminazione (on/off, regolazione intensità luminosa in tutti gli ambienti)	1	1
Controllo del sistema citofonico/videocitofono	-	-
TOT.	7	7

Tabella 40: Descrizione impianto domotico.

In base al numero totale di sistemi domotici presenti, è possibile definire un punteggio entrando nella scala di prestazione di tale Criterio, come mostrato in seguito:

E3.6	Impianti domotici

SCALA DI PRESTAZIONE		
	-	PUNTI
NEGATIVO	-	-1
SUFFICIENTE	0	0
BUONO	6	3
OTTIMO	10	5

PUNTEGGIO:	3,5

L'ultimo Criterio del Protocollo è quello inerente alla disponibilità della documentazione tecnica, non particolarmente interessante per l'ottica con cui viene analizzata l'abitazione in questo trattato, però importante per il punteggio finale ottenuto dall'edificio: in tale Criterio, il punteggio conseguito da Villa Ginevra è di 3, siccome sono presenti tutti i documenti del progetto esecutivo, dagli elaborati grafici alle relazioni specialistiche ma non è presente il cosiddetto modello BIM (Building Information Model).

7. Passive House e nearly Zero Energy Building

L'obiettivo di questo Capitolo è quello di definire in quale categoria di abitazioni a basse emissioni, tra le cosiddette "Passive House" e le "nearly Zero Energy Building", si può inserire Villa Ginevra: si analizzano adesso le differenze e i requisiti di entrambe le tipologie per poi fornire una risposta nel Paragrafo 7.3.

Il termine "Passive House", che in italiano può essere tradotto come "Casa Passiva", viene citato per la prima volta nel 1978 in una pubblicazione intitolata *"Regional guidelines for building passive energy conserving homes"*, edita dall'AIA Research Corporation, ancor prima che il Protocollo "Passivhaus" venisse ufficialmente redatto da una collaborazione tra lo svedese Bo Adamson e il tedesco Wolfgang Feist, nel 1988 [32].

Con questo termine, si intendono quelle abitazioni in grado di coprire la maggior parte del loro fabbisogno termico ricorrendo a dispositivi di tipo passivo, come per esempio un ottimo isolamento delle pareti piuttosto che vetri ad alte prestazioni, in modo tale da alleggerire il più possibile il lavoro degli impianti per il raffrescamento e il riscaldamento degli ambienti dell'edificio. L'obiettivo finale è quindi quello di sfruttare nella maniera più efficiente possibile gli apporti interni e, come detto, i contributi dei sistemi di guadagno passivo, riducendo l'utilizzo dei sistemi convenzionali fino ad arrivare ad eliminarli del tutto: un'abitazione passiva ha l'obiettivo di consumare meno di 1 litro di petrolio o 1 m^3 di gas per il riscaldamento di 1 m^2 di spazio abitabile all'anno [33].

Secondo il *"Passive House Institute"*, le tre caratteristiche fondamentali che una casa passiva deve possedere sono: alta efficienza energetica, confortevole e conveniente [33]. Al fine di poter essere caratterizzata dalle suddette proprietà, le case passive sfruttano in maniera ottimale gli apporti gratuiti del sole e quelli interni degli occupanti dell'abitazione, ma anche il recupero del calore che andrebbe altrimenti ceduto verso l'esterno senza sfruttarne l'effetto utile. Se le strategie appena citate si riferiscono prevalentemente alle condizioni invernali, durante la stagione estiva un edificio di questo tipo punta a sfruttare le proprietà dell'isolamento e gli ombreggiamenti strategici al fine di minimizzare l'ingresso del calore al suo interno e, conseguentemente, il fabbisogno di raffrescamento.

Dal punto di vista del comfort che si punta ad offrire agli occupanti, esso è basato principalmente sulla lieve differenza di temperatura tra temperatura della parete interna e temperatura dell'ambiente interno stesso, nonostante la temperatura esterna sia particolarmente rigida: il ruolo dell'involucro edilizio, sia per il tetto che per le pareti, e dei serramenti ad alte prestazioni è fondamentale per far sì che ciò possa essere reso possibile, permettendo infatti di mantenere il calore all'interno dell'abitazione durante il periodo invernale e, allo stesso modo, evitando che il calore indesiderato penetri durante i mesi estivi.

Non solo isolamento e serramenti giocano un ruolo chiave, bensì anche il sistema di ventilazione costante permette di garantire una qualità dell'aria ottimale e, come riportato in precedenza, la presenza di recuperatori di calore abbinati ad esso permettono di ridurre gli sprechi di energia e, in conseguenza, massimizzare le performance energetiche dell'edificio [33].

La seconda tipologia è invece denominata “nearly Zero Energy Building” (nZEB), tradotto come “Edifici a Energia Quasi Zero”, cioè degli edifici caratterizzati da un basso fabbisogno energetico sia durante il periodo estivo che durante i rigidi mesi invernali.

Questa tipologia viene definita secondo la 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)”* [34].

Tali edifici sono caratterizzati quindi da ottime performance energetiche grazie ai materiali che vengono utilizzati per la loro costruzione, la coibentazione, l’ottimizzazione degli apporti gratuiti, ma soprattutto perché fanno un ampio uso di tecnologie impiantistiche efficienti e di fonti rinnovabili per la produzione di energia in loco: il parametro finale sul quale si basano le nZEB è quindi il bilancio energetico complessivo dell’edificio.

Se l’obiettivo comune delle case passive e degli edifici a energia quasi zero risulta quello di ridurre la quantità di energia ricavata da fonti fossili impiegata per il riscaldamento e il raffrescamento, altrettanto evidente è la differenza sostanziale tra di essi: se le passive house mirano a raggiungere un comfort ottimale dell’edificio sfruttando unicamente tecnologie passive come l’isolamento termico e la presenza di infissi ad alte prestazioni, gli edifici nZEB hanno il loro punto di forza nella produzione energetica da fonti rinnovabili in situ, che non sempre però porta ad ottenere dei risultati significativi per ciò che concerne la minimizzazione delle dispersioni energetiche.

Si analizzano ora separatamente i requisiti di entrambe le categorie.

7.1 Requisiti per essere una casa passiva

Oltre ai parametri qualitativi che sono stati riportati nel Paragrafo precedente, il *“Passive House Institute”* delinea quali sono i requisiti tecnici che un’abitazione deve possedere per essere considerata a tutti gli effetti una passive house: [33]

1. Il fabbisogno energetico per il riscaldamento degli ambienti non deve superare i $15\ \left[\frac{kWh}{m^2 anno}\right]$ di superficie abitabile netta o i $10\ \left[\frac{W_p}{m^2}\right]$;
2. Il fabbisogno di energia primaria rinnovabile, cioè l'energia totale da utilizzare per tutte le applicazioni domestiche (riscaldamento, acqua calda sanitaria ed elettricità domestica) non deve superare i $60\ \left[\frac{kWh}{m^2 anno}\right]$;
3. I ricambi d’aria non devono eccedere il limite di $0{,}6\ \left[\frac{vol}{h}\right]$, considerando una pressione di $50\ [Pa]$: tale limite deve essere verificato con una prova in loco, considerando alternativamente una situazione di depressione e una di sovrapressione.
4. Il comfort termico deve essere soddisfatto per tutte le aree abitative sia in inverno che in estate senza eccedere i $25°C$ per più del 10% delle ore annuali.

Siccome questi requisiti risultano essere particolarmente stringenti, i principi costruttivi mostrati in Figura 35 sono di fondamentale importanza per poter considerare un edificio una passive house.

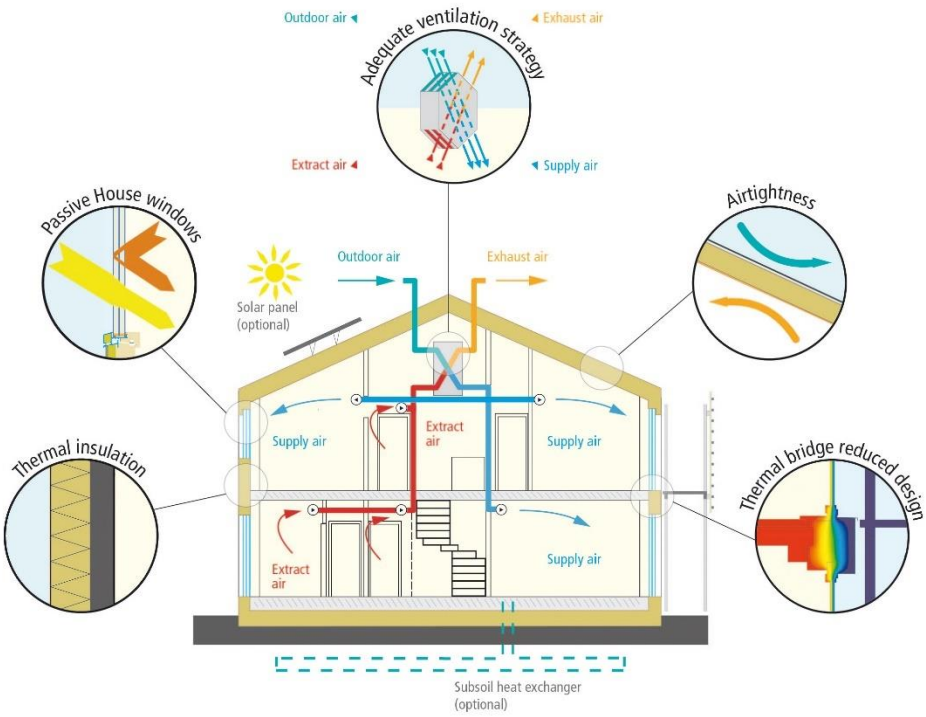


Figura 35: Tecniche costruttive da implementare in una casa passiva. [33]

Si vogliono quindi analizzare ora tali tecniche, una ad una, entrando maggiormente nel dettaglio:

- Isolamento termico: è condizione necessaria che deve essere soddisfatta al fine di poter parlare di casa passiva. Tutti i componenti opachi dell'involucro devono infatti essere dotati di cappotto isolante che porti ad ottenere una trasmittanza termica U della parete non superiore a $0{,}15\ \left[\frac{W}{m^2K}\right]$;
- Componenti finestrati: i telai delle finestre devono essere ben isolati e dotati di vetri basso emissivi riempiti di gas come argon o kripton per evitare il trasferimento di calore. Tali componenti sono caratterizzati da valori di U inferiori a $0{,}80\ \left[\frac{W}{m^2K}\right]$ e valori di trasmittanza solare termica g intorno al 50%;
- Recupero del calore di ventilazione: almeno il 75% del calore dell'aria di scarico viene trasferito all'aria fresca tramite uno scambiatore di calore, in modo tale da ottenere un duplice vantaggio: risparmio energetico e utilizzo dei gas di scarico ancora ricchi di un effetto utile che non sempre viene sfruttato a dovere;
- Riduzione delle infiltrazioni d'aria: come scritto in precedenza, i valori di perdite incontrollate attraverso le intercapedini non devono superare $0{,}6\ \left[\frac{vol}{h}\right]$. Anche in questo caso l'isolamento risulta quindi fondamentale per il comfort abitativo;
- Assenza di ponti termici: Tutti i bordi, gli angoli tra murature, i collegamenti e le penetrazioni devono essere progettati ed eseguiti con grande attenzione, in modo da

evitare i ponti termici; quelli che non possono essere evitati devono essere ridotti al minimo in modo tale da minimizzare le conseguenti perdite ad essi legate.

7.2 Requisiti per essere una casa a energia quasi zero

Come riportato in precedenza, i requisiti minimi per essere considerato un edificio a energia quasi zero sono definiti dal D.M. 26/06/2015, in particolare al Paragrafo 3.3 *"Requisiti"*, Comma 2, lettera b, che verranno adesso analizzati: si allega prima la Tabella 41, nella quale sono mostrati i parametri che devono essere tenuti in considerazione per la definizione dei requisiti minimi [8].

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);
$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L + EP_T$ [kWh/m^2]	indice di prestazione energetica globale dell'edificio. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot").

Tabella 41: Efficienze, parametri e indici di prestazioni energetica. [8]

I requisiti minimi sono quindi i seguenti: [8] [35]

- Il parametro H'_T, denominato coefficiente medio globale di scambio termico e definito come segue, risulti essere minore rispetto al valore limite indicato nella Tabella 42:

$$H'_T = \frac{H_{tr,adj}}{\sum A_k} \left[\frac{W}{m^2K}\right]$$

  Dove:

  - $H_{tr,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione dell'involucro, misurato in $\left[\frac{W}{K}\right]$ e calcolato sfruttando la UNI/TS 11300-1;

- A_k è la superficie del k-esimo componente costituente l'involucro, sia esso opaco o trasparente, misurata in $[m^2]$.

Numero Riga	RAPPORTO DI FORMA (S/V)	Zona climatica				
		A e B	C	D	E	F
1	S/V ≥ 0,7	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48
2	0,7 > S/V ≥ 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 42: Valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico [35].

- Il parametro $\frac{A_{sol,est}}{A_{sup,utile}}$ risulti inferiore al corrispondente valore indicato in Tabella 43: risulta importante definire $A_{sol,est}$, l'area solare equivalente:

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

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 è utilizzata;
  - F_F: frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente finestrato;
  - $A_{W,p}$: l'area proiettata totale 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.

#	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)	≤ 0,030
2	Tutti gli altri edifici	≤ 0,040

Tabella 43: Valore massimo ammissibile per il rapporto $A_{sol,est}/A_{sup,utile}$.[35]

- Gli indici di prestazione energetica $EP_{H,nd}, EP_{C,nd}, EP_{gl,tot}$ risultino inferiori ai valori corrispondenti dell'edificio di riferimento $EP_{H,nd,limite}, EP_{C,nd,limite}, EP_{gl,tot,limite}$, un edificio che mantiene la stessa geometria, orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso dell'edificio in esame, e caratterizzato dalle seguenti trasmittanze degli elementi principali:

	Trasmittanza dell'edificio di riferimento – U [W/m²K]							
	Pareti		Coperture		Pavimenti		Infissi	
Zona climatica	2015	2019/2021	2015	2019/2021	2015	2019/2021	2015	2019/2021
A e B	0,45	0,43	0,38	0,35	0,46	0,44	3,20	3,00
C	0,38	0,34	0,36	0,33	0,40	0,38	2,40	2,20
D	0,34	0,29	0,30	0,26	0,32	0,29	2,00	1,80
E	0,30	0,26	0,25	0,22	0,30	0,26	1,80	1,40
F	0,28	0,24	0,23	0,20	0,28	0,24	1,50	1,10

Tabella 44: Trasmittanze principali dell'edificio di riferimento. [35]

- Le efficienze η_H, η_W, η_C risultino superiori ai valori delle corrispondenti efficienze dell'edificio di riferimento $\eta_{H,limite}, \eta_{W,limite}, \eta_{C,limite}$ definite in Tabella 45 e 46, rispettivamente relative alle efficienze medie dei sottosistemi di utilizzazione e dei sottosistemi di generazione:

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 45: Efficienze medie dei sottosistemi di utilizzazione dell'edificio di riferimento. [35]

Si ritiene opportune ricordare che le lettere H, C, W, corrispondano rispettivamente ai servizi di riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria.

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 x η_{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

Tabella 46: Efficienze medie dei sottosistemi di generazione dell'edificio di riferimento. [35]

- Almeno il 50% dei consumi previsti per il riscaldamento, il raffrescamento e l'acqua calda sanitaria venga soddisfatto da impianti di produzione alimentati da fonti rinnovabili installati in situ, come richiesto dal Decreto legislativo n. 28/2011 [36].

Dopo questa attenta definizione dei requisiti che deve rispettare un edificio per essere considerato una casa passiva o un edificio a energia quasi zero, si può passare ad analizzare Villa Ginevra, cercando di capire in quale delle due categorie essa può essere inserita.

7.3 Villa Ginevra: abitazione passiva o nZEB?

Per quanto Villa Ginevra sia caratterizzata da ottime performance energetiche, viene mostrato in Tabella 47 che essa non rientra nella categoria "Passive House" siccome i primi due requisiti citati nel Paragrafo 7.1 non vengano rispettati (i valori ottenuti per Villa Ginevra sono riportati direttamente da EDILCLIMA):

Parametro	Unità di misura	Requisito minimo	Valore Villa Ginevra	Verifica
$\boldsymbol{EP_{tot,H}}$	$\left[\frac{kWh}{m^2 anno}\right]$	< 15	48,04	X
$\boldsymbol{EP_{ren}}$	$\left[\frac{kWh}{m^2 anno}\right]$	< 60	62,89	X
Ricambi di aria orari	$\left[\frac{vol}{h}\right]$	$< 0{,}6$	0,24	✓

Tabella 47: Verifica requisiti minimi casa passiva.

Si vuole inoltre specificare che il valore $EP_{tot,H}$ tiene in considerazione sia la componente da fonti non rinnovabili (5,96 $\left[\frac{kWh}{m^2 anno}\right]$), che quella da fonti rinnovabili (42,08 $\left[\frac{kWh}{m^2 anno}\right]$), che sommate danno il valore fornito in Tabella 47; il valore di EP_{ren} tiene invece in considerazione il contributo per il riscaldamento e il raffrescamento dell'abitazione, ed anche l'acqua calda sanitaria e la ventilazione, solamente da fonti rinnovabili. Infine, il valore per i ricambi d'aria orari è stato ottenuto mediante la seguente formula:

$$Ricambi = \frac{Q_{tot}}{V_{tot,risc}} = \frac{Q_{alloggio1} + Q_{alloggio2} + Q_{zona,comune}}{V_{alloggio1} + V_{alloggio2} + V_{zona,comune}} = 0{,}24 \left[\frac{vol}{h}\right]$$

Essendo i valori delle portate volumetriche d'aria e i volumi riscaldati delle rispettive zone:

Zona	Portata volumetrica Q	Volume riscaldato V
Alloggio 1	$584{,}5 \left[\frac{m^3}{h}\right]$	$2351{,}96\ [m^3]$
Alloggio 2	$218{,}4 \left[\frac{m^3}{h}\right]$	$953{,}81\ [m^3]$
Zona comune	$199{,}9 \left[\frac{m^3}{h}\right]$	$908{,}06\ [m^3]$
Totale	$1002{,}8 \left[\frac{m^3}{h}\right]$	$4213{,}83\ [m^3]$

Tabella 48: Portate d'aria e volumi riscaldati delle diverse zone.

Appurato che l'abitazione oggetto del trattato non rispetta i requisiti minimi per essere considerata una abitazione passiva, si prosegue adesso l'analisi verificando i requisiti degli edifici a energia quasi zero.

Sfruttando il programma EDILCLIMA, nella sezione "Verifiche di Legge", si ottiene subito il risultato cercato: Villa Ginevra risulta essere un edificio ad energia quasi zero. Si vuole però mostrare adesso la verifica di tutti i requisiti minimi, al fine di dimostrare il risultato ottenuto dal software.

Parametro	Unità di misura	Requisito	Valore Villa Ginevra	Verifica
$\boldsymbol{H'_T}$	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	$< 0{,}55$	0,22	✓
$\frac{\boldsymbol{A_{sol,est}}}{\boldsymbol{A_{sup,utile}}}$	$[-]$	$\leq 0{,}030$	0,0208	✓
$\boldsymbol{EP_{H,nd}}$	$\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$	$< 96{,}86$	49,09	✓
$\boldsymbol{EP_{C,nd}}$	$\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$	$< 29{,}91$	19,48	✓
$\boldsymbol{EP_{gl,tot}}$	$\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$	$< 224{,}36$	94,97	✓
$\boldsymbol{\eta_H}$	$[-]$	$> 63{,}7\ \%$	85,7 %	✓
$\boldsymbol{\eta_W}$	$[-]$	$> 55\ \%$	63,4 %	✓
$\boldsymbol{\eta_C}$	$[-]$	$> 130{,}4\ \%$	140,8 %	✓
Copertura totale da fonte rinnovabile	$[-]$	$> 50\ \%$	76,64 %	✓
Copertura ACS da fonte rinnovabile	$[-]$	$> 50\ \%$	80,7 %	✓
Verifica potenza elettrica installata	$[kW]$	$> 17{,}46$	40	✓

Tabella 49: Verifica requisiti minimi casa a energia quasi zero.

Si ritiene opportuno entrare maggiormente nel dettaglio ora, mostrando i calcoli svolti per ottenere i risultati mostrati in Tabella 49:

$$H'_T = \frac{H_{tr,all.1} + H_{tr,all.2} + H_{tr,ZC}}{A_{tr,all.1} + A_{tr,all.2} + A_{tr,ZC}} = \frac{311{,}94 + 156{,}95 + 163{,}98}{1530{,}69 + 668{,}8 + 716{,}57} = 0{,}22 \ \left[\frac{W}{m^2K}\right]$$

Dove:

- $H_{tr,k} = H_{tr,pareti} + H_{tr,pavimenti} + H_{tr,soffitti} + H_{tr,ponti\ termici} + H_{tr,finestre}$, calcolato per ogni zona: i valori parziali sono mostrati in Tabella 50 e si ricorda che tutti i coefficienti globali di scambio termico per trasmissione sono espressi in $\left[\frac{W}{K}\right]$:

Zona	$H_{tr,pareti}$	$H_{tr,pavimenti}$	$H_{tr,soffitti}$	$H_{tr,ponti\ termici}$	$H_{tr,finestre}$	H_{tr}
Alloggio 1	45,41	69,72	40,33	19,16	167,31	311,94
Alloggio 2	14,89	30,58	18,22	10,07	83,20	156,95
Zona comune	25,03	29,11	16,63	11,55	81,66	163,98

Tabella 50: Coefficienti globali di scambio termico per trasmissione.

Il secondo parametro invece è calcolato come segue:

$$\frac{A_{sol,est}}{A_{sup,utile}} = \frac{A_{sol,all.1} + A_{sol,all.2} + A_{sol,ZC}}{A_{SU,all.1} + A_{SU,all.2} + A_{SU,ZC}} = \frac{6{,}19 + 3{,}29 + 4{,}41}{358{,}27 + 161{,}77 + 148{,}08} = 0{,}0208$$

Dove:

- $A_{sol,k}$ è l'area solare di ogni singola zona;
- $A_{SU,k}$ è la superficie utile di ogni singola zona.

In conclusione, è quindi possibile affermare che Villa Ginevra si possa considerare a tutti gli effetti un "nearly Zero Energy Building", visto che tutti i requisiti richiesti dal D.M. 26/06/2015 e dal D. Lgs. 28/2011 vengono rispettati. Per quanto i componenti passivi della costruzione siano caratterizzati da ottime performance energetiche, il punto di forza della Villa è la grande quantità di energia prodotta in loco da fonti rinnovabili, con una potenza installata di 40 kW di pannelli fotovoltaici.

PARTE II

8. Ricostruzione edificio preesistente in EDILCLIMA

L'obiettivo che ci si pone nella Parte II della trattazione è quello di trovare una risposta al seguente quesito: se le condizioni al contorno della zona in cui è collocato l'edificio lo permettono, conviene efficientare la costruzione da un punto di vista energetico oppure risulta vantaggioso demolire l'esistente e ricostruire sfruttando materiali e tecnologie all'avanguardia?

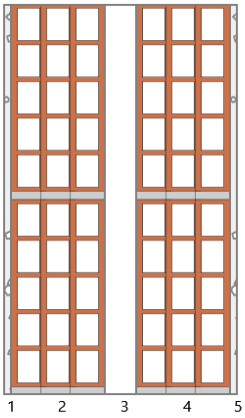
Per rispondere a questa domanda, il primo passo da fare è quello di ricostruire la struttura di inizio anni '70 descritta nel Capitolo 3 sfruttando il software già utilizzato per l'analisi prestazionale di Villa Ginevra, in modo tale da ottenere i risultati delle performance energetiche e redigere l'Attestato di Prestazione Energetica anche di esso: al fine di compiere questo lavoro, sono state ricavate le informazioni sul vecchio edificio dai documenti presenti in archivio dello Studio ME ENGINEERING, ma è bene specificare che, in assenza di informazioni ufficiali, si sono fatte delle ipotesi coerenti con le tecniche di costruzione e installazione impiantistica degli anni in cui l'edificio venne costruito.

In questo Capitolo vi sarà fornita una descrizione più approfondita dell'edificio preesistente allo stato di fatto, quindi quello che esso era al 2020, anno in cui venne demolito. Ci si soffermerà in particolare sui materiali che vennero utilizzati per costruirlo e sugli impianti installati, senza però entrare troppo nel dettaglio delle prestazioni energetiche: confrontare le performance di due abitazioni costruite a 50 anni di differenza sarebbe infatti poco utile e con un risultato chiaramente scontato. Si ritiene opportuno quindi rimandare tale operazione una volta svolto l'efficientamento della struttura già esistente, presentato nel Capitolo 9.

Il vecchio edificio era suddiviso in due unità immobiliari, ma siccome la costruzione venne realizzata in unico momento, i materiali utilizzati sono gli stessi per entrambe; l'unica eccezione è data dalla camera da letto al piano primo per l'alloggio 1 che venne realizzata mediante un ampliamento all'inizio degli anni 2000. Tale locale è infatti circondato da un muro più spesso di 5 cm rispetto agli altri, ma comunque realizzato con la tecnica "a cassa vuota".

Le murature perimetrali dell'abitazione sono di spessore 30 cm, realizzate con due mattoni forati da 12 cm inframezzati da un'intercapedine d'aria di 4 cm; la rifinitura è poi realizzata con uno strato molto sottile di intonaco di gesso, come viene mostrato in Tabella 51:

Trasmittanza termica	*0,994*	W/m^2K
Spessore	*300*	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	*-9,1*	°C
Permeanza	*169,49*	$10^{-12}kg/sm^2Pa$
Massa superficiale (con intonaci)	*192*	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	*172*	kg/m^2
Trasmittanza periodica	*0,585*	W/m^2K
Fattore attenuazione	*0,588*	-
Sfasamento onda termica	*-6,6*	h



N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	*0,130*	-	-	-
1	Intonaco di gesso	*10,00*	*0,4000*	-	*1000*	*1,00*	*10*
2	Mattone forato	*120,00*	*0,3870*	-	*717*	*0,84*	*9*
3	Intercapedine debolmente ventilata Av=600 mm²/m	*40,00*	-	-	-	-	-
4	Mattone forato	*120,00*	*0,3870*	-	*717*	*0,84*	-
5	Intonaco di gesso	*10,00*	*0,4000*	-	*1000*	*1,00*	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	*0,071*	-	-	-

Tabella 51: Stratigrafia muro verso esterno di spessore 30 cm.

Si ritiene opportuno specificare nuovamente, al fine di rendere il trattato più chiaro e di immediata comprensione, che i parametri elencati in Tabella 51 rappresentano rispettivamente:

- s = spessore in $[mm]$;
- Cond. = conduttività termica in $\left[\frac{W}{mK}\right]$;
- R = resistenza termica in $\left[\frac{m^2K}{W}\right]$;
- M.V. = massa volumica in $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$;
- C.T. = capacità termica specifica in $\left[\frac{kJ}{kgK}\right]$;
- R.V. = fattore di resistenza alla diffusione del vapore, adimensionale.

La stratigrafia del muro spesso 35 cm non viene riportata siccome è uguale a quella in Tabella 51 ma con un'intercapedine d'aria più spessa di 5 cm. È però importante sottolineare il fatto che entrambe le tipologie di pareti non superino la verifica di condensa superficiale imposta dalla normativa UNI EN ISO 13788 siccome la seguente condizione non è rispettata:

$$f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$$

Dove:

- $f_{RSI,max} = 0{,}724$ è il fattore di temperatura del mese critico (dicembre);
- $f_{RSI} = 0{,}701$ è il fattore di temperatura del componente.

Riscontro positivo è invece ottenuto per ciò che concerne la formazione di condensa interstiziale siccome essa non si verifica nella struttura in nessun mese dell'anno.

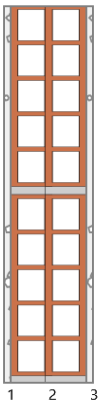
Il muro divisorio interno tra locali, considerato una struttura non disperdente, è invece di spessore 12 cm, ottenuto dalla somma di 10 cm di mattone forato e un doppio strato di intonaco di gesso da 1 cm:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	*0,130*	-	-	-
1	Intonaco di gesso	*10,00*	*0,4000*	*0,025*	*1000*	*1,00*	*10*
2	Mattone forato	*100,00*	*0,3700*	*0,270*	*780*	*0,84*	*9*
3	Intonaco di gesso	*10,00*	*0,4000*	*0,025*	*1000*	*1,00*	*10*
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	*0,130*	-	-	-

Tabella 52: Stratigrafia divisorio interno.

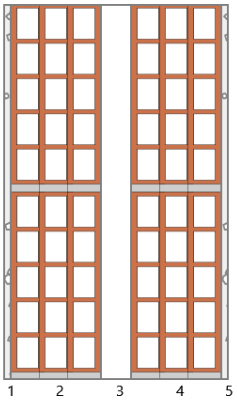
.

Trasmittanza termica	*1,723*	W/m²K
Spessore	*120*	mm
Permeanza	*181,81*	10^{-12}kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	*98*	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	*78*	kg/m²
Trasmittanza periodica	*1,492*	W/m²K
Fattore attenuazione	*0,866*	-
Sfasamento onda termica	*-2,9*	h



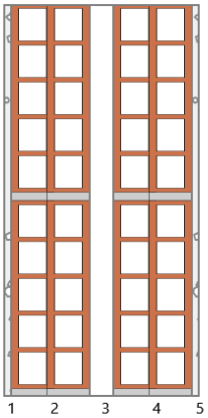
Per quanto riguarda il muro divisorio tra le unità immobiliari è di spessore 30 cm con stratigrafia uguale a quella del muro perimetrale ma con risultati diversi siccome la tipologia di muro considerata è diversa: se quello verso l'esterno è di tipo T "da locale climatizzato verso esterno", il divisorio tra alloggi è di tipo N "da locale climatizzato verso locali vicini". Tale distinzione è importante per giustificare l'esito positivo della verifica di condensa superficiale a differenza della muratura perimetrale. Anche i risultati di trasmittanza termica, trasmittanza periodica, fattore di attenuazione e sfasamento dell'onda termica sono diversi nonostante lo stesso spessore: il ruolo della temperatura esterna diversa è fondamentale per giustificare tali differenti risultati:

Trasmittanza termica	*0,945*	W/m²K
Spessore	*300*	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	*20,0*	°C
Permeanza	*169,49*	10^{-12}kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	*192*	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	*172*	kg/m²
Trasmittanza periodica	*0,501*	W/m²K
Fattore attenuazione	*0,530*	-
Sfasamento onda termica	*-7,1*	h



L'ultimo componente opaco verticale è la muratura da 25 cm che caratterizza il piano interrato: anche in questo caso si tratta di due mattoni forati da 10 cm inframezzati da un'intercapedine d'aria debolmente ventilata. Come per i muri verso l'esterno dei piani fuori terra, anche le murature dell'interrato non rispettano le verifiche termo-igrometriche, rendendo quindi possibile la formazione di condensa e, conseguentemente, muffe che danneggiano le pareti sia da un punto di vista strutturale che visivo.

Trasmittanza termica	*1,075*	W/m²K
Spessore	*250*	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	*-9,1*	°C
Permeanza	*200,00*	10^{-12}kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	*176*	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	*156*	kg/m²
Trasmittanza periodica	*0,714*	W/m²K
Fattore attenuazione	*0,664*	-
Sfasamento onda termica	*-5,9*	h



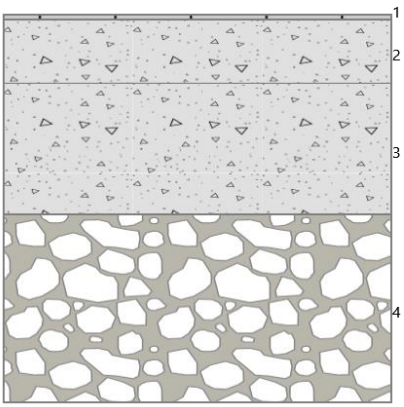
N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	*0,130*	-	-	-
1	Intonaco di gesso	*10,00*	*0,4000*	-	*1000*	*1,00*	*10*
2	Mattone forato	*100,00*	*0,3700*	-	*780*	*0,84*	*9*
3	Intercapedine debolmente ventilata Av=600 mm²/m	*30,00*	-	-	-	-	-
4	Mattone forato	*100,00*	*0,3700*	-	*780*	*0,84*	-
5	Intonaco di gesso	*10,00*	*0,4000*	-	*1000*	*1,00*	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	*0,071*	-	-	-

Tabella 53: Stratigrafia muri piano interrato.

In questa Sezione vengono anche mostrati i componenti opachi orizzontali quali soffitti e pavimenti, siccome essi rimarranno uguali anche dopo aver efficientato l'edificio vecchio, cosa che invece non accadrà per le murature esterne descritte in precedenza.

Il pavimento contro terra dei locali interrati è tipico delle costruzioni degli anni 70, con uno strato di ghiaia grossa senza argilla che viene seppellito da uno di cemento armato di sabbia e ghiaia seguito da uno di cemento magro e rifinito con piastrelle di ceramica:

Trasmittanza termica	*1,478*	W/m²K
Trasmittanza controterra	*0,625*	W/m²K
Spessore	*620*	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	*-9,1*	°C
Permeanza	*0,002*	10^{-12}kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	*1217*	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	*1217*	kg/m²
Trasmittanza periodica	*0,073*	W/m²K
Fattore attenuazione	*0,116*	-
Sfasamento onda termica	*-16,5*	h



N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	*0,170*	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	*10,00*	*1,3000*	*0,008*	*2300*	*0,84*	*9999999*
2	Sottofondo di cemento magro	*100,00*	*0,9000*	*0,111*	*1800*	*0,88*	*30*
3	C.l.s. di sabbia e ghiaia (pareti esterne)	*210,00*	*2,1500*	*0,098*	*2400*	*1,00*	*96*
4	Ghiaia grossa senza argilla (um. 5%)	*300,00*	*1,2000*	*0,250*	*1700*	*1,00*	*5*
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	*0,040*	-	-	-

Tabella 54: Stratigrafia pavimento contro terra.

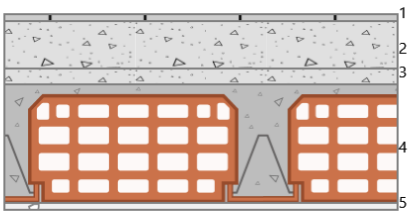
Un'importante considerazione può essere fatta sulla differente tipologia di struttura che viene inserita in EDILCLIMA a seconda se il pavimento sia di un locale climatizzato (tavernetta) o di un locale non climatizzato (autorimessa). L'area dei locali non climatizzati del piano interrato è infatti di oltre 420 m^2 con un perimetro disperdente del pavimento di 150 m mentre le due tavernette contano in tutto una superficie di 124 m^2 ed un perimetro disperdente di 64 m. Per entrambe le tipologie però le verifiche di condensa superficiale vengono superate, considerando i fattori di temperatura mostrati in Tabella 55:

Condizione da verificare: $f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$			
Mese critico: marzo			
$f_{RSI,max}$	**0,640**	f_{RSI}	**0,670**

Tabella 55: Verifica criticità di condensa superficiale.

I solai sul piano interrato e le solette interpiano sono invece di spessore 25 cm con blocchi in laterizio da 15 cm e un sottofondo di cemento magro inframezzati da 2 cm di c.l.s. di sabbia e ghiaia: tali strutture non sono soggette né a fenomeni di condensa superficiale né interstiziale.

Trasmittanza termica	*1,505*	W/m^{2}K
Spessore	*250*	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	*8,4*	°C
Permeanza	*0,002*	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	*360*	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	*344*	kg/m^2
Trasmittanza periodica	*0,488*	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	*0,324*	-
Sfasamento onda termica	*-7,9*	h

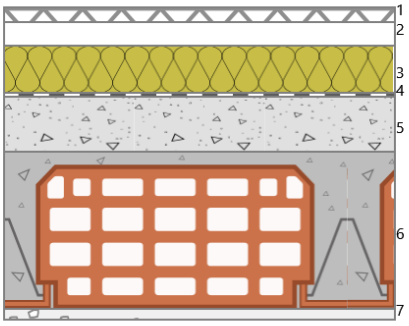


N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,3000	0,008	2300	0,84	9999999
2	Sottofondo di cemento magro	60,00	0,9000	0,067	1800	0,88	30
3	C.l.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	20,00	1,9100	0,010	2400	1,00	96
4	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	150,00	0,6600	0,227	1100	0,84	7
5	Intonaco di gesso e sabbia	10,00	0,8000	0,013	1600	1,00	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170	-	-	-

Tabella 56: Stratigrafia solette interpiano.

Prima di passare agli elementi finestrati, si vuole ancora mostrare la stratigrafia della copertura che è caratterizzata da una peculiarità importante per un edificio di quell'epoca, ossia la presenza di uno strato di 6 cm di polistirene espanso che ha la funzione di isolante termico. Se ad oggi è normale pensare ad un tetto isolato, all'inizio degli anni '70 la maggior parte dei tetti era "fredda", quindi senza la presenza di alcun tipo di isolante: le dispersioni sono quindi ridotte e questo porta a giustificare il fatto che l'edificio sia in Classe Energetica E, nonostante i suoi anni. (si faccia riferimento all'APE in allegato)

Trasmittanza termica	0,388	W/m^2K
Spessore	400	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-9,1	°C
Permeanza	0,210	$10^{-12}kg/sm^2Pa$
Massa superficiale (con intonaci)	432	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	408	kg/m^2
Trasmittanza periodica	0,050	W/m^2K
Fattore attenuazione	0,129	-
Sfasamento onda termica	-10,7	h



N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,071	-	-	-
1	Copertura in tegole di argilla	20,00	0,9900	0,020	2000	0,84	1
2	Intercapedine non ventilata Av<500 mm²/m	30,00	0,1875	0,160	-	-	-
3	Polistirene espanso, estruso con pelle	60,00	0,0330	1,818	35	1,45	60
4	Impermeabilizzazione con bitume	5,00	0,1700	0,029	1200	1,00	188000
5	C.l.s. di sabbia e ghiaia (pareti esterne)	70,00	1,2600	0,056	2000	1,00	96
6	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,6600	0,303	1100	0,84	7
7	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,8000	0,019	1600	1,00	10
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Tabella 57: Stratigrafia copertura.

Per ciò che concerne gli elementi trasparenti dell'involucro invece, essi sono caratterizzati da un telaio in legno con vetro doppio da 4 mm inframezzati da un'intercapedine d'aria che non li rende particolarmente performanti da un punto di vista energetico, favorendo infatti le dispersioni verso l'esterno. Anche in questo caso è possibile riassumere i parametri comuni ad ogni componente siccome non dipendenti dalle dimensioni, in Tabella 58:

Parametro	Unità di misura	Valore
Emissività ε	**[-]**	**0,890**
Fattore di trasmittanza solare $g_{gl,n}$	**[-]**	**0,750**
Trasmittanza vetro $[U_g]$	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	**2,752**

Tabella 58: Parametri comuni a tutti i componenti finestrati.

Si può quindi notare, confrontando tali dati con quelli in Tabella 22, come i parametri che variano maggiormente siano l'emissività e la trasmittanza del vetro: i moderni vetri tripli basso emissivi sono caratterizzati da migliori prestazioni siccome riducono di molto le dispersioni di calore attraverso i componenti finestrati permettendo un impiego ridotto di energia primaria per il riscaldamento durante la stagione invernale, diminuendo quindi non solo le dispersioni ma anche i consumi e, conseguentemente, le emissioni. Discorso analogo può essere fatto per la trasmittanza: siccome essa rappresenta il calore che passa attraverso la finestra, tanto maggiore sarà il suo valore, tanto peggiori saranno le prestazioni di isolamento del componente e quindi le dispersioni per trasmissione si alzeranno inevitabilmente.

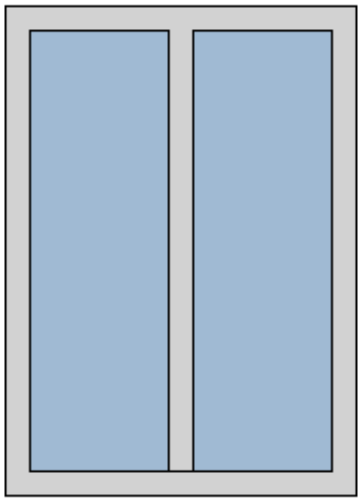
Siccome la trasmittanza termica di ogni componente finestrato dipende dalle dimensioni del telaio, si riporta anche in questo caso il valor medio, pesato rispetto alle superfici di ogni finestra, ottenuto da EDILCLIMA:

$$U_w = 2{,}429 \left[\frac{W}{m^2K}\right]$$

In questo caso invece il valore di trasmittanza lineica Ψ associata al ponte termico è maggiore rispetto ai serramenti moderni utilizzati per Villa Ginevra:

$$\Psi = 0{,}061 \left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{mK}}\right]$$

Si vuole mostrare nuovamente un esempio di scheda tecnica con i parametri principali del componente finestrato più frequente nel vecchio edificio, ossia quello di dimensioni 100x140 cm:



Caratteristiche del serramento			
Tipologia di serramento	*Singolo*		
Classe di permeabilità	*Senza classificazione*		
Trasmittanza termica	U_w	*2,974*	W/m^2K
Trasmittanza solo vetro	U_g	*3,012*	W/m^2K
Dati per il calcolo degli apporti solari			
Emissività	ε	*0,890*	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\ inv}$	*0,42*	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\ est}$	*0,42*	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	*0,750*	-
Fattore trasmissione solare totale	g_{gl+sh}	*0,309*	-
Caratteristiche delle chiusure oscuranti			
Resistenza termica chiusure		*0,14*	m^2K/W
f shut		*0,6*	-
Dimensioni del serramento			
Larghezza		*100,0*	cm
Altezza		*140,0*	cm
Caratteristiche del telaio			
Trasmittanza termica del telaio	U_f	*1,90*	W/m^2K
K distanziale	K_d	*0,06*	W/mK
Area totale	A_w	*1,400*	m^2
Area vetro	A_g	*0,995*	m^2
Area telaio	A_f	*0,405*	m^2
Fattore di forma	F_f	*0,71*	-
Perimetro vetro	L_g	*6,620*	m
Perimetro telaio	L_f	*4,800*	m
Caratteristiche del modulo			
Trasmittanza termica del modulo	U	*3,184*	W/m^2K
Ponte termico del serramento			
Ponte termico associato	*Z1*	*W - Parete - Telaio*	
Trasmittanza termica lineica	Ψ	*0,061*	W/mK
Lunghezza perimetrale		*4,80*	m

Tabella 59: Scheda tecnica componente finestrato.

Dopo aver descritto i componenti opachi e quelli trasparenti che caratterizzano l'edificio preesistente, si vuole adesso descrivere l'impianto, specificando fin dall'inizio che esso è caratterizzato da diverse tipologie di generatori installati in più anni a seconda dell'unità immobiliare: risulta quindi evidente come i due alloggi siano caratterizzati da impianti totalmente autonomi per soddisfare i propri fabbisogni separatamente:

- Alloggio 1: in questa prima unità, l'impianto è composto da una caldaia a condensazione alimentata a gas naturale installata all'inizio degli anni 2000 quando l'ampliamento dell'alloggio venne realizzato, e da alcuni splitter elettrici ausiliari, utilizzati soprattutto per il raffrescamento estivo. Il modello di caldaia è "RIELLO CONDEXA PRO 50" con una potenza nominale al focolaio di 34,8 kW ed un rendimento utile del 98,4%. Essa è utilizzata sia per l'impianto di riscaldamento che per il riscaldamento dell'acqua sanitaria e la temperatura di progetto dell'acqua circolante è di 70°C alla mandata e 50°C sul condotto di ritorno. I terminali del sistema di riscaldamento sono comuni radiatori installati sulle pareti esterne non isolate [37].
  Dato non trascurabile è il fattore di emissione di CO_2 del metano uguale a $0{,}210\ \left[\frac{kg_{CO_2}}{kWh}\right]$: con l'installazione di una caldaia a condensazione, le emissioni di anidride carbonica in atmosfera sono particolarmente ridotte rispetto ad una caldaia tradizionale siccome esse sono in grado di recuperare calore ed energia che invece in una caldaia tradizionale vengono dispersi facendo condensare il vapore acqueo e conseguentemente riducendo l'efficienza dell'apparecchio incrementandone i consumi. Non sono inoltre presenti accumuli né inerziali né per l'ACS.
  Per quanto riguarda l'impianto di raffreddamento invece, esso è caratterizzato da terminali di erogazione ad espansione diretta, i comuni condizionatori a parete, con un rendimento del 97% modello "RIELLO AARIA AMW 35S" con una potenza nominale di 4 kW. Ognuno dei 4 split interni è accoppiato con un'unità esterna e sono posizionati rispettivamente nelle due camere da letto di dimensioni maggiori al piano primo e nella cucina al piano terra. La loro potenza frigorifera è di 3,60 kW e il coefficiente di prestazione COP di 4,10 [38].
  - Alloggio 2: per quanto riguarda invece questa seconda unità immobiliare, solamente una caldaia tradizionale "IMMERGAS EOLO EXTRA" da 34,30 kW di potenza nominale al focolaio sopperisce ai fabbisogni del circuito del riscaldamento e dell'acqua calda sanitaria. Anch'essa è alimentata a metano ma, rispetto a quella a condensazione dell'alloggio 1, il suo rendimento è minore (93,2%) e, le emissioni di CO_2, come detto in precedenza, maggiori [39]. In comune con la prima unità immobiliare vi sono i radiatori come terminali di erogazione e l'assenza di un sistema di accumulo di qualsiasi tipo. In questo caso però non sono presenti i condizionatori ausiliari per il sistema di raffreddamento.

Dalla descrizione dell'impianto e dei materiali che vennero utilizzati per la costruzione dell'edificio all'inizio degli anni '70, è chiaro che i consumi siano più elevati così come l'impatto sull'ambiente, essendo esso alimentato quasi solamente da fonti non rinnovabili, quale il metano.

Prima di procedere con l'efficientamento energetico dell'edificio preesistente, si ritiene comunque opportuno mostrare quelli che sono i parametri energetici più significativi di quest'ultimo allo stato di fatto e quelli che sono i valori ottenuti per Villa Ginevra.

Parametro	Unità di misura	Valore edificio esistente	Valore Villa Ginevra
EP_{nren}	$\left[\frac{kWh}{m^2 anno}\right]$	226,71	20,13
EP_{ren}	$\left[\frac{kWh}{m^2 anno}\right]$	1,05	72,72
EP_{tot}	$\left[\frac{kWh}{m^2 anno}\right]$	227,76	92,85
$Q_{p,tot}$	$[kWh]$	109314	62033
Consumo energia elettrica	$\left[\frac{kWh_{el}}{anno}\right]$	1068	6897
Consumo gas naturale	$\left[\frac{Nm^3}{anno}\right]$	10226	0
Emissioni CO_2	$\left[\frac{kg_{CO2}}{anno}\right]$	21837	3172
Classe energetica	$[-]$	E	A4

Tabella 60: Confronto parametri energetici tra edificio vecchio e Villa Ginevra.

Dai valori mostrati in Tabella 60 è evidente come un confronto tra edifici con 50 anni di differenza sia privo di senso: l'assenza di produzione da fonti rinnovabili per il vecchio edificio e lo sfruttamento di metano, non condizionano in maniera prepotente solo gli indici di prestazione energetica di esso, bensì anche le emissioni di CO_2 strettamente collegato all'impiego di fonti fossili per soddisfare le richieste energetiche.

Appurato quindi che non sia possibile comparare le prestazioni energetiche dei due edifici, nel Capitolo successivo si descriverà come sono stati implementati i miglioramenti energetici in EDILCLIMA per la struttura esistente al fine di ottenere un confronto più realistico.

9. Progetto di efficientamento energetico

Al fine di efficientare l'edificio esistente costruito mediante EDILCLIMA, si utilizza lo stesso software, con lo stesso input grafico di base ma variando i componenti ritenuti maggiormente responsabili delle scarse prestazioni energetiche degli edifici di 50 anni fa, quali per esempio l'impianto, i serramenti e i componenti opachi verticali.

Solitamente, quando si decide di efficientare un'abitazione esistente, il problema principale è il budget che il proprietario mette a disposizione dell'impresa per la progettazione e la realizzazione degli interventi migliorativi. Nel periodo in cui il trattato è sotto stesura, è possibile attingere a molteplici incentivi fiscali, denominati Ecobonus, in caso di lavori di miglioramento dell'efficienza energetica della propria abitazione, i quali consistono in detrazioni fiscali dall'imposta sul reddito delle persone fisiche (IRPEF). È bene specificare che si può attingere a detrazioni fiscali di diversa percentuale, 50%, 65% e 110% in base agli interventi che vengono svolti: si analizzano adesso i requisiti che bisogna rispettare per poter attingere a questi bonus, in modo tale da porsi degli obiettivi tecnici per il progetto di efficientamento dell'edificio esistente.

- Superbonus 110%: tale incentivo è definito all'Articolo 119 del Decreto Legislativo n. 34/2020 denominato "Decreto Rilancio", convertito poi nella Legge n. 77/2020. Al fine di poter attingere a questo bonus, bisogna compiere almeno uno dei tre interventi definiti "trainanti", cioè degli interventi che implichino notevoli miglioramenti delle performance energetiche dell'edificio in questione: [40]

1. "*interventi di isolamento termico delle superfici opache verticali, orizzontali e inclinate che interessano l'involucro dell'edificio con un'incidenza superiore al 25 per cento della superficie disperdente lorda dell'edificio […]*" [40]. Si segnala inoltre che i materiali isolanti utilizzati devono rispettare necessariamente i requisiti imposti dal Decreto Ministeriale 11/10/2017 "Criteri Ambientali Minimi";
2. "*interventi sulle parti comuni degli edifici per la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti centralizzati per il riscaldamento, il raffrescamento o la fornitura di acqua calda sanitaria, a condensazione, con efficienza almeno pari alla classe A di prodotto prevista dal regolamento delegato (UE) n. 811/2013 della Commissione, del 18 febbraio 2013, a pompa di calore, ivi compresi gli impianti ibridi o geotermici, anche abbinati all'installazione di impianti fotovoltaici […]*" [40]. Non è quindi inerente al caso specifico analizzato nel corso del presente trattato siccome non si tratta di un condominio bensì di una casa unifamiliare;
3. "*interventi sugli edifici unifamiliari o sulle unità immobiliari situate all'interno di edifici plurifamiliari che siano funzionalmente indipendenti e dispongano di uno o più accessi autonomi dall'esterno per la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti per il riscaldamento, il raffrescamento o la fornitura di acqua calda sanitaria, a condensazione, con efficienza almeno pari alla classe A di prodotto prevista dal regolamento delegato (UE) n. 811/2013 della Commissione, del 18 febbraio 2013, a pompa di calore, ivi compresi gli impianti ibridi o geotermici, anche abbinati all'installazione di impianti fotovoltaici […]*" [40].

Si ritiene importante sottolineare a questo punto della trattazione che, oltre i requisiti tecnici citati nell'elenco precedente, la Legge impone anche dei limiti monetari ben precisi per ognuno degli interventi: siccome per la simulazione del progetto di efficientamento non si può avere un vero confronto con il committente, il quale decide a quanto ammonta la sua disponibilità finanziaria per i lavori, si trascurerà tale componente economica, giustificando le scelte progettuali solamente da un punto di vista tecnico-normativo e utilizzando il buon senso, in modo tale da rendere il confronto con l'edificio di nuova costruzione il più veritiero possibile.

- Bonus 65%: al fine di citare quali sono gli interventi migliorativi per poter attingere a tali agevolazioni fiscali, bisogna fare riferimento al Decreto Legislativo n. 63 del 04/06/2013, convertito poi nella Legge n.160/2019 del 27 dicembre 2019: [41]

1. "*interventi di sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di caldaie a condensazione di efficienza almeno pari alla classe A di prodotto e contestuale installazione di sistemi di termoregolazione evoluti*" [41];
2. "*interventi di sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di apparecchi ibridi, costituiti da pompa di calore integrata con caldaia a condensazione […] e con generatori di aria calda a condensazione*" [41];
3. "*interventi di sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di caldaie a condensazione e contestuale messa a punto del sistema di distribuzione*" [41], ossia il rifacimento intero dell'impianto di riscaldamento;
4. "*interventi di sostituzione, integrale o parziale, di impianti di climatizzazione invernale con pompe di calore ad alta efficienza e con impianti geotermici a bassa entalpia e contestuale messa a punto del sistema di distribuzione realizzato*" [41];
5. interventi di riqualificazione energetica;
6. "*interventi su edifici esistenti, parti di edifici esistenti o unità immobiliari, riguardanti strutture opache verticali e strutture opache orizzontali*" [41];
7. "*l'installazione di impianto pannelli solare termico per la produzione di acqua calda per usi domestici o industriali e per la copertura del fabbisogno di acqua calda in piscine […]*" [41].

   È evidente come la lista di interventi che ci possono realizzare al fine di attingere al bonus sono davvero molteplici e si soffermano in particolar modo sulla sostituzione dei vecchi impianti con altri più moderni e con prestazioni migliori, sia in quanto a consumi che in quanto a emissioni nocive per l'ambiente.

- Bonus 50%: anche per questo bonus il decreto al quale bisogna fare riferimento è il n. 63 del 04/06/2103. Questo incentivo comprende però anche altri elementi oltre che l'impianto e l'isolamento termico dell'edificio, quali per esempio le finestre comprensive di infissi e di schermature solari, le porte esterne. Inoltre, per ciò che concerne gli impianti, la sostituzione di essi con caldaie a condensazione rimane tra gli interventi che portano a tale bonus, senza però la precisazione dei cosiddetti "sistemi di termoregolazione evoluti" rispetto al punto 1 dell'incentivo precedente.

Si mostrano inoltre in Tabella 61 quali devono essere i requisiti delle trasmittanze dei componenti, al fine di poter attingere ai bonus sopra elencati:

Tipologia di intervento	Requisiti tecnici di soglia per la tipologia di intervento	
i. Strutture opache orizzontali: isolamento coperture (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 6946)	Zona climatica A	≤ 0,27 W/m²*K
	Zona climatica B	≤ 0,27 W/m²*K
	Zona climatica C	≤ 0,27 W/m²*K
	Zona climatica D	≤ 0,22 W/m²*K
	Zona climatica E	≤ 0,20 W/m²*K
	Zona climatica F	≤ 0,19 W/m²*K
ii. Strutture opache orizzontali: isolamento pavimenti (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 6946)	Zona climatica A	≤ 0,40 W/m²*K
	Zona climatica B	≤ 0,40 W/m²*K
	Zona climatica C	≤ 0,30 W/m²*K
	Zona climatica D	≤ 0,28 W/m²*K
	Zona climatica E	≤ 0,25 W/m²*K
	Zona climatica F	≤ 0,23 W/m²*K
iii. Strutture opache verticali: isolamento pareti perimetrali (calcolo secondo le norme UNI EN ISO 6946)	Zona climatica A	≤ 0,38 W/m²*K
	Zona climatica B	≤ 0,38 W/m²*K
	Zona climatica C	≤ 0,30 W/m²*K
	Zona climatica D	≤ 0,26 W/m²*K
	Zona climatica E	≤ 0,23 W/m²*K
	Zona climatica F	≤ 0,22 W/m²*K
iv. Sostituzione di finestre comprensive di infissi (calcolo secondo le norme UNI ENISO 10077-1)	Zona climatica A	≤ 2,60 W/m²*K
	Zona climatica B	≤ 2,60 W/m²*K
	Zona climatica C	≤ 1,75 W/m²*K
	Zona climatica D	≤ 1,67 W/m²*K
	Zona climatica E	≤ 1,30 W/m²*K
	Zona climatica F	≤ 1,00 W/m²*K

Tabella 61: Requisiti minimi trasmittanze. [42]

Una volta fatta chiarezza su quali sono gli incentivi ai quali si può attingere, si procede ora con il descrivere le scelte progettuali fatte al fine di efficientare l'edificio di inizio anni '70: il primo step è la realizzazione di un cappotto termico sulle pareti verticali esterne e la sostituzione dei serramenti, in modo tale da ridurre notevolmente le dispersioni e di conseguenza la potenza necessaria richiesta ai generatori per sopperire ai carichi dell'abitazione. In un secondo momento, una volta simulate le performance dell'edificio con le migliorie sopracitate mediante EDILCLIMA, si andrà a dimensionare l'impianto fotovoltaico e i generatori necessari per sopperire ai nuovi fabbisogni energetici, che, come detto, ci si aspetta siano minori.

9.1 Rifacimento involucro con cappotto esterno

Il primo miglioramento che si intende realizzare è il cappotto esterno: siccome non si è in condizioni di centro abitato in cui l'ampliamento del volume esterno potrebbe causare problemi con il vicinato o con le attività commerciali circostanti, la scelta di installare un cappotto sulle pareti esterne e non su quelle interne, riducendo quindi lo spazio abitabile, è giustificata.

La scelta del materiale isolante non è semplice, anche perché non esiste un isolante perfetto, una scelta giusta o sbagliata, bensì bisogna discutere con la committenza in base al budget che si ha a disposizione e tenere in considerazione la zona climatica in cui l'edificio è collocato. Siccome è stato specificato che il budget non viene considerato in questa analisi, la decisione finale sul materiale da utilizzare e sullo spessore dello stesso, si baserà sul rispettare i vincoli di trasmittanza imposti per Legge, mostrati in Tabella 61, e sul buon senso, escludendo i materiali con

performance di isolamento eccellenti ma caratterizzati da costi non competitivi sul mercato odierno, come per esempio l'aerogel ($120 - 430\ \left[\frac{€}{m^2}\right]$). [19]

L'obiettivo è quindi quello di rendere l'edificio il più competitivo possibile da un punto di vista energetico, ma anche economico. Le scelte che verranno fatte sono quindi ponderate e non si baseranno solamente sul raggiungimento delle migliori performance energetiche possibili, ma terranno in considerazione in maniera implicita anche i costi di realizzazione degli interventi: verranno infatti inseriti di volta in volta i costi parametrici degli interventi ipotizzati, utilizzando come fonte ufficiale il prezziario dei materiali del 2021, in modo tale da giustificare le scelte fatte anche da un punto di vista monetario.

Per prima cosa, si ritiene opportuno ricordare quali sono le proprietà che devono caratterizzare un buon materiale isolante, al fine di poter ottenere dei valori oggettivi da confrontare tra le varie opzioni disponibili:

- Spessore $s\ [m]$: maggiore è lo spessore di isolante, migliori saranno le proprietà che si otterranno. Un buon isolante però deve garantire ottimi risultati con spessori minori possibili, in modo tale da non aumentare troppo il volume del fabbricato e, conseguentemente, i suoi costi di produzione;
- Conducibilità termica $\lambda\ \left[\frac{W}{mK}\right]$: esso rappresenta l'abilità di un materiale nel condurre calore, quindi tanto minore è il valore di λ tanto maggiore è il potere di isolamento termico del materiale;
- Sfasamento termico $\tau\ [h]$: indica il tempo che il calore impiega prima di raggiungere gli ambienti interni. Viene calcolato lo sfasamento "temperatura-flusso" seguendo la normativa imposta dal Decreto Ministeriale 26/06/09, ossia la differenza tra il picco di temperatura sul lato esterno dell'edificio e il picco di calore entrante sul lato interno, quindi tanto maggiore è questo valore, tanto migliore saranno le prestazioni del materiale;
- Coefficiente di traspirabilità $\mu\ [-]$: a differenza dei parametri precedenti, questo coefficiente deve essere il più basso possibile affinché la traspirabilità della parete isolata sia migliore, e quindi si eviti la formazione di condense superficiali e muffe;
- Densità $\rho\ \left[\frac{kg}{m^3}\right]$;
- Capacità termica volumica $C\ \left[\frac{Wh}{m^3}\right]$: è un parametro fondamentale per le prestazioni estive del materiale isolante e più è alto il valore, migliore sarà l'abilità del materiale a non permettere l'ingresso del calore dall'esterno all'interno dell'edificio;
- Costi di produzione e posa in opera: per quanto essi non siano un parametro strettamente tecnico, la valutazione economica è fondamentale da tenere in considerazione quando si deve scegliere il materiale con cui realizzare il cappotto.

I materiali che si possono utilizzare per l'isolamento esterno possono essere di origine sintetica, come polistirene o poliuretano, di origine minerale, come la lana di roccia o lana di vetro, oppure di origine naturale, come fibra di legno o sughero. Questi ultimi verranno esclusi perché richiedono grandi spessori per ottenere le stesse performance rispetto alle prime due categorie,

risultando quindi poco conveniente da un punto di vista economico e, inoltre, anche per la difficoltà che si avrebbe nell'installazione dei pannelli di fibra di legno su un edificio già esistente.

La scelta deve ricadere quindi tra isolanti di origine sintetica o minerale: si mostra in Tabella 62 un riassunto delle principali proprietà per i materiali candidati ad essere utilizzati.

Materiale	$\boldsymbol{\lambda}\left[\frac{\boldsymbol{W}}{\boldsymbol{mK}}\right]$	$\boldsymbol{\mu}\,[-]$	**Spessore sfasamento di 10 h [cm]**	$\boldsymbol{C}\left[\frac{\boldsymbol{Wh}}{\boldsymbol{m^3}}\right]$	$\boldsymbol{\rho}\left[\frac{\boldsymbol{kg}}{\boldsymbol{m^3}}\right]$	**Costo** $\left[\frac{€}{m^2}\right]$
Poliuretano	0,025	30-50	50	14	35	35-60
EPS	0,031	20-40	60	10	25	40-80
Lana di roccia	0,035	1	52	29	100	70-85
Lana di vetro	0,038	1	72	23	80	60-80

Tabella 62: Confronto parametri tra materiali isolanti. [19]

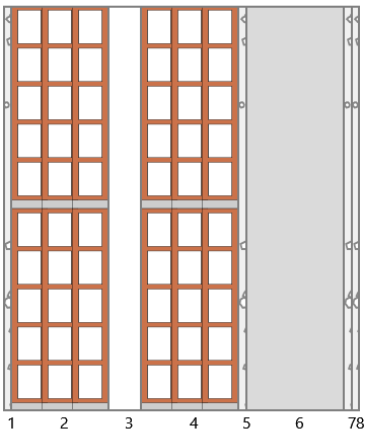
La scelta progettuale è ricaduta sui pannelli di polistirene espanso sinterizzato (EPS) grigio, cioè additivato con grafite, modello "KLIMA AIRPLUS" da 120 mm di spessore (65 $\left[\frac{€}{m^2}\right]$) [19]. Le motivazioni che hanno portato alla decisione di utilizzare questi pannelli sono molteplici e verranno adesso elencate.

La prima di queste è legata agli ottimi valori di conducibilità termica che caratterizzano il polistirene grafitato (0,031 $\left[\frac{W}{mK}\right]$) rispetto al polistirene bianco (0,04 $\left[\frac{W}{mK}\right]$) e anche rispetto agli altri isolanti mostrati in Tabella 62, il che permette di ottenere dei valori di trasmittanza globale del muro $\leq 0{,}230\ \left[\frac{W}{m^2K}\right]$, in modo tale da rispettare i requisiti minimi per attingere ai bonus in Zona E. La seconda è invece prettamente legata ai costi che, come si può osservare, sono un giusto compromesso tra l'economicità del poliuretano e gli isolanti minerali, caratterizzati da performance migliori durante l'estate (valori di conducibilità volumica maggiori) ma allo stesso tempo più costosi e, soprattutto, più difficoltosi da installare: se i pannelli di EPS sono infatti molto semplici da posare in opera e da tagliare per ottenere le dimensioni volute, per quelli di lana di vetro o lana di roccia bisogna prestare una maggiore attenzione alle piccole schegge che si possono formare, particolarmente nocive per le vie respiratorie.

Per quanto riguarda lo sfasamento temporale del flusso di calore e la permeabilità al vapore, i pannelli di EPS non sono performanti come i pannelli di isolante minerali, i quali però devono essere obbligatoriamente rivestiti con apposite barriere al vapore al fine di evitare danni legati all'umidità, il che porta un incremento ulteriore dei costi. Si è però preferito optare per il polistirene espanso grigio perché privo di CFC (clorofluorocarburi) e HCFC (idroclorofluorocarburi): tale caratteristica lo rende riciclabile come inerte a fine vita oltre che garantire una riduzione di emissioni di CO_2 in fase di produzione. Infine, un ultimo vantaggio è la facilità di penetrazione dell'adesivo e del rasante utilizzati per posizionare i pannelli su pareti di edifici esistenti in laterizio, calcestruzzo o, come nel caso in esame, intonaco.

In Tabella 63 viene mostrata la stratigrafia delle pareti esterne con la presenza dell'isolante e i risultati ottenuti: il parametro sul quale soffermare maggiormente l'attenzione è la trasmittanza termica della parete, passata da un valore di 0,994 $\left[\frac{W}{mK}\right]$ a 0,220 $\left[\frac{W}{mK}\right]$.

Trasmittanza termica	*0,220*	W/m²K
Spessore	*440*	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	*-9,1*	°C
Permeanza	*169,49*	10^{-12}kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	*221*	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	*174*	kg/m²
Trasmittanza periodica	*0,039*	W/m²K
Fattore attenuazione	*0,175*	-
Sfasamento onda termica	*-10,4*	h



N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	*0,130*	-	-	-
1	Intonaco di gesso	*10,00*	*0,4000*	-	*1000*	*1,00*	*10*
2	Mattone forato	*120,00*	*0,3870*	-	*717*	*0,84*	*9*
3	Intercapedine debolmente ventilata Av=600 mm²/m	*40,00*	-	-	-	-	-
4	Mattone forato	*120,00*	*0,3870*	-	*717*	*0,84*	-
5	Intonaco di gesso	*10,00*	*0,4000*	-	*1000*	*1,00*	-
6	Klima Airplus - Pannello in EPS da Cappotto grigio con grafite, detensionamenti frontali e nervature posteriori	*120,00*	*0,0310*	-	*16*	*1,45*	-
7	Klima Fix - Adesivo&Rasante da Cappotto cementizio grigio	*10,00*	*0,4300*	-	*1420*	*1,00*	-
8	Intonaco plastico per cappotto	*10,00*	*0,3000*	-	*1300*	*0,84*	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	*0,071*	-	-	-

Tabella 63: Stratigrafia muratura perimetrale con cappotto esterno.

Lo spessore totale del muro perimetrale è passato da 30 cm a 44 cm, ma, come detto in precedenza, questo non comporta problematiche siccome non sono presenti altri edifici nei dintorni dell'abitazione, quindi le distanze minime imposte dal Codice Civile non vengono violate. Si nota inoltre come anche i valori di trasmittanza termica periodica e fattore di attenuazione siano diminuiti notevolmente, rispettivamente passati da 0,585 $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$ a 0,039 $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$ e da 0,588 a 0,175: questo giustifica come lo sfasamento dell'onda termica sia aumentato, da 6,6 ore a 10,4, migliorando quindi le proprietà della parete.

Un'ultima considerazione vuole essere fatta su come siano cambiate le prestazioni energetiche dell'edificio solamente apportando un unico miglioramento di efficientamento: con lo stesso impianto installato, il fabbisogno totale di energia primaria $Q_{p,tot}$ è diminuito da 109314

kWh a 61645 kWh, in particolare il consumo di gas naturale per sopperire ai fabbisogni è passato da 10226 $\left[\frac{Nm^3}{anno}\right]$ a 5718 $\left[\frac{Nm^3}{anno}\right]$. Conseguentemente, anche l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile EP_{nren} ha subito un'importante diminuzione, passando da 226,71 $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$ a 127,64 $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$, permettendo all'edificio un triplo salto di classe energetica, da classe E a classe B.

Vengono mostrati in Tabella 64 e 65 i risultati delle dispersioni attraverso l'involucro opaco rispettivamente senza e con il cappotto termico in EPS:

Cod	Tipo	Descrizione elemento	U [W/m²K]	θe [°C]	S_{Tot} [m²]	Φ_{tr} [W]	% Φ_{Tot} [%]
M1	*T*	*Muratura perimetrale 30 cm*	*1,023*	*-9,1*	*469,49*	*15686*	*39,1*
M2	*T*	*Muratura perimetrale 35 cm*	*1,023*	*-9,1*	*41,68*	*1424*	*3,6*
M5	*T*	*Muratura piano interrato verso esterno*	*1,109*	*-9,1*	*113,56*	*4141*	*10,3*
M7	*U*	*Muratura piano interrato tra locali diversi*	*1,017*	*8,4*	*127,19*	*1503*	*3,7*
P1	*G*	*Pavimento su terreno da locale climatizzato*	*0,625*	*-9,1*	*146,05*	*2654*	*6,6*
P3	*U*	*Pavimento su locali interrati non climatizzati*	*1,505*	*8,4*	*133,93*	*2341*	*5,8*
S1	*U*	*Soffitto locali interrati non climatizzati*	*1,906*	*0,0*	*5,74*	*219*	*0,5*
S4	*T*	*Copertura*	*0,393*	*-9,1*	*297,99*	*3829*	*9,6*
					Totale	*31798*	*79,3*

Tabella 64: Dispersioni componenti opachi edificio allo stato di fatto, senza cappotto.

Cod	Tipo	Descrizione elemento	U [W/m²K]	θe [°C]	S_{Tot} [m²]	Φ_{tr} [W]	% Φ_{Tot} [%]
M1	*T*	*Muratura perimetrale 30 cm*	*0,222*	*-9,1*	*469,49*	*3399*	*15,9*
M2	*T*	*Muratura perimetrale 35 cm*	*0,222*	*-9,1*	*41,68*	*308*	*1,4*
M5	*T*	*Muratura piano interrato verso esterno*	*1,109*	*-9,1*	*113,56*	*4141*	*19,4*
M7	*U*	*Muratura piano interrato tra locali diversi*	*1,017*	*8,4*	*127,19*	*1453*	*6,8*
P1	*G*	*Pavimento su terreno da locale climatizzato*	*0,625*	*-9,1*	*146,05*	*2654*	*12,4*
P3	*U*	*Pavimento su locali interrati non climatizzati*	*1,505*	*8,4*	*133,93*	*2263*	*10,6*
S1	*U*	*Soffitto locali interrati non climatizzati*	*1,906*	*0,0*	*5,74*	*219*	*1,0*
S4	*T*	*Copertura*	*0,393*	*-9,1*	*297,99*	*3829*	*17,9*
					Totale	*18266*	*85,4*

Tabella 65: Dispersioni componenti opachi edificio con cappotto esterno.

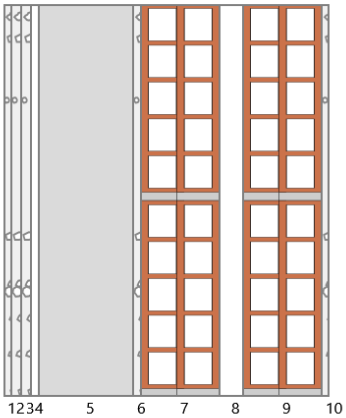
Come si può notare in Tabella 65, una diminuzione del 43% delle dispersioni attraverso i componenti opachi si è ottenuta isolando solamente le murature perimetrali, per le quali la trasmittanza è diminuita da 1,023 $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$ a 0,222 $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$.

Un dato piuttosto rilevante salta agli occhi osservando i risultati in Tabella 65, ossia la percentuale di dispersioni che si ha attraverso la muratura del piano interrato verso l'esterno: con una superficie disperdente di 113,56 m^2 si ha una dispersione del 19,4% contro una dispersione del 15,9% della muratura perimetrale rivestita con EPS, sebbene la sua superficie disperdente sia

di 469,49 m^2, quindi più di quattro volte maggiore. Vista questa situazione, si può pensare ad un ulteriore rivestimento, però in questo caso della parete al piano interrato. Essendo la tavernetta un locale con uso saltuario e di dimensioni significative, si è deciso di installare una controparete interna in cartongesso isolata con lo stesso materiale utilizzato per il cappotto esterno. La scelta dell'EPS piuttosto che di un isolante minerale è legata strettamente alla possibile presenza di muffe: essendo la tavernetta al piano interrato e quindi un locale particolarmente soggetto all'umidità, si è preferito utilizzare un isolante che non trattenga la condensa superficiale e interstiziale, bensì favorisca la sua rimozione.

In Tabella 66 è riportata la nuova stratigrafia della parete al piano interrato.

Trasmittanza termica	*0,215*	W/m^2K
Spessore	*415*	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	*-9,1*	°C
Permeanza	*571,42*	$10^{-12}kg/sm^2Pa$
Massa superficiale (con intonaci)	*209*	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	*158*	kg/m^2
Trasmittanza periodica	*0,051*	W/m^2K
Fattore attenuazione	*0,235*	-
Sfasamento onda termica	*-10,0*	h



N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	*0,130*	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	*10,00*	*0,7000*	-	*1400*	*1,00*	*10*
2	Cartongesso in lastre	*12,50*	*0,2100*	-	*700*	*1,00*	*10*
3	Cartongesso in lastre	*12,50*	*0,2100*	-	*700*	*1,00*	*10*
4	Intercapedine debolmente ventilata Av=600 mm²/m	*10,00*	-	-	-	-	-
5	Klima Airplus - Pannello in EPS da Cappotto grigio con grafite, detensionamenti frontali e nervature posteriori	*120,00*	*0,0310*	-	*16*	*1,45*	-
6	Intonaco di gesso	*10,00*	*0,4000*	-	*1000*	*1,00*	-
7	Mattone forato	*100,00*	*0,3700*	-	*780*	*0,84*	-
8	Intercapedine debolmente ventilata Av=600 mm²/m	*30,00*	-	-	-	-	-
9	Mattone forato	*100,00*	*0,3700*	-	*780*	*0,84*	-
10	Intonaco di gesso	*10,00*	*0,4000*	-	*1000*	*1,00*	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	*0,071*	-	-	-

Tabella 66: Stratigrafia parete piano interrato con cappotto interno.

Si vuole precisare che l'intercapedine d'aria è presente per la struttura in metallo che sostiene la doppia lastra di cartongesso.

Vengono mostrati adesso i risultati delle dispersioni attraverso i componenti opachi che si sono ottenuti con questa ulteriore implementazione, la quale ha portato ad un ulteriore salto di

classe energetica dell'edificio, approdato adesso in A1 grazie ad un indice di prestazione non rinnovabile $EP_{nren} = 110{,}06 \left[\frac{kWh}{m^2 anno}\right]$.

Cod	Tipo	Descrizione elemento	U [W/m²K]	θe [°C]	S_{Tot} [m²]	Φ_{tr} [W]	% Φ_{Tot} [%]
M1	*T*	*Muratura perimetrale 30 cm*	*0,222*	*-9,1*	*469,49*	*3399*	*18,8*
M2	*T*	*Muratura perimetrale 35 cm*	*0,222*	*-9,1*	*41,68*	*308*	*1,7*
M5	*T*	*Muratura piano interrato verso esterno*	*0,215*	*-9,1*	*113,56*	*810*	*4,5*
M7	*U*	*Muratura piano interrato tra locali diversi*	*1,017*	*8,8*	*127,19*	*1453*	*8,0*
P1	*G*	*Pavimento su terreno da locale climatizzato*	*0,625*	*-9,1*	*146,05*	*2654*	*14,7*
P3	*U*	*Pavimento su locali interrati non climatizzati*	*1,505*	*8,8*	*133,93*	*2263*	*12,5*
S1	*U*	*Soffitto locali interrati non climatizzati*	*1,906*	*0,0*	*5,74*	*219*	*1,2*
S4	*T*	*Copertura*	*0,393*	*-9,1*	*297,99*	*3829*	*21,2*

Tabella 67: Dispersioni componenti opachi edificio con cappotto esterno e interno.

Il peso percentuale della dispersione attraverso la superficie della tavernetta è diminuito dal 19,4% al 4,5%: il posizionamento dello strato di EPS interno migliora notevolmente le prestazioni energetiche dell'edificio e si ritiene quindi che la sua installazione sia necessaria nonostante la riduzione dello spazio abitabile che esso comporta.

Per concludere, si ritiene opportuno osservare che non è stato considerato l'isolamento del tetto siccome, come descritto nel Capitolo 8, uno strato di isolante era già presente (trasmittanza della copertura 0,393 $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$), e quindi il rapporto tra costi e benefici sarebbe stato negativo: i lavori di rifacimento della copertura possono essere molto lunghi e costosi, quindi si è ritenuta una soluzione sconveniente e non la si è implementata in EDILCLIMA.

9.2 Sostituzione serramenti

Il secondo miglioramento riguarda invece la sostituzione dei serramenti che, come visto nel Capitolo 8, sono caratterizzati da scarse prestazioni energetiche, elevate dispersioni e valori di emissività, peculiari dei serramenti datati come quelli in questione per l'edificio preesistente.

Anche questa seconda operazione è quindi focalizzata sulla parte edilizia dell'abitazione e non ancora sull'ammodernamento dell'impianto: tale decisione è giustificabile siccome, se si andasse a migliorare dapprima l'impianto e non la struttura, i consumi sarebbero comunque particolarmente elevati e quindi l'impianto sarebbe di dimensioni maggiori rispetto a quelle necessarie dopo un efficientamento della struttura. Lavorando prima sulla parte edilizia e poi su quella impiantistica invece, si cerca di ridurre le dispersioni dell'involucro, sia opaco che trasparente, per poi installare macchine maggiormente performanti come pompe di calore o caldaie a condensazione di ultima generazione.

Come per la scelta del materiale isolante del cappotto termico, anche in questo caso ci si baserà sul raggiungimento di trasmittanza minima dell'Allegato E (Tabella 61 pag. 112) per i serramenti in Zona E. Per quanto riguarda i componenti finestrati, i parametri fondamentali da considerare sono:

- Trasmittanza termica del serramento U_w e classe di tenuta all'aria, in modo tale da garantire un buon isolamento termico e limitare le dispersioni attraverso tali componenti, che solitamente sono una parte consistente di quelle totali dell'involucro;
- Trasmittanza termica del vetro U_g;
- Fattore solare g, il quale misura quanta energia è in grado di entrare attraverso il vetro;
- Trasmittanza luminosa, al fine di garantire una buona illuminazione naturale e massimizzare gli apporti gratuiti, soprattutto durante la stagione invernale. Tale valore è inversamente proporzionale a quello di U_g, siccome più un vetro tende ad avere ottime performance dal punto di vista termico, più solitamente esso è spesso (per esempio un triplo vetro è più performante di un doppio vetro); questo però implica una porzione minore di luce che è in grado di attraversare il vetro stesso, essendoci per esempio uno strato in più.
- Sicurezza: secondo la norma UNI 1627/2011, i vetri possono suddividersi in classi da 1 a 6 e, all'aumentare della classe, anche il livello di sicurezza aumenta.

La prima considerazione che deve essere fatta è legata al contesto in cui si trova l'edificio: siccome esso è collocato all'interno di un parco naturale, quindi un luogo tranquillo, lontano dai rumori della città, con un basso inquinamento acustico e in cui la pace regna, si darà un'importanza maggiore all'isolamento termico dei serramenti rispetto a quello acustico. L'obiettivo principale è quindi quello di continuare a ridurre il più possibile le dispersioni attraverso l'involucro, installando una tipologia di serramento in grado di sposarsi con le performance dei componenti opachi, una volta rivestiti con il cappotto di EPS, come descritto nel Paragrafo 9.1.

La prima scelta che deve essere fatta per la sostituzione dei serramenti riguarda il materiale degli stessi, che solitamente è PVC, alluminio a taglio termico o legno. Nel caso in analisi, il PVC è stato escluso per due ragioni ben precise: serramenti di questo materiale non si sposano esteticamente con l'architettura tipica degli anni '70 e, soprattutto, le limitate dimensioni che si possono ottenere con serramenti di questo tipo rappresentano uno svantaggio non indifferente, considerando per esempio le finestre di dimensioni 210x220 cm al piano terra dell'edificio.

Per quanto quindi siano più costose e richiedano una manutenzione maggiore nel corso della loro vita, la scelta è ricaduta su serramenti di ultima generazione in legno. L'estetica e il calore che un materiale naturale come il legno sono in grado di fornire, sono imparagonabili. Inoltre, tenendo sempre in considerazione il carattere architettonico dell'edificio in questione, si ritiene che il legno sia la scelta ottimale per ottenere il giusto compromesso tra prestazioni ed estetica. Infine, è importante sottolineare che serramenti di qualunque dimensione possano essere realizzati in legno e, siccome l'abitazione è caratterizzata dalla presenza di numerose finestre di medio-grandi dimensioni, la scelta di tale materiale per i serramenti è giustificabile. I prezzi di questo tipo di serramenti sono molto variabili in base alle dimensioni del serramento considerato, si può partire dai 540 € per un serramento di dimensioni 70x140 cm, fino ad arrivare a 3000 € per porte finestre scorrevoli di dimensioni 220x240 cm. Serramenti in PVC di dimensioni similari sono in un range tra 440 € e 2500 €, quindi, come detto, tale materiale sarebbe meno dispendioso rispetto al legno, ma il risultato estetico sarebbe meno pertinente al contesto in cui è inserita l'abitazione. [19]

La seconda domanda che ci si è posti per decidere quale fosse la scelta ottimale di serramento da installare concerne il numero di strati del serramento, se quindi optare per un triplo o un doppio

vetro. Come detto in precedenza, all'aumentare dello spessore del vetro, aumenta l'isolamento termico del serramento ma allo stesso tempo diminuisce la quantità di luce trasmessa attraverso esso. È opportuno ricordare che l'edificio è collocato in zona climatica E ad un'altezza di circa 400 m sul livello del mare, quindi non si tratta di alta montagna con climi particolarmente rigidi durante l'inverno. In prima analisi si è quindi deciso di svolgere i calcoli con l'installazione di finestra con doppi vetri basso emissivi, i quali però non soddisfano il requisito di trasmittanza per i serramenti imposto dalla Legge n. 77/2020 ($\leq 1{,}4 \left[\frac{W}{m^2K}\right]$).

Si vogliono comunque mostrare i risultati ottenuti con un doppio vetro basso emissivo con le seguenti caratteristiche: serramenti in legno tenero con doppio vetro basso emissivo 4-15-4, composto cioè da due lastre da 4 mm di vetro inframezzati da 15 mm di argon al 90%. La decisione di un vetro basso emissivo è stata presa al fine di ottenere il giusto compromesso tra isolamento termico e trasmissione di luce naturale: tali vetri sono caratterizzati infatti da bassi valori di trasmittanza termica ma, allo stesso tempo, valori di g discretamente alti, oltre il 60%. La peculiarità fondamentale dei vetri basso emissivi è la riduzione delle dispersioni per irraggiamento che si ottiene, considerando che i valori di emissività sono nell'intorno dello 0,1, a differenza di un vetro non trattato per il quale si aggira intorno allo 0,9 [43].

Prima di mostrare i risultati ottenuti dal software con il miglioramento delle prestazioni dell'edificio grazie alla sostituzione dei serramenti, si vuole ancora ricordare che le chiusure oscuranti considerate sono persiane di legno con bassa permeabilità all'aria con il fattore che rappresenta "*la frazione adimensionale della differenza cumulata di temperatura, derivante dal profilo orario di utilizzo della chiusura oscurante e dal profilo orario della differenza tra temperatura interna ed esterna*" [44], $f_{shut} = 0{,}6$.

In Tabella 68 sono riportati i risultati ottenuti, che per quanto abbiano portato ad una riduzione del 44% delle dispersioni tramite componenti vetrati, essi siano ritenuti non accettabili siccome i valori di U_w non rispettano i requisiti imposti dalla Normativa:

Cod	Tipo	Descrizione elemento	U_w [W/m²K]	θe [°C]	S_{Tot} [m²]	Φ_{tr} [W]	% Φ_{Tot} [%]
W1	T	140x220	1,573	-9,1	6,16	338	1,4
W2	T	100x220 doppia anta	1,646	-9,1	11,00	627	2,6
W3	T	100x220 porta un'anta	1,526	-9,1	6,60	332	1,4
W4	T	120x60	1,650	-9,1	2,16	118	0,5
W5	T	210x220	1,578	-9,1	13,86	690	2,9
W6	T	60x60	1,725	-9,1	1,08	61	0,3
W7	T	100x140	1,670	-9,1	23,80	1276	5,4
W8	U	100x150	1,544	8,0	12,00	222	0,9
W9	T	Velux 80x90	1,285	-9,1	0,72	31	0,1
					Totale	3695	15,6

Tabella 68: Dispersioni componenti vetrati edificio dopo sostituzione dei serramenti con vetri doppi basso emissivi.

A questo punto, una seconda analisi è stata fatta, ipotizzando l'installazione di serramenti con vetri tripli e trattamento basso emissivo, caratterizzati da valori di trasmittanza noti, ricavati dall'Appendice B della normativa UNI TS 11300-1: si vuole quindi precisare che è stato fissato il

valore di trasmittanza minimo per poter accedere al Superbonus, ossia 1,3 $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$ per tutti i serramenti.

Si riassumono in Tabella 69 i parametri principali che sono stati adottati per i nuovi serramenti scelti:

Parametro	Unità di misura	Valore
Emissività	$[-]$	0,100
U_g	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	1,000
U_w	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	1,300
$g_{gl,n}$	$[-]$	0,500
$k_{distanziale}$	$\left[\frac{W}{m\,K}\right]$	0,08

Tabella 69: Principali parametri serramenti a doppio vetro basso emissivi.

Considerando quindi un vetro triplo 4-12-4-12-4, alternando quindi lastre di vetro basso emissivo da 4 mm e strati di argon da 12 mm, vengono rispettati i valori limiti di trasmittanza imposti per Legge e si può usufruire anche del Superbonus.

In questo caso, le prestazioni dell'edificio non sono migliorate tanto quanto erano migliorate con il rivestimento dei componenti opachi rispetto al caso base dell'edificio preesistente: il fabbisogno di energia primaria $Q_{p,tot}$ è sceso a 45522 kWh (rispetto ai 53180 kWh con solo il cappotto) e il fabbisogno di gas metano per alimentare gli impianti e soddisfare i fabbisogni termici è passato da 4919 $\left[\frac{Nm^3}{anno}\right]$ a 4194 $\left[\frac{Nm^3}{anno}\right]$. La classe energetica dell'edificio è rimasta A1 con l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile EP_{nren} passato a 94,14 $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$ da 110,06 $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$.

Si può quindi concludere che, le dispersioni attraverso i componenti finestrati sono diminuite grazie alla sostituzione dei serramenti, ma allo stesso tempo occorre precisare che conviene abbinare tale operazione con il rivestimento delle pareti mediante isolamento termico, altrimenti i risultati ottenuti non sono particolarmente significativi. Se invece si guarda nel complesso, confrontando quelli che erano i consumi iniziali dell'edificio allo stato di fatto con quelli che sono i consumi dopo aver sostituito i serramenti e installato il cappotto termico, allora i risultati sono degni di nota e il miglioramento delle performance energetiche è tangibile e rende giustificabile l'investimento anche da un punto di vista monetario: le dispersioni attraverso tali componenti sono state infatti ridotte del 55%. In Tabella 70 e 71 vengono mostrati i risultati delle dispersioni attraverso i componenti trasparenti prima e dopo la sostituzione dei serramenti:

Cod	Tipo	Descrizione elemento	U_w [W/m²K]	θe [°C]	S_{Tot} [m²]	Φ_{tr} [W]	% Φ_{Tot} [%]
W1	*T*	*140x220*	*2,926*	*-9,1*	*6,16*	*629*	*1,6*
W2	*T*	*100x220 doppia anta*	*2,924*	*-9,1*	*11,00*	*1114*	*2,8*
W3	*T*	*100x220 porta un'anta*	*2,891*	*-9,1*	*6,60*	*629*	*1,6*
W4	*T*	*120x60*	*2,906*	*-9,1*	*2,16*	*207*	*0,5*
W5	*T*	*210x220*	*2,894*	*-9,1*	*13,86*	*1264*	*3,2*
W6	*T*	*60x60*	*3,006*	*-9,1*	*1,08*	*107*	*0,3*
W7	*T*	*100x140*	*2,974*	*-9,1*	*23,80*	*2272*	*5,7*
W8	*U*	*100x150*	*2,444*	*8,0*	*12,00*	*352*	*0,9*
W9	*T*	*Velux 80x90*	*1,285*	*-9,1*	*0,72*	*31*	*0,1*
					Totale	*6606*	*16,5*

Tabella 70: Dispersioni componenti vetrati edificio allo stato di fatto.

Cod	Tipo	Descrizione elemento	U_w [W/m²K]	θe [°C]	S_{Tot} [m²]	Φ_{tr} [W]	% Φ_{Tot} [%]
W1	*T*	*140x220*	*1,300*	*-9,1*	*6,16*	*280*	*1,9*
W2	*T*	*100x220 doppia anta*	*1,300*	*-9,1*	*11,00*	*495*	*3,4*
W3	*T*	*100x220 porta un'anta*	*1,300*	*-9,1*	*6,60*	*283*	*2,0*
W4	*T*	*120x60*	*1,300*	*-9,1*	*2,16*	*93*	*0,6*
W5	*T*	*210x220*	*1,300*	*-9,1*	*13,86*	*568*	*3,9*
W6	*T*	*60x60*	*1,300*	*-9,1*	*1,08*	*46*	*0,3*
W7	*T*	*100x140*	*1,300*	*-9,1*	*23,80*	*993*	*6,9*
W8	*U*	*100x150*	*1,135*	*8,0*	*12,00*	*163*	*1,1*
W9	*T*	*Velux 80x90*	*1,285*	*-9,1*	*0,72*	*31*	*0,2*
					Totale	*2952*	*20,5*

Tabella 71: Dispersioni componenti vetrati edificio dopo sostituzione dei serramenti con vetri tripli basso emissivi.

Si procede nel Paragrafo successivo con l'analisi di efficientamento focalizzando l'attenzione sull'impianto, elemento chiave per ottimizzare le prestazioni dell'edificio una volta che la componente edilizia è stata migliorata il più possibile.

9.3 Sostituzione impianto

L'ultimo step che si è realizzato al fine di rendere l'edificio preesistente il più performante possibile da un punto di vista energetico è la sostituzione dell'impianto: le due caldaie installate (una a condensazione di inizio anni 2000 e una tradizionale degli anni '70) erano in grado di coprire i fabbisogni dell'abitazione, ma sfruttando solamente fonti non rinnovabili, quale il gas naturale. Al fine di ottenere un confronto il più competitivo possibile tra un edificio datato e uno di nuovissima costruzione, si è deciso di ammodernare il precedente non solo dal punto di vista edilizio, bensì anche da uno impiantistico. Così facendo, il prezzo degli interventi aumenterà notevolmente ma i benefici legati alla riduzione dell'impatto sull'ambiente e degli sprechi energetici dell'edificio giustificheranno tali operazioni.

Il primo intervento impiantistico che si è deciso di realizzare è l'inserimento dei pannelli fotovoltaici sul tetto dell'edificio. Si ritiene doveroso fare un'importante precisazione inerente all'orientamento della casa e, di conseguenza, sul piazzamento dei moduli fotovoltaici: siccome le due falde del tetto sono orientate rispettivamente a Nord e Sud Ovest, come si può osservare anche in Figura 36, risulta conveniente installare i pannelli solamente sulla falda rivolta a Sud-Ovest considerando un angolo di azimut γ di +45°, in modo tale da massimizzarne la producibilità e giustificarne quindi l'investimento. Se si installassero anche sulla falda opposta del tetto, la quantità di energia elettrica da essi prodotta sarebbe troppo bassa per l'investimento che comporterebbe.

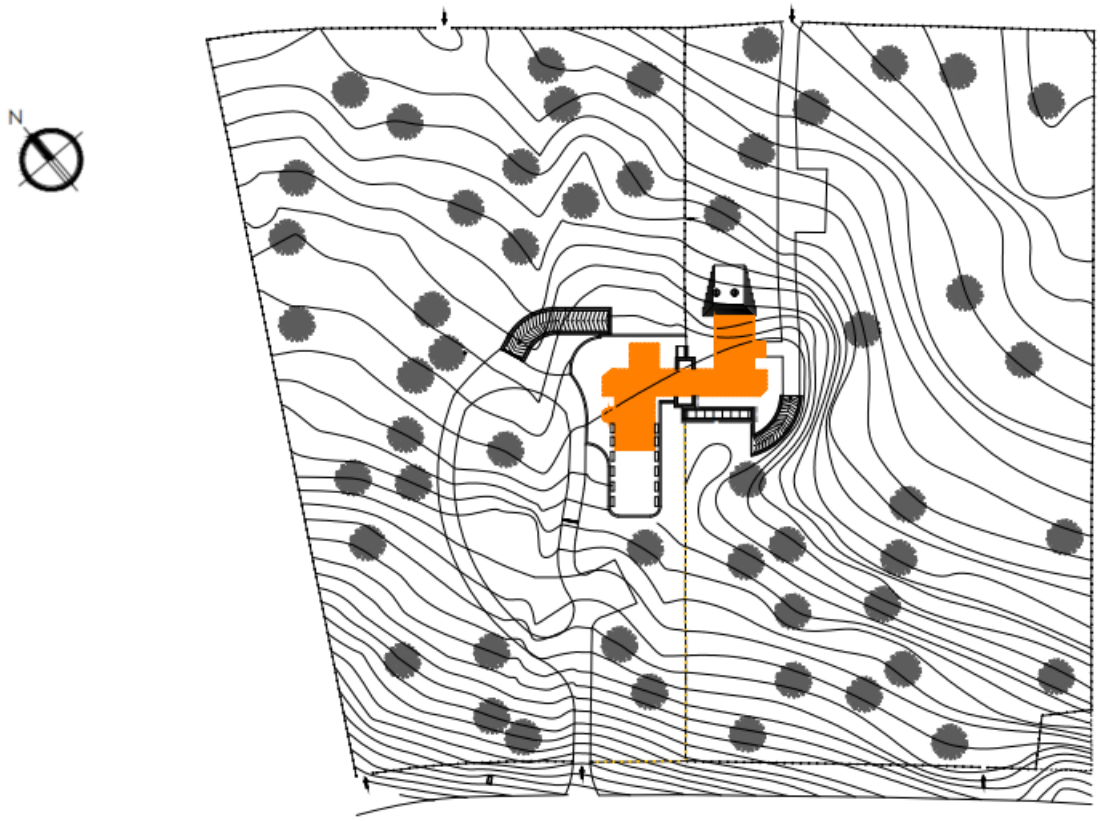


Figura 36: Planimetria del lotto di terreno con edificio preesistente.

Secondo l'Articolo 26 del Decreto Legislativo n. 199/2021, il 60% dei consumi di edifici di nuova costruzione o sottoposti a ristrutturazione rilevante deve essere coperto da energia ricavata

da fonti rinnovabili [45]. Il caso in esame può essere considerato una ristrutturazione rilevante, siccome, da definizione che si legge nel Decreto n. 28/2011, essa include "*edificio esistente soggetto a ristrutturazione integrale degli elementi edilizi costituenti l'involucro*" [36].

Al fine di raggiungere questo obiettivo, si è deciso di installare due file di pannelli sul lato Sud-Ovest dell'edificio, per il quale il prospetto in scala 1:100 è mostrato in Figura 37:

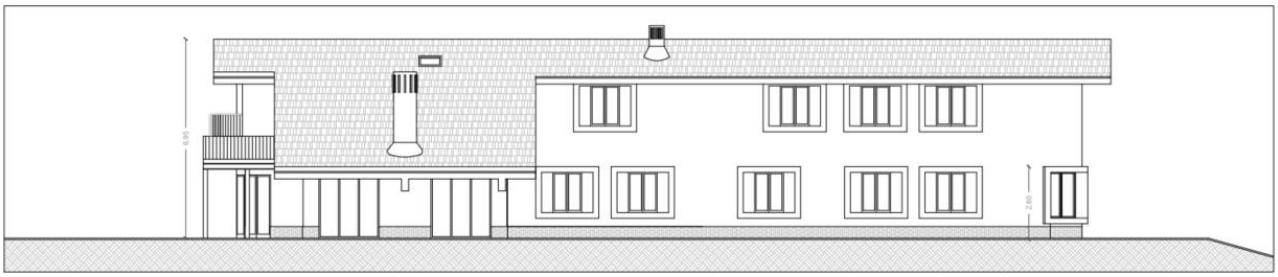


Figura 37: Prospetto Sud-Ovest edificio preesistente.

Dalla Figura 37 si può notare come la configurazione del tetto non sia particolarmente favorevole all'installazione di moduli fotovoltaici, in particolare i due camini sono da considerarsi fonti di ombreggiamento rilevanti. Al fine quindi di limitare le perdite dovute agli ombreggiamenti, si è deciso di posizionare due file di pannelli solamente nella parte alta del tetto, come mostrato in Figura 38, nella quale anche le quote sono specificate.

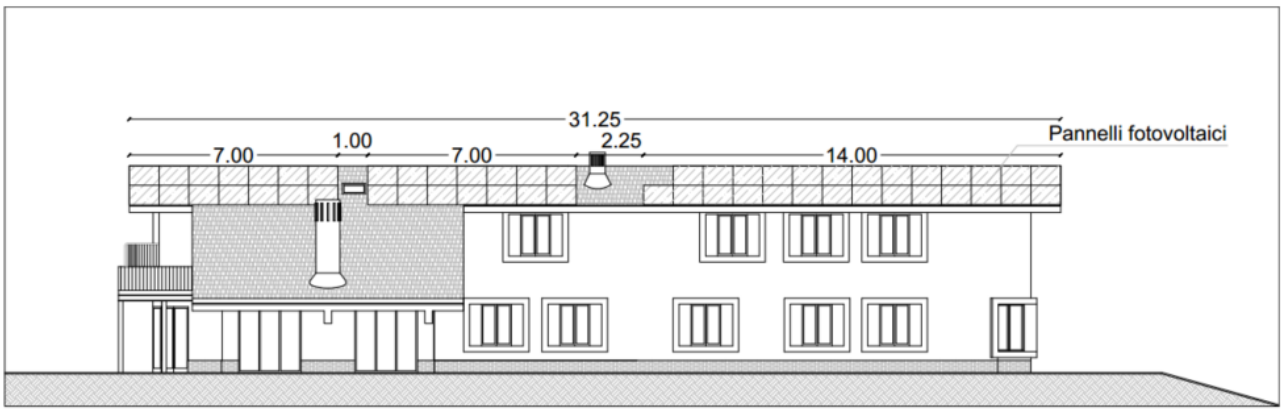


Figura 38: Configurazione ipotizzata per impianto fotovoltaico.

I pannelli installati sono 55 e il modello selezionato è "SUNPOWER X22-360", caratterizzati da una potenza nominale di picco di 360 W_p, un'area di 1,63 m^2, un'efficienza del 22,2% per una potenza complessiva dell'impianto di 19,8 kW_p [46]. La scelta è ricaduta su questo specifico tipo di pannello siccome la loro dimensione permette di massimizzare l'area di tetto occupata dai pannelli: nella Figura precedente si può notare come la lunghezza totale occupata dai pannelli sia di 28 m, quindi 28 pannelli possono essere installati siccome la loro lunghezza è di 1 m circa. Dal colmo del tetto alla gronda vi sono circa 4 m con un'inclinazione di 16°, il che permette l'installazione di una seconda fila di pannelli essendo essi alti circa 1,6 m: anche gli spazi di manovra sono stati tenuti in considerazione in modo tale da non ipotizzare un'installazione troppo a filo con il bordo del tetto e rendere quindi la simulazione poco veritiera. La seconda motivazione è legata ai costi di gestione di un impianto fotovoltaico con potenza di picco nominale maggiore ai 20 kW: se si eccede questa soglia di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in ambito residenziale infatti, alcuni oneri fiscali, per i quali si è esentati al di sotto di 20 kW, andranno a gravare sul bilancio delle spese rendendo meno conveniente l'investimento.

Un'ultima precisazione è necessaria sull'angolo di tilt β dei pannelli, quindi l'inclinazione di essi: per quanto il valore ottimale di β per massimizzare la producibilità dei moduli fotovoltaici nell'area in cui è collocata l'abitazione, secondo il software PVGIS [47], è di circa 33°, l'allegato III del D. Lgs. 199/2021 impone che i pannelli fotovoltaici disposti sui tetti a falda debbano essere integrati negli stessi, con lo stesso angolo di inclinazione β e lo stesso orientamento γ [45]. Si conclude quindi che la producibilità dei pannelli non sarà massimizzata siccome i vincoli imposti per Legge devono essere rispettati e, conseguentemente, il loro angolo di tilt sarà uguale a 16°, ossia la stessa inclinazione del tetto.

L'impianto fotovoltaico descritto è fondamentale per alimentare la pompa di calore installata in combinazione con una caldaia a condensazione: la scelta è quindi ricaduta su un impianto ibrido al fine di sopperire ai fabbisogni di riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria dell'edificio. Tale scelta progettuale è stata fatta in modo tale da poter continuare ad utilizzare i radiatori già installati e non dover sostituire tutto l'impianto di emissione, che comporterebbe una spesa più elevata. L'unico accorgimento che si è tenuto in considerazione, è legato alla diminuzione della temperatura di mandata dell'acqua, la quale è stata diminuita da 80°C a 45°C, in modo tale da far lavorare i radiatori a basse temperature, rendendoli perfettamente abbinabili sia con la pompa di calore che con la caldaia, raggiungendo valori di efficienza del 97%. Ventilconvettori idronici sono invece installati in determinati locali dell'abitazione, quali camere da letto, soggiorno e cucina, e rappresentano i terminali del sistema di raffrescamento. I bagni e le tavernette sono stati esclusi nei calcoli del fabbisogno estivo, siccome ritenuti locali utilizzati a carattere non continuativo e, soprattutto nel piano interrato, non si ritiene necessaria l'installazione di terminali che provvedano al raffreddamento di essi, essendo anche d'estate caratterizzati da temperature minori rispetto ai locali fuori terra siccome non irraggiati dal sole.

I due generatori che compongono il sistema ibrido dell'impianto totalmente centralizzato sono rispettivamente una pompa di calore modello "IMMERGAS MAGIS PRO V2" da 12 kW di potenza e COP di 4,63 in condizioni nominali e con una temperatura di cut-off di 5°C e una caldaia a condensazione "IMMERGAS MAGIC COMBO V2" con una potenza nominale al focolare di 24,9 kW alimentata a gas naturale. Il sistema è stato dimensionato tenendo in considerazione i fabbisogni globali dell'edificio efficientato, i quali ammontano a 24,7 kW in condizioni di progetto, quindi nella condizione esterna peggiore, considerando una temperatura esterna di -9,1°C (rispetto ai 50,4 kW dell'edificio esistente allo stato di fatto) e i risultati della cosiddetta firma energetica per il dimensionamento della pompa di calore: siccome si è ipotizzato che essa lavorerà fino ad una temperatura minima di 5°C, si è tenuto in considerazione proprio il fabbisogno massimo richiesto a questa temperatura, che equivale a 10,72 kW. Inoltre, un altro vincolo tenuto in considerazione è dettato dalle condizioni per accedere al Superbonus 110%, ossia il fatto che il rapporto tra la potenza nominale della pompa di calore e quella della caldaia a condensazione debba essere di 1:2 al fine di poter attingere agli incentivi fiscali.

Un impianto ibrido di questo tipo, con una caldaia a condensazione interna a funzionamento istantaneo e una pompa di calore esterna aria/acqua, al 2021, ha un costo di 6.629 €. [48]

La pompa di calore, alimentata totalmente dai pannelli fotovoltaici, sopperisce interamente ai carichi di raffrescamento durante l'estate, e parzialmente a quelli della produzione di acqua calda sanitaria in tutti e dodici in mesi dell'anno e di riscaldamento durante l'inverno: raggiunta la

temperatura di cut-off, la pompa di calore si spegne siccome il suo COP diminuisce molto rapidamente e le sue prestazioni non sarebbero perciò ottimizzate, e il fabbisogno necessario è quindi coperto dalla caldaia a condensazione. Questo sistema permette di non dover mai attingere alla rete per acquistare energia elettrica, siccome il fotovoltaico copre il 100% delle richieste di essa. Risulta però necessario un contributo da fonti non rinnovabili per sopperire ai carichi invernali, essendo, come detto in precedenza, alimentata a gas metano la caldaia a condensazione installata. È opportuno specificare che si è ipotizzata l'installazione di un accumulo inerziale cilindrico con diametro di base di 50 cm e altezza 150 cm, e un accumulo apposito per l'ACS, di dimensioni 60x180 cm, i quali apportano i vantaggi descritti nel Paragrafo 5.2.2.

Un focus iniziale viene fatto sui fabbisogni per il riscaldamento e su come essi siano ripartiti tra pompa di calore e caldaia a condensazione. In Tabella 72 sono mostrate tali ripartizioni:

Fabbisogno riscaldamento				
Mese	**Test [°C]**	**QHout [kWh]**	**QHout pompa di calore [kWh]**	**QHout caldaia [kWh]**
Gennaio	0,2	7.405	909	6.496
Febbraio	2,1	5.469	1.114	4.355
Marzo	7,3	3.071	2.145	926
Aprile	10,9	684	624	0
Maggio	17	-	-	-
Giugno	21,1	-	-	-
Luglio	22,6	-	-	-
Agosto	21,6	-	-	-
Settembre	18,1	-	-	-
Ottobre	11,3	1.178	1.178	0
Novembre	5,8	4.504	2.861	1.644
Dicembre	1,6	6.808	1.081	5.727
Totale annuo	-	29.119	9.912	19.148

Tabella 72: Divisione fabbisogno riscaldamento.

Il grafico in Figura 39 ha l'obiettivo di chiarificare i dati riportati in Tabella 72: l'area verde chiaro rappresenta la potenza erogata dalla caldaia a condensazione mentre quella di una tonalità più scura la potenza fornita della pompa di calore.

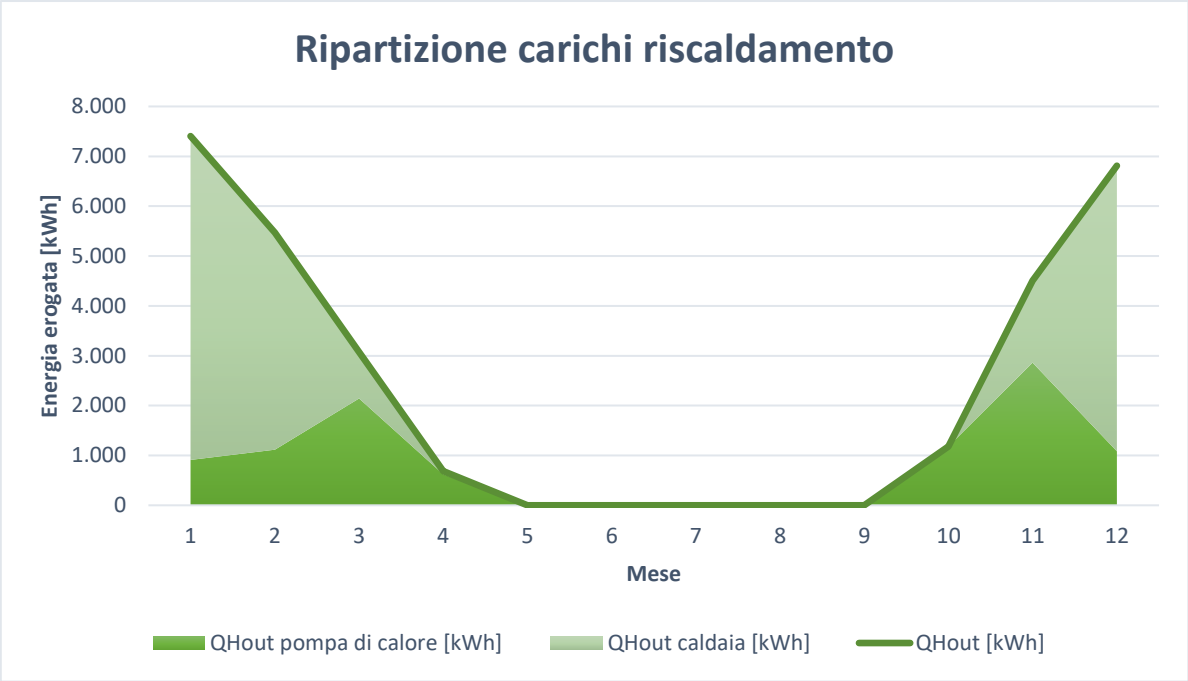


Figura 39: Ripartizione carichi riscaldamento tra generatori.

L'analogo ragionamento è possibile anche per l'impianto dell'acqua sanitaria, con l'importante differenza però che le richieste di quest'ultima non siano nulle durante la stagione estiva, bensì rimangono costanti durante tutto il corso dell'anno, siccome si è ipotizzato un consumo giornaliero di 250 litri d'acqua, come viene mostrato in Figura 40:

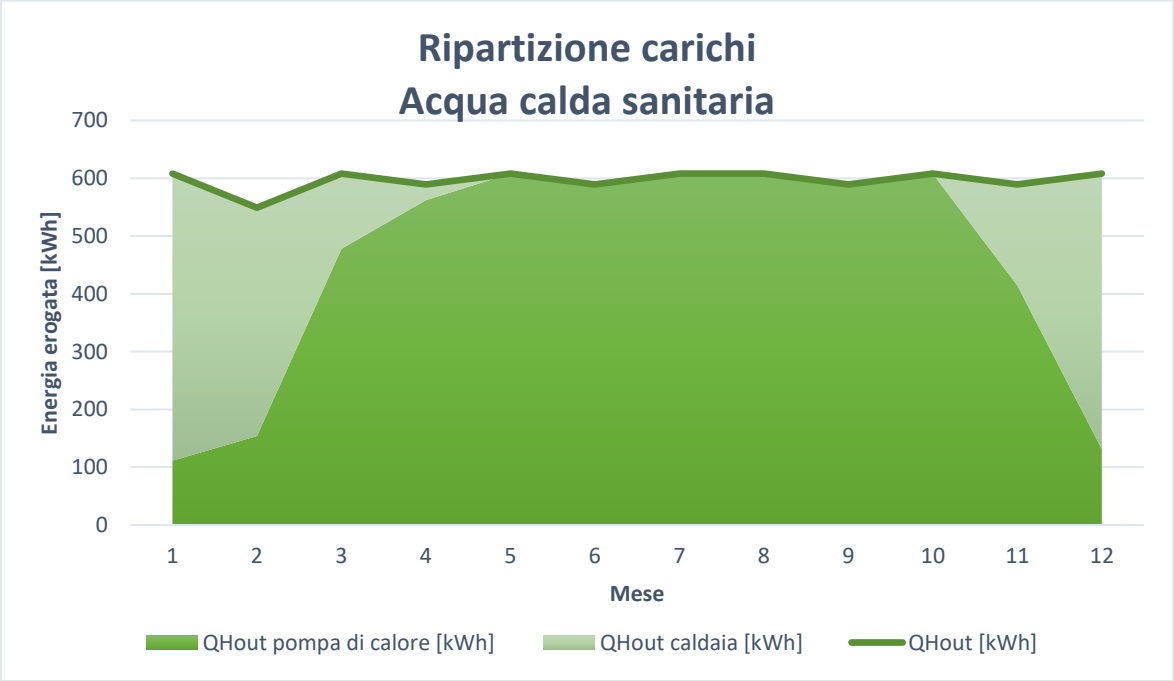


Figura 40: Ripartizione carichi ACS tra generatori.

Come in Figura 39, anche in questo caso l'area verde scuro rappresenta la pompa di calore e quella più chiara la caldaia: per l'ACS, durante l'estate, la copertura è totalmente affidata al sistema elettrico, permettendo quindi di non utilizzare fonti fossili e di sfruttare il più possibile l'energia prodotta dai pannelli, i quali, nei mesi estivi, massimizzano la loro producibilità.

Gli stessi risultati sono evidenziati in Tabella 73, in modo tale da mostrarne il valore numerico preciso, difficilmente comprensibile dal grafico.

Fabbisogno acqua calda sanitaria				
Mese	Test [°C]	QHout [kWh]	QHout pompa di calore [kWh]	QHout caldaia [kWh]
Gennaio	0,2	608	111	497
Febbraio	2,1	549	154	395
Marzo	7,3	608	478	130
Aprile	10,9	589	562	27
Maggio	17	608	608	0
Giugno	21,1	589	589	0
Luglio	22,6	608	608	0
Agosto	21,6	608	608	0
Settembre	18,1	589	589	0
Ottobre	11,3	608	608	0
Novembre	5,8	589	415	174
Dicembre	1,6	608	131	477
Totale annuo	-	7.161	5.461	1.700

Tabella 73: Divisione fabbisogno acqua calda sanitaria.

Una volta analizzati nel dettaglio quali sono i fabbisogni dell'edificio completamente efficientato e come essi vengano ripartiti dal sistema ibrido prescelto, ci si vuole adesso focalizzare su come l'impianto fotovoltaico installato contribuisca al funzionamento della pompa di calore: in Tabella 74 sono mostrati i dettagli e si consiglia una particolare attenzione al valore di Q_{aux}, ossia la richiesta di energia elettrica dell'impianto per alimentare la pompa di calore. Risulta paradossale che nei mesi invernali la produzione dell'impianto fotovoltaico sia maggiore di quelle che sono le richieste elettriche e, allo stesso tempo, per sopperire ai fabbisogni richiesti bisogna attingere alla caldaia a condensazione: questo lo si può giustificare con il fatto che, a temperature particolarmente rigide, quindi al di sotto della temperatura di cut-off, la pompa di calore si spenga in automatico e di conseguenza la sua richiesta si azzeri, rendendo quindi necessario l'utilizzo della caldaia.

Dettagli impianto fotovoltaico con potenza nominale di 19,8 kW						
Mese	Irradiazione mensile [kWh/m2]	Qfv [kWh]	Qaux [kWh]	Copertura [%]	E.E. da rete [kWh]	E.E. non consumata [kWh]
Gennaio	49,4	733	341	100	0	392
Febbraio	69,7	1.036	348	100	0	688
Marzo	111,4	1.654	425	100	0	1.230
Aprile	139,6	2.073	247	100	0	1.827
Maggio	170,3	2.529	195	100	0	2.333
Giugno	187,6	2.785	601	100	0	2.185
Luglio	205,5	3.052	776	100	0	2.276
Agosto	178,5	2.651	648	100	0	2.003
Settembre	130,8	1.942	187	100	0	1.755
Ottobre	87,9	1.305	312	100	0	993
Novembre	47,2	701	583	100	0	118
Dicembre	43,1	640	373	100	0	267
Totale annuo	1.421,0	21.101	5.036	-	0	16.067

Tabella 74: Dettagli impianto fotovoltaico.

Dalla Tabella 74, si nota come la quantità di energia elettrica prodotta dai pannelli fotovoltaici sia sempre maggiore di quella necessaria all'abitazione per il riscaldamento, l'ACS e il

raffrescamento, pertanto un eccesso non consumato è sempre presente. Risulta quindi evidente la necessità di installare un impianto di batterie di accumulo in modo tale da poter immagazzinare l'energia prodotta durante le ore di picco della giornata e poterne usufruire durante le ore serali in cui la produzione dei pannelli è nulla, questo soprattutto per quanto riguarda i fabbisogni interni all'abitazione, come illuminazione e elettrodomestici. La simulazione dell'installazione del sistema di accumulo non è stata effettuata siccome il software EDILCLIMA non lo permette, bensì i vantaggi da un punto di vista energetico sono evidenti siccome $Q_{fv} > Q_{aux}$ è sempre verificato. Da un punto di vista economico invece il costo dell'intervento aumenterebbe notevolmente quindi un'analisi più approfondita con dei budget reali sarebbe da performare.

Un'ultima considerazione molto importante riguarda le verifiche di Legge del D.M. del 26/06/2015 che devono essere rispettate per poter realizzare i lavori sopra descritti e poter attingere agli incentivi fiscali. Verranno adesso analizzate una ad una nell'elenco sottostante:

- Verifica termoigrometrica delle murature alle quali è stato applicato un intervento: le murature perimetrali alle quali è stato applicato il cappotto termico esterno e quelle del piano interrato rivestite mediante cappotto interno devono rispettare il requisito imposto dalla UNI EN ISO 13788:

$$f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$$

  Dove i due valori rappresentano rispettivamente il fattore di temperatura del mese critico e il fattore di temperatura del componente opaco. Per le tre strutture modificate rispetto all'edificio precedente, i seguenti valori mostrati in Tabella 75 sono stati trovati:

Struttura	$f_{RSI,max}$	f_{RSI}	Verifica
Muratura perimetrale 30 cm	0,568	0,701	✓
Muratura perimetrale 35 cm	0,568	0,701	✓
Muratura piano interrato	0,568	0,605	✓

Tabella 75: Parametri verifica termoigrometrica murature con cappotto.

- Il rapporto tra l'area solare equivalente estiva e l'unità di superficie utile $\frac{A_{sol,est}}{A_{sup,utile}}$ deve essere $\leq 0{,}030$: nel caso dell'edificio esistente efficientato, il valore che si ottiene è di 0,0055, quindi la disuguaglianza è rispettata e la verifica di Legge è positiva;
- Il coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione H'_T deve essere $\leq 0{,}55 \left[\frac{W}{m^2K}\right]$, e per l'edificio in questione risulta essere $0{,}11 \left[\frac{W}{m^2K}\right]$, ottenuto come:

$$H'_T = \frac{H_{tr,all.1} + H_{tr,all.2}}{A_{tr,all.1} + A_{tr,all.2}} = \frac{44{,}83 + 26{,}44}{335{,}88 + 314{,}52} = 0{,}11 \left[\frac{W}{m^2K}\right]$$

- L'indice di prestazione termica utile per il riscaldamento deve essere minore del valore ammissibile definito nell'Allegato 1, Paragrafo 3.3, Comma 2, Lettera b calcolato come:

$$\frac{Fabbisogno\ energia\ utile}{Superficie\ pianta\ netta} = \frac{30030{,}87\ kWh}{469{,}28\ m^2} = 63{,}99\ \left[\frac{kWh}{m^2}\right]$$

Siccome per l'edificio in esame tale valore risulta essere $59{,}41\ \left[\frac{kWh}{m^2}\right]$, essendo il fabbisogno di energia utile è di 27879,57 [kWh], anche questo requisito di Legge è rispettato;

- Il ragionamento analogo al punto precedente deve essere fatto per l'indice di prestazione termica utile per il raffrescamento, che risulta accettabile grazie all'ipotesi di inserire dei tendaggi oscuranti esterni utilizzabili durante i mesi estivi. Il valore ammissibile per Legge e quello ottenuto per l'abitazione risultano essere rispettivamente:

$$\frac{3589{,}16\ kWh}{469{,}28\ m^2} = 7{,}65\ \left[\frac{kWh}{m^2}\right] > \frac{3493{,}90\ kWh}{469{,}28\ m^2} = 7{,}45\ \left[\frac{kWh}{m^2}\right]$$

- L'indice di prestazione energetica globale ammissibile per Legge risulta essere $115{,}18\ \left[\frac{kWh}{m^2}\right]$, il quale deve essere strettamente maggiore di quello dell'abitazione, che, nel caso analizzato, risulta essere $83{,}30\ \left[\frac{kWh}{m^2}\right]$, e quindi anche tale verifica è rispettata;
- Gli ultimi parametri da verificare sono le efficienze medie stagionali dell'impianto per servizi di riscaldamento, raffreddamento e acqua calda sanitaria: i valori imposti per Legge rappresentano i minimi accettabili, che devono quindi essere superati dai valori dell'edificio:

Rendimento	Valore minimo	Valore edificio	Verifica
η_H	70,9 %	92,3 %	✓
η_W	61,7 %	82,0 %	✓
η_C	187,5 %	226,7 %	✓

Tabella 76: Verifica requisiti efficienze.

Si può concludere questo Capitolo, focalizzando l'attenzione su quello che è il risparmio di energia primaria non rinnovabile ottenuto grazie agli interventi migliorativi realizzati, ricordando sempre che tutti i risultati citati sono stati ottenuti dalla simulazione performata mediante EDILCLIMA:

- $56048\ \left[\frac{kWh}{anno}\right]$ sono risparmiati grazie agli interventi trainanti sulle strutture opache, quindi grazie alla posa in opera del cappotto termico esterno ed interno;
- $13205\ \left[\frac{kWh}{anno}\right]$ vengono invece risparmiati grazie al secondo intervento trainante, ossia la sostituzione dell'impianto presente con un impianto ibrido in pompa di calore e caldaia a condensazione, alimentato prevalentemente dall'impianto fotovoltaico da 19,8 kW installato sulla falda di tetto a Sud-Ovest;
- $9576\ \left[\frac{kWh}{anno}\right]$ sono invece risparmiati grazie alla sostituzione dei serramenti, ritenuto però un intervento trainato.

Appurato quindi che tutti i requisiti per accedere agli incentivi descritti all'inizio del Capitolo 9 vengano rispettati grazie agli interventi realizzati, si vogliono adesso confrontare le prestazioni dell'edificio preesistente efficientato e quelle di Villa Ginevra, siccome si ritiene utile e veritiero un paragone in tali condizioni dei due edifici.

10. Confronto prestazionale ed energetico tra i due edifici

A questo punto del trattato, il confronto tra Villa Ginevra e quello che era l'edificio preesistente efficientato da un punto di vista energetico è finalmente possibile e sensato. Si ricorda che l'obiettivo che si vuole raggiungere è quello di fornire una valutazione tecnica e prestazionale al fine di comprendere quali sono i pro e i contro da tenere in considerazione quando si deve decidere se efficientare un edificio esistente oppure, se la normativa e i vincoli lo permettono, demolirlo e costruirne uno nuovo completamente differente. È bene specificare che la componente economica non è stata tenuta in considerazione in maniera esplicita bensì solo implicitamente, utilizzando il buon senso nel progetto di efficientamento, questo soprattutto al fine di non rivelare dati sensibili su un progetto in fase di realizzazione da parte dello studio ME Engineering.

Il confronto che verrà redatto in questo Capitolo è quindi solamente basato sui dati energetici ottenuti dal software EDILCLIMA, utilizzato sia per la progettazione di Villa Ginevra che per la ricostruzione e l'efficientamento dell'edificio già esistente, il quale, nella realtà, è stato però demolito.

Una prima comparazione che viene mostrata ha come oggetto le differenze geometriche delle due abitazioni, quali la superficie utile, la superficie disperdente e il volume. Si sottolinea che il confronto è sempre realizzato sull'intero edificio e non sulle singole unità immobiliari.

Edificio preesistente		Villa Ginevra	
Superficie disperdente	**1433,22 m^2**	**Superficie disperdente**	**2916,06 m^2**
Superficie utile riscaldata	**469,28 m^2**	**Superficie utile riscaldata**	**668,12 m^2**
Superficie utile raffrescata	**302,24 m^2**	**Superficie utile raffrescata**	**596,74 m^2**
Volume lordo riscaldato	**2102,64 m^3**	**Volume lordo riscaldato**	**4213,83 m^3**
Volume lordo raffrescato	**1469,59 m^3**	**Volume lordo raffrescato**	**3809,14 m^3**

Tabella 77: Confronto superfici e volumi edifici.

Una prima considerazione può quindi essere fatta sulle dimensioni mostrate in Tabella 77: sia la superficie disperdente che il volume riscaldato sono pressoché raddoppiati per la nuova costruzione rispetto a quella precedente. Questo dato sarà molto importante da considerare nel proseguo delle comparazioni, siccome i valori di energia richiesta saranno sicuramente maggiori se la superficie e il volume sono doppi: bisognerà quindi sempre proporzionare i risultati energetici, analizzando e comparando valori specifici, siano essi per unità di superficie o di volume.

Si vuole adesso entrare maggiormente nel dettaglio mostrando le dispersioni e i consumi degli edifici, iniziando dai componenti opachi, i quali comprendono sia le strutture verticali disperdenti verso l'esterno che quelle orizzontali, quali il pavimento verso il terreno, verso i locali interrati non climatizzati e la copertura. In Tabella 78 vengono riassunti i valori della superficie disperdente, del flusso di calore disperso per trasmissione e, infine, un valore specifico ottenuto come il rapporto tra i due, che indica in modo preciso quali sono le dispersioni per unità di superficie.

Edificio preesistente efficientato		Villa Ginevra	
Superficie componenti opachi	1355,84 m^2	Superficie componenti opachi	2562,41 m^2
Dispersioni per trasmissione	15210 W	Dispersioni per trasmissione	8754 W
Dispersioni specifiche	11,22 W/m^2	Dispersioni specifiche	3,42 W/m^2

Tabella 78: Confronto strutture disperdenti opache.

Risulta evidente come una costruzione con materiali innovativi e performanti energeticamente, quali fibra di legno e pannelli in X-LAM, rispetto ad un rivestimento con cappotto esterno su muratura a cassa vuota, sia particolarmente conveniente da un punto di vista prettamente energetico: nonostante la superficie dei componenti opachi sia molto maggiore per Villa Ginevra rispetto all'edificio esistente, le dispersioni tramite essi risultato minori del 42,4%, confermato da un valore specifico in $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ circa 3 volte minore.

Si mostra adesso in Tabella 79 una comparazione analoga per i componenti finestrati, al fine di ottenere in un secondo momento, il differente peso percentuale di dispersioni tramite componenti trasparenti e opachi dei diversi edifici.

Edificio preesistente efficientato		Villa Ginevra	
Superficie componenti trasparenti	77,38 m^2	Superficie componenti trasparenti	353,65 m^2
Dispersioni per trasmissione	2952 W	Dispersioni per trasmissione	10309 W
Dispersioni specifiche	38,15 W/m^2	Dispersioni specifiche	29,15 W/m^2

Tabella 79: Confronto strutture disperdenti trasparenti.

Anche in questo caso, i risultati sono migliori per l'abitazione di nuova costruzione rispetto a quella preesistente efficientata: per quanto i valori delle dispersioni siano 3,5 volte maggiori, se si considera il valore specifico in $\left[\frac{W}{m^2}\right]$, anche in questo caso si ottiene un valore minore per Villa Ginevra.

Si vuole quindi adesso mostrare nei grafici a torta sottostanti, il peso percentuale delle dispersioni dell'involucro di entrambi gli edifici. Come ci si aspettava, siccome nell'edificio preesistente i componenti opachi rappresentano il 94,6% della superficie disperdente, essi sono i responsabili della maggior parte delle dispersioni, con un peso percentuale dell'84%. Risultato invece ribaltato per Villa Ginevra, per la quale i componenti opachi disperdono solamente il 46% del totale, nonostante essi occupino l'87,9% della superficie disperdente. Tale confronto mette nuovamente in evidenza il risultato precedentemente citato, inerente al fatto che un rivestimento tramite cappotto interno ed esterno di strutture con performance energetiche precedentemente molto basse, non sia sufficiente per raggiungere gli stessi risultati prestazionali di una struttura caratterizzata da materiali innovativi con proprietà termiche nettamente superiori.

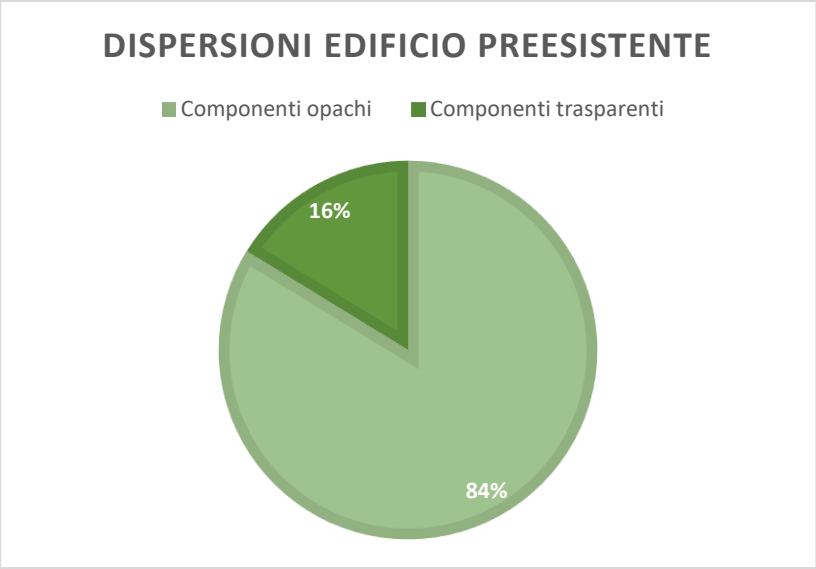


Figura 41: Peso percentuale dispersioni involucro edificio preesistente.

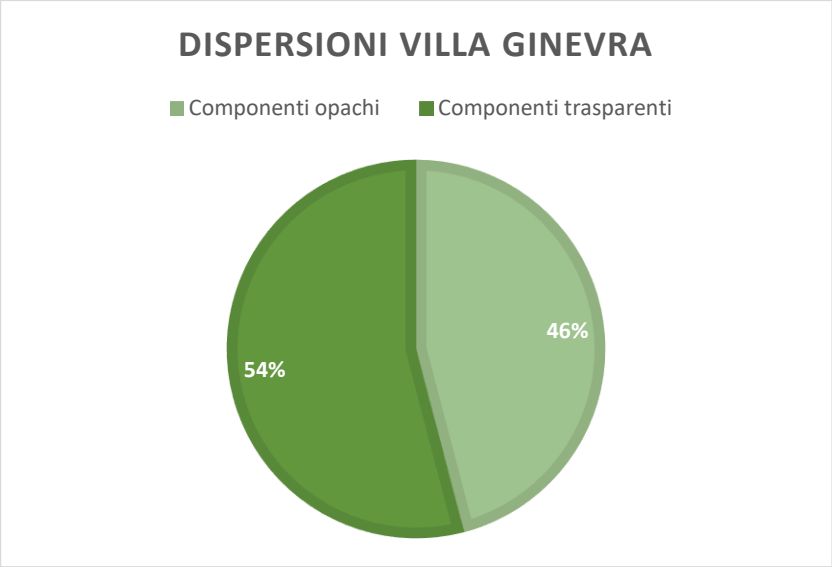


Figura 42: Peso percentuale dispersioni involucro Villa Ginevra.

Al fine di dimensionare i generatori che devono sopperire ai fabbisogni richiesti dall'abitazione, bisogna però anche considerare le dispersioni per ventilazione, le quali ammontano rispettivamente a 6535 W e 12018 W per l'edificio vecchio e per Villa Ginevra. Si mostrano in Tabella 80 i risultati di potenza totale ϕ_{hl}, ottenuti come segue, trascurando sempre la potenza dispersa per intermittenza:

$$\phi_{hl} = \phi_{tr} + \phi_{ve} \; [W]$$

Dove, il flusso per trasmissione totale è ottenuto come somma dei contributi degli elementi opachi dell'involucro e di quelli trasparenti:

$$\phi_{tr} = \phi_{tr,op} + \phi_{tr,trasp} \; [W]$$

Edificio preesistente efficientato		Villa Ginevra	
ϕ_{tr}	18162 W	ϕ_{tr}	19063 W
ϕ_{ve}	6535 W	ϕ_{ve}	12018 W
ϕ_{hl}	24697 W	ϕ_{hl}	31081 W

Tabella 80: Potenza totale richiesta dagli edifici.

Come ci si poteva attendere, visti i volumi delle due abitazioni, la potenza totale che deve essere fornita per sopperire totalmente ai fabbisogni di Villa Ginevra, nelle condizioni di progetto, risulta essere maggiore rispetto a quella dell'edificio esistente, il che giustifica l'installazione di 3 pompe di calore differenti e non solo due generatori come nel caso dell'edificio efficientato, il quale è alimentato solamente da una pompa di calore e da una caldaia a condensazione.

Un ulteriore paragone che si ritiene utile illustrare, è inerente ai valori di energia invernale richiesta e non solo di potenza: la grande differenza tra i due edifici sta negli apporti solari gratuiti che si riescono ad ottenere durante l'inverno, i quali ammontano rispettivamente a 3007 kWh per l'edificio vecchio e 20983 kWh per Villa Ginevra, circa 7 volte maggiore per l'edificio di nuova costruzione rispetto al preesistente. La differenza della superficie totale dei componenti trasparenti (353,65 m^2 contro i 77,38 m^2) è la principale causa di tale risultato, il quale porta ad una conclusione finale di particolare rilevanza: il consumo specifico di energia per unità di superficie disperdente e per unità di volume, risulta essere sempre minore per Villa Ginevra, come mostrato in Tabella 81:

Edificio preesistente efficientato		Villa Ginevra	
$Q_{H,nd}$	$\mathbf{27880}\ [\boldsymbol{kWh}]$	$Q_{H,nd}$	$\mathbf{32799}\ [\boldsymbol{kWh}]$
Consumo specifico	$\mathbf{59,41}\left[\frac{\boldsymbol{kWh}}{\boldsymbol{m^2}}\right]$	**Consumo specifico**	$\mathbf{49,09}\left[\frac{\boldsymbol{kWh}}{\boldsymbol{m^2}}\right]$
Consumo specifico	$\mathbf{13,26}\left[\frac{\boldsymbol{kWh}}{\boldsymbol{m^3}}\right]$	**Consumo specifico**	$\mathbf{7,78}\left[\frac{\boldsymbol{kWh}}{\boldsymbol{m^3}}\right]$

Tabella 81: Consumi specifici per unità di superficie e di volume.

Dove, il valore di energia utile $Q_{H,nd}$ è ottenuto dalla differenza tra le dispersioni totali e gli apporti totali:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - Q_{gn}\ [kWh]$$

I quali risultano:

$Q_{H,nd} = 34840 - 6960 = 27880\ [kWh]$ per l'edificio preesistente;

$Q_{H,nd} = 59712 - 26913 = 32799\ [kWh]$ per Villa Ginevra.

I valori di energia ottenuti per le dispersioni e gli apporti tengono in considerazione rispettivamente le dispersioni per trasmissione, per extra-flusso e per ventilazione, e gli apporti solari e quelli interni.

Una volta terminati i confronti sui risultati ottenuti per i due fabbricati, si sposta adesso l'attenzione sui risultati di energia primaria richiesta e gli indici di prestazione energetica.

Una prima precisazione che risulta necessaria è legata al fatto che nella costruzione nuova, anche l'impianto di ventilazione meccanica è presente a differenza del preesistente, il quale deve essere alimentato anch'esso dalle pompe di calore, essendo totalmente elettrico, come già descritto nel Paragrafo 5.2.2.

Si mostrano in Tabella 82 i consumi di energia primaria globali di entrambi gli edifici:

Edificio preesistente efficientato		Villa Ginevra	
$Q_{p,nren}$	$\mathbf{21575}\ [\boldsymbol{kWh}]$	$Q_{p,nren}$	$\mathbf{13449}\ [\boldsymbol{kWh}]$
$Q_{p,ren}$	$\mathbf{17517}\ [\boldsymbol{kWh}]$	$Q_{p,ren}$	$\mathbf{48585}\ [\boldsymbol{kWh}]$
$Q_{p,tot}$	$\mathbf{39092}\ [\boldsymbol{kWh}]$	$Q_{p,tot}$	$\mathbf{62033}\ [\boldsymbol{kWh}]$

Tabella 82: Fabbisogni energia primaria.

Tali risultati, sono stati ottenuti sommando i contributi dei differenti servizi da alimentare, quali riscaldamento, acqua calda sanitaria e raffrescamento per entrambi gli edifici, e ventilazione meccanica controllata per Villa Ginevra; si mostrano anche i risultati parziali, in modo tale da comprendere quali servizi siano maggiormente dispendiosi:

Edificio preesistente efficientato				Villa Ginevra			
Servizio	$Q_{p,nren}\ [kWh]$	$Q_{p,ren}\ [kWh]$	$Q_{p,tot}\ [kWh]$	**Servizio**	$Q_{p,nren}\ [kWh]$	$Q_{p,ren}\ [kWh]$	$Q_{p,tot}\ [kWh]$
Riscaldamento	**19715**	**10497**	**30212**	**Riscaldamento**	**5267**	**31765**	**37033**
ACS	**1861**	**5479**	**7339**	**ACS**	**2254**	**10049**	**12303**
Raffrescamento	**0**	**1541**	**1541**	**Raffrescamento**	**4588**	**4368**	**9255**
Ventilazione	–	–	–	**Ventilazione**	**1340**	**2132**	**3472**

Tabella 83: Ripartizione servizi energia primaria.

Gli stessi dati possono essere riassunti in un grafico a torta in modo tale da rendere più chiara la visualizzazione delle percentuali dei consumi dei vari servizi presenti:

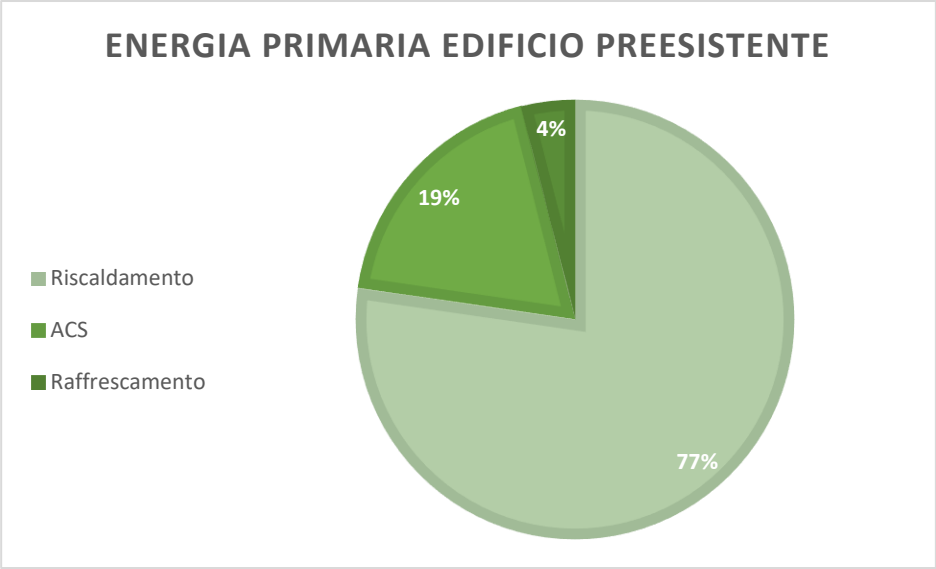


Figura 43: Ripartizione energia primaria tra i servizi, edificio preesistente.

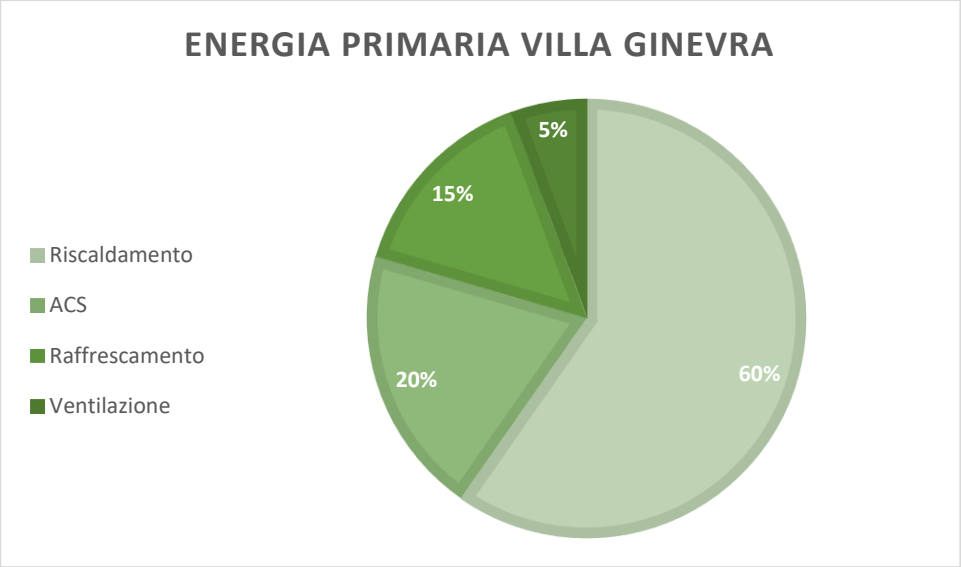


Figura 44: Ripartizione energia primaria tra i servizi, Villa Ginevra.

Come previsto, la percentuale maggiore dei consumi è dovuto ai fabbisogni di riscaldamento, per entrambi gli edifici. La grande differenza sta nella percentuale prodotta da fonti rinnovabili: per Villa Ginevra infatti, la percentuale dei consumi di riscaldamento è soddisfatta per l'85,8% da un contributo di fonti rinnovabili, mentre, per l'edificio preesistente, la maggior parte dei consumi sono coperti dalla caldaia a condensazione alimentata a metano e, conseguentemente, solamente il 34,7% è ottenuto da fonti rinnovabili.

Il risultato appena analizzato non è confermato per i servizi di raffrescamento e acqua calda sanitaria, i quali sono prevalentemente sopperiti dalle fonti rinnovabili per entrambi gli edifici, in particolare per l'edificio efficientato in un secondo momento: come riportato nel Capitolo precedente, il vantaggio di quest'ultimo è legato al fatto che non si debba mai prelevare energia elettrica dalla rete, a differenza di Villa Ginevra. Per quanto l'assenza di prelievo dalla rete sia considerevole, la presenza di una caldaia prevede l'utilizzo di gas naturale (2067 m^3 all'anno), una fonte non rinnovabile che penalizza l'indice di prestazione energetica globale dell'edificio.

Tali indici sono riassunti in Tabella 84 per entrambe le costruzioni:

Edificio preesistente efficientato		Villa Ginevra	
EP_{nren}	$45,98\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$	EP_{nren}	$20,13\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$
EP_{ren}	$37,33\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$	EP_{ren}	$72,72\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$
EP_{tot}	$83,30\left[\frac{kWh}{m^3}\right]$	EP_{tot}	$92,85\left[\frac{kWh}{m^3}\right]$

Tabella 84: Confronto indici di prestazione energetica.

Il dato più significativo e sul quale è di maggiore importanza soffermarsi, è sicuramente l'indice di prestazione energetica non rinnovabile EP_{nren}, il quale è il responsabile della classe energetica dell'edificio: per quanto i contributi da fonti non rinnovabili dell'edificio esistente siano nulli per l'ACS e il raffrescamento, mentre per Villa Ginevra si ha in minima parte un contributo anche per questi servizi oltre che per la VMC, il peso percentuale del riscaldamento è troppo più alto e di conseguenza il valore finale di EP_{nren} risulta minore per l'edificio di nuova costruzione rispetto a quello efficientato.

È bene sottolineare che entrambi gli edifici risultano essere comunque in classe A4, quindi entrambi sono caratterizzati da ottime performance energetiche e da un consumo di energia prodotta da fonti non rinnovabili in quantità modesta.

Si vuole quindi adesso focalizzare l'attenzione sugli impianti fotovoltaici installati su entrambi gli edifici, riassumendo i principali parametri degni di nota. È utile ricordare che, se per l'edificio efficientato si è deciso di installare un impianto centralizzato, per Villa Ginevra gli impianti sono autonomi e non vi sono presenti pannelli per la zona comune, la quale è la principale fonte di prelievo di energia elettrica dalla rete, con un contributo di $6875\left[\frac{kWh}{anno}\right]$.

Edificio preesistente efficientato		Villa Ginevra		
Centralizzato			Alloggio 1	Alloggio 2
Potenza picco	$19,80\,[kW_p]$	Potenza picco	$19,84\,[kW_p]$	$19,84\,[kW_p]$
Numero moduli	55	Numero moduli	62	62
Superficie utile totale	$89,65\,[m^2]$	Superficie utile totale	$104,78\,[m^2]$	$104,78\,[m^2]$
E.E. prodotta	$21101\left[\frac{kWh}{anno}\right]$	E.E. prodotta	$22247\left[\frac{kWh}{anno}\right]$	$22247\left[\frac{kWh}{anno}\right]$
Fabbisogno elettrico annuo	$5035\left[\frac{kWh}{anno}\right]$	Fabbisogno elettrico annuo	$9222\left[\frac{kWh}{anno}\right]$	$5070\left[\frac{kWh}{anno}\right]$
E.E. da rete	$0\left[\frac{kWh}{anno}\right]$	E.E. da rete	$1316\left[\frac{kWh}{anno}\right]$	$0\left[\frac{kWh}{anno}\right]$
Copertura fabbisogno	100%	Copertura fabbisogno	85,7%	100%

Tabella 85: Confronto impianto fotovoltaico.

Risulta evidente come la quantità di energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico sia molto maggiore per Villa Ginevra: essendo una costruzione nuova, si è previsto fin dalla fase di progetto l'installazione di un numero considerevole di pannelli fotovoltaici, mentre, per l'operazione di efficientamento, ci si è dovuti adattare alle dimensioni preesistenti del tetto, cercando di massimizzare la produzione da fonti rinnovabili senza eccedere i limiti di 20 kW_p al fine di evitare oneri fiscali.

Un ultimo dato che si può comparare è quello inerente alle emissioni di CO_2: i $6897\ \left[\frac{kWh_{el}}{anno}\right]$ di energia elettrica prelevata dalla rete per l'abitazione di nuova costruzione contribuiscono ad un'emissione di $3172\ \left[\frac{kg_{CO_2}}{anno}\right]$, mentre i $2067\ \left[\frac{Nm^3}{anno}\right]$ di metano utili all'edificio efficientato producono $4315\ \left[\frac{kg_{CO_2}}{anno}\right]$. Le emissioni di anidride carbonica con i conseguenti effetti negativi che ne derivano sono quindi maggiori per l'abitazione esistente: ci si poteva aspettare tale risultato siccome Villa Ginevra è alimentata quasi esclusivamente da fonti rinnovabili e i materiali utilizzati per la sua costruzione la rendano più performante con consumi specifici minori.

Conclusioni

Durante la stesura del trattato si è potuto apprezzare ogni dettaglio energetico, prestazionale e impiantistico di un'abitazione ritenuta un eccellente esempio di bioedilizia, situato in una cornice naturale unica come il Parco "La Mandria".

Oltre alle straordinarie performance dell'edificio che sono state descritte nel corso del documento, un importante valore aggiunto di Villa Ginevra è l'impatto ambientale positivo che essa ha: lo sfruttamento dell'energia pulita proveniente dal sole e l'utilizzo di materiali al 100% naturali per la costruzione della struttura della casa, sono fondamentali per ridurre le emissioni di CO_2 legate agli edifici. Nel contesto storico odierno, in cui il distacco dai combustibili fossili risulta essere sempre di più necessario, Villa Ginevra si erige come un vero e proprio fiore all'occhiello della lotta ai cambiamenti climatici e simbolo di transizione energetica verso un futuro alimentato da fonti rinnovabili e materiali sostenibili.

Il valore ambientale che caratterizza questo edificio è sicuramente confermato dal punteggio globale ottenuto nel Protocollo ITACA: come ribadito nel Capitolo 6, tale documento viene redatto solamente per edifici che contribuiscono in modo significativo al miglioramento delle condizioni ambientali e che si attestano come costruzioni dall'alto valore energetico e prestazionale.

Risulta inoltre importante sottolineare che, la casa oggetto del trattato risulta essere una "nearly Zero Emission Building", cioè un edificio a emissioni quasi nero e non una "Passive House": tale risultato è legato al fatto che il punto di forza di Villa Ginevra è la grande quantità di energia prodotta da fonti rinnovabili e non solo dalle ottime performance energetiche dei componenti passivi, quale per esempio l'isolamento delle pareti, requisito fondamentale per poter considerare una abitazione una casa passiva secondo la Normativa vigente.

Oltre alla descrizione di tale simbolo di "*green building*", il secondo obiettivo che ci si era posti ad inizio trattazione era inerente al confronto prestazionale tra un edificio esistente efficientato da un punto di vista energetico e un edificio nuovo, realizzato con tecniche costruttive e impiantistiche moderne. Come già riportato nel corso dell'elaborato, un confronto di questo tipo viene realizzato per casi in cui la demolizione di un edificio risulti difficile, se non addirittura non realizzabile, come per esempio nel caso di abitazioni situate in centri storici o altre zone che presentano vincoli paesaggistici o ambientali. Inoltre, in questo specifico caso, non si è esplicitata la componente economica in quanto contenente dati sensibili per lo studio ME ENGINEERING, bensì essa è stata tenuta in considerazione solamente in maniera implicita, affidandosi al buon senso in ogni scelta progettuale e rappresentando i costi dei materiali utilizzati e degli impianti installati in forma parametrica e, infine, al raggiungimento dei criteri imposti per Legge al fine di poter attingere agli incentivi fiscali in ambito edilizio vigenti durante la stesura del trattato.

Come riportato nel Capitolo 10, per quanto le scelte progettuali di efficientamento siano le migliori possibili, a parere del progettista, le prestazioni energetiche che si possono ottenere da una abitazione datata non possono essere ottimali quanto quelle di una costruzione nuova: nonostante la superficie disperdente e il volume di Villa Ginevra siano molto maggiori rispetto a quelli dell'edificio preesistente, le dispersioni specifiche per unità di superficie e per unità di volume risultano essere notevolmente inferiori, sia attraverso i componenti opachi, che attraverso quelli trasparenti.

Inoltre, l'aspetto dell'investimento iniziale che, come detto, si è trascurato nella stesura del trattato, è di rilevante importanza quando bisogna scegliere quale delle due strategie adottare: demolire e costruire un nuovo edificio ha sicuramente un costo maggiore rispetto al solo efficientamento di un edificio già costruito; quindi, il budget messo a disposizione dalla committenza è un parametro fondamentale da tenere in considerazione in fase decisionale. Di contro, un edificio di nuova costruzione ha un valore garantito nel tempo maggiore rispetto ad uno esistente e solamente efficientato da un punto di vista energetico, quindi, se il budget lo permette, un investimento iniziale maggiore porterà ad un valore garantito più alto nel corso del tempo.

Dall'analisi energetica e prestazionale eseguita, si può quindi concludere che, da un punto di vista unicamente tecnico, la costruzione di un nuovo edificio caratterizzato da materiali innovativi, rinnovabili e performanti, come la fibra di legno utilizzata come isolante termico e la struttura lamellare in legno, risulti essere conveniente rispetto ad un efficientamento di un edificio costruito in un'epoca precedente. Per quanto le tecnologie che si è deciso di installare in questo caso specifico, quali rivestimento in EPS grafitato, sostituzione dei serramenti, impianto fotovoltaico e sistema ibrido di ultima generazione, migliorino le prestazioni energetiche dell'edificio precedente, esse non bastano ad uguagliare le performance di una nuova costruzione.

Fonti

[1] «Parco Naturale La Mandria,» [Online]. Available: http://www.parks.it/parco.mandria/mapl.php.

[2] *Decreto Ministeriale 1 agosto 1985, "Galassini".*

[3] *Documenti messi a disposizione da ME ENGINEERING.*

[4] R. Piemonte, *Piano Paesaggistico Regionale, 3 ottobre 2017.*

[5] *Decreto del Presidente della Repubblica, n. 380/2001, "Testo Unico dell'Edilizia".*

[6] *Legge Regionale, n. 16 del 4 ottobre 2018.*

[7] *Legge Regionale, n. 19 del 17 dicembre 2018.*

[8] *Decreto Ministeriale 26 giugno 2015.*

[9] «SUNPOWER Maxeon,» 09 2019. [Online]. Available: https://sunpower.maxeon.com/it/sites/default/files/2019-09/sunpower-performance-serie-p-p19-320-blk-residenziale.pdf.

[10] «L'ascesa dei moduli ad alta efficienza – Che cos'è la tecnologia PERC,» [Online]. Available: https://www.aleo-solar.it.

[11] «STIEBEL ELTRON,» [Online]. Available: https://www.archiexpo.it/prod/stiebel-eltron/product-9808-2322626.html.

[12] *Direttiva Europea 22 marzo 2002, n. 2002/31/CE.*

[13] *Scheda tecnica - STAINLESS STEEL MANIFOLDS 663 SERIES,* COMISA.

[14] *Scheda tecnica - JONIX duct NON THERMAL PLASMA TECHNOLOGY,* JONIX.

[15] «Gruppo ATR,» [Online]. Available: http://gruppoatr.com/wp-content/uploads/2020/02/Deumidificatori-mod.-DTP-PLUS.pdf.

[16] *Scheda tecnica - STIEBEL ELTRON SBP 700,* STIEBEL ELTRON.

[17] *Scheda tecnica - STIEBEL ELTRON SBB 600 WP SOL,* STIEBEL ELTRON.

[18] *Scheda tecnica - Fibra di legno 3THERM INSULATION,* 3THERM INSULATION.

[19] *Prezzi inofrmativi dell'edilizia - Nuove costruzioni,* Roma: DEI Srl Tipografia del Genio Civile , 2021.

[20] *Scheda tecnica - USB Windtop UV,* RIWEGA.

[21] *Scheda tecnica - USB Micro Light,* RIWEGA.

[22] *Scheda tecnica - Gesso nell'edilizia,* CARRARO GIPS.

[23] *Scheda tecnica - Politerm Blu,* EDILTECO GROUP.

[24] *Scheda tecnica - Evalon V,* RIWEGA.

[25] «iiSBE Italia Protocollo ITACA,» [Online]. Available: http://iisbeitalia.org/node/7.

[26] R. Piemonte, *Protocollo ITACA,* 2017.

[27] «Google Maps,» [Online]. Available: https://www.google.it/maps.

[28] «INGENIO,» [Online]. Available: https://www.ingenio-web.it/25360-epd---environmental-product-declaration-che-cosa-e.

[29] «EPD Italy,» [Online]. Available: https://www.epditaly.it/2020/11/20/la-nuova-uni-en-15804/.

[30] «BACS,» [Online]. Available: https://www.ingegneri.cc/bacs-una-valida-misura-di-efficienza-energetica-attiva.html/.

[31] *Decreto Legislativo 10 giugno 2020, n.48/2020.*

[32] «Wikipedia,» [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Casa_passiva#cite_note-1.

[33] «Passive House,» [Online]. Available: https://passivehouse.com/index.html.

[34] *Legge 3 agosto 2013, n. 90/2013.*

[35] *Allegato A - D.M. 26 giugno 2015.*

[36] *Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28/2011.*

[37] *Scheda tecnica - RIELLO CondexA PRO,* RIELLO.

[38] *Scheda tecnica - RIELLO AARIA S,* RIELLO.

[39] *Scheda tecnica - IMMERGAS EOLO EXT,* IMMERGAS.

[40] *Legge 17 luglio 2020, n. 77/2020.*

[41] *Legge 27 dicembre 2019, n. 160/2019.*

[42] *Allegato E - Legge 17 luglio 2020.*

[43] «Biblus Acca,» [Online]. Available: https://biblus.acca.it/guida-al-vetro-in-edilizia-i-vetri-bassoemissivi/.

[44] *Legge UNI TS 11300-1, "Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale".*

[45] *Decreto Legislativo 8 novembre 2021, n. 199/2021.*

[46] *Scheda tecnica - SUNPOWER X22,* SUNPOWER.

[47] «PVGIS,» [Online]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/.

[48] *Prezzi informativi dell'edilizia - Impianti tecnologici,* Roma: DEI Srl Tipografia del Genio Civile, 2021.

Ringraziamenti

Giunti alla fine di questo percorso, desidero ringraziare il mio relatore di tesi, il Professor Marco Carlo Masoero, sempre disponibile per me durante tutta la stesura del trattato, lo società di ingegneria ME ENGINEERING, in particolare l'Ingegnere e Architetto Mauro Esposito che mi ha fornito la possibilità di redigere la tesi su un progetto molto importante per il suo studio, l'Ingegnere Francesca Cotto e il Geometra Giuliano Bertuol, i quali mi hanno fornito consigli preziosi per la realizzazione del mio progetto.

Ringrazio tutte le persone che mi hanno accompagnato, aiutato a superare ogni difficoltà e spronato a non mollare mai durante questi cinque anni di università, in particolare la mia ragazza Alessia, gli amici di una vita Luca, Luca, Elia e Ugo, i miei genitori e tutta la mia famiglia ed infine, coloro senza i quali questo percorso non sarebbe stato così unico e indimenticabile, i miei colleghi e amici Francesco, Alessandro, Enrico, Simone, Simone, Simone, Lorenzo, Alessio, Samuel, Luca e Stefano.

Un ringraziamento a tutte queste persone che mi hanno permesso di crescere e di tagliare questo primo grande traguardo della mia vita.

Simone