

### Riqualificazione energetica in quota Il caso studio del Rifugio Città di Ciriè

\_ Relatore \_ **Prof.ssa Valentina Serra** 

Correlatore **Prof. Enrico Fabrizio** 

Candidati
Marta Bogino
Ugo Castagneri



### POLITECNICO DI TORINO Corso di Laurea Magistrale in Architettura per la Sostenibilità A.A. 2022/2023

### Riqualificazione energetica in quota Il caso studio del Rifugio Città di Ciriè

Relatore
Prof.ssa Valentina Serra

Candidati Marta Bogino Ugo Castagneri

Correlatore

Prof. Enrico Fabrizio

Ai miei nonni, radici del mio essere.



### // INDICE /

### **Abstract**

1	Introdu	ızione	
	1.1	Politiche energetiche	17
	1.2	Efficientamento degli edifici	20
	1.3	Edifici nZEB	23
	1.4	Normativa di riferimento	30
	1.5	Audit energetico	33
2	Riqual	ificazione energetica in quota	
	2.1	La nascita dei rifugi alpini	43
	2.2	Le Alpi Occidentali a inizio '900	47
	2.3	Progetti di riqualificazione	52
3.	II Rifug	gio Città di Ciriè	
	3.1	Inquadramento territoriale	71
	3.2	Inquadramento climatico	83
	3.3	Parametri climatici di progetto	90
	3.4	Involucro edilizio	95
	3.5	Consumi energetici	117
4.	Monito	oraggio ambientale	
	4.1	Acquisitori climatici	127
	4.2	Rilevazioni sul caso studio	133
2 3. 4.	Fabbis	ogno energetico dell'edificio	
	5.1	Modellazione sistema edificio impianto	147
6.	Interve	enti di efficientamento energetico	
	6.1	Isolamento termico interno	157
	6.2	Riqualificazione dell'involucro edilizio	160
	6.3	Sostituzione del generatore di calore	172
	6.4	Impianto fotovoltaico	199
	6.5	Ventilazione meccanica controllata	210
	6.6	Gestione integrata dell'energia	221

7.	Fabbisc	ogno energetico dell'edificio post-intervento	
	7.1	Risultati dei calcoli post-intervento	227
8.	Conside	erazioni finali	
	8.1	Edificio	235
	6.2	Integrazione fotovoltaica	237
	6.3	Utenze elettriche	238
9.	Conclus	sioni	245
10.	Bibliog	rafia e sitografia	157
11.	Normat	iva	255
12.	Ringra	ziamenti	258

### / abstract ita

Il presente progetto di tesi nasce dall'unione tra le riflessioni sulla riqualificazione energetica degli edifici esistenti e la passione per il mondo della montagna. In un ambiente in cui le condizioni climatiche sono già esse stesse una sfida, per comprendere e sviluppare soluzioni legate al cambiamento climatico, al comfort abitativo e all'autonomia energetica è necessaria un'attenzione che in altri luoghi sarebbe superflua. In montagna ogni nuova realizzazione o ogni nuova modifica costituiscono un elemento aggiunto ad un ambiente quasi privo di elementi umani. Per questo motivo, quando si interviene su una costruzione, non si modifica solo il singolo edificio, ma si influenza anche il contesto in cui esso si trova.

Lo scopo di questa trattazione è dimostrare come soluzioni di efficientamento energetico possano essere applicate anche in situazioni caratterizzate da difficili condizioni ambientali, ed in luoghi in cui l'autonomia energetica e prestazionale degli edifici risulta essere prioritaria. Il caso studio analizzato è il Rifugio Città di Ciriè, situato a 1865 m di altitudine al Pian della Mussa, sulle pendici piemontesi delle Alpi Graie, nelle Valli di Lanzo, al confine con l'Alta Savoia francese.

La parte iniziale è volta alla definizione degli interventi da realizzare per operare una riqualificazione energetica, riferendosi anche alle norme da seguire e agli obiettivi europei in merito. Viene descritto anche il processo di audit energetico, che costituisce il punto di riferimento metodologico per lo svolgimento della presente tesi.

È stato successivamente approfondito il processo storico che ha portato alla costruzione nei moderni rifugi alpini, con una specifica attenzione all'area delle Alpi Occidentali italiane. Tale analisi costituisce la documentazione che giustifica la scelta progettuale di base, da cui derivano tutte le soluzioni successive, ossia quella di conservare la struttura originale esterna dell'edificio, intervenendo solo sull'interno. Per comprendere in maniera più completa quali sono gli interventi prioritari che vanno considerati quando si affronta un progetto di riqualificazione energetica di un rifugio alpino sono stati inoltre analizzati diversi casi studio. Introducendo nell'analisi il Rifugio Città di Ciriè, è stato in primo luogo necessario definire le condizioni climatiche e territoriali caratteristiche, per poi

approfondire le tecniche di involucro e impianto dello stato di fatto. Al fine di verificare quali fossero i punti deboli della struttura, è stato inoltre realizzato un monitoraggio ambientale in loco, tramite il posizionamento, durante il periodo invernale, di sensori in grado di misurare le condizioni di temperatura e umidità relativa. Partendo dai dati raccolti è stato possibile progettare l'intervento di efficientamento energetico, ponendosi diversi obiettivi, tra cui la riduzione dell'impatto ambientale, l'indipendenza da fonti fossili, la riduzione dei costi e del consumo di energia e la miglioria del benessere degli occupanti.

La presente trattazione è stata dunque redatta con lo scopo di promuovere la riqualificazione del patrimonio edilizio come strumento per la lotta al cambiamento climatico e allo spreco di energia, con l'obiettivo di raggiungere l'autosufficienza energetica degli edifici.

### / abstract eng

This dissertation project was born from the combination of reflections on energy requalification of existing buildings and the passion for mountain world. In an environment where climatic conditions are already a challenge, a special attention – that in other places would be superfluous - is required to understand and develop solutions related to climate change, living comfort and energy autonomy. In the mountains every new construction or every new modification is an added element to an environment almost devoid of human elements. For this reason, when intervening on a construction, we do not just change the single building, but we also influence the context in which it is located.

The purpose of this dissertation is to demonstrate how efficiency enhancement solutions can also apply in difficult environmental conditions and in locations where energy and performance autonomy of buildings is a priority. For this project we analysed the Rifugio Città di Ciriè, located at an altitude of 1865 m at Pian della Mussa, on the Piedmont slopes of the Graie Alps, in the Lanzo Valleys, on the border with the French Haute Savoie.

The initial part aims at defining the interventions to be carried out in order to make an energy requalification, also referring to the standards to be followed and to the relevant European targets. It also describes the energy audit process, which is the methodological reference point for the development of this dissertation.

Then the historical process that led to the construction of modern alpine refuges was analysed in detail, with a specific attention to the area of the Italian Western Alps. This analysis constitutes the documentation which justifies the basic project choice from which all subsequent solutions derive, i.e. to preserve the original external structure of the building and to intervene only in the interior. Moreover we studied several cases for a more complete understanding of the priority interventions to be considered when dealing with an energy requalification project of an alpine refuge.

When entering the Rifugio Città di Ciriè into the analysis, it was first necessary to define the relevant climate and territorial conditions, then to examine in detail the techniques of walls and facilities of the building as it is. In order to check the weak points of the structure, we carried out an environmental monitoring

on site, through the placement, during the winter period, of sensors capable of measuring temperature and relative humidity conditions. On the basis of the collected data, it was possible to define the efficiency enhancement intervention, setting several targets as the reduction of environmental impact, the independence from fossil fuels, the reduction of costs and energy consumption and the improvement of inhabitants' well-being.

This discussion has therefore been written with the aim of promoting the requalification of the building heritage as a tool against climate change and energy waste, with the target to achieve energy self-sufficiency of buildings.

## 01 / Introduzione

Politiche energetiche	1.1
Efficientamento degli edifici	1.2
Edifici nZEB	1.3
Normativa di riferimento	1.4
Audit energetico	1.5

### 01/Introduzione

### 1.1 POLITICHE ENERGETICHE

Secondo la *Convenzione Quadro delle Nazioni Unite del 1992*<sup>1</sup>, con cambiamento climatico si intende una variazione del clima che viene attribuita direttamente o indirettamente all'attività umana, che altera la composizione dell'atmosfera globale e che si aggiunge alla variabilità climatica naturale osservata in periodi di tempo comparabili. Le attività antropiche, che comprendono tra le altre cose lo sfruttamento di combustibili fossili per la produzione di energia, l'estrazione intensiva di materie prime e la deforestazione, hanno causato un aumento della concentrazione di gas ad effetto serra in atmosfera. Queste azioni hanno portato ad un aumento della temperatura media globale, fenomeno che comporta gravi conseguenze sull'ambiente, sulla salute umana e sulla biodiversità, oltre che rappresentare una minaccia per la stabilità economica e sociale.

Risulta evidente la dipendenza della società dalla produzione di enormi

La *Convenzione Quadro* sui cambiamenti climatici è un accordo ambientale internazionale prodotto dalla Conferenza sull'Ambiente e sullo Sviluppo delle Nazioni Unite (UNCED, United Nations Conference on Environment and Development), informalmente conosciuta come Summit della Terra, tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992.

quantitativi di energia, ma per garantire un futuro alle prossime generazioni è importante favorire la conversione del mix energetico in tutto il panorama mondiale da fonti fossili a rinnovabili. Questi obiettivi sono stati definiti e resi noti attraverso la sottoscrizione da parte dei diversi paesi di trattati quali il protocollo di Kyoto del 1997, la COP<sup>2</sup> 21 di Parigi del 2015 o la COP 26 di Glasgow del 2021. All'interno di questi accordi viene richiesto alle diverse parti di introdurre tutte le misure possibili e necessarie affinché sia possibile limitare il riscaldamento globale al di sotto di un innalzamento massimo di +1.5°C rispetto alla temperatura media globale dell'epoca preindustriale entro il 2100, e di raggiungere le zero emissioni di gas climalteranti entro il 2050.

Sapendo che l'anidride carbonica costituisce il 76% delle emissioni totali di gas a effetto serra e che la combustione di carbone, di derivati del petrolio e del gas naturale per produrre elettricità e calore è la principale responsabile di queste emissioni, risulta evidente la necessità di una transizione del mercato energetico mondiale verso fonti che siano sostenibili.

A livello nazionale sono stati fatti grandi progressi in termini di politiche energetiche, grazie all'impegno nella riduzione del costo dell'energia, nel raggiungimento degli obiettivi ambientali e nella crescita del settore delle rinnovabili. Per questo risulta interessante confrontare la situazione italiana con quella mondiale.

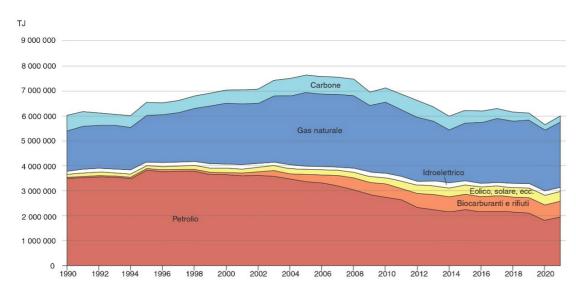


Fig 1.1 - Approvvigionamento di energia totale in Italia (1990-2021) - https://www.iea.org/

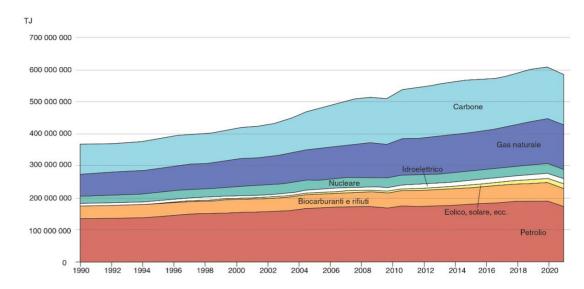


Fig 1.2 - Approvvigionamento di energia totale nel Mondo (1990-2021) - https://www.iea.org/

È significativo osservare come nel mondo il fabbisogno di energia primaria abbia continuato a crescere, mentre in Italia sia in calo dal 2005 in poi, indicando un generale efficientamento del sistema energetico nazionale. In generale, in Italia vi è uno sfruttamento delle fonti fossili pari a circa il 60%, contro il 67,5% nel mondo. Grazie alla localizzazione geografica favorevole il paese può sfruttare positivamente le risorse solari ed eoliche in percentuale maggiore rispetto a quella globale. Tuttavia l'Italia presenta una grande mancanza, dovuta all'abolizione della produzione di energia da fonte nucleare in seguito al referendum popolare del 2011.

Il mix energetico nazionale è in ogni caso destinato a cambiare nei prossimi anni, in quanto la transizione energetica ha lo scopo di ridurre lo sfruttamento delle fonti fossili, in favore delle fonti rinnovabili. Tale processo sarà reso possibile dagli sviluppi tecnologici nei campi della produzione e dello stoccaggio dell'energia, che ad oggi costituiscono ancora le maggiori limitazioni a causa della loro imprevedibilità e degli elevati costi degli attuali sistemi di accumulo.

<sup>2</sup> *COP* è l'acronimo di Conference of Parties, la riunione annuale dei Paesi che hanno ratificato la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici.

### 1.2 EFFICIENTAMENTO DEGLI EDIFICI

La riqualificazione energetica degli edifici è un'importante strategia per contrastare il cambiamento climatico, in quanto il settore dell'edilizia è responsabile di oltre il 40% dei consumi finali di energia e produce circa il 36% delle emissioni di gas serra totali. In aggiunta, oltre il 50% delle materie prime che vengono estratte sono trasformate in materiali e prodotti da costruzione. La riqualificazione energetica comprende una serie di interventi volti a migliorare l'efficienza degli edifici, attraverso l'adozione di tecnologie e soluzioni innovative che riducono il consumo di energia e le emissioni di gas serra. È necessario affrontare questo processo attraverso un approccio integrato, che coinvolge diverse competenze e tecnologie, al fine di ottenere il massimo beneficio ambientale ed economico.

La trasformazione di un edificio esistente in una struttura ad alte prestazioni energetiche deve partire dall'analisi dello stato di fatto, e considerando il fabbricato e gli impianti come un sistema unico. Per effettuare una riqualificazione può essere necessario effettuare interventi di varia natura, quali l'efficientamento dell'involucro edilizio, dei sistemi di produzione e di distribuzione di energia e l'installazione di impianti che producano energia da fonti rinnovabili.

Facendo l'esempio dell'arco alpino, luogo in cui si trova il caso studio successivamente analizzato, risulta prioritario il miglioramento dell'involucro edilizio con lo scopo di ridurre le dispersioni di calore nella stagione invernale. Di conseguenza, è anche necessario rendere più efficienti i sistemi di produzione di calore, mentre la progettazione dei sistemi di raffrescamento estivo risulta avere un'importanza nettamente inferiore. Queste considerazioni ed i differenti approcci che ne conseguono devono lavorare in maniera congiunta per ottenere la massimizzazione del risultato. È con questo obiettivo che si introduce la diagnosi energetica, una procedura di analisi coordinata del sistema edificio-impianto, che ha l'obiettivo di individuare gli interventi da realizzare, definirne le priorità e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici. Questa considera tutti gli aspetti che hanno lo scopo di garantire il comfort degli occupanti e la fruizione dell'edificio da parte degli utilizzatori. Gli aspetti più importanti da analizzare sono:

### · Involucro opaco ad alte prestazioni energetiche

Un migliore isolamento delle pareti, del solaio a terra e del sistema di copertura contribuisce a ridurre le perdite di calore nella stagione invernale e massimizzare il benessere degli occupanti. La scelta di superfici esterne chiare, affiancate da sistemi di schermatura solare e ombreggiamento, consentono invece la riduzione del fabbisogno di energia necessaria al raffrescamento estivo. Questi fattori permettono di dimensionare correttamente il sistema di climatizzazione, riducendo i costi di gestione e manutenzione futuri.

### Involucro trasparente e luce naturale

Un corretto sfruttamento della luce naturale aiuta a ridurre il fabbisogno di energia elettrica necessario per l'illuminazione degli ambienti. Utilizzando serramenti ad alte prestazioni è possibile ridurre al minimo le dispersioni di calore nei mesi invernali ed il surriscaldamento degli ambienti nei mesi estivi.

### Impianti di climatizzazione e ventilazione

La scelta della tipologia e della taglia dei sistemi di climatizzazione e ventilazione meccanica è un'operazione complessa poiché dipende direttamente dalle prestazioni dell'involucro edilizio e dalla zona climatica in cui esso si trova. Questo ha un'influenza diretta sui costi di esercizio e manutenzione. L'utilizzo di sistemi automatici per la regolazione della temperatura in ambiente permette di minimizzare gli sprechi di energia.

### · Illuminazione e sistemi elettrici

I sistemi di illuminazione a LED e i sistemi di gestione che permettono di modulare in automatico il livello di luce in ambiente rappresentano investimenti che permettono di ottenere un immediato risparmio energetico.

### Sistemi alimentati ad energia rinnovabile

Questi sistemi possono integrare la fornitura di energia elettrica e termica dell'edificio. In relazione ai profili di consumo ed alle caratteristiche

strutturali e climatiche dell'edificio è possibile valutare l'impiego di biomassa per la climatizzazione, fotovoltaico o eolico in combinazione con sistemi di accumulo o il solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria.

### Sistemi di supervisione e controllo

L'utilizzo di sistemi di supervisione e controllo permette il monitoraggio dell'edificio, facilita la manutenzione ordinaria e straordinaria, ottimizza l'archiviazione dei dati e consente la gestione degli impianti anche da remoto.

### 1.3 EDIFICI nZEB

La direttiva 2010/31/UE del 19 maggio 2010 del Parlamento europeo, anche definita come EPBD – Energy Performance of Building Directive<sup>3</sup>, promuove il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici all'interno dell'Unione europea, tenendo conto delle condizioni climatiche locali, nonché delle prescrizioni relative alla climatizzazione degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi. In questa prima direttiva, poi modificata dalla 218/844/ UE del 19 giugno 2018, si introduce l'obbligo per i paesi membri di rispettare dei requisiti minimi di efficienza energetica per gli edifici di nuova costruzione e per quelli che subiscono importanti ristrutturazioni. In questo contesto è stato introdotto il concetto di edificio a energia quasi zero (nZEB – nearly Zero Energy Building), che costituisce un livello standard che doveva essere raggiunto entro la fine del 2020 da tutti gli edifici di nuova costruzione. Rispetto a quest'ultima direttiva, nel dicembre 2021 la Commissione ha proposto un'ulteriore modifica, che prevede che a partire dal 2030 tutti i nuovi edifici siano a energia zero (ZEB – Zero Energy Building), allineando i requisiti di prestazione energetica all'obiettivo di neutralità climatica. Quest'ultimo aspetto risulta particolarmente rilevante se si considera che l'85% degli edifici attualmente esistenti sarà ancora in piedi nel 2050, quando l'Europa dovrà raggiungere la neutralità climatica.

Nello specifico, un edificio a energia quasi zero è definito come un "edificio ad altissima prestazione energetica il cui fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze<sup>4</sup>". Un edificio a energia zero è invece definito come un "edificio ad altissima prestazione energetica il cui fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo viene coperto totalmente da energia prodotta con fonti rinnovabili e non produce emissioni di carbonio in loco derivanti da combustibili fossili"<sup>5</sup>.

<sup>3</sup> L'EPBD fa parte del pacchetto "Pronti per il 55%", che verrà approfondito nel sottocapitolo 1.4.

<sup>4</sup> Definizione fornita dalla *Direttiva 2010/31/UE* del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010.

Definizione fornita dalla proposta della Commissione Europea del 15 dicembre 2021.

Rispetto ad un edificio nZEB, la definizione di ZEB tiene conto anche del calcolo del potenziale di riscaldamento globale<sup>6</sup> durante l'intero ciclo di vita del manufatto e la sua pubblicazione attraverso il certificato di prestazione energetica dell'edificio.

In entrambi i casi, si garantisce che gli edifici certificati siano caratterizzati da ottime performance energetiche, grazie all'attenta scelta dei materiali da costruzione, alla coibentazione, all'ottimizzazione degli apporti gratuiti. L'aspetto più importante rimane però l'ampio uso di impianti efficienti e fonti rinnovabili per la produzione di energia.

A livello nazionale, i requisiti minimi per ottenere la certificazione di edificio a energia quasi zero sono definiti nel *paragrafo 3.3, Comma 2, lettera b del Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015.* I parametri da prendere in considerazione per la definizione di tali requisiti sono riportati nella seguente *tabella 2.1*.

<b>H</b> ' <sub>τ</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per				
	unità di superficie disperdente.				
A <sub>sol,est</sub> /A <sub>sup utile</sub> [-]	Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile.				
EP <sub>H,nd</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	Indice di prestazione termica utile per riscaldamento.				
η <sub>н</sub> [-]	Efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale.				
<b>EP</b> <sub>н</sub> [kWh/m²]	Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot").				
EP <sub>w,nd</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	Indice di prestazione termica utile per la produzione di acqua calda sanitaria.				
η <sub>w</sub> [-]	Efficienza media stagionale dell'impianto di produzione dell'acqua calda sanitaria.				
EP <sub>w</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	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 <sub>v</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	Indice di prestazione energetica per la ventilazione. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot").				
EP <sub>C,nd</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento.				
<b>η</b> <sub>C</sub> [-]	Efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità).				
<b>EP</b> <sub>C</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	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 <sub>L</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	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").				
<b>EP</b> <sub>τ</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	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				
$EP_{gl} = EP_H + EP_W +$					
EP <sub>V</sub> + EP <sub>C</sub> + EP <sub>L</sub> +	energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot").				
EP <sub>T</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]					

Tab 1.1 - Efficienze, parametri e indici di prestazione energetica - D.M. 26 giugno 2015 - Appendice 1

<sup>6</sup> Il *potenziale di riscaldamento globale* (*GWP* – Global Warming Potential) è il fattore di normalizzazione che stima il potenziale contributo che una sostanza di origine antropica arreca al riscaldamento globale rispetto a quello provocato dallo stesso peso di anidride carbonica.

Tali parametri vanno definiti in quanto il loro valore deve essere inferiore a quello dei valori di riferimento. I requisiti minimi sono i seguenti:

Il coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione H'<sub>T</sub>
deve essere inferiore al valore indicato nella tabella 1.2.

$$H'_{T} = \frac{H_{tr,adj}}{\sum A_{k}} \left[ \frac{W}{m^{2}K} \right]$$

In cui:

- H<sub>tr,adj</sub> è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione dell'involucro, definito in [W/K] tramite la UNI/TS 11300-1;
- A<sub>k</sub> è la superficie del k-esimo componente costituente l'involucro, sia opaco che trasparente, definita in [m²].

Numero	Rapporto di forma (S/V)	Zona climatica				
riga	Rapporto di Iorina (S/V)	AeB	С	D	Е	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	Rapporto di forma (S/V)	Zona climatica				
riga	Rapporto di Torina (3/V)	AeB	C	D	Е	F
4	Ampliamenti e ristrutturazioni importanti di secondo livello per tutte le tipologie edilizie	0.73	0.70	0.68	0.65	0.62

Tab 1.2 - Valore massimo ammissibile del coefficiente di scambio termico per trasmissione - D.M. 26 giugno 2015 - Appendice A

Per calcolare l'area solare equivalente estiva per unità di superficie utile
 A<sub>sol,est</sub>/A<sub>sup,utile</sub> [-] è necessario determinare l'area della superficie utile
 A<sub>sup,utile</sub> e l'area equivalente estiva A<sub>sol,est</sub>. Quest'ultima viene calcolata
 come la sommatoria delle aree equivalenti estive di ogni componente
 vetrato k. Il valore di A<sub>sol,est</sub> rapportato all'area della superficie utile deve
 essere inferiore al valore massimo ammissibile riportato in tabella 1.3.

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

In cui

- F<sub>sh,ob</sub> è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie vetrata

k-esima, riferito al mese di luglio;

- $g_{gl+sh}$  è la trasmittanza di energia solare totale della finestra calcolata nel mese di luglio, quando la schermatura solare è utilizzata;
- F<sub>F</sub> è la frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente finestrato;
- $A_{w,p}$  è l'area proiettata totale del componente vetrato (area del vano finestra):

Categoria edificio	Tutte le zone climatiche
Categoria E.1 fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3)	≤ 0.030
Tutti gli altri edifici	≤ 0.040

Tab 1.3 - Valore massimo ammissibile del rapporto tra area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e l'area della superficie utile - D.M. 26 giugno 2015 - Appendice A

Trasmittanza termica dell'edificio di riferimento U [W/m²K]											
Zona climatica	Αe	В	(	3		)		E		F	
Zoria Cimatica	2015	2021	2015	2021	2015	2021	2015	2021	2015	2021	
Strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra.	0.45	0.40	0.40	0.36	0.36	0.32	0.30	0.28	0.28	0.26	
Strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati.	0.34	0.32	0.34	0.32	0.28	0.26	0.26	0.24	0.24	0.22	
Strutture opac he orizzontali di pavimento, verso l'estemo, gli ambienti non climatizzati o contro terra.	0.48	0.42	0.42	0.38	0.36	0.32	0.31	0.29	0.30	0.28	
Chiusure tec niche trasparenti e opac he e dei cassonetti, c omprensivi degli infissi, verso l'estemo e verso gli ambienti non climatizzati.	3.20	3.00	2.40	2.00	2.10	1.80	1.90	1.40	1.70	1.00	

Tab 1.4 - Valori di trasmittanza termica limite dell'edificio di riferimento - *D.M. 26 giugno 2015* - *Appendice A* 

- Gli indici di prestazione energetica EP<sub>H,nd</sub>, EP<sub>C,nd</sub> e EP<sub>gl,tot</sub> devono essere inferiori ai valori dei parametri corrispondenti per l'edificio di riferimento EP<sub>H,nd,limite</sub>, EP<sub>C,nd,limite</sub> e EP<sub>gl,tot,limite</sub>. Con edificio di riferimento si intende un edificio identico in termini di geometria, orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno, e caratterizzato da valori di trasmittanza termica degli elementi principali inferiori a quelli riportati in *tabella 1.4*.
- Le efficienze  $\eta_H$ ,  $\eta_W$ ,  $\eta_C$  risultino superiori ai valori delle corrispondenti efficienze dell'edificio di riferimento  $\eta_{H,limite}$ ,  $\eta_{W,limite}$ ,  $\eta_{C,limite}$ , definite nelle *tabelle 1.5 e 1.6.* Per la comprensione delle tabelle è necessario specificare che con H si fa riferimento ai servizi di climatizzazione invernale, con C ai servizi di climatizzazione estiva e con W al servizio di acqua calda sanitaria.

Efficienza dei sottosistemi di utilizzazione $\eta_{\rm u}$	Н	С	w
Distribuzione idronica	0.81	0.81	0.70
Distribuzione aeraulica	0.83	0.83	-
Distribuzione mista	0.82	0.82	-

Tab 1.5 - Efficienze medie u dei sottosistemi di utilizzazione dell'edificio di riferimento per i servizi di H, C, W - D.M. 26 giugno 2015 - Appendice A

 - Almeno il 50% dei consumi imputabili a riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria devono essere prodotti in situ attraverso impianti alimentati da fonti rinnovabili.

Sottosistemi di generazione	Produzio	ne di energ	ia termica	Produzione di energia
	Н	С	W	elettrica in situ
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 a 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	-	0.6 x η <sub>gn</sub> (**)	-	-
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	-
Riscaldamento con resistenza elettrica	1.00	-	-	-
Teleriscaldamento	0.97	-	-	-
Teleraffrescamento	-	0.97	-	-
Solare termico	0.30	-	0.30	-
Solare fotovoltaico	-	-	-	-
Mini eolico o mini idroelettrico	-	-	-	(**)
NOTA: per i combustibili tutti i dati fanno	riferimento	al potere ca	lorifico infe	riore.
(*) Per pompe di calore che prevedono	a funzione	di raffrescan	nento si cor	nsidera lo stesso valore

Tab 1.6 - Efficienze medie u dei sottosistemi di generazione dell'edificio di riferimento per la produzione di energia termica per i servizi di H, C, W e per la produzione di energia elettrica

delle macchine frigorifere della stessa tipologia.

in situ - D.M. 26 giugno 2015 - Appendice A

(\*\*) Si assume l'efficienza media del sistema installato nell'edificio reale.

### 1.4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Secondo la Commissione europea, gli edifici presenti all'interno dell'Unione sono responsabili del 40% del consumo energetico e del 36% delle emissioni di gas a effetto serra. Il 15 dicembre 2021 la Commissione ha approvato la proposta di revisione della direttiva sulla prestazione energetica degli edifici, che fa parte del pacchetto "Pronti per il 55%" (FIT for 55%). Il pacchetto ha lo scopo di allineare le politiche europee su clima ed energia all'obiettivo di raggiungere la neutralità climatica dell'UE entro il 2050 e a quello di ridurre, entro il 2030, le emissioni nette di gas a effetto serra di almeno il 55% rispetto ai livelli del 1990. La normativa entrata in vigore nel luglio 2021 ha reso entrambi gli obiettivi vincolanti a livello europeo. A livello nazionale tutto ciò si traduce in una riduzione, in ciascuno degli anni dal 2021 al 2030, dei consumi di energia finale di un valore pari allo 0.8% rispetto ai consumi annui medi del triennio compreso tra 2016 e 2018. Questo obiettivo, che corrisponde ad una riduzione di 0.93 MTEP<sup>7</sup> annui, necessiterà di un grande impegno da parte delle istituzioni per essere raggiunto, soprattutto in settori più complessi, come quello degli edifici e quello dei trasporti.

Le norme volte a migliorare le prestazioni degli edifici includono misure che puntano a ridurre il peso delle bollette e la povertà energetica. Tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere a zero emissioni a partire dal 2028, mentre per gli edifici di proprietà o ad uso pubblico la scadenza è il 2026.

L'efficientamento energetico degli edifici consentirebbe di ridurre il consumo energetico finale, rendendo il settore edilizio meno dipendente dai combustibili fossili. La Commissione europea intende raggiungere questo obiettivo favorendo la ristrutturazione di oltre 35 milioni di edifici entro il 2030. Inoltre, viene richiesto che gli edifici residenziali raggiungano almeno la classe energetica D entro il 2033, mentre per gli edifici non residenziali e pubblici la data di scadenza

per raggiungere il medesimo obiettivo è il 2030. L'aggiornamento rende inoltre vincolante, per i paesi membri dell'Unione Europea, la garanzia che entro il 2028 i nuovi edifici dispongano di tecnologie che sfruttino l'energia proveniente dal sole, quando tecnicamente ed economicamente possibile. Per gli edifici residenziali, la scadenza è fissata al 2032.

Per ottemperare a questi obblighi è necessario prima delineare la situazione in cui si trova attualmente il parco edilizio italiano in termini di efficienza energetica. La normativa UNI CEI EN 16427 del 2022 costituisce il testo di riferimento per le diagnosi energetiche all'interno dell'Unione Europea. Il testo è stato sviluppato per fornire una metodologia standardizzata per la valutazione dell'efficienza energetica degli edifici, dei processi industriali e del trasporto al fine di promuovere l'adozione di misure di efficientamento energetico con una conseguente riduzione delle emissioni di gas serra. Vengono definiti i requisiti da valutare, la metodologia da utilizzare per una diagnosi energetica, oltre che la documentazione che è necessario produrre. Nello specifico la norma è suddivisa in cinque parti:

- UNI CEI EN 16247-1: 2012 Parte 1: Requisiti generali;
- UNI CEI EN 16247-2: 2014 Parte 2: Edifici;
- UNI CEI EN 16247-3: 2014 Parte 3: Processi;
- UNI CEI EN 16247-4: 2015 Parte 4: Trasporto;
- UNI CEI EN 16247-5: 2015 Parte 5: Competenze dell'auditor energetico.

L'insieme di tutte e cinque le parti determina quali sono i requisiti generali comuni a tutte le diagnosi energetiche, oltre che i requisiti specifici relativi a edifici, processi industriali e trasporto. Inoltre, vengono specificate le competenze che l'auditor energetico deve possedere per effettuare in maniera efficace diagnosi energetiche conformi ai requisiti di legge.

Per quanto riguarda il comparto edilizio, risultano maggiormente pertinenti le parti 1 e 2. Nello specifico, la norma UNI CEI EN 16247-1 definisce i requisiti generali, la metodologia comune e i prodotti delle diagnosi energetiche. Fa riferimento a tutti i campi di applicazione e a tutte le forme di energia e di

<sup>7</sup> Una *TEP*, acronimo di Tonnellata Equivalente di Petrolio, è un'unità di misura utilizzata in riferimento al consumo di energia primaria. Una TEP corrisponde al calore generato dalla combustione di una tonnellata di petrolio, pari a circa 42 GJ o 12 MWh. Questi valori comportano una notevole approssimazione perché con petrolio si fa in realtà riferimento ad un'ampia gamma di prodotti, che presentano tra loro notevoli differenze in termini di potere calorifico

utilizzo della stessa.

La norma UNI CEI EN 16247-2 si riferisce invece alle diagnosi energetiche specifiche per gli edifici. Essa definisce i requisiti, la metodologia e la documentazione di una diagnosi energetica relativa a un edificio o a un gruppo di edifici, escludendo le singole residenze private.

### 1.5 AUDIT ENERGETICO

All'interno della UNI CEI EN 16247-1 è riportata la definizione di diagnosi energetica o audit energetico, definito come "ispezione e analisi sistematica degli usi e consumi dell'energia di un sito, di un edificio, di un sistema o di una organizzazione con l'obiettivo di identificare i flussi energetici ed il potenziale di miglioramento dell'efficienza energetica ed a riferire in merito ai risultati". Il processo di audit energetico deve essere:

### Appropriato

L'analisi deve essere in linea con lo scopo dell'intervento, con il grado di accuratezza e le finalità che sono state definite. Deve inoltre rispettare i confini stabiliti della diagnosi.

### Completo

Un'analisi completa è in grado di descrivere il sistema energetico senza escludere nessuno degli aspetti significativi. Per il sistema edificio, vanno considerati l'involucro edilizio, gli impianti di riscaldamento, ventilazione e raffrescamento, l'impianto elettrico, l'eventuale presenza di impianti alimentati da fonti rinnovabili, di sistemi di automazione e controllo, di impianti di movimentazione interna<sup>8</sup>. Va infine considerato lo stato di fatto in termini di comfort termico, qualità dell'aria, illuminazione e acustica.

### Rappresentativo

Deve garantire che i dati che sono stati acquisiti siano completi, corretti e attendibili, sia in termini qualitativi che quantitativi. Questo obiettivo è da perseguire sia attraverso un'attenta analisi della documentazione tecnica, sia per mezzo di rilevazioni strumentali da effettuare in maniera diretta sull'oggetto studiato.

<sup>8</sup> Si fa riferimento all'eventuale presenza di ascensori, scale mobili, nastri trasportatori, ecc.

### Tracciabile

Deve consentire la semplice individuazione delle fonti da cui derivano i dati utilizzati e delle modalità con cui essi sono stati elaborati. Questo è possibile utilizzando una procedura standardizzata che regola tutte le fasi di diagnosi energetica.

### Utile

Deve consentire la valutazione dei risparmi energetici e delle eventuali emissioni di gas a effetto serra associate attraverso un'analisi costibenefici. Per ogni proposta di intervento devono essere redatti la descrizione, l'analisi dei benefici energetici, economici ed ambientali, le accortezze e interazioni con altri interventi, il costo, i riferimenti tecnici normativi e legislativi, le misure e verifiche da effettuare in seguito all'applicazione.

### Verificabile

L'analisi deve essere verificabile da parte del committente, che deve poter monitorare e verificare il raggiungimento dei miglioramenti di efficienza energetica, ottenuti in seguito alla messa in opera degli interventi.

Rispettando i requisiti appena descritti, la normativa individua il procedimento che deve essere svolto con il fine di completare un processo di audit energetico. Tale procedimento individua gli step a cui ogni auditor energetico deve andare incontro, e si compone di:

### 1. Contatto preliminare

Nella fase di contatto preliminare è necessario definire i termini della collaborazione affinché la cooperazione di tutte le parti sia assicurata. Per facilitare la raccolta dei dati è necessario individuare e informare i soggetti coinvolti, esplicitando il loro ruolo nella proprietà, gestione o manutenzione dell'edificio. Durante questa prima fase è inoltre definire con il committente quali sono lo scopo dell'intervento, il grado di accuratezza e le finalità. I fini concordati possono essere:

- Riduzione dei costi e del consumo di energia;

- Riduzione dell'impatto ambientale;
- Verifica della qualità dell'ambiente interno con lo scopo di garantire la salute ed il benessere degli occupanti;
- Verifica del rispetto delle normative.

Sulla base di quanto deciso durante il contatto preliminare, colui che esegue il processo di audit pianifica le attività di diagnosi affinché rispondano alle esigenze del committente.

### 2. Incontro di avvio

Durante l'incontro di avvio, l'auditor deve concordare con la committenza quando accedere all'edificio, deve definire il livello di coinvolgimento degli occupanti, deve essere informato dell'eventuale presenza di aree ad accesso vietato o di possibili rischi per la salute. Inoltre, è opportuno iniziare la fase di raccolta delle informazioni riguardanti l'oggetto dell'analisi.

### 3. Raccolta documentazione tecnica

È necessario raccogliere, con la collaborazione della committenza, i seguenti dati:

- Documenti tecnici riguardanti geometria e dimensioni dell'edificio, soluzioni tecnologiche ed impianti;
- Parametri ambientali interni e variazioni stagionali (temperature, portate d'aria, illuminamento);
- Attività svolte nell'edificio e conseguenti profili di occupazione;
- Certificazione energetica dell'edificio e relazione tecnica se disponibili;
- Documenti riguardanti eventuali interventi di manutenzione o riqualificazione.

L'auditor energetico deve effettuare una revisione dei dati forniti dalla committenza e integrare le eventuali mancanze. È inoltre opportuno utilizzare queste informazioni per effettuare un'analisi preliminare riguardante i consumi energetici dell'edificio preso in esame.

### 4. Piano di misurazione

L'auditor energetico e la committenza devono concordare un piano di misurazione dei dati necessari per il processo di diagnosi. I principali elementi che possono essere inclusi nel piano di misurazione sono la definizione dei punti di più rilevanti, i processi associati al reperimento della misura e le apparecchiature necessarie.

### 5. Metodi di campionamento

Se non risulta pratico o conveniente esaminare tutte le informazioni disponibili, è possibile introdurre delle semplificazioni, a patto che esse siano rappresentative di tutto l'edificio.

### 6. Attività in campo

L'attività in campo è costituita principalmente da sopralluoghi, durante i quali l'auditor è tenuto a verificare la veridicità dei dati raccolti, e a integrare i dati mancanti tramite rilevazioni e interviste agli occupanti. Per ottenere alcune informazioni può essere necessario effettuare in prima persona delle misurazioni attraverso l'utilizzo di specifica strumentazione

### 7. Analisi

Dopo aver raccolto i dati relativi al consumo specifico di ogni vettore energetico, ad esempio attraverso la lettura di bollette, è possibile definire un consumo di riferimento. Questo va a costituire un insieme di valori di base, da cui per partire per valutare gli interventi migliorativi. Per definire un consumo di riferimento è necessario fare una sorta di inventario, per ogni vettore energetico, dei consumi effettivi. Questo deve schematizzare e quantificare l'energia in ingresso nel sistema e il suo uso. Per fare ciò è necessario:

- Definire quanti impianti sono presenti per ogni vettore energetico;
- Definire quanta energia viene effettivamente consumata per quel vettore energetico;
- Evidenziare quanto consuma, per vettore energetico, il singolo servizio che viene erogato.

Per garantire l'attendibilità dell'audit energetico è necessario essere

in possesso dei dati di almeno tre anni, riportati tramite valori mensili. Questo permette di valutare la coerenza dei valori tra i diversi mesi, ma anche di evidenziare eventuali anomalie, che potrebbero essere causate da:

- Dati climatici anomali:
- Gestione dell'edificio anomala (periodi di chiusura, turni lavorativi, ecc);
- Variazioni di destinazione d'uso;
- Variazione delle esigenze degli utenti (maggiore o minore illuminamento, variazione delle condizioni termoigrometriche, ecc);
- Variazione di elementi edilizi o impiantistici nell'edificio.

### 8. Report

È infine necessario redigere un rapporto di diagnosi energetica, che costituisce il documento finale che deve essere consegnato al committente. Questa relazione contiene e descrive l'intero processo, comprendendo:

- Una presentazione generale del sito;
- Una descrizione dello stato di fatto del sistema edificio impianto. Essa deve tener conto dei sistemi di involucro e copertura, dei solai, dei serramenti e degli impianti di climatizzazione, elettrico e di illuminazione;
- Un'analisi dei consumi energetici, che evidenzia quali sono i principali indicatori di prestazione energetica, qual è il fabbisogno di energia primaria dell'edifico e che quantifica le emissioni di gas climalteranti in atmosfera. è necessario valutare i consumi energetici anche dal punto di vista economico;
- La creazione di un modello realistico del sistema edificio impianto;
- L'individuazione dei potenziali interventi di riqualificazione energetica, che comprendono sia degli interventi sugli impianti e sull'involucro dell'edificio, ma anche l'introduzione o l'implementazione dei sistemi di produzione di energia rinnovabile e di monitoraggio dei consumi. È infine necessario redigere anche un'analisi costi benefici.

### 9. Incontro finale

Durante l'incontro finale l'auditor energetico consegna il report e presenta sinteticamente i risultati dell'analisi con lo scopo di chiarire i dubbi e velocizzare il processo decisionale. È inoltre necessario valutare che i risultati ottenuti siano esaustivi.

Da tale descrizione emerge come la metodologia con cui viene svolto un audit energetico determina una sequenza di azioni universalmente applicabili. Per questa ragione è possibile replicare tale processo anche sul Rifugio Città di Ciriè.

### cazione in quota 02 / Riqualificalisme energeticalisme

2.1	La nascita dei rifugi alpini
2.2	Le Alpi Occidentali a inizio '900
2.3	Progetti di riqualificazione

### 02/ Riqualificazione energetica in quota

### 2.1 LA NASCITA DEI RIFUGI ALPINI

Il rifugio alpino è una struttura ricettiva situata in ambiente montano, finalizzata alla pratica dell'alpinismo e dell'escursionismo organizzata per dare ospitalità e possibilità di sosta, ristoro, pernottamento e servizi connessi<sup>9</sup>. Si tratta di una struttura che ha il duplice scopo di fornire servizi di base agli alpinisti e di costituire un punto di partenza per l'esplorazione alpina, ma, come disse Egidio Bonapace, "il rifugio alpino, prima d'essere tetto, riparo, ristoro è un concetto culturale, è il tentativo di rendere abitabile un luogo che non lo è per destinazione<sup>10</sup>".

Le prime costruzioni che possono essere considerate antenate degli attuali rifugi alpini risalgono alla conquista romana delle Gallie da parte di Giulio Cesare, intorno al 55 d.C. Le necessità di superare le Alpi con uomini, materiali ed armamenti, oltre che quelle di collegare le province dell'Impero con la

<sup>9</sup> Definizione fornita dal Regolamento strutture ricettive del Club Alpino Italiano (CAI).

<sup>10</sup> Intervento di Egidio Bonapace presso il convegno "*Rifugi in divenire: architettura, funzioni e ambiente. Esperienze alpine a confronto*" promosso dall'Accademia della Montagna del Trentino nel marzo 2013.

Capitale portarono alla realizzazione di strade e piccole costruzioni o ospizi, come quelle che portavano al Colle del Gran San Bernardo, destinate al riposo dei viaggiatori e dei cavalli.

Successivamente, per osservare la realizzazione di nuovi e più agevoli collegamenti tra i due versanti delle montagne è necessario attendere il periodo napoleonico. Passi come quello del Moncenisio o del Sempione vennero realizzati per semplificare la movimentazione dell'esercito, e con essi vennero realizzate nuove strutture che avevano lo scopo di offrire riparo e ristoro ai viandanti. Oltre ai viaggiatori, i pochi uomini che si spingono oltre la quota dei pascoli sono quasi solo cacciatori di camosci o stambecchi<sup>11</sup> o cercatori di minerali, che, quando si trovavano a dover passare la notte in montagna, si rifugiano in casolari di pastori, in caverne o in anfratti rocciosi.

Nel '700, con il diffondersi dell'illuminismo in Europa, si riaccende l'interesse, da parte degli intellettuali dell'epoca, per la natura e per le scienze naturali. Il fascino della scoperta scientifica spinge numerosi studiosi di varia natura - fisici, naturalisti, geologi, botanici - verso la montagna. Vengono in questo modo poste le basi per quello che diventa un turismo alpino: quel movimento che inizialmente era spinto dalla ricerca scientifica sfocia poi nella conquista delle prime vette, e nell'ambizione di raggiungere le cime più alte. Tuttavia, le prime ascese furono caratterizzate da enormi difficoltà logistiche, che spesso rendevano necessario l'avvalersi di portatori oltre che di guide alpine. Lo sviluppo dell'alpinismo evidenziò la necessità di realizzare dei luoghi che costituissero una base fissa che facilitasse il raggiungimento delle vette, rendendo possibile la divisione della salita in più giorni. Fu in questo contesto che vennero costruiti i primi rifugi alpini moderni, realizzati ad opera delle prime associazioni alpinistiche europee. Tra il 1861 ed il 1870 nacquero infatti il Club Alpino Italiano, il Club Alpin Français, il Club Alpin Suisse, l'Alpine Club nel Regno Unito e l'Österreichischer Alpenverein nell'Impero Austroungarico.

I primi due rifugi realizzati dal CAI in Italia furono nel 1866 l'Alpetto sul Monviso, a 2268 m s.l.m., e nel 1867 la Balma della Cravatta al Pic Tyndall sul Cervino, a 4134 m s.l.m.

Come scrive Enrico Camanni "oltre il limite umanizzato dei pascoli, oltre la ragionevole soglia di sopravvivenza degli ultimi fiori, il buio fungeva ancora da detonatore per le angosce ancestrali dei montanari<sup>12</sup>", costituendo uno dei maggiori ostacoli per la conoscenza dei territori d'alta quota. Quella che viene definita "la conquista della notte<sup>13</sup>" è dunque un momento chiave del processo di scoperta della montagna. Il passaggio da accampamenti provvisori a ricoveri stabili permette agli alpinisti di rimanere in quota per un periodo di tempo maggiore, consentendo per la prima volta l'esplorazione scientifica ed alpinistica delle Alpi.

Ad oggi, è possibile distinguere i rifugi in base alla tipologia o all'altitudine. Nello specifico essi possono essere:

- Rifugi custoditi, abitati stagionalmente da un gestore che si occupa in prima persona di fornire i servizi di ospitalità. Durante i periodi dell'anno di chiusura al pubblico è comunque sempre presente un locale invernale con accesso indipendente per il ricovero di emergenza;
- Rifugi non custoditi, ma comunque dotati dell'attrezzatura necessaria per la sosta, il ristoro ed il pernottamento degli alpinisti;
- Bivacchi fissi, costituiti da un unico locale sempre aperto e dotato solamente delle attrezzature base per la sosta ed il pernottamento;
- Capanne sociali, considerate sedi sociali estive della locale sezione del CAI, chiuse al pubblico;
- Punti d'appoggio, situati in posizione intermedia tra fondo valle e rifugi alpini. Hanno lo scopo di salvaguardare gli aspetti tradizionali del paesaggio montano;
- · Ricoveri d'emergenza, strutture incustodite sempre aperte, che non

Tra XVI e XIX secolo, a causa della caccia intensiva, lo stambecco alpino si estinse quasi completamente. L'ultimo nucleo, composto da una cinquantina di capi, sopravvisse solo grazie all'istituzione, nel 1836, della Riserva Reale di Caccia dei Savoia. In breve tempo la popolazione tornò ad aumentare, raggiungendo circa i 4000 capi nel 1915. Nel 1922 la zona venne dichiarata Parco Nazionale del Gran Paradiso. Da quel piccolo nucleo discendono tutte le attuali colonie di stambecco alpino.

<sup>12</sup> Enrico Camanni, *Il rifugio di montagna nel racconto alpinistico e nell'immaginario letterario, in Fondazione Courmayeur, Architettura moderna alpina: i rifugi*, Quaderno n.17, 2005.

Carlo Alberto Pinelli, La conquista della notte, in Airone Montagna, Editoriale Giorgio Mondadori, Milano, 1991.

contengono alcuna attrezzatura ma hanno il solo scopo di fornire un punto di sosta in caso di emergenza.

Inoltre, nell'arco alpino è possibile dividere i rifugi in base all'altitudine a cui si trovano, in quanto quote diverse comportano caratteristiche diverse:

- Rifugi di bassa quota, fino a 1500 m s.l.m.;
- Rifugi di media quota, fino a 3000 m s.l.m.;
- Rifugi d'alta quota, oltre i 3000 m s.l.m.

La distribuzione dei rifugi alpini è molto varia in quanto va dal rifugio Premuda in Friuli-Venezia Giulia, a soli 82 m s.l.m., alla Capanna Osservatorio Regina Margherita sul versante piemontese del Monte Rosa, che raggiunge i 4554 m s.l.m. ed è il rifugio più alto d'Europa. La maggior parte dei rifugi si trova ad un'altitudine compresa tra i 1500 ed i 2500 m, mentre i bivacchi si attestano ad altitudini più elevate, comprese tra i 2000 ed i 3000 m s.l.m. Attualmente, il patrimonio immobiliare del Club Alpino Italiano è composto da 774 strutture, di cui 430 sono rifugi alpini.

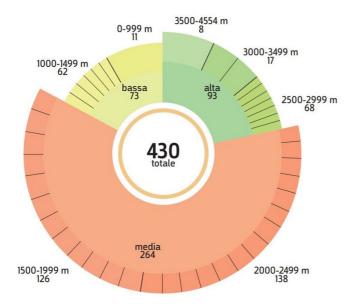


Fig. 2.1 - Distribuzione altimetrica dei rifugi: divisione in bassa, media e alta montagna e sezionamento per numero di rifugi edificati in ogni intervallo altimetrico. - Riccardo Trimeloni, Innovazione nel rifugio alpino. L'utilizzo di nuove tecnologie applicate come alternativa per la manutenzione in ambiente isolato e di alta quota, tesi di Laurea Magistrale in Design Sistemico, Politecnico di Torino, relatore: Fabrizio Valpreda, 2018.

### 2.2 LE ALPI OCCIDENTALI A INIZIO '900

Il primo dopoguerra fu caratterizzato da una politica militare a lungo improntata, nelle Alpi Occidentali, al basso profilo, seguendo quelli che erano stati gli orientamenti della politica estera del periodo. Solo nei tardi anni '20, a causa dell'aggressività verbale italiana e dell'effettivo attivismo francese, qualcosa cominciò a muoversi. Nel 1926 venne stilato il rapporto della Commission de Défense des Frontieres che trattava della situazione del sistema difensivo alpino francese sulla frontiera italiana, il quale venne descritto come profondamente articolato ed in grado di avvalersi delle vecchie fortificazioni, abbondantemente realizzate tra 1882 e 1902. Nel 1926 parecchie di queste opere, alcune abbandonate fin dal 1914, vennero riattivate e rafforzate. Accanto a grandi opere come la linea Maginot<sup>14</sup>, realizzate dalla CORF (Commission pour l'Organization des Régions Fortifiées), che costituiscono una linea difensiva posta a fondo valle, vennero realizzati nuovi avamposti, fortificazioni di prima linea in quota, da parte delle truppe alpine.

Di contro, sul versante italiano l'iniziativa di rispristinare la linea difensiva alpina tardava ad arrivare, nonostante il fatto che nel 1927, con la sottoscrizione del patto militare franco-jugoslavo, l'ipotesi di un attacco francese, mossa preventiva vista la crescente aggressività del regime fascista, crescesse di credibilità. Molte fortificazioni già realizzate vennero dismesse e non rafforzate, alla maggior parte delle rimanenti opere venne comunque affidato il solo ruolo di deposito. Questa mossa era in larga parte dovuta agli insegnamenti lasciati dalla Prima Guerra Mondiale: la maggiore influenza delle mitragliatrici, la grande efficacia dell'artiglieria, il rafforzamento dei bombardamenti aerei andavano a minare l'importanza e l'efficacia della fortificazione permanente.

In un'Europa dominata dalla perenne possibilità di una guerra, di fronte ai

La *Linea Maginot* è una linea fortificata, costituita da un sistema integrato di fortificazioni, opere militari e sistemi difensivi. Realizzata dal governo francese su iniziativa del Ministro della Guerra A. Maginot tra il 1928 ed il 1940, è stata posizionata a protezione dei confini che la Francia aveva in comune con il Belgio, il Lussemburgo, la Germania, la Svizzera e l'Italia. Ha una lunghezza complessiva di 400 km ed un'ampiezza complessiva media di 20 km. Mentre venne presto sfondata dall'esercito tedesco, resistette bene agli attacchi dell'esercito italiano.

preparativi francesi qualunque governo che volesse salvaguardare la sicurezza nazionale avrebbe preso precauzioni. Infatti, il generale Gàzzera, Ministro della Guerra Italiano tra il 1929 ed il 1933, avanzò ripetute richieste di rafforzamento delle fortificazioni poste sul fronte alpino occidentale. Tuttavia, com'è tipico della politica fascista, che era caratterizzata da grandi ambizioni supportate da mezzi modesti, le azioni che vennero intraprese risultarono limitate rispetto a quelle dell'avversario, e partirono in ritardo.

Dal punto di vista militare, la Prima Guerra Mondiale aveva dimostrato che era pressoché inutile mantenere le posizioni di fondovalle se non si ha un forte appoggio sui versanti ed il dominio delle creste. Questa consapevolezza sottolineava la necessità di realizzare fortificazioni anche in alta montagna.

Rispetto alle fortificazioni precedenti, quelle realizzate negli anni 30 del '900 hanno la caratteristica di essere più diffuse e realizzate a quote più elevate. Si tratta principalmente di capisaldi, ossia gruppi di opere che hanno lo scopo di fermare una eventuale azione nemica in prossimità del confine. La realizzazione di queste costruzioni è stata in gran parte resa possibile dallo sviluppo dell'elettrificazione, della motorizzazione, ma anche dei sistemi di teleferiche. Inoltre, l'introduzione di basilari tecniche di riscaldamento ha permesso di realizzare e soggiornare in costruzioni in condizioni che altrimenti sarebbero state considerate estreme.

In questo contesto, assume particolare importanza l'istituzione, nel 1934, della Guardia di Frontiera<sup>15</sup>, che aveva il compito di presidio delle opere fortificate. La presenza di questo corpo armato costituiva un efficientamento dei sistemi di difesa delle valli, nonostante il fatto che gli uomini venissero reclutati su base nazionale<sup>16</sup>.

Il Rifugio Città di Ciriè venne costruito, nel 1930, con lo scopo di realizzare una delle tante casermette della Guardia di Frontiera che costellavano il territorio delle Alpi Occidentali. La sua collocazione, in cima alla Val D'Ala, è da ricercare nel fatto che le truppe, a causa della lentezza degli spostamenti, dovevano necessariamente essere dislocate il più vicino possibile alle zone di impiego. Proprio per questo, in quasi tutte le vallate dell'arco alpino, dalle Marittime alle Dolomiti, erano presenti dei presidi militari fissi. Edifici come l'attuale Rifugio erano progettati e costruiti dal genio militare, e per questo dovevano necessariamente essere standardizzati in base alla funzione che dovevano assumere e al numero di uomini che lo dovevano occupare. In linea generale, maggiore era la quota a cui si trovava l'edifico, minore era il numero di soldati che lo dovevano presidiare. Si trattava in ogni caso di opere molto semplici, dotate esclusivamente delle funzioni essenziali: una cucina, dormitori o giacigli, servizi igienici essenziali e locali da utilizzare come deposito per armi, munizioni e materiali.

La scelta del sito su cui costruire l'edifico era dettata in primo luogo da quella che era la dislocazione delle opere di difesa principali. Successivamente, era necessario valutare se la posizione scelta fosse raggiungibile in maniera semplice da quelli che erano i mezzi meccanici dell'epoca, tramite la realizzazione di strade o mulattiere. Oltre a queste considerazioni iniziali, nel momento in cui ci si apprestava a costruire era necessario considerare, nello specifico, lo storico delle valanghe e delle slavine del luogo, prima di definire la posizione esatta dell'edifico. Per quanto riguarda il Pian della Mussa, infatti, le slavine, anche di grandi dimensioni, cadono tutt'ora principalmente dal versante opposto rispetto a quello sotto cui è stato costruito il Rifugio.

Questa tipologia di costruzioni era realizzata con materiali facilmente reperibili in prossimità del cantiere. Si utilizzava la pietra locale per le murature, che, a inizio '900, veniva a volte integrata con malte o con i primi impieghi del calcestruzzo. I muri avevano un elevato spessore, sia per funzioni statiche, ma anche perché avevano lo scopo di resistere al tiro delle armi da fuoco. Se il sito lo permetteva, una pratica consolidata era quella di incassare gli edifici nella roccia, soprattutto se si trattava di costruzioni di dimensioni limitate, riducendo così tempi e costi di costruzione. Si trattava di opere che non dovevano essere

<sup>15</sup> Il corpo della Guardia di Frontiera riceverà il motto "*Dei sacri confini guardia sicura*", ed un cappello infelicemente simile ad una versione mutilata, privata della penna, del copricapo alpino, che le varrà il soprannome di "la vidoa", la vedova

Al contrario della Guardia di Frontiera, la leva Alpina era necessariamente composta da uomini abituati a vivere l'ambiente montano, che conoscessero il luogo in cui si trovavano ad operare. Il reclutamento dei militari era strettamente legato al territorio, al punto che i battaglioni prendevano il nome dalla vallata di provenienza. In questo modo era possibile fare leva non solo sulle conoscenze degli uomini, ma anche sul loro stato emozionale: il fatto che si trovassero a difendere le proprie case e le proprie vallate costituiva un incentivo durante gli scontri.

abitate in maniera permanente, ma servivano da appoggio, in caso di necessità e per periodi più o meno brevi. Tuttavia, il fatto di avere murature collegate con malta o cemento costituiva già una finitura di alto livello, in quanto impediva al vento e alla neve di infiltrarsi direttamente all'interno dell'edificio come succedeva in caso di muratura a secco.

I tetti delle costruzioni di dimensioni paragonabili a quella del Rifugio venivano realizzati con un'orditura in legno ed una copertura in lamiera. Si tratta di una scelta tecnologica tipica delle Valli di Lanzo e della Val Susa, che aveva il vantaggio di essere più leggera, facilmente trasportabile, e di richiedere un'orditura di dimensioni ridotte rispetto a quella necessaria per la realizzazione di un tetto in pietra (lose), soluzione tipica della Valle d'Aosta e di altre zone del Piemonte. La lamiera, inoltre, richiedeva meno manutenzione ed aveva un costo inferiore rispetto ai materiali lapidei, oltre al fatto che era necessaria meno mano d'opera durante le fasi di posa. Si trattava in ogni caso di tetti dotati di una solida struttura, in quanto d'inverno potevano dover resistere al peso di diversi metri di neve per lunghi periodi.

I serramenti e tutte le opere di finitura erano principalmente in legno. Le finestre erano piccole affinché disperdessero meno calore, ma strombate all'interno, in modo da far entrare un quantitativo maggiore di luce e favorire l'illuminazione. Il riscaldamento era invece affidato alle stufe a legna, quasi sempre presenti in maniera insufficiente a garantire le condizioni di comfort interno<sup>17</sup>. Oltre a ciò, spesso non era presente il pavimento all'interno delle strutture. Era infine necessario assicurare all'edifico un approvvigionamento idrico<sup>18</sup>, garantito, per quanto riguarda il Rifugio, dalla presenza sul Piano di due diverse sorgenti.

Il Rifugio Città di Ciriè venne utilizzato come caserma della Guardia di Frontiera sino alla fine della Seconda Guerra Mondiale, quando venne incendiato durante un'azione partigiana. Nel 1952 venne acquistato dalla sezione CAI UGET di Ciriè, che decise di convertire la struttura in rifugio, inaugurato il 3 luglio 1954, alla presenza del Prefetto di Torino. In questa occasione il rifugio venne intitolato alla Città di Ciriè, come ringraziamento per l'aiuto finanziario e burocratico fornito dall'amministrazione comunale. L'edificio è stato più volte ristrutturato, ma l'ultima e più importante modifica è quella avvenuta tra 2001 e 2003, quando è stato sopraelevato e messo a norma, assumendo l'aspetto attuale.

Al benessere e alle condizioni di vita dei militari veniva data una scarsa importanza da parte degli alti comandanti dell'esercito. Un esempio di questo atteggiamento può essere riscontrato nel complesso di fortificazioni del vicino Forte di Fenestrelle, in Val Chisone, al cui interno venivano ospitati soldati che, ancora a fine '800, risiedevano anche d'inverno in camerate, che si trovavano ad un'altitudine di circa 1800 m s.l.m., totalmente prive di vetri alle finestre.

<sup>18</sup> Con approvvigionamento idrico non si intende acqua corrente all'interno dell'edifico, ma un bacino che potesse essere sfruttato dai militari come riserva di acqua potabile e per le funzioni essenziali.

### 2.3 PROGETTI DI RIQUALIFICAZIONE

La realizzazione o l'ampliamento di un rifugio richiedono, prima di ogni altra cosa, la consapevolezza, da parte del progettista, della necessità di rispettare e comprendere il territorio che si va a modificare. In montagna, ogni nuova costruzione o ogni nuova modifica costituiscono un elemento aggiunto ad un ambiente quasi privo di elementi umani. Per questo motivo, progettare un rifugio necessita di un'attenzione diversa rispetto al progetto in ambiente antropizzato, in quanto non si modifica solo il singolo edificio, ma si influenza anche il contesto in cui esso si trova.

Proprio in seguito alle difficili condizioni ambientali in cui i rifugi si trovano, è inoltre prioritaria l'autonomia energetica e prestazionale degli edifici. In un'ottica di sostenibilità ambientale e risparmio energetico, una gestione accorta delle risorse diventa fondamentale, soprattutto quando ci si trova in condizioni climatiche estreme. Mentre i primi rifugi, risalenti alla fine dell'800, assumevano solo il ruolo di riparo di fortuna, anche a causa delle intrinseche difficoltà di costruzione e trasporto ad alta quota, con l'avanzamento tecnologico si è assistito negli anni a continue modifiche e migliorie. Al giorno d'oggi le nuove riqualificazioni prevedono l'inserimento nell'edificio di impianti tecnologicamente avanzati quali collettori solari per la produzione di acqua calda sanitaria, pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica, elevato isolamento delle murature e delle coperture per ridurre le dispersioni termiche, innovativi sistemi di involucro trasparente, impianti idraulici progettati per l'ottimizzazione delle acque, bacini di contenimento. Questa differenza rende ormai obsoleti i rifugi realizzati nel secolo scorso rispetto a quelli moderni, tuttavia, anche se non sempre possibile a causa delle difficili condizioni del sito e della necessità di cantieri estremamente rapidi, le strutture originali, anche se inutilizzabili, andrebbero conservate in quanto costituiscono una memoria storica eccezionale per il territorio, per le tecniche costruttive, ma anche per l'eroismo di quegli uomini che, per l'esplorazione della montagna, hanno permesso e spinto in avanti il progresso scientifico e tecnico.



### **RIFUGIO FRANCESCO GONELLA**

Ghiacciaio del Dôme, Aiguilles Grises, Val Veny, Gruppo del Monte Bianco, Alpi

Graie, Courmayeur (AO), Italia

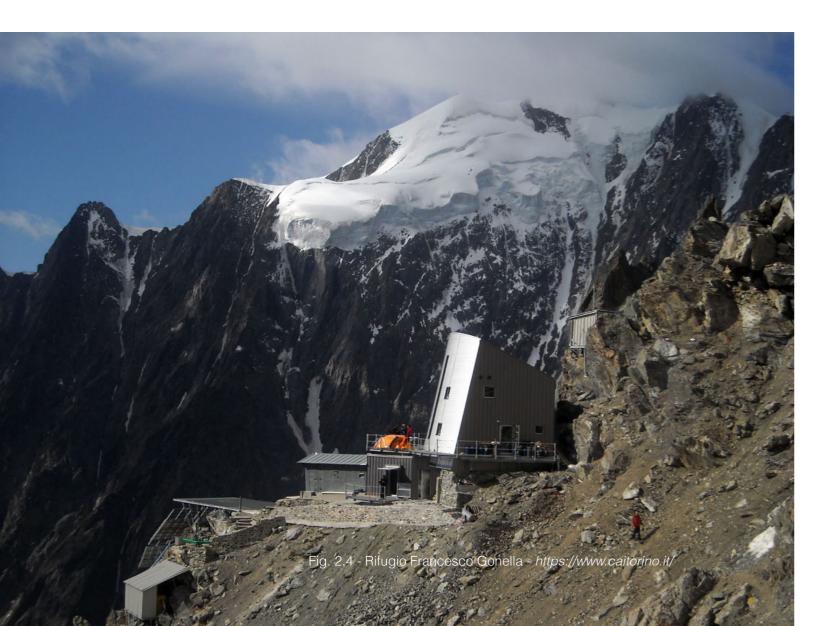
Altitudine: 3071 m

Proprietà del Club Alpino Italiano, sezione di Torino

Posti letto: 48

Raggiungibile partendo da La Visaille (1659 m) in 5 ore e 30 minuti

Difficoltà alpinistica F



Il rifugio Francesco Gonella si trova sul versante italiano del Monte Bianco, sulla sponda destra del ghiacciaio del Dôme. È possibile raggiungerlo partendo da La Visaille, in Val Veny, passando per il lago Combal ed il ghiacciaio del Miage. Costituisce il punto di appoggio per la via normale italiana al Monte Bianco.

Il primo nucleo venne realizzato, nel 1891 da Francesco Gonella<sup>19</sup> (1856-1933), avvocato, alpinista e presidente della sezione di Torino del Club Alpino Italiano. Il nucleo originale del rifugio venne ampliato una prima volta nel 1925 e successivamente nel 1963. Il deterioramento dell'edificio, imputabile all'azione continua di neve e ghiaccio, ha reso infine necessario un ulteriore ammodernamento concluso nel 2011. A causa delle difficili condizioni in cui si trova l'edificio, è necessaria un'accurata gestione delle risorse presenti. Per questo motivo tra il retro della struttura e la parete rocciosa è presente un sistema in calcestruzzo che ha la funzione di convogliare l'acqua di scioglimento in due serbatoi coibentati. Il rifugio risulta quindi totalmente dipendente dai nevai che si trovano al di sopra della struttura. Tuttavia, le difficili condizioni climatiche che hanno caratterizzato le ultime estati hanno portato ad una chiusura anticipata della struttura a causa della siccità, che ha comportato un mancato approvvigionamento idrico.

Per le soluzioni di involucro è necessario evidenziare una differenza tra il nucleo originale del 1891 ed i successivi ampliamenti. Il primo, originariamente costituito da una struttura in legno di larice ed una copertura in lastre di ferro, è stato conservato grazie al posizionamento di un rivestimento avvolgente in lamiera, ed è ora utilizzato come locale invernale. I successivi ampliamenti sono stati realizzati invece con pacchetti parete compositi altamente isolanti, inseriti in una struttura prefabbricata in legno lamellare. Per i serramenti, si è scelto di utilizzare soluzioni in alluminio a taglio termico, con vetri a doppia camera al cui interno si trova gas inerte.

Il riscaldamento degli ambienti è affidato ad una stufa a pellet collocata nel soggiorno, a cui si somma un sistema di pannelli solari ad aria con recupero di calore. Infine, il fabbisogno di energia elettrica viene interamente soddisfatto dalla presenza di trenta moduli fotovoltaici in grado di produrre circa 4 kWh.

<sup>19</sup> Fu colui che avviò all'alpinismo il principe Luigi Amedeo di Savoia.

### RIFUGIO DE L'AIGUILLE DU GOÛTER

Aiguille du Goûter, Massiccio del Monte Bianco, Alpi Graie, Saint-Gervais-les-

Bains, (Haute-Savoie), Francia

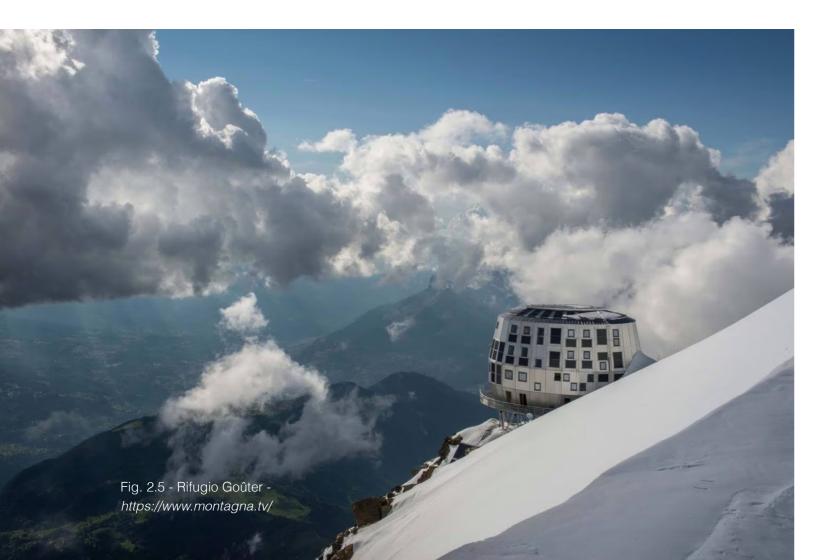
Altitudine: 3835 m

Proprietà del Club Alpino Francese

Posti letto: 120

Raggiungibile partendo da Nid d'Aigle (2372 m) in 5 ore

Difficoltà alpinistica F



Il rifugio Goûter, in forma di ricovero, venne realizzato nel 1854 dietro l'idea di Charles Loiseau, che desiderava avere un rifugio per gli alpinisti che intendevano salire il Monte Bianco passando per la Via Reale, sulla cresta del Goûter. La struttura originaria era però tutt'altro che accogliente. Infatti, attraverso gli scritti di alcuni alpinisti, viene riportato che "si trova generalmente per pavimento uno strato di ghiaccio di uno o due piedi di spessore e le più belle stalattiti del mondo pendono dal tetto. Gli Eschimesi non potrebbero fare a meno di un'abitazione del genere, ma è abbastanza solida per resistere ai colpi del vento e non le si potrebbe chiedere di più<sup>20</sup>". Il primo vero rifugio venne realizzato nel 1858 dalle guide di Saint-Gervais, e successivamente subì diversi ampliamenti e modificazioni. La versione attuale, conclusa nel 2013, viene chiamata "sesto rifugio" in quanto è la sesta versione di quello realizzato nel 1858. Essa è stata realizzata quasi a chilometro zero in quanto oltre il 90% del legname proviene dai boschi presenti nel comune di Saint-Gervais. Il rifugio è posizionato su di una piastra sospesa sul crinale, retta da 69 pilastri metallici che sprofondano nella roccia per oltre 10 m. La struttura in legno è protetta da un guscio di acciaio inossidabile, e la sua forma ha lo scopo di resistere ai forti venti e di ridurre al minimo gli accumuli di neve.

Il funzionamento del rifugio Goûter è a basso impatto ambientale in quanto nell'involucro sono montati 95 m² di pannelli solari e fotovoltaici. Oltre a ciò, sulla parete che si trova al di sotto del rifugio si trovano altri collettori per il solare termico per un totale di 50 m² che vengono utilizzati per riscaldare 2000 litri di acqua calda sanitaria. In caso di brutto tempo o per le emergenze è inoltre presente una centrale di cogenerazione alimentata ad olio di colza.

L'involucro è stato progettato con lo scopo di massimizzare l'isolamento dalle condizioni climatiche esterne. I serramenti presentano un sistema a triplo vetro, al cui interno sono presenti argon e kripton.

Per garantire l'approvvigionamento idrico del rifugio è stato posizionato, al di sotto della piastra basamentale, un serbatoio che può contenere fino a 3000 litri. Inoltre, tutte le acque di scarico vengono filtrate e sterilizzate da un sistema di depurazione prima di essere rilasciate in ambiente.

<sup>20</sup> Roberto DINI, Luca GIBELLO, Stefano GIRODO, *Rifugi e bivacchi. Gli imperdibili delle alpi. Architettura, storia, paesaggio*, Hoepli, 2018

### **RIFUGIO CESARE DALMAZZI**

Vallone del Triolet, Val Ferret, Gruppo del Monte Bianco, Alpi Graie, Courmayeur

(AO), Italia

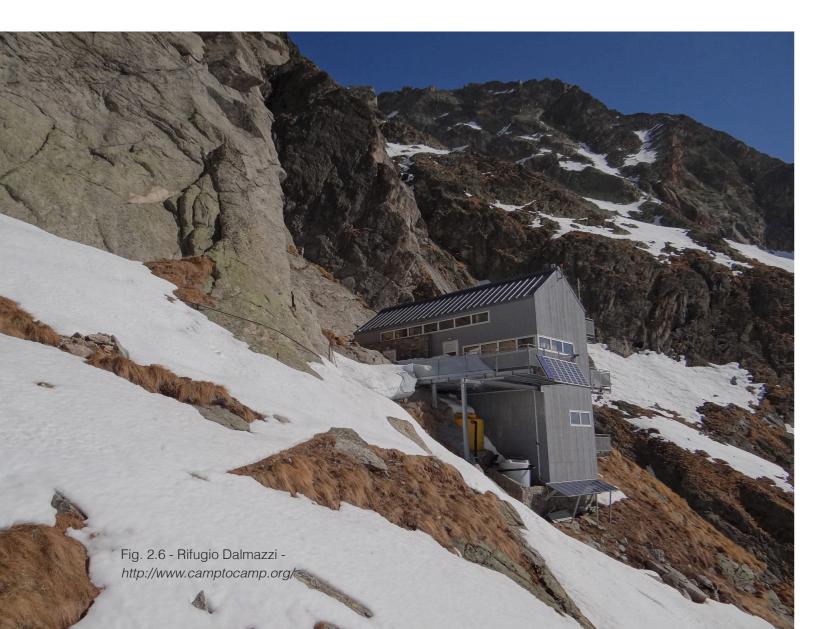
Altitudine: 2590 m

Proprietà del Club Alpino Italiano, sezione di Torino

Posti letto: 32

Raggiungibile partendo da Arnouva (1850 m) in 2 ore e 30 minuti

Difficoltà escursionistica EEA



Il rifugio Cesare Dalmazzi si trova nel Vallone del Triolet, nel gruppo del Monte Bianco, e costituisce il punto di appoggio per numerose vie alpinistiche e di arrampicata. Il primo edificio, realizzato nel 1881, presentava una struttura in legno ed era stato posizionato nell'unico punto in cui fosse possibile evitare la caduta di pietre e valanghe. Il nucleo originario, che aveva lo scopo di offrire un rifugio ai cacciatori e ai cercatori di quarzi, venne prima ristrutturato nel 1892, e poi completamente ricostruito nel 1932, grazie ad una donazione della famiglia dell'alpinista Cesare Dalmazzi da poco scomparso. La versione definitiva dell'edificio è stata completata tra 1999 e 2003 ed è basata sulla prefabbricazione, che permette di ridurre tempi, costi e pesi complessivi di costruzione.

Il rifugio, che presenta 32 posti letto nei locali estivi e 16 in quello invernale, è alimentato da un impianto fotovoltaico che viene integrato, in caso di necessità, da un generatore elettrico alimentato a gasolio. Per il riscaldamento, l'unica stufa presente è stata posizionata nella sala da pranzo. L'approvvigionamento idrico si basa unicamente sulla raccolta dell'acqua meteorica o di fusione della neve, che viene convogliata in una vasca di accumulo. Infine, per quanto riguarda la gestione dei reflui, vengono smaltiti grazie alla presenza, al piano inferiore, di un impianto Imhoff<sup>21</sup>.

L'impianto Imhoff è un dispositivo utilizzato per il trattamento primario dei liquami provenienti da scarichi civili. Si tratta di un sistema di bacini combinati in quanto permette di effettuare due fasi di trattamento, la sedimentazione (processo fisico) e la digestione (processo biologico). Mediante questo processo è possibile ridurre il carico degli inquinanti del 30-35%, per cui l'effluente non può mai essere immesso in un corso d'acqua superficiale, ma deve essere smaltito sul suolo o in sottosuolo a mezzo di subirrigazione e/o pozzi assorbenti.

### **CABANNE DE TRACUIT**

Col de Tracuit, Val d'Anniviers, Gruppo del Weisshorn e del Cervino, Alpi

Pennine, Zinal (Cantone Vallese), Svizzera

Altitudine: 3256 m

Proprietà del Club Alpino Svizzero, sezione di Chaussy

Posti letto: 116

Raggiungibile partendo da Zinal (1675 m) in 4 ore e 30 minuti

Difficoltà escursionistica EE



La Cabanne de Tracuit venne inaugurata nel 1929 nei pressi del Col de Tracuit, sul percorso di salita al Bishorn, uno dei 4000 più facili e frequentati delle alpi. Durante la Seconda Guerra Mondiale venne utilizzata come presidio dell'esercito svizzero a protezione della zona alpina, che in questo periodo incrementò le proprie forze militari e gli armamenti. Tuttavia, come è noto, anche se l'esercito era pronto alla difesa del territorio, il paese non si fece coinvolgere nel conflitto, e il rifugio superò indenne la guerra.

Durante la più recente opera di sistemazione dell'edificio, conclusa nel 2013, il nucleo in pietra originale è stato quasi completamente demolito e sostituito da una struttura in legno tamponata da elementi prefabbricati. Il nuovo progetto ha come priorità il risparmio energetico e l'autosufficienza.

Questo desiderio viene evidenziato, in primo luogo, dalla forma dell'edificio, che è stato realizzato compatto e ben isolato, per ridurre le dispersioni termiche. La facciata rivolta a sud è interamente rivestita da pannelli fotovoltaici, alternati alle superfici vetrate delle finestre. In questo modo l'intera area svolge il ruolo di collettore solare, a cui è affiancato un generatore in grado di supportare il sistema nei momenti di picco di consumo. Il riscaldamento degli ambienti è presente solo in alcune zone ed è affidato ad alcune stufe alimentate a legna. Tuttavia, per migliorare le condizioni di comfort interno sfruttando gli apporti gratuiti è stato ideato un sistema di ventilazione che recupera il calore emesso dagli occupanti, garantendo contemporaneamente il ricambio di aria interna. Infine, la presenza sparsa di finestre di ridotte dimensioni all'interno di ogni ambiente garantisce l'illuminazione dei locali, la ventilazione naturale e la riduzione delle dispersioni di calore.

### **CAPANNA OSSERVATORIO REGINA MARGHERITA**

Punta Gnifetti, Massiccio del Monte Rosa, Alpi Pennine, Alagna Valsesia (VC), Italia

Altitudine: 4554 m

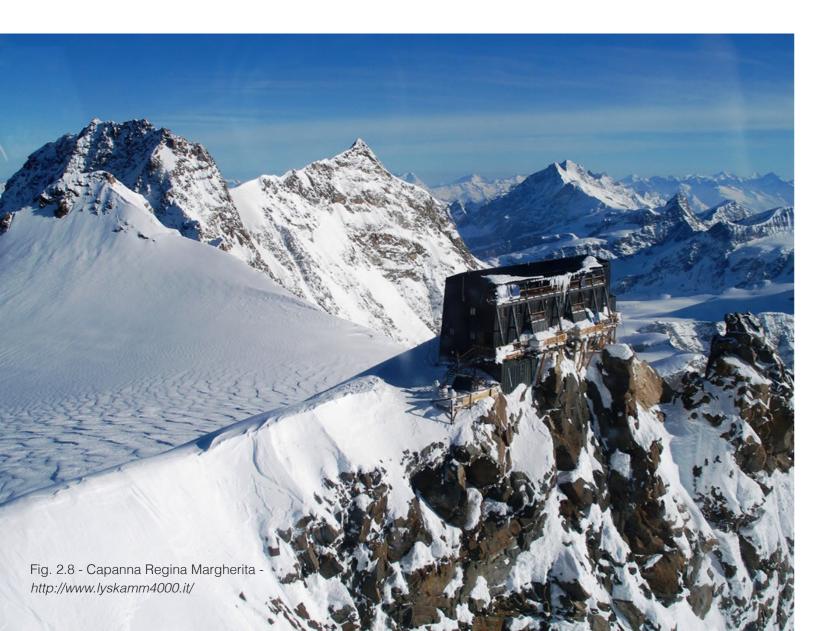
Proprietà del Club Alpino Italiano, concessione fiduciaria sezione di Varallo

Sesia

Posti letto: 70

Raggiungibile partendo dalla Capanna G. Gnifetti (3647 m) in 4 ore e 30 minuti

Difficoltà alpinistica F



La Capanna Osservatorio Regina Margherita è il più alto rifugio d'Europa, posto a 4554 m di altitudine sulla Punta Gnifetti, la vetta più alta della Valsesia. Per la realizzazione dell'edificio fu necessario, nel 1892, rimuovere a mano e con gli esplosivi oltre 50 m3 di roccia, con lo scopo di realizzare una capanna per gli alpinisti ma anche per gli scienziati. Accolse infatti diversi studiosi, quali meteorologi, glaciologi, fisici, medici, che vi effettuarono ricerche sia grazie alla presenza della torre-osservatorio, sia grazie all'ambiente unico in cui si trova e all'elevata altitudine<sup>22</sup>. L'edificio originale, realizzato grazie al sostegno del barone Luigi Beck Peccoz, e ai figli e ai nipoti di Quintino Sella, venne intitolato alla Regina Margherita di Savoia, che vi salì e vi pernottò nell'agosto del 1893. La struttura originale venne eliminata e sostituita nel 1980 dall'attuale rifugio, senza troppe attenzioni alla memoria storica del rifugio precedente. Il nuovo edificio, molto più grande, è costituito da una struttura in legno, isolato con lana di vetro e rivesto in rame. Nonostante le condizioni climatiche estreme, fu uno dei primi rifugi in quota a ottenere la certificazione UNI EN ISO 14001<sup>23</sup> nel 2002. Tale norma si propone di fornire alle organizzazioni che vi aderiscono un quadro di riferimento per proteggere l'ambiente e rispondere al cambiamento delle condizioni ambientali, senza trascurare le esigenze socioeconomiche. Essa fornisce un approccio sistematico alla gestione ambientale con lo scopo di creare opportunità per contribuire allo sviluppo sostenibile proteggendo l'ambiente, mitigando il potenziale effetto negativo del rifugio sulle condizioni ambientali, migliorando le prestazioni energetiche, controllando il ciclo di vita dell'edificio ottenendo anche benefici finanziari operativi.

Nello specifico, la Capanna Margherita ricava l'energia elettrica da un generatore a gasolio, che a quote così elevate è in grado di erogare solamente in 40% della sua effettiva potenza. L'impianto di illuminazione, il telefono di emergenza ed il wi-fi sono alimentati da un sistema di pannelli fotovoltaici, mentre un serbatorio da 250 litri contiene l'acqua di fusione ottenuta grazie alla presenza di un sistema di collettori solari.

<sup>22</sup> Il fisiologo Angelo Mosso effettuò presso la Capanna Margherita le sue ricerche sulla medicina di alta quota nei primi anni del XX secolo.

<sup>23</sup> Sistemi di gestione ambientale - Requisiti e guida per l'uso. Tale norma è stata aggiornata nel 2015.

### MONTE ROSA HÜTTE

Untere Plattije, Ghiacciaio del Grenz, Gruppo del Monte Rosa, Alpi Pennine,

Zermatt (Cantone Vallese), Svizzera

Altitudine: 2883 m

Proprietà del Club Alpino Svizzero, sezione di Martigny

Posti letto: 120

Raggiungibile partendo da Rotenboden (2560 m) in 2 ore e 30 minuti

Difficoltà alpinistica F



Posizionato tra il ghiacciaio del Grenz ed il ghiacciaio del Gorner, il Monte Rosa Hütte è stato realizzato tra 1894 e 1895 per iniziativa del comitato centrale del Club Alpino Svizzero.

I diversi ampliamenti e le modifiche che la struttura ha subito nel corso del '900 sono culminate, nel 2009, con l'attuale nuovo rifugio, spostato più in alto di qualche centinaio di metri rispetto al nucleo originale, a causa dell'abbassamento del livello del ghiacciaio. Il rifugio, posato su un basamento in calcestruzzo, è costituito da un telaio in legno, tamponato con pannelli prefabbricati in laboratorio, rivestiti in cantiere in alluminio. Non si tratta solo una struttura turistica, ma l'edificio svolge un ruolo attivo anche nella ricerca universitaria, per esperimenti sull'efficienza energetica e di domotica. L'attenzione dei progettisti per la gestione impiantistica del rifugio ha portato alla realizzazione di un sistema centralizzato, atto alla raccolta di informazioni e dati funzionali alla regolazione dell'edificio. È infatti possibile ottenere informazioni sulla situazione climatica in cui si trova la struttura, sul quantitativo di acqua ed energia accumulata, o ancora sulla temperatura interna. Correlando questi dati con le previsioni meteo e l'afflusso stimato di visitatori è possibile bilanciare le azioni impiantistiche dell'edificio, incrementando l'efficienza. I pannelli fotovoltaici, orientati a 66.2° sud, grazie alla qualità dell'aria priva di microparticelle e al posizionamento sono in grado di coprire il 90% del fabbisogno energetico dell'edifico. La restante parte viene coperta da una centrale di cogenerazione, che fornisce energia a elettrodomestici e impianto di illuminazione. La ventilazione interna al rifugio è forzata, in modo da evitare eccessive perdite di calore garantendo comunque un'elevata qualità dell'aria. È inoltre presente un impianto di trattamento dell'acque, che vengono prima immagazzinate in seguito allo scioglimento della neve in una vasca sotterranea, poi microfiltrate per poter essere utilizzate in cucina, nelle docce e nei lavandini, poi recuperata e riutilizzata per gli scarichi dei servizi. Per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria sono presenti dei pannelli solari dedicati, posizionati su un affioramento di rocce.

Le soluzioni tecnologiche avanzate che sono state inserite per migliorare l'efficienza della gestione del rifugio, sono state tuttavia causa di problematiche, legate alla scarsa flessibilità e alla difficoltà di manutenzione e riparazione in alta quota, che hanno limitato e reso più difficile la gestione dell'edificio.

### CONSIDERAZIONI

Rispetto ai rifugi che sono stati analizzati come casi studio, il Rifugio Città di Ciriè presenta alcune differenze significative, prima tra tutte la quota a cui è situato. Mentre i casi studio si trovano tutti ad altitudini maggiori, ed in posizioni difficilmente raggiungibili dai mezzi tradizionali, il rifugio oggetto di analisi si trova ad una quota inferiore ed è raggiungibile, anche se non agevolmente, dalla strada carrabile. Tali caratteristiche si riflettono senza dubbio sui mezzi necessari ad effettuare i lavori di riqualificazione, in quanto in questo caso è possibile utilizzare macchinari tradizionali, mentre negli esempi è sempre stato necessario l'utilizzo dell'elicottero, che comporta elevati costi sia in termini ambientali che economici. Inoltre, risulta evidente come, rispetto alla Capanna Osservatorio Regina Margherita a 4554 m, i 1865 m del Rifugio Città di Ciriè comportino condizioni ambientali meno estreme, ma non per questo da sottovalutare.

Tuttavia, l'analisi della serie di casi studio riportati risulta di grande utilità per la definizione dei punti chiave necessari nel processo di riqualificazione di un edificio in quota. Se l'autosufficienza energetica, ottenuta sfruttando fonti rinnovabili, è da ricercare ad elevate altitudini, è a maggior ragione da perseguire a quote meno elevate, in condizioni meno sfavorevoli. Il medesimo ragionamento può essere fatto per il raggiungimento del comfort interno, che se viene perseguito in edifici situati in luoghi in cui la temperatura non sale mai mediamente al di sopra dello zero termico, a maggior ragione deve essere ricercato in luoghi le cui condizioni climatiche, sebbene rigide, non risultino così estreme.

Per queste ragioni, lo studio di edifici situati in condizioni simili a quelle di progetto, ma più marcate, permette in primo luogo di individuare più facilmente quali sono le problematiche da affrontare, in che modo esse sono state risolte, attraverso l'utilizzo di quali tecnologie, e con che frequenza esse vengono utilizzate. Con questa serie di dati di base è possibile effettuare un'analisi critica dell'effettiva utilità che una determinata tecnologia individuata ha sul Rifugio Città di Ciriè.

# 03 / II Rifugio Città di Cirié

Inquadramento territoriale	3.1
Clima della località	3.2
Parametri climatici di progetto	3.3
Involucro edilizio	3.4
Consumi energetici	3.5

### 03/ Il Rifugio Città di Cirié

### 3.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Le Valli di Lanzo, partendo da Sud Val di Viù, Val d'Ala e Val Grande, sono tre valli delle Alpi Graie piemontesi, comprese tra la Valle dell'Orco a Nord e la Val di Susa a Sud. Facilmente raggiungibili da Torino, sono rinomate tra gli alpinisti grazie alla presenza di vette quali Rocciamelone (3538 m), Uja di Bessanese (3592 m), Uja di Ciamarella (3676 m) e Levanne (3619 m).

Il Rifugio Città di Ciriè è situato a 1865 m s.l.m. nel comune di Balme, l'ultimo della Val d'Ala prima del confine con il dipartimento francese della Savoia. L'edifico è più precisamente collocato in località Giasset, sul Pian della Mussa, un altopiano che si estende per una lunghezza di circa 4 km, circondato da due versanti che culminano con la Bessanese e l'Uja di Ciamarella.

Il rifugio costituisce il punto di partenza per gite alpinistiche e di arrampicata su roccia in estate, mentre in inverno, sulle montagne circostanti, si pratica lo scialpinismo.





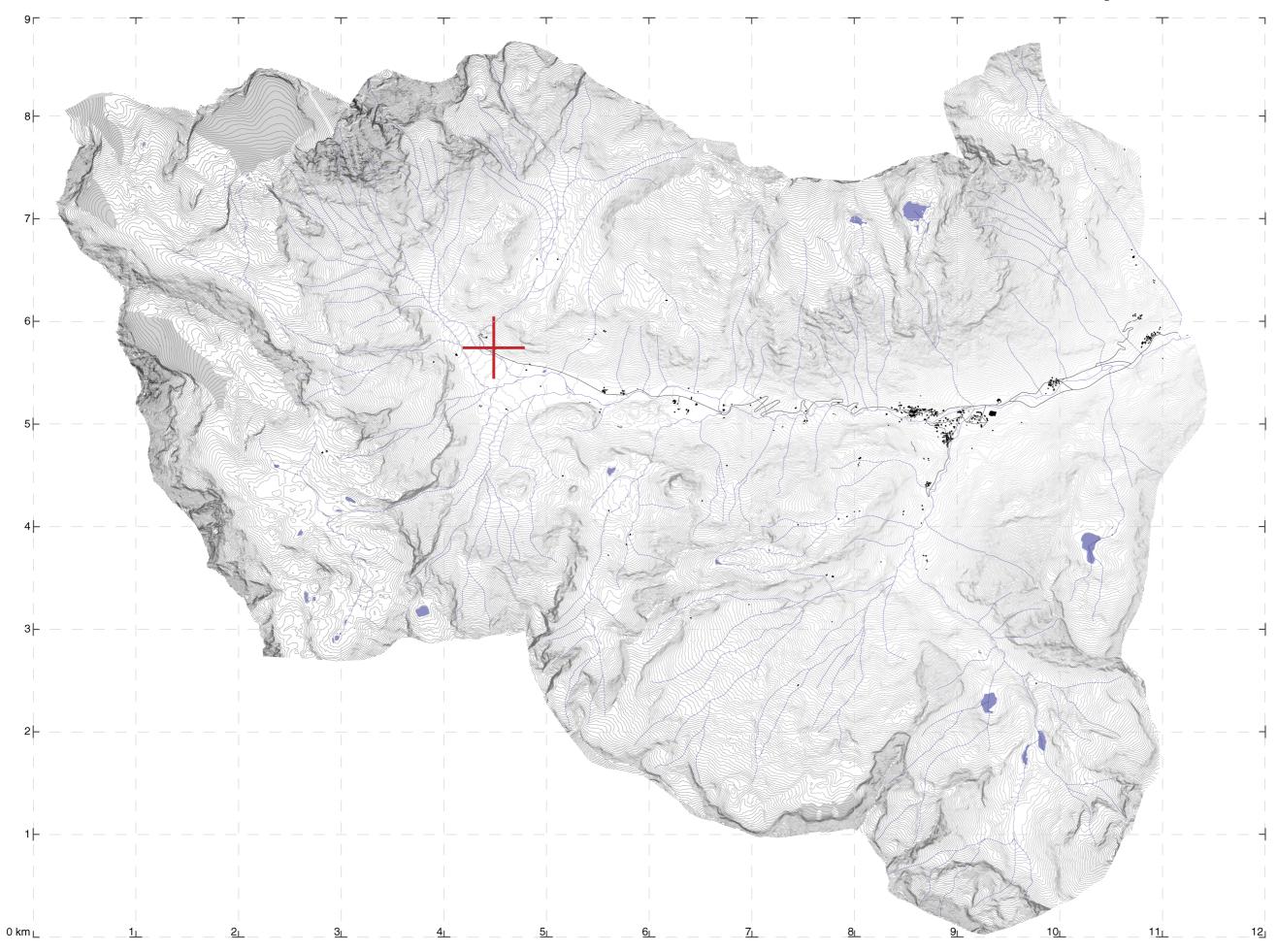






Fig. 3.5 - Vista da Sud - Est (fotografia degli autori)



Fig. 3.6 - Vista da Nord - Ovest (fotografia degli autori)

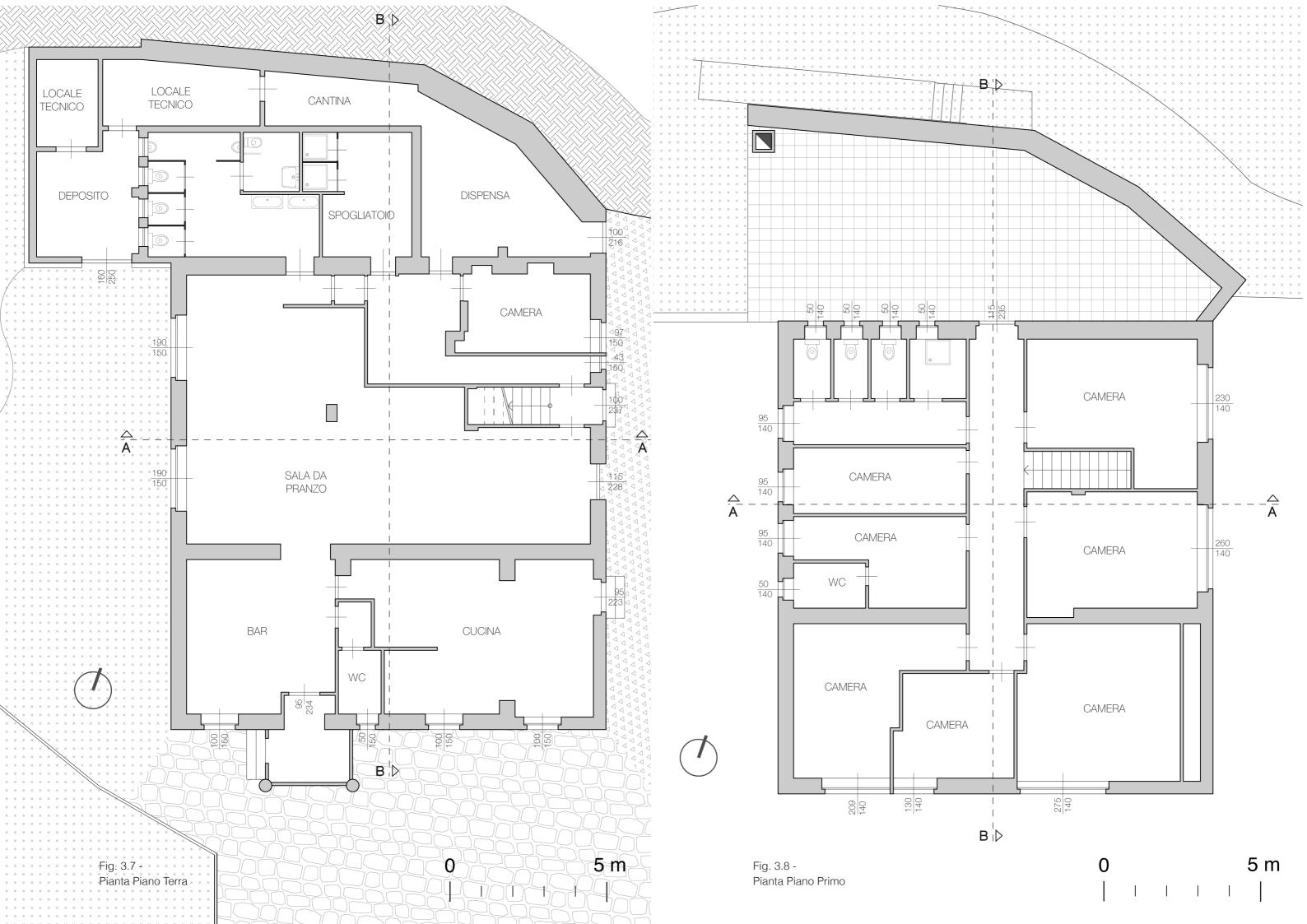




Fig. 3.9 - Prospetto Sud-Est



Fig. 3.10 - Prospetto Nord-Est

Fig. 3.11 - Prospetto Nord-Ovest

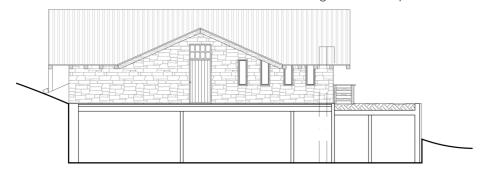


Fig. 3.12 - Prospetto Sud-Ovest



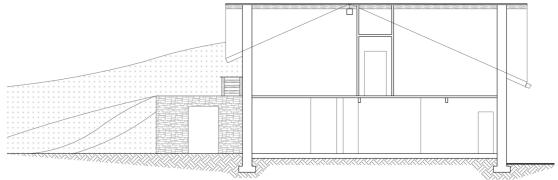


Fig. 3.13 - Sezione AA

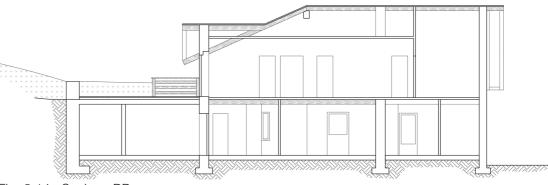


Fig. 3.14 - Sezione BB

Il rifugio è articolato su due piani fuori terra e offre al pubblico i servizi di bar, ristorazione e pernottamento. Nello specifico il Piano Terra accoglie il bar, la cucina, la sala da pranzo che è in grado di ospitare fino a 80 coperti, i bagni e le varie cantine e dispense. Il Piano Secondo è invece composto da sette camere da letto di varie dimensioni e dotate di servizi igienici comuni.

Secondo la classificazione degli edifici imposta dal DPR 412/93<sup>24</sup>, in funzione delle diverse tipologie di destinazioni d'uso presenti all'interno del rifugio, si classifica la struttura come:

- E.4 (3) edifici adibiti ad attività quali bar, ristoranti, sale da ballo;
- E.1 (3) edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari;

DPR 412/93 integrato con DPR 551/99, "Art. 3. Classificazione generale degli edifici per categorie".

Ambiente	Zona termica	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Riscaldamento
		Piano Terra		
Bar	2	22.9	67.5	sì
Disimpegno	2	1.5	4.4	no
Bagno	2	2.8	8.3	no
Cucina	1	35.3	104.2	no
Sala da pranzo	2	80.0	235.9	sì
Disimpegno	4	14.9	43.9	no
Camera	4	10.8	31.8	no
Bagno	3	23.2	68.4	no
Spogliatoio	4	10.9	32.1	no
Dispensa	4	27.2	80.3	no
Locale tecnico N	4	10.1	29.9	no
Locale tecnico O	4	5.5	16.3	no
Deposito	4	11.8	34.8	no
		Piano Primo		
Corridoio	5	19.2	67.8	sì
Camera N	5	21.8	62.4	no
Camera E	5	20.9	70.8	no
Camera SE	5	26.0	59.3	no
Camera S	5	12.5	46.4	no
Camera SO	5	19.6	55.6	no
Camera O	5	12.6	47.0	no
Bagno camera	5	3.4	9.1	no
Camera O	5	11.7	46.0	no
Bagno comune	5	18.8	48.1	no

Tab 3.1 - Definizione degli ambienti del rifugio

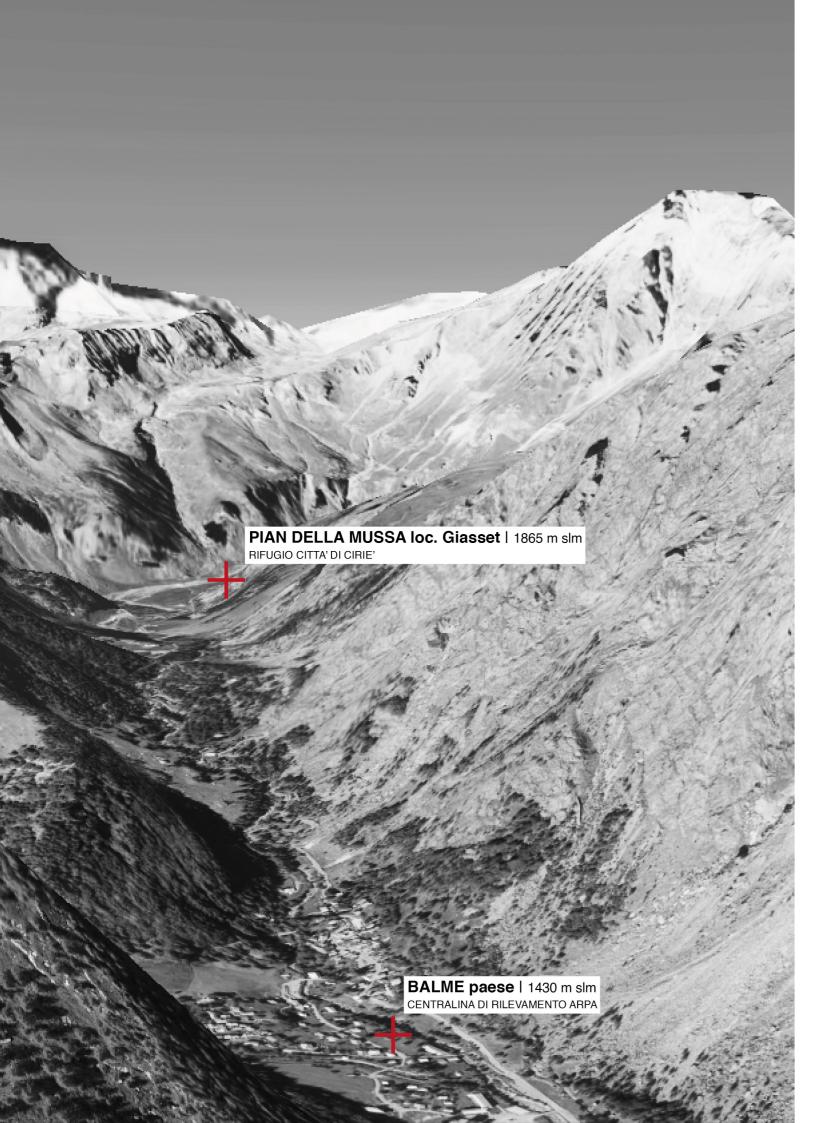
### 3.2 INQUADRAMENTO CLIMATICO

La varietà del paesaggio montuoso nelle Valli di Lanzo crea microclimi diversi all'interno della medesima area. Le valli inferiori sono generalmente più miti rispetto alle valli più alte, dove le temperature risultano essere più rigide e le precipitazioni più abbondanti. Inoltre, l'effetto dell'altitudine influisce anche sulle condizioni atmosferiche, determinando una diminuzione delle temperature di circa 0.6°C ogni 100 metri di aumento di altitudine.

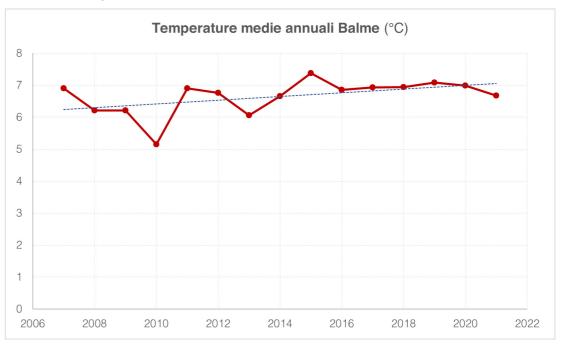
Le Valli di Lanzo, con la loro posizione ed il loro orientamento, presentano un regime pluviometrico tipicamente continentale prealpino, che raggiunge il livello minimo in inverno, e due livelli massimi. Il principale è in primavera, caratterizzato in media 30 giorni piovosi, durante i quali cadono tra i 400 ed i 450 mm di pioggia, ed un secondo in autunno, che presenta un periodo di 22 giorni di pioggia, con precipitazioni comprese tra i 350 ed i 400 mm. In generale, il mese più freddo è gennaio, mentre il più caldo è luglio.

Il Comune di Balme, in cui si trova il caso studio analizzato, è il più alto comune delle Valli di Lanzo, posizionato a ridosso delle montagne che fanno da spartiacque con il territorio francese. La presenza di queste ultime, combinate all'altitudine, contribuiscono alla generosa quantità di neve che cade nella regione durante la stagione invernale. Le masse d'aria umida provenienti dal Mar Mediterraneo si innalzano sulle catene montuose delle Alpi Graie, condensandosi e causando precipitazioni consistenti. Questo fenomeno è favorito anche dalla morfologia delle valli, che svolgono la funzione di canalizzare i venti umidi, creando un'atmosfera ideale per l'accumulo di neve. "In Piemonte, i dati relativi alle variabili climatiche, così come l'aumentata frequenza di eventi estremi (ondate di calore, precipitazioni intense e periodi di siccità prolungata) dimostrano come in larga misura il territorio sia già esposto al cambiamento climatico<sup>25</sup>. Risulta, quindi, fondamentale monitorare e analizzare attentamente queste tendenze e adottare misure appropriate per adattare gli edifici al clima futuro.

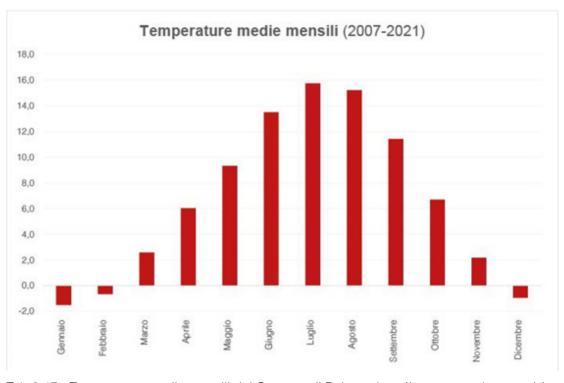
<sup>25</sup> Regione Piemonte, *Il cambiamento climatico in Piemonte, rivolto a cittadini, Enti pubblici e Terzo settore - https://www.regione.piemonte.it/* 



Nel grafico riportato si nota come le temperature medie annuali nel paese di Balme siano progressivamente in crescita. Questo conferma il trend, più generale dell'intero Piemonte, dove negli ultimi 60 anni le temperature massime giornaliere hanno mostrato un incremento di 2°C, accelerato negli ultimi 35 anni, e le temperature minime sono aumentate di circa 1.5°C.



Tab 3.15 - Temperature medie annuali del Comune di Balme - http://www.arpa.piemonte.it/



Tab 3.17 - Temperature medie mensili del Comune di Balme - http://www.arpa.piemonte.it/

Le temperature medie mensili di Balme sottolineano come il territorio sia caratterizzato da un clima alpino, con temperature fresche o fredde durante tutto l'anno, e da una marcata variazione di temperatura tra le diverse stagioni. Alcune delle caratteristiche principali del clima alpino includono:

- <u>Temperature</u>: le temperature, nel clima alpino, sono generalmente più basse rispetto alle aree circostanti a quote inferiori. Durante l'estate, le temperature medie diurne possono variare tra i 10°C e i 18°C, mentre in inverno scendono al di sotto dello zero. L'altitudine è un fattore chiave che influenza le temperature, con una diminuzione di circa 0.6°C ogni 100 metri di quota.
- Precipitazioni: le precipitazioni, nel clima alpino, sono generalmente abbondanti, sia sotto forma di neve che di pioggia. Le montagne fungono da ostacolo per i venti umidi provenienti da diverse direzioni, causando l'ascensione forzata dell'aria e la conseguente condensazione e formazione di nuvole.
- <u>Variabilità meteorologica</u>: le condizioni meteorologiche possono cambiare rapidamente e in modo imprevedibile, con un'alternanza frequente tra giorni di sole, pioggia, neve e nebbia. Questa variazione può essere attribuita alla complessa interazione tra i venti, le montagne e le masse d'aria provenienti da diverse direzioni.

Dalle tabelle di seguito riportate, emerge che le riduzioni più importanti in termini di quantità di neve fresca caduta riguardano la pianura e i settori alpini centromeridionali del Piemonte, mentre diminuzioni più contenute si sono osservate in Val Formazza. Quanto agli spessori medi, questi si sono pressoché dimezzati quasi ovunque, salvo sul Piemonte settentrionale, dove le variazioni sono comprese tra -20% e -35%. Infine, il numero di giorni con presenza di neve al suolo si è ridotto in maniera più rilevante nelle zone che si trovano ad una quota inferiore ai 1600 m. La stazione di rilevamento di balme, rispetto alle altre riportate in tabella, si posiziona ad un'altezza intermedia. I fenomeni di innevamento risultano essere simili, sia a livello di frequenza sia intensità, alle località con altezza simile, quali il Lago di Saretto nel Comune di Acceglio (CN) e Ceresole Reale in Valle Orco (TO). Sia per il valore totale annuo di neve fresca, che per la media annua dello spessore di neve al suolo,

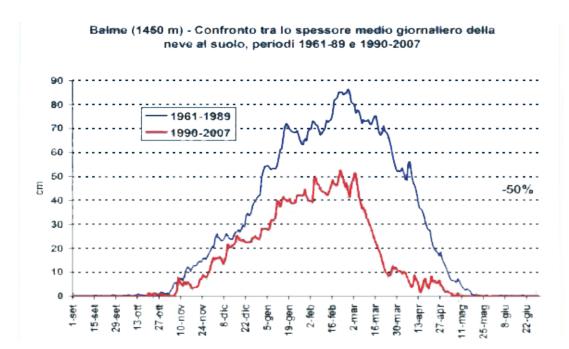
che per il numero annuo di giorni con suolo innevato, la riduzione nei periodi 1961-1989 e 1990-2007 a Balme presenta valori maggiori rispetto al valore medio piemontese.

Principali parametri medi di i	nnevamen	to sulle Al	pi Piemont	tesi nei pe	riodi 1961-	1989 e 199	0-2007	
Località	Quota [m]		nuo neve a [cm]	spessore	annua e neve al o [cm]	Numero annuo giorni con suolo innevato		
		1961-1989	1990-2007	1961-1989	1990-2007	1961-1989	1990-2007	
Torino	250	27	17	-	-	-	-	
Cuneo	565	126	83	-	-	-	-	
Entracque (Valle Gesso, CN)	900	301	206	13	6	104	81	
Formazza (Val Formazza, VB)	1280	423	293	29	20	157	136	
Balme (Valli di Lanzo, TO)	1440	408	282	24	12	142	105	
Lago Saretto (Val Maira, CN)	1540	398	313	24	12	156	118	
Ceresole Reale (Valle Orco, TO)	1579	359	273	24	13	152	133	
Lago Rochemolles (Val di Susa, TO)	1926	432	335	49	27	186	177	
Lago Toggia (Val Formazza, VB)	2200	726	656	97	80	247	231	
Lago Valsoera (Valle Orco, TO)	2440	737	574	92	50	243	226	

Tab 3.18 - Riepilogo dei principali parametri medi di innevamento sulle Alpi Piemontesi nei periodi 1961-1989 e 1990-2007 - http://www.arpa.piemonte.it/

Variazioni di innevamento su	lle Alpi Pie	montesi nei pe	riodi 1961-1989	e 1990-2007
Località	Quota [m]	Totale annuo neve fresca	Media annua spessore neve al suolo	Numero annuo giorni con suolo innevato
Torino	250	-36%	-	-
Cuneo	565	-35%	-	-
Entracque (Valle Gesso, CN)	900	-32%	-54%	-22%
Formazza (Val Formazza, VB)	1280	-31%	-33%	-14%
Balme (Valli di Lanzo, TO)	1440	-31%	-50%	-26%
Lago Saretto (Val Maira, CN)	1540	-18%	-49%	-24%
Ceresole Reale (Valle Orco, TO)	1579	-24%	-48%	-13%
Lago Rochemolles (Val di Susa, TO)	1926	-22%	-46%	-6%
Lago Toggia (Val Formazza, VB)	2200	-10%	-18%	-7%
Lago Valsoera (Valle Orco, TO)	2440	-22%	-45%	-7%
Media		-26%	-43%	-15%

Tab 3.19 - Riepilogo delle variazioni di innevamento sulle Alpi Piemontesi nei periodi 1961-1989 e 1990-2008 - http://www.arpa.piemonte.it/



Tab 3.20 - Confronto tra lo spessore medio giornaliero della neve al suolo nel Comune di Balme nei periodi 1961-1989 e 1990-2007 - http://www.arpa.piemonte.it/

Il confronto tra lo spessore medio giornaliero della neve al suolo, nei periodi 1961-1989 e 1990-2007, sottolinea come in meno di 50 anni sia stato osservato un dimezzamento del quantitativo di neve. Nel periodo autunnale vi è una riduzione più ridotta, mentre nel periodo invernale e in quello primaverile la riduzione raggiunge il 50%. Questi risultati sono frutto di due principali fattori:

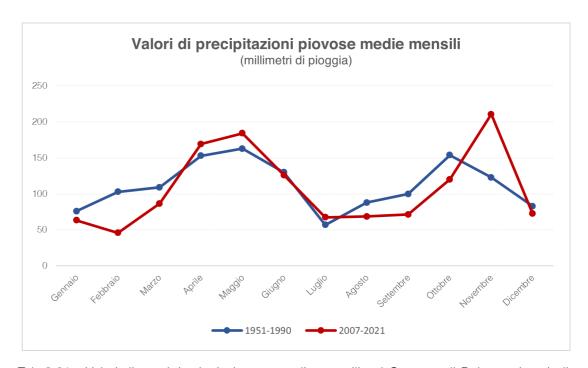
- · la diminuzione delle precipitazioni nevose;
- la fusione accelerata del manto dovuta alle temperature invernali e primaverili più elevate.

A Balme la distribuzione annuale delle precipitazioni a carattere piovoso presenta un andamento bimodale, vale a dire con due massimi, uno primaverile e uno autunnale, e due minimi, uno invernale e uno estivo. Questi grafici vanno a confermare il trend della zona sublitoranea occidentale.

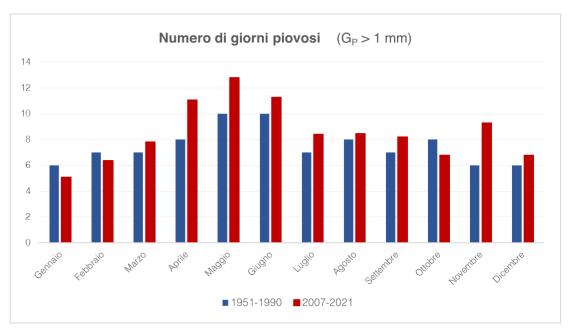
Confrontando le due serie di dati che rappresentano il periodo 1951-1990 e 2007-2021, emerge subito la poca differenza; infatti per entrambi i periodi si parla di circa 100 giorni di pioggia per un totale di circa 1300 mm annui. Per precisione, negli anni più recenti piove in più giorni (102 rispetto a 90), ma cade al suolo la medesima quantità di pioggia.

Con il grafico a linee viene sottolineato come, negli ultimi 15 anni, la maggiore

quantità di pioggia cade nel periodo autunnale. Mentre in alcuni mesi, come febbraio, sia arriva fino a una riduzione del 50% delle precipitazioni.



Tab 3.21 - Valori di precipitazioni piovose medie mensili nel Comune di Balme nei periodi 1961-1989 e 1990-2007 - http://www.arpa.piemonte.it/



Tab 3.22 - Numero di giorni piovosi nel Comune di Balme nei periodi 1961-1989 e 1990-2007 - http://www.arpa.piemonte.it/

# 3.3 PARAMETRI CLIMATICI DI PROGETTO

La norma UNI 10349 del 2016 fornisce i dati climatici convenzionali necessari per la progettazione e la verifica sia degli edifici sia degli impianti tecnici per il riscaldamento ed il raffrescamento. I dati presentati si raggruppano in due categorie:

- · dati climatici medi mensili;
- · dati di progetto.

I primi riguardano il calcolo dei fabbisogni energetici e le verifiche igrometriche, mentre i secondi si riferiscono alla verifica del superamento di valori massimi o minimi di specifiche grandezze ed il dimensionamento, in termini di potenza termica, dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento.

DATI GEOGRAFICI								
Latitudine	45° 18' 25"							
Longitudine	7° 9' 48"							
Altitudine	1865 m slm							
DATI INVERNALI DI PROGETTO								
Zona climatica	F							
Temperatura esterna [°C]	-17.1							
Umidità relativa esterna [%]	44.4							
Gradi giorno	4502							
Velocità Vento [m/s]	3.43							
DATI ESTIVI DI PROGETTI	0							
Zona climatica	F							
Temperatura esterna [°C]	19.9							
Umidità relativa esterna [%]	50.0							
Escursione termica giornaliera	0.1							
Riduzione irrad. TOT per foschia [%]	0.0							

	TEMPERATURA MEDIA MENSILE [ C]											
Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
-7.6	-3.9	0.0	4.1	8.3	12.2	14.3	13.4	9.0	3.7	-3.0	-7.1	
			U	MIDITA' I	RELATIVA	MEDIA N	IEN SILE [	%]				
Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
70.4	59.1	51.2	45.2	52.0	51.2	43.9	57.8	53.2	63.3	78.0	69.7	

ELMDEDATUDA MEDIA MENGUE 197

					IRRAI	DIAZIONI [	MJ/m <sup>2</sup> ]					
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
N	1.15	2.46	3.54	5.64	7.79	9.83	9.19	6.72	4.44	2.89	1.49	0.97
NE	1.32	3.38	5.59	8.69	10.59	12.36	12.04	9.62	7.41	3.95	1.72	1.03
Е	3.48	7.38	9.64	12.17	13.02	14.31	14.35	12.49	11.73	7.16	3.53	2.22
SE	6.53	11.51	12.29	12.90	12.14	12.63	12.88	12.42	13.73	9.95	5.82	4.05
S	8.51	13.96	13.01	11.59	9.98	10.22	10.38	10.68	13.37	11.38	7.29	5.24
SW	6.53	11.51	12.29	12.90	12.14	12.63	12.88	12.42	13.73	9.95	5.82	4.05
W	3.48	7.38	9.64	12.17	13.02	14.31	14.35	12.49	11.73	7.16	3.53	2.22
NW	1.32	3.38	5.59	8.69	10.59	12.36	12.04	9.62	7.41	3.95	1.72	1.03
H to	t 4.00	9.10	12.90	17.60	19.80	22.30	22.10	18.60	16.20	9.40	4.40	2.70

Tab 3.2 - Dati climatici di progetto (dati ricavati da software TermusBim)

I dati forniti si utilizzano per i seguenti scopi:

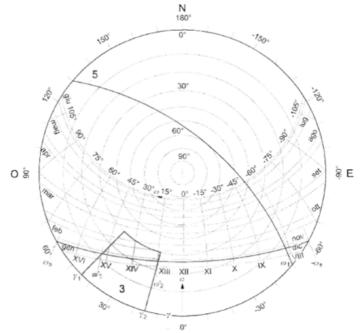
- il calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento degli edifici, riferito alla UNI 10344;
- la verifica igrometrica ai fenomeni di condensazione del vapore, riferita alla UNI 10350;
- il calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti, riferito alla UNI 10375.

### **DIAGRAMMA SOLARE**

Il diagramma solare è un grafico (generalmente una posizione stereografica della sfera celeste) in cui viene riportato il percorso apparente del sole nella sfera celeste proiettato su una superficie piana nei diversi mesi dell'anno.<sup>26</sup> Ogni grafico è relativo ad una determinata latitudine.

Le linee che compaiono nel diagramma solare sono:

- archi diurni, che definiscono la traiettoria media di ogni mese percorso dal Sole;
- · linee di uguale angolo orario;
- altezze e azimut dei diversi punti dell'emisfero celeste visibili da un dato luogo, comprese le eventuali ostruzioni.



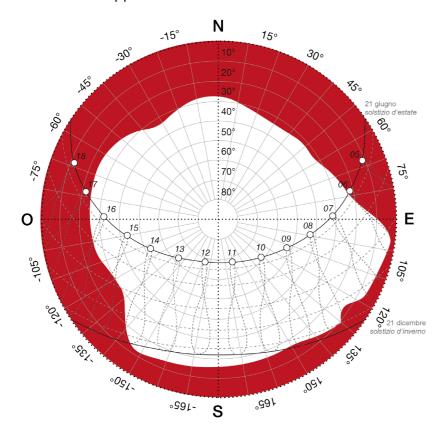
Tab 3.23 - Diagramma solare polare - UNI 10349-1:2016. "D.3 Uso dei diagrammi solari"

<sup>26</sup> UNI 10349-1:2016. "D.3 Uso dei diagrammi solari", pag. 42

Lo scopo del diagramma solare è il comprendere nell'immediato se ad una determinata ora del giorno e in un dato giorno dell'anno, un certo punto dell'edificio riceve la radiazione solare oppure no.

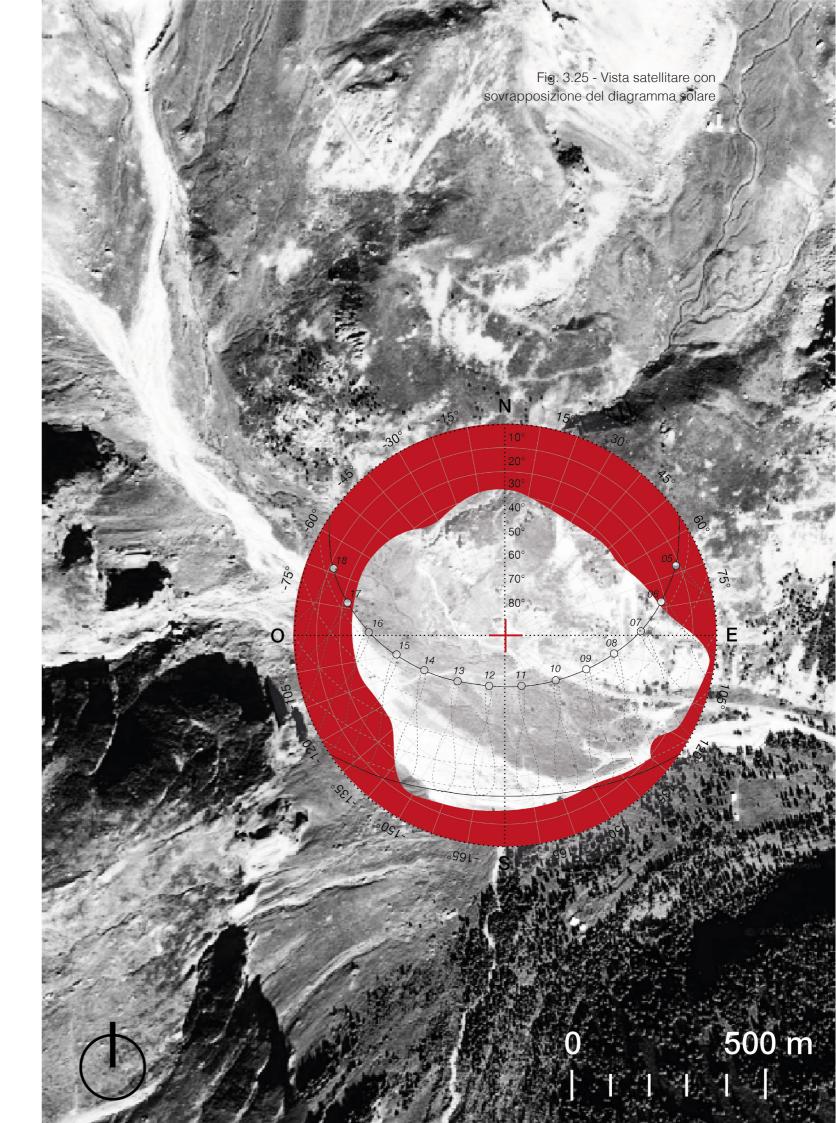
Per l'analisi solare del caso studio si è utilizzato lo strumento online "Sun Earth Tools.com – Strumenti per consumatori e progettisti del solare".

- I dati di input sono:
  - le coordinate del rifugio (N 45° 18' 25.9"; E 07° 09' 48.7");
  - gli angoli azimutali e zenitali dei rilievi circostanti il rifugio, al fine di ottenere il profilo di ombreggiamento delle montagne, operazione svolta con l'utilizzo dell'applicazione "PeakFinder".



Tab 3.24 - Diagramma solare con ombreggiamento degli ostacoli

Osservando il diagramma si nota che il rifugio, nel giorno astronomicamente più lungo dell'anno, riceve quasi 11 ore di luce, dalle 06:15 alle 16:45 circa, in contrasto con il giorno 21 dicembre, quando il sole sorge alle 9:30 e tramonta intorno alle 14:00, per un totale di meno di 5 ore di luce. La stima non è assolutamente precisa in quanto le discontinuità del profilo delle montagne circostanti bloccano e/o permettono alla luce solare di passare in maniera differente di giorno in giorno.



# **ZONE TERMICHE**

La zona termica è una parte di edificio con temperatura uniforme, mantenuta tale grazie allo stesso impianto di riscaldamento, raffrescamento o ventilazione, con identiche modalità di regolazione<sup>27</sup>. All'interno del rifugio sono state individuate cinque zone termiche:

- ZONA 1. Ambienti privi di impianto di riscaldamento, caratterizzati da forti picchi di temperatura e umidità<sup>28</sup> legati alle attività di cottura dei cibi.
- ZONA 2. Sala da pranzo e bar riscaldati grazie a una stufa a legna in ghisa, posizionata al centro della sala da pranzo.
- ZONA 3. Ambiente contenente i servizi igienici, privo di impianto di riscaldamento e deumidificazione.
- ZONA4. Depositi, cantine e locali tecnici privi di impianto di riscaldamento.
- ZONA 5. Intero piano di camere da letto riscaldato da una stufa a pellet da 12 kW, posizionata in corridoio



Tab 3.26 - Pianta Piano Terra e Pianta Piano Primo con individuazione delle zone termiche

### 3.4 INVOLUCRO EDILIZIO

L'involucro edilizio costituisce l'elemento di separazione tra ambiente esterno e ambiente interno, ed ha la funzione di garantire il comfort degli occupanti ed un elevato livello di efficienza energetica. Una struttura progettata con lo scopo di mantenere condizioni interne ottimali deve garantire omogeneità tra temperatura dell'aria e temperatura delle superfici, condizioni termoigrometriche stabili e l'assenza di correnti d'aria.

L'involucro edilizio va ottimizzato per meglio affrontare le condizioni climatiche a cui è sottoposto l'edificio. per questa ragione, nell'ambito dell'efficientamento di un rifugio alpino, assumono maggiore importanza gli aspetti che riguardano la condizione invernale. In quest'ottica è fondamentale che sia l'involucro opaco che l'involucro trasparente siano in grado di contenere le dispersioni di calore, di controllare i fenomeni di condensazione superficiale e interstiziale e di ridurre l'effetto di discomfort locale causato dalla presenza di superfici fredde.

La qualità costruttiva del fabbricato ha una diretta ripercussione sul dimensionamento degli impianti presenti all'interno dell'edificio, in quanto il comfort che l'impiantistica deve garantire risulta essere pari al comfort che il fabbricato non è in grado di assicurare.

Il parametro che definisce quanto sia disperdente una struttura edilizia è la trasmittanza termica U (W/m²K). Essa viene definita come il flusso termico che attraversa in regime stazionario un'unità di superficie di struttura per effetto di una differenza di temperatura unitaria. La trasmittanza termica di una parete multistrato si calcola come:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{j=1}^{n} \frac{s_i}{\lambda_i} + \sum_{j=1}^{m} R_j + \frac{1}{h_o}} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

In cui:

- h. coefficiente di scambio termico liminare interno [W/m²K];
- h<sub>a</sub> coefficiente di scambio termico liminare esterno [W/m<sup>2</sup>K];
- s, spessore dello strato i-esimo della parete [m];
- λ conducibilità termica dello strato i-esimo della parete [W/mK];
- R<sub>j</sub> è la resistenza termica di uno strato non omogeneo della parete [m²K/W];

<sup>27</sup> Definizione di *zona termica* da UNI/TS 11300-1.

<sup>28</sup> Approfondito numericamente nel capitolo 3.2. Rilevazioni del caso studio.

- n è il numero di strati costituiti da materiale omogeneo;
- m è il numero di strati costituiti da materiale non omogeneo o intercapedini d'aria.

Nello specifico nella formula i due coefficienti di scambio termico liminare h, o adduttanza, permettono di considerare il calore che viene trasmesso per convezione e per irraggiamento tra le superfici e l'ambiente che le circonda. Il valore del coefficiente cambia in base alla posizione della parete, se orizzontale, inclinata o verticale, e alle condizioni climatiche del sito.

Per definire il flusso termico trasmesso per conduzione è invece necessario definire la resistenza termica della parete, che è differenziata tra i vari strati presenti a seconda che essi siano composti da materiali omogenei o non omogenei, oppure siano delle intercapedini di aria. Nel caso di strutture composte da più materiali omogenei, la resistenza termica è definita come la sommatoria dei rapporti tra lo spessore del materiale i-esimo e la sua conducibilità:

$$R = \sum_{1}^{n} \frac{s_i}{\lambda_i} \quad \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

In cui:

- R è la resistenza termica [m<sup>2</sup>K/W];
- s, è lo spessore del materiale i-esimo [m];
- λ è la conducibilità del materiale i-esimo [W/mK].

La resistenza termica aumenta all'aumentare dello spessore del materiale o al diminuire della sua conducibilità, che è a sua volta definita come la proprietà che rappresenta l'attitudine del materiale a trasmettere calore per conduzione. Maggiore è la resistenza termica, minori saranno le perdite di calore per trasmissione dall'involucro edilizio.

Per quanto riguarda l'involucro trasparente, è possibile calcolare allo stesso modo la trasmittanza termica del vetro:

$$U_{g} = \frac{1}{\frac{1}{h_{i}} + \sum_{j=1}^{n} \frac{s_{i}}{\lambda_{i}} + \sum_{j=1}^{n-1} R_{j} + \frac{1}{h_{e}}} \quad \left[\frac{W}{m^{2}K}\right]$$

In cui:

- h, coefficiente di scambio termico liminare interno [W/m²K];
- h coefficiente di scambio termico liminare esterno [W/m²K];
- s. spessore del vetro o dello strato i-esimo [m];
- λ conducibilità termica del vetro o dello strato i-esimo[W/mK];
- R<sub>i</sub> è la resistenza termica dell'intercapedine j [m<sup>2</sup>K/W];
- n è il numero di lastre costituenti il componente trasparente.

Questa formula calcola la trasmittanza termica del componente trasparente dell'involucro, ma non la trasmittanza termica complessiva della finestra, che va invece calcolata in questo modo:

$$U_{w} = \frac{A_{g}U_{g} + A_{f}U_{f} + I_{g}\Psi_{g}}{A_{g} + A_{f}} \quad \left[\frac{W}{m^{2}K}\right]$$

In cui:

- A<sub>a</sub> è l'area del vetro [m<sup>2</sup>];
- U<sub>g</sub> è il valore di trasmittanza termica del vetro (escluso l'effetto del distanziatore del vetro lungo il bordo della vetrata stessa) [W/m²K];
- A, è l'area del telaio [m²];
- U<sub>f</sub> è il valore di trasmittanza termica del telaio applicabile in assenza della vetrata [W/m²K];
- I à è la lunghezza del perimetro del vetro [m];
- Ψ<sub>g</sub> è il valore di trasmittanza termica lineare concernente la conduzione di calore supplementare che avviene a causa dell'interazione tra telaio, vetri e distanziatore dei vetri, in funzione delle proprietà termiche di ognuno di questi componenti<sup>29</sup>. È una componente da considerare solo in caso di vetrata multistrato [W/mK].

Se il serramento possiede una chiusura oscurante esterna, allora anche questa va considerata nel calcolo della trasmittanza termica totale della finestra in

La norma ISO 10077-2 estratto E.1 spiega che in caso di vetro singolo (situazione attuale del caso studio) l'effetto distanziatore per vetro non c'è, pertanto come indicato al punto 5.1.1 - pag.6 della norma il valore  $\Psi$  è da considerarsi pari a zero.

quanto costituisce un ulteriore strato del sistema. Sia l'intercapedine d'aria racchiusa tra la chiusura oscurante e la finestra, sia la chiusura oscurante stessa costituiscono ulteriori strati che vanno ad aumentare la resistenza termica complessiva, che viene definita dall'equazione:

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_{vv}} + \Delta R} \qquad \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

In cui:

- U<sub>w</sub> è la trasmittanza termica della finestra [W/m²K];
- Δ<sub>R</sub> è la resistenza termica aggiuntiva dovuta all'intercapedine d'aria racchiusa tra la chiusura oscurante e la finestra, e alla chiusura oscurante stessa [m²K/W].

Così come la differenza di temperatura tra ambiente interno ed esterno è responsabile di un flusso di calore a cui i materiali si oppongono grazie alla loro resistenza termica, allo stesso modo il flusso di vapore è determinato dalla differenza tra la pressione di vapore dell'ambiente interno e dell'ambiente esterno, e i materiali si oppongono in funzione del loro coefficiente di resistenza al passaggio del vapore  $\mu$ . Il fenomeno di condensazione dell'umidità, sia che esso avvenga sulle superfici delle strutture sia che avvenga all'interno delle stesse, costituisce una condizione che riduce considerevolmente la durabilità degli edifici e le prestazioni dei materiali da costruzione. In presenza di umidità, si presentano effetti di varia natura:

- Effetto statico: riduzione della resistenza e della durabilità dei materiali:
- Effetto igienico-sanitario: formazione di muffe o funghi, che possono portare allo sviluppo di patologie quali allergie o asma;
- Effetto termoigrometrico: un elevato tenore di umidità in ambiente comporta limitate condizioni di benessere;
- Effetto estetico: formazione di erosioni, sfarinamenti, muffe, rigonfiamenti, efflorescenze;
- Effetto termico: diminuzione della resistenza termica dei materiali e aumento delle dispersioni di calore;
- Effetto termico: incremento delle dispersioni di calore a causa di scambi

latenti di energia;

 Effetto chimico: reazioni chimiche nei materiali da costruzione a causa della presenza di sali disciolti nell'acqua. Nel caso in cui siano presenti materiali metallici possono presentarsi fenomeni di corrosione.

Quindi, se è presente dell'acqua all'interno o sulla superficie dell'involucro edilizio, i materiali possono subire degrado organico, mentre le prestazioni termiche e statiche subiscono un crollo.

In ambiente è sempre presente una certa percentuale di umidità, che è conseguenza della destinazione d'uso, del numero di persone presenti, delle attività svolte e della temperatura interna. I fenomeni di condensa che possono verificarsi sono:

- Superficiali, quando si verificano sulla superficie interna degli ambienti;
- Interstiziali, quando si formano all'interno della parete.

La condensa si forma quando la temperatura della parete scende al di sotto del punto di rugiada, per cui il vapore si trova in condizioni di saturazione. L'aria che respiriamo viene detta anche ara umida, in quanto contiene sempre vapore acqueo in quantità variabile in funzione della temperatura. Maggiore è la temperatura, maggiore è il quantitativo di vapore che l'aria può contenere. Il rapporto tra la massa di vapore contenuto in aria e il volume dell'aria che la contiene viene definito umidità assoluta, e si esprime in g/m3. Tuttavia si è soliti esprimere l'umidità come umidità relativa (UR%), ovvero come rapporto percentuale tra il vapore presente in aria e il massimo quantitativo che potrebbe essere contenuto a quella temperatura. Il vapore acqueo può condensare quando:

- La temperatura superficiale del materiale scende al di sotto della temperatura di rugiada;
- Il quantitativo di vapore presente nell'ambiente aumenta fino ad arrivare a saturazione.

Per ridurre il rischio che si verifichino fenomeni di condensa è quindi necessario incrementare la temperatura delle superfici migliorando l'isolamento termico, oppure rimuovere il vapore dall'aria tramite la ventilazione, che può essere

naturale o meccanica.

Da normativa è necessario verificare che non avvenga il fenomeno di formazione di condensa all'interno della struttura. Ciò è possibile confrontando la pressione di vapore nei materiali e la corrispondente pressione di saturazione. Conoscendo l'andamento delle temperature all'interno della struttura è possibile risalire, attraverso diagrammi psicometrici, all'andamento della pressione di saturazione. La parete non presenta fenomeni di condensazione interstiziale se, in ogni mese dell'anno, la pressione di vapore di ogni materiale è sempre al di sotto della pressione di saturazione.

Il rischio di formazione di condensa dipende, oltre dalle condizioni ambientali, dal posizionamento dei materiali, in particolare degli isolanti. Questo perché gli strati che hanno una maggiore resistenza termica andrebbero posizionati il più possibile verso l'esterno, in modo mantenere la parete complessivamente più al caldo. In questo modo sarà più difficile che il vapore riesca a raggiungere la temperatura di rugiada. Nel caso in cui l'isolante debba essere necessariamente posto all'interno, allora è possibile proteggere lo stesso tramite l'introduzione di una barriera al vapore. Inoltre, una corretta progettazione deve prendere di inserire gli strati che presentano una maggiore resistenza al passaggio del vapore il più possibile verso l'interno, in modo da trattenere l'umidità nella zona più calda della parete, dove più difficilmente si raggiunge la temperatura di rugiada.



Fig. 3.27 - Muratura in pietra del Rifugio Città di Ciriè (fotografia degli autori)

La muratura in pietra è costituita dall'assemblaggio organizzato di elementi naturali, quali pietre, legati tra loro tramite malta. Il rifugio si vede composto da una struttura portante in muri monostrato di pietra<sup>30</sup> locale, quale gneiss minuti. Si può definire una "muratura in pietra squadrata" perché composta con elementi resistenti naturali di geometria pressoché parallelepipeda poste in opera in strati regolari.<sup>31</sup>

Il D.M. del 20 novembre 1987<sup>32</sup> definisce che nei muri compatti, qualificabili anche come "monostrato", accade sovente di riscontrare sacche interne in cui il materiale è disposto in modo incoerente e in qualche punto con riempimenti. Non riscontrabile nell'analisi effettuata per la stesura della tesi, perché si è svolto un lavoro di rilevamento di primo livello; cioè condotto a vista e con strumentazione semplice.

L'assetto del corpo edilizio si compone di quattro muri d'ambito immorsati agli angoli da conci di lunghezza maggiore e disposti ortogonalmente tra loro in modo che ognuno rimanga solidale per circa un terzo del muro contiguo.

Quando fu costruito, circa un secolo fa, la disposizione dei conci fu condizionata dall'aspetto del materiale (come per tutti gli edifici in pietra dell'epoca): quando possibile si cercava di disporli secondo la loro migliore faccia in modo da produrre una parete muraria il più piana possibile.

La tecnica di costruzione adottata viene definita a "scapoli e tocchetti", perché il pietrame principale veniva grossolanamente squadrato e fermato da scaglie a cuneo, inserite a forza e con l'uso scarso di legante.

Quando i conci angolari hanno dimensioni leggermente superiori a quelle del pezzame di campitura, al modesto concio d'angolo corrisponde una tessitura muraria abbastanza regolare, all'interno della quale non è difficile riconoscere l'andamento orizzontale dei corsi che sono regolarizzati attraverso l'inserimento di piccole schegge inserite tra una pietra e l'altra.<sup>33</sup>

La muratura portante in pietra, di uno spessore importante, è chiaramente destinata a realizzare le parti strutturali dell'edificio, sostenendo i carichi verticali (che provengono dalle murature sovrastanti e dai solai) e contrastando quelli orizzontali (vento e sisma).

Norberto Tubi, Maria Pia Silvia, Federica Ditri, *Gli Edifici in pietra*, SE sistemi editoriali, Napoli, (II ed.) maggio 2009

Decreto Ministeriale del 20 novembre 1987 – Norme Tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento.

Norberto Tubi, Maria Pia Silvia, Federica Ditri, *Gli Edifici in pietra* .cit

Le aperture, invece, sono gli elementi architettonici per la cui esecuzione i costruttori hanno impiegato maggiori attenzioni, sia per le dimensioni delle pietre usate sia per l'architrave ligneo.



Fig. 3.28 - Sistema architravato del Rifugio Città di Ciriè (fotografia degli autori)

Il sistema architravato è fondato sulla trasmissione verticale della forza peso ed è definito come sistema trilitico, fondato da tre elementi monolitici, l'architrave e i due piedritti, costituiti da conci in pietra e malta.

La conducibilità termica della pietra è piuttosto elevata rispetto ai recenti materiali da costruzione. Questa caratteristica, porta il rifugio ad avere un involucro opaco con trasmittanza termica molto alta; circa 15 volte superiore alle norme attuali. Queste murature perimetrali sono composte di pietre di natura metamorfica (gneiss) legate da malte, la conduttività di queste ultime è minore degli elementi lapidei: i valori tabellari degli elementi lapidei vanno così diminuiti, orientativamente di un 5-15% a seconda dei volumi di malta e dei leganti e inerti inglobati.

MATERIALE	Massa volumica a secco ρ	Conduttività utile di calcolo λ				
WATERIALE	[kg/m³]	[W/mK]				
Gneiss	2700	1.9				
Malta	1700	0.9				

Tab 3.3 - Dati tecnici delle murature

La presenza di una massa muraria importante, da 40 a 50 cm di spessore, gioca a favore di un miglioramento adattivo alle condizioni ambientali.

L'accrescersi della massa muraria, conseguentemente all'aumento dello spessore, accresce la capacità termica per cui le pareti hanno l'effetto di accumulare e restituire energia e, quindi, di smorzare le variazioni di temperatura

esterna, in particolare le punte massime e minime (effetto massa). In base a questa considerazione la sola trasmittanza termica non basta a determinare le reali prestazioni di una muratura campione, ma i valori andrebbero posti in relazione a variazioni termiche periodiche.<sup>34</sup>

Il comfort di un ambiente domestico deve tener conto della temperatura interna dell'aria, dell'irraggiamento delle pareti e dell'aria (umidità relativa), del pericolo di condensazione superficiale interna o interstiziale. Se la temperatura delle pareti si discosta di oltre 3°C da quella dell'aria, si avverte un disagio fisiologico dovuto all'irraggiamento freddo o caldo proveniente da esse e si verifica formazione sulle pareti della condensa dell'umidità presente nell'aria.

Maggiore è la differenza tra temperatura dell'aria interna e temperatura esterna (situazione climatica zona F), minore è il valore di trasmittanza termica ammissibile: all'abbassarsi della temperatura esterna del sito, la dissipazione d'energia aumenterebbe; pertanto è necessario che il valore di trasmittanza venga diminuito per assicurare le condizioni di benessere interno perfetto. 

Il d.lgs. 81/2008 rende obbligatoria, per il datore di lavoro, la valutazione di ogni tipo di rischio in cui si può incorrere sul posto di lavoro. Tra questi sono compresi anche quelli legati alle condizioni microclimatiche. Nello specifico, nell'allegato IV, sono presenti indicazioni di massima che definiscono quali valori di aerazione, temperatura e umidità sono ritenuti adeguati, senza tuttavia riportare precisi limiti numerici. Il decreto, infatti, non prescrive specifici valori limite, ma raccomanda di effettuare la valutazione considerando il tipo di attività svolta dal lavoratore.

Il riferimento tecnico principale è costituito dalla norma UNI EN ISO 7730:2006 $^{36}$ , che si basa sia sul valore assunto dalla temperatura operativa  $T_{\rm o}$  (media aritmetica della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante), sia sugli indici di Fanger.

La temperatura operativa è indice della sensazione di caldo o di freddo. Gli

Norberto Tubi, La realizzazione delle murature in laterizio, Laterconsult, Roma, 1981

Norberto Tubi, Maria Pia Silvia, Federica Ditri, *Gli Edifici in pietra*, SE sistemi editoriali, Napoli, (II ed.) maggio 2009

<sup>36</sup> UNI EN ISO 7730:2006 - Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale

indici elaborati dal danese Fanger, invece, sono basati sull'equazione del bilancio termico dell'organismo che considera sia i dati analitici derivati dai parametri ambientali misurati e dall'attività svolta dal soggetto, sia valutazioni di tipo psicofisiologico: si tratta dell'indice PMV (*Voto Medio Previsto*), funzione del dispendio metabolico e del carico termico agente sul soggetto e dell'indice PPD (*Percentuale Prevedibile di Insoddisfatti*), fra loro correlati.

Per garantire il comfort termico la norma raccomanda che il PPD risulti inferiore al 10 %, cioè che non più del 10 % dei soggetti consideri l'ambiente termico come insoddisfacente. Tale condizione corrisponde ad un valore di PMV compreso tra -0,5 e +0,5. Ambienti contraddistinti da valori di PMV superiori a +0,5 sono percepiti come troppo caldi dagli occupanti, mentre ambienti in cui il PMV è inferiore a -0,5 come troppo freddi. Anche in condizioni ottimali esiste sempre una piccola percentuale di soggetti che valuta l'ambiente termico come insoddisfacente.

Tali indici consentono di valutare le condizioni di comfort per un soggetto che si trovi in un ambiente confinato e sono utilizzabili soltanto per la valutazione del comfort globale, tuttavia la norma UNI EN ISO 7730 fornisce indicazioni per valutare anche il disagio dovuto alle variazioni spaziali o locali di una o più grandezze microclimatiche.

Per ogni componente opaco presente, è stata eseguito un calcolo dei parametri termici dinamici e della prestazione igrometrica dei componenti edilizi, utilizzando un foglio di calcolo<sup>37</sup> che utilizza le norme UNI EN ISO 13786:2008<sup>38</sup> e UNI EN ISO 13788:2013<sup>39</sup>.

La norma UNI EN ISO 13786:2008 specifica le caratteristiche legate al comportamento termico dinamico di un componente edilizio completo. Le caratteristiche termiche di un componente in regime dinamico descrivono il suo

comportamento termico quando è soggetto a condizioni al contorno variabili, cioè flusso termico o temperatura variabile su una o su entrambe le facce del componente. La norma UNI EN ISO 13786 considera solo condizioni al contorno sinusoidali.

Le proprietà considerate sono le ammettenze termiche e le proprietà termiche di trasmissione dinamica, che mettono in relazione un flusso termico variabile ciclicamente con variazioni cicliche di temperatura.

L'ammettenza termica (interna o esterna) correla il flusso termico a variazioni di temperatura sullo stesso lato del componente. All'ammettenza è legata la capacità termica areica (interna o esterna) che quantifica la proprietà di accumulo termico del componente.

Le proprietà termiche di trasmissione dinamica (trasmittanza termica periodica, fattore di attenuazione) correlano le grandezze fisiche relative ad una faccia del componente con quelle relative alla faccia opposta.

Le caratteristiche termiche dinamiche definite in questa norma possono essere usate nelle specifiche di prodotto di componenti edilizi completi. Esse possono anche essere usate nel calcolo della temperatura interna di un ambiente, del carico di picco giornaliero, dei fabbisogni energetici di riscaldamento o raffrescamento, degli effetti del riscaldamento o del raffrescamento intermittente.

La norma UNI EN ISO 13788:2013 definisce il metodo da seguire per la determinazione della temperatura superficiale interna minima dei componenti edilizi. Rimanendo al di sopra di tale valore è possibile evitare la crescita di muffe, a patto di rimanere al di sotto di determinate percentuali di umidità relativa. Tale norma definisce inoltre il metodo per la previsione del rischio di altri problemi di condensazione superficiale e per la valutazione del rischio di condensazione interstiziale dovuta alla diffusione del vapore acqueo. Oltre alla definizione delle condizioni da utilizzare nei calcoli, viene anche assunto che l'umidità da costruzione presente nelle strutture si sia asciugata completamente, e non siano presenti altri fenomeni fisici quali risalita capillare, variazione con l'umidità dei parametri, termofisica, ecc.

Foglio di calcolo creato dal professore Vincenzo Corrado, con il Dipartimento Energia "Galileo Ferraris" DENERG del Politecnico di Torino.

<sup>38</sup> Con titolo "Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo"

<sup>39</sup> Con titolo "Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo"

I dati di ingresso da specificare sono stati i seguenti:

· tipo di componente

e per ogni componente:

- spessore (s);
- massa volumica (ρ);
- fattore di resistenza al vapore (μ);
- calore specifico (c);
- conducibilità termica (λ) oppure resistenza termica (R).



Fig. 3.29 - Muratura portante in pietra - prospetto Sud (fotografia degli autori)

# INVOLUCRO OPACO VERTICALE

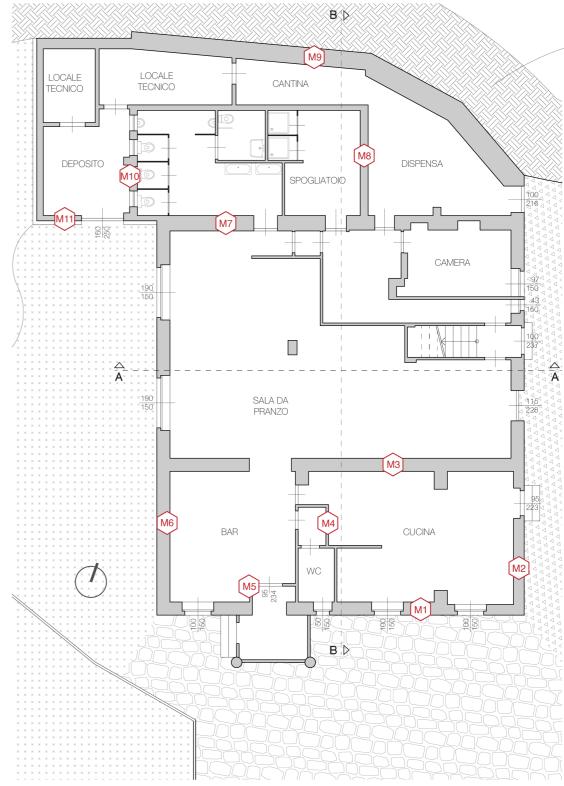


Fig. 3.30 - Pianta Piano Terra con individuazione dell'abaco dei componenti edilizi opachi

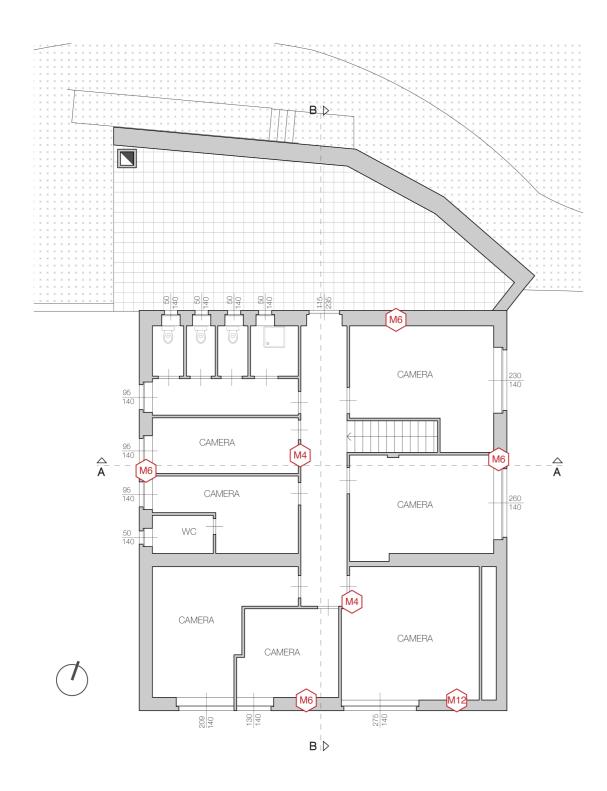


Fig. 3.31 - Pianta Piano Primo con individuazione dell'abaco dei componenti edilizi opachi

CODICE	DESCRIZIONE	SPESSORE s	TRA SMITTANZA TERMICA U	MASSA SUPERFICIALE m	SFA SA MENTO φ	TRA SMITTANZA TERMICA PERIODICA Yie
		cm	W/(m²K)	kg/m <sup>2</sup>	h	W/(m²K)
M1	Muro estemo - cucina	50	2.227	1329	10.1	0.257
M2	Muro estemo - cucina	40	2.522	1059	9.0	0.390
M3	Tramezzatura cucina - sala	50	1.175	1239	12.2	0.041
M4	Tramezzatura interna	10	2.190	128	3.4	1.751
M5	Muri bussola legno	10	0.997	45	5.5	0.654
M6	Muro estemo - bar	50	1.341	1260	11.5	0.085
M7	Tramezzatura sala - bagno	58	1.119	1455	13.9	0.023
M8	Tramezzatura spogliatoio - dispensa	30	1.113	356	10.7	0.262
M9	Muro controterra cantina	65	0.785	914	22.7	0.014
M 10	Tramezzatura bagno - deposito	30	2.305	789	7.8	0.397
M11	Muro deposito - estemo	25	3.316	675	6.0	1.189
M 12	Muro camere - esterno	40	1.443	990	9.5	0.175

Tab 3.4 - Abaco delle murature ante-intervento

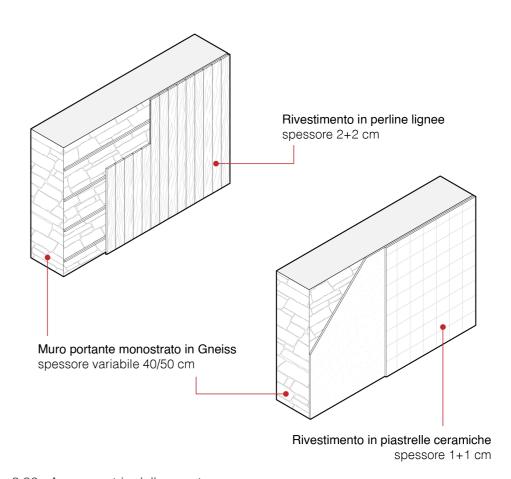


Fig. 3.32 - Assonometria delle murature

MATERIALE	Massa volumica	Calore specifico	Conduttività termica		
WATERIALE	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kgK]	[W/mK]		
Gneiss	2700	840	1.9		

Tab 3.5 - Dati tecnici della pietra

### INVOLUCRO OPACO ORIZZONTALE

Come per le partizioni verticali, anche i solai non presentano accorgimenti per quanto riguarda l'isolamento termico, a esclusione del terrazzo esterno sopra la cantina (S3), realizzato nel settembre 2020.

Il solaio S4, composto da un tavolato ligneo, è posizionato solamente nella porzione di corridoio centrale di distribuzione alle camere del Piano Primo. Queste ultime, confinano superiormente, verso l'esterno, con il solaio S5 (solaio copertura).

La copertura, composta semplicemente da un pannello di legno compensato e una lamiera di rivestimento, risulta essere una superficie con dispersioni molto elevate verso l'ambiente esterno.

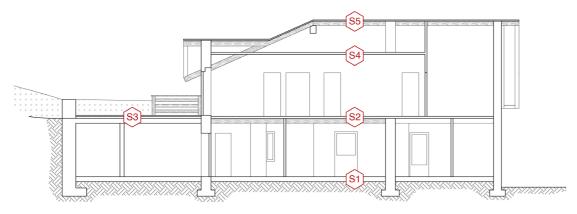


Fig. 3.33 - Sezione B-B con individuazione dei componenti edilizi orizzontali opachi

CODICE	DESCRIZIONE	SPESSORE s	TRA SMITTANZA TERMICA U	MASSA SUPERFICIALE m	SFA SAMENTO $\phi$	TRA SMITTANZA TERMICA PERIODICA Yie
		cm	W/(m²K)	kg/m²	h	W/(m <sup>2</sup> K)
S1	Solaio di terra	27	2.111	528	8.10	0.700
52	Solaio PT - P1	13	2.138	187	4.50	1.421
S3	Solaio centrale termica - terrazzo	42	0.389	609	15.20	0.021
54	Solaio corridoio camere - sottotetto	3	1.961	14	0.74	1.940
S5	Solaio di copertura	10	1.219	62	3.20	1.050

Tab 3.6 - Abaco dei componenti edilizi orizzontali opachi ante-intervento

### INVOLUCRO TRASPARENTE

Durante l'analisi dei componenti trasparenti è emerso che la maggior parte degli infissi, sia porte vetrate che finestre, sono costituiti da un telaio in legno con vetro singolo. Come conseguenza del fatto che sono stati messi in opera da più di 50 anni, i telai in legno risultano essere in cattivo stato di conservazione. A questa condizione hanno contribuito, oltre all'età, le severe condizioni climatiche dell'ambiente esterno e la tenuta all'aria molto bassa<sup>40</sup>. Quasi tutti i serramenti possiedono un sistema di oscuramento esterno in legno e acciaio. Le porte verso l'esterno presenti nel rifugio sono principalmente di tre tipologie: legno, metallo e legno e vetro singolo. Sono anch'esse in condizioni mediocri e presentano una scarsa tenuta all'aria. Sia le porte che le finestre verso l'esterno e verso gli ambienti non climatizzati non rispettano i requisiti minimi, imposti dallo Stato, in ambito di trasmittanze termiche.<sup>41</sup>



Fig. 3.34 - Serramenti con oscuranti - lato Sud (fotografia degli autori)

<sup>40</sup> Alta permeabilità all'aria, cioè importante quantità d'aria che attraversa il serramento in un certo periodo di tempo, abbassando il comfort interno.

<sup>41</sup> Allegato E del DM requisiti 2022.



Fig. 3.35 - Serramenti con oscuranti - lato Ovest (fotografia degli autori)



Fig. 3.36 - Porta di emergenza in sala da pranzo - lato Est (fotografia degli autori)

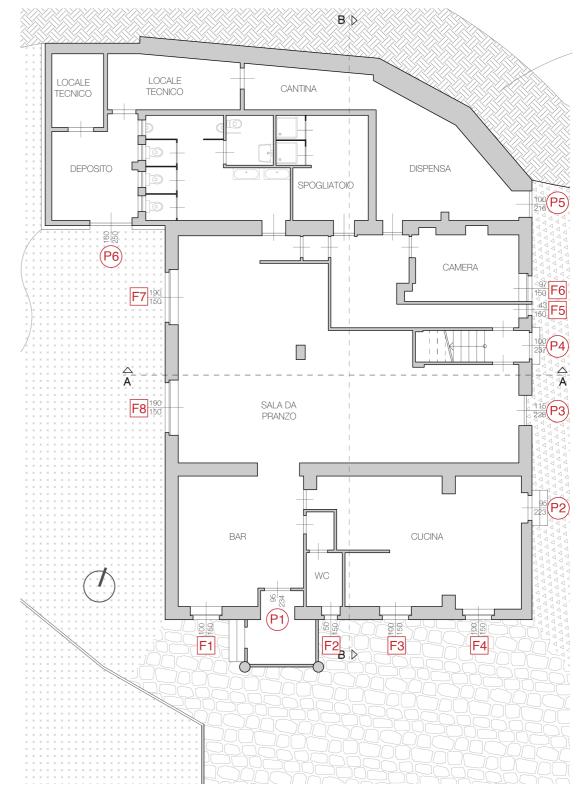


Fig. 3.37 - Pianta Piano Terra con individuazione dell'abaco dei serramenti

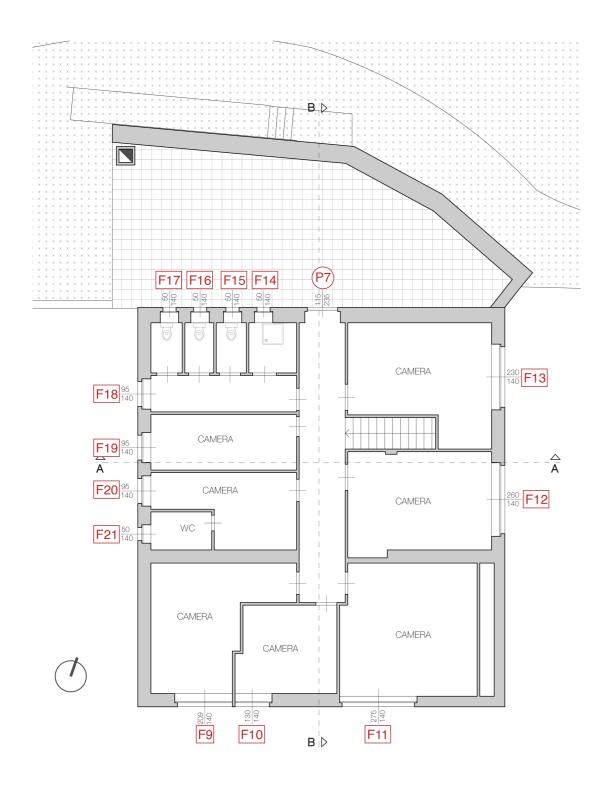


Fig. 3.38 - Pianta Piano Primo con individuazione dell'abaco dei serramenti

SERRAMENTI	L	Н	Ag	A <sub>f</sub>	Ug	U <sub>f</sub>	U <sub>w</sub>	U <sub>w+shut</sub>
finestre	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m²]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
F1	1.00	1.50	0.98	0.52	5.80	2.00	4.48	2.26
F2	0.50	1.50	0.49	0.26	5.80	2.00	4.47	2.25
F3	1.00	1.50	0.98	0.52	5.80	2.00	4.48	2.26
F4	1.00	1.50	0.98	0.52	5.80	2.00	4.48	2.26
F5	0.43	1.50	0.45	0.20	5.80	2.00	4.62	2.29
F6	0.97	1.50	1.10	0.36	5.80	2.00	4.87	2.35
F7	1.90	1.50	1.37	1.48	3.40	2.00	2.67	1.68
F8	1.90	1.50	1.37	1.48	3.40	2.00	2.67	1.68
F9	2.09	1.40	1.79	1.14	5.80	2.00	4.32	2.21
F10	1.30	1.40	1.29	0.53	5.80	2.00	4.69	2.31
F11	2.75	1.40	2.46	1.39	5.80	2.00	4.42	2.24
F12	2.60	1.40	2.23	1.41	5.80	2.00	4.33	2.22
F13	2.30	1.40	1.86	1.36	5.80	2.00	4.20	2.18
F14	0.50	1.40	0.42	0.28	5.80	2.00	4.29	2.21
F15	0.50	1.40	0.42	0.28	5.80	2.00	4.29	2.21
F16	0.50	1.40	0.42	0.28	5.80	2.00	4.29	2.21
F17	0.50	1.40	0.42	0.28	5.80	2.00	4.29	2.21
F18	0.95	1.40	0.87	0.46	5.80	2.00	4.48	2.26
F19	0.95	1.40	0.87	0.46	5.80	2.00	4.48	2.26
F20	0.95	1.40	0.87	0.46	5.80	2.00	4.48	2.26
F21	0.50	1.40	0.42	0.28	5.80	2.00	4.29	2.21
				•	•	Uw media	4.27	

Tab 3.7 - Abaco dei serramenti ante-intervento | finestre

SERRAMENTI	L	Н	Ag	Af	Ug	Uf	l <sub>g</sub>	Ψд	Uw	U <sub>w+shut</sub>
porte	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m²]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[m]	[W/mK]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
P1	0.95	2.34	0.57	1.65	3.30	3.40	4.68	0.06	3.50	1.98
P2	0.95	2.23	1.23	0.89	3.30	3.40	1	1	3.34	1.93
P3	1.15	2.28	1.07	1.55	3.30	3.40	4.16	0.06	3.45	1
P4	1.00	2.37	0.32	2.06	3.30	3.40	2.62	0.06	3.45	1
P5	1.00	2.16	/	2.16	1	4.40	1	1	4.40	1
P6	1.60	2.50	/	4.00	1	6.50	1	1	6.50	1
P7	1.15	2.36	0.26	2.45	3.30	3.40	2.60	0.06	3.45	/

Tab 3.8 - Abaco dei serramenti ante-intervento | porte

I due serramenti della sala da pranzo F7 e F8 verso Ovest, risultano avere una trasmittanza notevolmente inferiore al valore medio dell'intero edificio perché sono stati posati due serramenti verso l'interno, al fine di migliorare il comfort degli ospiti. Questi ultimi possiedono un telaio in legno e un doppio vetro (4-6-4), come mostrato nella fotografia seguente.

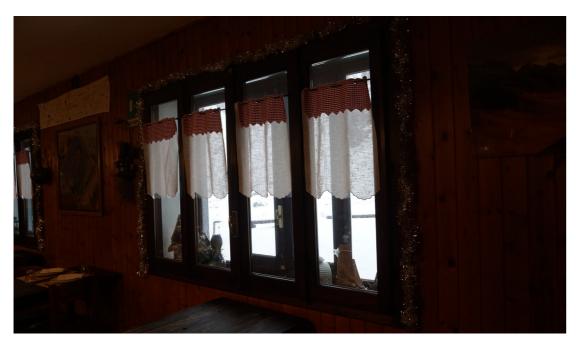


Fig. 3.39 - Serramento doppio in sala da pranzo - lato Ovest (fotografia degli autori)

Per il calcolo della trasmittanza termica del serramento  $U_w$  si è utilizzata la media pesata tra la trasmittanza termica del telaio  $U_f$  e di quella della vetrata  $U_g$ , più un contributo aggiuntivo, la trasmittanza termica lineare  $\Psi_g$ . L'assenza di documentazione tecnica dei serramenti, ha portato all'utilizzo di valori tabellari per il calcolo della trasmittanza:

- $U_{\alpha}$  vetro singolo = 5,8 W/m<sup>2</sup>K <sup>44</sup>
- U<sub>r</sub> telaio in legno media durezza = 2,0 W/m<sup>2</sup>K <sup>45</sup>

La maggior parte dei serramenti possiede una chiusura oscurante esterna che introduce una resistenza termica aggiuntiva, dovuta sia all'intercapedine d'aria racchiusa tra la chiusura oscurante e la finestra, sia alla chiusura oscurante stessa.

La resistenza termica aggiuntiva  $\Delta R$  dipende dalle proprietà di trasmissione termica della chiusura oscurante e dalla sua permeabilità all'aria. Considerando il telaio in ferro dell'oscurante ligneo, si è considerata una permeabilità media ( $\Delta R = 0.22 \text{ m}^2 \text{K/W}$ ).

## 3.5 CONSUMI ENERGETICI

### **RISCALDAMENTO**

All'interno del rifugio sono presenti due principali impianti per il riscaldamento: il piano terra viene scaldato interamente grazie all'utilizzo di una stufa a legna in ghisa, mentre il secondo piano sfrutta per il riscaldamento una stufa a pellet da 12 kW. In linea con la normativa vigente, per gli edifici che si trovano in zona climatica F non vi è alcun limite ai periodi di accensione del riscaldamento. Per questo motivo, nonostante la quantità di combustibile utilizzata sia enormemente maggiore in inverno, è possibile che, alcune occasioni, sia necessario accendere il riscaldamento anche nelle stagioni più calde.

Per l'alimentazione del piano terra, la stufa consuma circa 100000 kg di legna all'anno. Le specie legnose utilizzate sono frassino, castagno, ciliegio e faggio. Il potere calorifico inferiore<sup>47</sup> della legna da ardere viene considerato pari a 4 kWh/kg. Per riscaldare il secondo piano sono invece necessari 160 sacchi da 15 kg ognuno ogni anno. Il potere calorifico inferiore del pellet viene considerato pari a 4,8 kWh/kg.



Fig. 3.40 - Stufa a legna al Piano Terra



Fig. 3.41 - Stufa a legna al Piano Primo

Formula ricavata dalla norma UNI EN ISO 10077-1, pag. 5.

<sup>43</sup> UNI EN ISO 10077-1 estratto tab. C.2, tab. E.1.

<sup>44</sup> Manuale Tecnico Saint Gobain Vetro Italia.

<sup>45</sup> UNI EN ISO 10077-1, appendice F.

<sup>46</sup> UNI EN ISO 10077-1, tabella G.1 - Resistenza termica aggiuntiva per finestre con schermi chiusi.

Il potere calorifico superiore indica la quantità di calore che deriva dalla combustione completa, a pressione costante, della quantità di massa della sostanza utilizzata come combustibile. Il potere calorifico inferiore è definito come il potere calorifico superiore, diminuito del calore di condensazione del vapore d'acqua durante la combustione.

In entrambi i casi le stufe non sono dotate di emettitori, per cui all'interno della stessa zona termica è possibile riscontrare grandi differenze in termini di temperatura percepita a seconda della distanza dal generatore di calore. Questa situazione in generale determina una condizione di discomfort a causa della percezione non uniforme del calore all'interno dello stesso ambiente.

# ACQUA CALDA SANITARIA (ACS)

Per la produzione di acqua calda sanitaria il rifugio utilizza il GPL fornitogli dall'azienda ButanGas. Utilizzando i dati ricavati dalla lettura delle bollette degli ultimi anni è stato possibile risalire ad un valore annuale medio di consumo di combustibile, oltre che di acqua calda sanitaria prodotta.

I valori forniti in bolletta sono espressi in metri cubi m³, per cui è stato necessario convertire i consumi in chilowattora considerando che il potere calorifico del GPL è pari a 12,80 kWh al m³. Si è ipotizzato che la temperatura dell'acqua che entra nell'impianto sia pari a 8°C, e che debba raggiungere i 55°C, sapendo che per scaldare 1 litro di acqua di 1°C servono 1,16 Wh. Da questi dati di partenza è stato possibile risalire al quantitativo, espresso in litri, di acqua calda sanitaria prodotta mediamente ogni stagione e ogni mese dell'anno.

GPL - VALORI MEDI					
Periodo	Consumi [m³] Consumi [kWh] ACS prodotta [l]				
Primavera	152	1894	34747		
Estate	148	3593	65894		
Autunno	281	3076	56425		
Inverno	240	1950	35764		
Anno	205	2628	48207		

Tab 3.9 - GPL valori medi stagionali

GPL				
Periodo	Consumi [m³]	Consumi [kWh]	ACS prodotta [I]	
Gennaio	179	2291	42025	
Febbraio	197	2522	46251	
Marzo	196	2509	46016	
Aprile	145	1856	34043	
Maggio	116	1485	27234	
Giugno	115	1472	26999	
Luglio	119	1523	27938	
Agosto	210	2688	49303	
Settembre	297	3802	69729	
Ottobre	254	3251	59633	
Novembre	291	3725	68320	
Dicembre	345	4416	80998	

Tab 3.10 - GPL valori medi mensili

# ASSORBIMENTI ELETTRICI

Come per la fornitura di GPL, l'azienda fornitrice di elettricità è ButanGas. Utilizzando i dati ricavati dalla lettura delle bollette degli ultimi anni è stato possibile risalire ad un valore annuale medio di consumo di elettricità e di un valore medio mensile.

ELETTRICITA'				
Periodo	Consumi [kWh]	Consumi giornalieri medi [kWh]		
Gennaio	3969	128		
Febbraio	3689	132		
Marzo	2865	92		
Aprile	2251	75		
Maggio	2370	76		
Giugno	2144	71		
Luglio	3527	114		
Agosto	4564	147		
Settembre	4571	152		
Ottobre	3066	99		
Novembre	3226	108		
Dicembre	2760	89		
Anno	3250	107		

Tab 3.11 - Elettricità - valori medi mensili

L'assorbimento elettrico è la quantità di energia che un dispositivo assorbe in un momento specifico del suo funzionamento. Con il fine di dimensionare un eventuale impianto fotovoltaico sono stati ipotizzati i consumi legati alle esigenze e abitudini attuali. Dato che i consumi variano notevolmente con la stagionalità, si è deciso di approfondire due profili di consumi: uno estivo ed uno invernale, ognuno caratterizzato da necessità e affluenze di visitatori differenti. Oltre a ciò, per entrambi i profili, si è ritenuto utile definire un "profilo basso" e un "profilo alto" per ogni periodo. Questa scelta è dovuta al fatto che l'affluenza nei fine settimana risulta essere molto maggiore di quella a cui si assiste nei giorni infrasettimanali, e per questo motivo si determinano grandi differenze anche in termini di consumi elettrici. Inoltre, il periodo estivo ha consumi tendenzialmente maggiori perché la struttura può essere raggiunta direttamente in macchina, grazie all'apertura della strada che raggiunge il Pian della Mussa, che determina un importante aumento di frequentatori del rifugio.

	Assorbimenti elettrodomestici					
		Ore giornaliere [h]				
Elettrodomestico	Carico [kW]	Esta		Inverno		
		Profilo basso	Profilo alto	Profilo basso	Profilo alto	
Forno 1	3.3	1	5	1	4	
Forno 2	2.0	0.5	4	0.5	2.5	
Cappa aspirante	0.4	2	8	2	6	
Lavapiatti	1.3	1	6	1	3.3	
Abbattitore	3.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
Microonde 1	1.1	0.1	0.3	0.3	0.3	
Microonde 2	1.1	0	0.3	0	0.3	
Affettatrice trifase	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	
Frigo 1	0.6	24	24	24	24	
Frigo 2	0.6	24	24	24	24	
Frigo 3	0.4	24	24	24	24	
Frigo 4	0.4	24	24	24	24	
Frigo 5	0.9	24	24	0	0	
Frigo 6	0.9	24	24	0	0	
Macchina caffè	1.0	1.5	1.5	1.5	6	
Lavabicchieri	1.5	0.5	6	0.5	6	
Macina	0.7	0.3	0.3	0.3	0.5	
Spillatrice	0.4	1	3	1	1.5	
Caldaia	0.2	0	2.4	24	24	
Lavatrice	1.0	1	2	1	2	

Tab 3.12 - Assorbimenti degli elettrodomestici

	Assorbimenti lampadine								
		Carico	Numero di C	Carico totale	Ore giornaliere [h]				
Pos	Posizionamento Apparecchio					Estate		Inverno	
				apa re cchi	[kW]	Profilo basso	Profilo alto	Profilo bass o	Profilo alto
		Lampadina 1	0.010	18	0.180	4	5	6.5	9.5
Dinne	Piano Aree principali	Lampadina 2	0.034	5	0.170	4.5	6	7.5	10.5
Terra		Lampadina 3	0.020	2	0.040	4	5	6.5	9.5
	Aree s econdarie	Lampadina 1	0.010	9	0.090	0.2	0.2	0.2	0.2
	Aree's economie	Lampadina 2	0.034	1	0.034	0.2	0.2	0.2	0.2
Dinno	Piano Aree principali	Lampadina 2	0.034	1	0.034	4	5	6.5	9.5
Primo		Lampadina 3	0.020	3	0.080	4	5	6.5	9.5
Frimo	Aree s econdarie	Lampadina 1	0.010	18	0.180	0.2	0.5	1	1

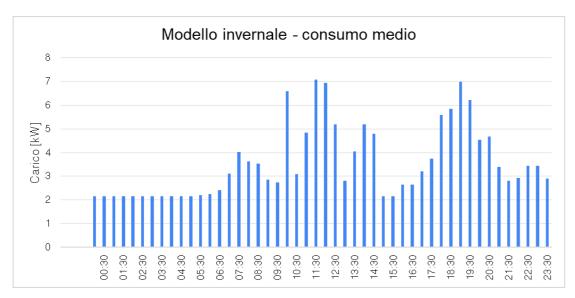
Tab 3.13 - Assorbimenti delle lampadine

In termini generali, l'attività del rifugio è concentrata, a partire dalla prima mattina, nelle ore centrali della giornata. Per questo motivo i consumi energetici iniziano presto al mattino e continuano fino al pomeriggio. La sera invece, oltre che per le eventuali cene servite agli ospiti, meno frequentate dei pranzi, i consumi sono attribuibili alla sistemazione e alla preparazione del necessario per l'accoglienza degli avventori nella giornata successiva. In tal senso si è ipotizzato un modello di consumo giornaliero, differenziato in primo luogo in base alla stagione, e successivamente a seconda che si tratti di una giornata ad alta o bassa affluenza.

Dai grafici si evidenzia un consumo energetico maggiore durante l'orario dei pasti, generalizzato per tutto l'anno, ma è anche possibile notare come i consumi elettrici estivi siano maggiori rispetto a quelli invernali.



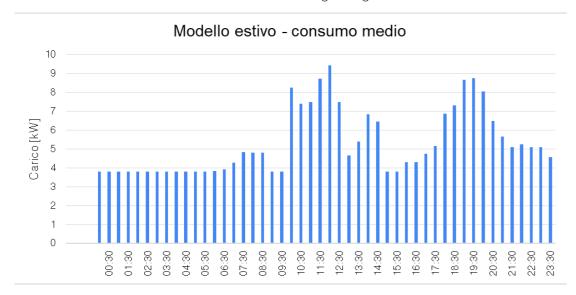
Tab 3.42 - Confronto tra alto e basso consumo energetico giornaliero - modello invernale



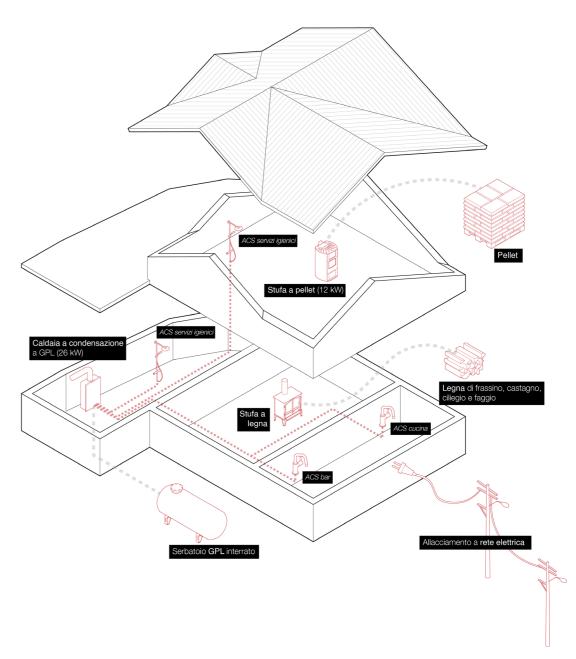
Tab 3.43 - Consumo energetico medio giornaliero - modello invernale



Tab 3.44 - Confronto tra alto e basso consumo energetico giornaliero - modello estivo



Tab 3.45 - Consumo energetico medio giornaliero - modello estivo



Tab 3.46 - Schema assonometrico con combustibili

# 04 / Monitoraggi ambiental

4 4	A	مانده معاناه
4.1	Acquisitori	ciimatic

4.2 Rilevazioni sul caso studio

# 04/ Monitoraggio ambientale

# 4.1 ACQUISITORI CLIMATICI

Per comprendere in maniera dettagliata il microclima<sup>48</sup> proprio del rifugio Città di Ciriè è stato necessario procedere con la misurazione in loco di temperatura e umidità relativa dell'aria.

Tali misurazioni sono state registrate e archiviate utilizzando degli specifici dispositivi di monitoraggio ambientale. Nello specifico, sono stati utilizzati nove mini-datalogger di marca Testo, forniti dal Dipartimento ENERGIA "Galileo Ferraris" (DENERG). Il modello utilizzato nelle misurazioni, il mini-datalogger Testo 174H, è dotato di sensori interni che misurano temperatura e umidità dell'aria. Il sensore di umidità è un sensore capacitivo e presenta una precisione sino a ±3 %U<sub>rel</sub>, mentre il sensore di temperatura NCT ha una precisione di ±0,5 °C e copre una fascia compresa tra -20 e +70 °C. Sul display del dispositivo è possibile leggere in maniera istantanea i valori correnti che vengono rilevati e le possibili violazioni dei valori limite. All'interno del mini-datalogger Testo 174H

Con il termine *microclima* si fa riferimento al complesso dei parametri ambientali di temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria, che condizionano lo scambio termico tra individuo e ambiente. Esso influisce in maniera significativa sulla qualità degli ambienti in cui si vive e si lavora e quindi sul benessere delle persone.

è possibile archiviare fino a sedicimila valori registrati.





DATI	TECNICI GENERALI		
Peso	34 g		
Dimensioni	60 x 38 x 18,5 mm		
Temperatura di lavoro	-20 a +70 °C		
Materiale custodia	Plastica		
Classe di protezione	IP20		
Canali	2 interno		
Colore prodotto	nero		
Norme	2011/65/EU; Direttiva UE 2014/30/UE		
Frequenza di misura	1 min - 24 h		
Tipo batteria	2 x batteria a bottone (3 V, CR 2032)		
Durata batteria	1 anno (ciclo di misura di 15 min. +25 °C)		
Memoria	16.000 valori di misura		
Temperatura di stoccaggio  -40 a +70 °C			
	•		
TEMPERATURA - NTC			
Campo di misura	-20 a +70 °C		
Precisione	±0,5 °C (-20 a +70 °C)		
Risoluzione	0,1 °C		
UMIDITA' - capacitivo			
Campo di misura	0 a 100 %UR		
Precisione	±3 %UR (2 a +98 %UR) at +25 °C		
Risoluzione	±0,03 %UR/K ±1 Digit		
Risuluzione	0,1 %UR		

Tab 4.1 - Dati tecnici dei rilevatori mini-datalogger Testo 174H

Per la memorizzazione e per l'analisi dei dati misurati, e per la configurazione dei rilevatori è stato utilizzato il software *Testo Comfort Software Basic 5*. Prima di effettuare le misurazioni è stato necessario utilizzare il programma per configurare i mini-datalogger secondo le modalità di rilevazione desiderate. Nello specifico, per ottenere un quadro climatico dettagliato del periodo preso in esame, è stato impostato un intervallo di tempo tra una misurazione e l'altra pari a 15 minuti. Una volta concluso il periodo di rilevazione, attraverso questo programma è possibile visualizzare i valori rilevati, che vengono presentati sia

in forma grafica che in forma tabellare, per poi procedere con le successive analisi.

I rilevatori sono stati posizionati all'interno dell'edificio in modo da ottenere dati rappresentativi di ogni zona climatica riscaldata interna. Negli spazi privati e accessibili solo al personale del rifugio i mini-datalogger sono stati posizionati a circa 150 cm da terra, mentre per le zone adibite a bar, sala da pranzo e nei servizi igienici sono stati posizionati quasi all'altezza del soffitto, per evitare possibili furti manipolazioni da parte degli ospiti. Per quanto questa modalità potrebbe aver comportato un lieve sfasamento dei dati rilevati rispetto ai dati reali, a causa dello stazionamento dell'aria calda nella parte alta degli ambienti, tale scelta è stata considerata operativamente necessaria.

I rilevatori sono stati posizionati nei seguenti luoghi:

- A. Piano Terra, lungo la parete esterna in una nicchia a Nord, al fine di acquisire le temperature esterne più rigide.
- B. Piano Terra, nella zona bar, in prossimità della bussola di ingresso, dove si verificano numerose aperture verso l'esterno.
- <u>C</u>. Piano Terra, nella zona bar, alle spalle del bancone, dove il personale lavora per un prolungato periodo della giornata.
- <u>D</u>. Piano Terra, nella zona a Nord-Est della sala da pranzo, alle spalle della stufa a legna.
- E. Piano Terra, nella zona a Nord-Ovest della sala da pranzo, in prossimità della stufa a legna ma anche della porta dei servizi igienici non riscaldati.
- F. Piano Terra, in cucina.
- G. Piano Terra, in cucina, in prossimità della zona cottura.
- H. Piano Primo, nella camera da letto a Nord, non riscaldata, come tutte le camere da letto.
- I. Piano Primo, nella porzione a Nord del corridoio che porta alle camere da letto.
- J. Piano Primo, nella porzione a Sud del corridoio che porta alle camere da letto, di fronte alla stufa a pellet
- K. Piano Terra, nella zona servizi igienici comuni, non riscaldata.

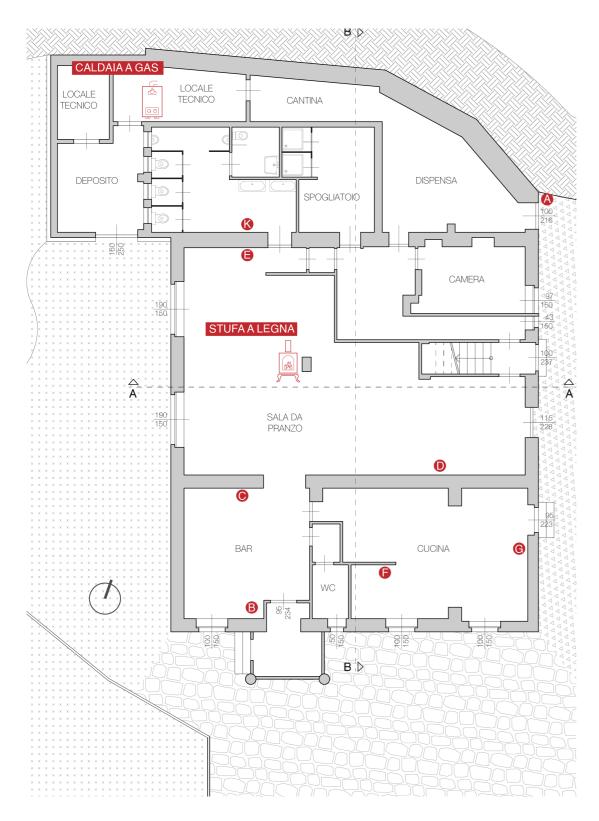


Fig. 4.2 - Pianta Piano Terra - posizionamento dei rilevatori

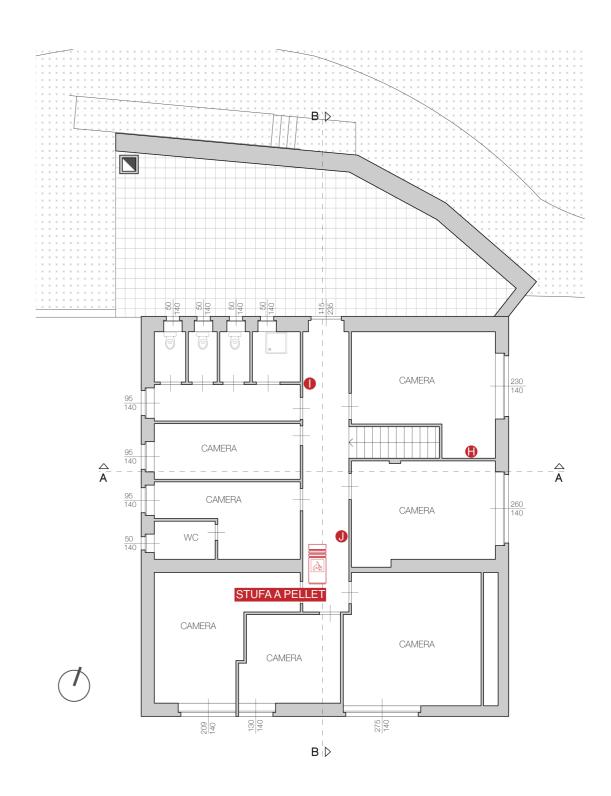


Fig. 4.3 - Pianta Piano Primo - posizionamento dei rilevatori



Fig. 4.4 - Posizionamento del rilevatore D sulla trave ribassata della sala da pranzo al PT



Fig. 4.5 - Posizionamento del rilevatore F sulla canalina elettrica in cucina al PT





Fig. 4.6 - Posizionamento del rilevatore K sulla canalina elettrica nei servizi igenici al PT

# 4.2 RILEVAZIONI SUL CASO STUDIO

Per analizzare le variazioni di temperatura e umidità relativa interne al rifugio si è deciso di suddividere i risultati in base alle zone termiche che sono state definite all'interno dell'edificio. La fase di rilevazione ha una durata complessiva compresa tra il 23 dicembre 2022 ed il 16 marzo 2023. Il periodo di misurazione totale è quindi di 83 giorni e si fa riferimento alla stagione invernale, che è anche la stagione più critica per quanto riguarda il raggiungimento del comfort interno all'edificio.

Per fornire una visione critica del microclima interno al rifugio è stato necessario confrontare i dati raccolti con i valori forniti dal Ministero della Salute e considerati come ottimali. Tali valori corrispondono alle condizioni microclimatiche ottimali di un ambiente, per attività fisica moderata (sedentaria), abbigliamento adeguato e in assenza di irraggiamento, in cui la maggioranza degli occupanti, si trova in una condizione di benessere termico.

Condizioni microclimatiche ottimali				
Stagione   Temperatura dell'aria [°C]   Umidità relativa [%]				
Inverno	19 - 22 °C	40 - 50 %		
Estate	24 - 26 °C	50 - 60 %		

Tab 4.2 - Condizioni microclimatice ottimali dell'ambiente interno

Sulla base del fatto che la rilevazione negli ambienti del rifugio è stata fatta durante la stagione più fredda, e che, essendo in montagna, il periodo estivo difficilmente è causa di situazioni di discomfort continuativo, le analisi fanno riferimento esclusivamente alla stagione invernale.

Ciò che emerge dalle misurazioni è una condizione di forte criticità in quanto, nell'intero periodo di analisi, le misurazioni sono risultate all'interno del range di valori ottimali solo nel 14% dei casi per la temperatura, e nel 27% dei casi per l'umidità. Per quanto tali condizioni siano tipiche dei rifugi alpini a causa della rigidità del clima in cui sono collocati, i dati registrati si attestano comunque su valori molto bassi. Risulta particolarmente critica la situazione della zona climatica 3, in cui durante l'intero periodo di registrazione la temperatura non ha mai raggiunto i valori ottimali.

Soddisfazione standard termoigrometrici [%]				
Zone termiche	Temperatura	Umidità relativa		
Zone termiche	19 - 22°C	40 - 50%		
Zona 1	16%	23%		
Zona 2	22%	29%		
Zona 3	0%	25%		
Zona 5	16%	30%		
GLOBALE	14%	27%		

Tab 4.3 - Percentuale di raggiungimento del comfort termoigrometrico nelle zone termiche definite per il Rifugio

Condizioni microclimatiche medie				
Zone termiche	Temperatura media [°C]	Umidità relativa media [%]		
Zona 1	17.1	41.5		
Zona 2	16.7	39.9		
Zona 3	10.2	56.9		
Zona 5	15.2	36.9		
GLOBALE	14.8	43.8		

Tab 4.4 - Valori medi di temperatura e umidità nelle zone termiche definite per il Rifugio

Per meglio specificare la situazione interna al rifugio e la evidente differenza tra gli ambienti a differente destinazione s'uso, sono riportare di seguito le analisi effettuate su ogni zona termica, sottolineando la frequenza di rilevazione dei valori di temperatura e umidità, e la loro correlazione.

### **ZONA 1**

Con zona 1 si fa riferimento alla cucina e agli ambienti ad essa adiacenti. Si trova al piano terra ed è priva di sistemi di riscaldamento, ma al suo interno sono presenti tutti gli elettrodomestici necessari alla cottura e alla preparazione del cibo, che sono fonti sia di calore che di umidità. All'interno della zona 1 sono presenti due rilevatori, il rilevatore F ed il rilevatore G.

La zona, esposta a sud, presenta una temperatura media stagionale pari a 17,15°C ed un'umidità relativa media stagionale pari al 41,46%. Le condizioni ottimali di benessere termoigrometrico vengono soddisfatte nel 16% dei casi per la temperatura e nel 23% dei casi per l'umidità relativa.

Dalla correlazione tra temperatura e umidità emerge, anche se si tratta di

grafici che presentano un'elevata dispersione dei valori rispetto alla linea di tendenza, che all'aumentare della temperatura aumenta anche l'umidità relativa ambientale. È possibile notare, tuttavia, che tale fenomeno è maggiormente accentuato per il rilevatore F, che si trova in prossimità dei lavandini. Una possibile causa di questo fenomeno risiede nel fatto che per la preparazione degli alimenti è spesso necessario fornire calore, ma questi processi prevedono conseguentemente anche un rilascio di vapore acqueo in ambiente. Questo viene accentuato per il rilevatore F, che rileva un quantitativo maggiore di umidità nei pressi dei lavandini.

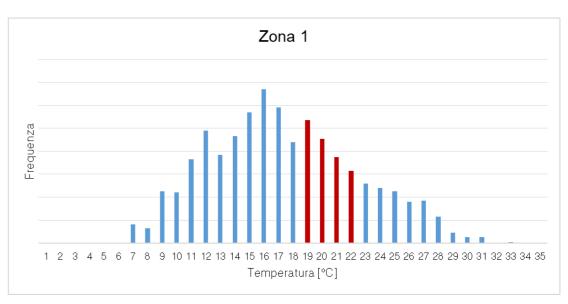


Fig. 4.7 - Zona termica 1 - frequenza di rilevazione dei valori di temperatura

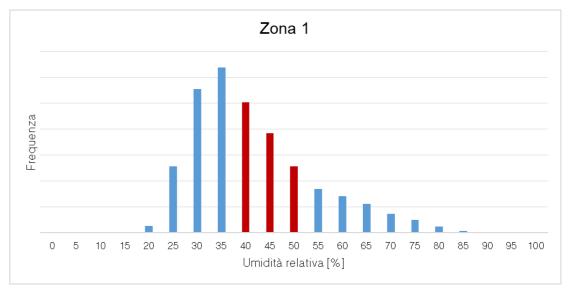


Fig. 4.8 - Zona termica 1 - frequenza di rilevazione dei valori di umidità relativa

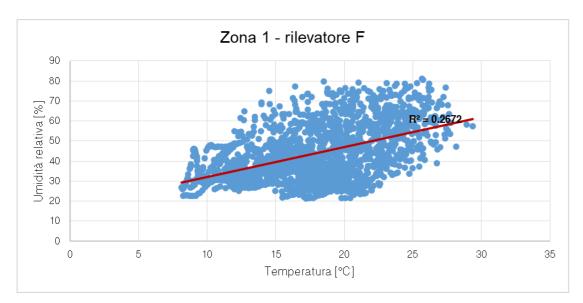


Fig. 4.9 - Zona termica 1 - dispersione dei dati di temperatura e umidità relativa del rilevatore F

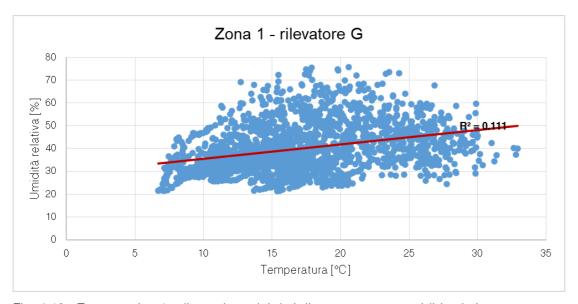


Fig. 4.10 - Zona termica 1 - dispersione dei dati di temperatura e umidità relativa del rilevatore G

### ZONA 2

Con zona 2 si fa riferimento alla sala da pranzo, posizionata al centro del piano terra, e alla zona bar, che si trova all'ingresso del rifugio. Entrambi gli ambienti vengono riscaldati tramite una stufa in ghisa, alimentata a legna e posizionata al centro della sala da pranzo. All'interno della zona 2 sono presenti quattro rilevatori: B, C, D ed E. Rispetto ad altre zone termiche dell'edificio, questi ambienti vengono utilizzati durante l'intero arco della giornata, e per questo motivo le variazioni di temperatura interna risultano essere più contenute.

La zona, esposta a sud-ovest, presenta una temperatura media stagionale pari a 16,72°C ed un'umidità relativa media stagionale pari al 39,89%. Le condizioni ottimali di benessere termoigrometrico vengono soddisfatte nel 22% dei casi per la temperatura e nel 29% dei casi per l'umidità relativa.

Dalla correlazione tra temperatura e umidità emerge chiaramente come all'aumentare della temperatura aumenti anche l'umidità relativa ambientale. Una possibile causa di questo fenomeno risiede nel fatto che tale zona è quella più frequentata dagli ospiti del rifugio. In caso di un elevato numero di occupanti in ambiente, vi è un conseguente aumento della temperatura interna e del vapore acque in aria a causa delle attività metaboliche del corpo umano. Questa situazione può essere causa di discomfort anche in quanto, senza un'adeguata ventilazione, la qualità dell'aria diminuisce fortemente all'aumentare del numero di persone presenti. Tutti i rilevatori presenti nella zona 2 hanno riportato risultati confrontabili.

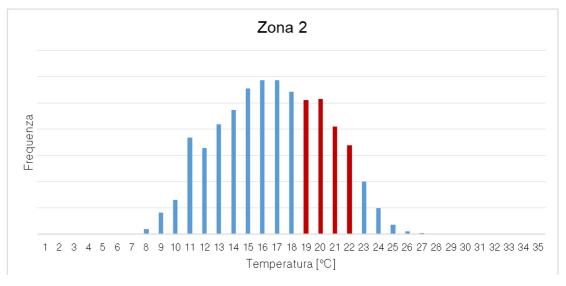


Fig. 4.11 - Zona termica 2 - frequenza di rilevazione dei valori di temperatura

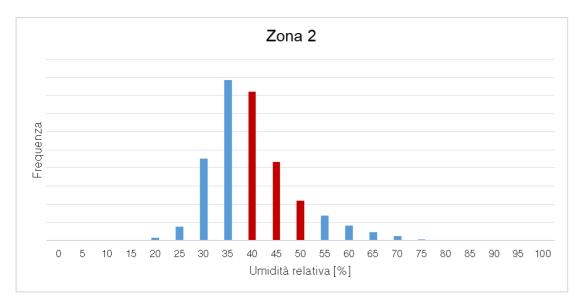


Fig. 4.12 - Zona termica 2 - frequenza di rilevazione dei valori di umidità relativa

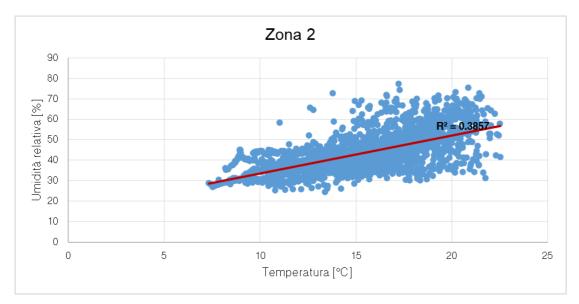


Fig. 4.13 - Zona termica 2 - dispersione media dei dati di temperatura e umidità relativa

# ZONA 3

Con zona 3 si fa riferimento all'ambiente dei bagni, che contengono docce, lavandini e sanitari. La zona si trova al piano terra, non ha collegamenti con l'ambiente esterno e confina con la sala da pranzo riscaldata (zona 2) e con le cantine ed il deposito (zona 4), che sono ambienti non riscaldati. All'interno non sono presenti impianti di riscaldamento o deumidificazione, e per questo motivo, sommato al fatto che non sono presenti collegamenti con l'esterno, la temperatura si assesta su valori decisamente bassi, compresi tra gli 8 ed i 15°C, rilevati dal solo rilevatore K. Le variazioni delle condizioni esterne risultano essere quasi ininfluenti rispetto ai valori interni, che si mantengono pressoché costanti durante la giornata. Da ciò emerge come la zona 3 sia l'ambiente ad uso abitativo più freddo e umido dell'edificio.

La zona presenta una temperatura media stagionale pari a 10,25°C ed un'umidità relativa media stagionale pari al 56,92%. Le condizioni ottimali di benessere termoigrometrico non vengono mai soddisfatte per la temperatura (0%), mentre raggiungono il 29% dei casi per l'umidità relativa.

Dalla correlazione tra temperatura e umidità emerge la chiara tendenza che all'aumentare della temperatura aumenta anche l'umidità relativa ambientale. Questo può essere dovuto al fatto che, quando all'interno di questa zona si sfrutta il servizio delle docce, l'acqua calda contemporaneamente riscaldi e umidifichi l'ambiente.

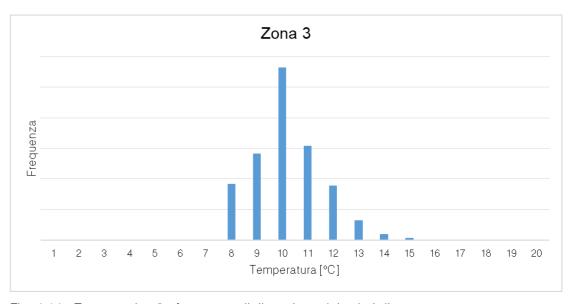


Fig. 4.14 - Zona termica 3 - frequenza di rilevazione dei valori di temperatura

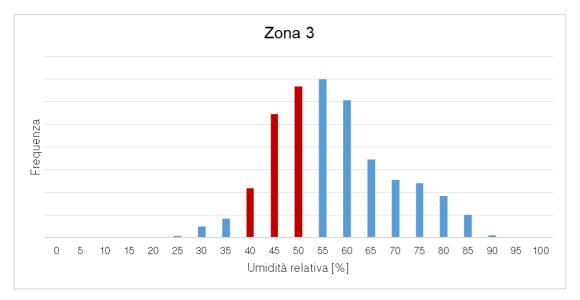


Fig. 4.15 - Zona termica 3 - frequenza di rilevazione dei valori di umidità relativa

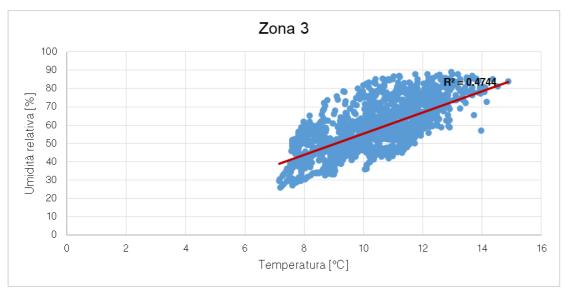


Fig. 4.16 - Zona termica 3 - dispersione media dei dati di temperatura e umidità relativa

# **ZONA 4**

All'interno della zona 4 non sono stati posizionati rilevatori in quanto si tratta di ambienti che non hanno uso abitativo, ma hanno solo funzione di cantina e deposito.

### ZONA 5

Con zona 5 si fa riferimento all'intero primo piano, che contiene le camere del personale, degli ospiti e un bagno. L'intero piano viene riscaldato da una stufa a pellet da 12 kW posizionata nel corridoio. All'interno della zona 5 sono stati posizionati tre rilevatori: il rilevatore J si trova in corridoio, in prossimità della stufa; il rilevatore I si trova anch'esso in corridoio, ma in prossimità della porta di uscita (P7) del terrazzo; infine il rilevatore H si trova nella camera più fredda, in quanto la lontana dall'impianto di riscaldamento ed esposta a nord.

La zona presenta una temperatura media stagionale pari a 15,17°C ed un'umidità relativa media stagionale pari al 36,90%. Le condizioni ottimali di benessere termoigrometrico vengono soddisfatte nel 16% dei casi per la temperatura e nel 30% dei casi per l'umidità relativa. Dalla correlazione tra temperatura e umidità emergono valori che quasi costanti, nonostante l'elevata dispersione rispetto alla linea di tendenza. L'umidità, che presenta il valore medio più basso tra le zone analizzate, non subisce particolari incrementi all'aumentare della temperatura. Al contrario, è possibile osservare che, con l'aumento della temperatura, si assista, per due rilevatori su tre, ad un leggero decremento dell'umidità relativa. All'interno di questa zona termica è tuttavia necessario sottolineare una marcata differenza tra i valori rilevati dal rilevatore J, vicino alla stufa, e dal rilevatore H, nella camera più fredda del piano.

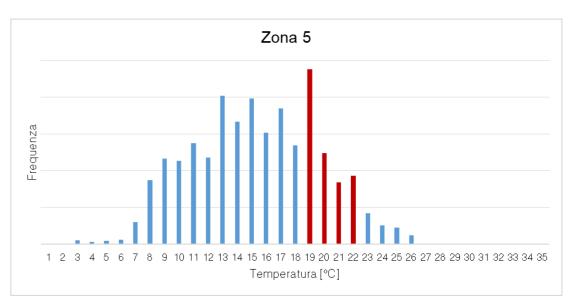


Fig. 4.17 - Zona termica 5 - frequenza di rilevazione dei valori di temperatura

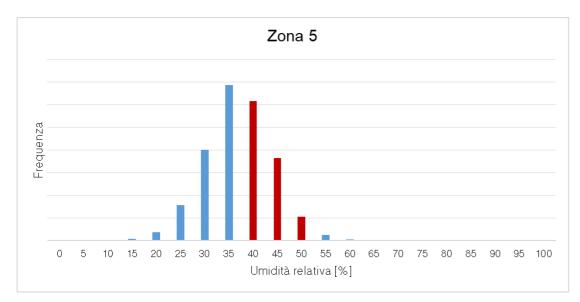


Fig. 4.18 - Zona termica 5 - frequenza di rilevazione dei valori di umidità relativa

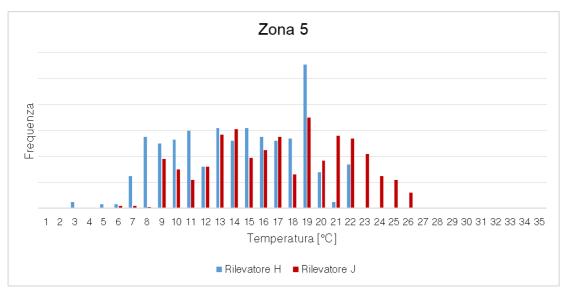


Fig. 4.19 - Zona termica 5 - confronto tra la frequenza di rilevazione dei valori di temperatura dei rilevatori H e J

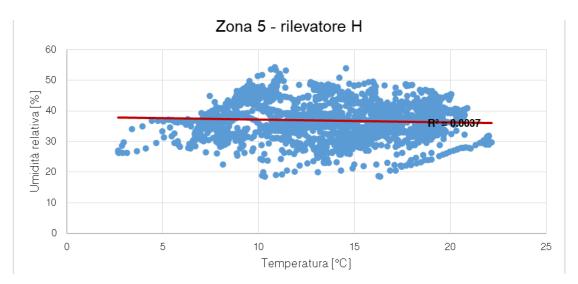


Fig. 4.20 - Zona termica 5 - dispersione dei dati di temperatura e umidità relativa del ril. H

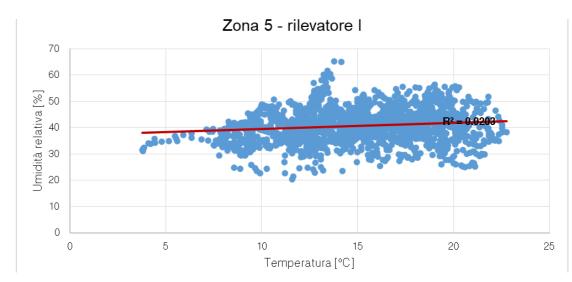


Fig. 4.21 - Zona termica 5 - dispersione dei dati di temperatura e umidità relativa del ril. I

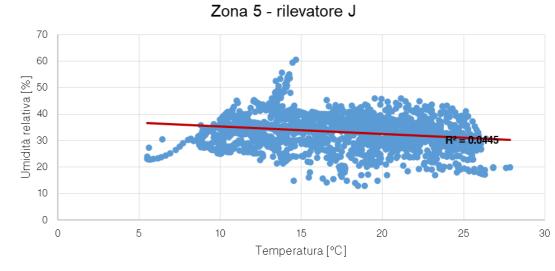


Fig. 4.22 - Zona termica 5 - dispersione dei dati di temperatura e umidità relativa del ril. J

## 05/ Fabbisogno energetico dell'edificio

#### 5.1 MODELLAZIONE DEL SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO

L'analisi energetica dell'edificio è stata effettuata utilizzando il programma *TerMus BIM Educational*, di Acca Software, software BIM authoring specializzato nella modellazione energetica degli edifici. La simulazione e le analisi vengono eseguite in regime semi-stazionario<sup>49</sup>, che considera come unità temporale un mese. La progettazione può avvenire attraverso l'uso di oggetti parametrici, con proprietà e valori intrinsechi, ma anche partendo da più semplici file dxf o dwg.

Tramite alcune funzioni è possibile ottenere il calcolo dell'energia primaria e il controllo delle condizioni di verifica dell'EPI (Indice di Prestazione Energetica), il calcolo e verifica della prestazione energetica per la climatizzazione estiva (EP<sub>e,invol</sub>), il calcolo del fabbisogno di acqua calda sanitaria e del fabbisogno energetico correlato, il calcolo della capacità termica in regime dinamico.

In *regime stazionario* o *semi-stazionario* il bilancio energetico viene fatto come un confronto tra le temperature interne ed esterne avendo come elemento di separazione una parete con una trasmittanza termica definita e costante nel tempo e senza massa o sfasamento. In ottemperanza alle più recenti normative nazionali e regionali (DM 26 giugno 2015 - Reg. Piemonte), il metodo per il calcolo del fabbisogno energetico per riscaldamento e raffrescamento degli edifici è effettuato in regime detto semi-stazionario.

TerMus produce sia la relazione di progetto che gli attestati di qualificazione e di certificazione, tuttavia, nella versione educational utilizzata per la redazione della tesi, non è possibile scaricare ed utilizzare tali file, ma solo visualizzarli a schermo.

Il software è certificato dal Comitato Termotecnico Italiano per la conformità di calcolo alle norme UNI/TS 11300-1:2014, UNI/TS11300-2:2014, UNI/TS 11300-3:2010, UNI/TS 11300-4:2016, 11300-5:2016, 11300-6:2016 e UNI EN 15193:2008.

I principali output del programma sono:

- La Relazione Energetica (ex Legge 10/91);
- l'Attestato di Prestazione Energetica (A.P.E.);
- I tracciati XML secondo le specifiche tecniche richieste dai catasti energetici regionali;
- L'A.P.E. convenzionale, per gli interventi condominiali legati al superbonus;
- Le tabelle riepilogative con le variazioni delle prestazioni energetiche ante e post-intervento, (per interventi agevolati con superbonus);
- Scheda dati (Allegato C Decreto mise 06/08/2020) e quadro riepilogativo del confronto per la trasmissione dei dati sul portale ENEA (PER interventi agevolati con superbonus);
- Il Modello con Indicatore Energetico per Annunci commerciali;
- l'Attestato di Qualificazione Energetica (A.Q.E.);
- I Fascicoli di Schede Strutture (superfici opache, vetrate, ponti termici, vani zone, centrali termiche, ...);
- Le tavole esecutive del progetto con piante, prospetti e sezioni. 50

Il software si basa sulla norma UNI/TS 11300-5, che fornisce i metodi di calcolo da utilizzare per il calcolo dell'energia primaria e della quota di energia prodotta da fonti rinnovabili. Tali parametri costituiscono la base per il calcolo dell'Indice di Prestazione Energetica, indispensabile per ottenere la certificazione energetica. La prestazione energetica può essere espressa in energia primaria non rinnovabile, rinnovabile, o totale, ottenuta sommando le precedenti, ed è

50 https://www.acca.it/software-certificazione-energetica

un contenuto obbligatorio che deve fare parte dell'attestazione di prestazione energetica (APE).

Il Decreto interministeriale del 26 giugno 2015<sup>51</sup> definisce le modalità di applicazione della metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, includendo l'utilizzo delle fonti rinnovabili. Sono inoltre presenti le prescrizioni ed i requisiti minimi riguardanti le prestazioni energetiche degli edifici e delle unità immobiliari. Oltre a ciò si evidenzia come la prestazione energetica dell'immobile deve essere espressa attraverso l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile EP<sub>gl,nren</sub>, misurato in kWh/m²anno, che comprende:

- La climatizzazione invernale (EP<sub>H pren</sub>);
- La climatizzazione estiva (EP<sub>C pren</sub>);
- La produzione di acqua calda sanitaria (EP<sub>W nren</sub>);
- La ventilazione meccanica (EP<sub>V pren</sub>);
- L'illuminazione artificiale (EP, nren), per gli immobili non residenziali;
- Il trasporto di persone o cose (EP<sub>T pren</sub>), per gli immobili non residenziali.

Il Rifugio Città di Ciriè, in funzione del fabbisogno specifico totale di energia primaria non rinnovabile, pari a 345 kWh/m²anno, risulta essere in classe energetica A1. Qualora l'immobile fosse stato costruito al momento attuale, rispettando l'odierna normativa, la classificazione sarebbe stata A2 con un EP<sub>gl,nren</sub> pari a 251 kWh/m²anno. La classe energetica, nonostante l'edificio sia caratterizzato da un'alta dispersione di calore, risulta essere più che ottima perché direttamente legata al basso utilizzo di fonti non rinnovabili. Questo è dovuto al fatto che, per la climatizzazione invernale, viene utilizzata solamente biomassa<sup>52</sup> e, nonostante siano necessarie elevate quantità, si tratta di una fonte energetica rinnovabile.

Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici

Il pellet e il legno utilizzati per il riscaldamento del rifugio, sono a bilancio di CO<sub>2</sub> positivo, quindi la loro combustione risulta essere meno dannosa all'ambiente rispetto all'utilizzo di combustibili fossili.

	DATI DETTAGLIO DEL FABBRICATO					
VImL	Volume lordo	1147.40	m <sup>3</sup>			
SprfL	Supeficie lorda disperdente	840.43	m <sup>2</sup>			
RpSV	Rapporto di forma S/V	0.73	1/m			
VlmN	Volume netto	877.52	m <sup>3</sup>			
AreaN	Superficie netta calpestabile	276.06	m <sup>2</sup>			
C <sub>m</sub>	Capacità termica totale	60769.00	kJ/K			
Yie	Trasmittanza Termica Periodica	0.854	W/m <sup>2</sup> K			
H' <sub>⊤</sub>	Coefficiente globale di scambio termico per trasmissione	1.035	W/m <sup>2</sup> K			

	INDICE DI PRESTAZIONE						
	Classe energetica		A1				
EPgl	Indice di prestazione energetica globale	1119.95	kWh/m <sup>2</sup> anno				
EP <sub>h,nd</sub>	Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	421.88	kWh/m <sup>2</sup> anno				
EPh	Indice di prestazione energetica per riscaldamento	971.35	kWh/m <sup>2</sup> anno				
EPw	Indice di prestazione energetica per acs	148.61	kWh/m <sup>2</sup> anno				

	FABBISOGNI					
Q <sub>h</sub>		Fabbisogno di energia termica utile	116464.88	kWh		
Q <sub>Ph</sub>	Riscaldamento	Fabbisogno di energia primaria totale	268151.22	kWh		
Q <sub>Pr</sub>	- Kiscaldamento	Fabbisogno di energia primaria rinnovabile	213461.94	kWh		
Q <sub>Pnr</sub>		Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile	54689.28	kWh		
Vol <sub>ACS</sub>		V olumi di ACS	757.38	$m^3$		
Q <sub>wa</sub>	Acqua	Fabbisogno di energia termica utile	31931.86	kWh		
$Q_{Pw}$	Calda	Fabbisogno di energia primaria totale	41024.37	kWh		
Q <sub>Pwr</sub>	Sanitaria	Fabbisogno di energia primaria rinnovabile	437.27	kWh		
Q <sub>Pwnr</sub>		Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile	40587.11	kWh		

Tab 5.1 - Dati ricavati dal software TerMus dell'edificio ante-intervento

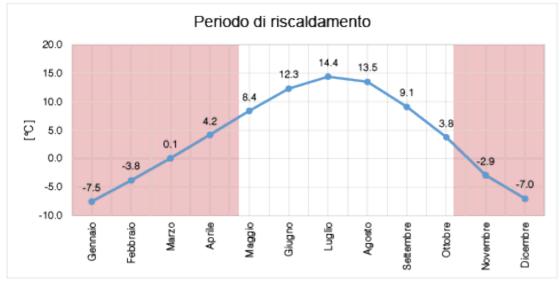
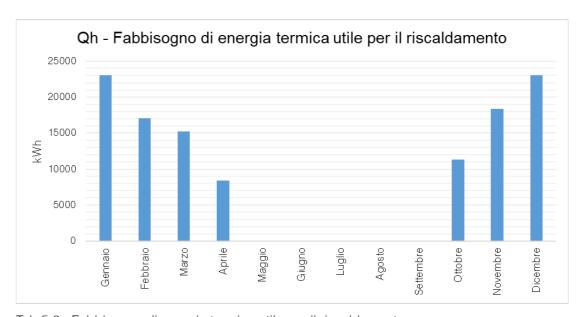
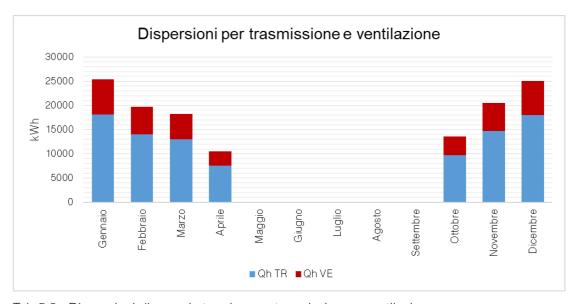


Fig. 5.1 - Definizione del periodo di riscaldamento con temperature medie mensili esterne

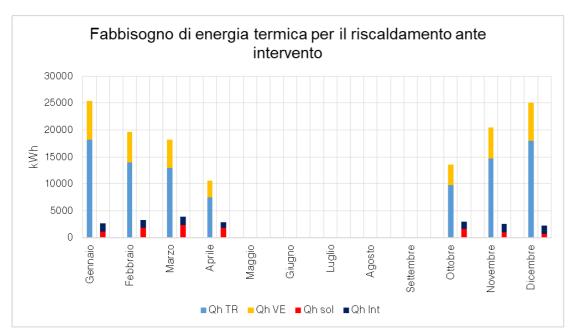
Tra i diversi fabbisogni dell'edificio, la voce riguardante il raffrescamento estivo è mancante in quanto, grazie al clima alpino del luogo, non è necessario prevedere alcuna tecnologia a tale scopo. Anche nei mesi più caldi, come luglio e agosto, le temperature esterne rimangono contenute, comportando anche in estate un clima fresco. Pe tale ragione, con periodo di riscaldamento ci si riferisce al lasso di tempo compreso tra il 5 ottobre ed il 22 aprile, mentre il periodo di raffrescamento è assente. Di conseguenza tutte le analisi considerano solo il fabbisogno ed i consumi dovuti all'impianto di riscaldamento.



Tab 5.2 - Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento



Tab 5.3 - Dispersioni di energia termica per trasmissione e ventilazione



Tab 5.4 - Confronto tra le dispersioni di energia termica per trasmissione e ventilazione ed i guadagni di energia termica dagli apporti solari e interni ante-intervento

Per comprendere meglio i grafici è necessario definire che:

- Q<sub>b</sub>: fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento [kWh];
- Q<sub>btr</sub>: dispersione termica per trasmissione [kWh];
- Q<sub>hve</sub>: dispersione termica per ventilazione [kWh];
- Q<sub>hsol</sub>: energia termica da apporti solari [kWh];
- Q<sub>hint</sub>: energia termica da apporti interni [kWh].

Come si evince dai grafici, il fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento è in larga parte causato da elevati valori di dispersione per trasmissione e ventilazione. Tali fenomeni vengono compensati solo in minima parte dagli apporti termici gratuiti, solari e interni, in quanto le dispersioni che avvengono attraverso l'involucro sono maggiormente rilevanti. Questa situazione è da attribuire alla mancanza di una corretta stratigrafia delle superfici opache e dalle scarse prestazioni dei serramenti, oltre che da una bassa tenuta all'aria dell'involucro, che non garantiscono l'isolamento dell'edificio dall'ambiente esterno.

# 06 / Interventi di efficientamento energetico

Isolamento termico interno	6.1
Riqualificazione dell'involucro edilizo	6.2
Sostituzione del generatore di calore	6.3
Impianto fotovoltaico	6.4
Ventilazione meccanica controllata	6.5
Gestione integrata dell'energia	6.6

## 06/ Interventi di efficientamento energetico

#### **6.1 ISOLAMENTO TERMICO INTERNO**

Il Rifugio Città di Ciriè è un edificio soggetto al vincolo paesaggistico<sup>53</sup> presente su tutte le alte Valli di Lanzo, quindi non può subire cambiamenti dell'aspetto esterno al fine di lasciare immutata l'immagine ambientale del Pian della Mussa. L'azione di riqualificazione energetica scontrandosi con questa realtà legislativa, trova la soluzione nell'isolare internamente il rifugio.

Le pareti perimetrali della struttura sono in pietra, con spessori di circa 40-50 cm. Il coefficiente di trasmittanza termica medio è di circa 3 W/m²K, pari a circa undici volte gli attuali limiti di legge. Necessario, quindi, un isolamento dell'involucro opaco.

L'isolamento termico interno delle pareti offre numerosi vantaggi in ottica di comfort, consumi e facilità di applicazione, ma ci sono alcune problematiche che possono sorgere durante l'utilizzo di tale sistema. Ecco alcune delle principali problematiche legate all'isolamento termico interno delle pareti:

 Riduzione dello spazio abitabile. L'aggiunta di strato interno alle pareti può ridurre lo spazio disponibile all'interno del rifugio.

<sup>53</sup> Bene individuato ai sensi della L. 1497/1939, del D.M. 21/9/1984 e del D.L 312/1985 con DD.MM. 1/8/1985

- Condensa e muffe. La formazione di condensa è dovuta allo spostamento del punto di rugiada. L'isolamento interno riduce il flusso di calore dall'interno verso l'esterno e abbassa la temperatura originale nella parete esterna. Di conseguenza, il gelo penetra più spesso e più in profondità nel muro in inverno. Allo strato limite tra l'esterno dell'isolamento e l'interno della vecchia muratura, non più riscaldata dalla stanza, può verificarsi un calo di temperatura sotto il "punto di rugiada", causando un rischio di condensa invernale e una successiva nascita di muffe.
- Riduzione del potenziale di essicazione del muro esterno. Il cappotto interno può compromettere il processo di essiccazione dopo la pioggia battente. Nel caso di parete monostrato in pietra, senza isolamento, l'umidità può asciugare in entrambe le direzioni, vale a dire anche verso il lato dell'interno del rifugio. Se si installa un sistema di cappotto interno che funge da barriera a vapore, l'essiccazione verso l'interno è praticamente impedita. Inoltre, l'abbassamento del livello di temperatura della muratura retrostante, rallenta anche il processo di essiccazione verso l'esterno.
- Ponti termici. I ponti termici compromettono l'efficacia dell'isolamento e causano dispersioni di calore indesiderate. Poiché i soffitti e le pareti interne del rifugio sono attualmente collegati alla parete esterna senza alcuna separazione termica, la loro temperatura è talvolta marcatamente ridotta, in particolare nelle vicinanze delle pareti esterne. Le situazioni appena descritte sarebbero annullabili con sistema a cappotto termico esterno.

L'isolamento termico interno influisce sulla termoregolazione dell'edificio. È quindi stato valutato l'istallazione di un sistema di VMC, ventilazione meccanica controllata, adeguato per garantire la circolazione dell'aria e il ricambio dell'aria interna, in modo da smaltire l'eccessiva umidità interna senza dispersioni di calore.

Un'importante accortezza è l'evitare il più possibile, soprattutto in situazioni con murature in pietra irregolari, le intercapedini vuote tra rivestimento interno e parete esistente, in modo da scongiurare qualsiasi fenomeno di convezione d'aria, che renderebbe nullo il beneficio termico dell'isolamento.

Per l'isolamento termico interno del caso studio si è optato per due materiali:

- POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO XPS. L'ottima trasmittanza termica, l'assorbimento d'acqua molto ridotto, la buona resistenza alla compressione e una facile lavorabilità lo rendono il materiale adatto per essere utilizzato nella cucina e nei servizi igienici, caratterizzati da importanti picchi di umidità giornaliera (come dimostrato nel capitolo 4.2 Rilevazioni sul caso studio).
- IDRATO DI SILICATO DI CALCIO. Materiale minerale, non infiammabile, idrofilo e privo di fibre, ideale per isolare con prodotti naturali gli ambienti interni. Il silicato di calcio, grazie ad un pH superficiale di 10,5 circa, non permette a muffe e batteri di proliferare, classificandosi quindi come un "antimuffa naturale". Inoltre, realizza una barriera isolante in grado di aumentare la temperatura della parete e quindi di ostacolare l'umidità di condensazione. Di fatto può essere considerato come un "sistema passivo ed ecologico di regolazione dell'umidità ambientale" che non necessita di manutenzione e non consuma nessuna forma di energia per funzionare. I pannelli in silicato di calcio saranno l'isolante interno per le pareti del rifugio, a esclusione delle due stanze dove verrà utilizzato xps. L'umidità generale sarà gestita dall'impianto di ventilazione meccanica controllata che non supererà i valori critici per la formazione di condense a contatto dell'isolante.

È importante sottolineare che la scelta dei materiali per questo intervento di riqualificazione è avvenuta scegliendo dei materiali certificati e reperibili facilmente in commercio, ma soprattutto vicino al prezzo di acquisto medio degli isolanti. Consapevoli che il mondo dell'edilizia sta vivendo una significativa fase di ricerca e sviluppo di materiali incredibilmente efficienti, con spessori contenuti (termoriflettenti stratificati, aereogel, Phase Change Materials,...).

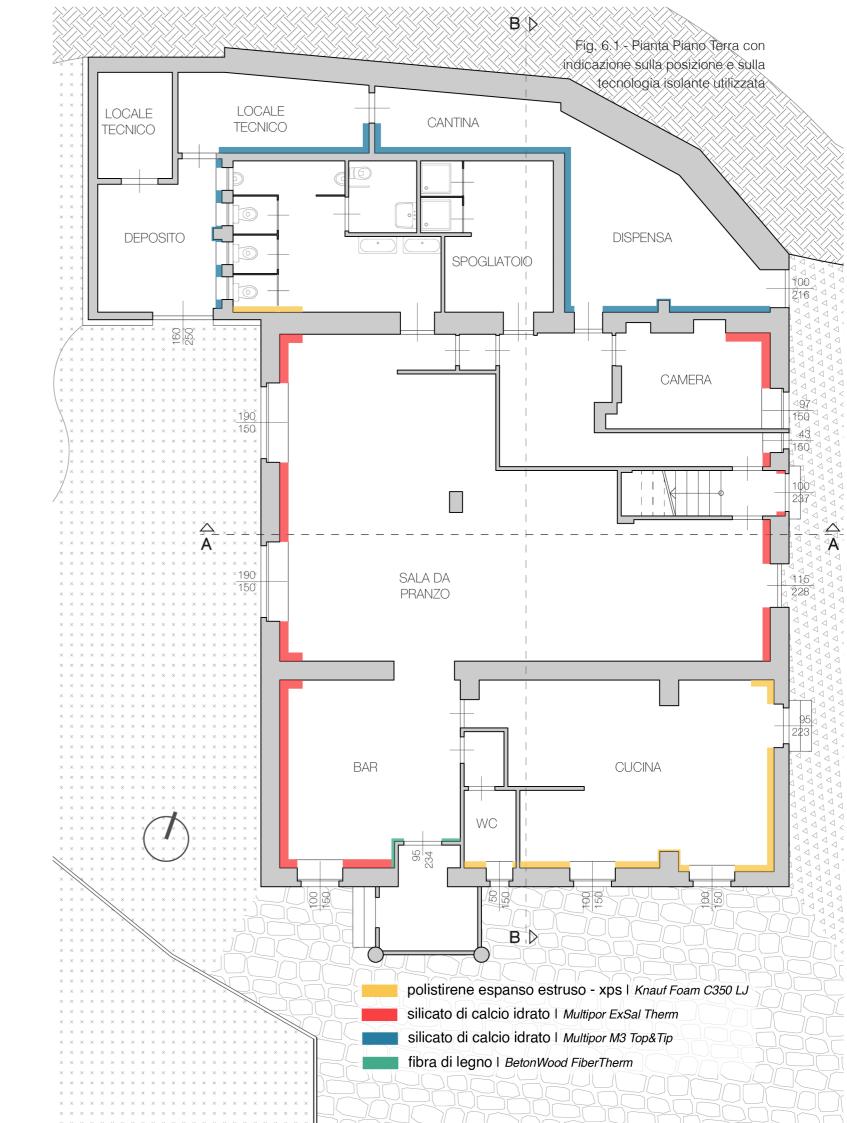
#### 6.2 RIQUALIFICAZIONE DELL'INVOLUCRO EDILIZIO

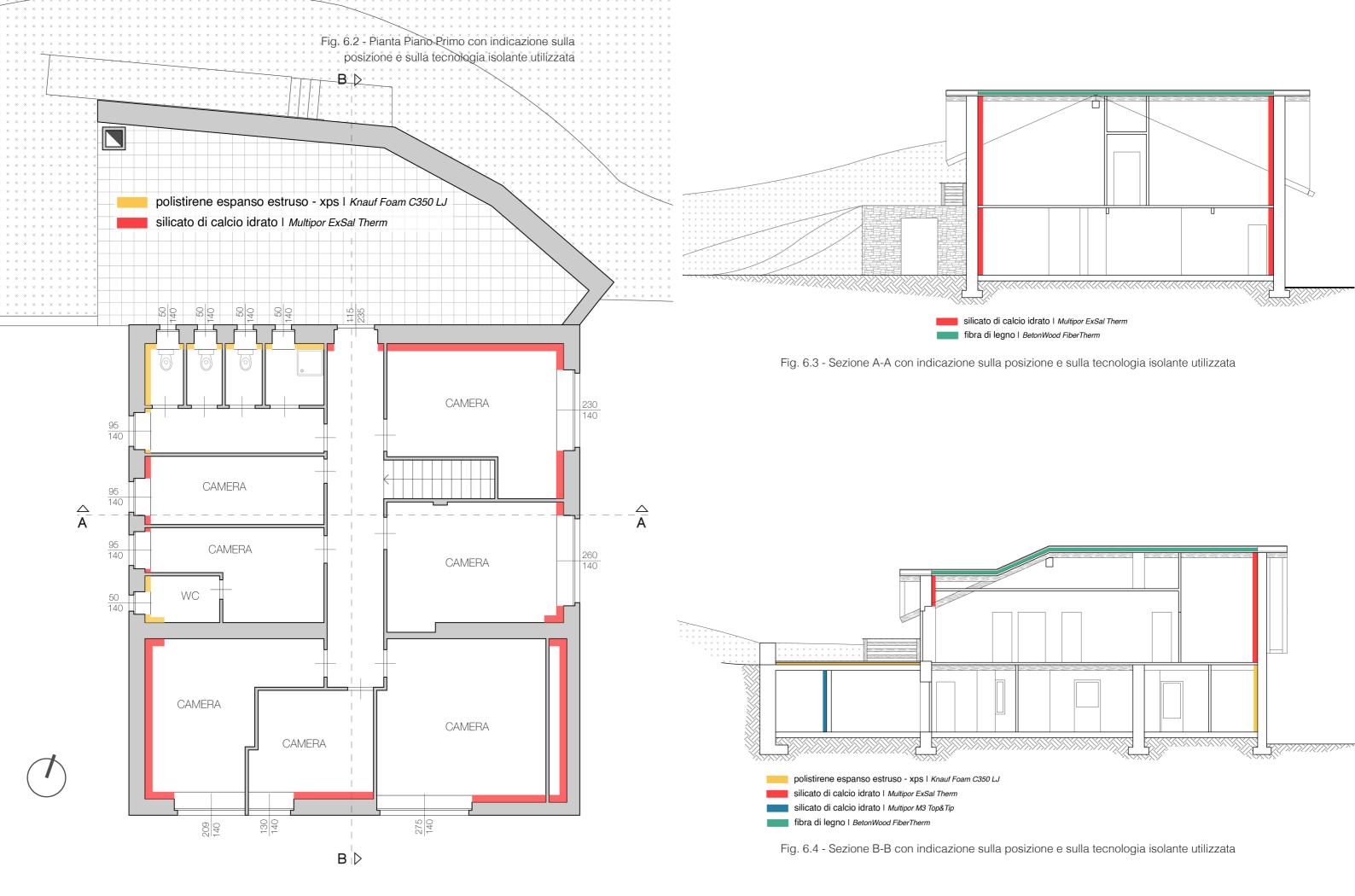
Nello scenario di intervento si è posto come obiettivo principale la miglioria dell'involucro edilizio, ad oggi caratterizzato da un'alta trasmittanza termica e un'elevata permeabilità all'aria, che comporta una situazione di discomfort termoigrometrico all'interno degli ambienti del rifugio. Per questo motivo è stato necessario valutare l'inserimento di tipologie di tecnologie di isolamento differenti, ognuna caratterizzata da materiali diversi:

- Piano Terra. Lato Ovest, Sud, Est: isolamento interno, con diversa tipologia di isolante in base alla produzione di umidità.
- Piano Terra. Bussola in legno: isolamento in fibra di legno contenuto tra due pannelli in legno di abete, in modo da non modificare la struttura dal punto di vista paesaggistico.
- Piano Terra. Lato Nord: isolamento a cappotto esterno delle pareti verso i locali non riscaldati. (Risulta essere l'unica situazione dell'intera riqualificazione dove si è potuto optare per cappotto esterno, causa vincoli paesaggistici)
- Piano Primo. Lato Nord, Est, Sud e Ovest: isolamento interno integrale di tutte le pareti, con diversa tipologia di isolante in base alla produzione di umidità.
- · Copertura. Isolamento in fibra di legno di tutte le falde.

Il dimensionamento dei componenti è avvenuto con lo scopo di raggiungere le trasmittanze minime che determinano l'accesso alle detrazioni fiscali per la riqualificazione energetica su edifici esistenti.

Le pareti evidenziate, con carattere di colore grigio, non sono soggette a intervento perché tramezzature che non modificano il fabbisogno termico dell'edificio.





CODICE	DESCRIZIONE	SPESSORE 5	TRA SMITTA NZA TERMICA U	LIMITE DI LEGGE U <sub>ZONAF</sub>	MA SSA SUPERFICIALE m	SFA S AMENTO φ	TRA SMITTA NZA TERMICA PERIODICA Yie
		cm	W/(m²K)	W/(m <sup>2</sup> K)	kg/m²	h	W/(m²K)
M1	Muro esterno - cucina	65.0	0.232	0.26	1340	13.4	0.012
M2	Muro esterno - cucina	55.0	0.235	0.26	1070	12.2	0.018
M3	Tramezzatura cucina - sala	50.0	1.339	/	1239	12.2	0.041
M4	Tramezzatura interna	10.0	2.190	/	128	3.4	1.751
M5	Muri bussola legno	18.0	0.228	0.28	40	9.8	0.093
M6	Muro esterno - bar	69.0	0.236	0.26	1302	22.4	0.005
M7	Tramezzatura sala - bagno	71.0	0.237	0.26	1485	20.5	0.001
M8	Tramezzatura spogliatoio - dispensa	45.5	0.241	0.80	392	16.5	0.014
M9	Muro controterra cantina	65.0	0.765	/	914	22.7	0.014
M10	Tramezzatura bagno - deposito	48.5	0.242	0.80	827	15.1	0.013
M11	Muro deposito - esterno	25.0	4.142	/	875	6.0	1.189
M12	Muro camere - esterno	59.0	0.239	0.26	1032	19.6	0.009

Tab 6.1 - Abaco delle murature post-intervento

L'isolamento del terrazzo a Nord, posizionato al di sopra dei servizi igienici comuni e del locale caldaia, si vede composto già di uno strato di isolante di 6 cm di spessore nella situazione attuale, perché ricostruito pochi anni fa.

Qui di seguito vengono riportate due assonometrie che rappresentano i due principali interventi di isolamento interno delle pareti in pietra:

- Il primo, vede l'applicazione di uno strato di malta leggera minerale, al fine
  di incollare i pannelli di isolante in silicato di calcio, capace di assorbire
  per capillarità l'umidità e i sali disciolti dalla muratura. Verso l'ambiente
  interno viene creata una struttura con listelli orizzontali e verticali per
  sostenere il rivestimento in perline di legno, tutt'oggi esistente. Lo spazio,
  di circa 6 cm, creato dai listelli, sarà utilizzato per posizionare le scatole
  elettriche e permetterà il passaggio delle tubazioni per il riscaldamento
  e l'acqua calda sanitaria.
- Il secondo, caratteristico delle zone di cucina e servizi igienici (grande produzione di umidità). Vede l'applicazione di isolante in polistirene espanso estruso, con doppia pelle. Per l'incollaggio delle piastrelle è previsto l'utilizzo di malta fibrorinforzata, anch'essa con bassa resistenza al vapore acqueo.

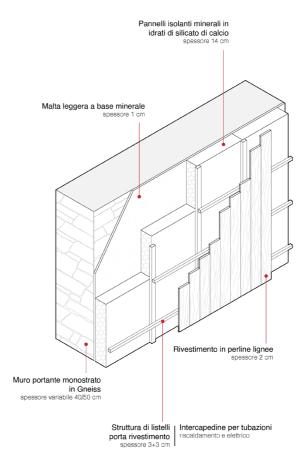


Fig. 6.5 - Assonometria della muratura - prima tipologia

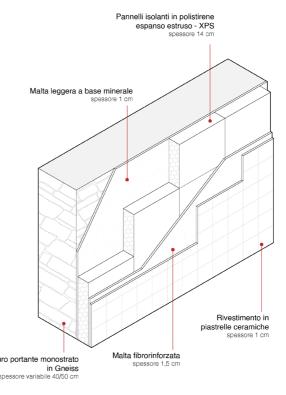
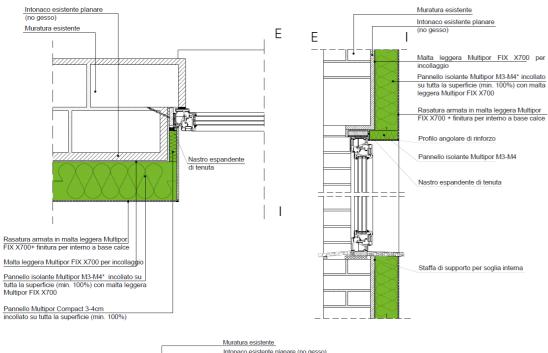


Fig. 6.5 - Assonometria della muratura - seconda tipologia

Al fine di annullare la maggior parte dei ponti termici, si dedica particolare attenzione all'isolamento delle spallette e opportune nastrature per garantire la tenuta all'aria dell'involucro, soprattutto nei nodi serramento - muro. Di seguito vengono riportate alcune sezioni orizzontali e verticali per comprendere meglio la lavorazione eseguita in modo corretto ed efficace.

Dove vi sono delle tramezzature esistenti l'isolante sarà risvoltato, per almeno 60 cm, lungo esse, al fine di annullare il flusso termico trasferito dall'ambiente esterno verso l'ambiente interno.



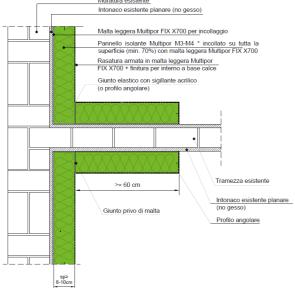


Fig. 6.7 - Dettagli costruttivi isolamento interno - https://www.yumpu.com/

Per la copertura, caratterizzata nella situazione attuale da pessime prestazioni termiche, si è previsto un intervento integrale.

Al di sopra del tavolato ligneo esistente viene applicato un telo freno a vapore, con funzione ermetica per evitare che l'umidità prodotta negli ambienti sottostanti vada a degradare il materiale isolante.

Come isolante si è scelto un pannello in fibra di legno. Questo materiale possiede un ottimo sfasamento termico e di attenuazione; caratteristiche importanti viste le calde estati degli ultimi anni anche a queste altitudini e la copertura di colore scuro del rifugio che assorbe l'energia trasportata dalla luce.

Sopra lo strato isolante si applica una membrana ermetica altamente traspirante che grazie alla sua elevata traspirabilità evita la formazione di muffe e condensa e permette di avere un aumento dello sfasamento termico.

La copertura esistente si ancorerà a un tavolato ligneo poggiato su listelli di ventilazione. La scelta di progettare una copertura ventilata è legata ai pregi di questa tecnologia; l'aria messa in movimento in questa intercapedine controlla l'umidità e, nelle stagioni calde, permette di espellere il calore prima che venga trasmesso ai materiali sottostanti.

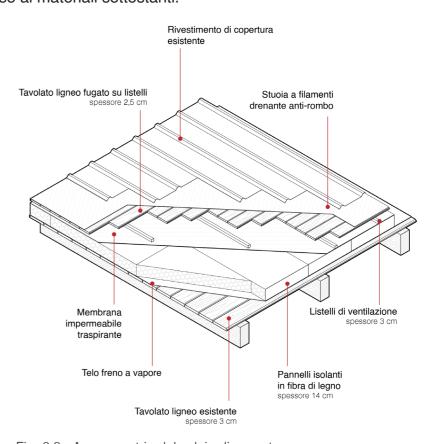


Fig. 6.8 - Assonometria del solaio di copertura

CODICE	CODICE DESCRIZIONE		TRA SMITTA NZA TERMICA U	LIMITE DI LEGGE UZONAF	MASSA SUPERFICIALE m	SFA SAMENTO φ	TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA Yie
		am	W/(m²K)	W(m <sup>2</sup> K)	kg/m²	h	W/(m <sup>2</sup> K)
S1	Solaio di terra	27	2.111	/	528	8.1	0.7
S2	Solaio PT - P1	13	2.138	/	187	4.5	1.4
S3	Solaio centrale termica - terrazzo	42	0.389	/	609	15.2	0.0
S4	Solaio corridoio camere - sottotetto	3	1.981	/	14	0.7	1.9
S5	Solaio di copertura	23	0.211	0.22	75	12.0	1.1

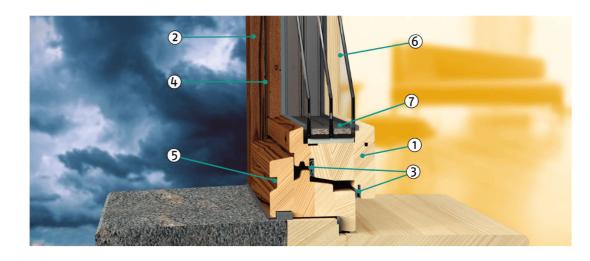
Tab 6.2 - Abaco dei componenti edilizi orizzontali opachi post-intervento

Dalle tabelle riassuntive degli interventi dell'involucro opaco emerge come i valori di sfasamento termico<sup>54</sup> sono mediamente sopra la soglia ottimale, di circa 12 ore. Essendo un edificio in zona F, non risulta essere una particolare problematica, perché l'involucro edilizio rilascerà il calore verso l'interno quando le temperature esterne saranno basse (pomeriggio – sera d'inverno e notte d'estate).

Al fine di aumentare le prestazioni dell'involucro completo si è prevista anche la sostituzione dei serramenti. Il vincolo principale è legato al materiale, obbligatoriamente uguale all'esistente, quindi legno esterno e legno interno.

Il serramento è composto da un telaio in legno di conifera naturale non trattato con triplo vetro<sup>55</sup>. Caratterizzati da un'elevata efficienza energetica, un ottimo isolamento acustico, una maggiore sicurezza e una riduzione dei condensati interni. L'effettiva efficienza termica però si raggiunge solo con una corretta posa del serramento; esso dovrà essere fissato a un telaio ligneo su tutti e quattro i lati, con lo scopo di eseguire il taglio termico.

Le aperture saranno di tipologia a battente e vasistas, a seconda della destinazione d'uso del locale.



- 1 Legno di abete antico naturale, incollato a strati
- 2 Duplice spazzolatura del legno sul lato esterno ed interno con impregnatura incolore a base d'acqua
- 3 Guarnizioni di elastomeri termoplastici; sovraposizione di 8 mm
- 4 Guarnizione aggiuntiva per una maggior protezione termica-acustica
- 5 Straordinario sistema per lo scorrimento dell'acqua
- 6 Triplice vetro termoisolante (Ug = 0,5 W/m<sup>2</sup>K) nel rispetto della norma di sicurezza UNI 7697
- 7 Distanziatore vetro (warm edge) in acciaio rivestito con policarbonato "Chromatech Ultra®"

Fig. 6.9 - Dettaglio tecnologico della finestra in legno - Manuale primus ha 78 - finestre in legno e alluminio

SERRAMENTI	L	Н	Ug	U <sub>f</sub>	U <sub>w</sub>	Limite U <sub>w zona F</sub>	U <sub>w+shut</sub>
finestre	[m]	[m]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
F1	1.00	1.5	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F2	0.50	1.5	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F3	1.00	1.5	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F4	1.00	1.5	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F5	0.43	1.5	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F6	0.97	1.5	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F7	1.90	1.5	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F8	1.90	1.5	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F9	2.09	1.4	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F10	1.30	1.4	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F11	2.75	1.4	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F12	2.60	1.4	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F13	2.30	1.4	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F14	0.50	1.4	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F15	0.50	1.4	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F16	0.50	1.4	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F17	0.50	1.4	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F18	0.95	1.4	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F19	0.95	1.4	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F20	0.95	1.4	0.5	0.87	0.71	1	0.61
F21	0.50	1.4	0.5	0.87	0.71	1	0.61

Tab 6.3 - Abaco dei serramenti post intervento | finestre

Lo *sfasamento termico* è il tempo che intercorre tra quando si registra la massima temperatura sulla superficie esterna della struttura e il momento in cui si registra la temperatura massima sulla superficie interna della stessa, con intensità smorzata.

<sup>55</sup> Serramenti PrimusVita di Südtirol Fenster

Anche le porte vengono sostituite con nuove più performanti, al fine di garantire l'efficienza energetica. Costituite da legno con struttura a strati incrociati in multistrato e listellare, internamente coibentate in sughero<sup>56</sup>. La chiusura ermetica viene permessa da una doppia guarnizione termoplastica espansa (TPE) con proprietà termoisolanti e fonoassorbenti inserita a scomparsa nelle battute interne dei profili.

SERRAMENTI	L	Н	Ug	$U_p$	U <sub>w+shut</sub>
porte	[m]	[m]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
P1	0.95	2.34	0.70	0.70	0.61
P2	0.95	2.23	0.70	0.70	0.61
P3	1.15	2.28	0.70	0.70	/
P4	1.00	2.37	0.70	0.70	/
P5	1.00	2.16	/	0.70	/
P6	1.60	2.50	/	0.70	/
P7	1.15	2.36	0.70	0.70	/

Tab 6.4 - Sezione B-B con indicazione sulla posizione e sulla tecnologia isolante utilizzata

Risulta essere di rilevata importanza anche dichiarare i ponti termici presenti<sup>57</sup>, non corretti a causa dei limiti dell'isolamento interno. Queste zone possono compromettere l'efficienza energetica complessiva dell'edificio, causando dispersione di calore, condensa e una possibile diminuzione del comfort interno. Per identificarli si è fatto riferimento all'Atlante dei ponti termici svizzero, il quale però fa riferimento solo a pareti in laterizio o cemento armato.

I ponti termici lineari, del rifugio post intervento, individuati sono due:

- Il perimetro lungo le pareti di pietra (isolate internamente), all'altezza del solaio di terra (non isolato). Con  $\psi$  = 0,59 + 0,04 = 0,63 W/mK
- Il perimetro lungo le pareti di pietra (isolate internamente), all'altezza del solaio di interpiano (non isolato). Con  $\psi$  = 0,71 W/mK

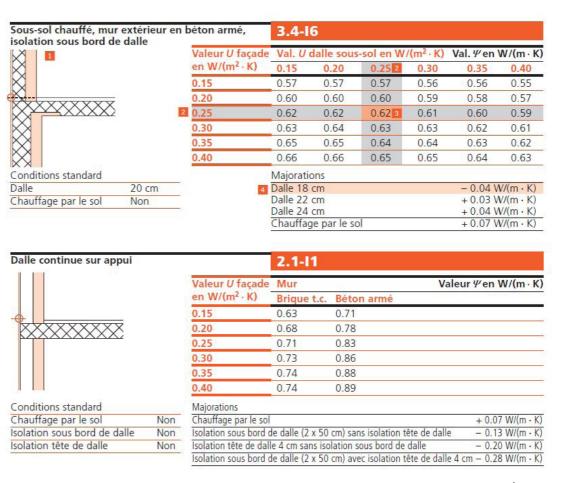


Fig. 6.10 - Ponti termici presenti nel Rifugio - Catalogue des ponts thermiques - Suisse Énergie

Qui di seguito vengono riportate le simulazioni di termografie, eseguite dal software Termus, con cui si è modellato l'edificio, nelle due zone di ponte termico.

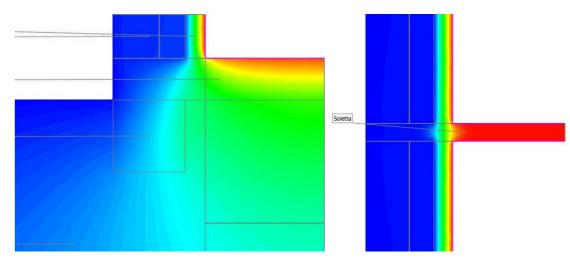


Fig. 6.11 - Simulazioni termografiche dei ponti termici del Rifugio

<sup>56</sup> Porte Energy80 di 2F Serramenti srl

Non dichiarati nell'analisi della situazione pre intervento, *cap. 3.4 Involucro Edilizio*, perché non essendo un edificio isolato ed essendo mono materico (pietra), non presenta discontinuità e quindi privo di ponti termici.

#### 6.3 SOSTITUZIONE DEL GENERATORE DI CALORE

Uno degli obiettivi di questa trattazione è il miglioramento del benessere microclimatico interno al rifugio, garantendo il comfort termico, l'umidità adequata e la qualità dell'aria.

Ad oggi, non tutte le zone utilizzate della struttura sono provviste di sistema di riscaldamento<sup>58</sup> e quelle provviste, sono soggette a grandi sbalzi di temperatura dovuti alla vicinanza o meno alla stufa presente.

Le nuove zone termiche previste permettono a tutte le zone utilizzate di essere climatizzate in modo omogeneo, al fine di migliorare il comfort interno.

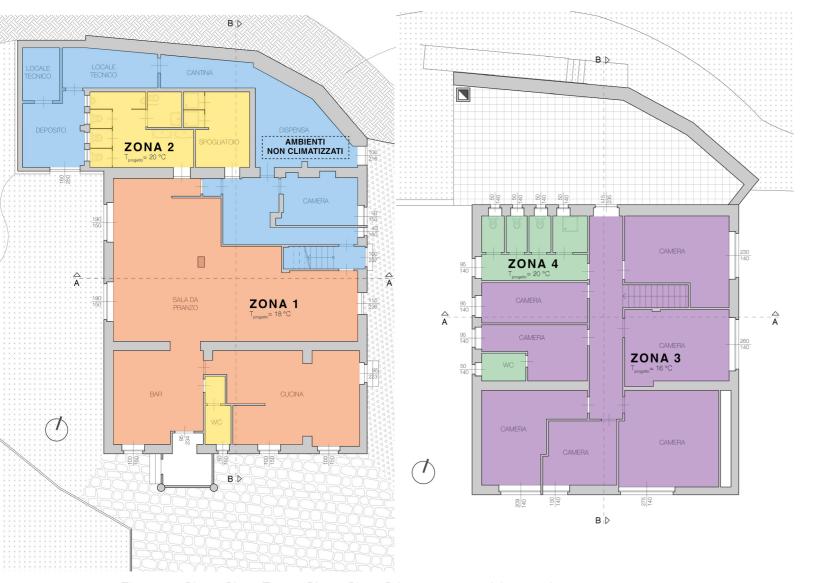


Fig. 6.12 - Pianta Piano Terra e Pianta Piano Primo - zone termiche post-intervento

La norma UNI EN 12831<sup>59</sup> e il DPR 551/99<sup>60</sup> definiscono le temperature interne di progetto che variano in funzione della destinazione d'uso degli ambienti. Per bar e ristorazione la temperatura è stabilita pari a 20  $\pm$  2°C. Per bagni e spogliatoi è stabilita pari a 22  $\pm$  2°C.

Si è ritenuto utilizzare delle temperature di progetto più basse di quelle sopra descritte, per le caratteristiche della struttura; rifugio alpino e non residenza, situato a 1865 m slm.

Per la ZONA 1 (bar, cucina, sala da pranzo) la temperatura interna di progetto è 18 °C. Per la ZONA 2 e 4 (servizi igienici e spogliatoi del Piano Terra e Piano Primo) la temperatura interna di progetto è 18 °C. Per la ZONA 3 (corridoio e camere da letto del Piano Primo) la temperatura interna di progetto è 16 °C, due gradi in meno rispetto a quella consigliata dall'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità).

Un altro obiettivo della trattazione è quello di rendere il rifugio indipendente dai combustili fossili<sup>61</sup>. I motivi principali per cui è importante eliminare il gas sono:

- Sicurezza. Il gas, anche se raramente, può generare piccole esplosioni o comunque se inalato genera delle problematiche.
- Indipendenza da fonti fossili. Il gas è una fonte non rinnovabile per cui non vi è la sicurezza di approvvigionamenti sicuri a lungo termine. Mentre utilizzando l'elettricità, grazie all'istallazione dell'impianto fotovoltaico in copertura, ho la sicurezza di avere un'autoproduzione.
- Risparmio. Eliminare il gas, vuole dire anche eliminare i costi di esso<sup>62</sup>
   e i costi abbinati (manutenzione caldaia, canna fumaria, costo fisso contatore), andando incontro a un notevole risparmio.

Come è possibile evincere dal capitolo 3.1 Inquadramento territoriale

<sup>59</sup> UNI EN 12831:2006. Impianti di riscaldamento negli edifici - Metodo di calcolo del carico termico di progetto

DPR 551/99 - Modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412: Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia

I combustibili fossili, derivano dalla trasformazione di sostanza organica, secondo reazioni naturali sviluppate in milioni di anni. Sono carbone, petrolio e gas naturale. Il GPL, utilizzato oggi dal rifugio, deriva direttamente dalla lavorazione greggio.

Costi molto alti nel periodo attuale della scrittura della tesi, primavera 2023.

 Rispetto ambientale. La combustione di gas immette in atmosfera inquinanti, nocivi sia per il Pianeta che per i suoi abitanti. Rendere il rifugio indipendente dal gas, lo renderebbe meno impattante nei confronti dell'ambiente.

È prevista quindi la sostituzione della caldaia a GPL con una pompa di calore aria-acqua e una caldaia a biomassa.

#### **POMPA DI CALORE**

La pompa di calore è una tecnologia rinnovabile perché assolve alle funzioni di climatizzazione, riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, sfruttando il calore gratuito e illimitato accumulato nell'aria, nell'acqua superficiale, nelle falde acquifere sotterranee e nel terreno.

Questo tipo di tecnologia basa il suo funzionamento su un ciclo termodinamico inverso di un fluido termovettore, che permette la trasmissione in modo continuo del calore da un fluido più freddo a uno più caldo, a patto che si compia lavoro su di esso (spendendo quindi energia).

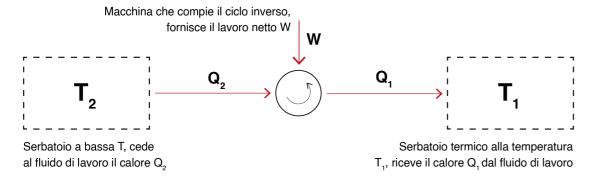


Fig. 6.13 - Schematizzazione del ciclo termodinamico inverso

Queste tecnologie sono costituite da un circuito chiuso entro cui viene continuamente compresso e fatto espandere un apposito fluido, chiamato fluido frigorigeno.

Ad ogni ciclo di lavoro il fluido intermedio cattura una parte di calore al fluido freddo e lo cede a quello caldo. Invertendo i cicli di lavoro succede il contrario in quanto queste macchine possono essere utilizzate sia per riscaldare sia per raffreddare. Nel primo caso sono chiamate pompe di calore, nel secondo si

definiscono macchine frigorifere, ma si tratta esclusivamente di una differenza nominale.

Il tipo di fluido intermedio riveste una grande importanza in quanto influenza direttamente l'efficienza, e di conseguenza l'impatto ambientale, della pompa di calore. I fluidi vanno incontro ad una serie continua di passaggi di stato in quanto devono evaporare quando il calore viene assorbito, e condensare quando il calore viene ceduto, aumentano notevolmente la quantità di calore che ogni ciclo di lavoro è in grado di assorbire e di cedere. Per svolgere tale compito si ricorre all'utilizzo degli HFC (idrofluorocarburi), in particolare per la pompa di calore scelta in questa trattazione viene utilizzato il gas R32, che ha un potenziale di riscaldamento globale (GWP) inferiore rispetto ad altri refrigeranti HFC più vecchi, come il R410A2.

I componenti che realizzano un ciclo base saranno:

- Evaporatore
- Condensatore
- Compressore
- · Valvola di laminazione

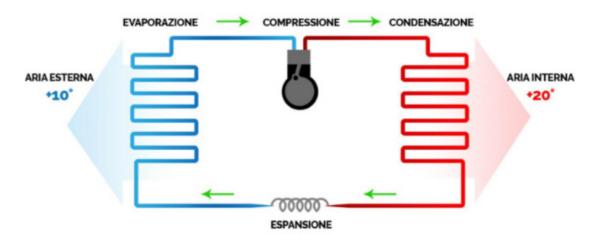


Fig. 6.14 - Fasi di funzionamento della pompa di calore - https://www.climatizzati.ch/

Lo schema funzionale della pompa di calore che lavora in riscaldamento, come quella scelta per il rifugio, viene rappresentato nella figura antecedente.

In riferimento alla figura che rappresenta il ciclo termodinamico del fluido, le trasformazioni che avvengono sono:

- Evaporazione: Il refrigerante a bassa pressione e bassa temperatura entra nell'evaporatore, una bobina o uno scambiatore di calore situato all'interno dell'unità esterna della pompa di calore. Qui, il refrigerante assorbe il calore dall'ambiente esterno e si vaporizza, passando dalla fase liquida a quella gassosa. Durante questa fase, il refrigerante assorbe il calore latente di evaporazione.
- Compressione: Il vapore di refrigerante a bassa pressione prodotto nell'evaporatore viene aspirato dal compressore. Il compressore aumenta la pressione del vapore, comprimendolo. L'energia necessaria per comprimere il refrigerante è fornita dall'alimentazione elettrica della pompa di calore. Durante la compressione, la temperatura del refrigerante aumenta notevolmente.
- Condensazione: Il vapore di refrigerante ad alta pressione e alta temperatura prodotto dal compressore viene convogliato verso il condensatore, un altro scambiatore di calore situato all'interno dell'unità interna della pompa di calore. Qui, il vapore cede il calore all'ambiente interno e si condensa, passando dalla fase gassosa a quella liquida. Durante questa fase, il refrigerante rilascia il calore latente di condensazione.
- Espansione: Il refrigerante liquido ad alta pressione e alta temperatura prodotto nel condensatore passa attraverso una valvola di espansione o un dispositivo di espansione termica. Questo dispositivo riduce bruscamente la pressione del refrigerante, causando una diminuzione della sua temperatura. Il refrigerante viene quindi inviato di nuovo all'evaporatore per iniziare un nuovo ciclo.

La classificazione più importante delle pompe di calore è fatta in base alle sorgenti termiche tra cui essa lavora.

- Sorgenti calde: chiamate anche sorgenti interne, possono essere l'aria, quando la pompa di calore riscalda direttamente l'aria degli ambienti, oppure l'acqua, quando la pompa di calore riscalda l'acqua utilizzata come fluido vettore nei circuiti di riscaldamento.
- Sorgenti fredde: o alternativamente sorgenti esterne, si dividono in:
   a) aria, esterna o in alcuni casi aria di recupero;

- b) acqua, che può essere superficiale, di falda o derivata da circuiti dedicati;
- c) terra, dove il calore viene assorbito tramite appositi scambiatori detti sonde geotermiche.

Esistono quindi diverse tipologie di pompe di calore che si adattano ciascuna a situazioni differenti:

#### · Pompa di calore aria-aria.

Queste pompe di calore prelevano il calore dall'aria esterna e lo trasferiscono all'aria interna per il riscaldamento degli ambienti. Sono comunemente utilizzate per il riscaldamento e il raffreddamento residenziale, commerciale e industriale.

L'aria esterna presenta una temperatura variabile con la stagione e con l'ora del giorno, quindi l'efficienza di questo tipo di unità sarà dipendente dalle condizioni esterne. Funzionano bene in climi temperati ma possono avere una minore efficienza in climi molto freddi.

#### Pompe di calore aria-acqua.

Queste pompe di calore sfruttano il calore presente nell'aria esterna trasferendolo ad un sistema ad acqua. Spesso utilizzate in ambito residenziale o commerciale, presentano limitazioni legate alla variabilità della potenza e del rendimento e, soprattutto, alle temperature di mandata.

#### Pompe di calore acqua-acqua.

Queste pompe di calore prelevano il calore da una fonte di acqua, come un lago, un fiume o un pozzo, e lo trasferiscono ad un altro sistema ad acqua per il riscaldamento o il raffreddamento. Sono adatte per grandi edifici commerciali o industriali che richiedono un alto carico termico.

#### · Pompa di calore acqua-aria.

Queste pompe di calore prelevano tramite pozzi l'acqua presente nel sottosuolo, che corrisponde alla sorgente fredda, mentre sfruttano degli appositi circuiti idraulici, come gli anelli di condensazione, come sorgente calda. Queste tipologie sono poco utilizzate perchè non possono funzionare in assenza dei pozzi di prelievo dell'acqua della sorgente fredda, che per essere realizzati devono effettuare analisi geologiche e

ottenere permessi di captazione.

#### Pompe di calore geotermiche.

Queste pompe di calore sfruttano l'energia termica del suolo, prelevando il calore dal terreno attraverso sonde geotermiche o scambiatori di calore interrati. Sono noti per la loro elevata efficienza energetica e sono adatti sia per applicazioni residenziali che commerciali.

#### Pompe di calore a gas.

Queste pompe di calore utilizzano una combinazione di gas naturale o propano e elettricità per fornire riscaldamento e raffreddamento. Sono spesso utilizzate in applicazioni commerciali e industriali in cui è necessaria una grande capacità di riscaldamento o raffreddamento.

#### · Pompe di calore a assorbimento.

Queste pompe di calore utilizzano un processo chimico per generare calore, generalmente utilizzando una combinazione di acqua e ammoniaca o acqua e bromuro di litio. Sono spesso utilizzate in applicazioni industriali e commerciali che richiedono un alto carico termico e dove è disponibile un'altra fonte di calore, come una caldaia o un gas di scarico.

La scelta di una di queste tecnologie, pompa di calore, rispetto a caldaie tradizionali è dettata da alcune ragioni principali:

#### Minori rischi di incidenti.

Le pompe di calore non bruciando combustibili, non ci sono rischi di fuga di gas o di incendi associati alle caldaie tradizionali. Ciò rende le pompe di calore un'opzione più sicura in termini di salute e sicurezza.

#### Riduzione dei costi a lungo termine.

Nonostante le pompe di calore abbiano un costo iniziale più elevato rispetto alle caldaie tradizionali, nel lungo termine possono risultare più convenienti. Grazie alla loro maggiore efficienza energetica, possono ridurre i costi operativi e portare a minori spese per il riscaldamento e il raffreddamento, ove previsto, nel corso degli anni.

#### Efficienza energetica.

Le pompe di calore sono notoriamente più efficienti dal punto di vista energetico rispetto alle caldaie tradizionali. Mentre una caldaia brucia

combustibile per generare calore, una pompa di calore trasferisce il calore da una sorgente di energia rinnovabile, come l'aria, l'acqua o il suolo. Mentre le caldaie possono fornire circa un'unità di calore per ogni unità di energia consumata. In media, una pompa di calore può fornire da 3 a 5 unità di calore per ogni unità di energia elettrica consumata, rendendola un'opzione più efficiente in termini di consumo energetico.

#### · Riduzione delle emissioni.

A causa della loro maggiore efficienza energetica, le pompe di calore generano emissioni di gas a effetto serra inferiori rispetto alle caldaie tradizionali. Riducendo il consumo di combustibili fossili, contribuiscono a ridurre l'impatto ambientale e ad affrontare il cambiamento climatico.

#### Versatilità.

Le pompe di calore possono essere utilizzate sia per il riscaldamento che per il raffreddamento degli ambienti. Possono invertire il loro ciclo di funzionamento per fornire aria fresca durante l'estate e riscaldamento durante l'inverno. Questa versatilità elimina la necessità di installare due diversi sistemi separati, come una caldaia e un sistema di condizionamento dell'aria, offrendo un'opzione più conveniente e compatta.

Un difetto conosciuto e diffuso di questa tecnologia è l'inadattabilità ai climi più freddi, come quello del Pian della Mussa dove si trova il Rifugio Città di Ciriè. I dati legati alla loro diffusione dimostrano però il contrario: secondo uno studio pubblicato su *Nature Energy* nel 2022, in Europa i quattro paesi con la quota maggiore di pompe di calore sono la Norvegia, dove servono il 60% delle famiglie, la Svezia (43% delle famiglie), la Finlandia (41%) e l'Estonia (34%), nazioni che affrontano anche gli inverni più rigidi d'Europa.

Il grafico mette in relazione i gradi giorno di riscaldamento necessari e la diffusione delle pompe di calore.

### Heat pump penetration and number of heating degree days in 2021 in selected countries.

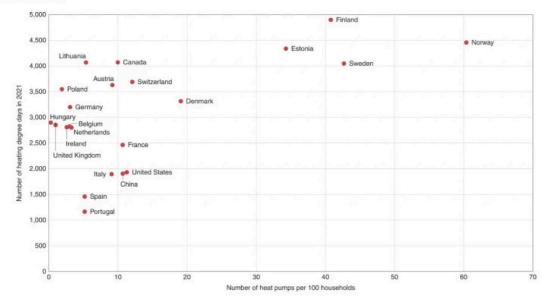


Fig. 6.15 - Confronto tra gradi giorno di riscaldamento necessari e la diffusione delle pompe di calore in Europa - https://www.qualenergia.it/

#### **CALDAIA A BIOMASSA**

Con il termine biomasse si identificano tutti quei materiali di origine organica (vegetale o animale) che non hanno subito processi di fossilizzazione e che possono essere utilizzati come fonti di energia. L'energia derivabile da esse è considerata di tipo rinnovabile. Naturalmente questo è vero fino a che il suo consumo non ha un impatto eccessivo sulla biodiversità e non ruba troppo terreno alle altre colture (soprattutto a quelle alimentari) facendone crescere troppo i costi. Inoltre, l'energia derivabile dalle biomasse è di tipo sostenibile in quanto non causa una crescita di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) nell'ambiente.<sup>63</sup>

Una caldaia a biomassa è un tipo di caldaia che utilizza biomasse (come legno, paglia, scarti agricoli o pellet di biomassa) come combustibile per generare calore. Questo tipo di caldaia è una scelta sostenibile e a basso impatto ambientale in quanto brucia combustibili provenienti da fonti rinnovabili anziché combustibili fossili.



Fig. 6.16 - Funzionamento di una caldaia a biomassa - http://www.caminisulweb.it/

Una caldaia a biomassa è composta da diverse parti chiave:

Camera di combustione.

È la zona in cui il combustibile a biomassa viene bruciato per generare calore. Può essere una camera aperta o chiusa, progettata per garantire una combustione efficiente e ridurre le emissioni.

Alimentazione del combustibile.

La biomassa, che può essere sotto forma di pellet, trucioli, paglia o altri materiali, viene alimentata nella caldaia attraverso un sistema di alimentazione, come una coclea o un trasportatore pneumatico.

· Griglia o bruciatore.

La biomassa viene posta su una griglia o all'interno di un bruciatore, a seconda del modello di macchina. La griglia permette la combustione controllata, mentre un bruciatore può fornire un controllo più preciso della combustione attraverso l'aggiunta di aria primaria e secondaria.

<sup>63</sup> Idraulica - Pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale, Caleffi, numero 40, giugno 2011

#### · Scambiatore di calore.

L'energia termica generata dalla combustione viene trasferita all'acqua o ad un fluido termovettore attraverso uno scambiatore di calore. Questo scambiatore di calore assorbe il calore dalla camera di combustione e lo trasferisce al fluido termovettore che circola attraverso di esso.

#### Sistema di controllo e sicurezza.

La caldaia è dotata di un sistema di controllo per monitorare e regolare la temperatura, la pressione e il funzionamento della caldaia.

#### Sistema di pulizia.

A causa della natura della biomassa, può accumularsi cenere o residui sulla superficie di scambio termico. La caldaia può essere dotata di un sistema di pulizia automatica per rimuovere tali depositi e mantenere un'efficienza ottimale.

#### · Sistema di scarico dei fumi.

I fumi di combustione prodotti dalla caldaia devono essere adeguatamente smaltiti. La caldaia è dotata di un sistema di scarico dei fumi, che può includere un camino o un sistema di tubazioni per l'espulsione dei fumi all'esterno.

#### Sistema di alimentazione elettrica.

La caldaia richiede un'adeguata alimentazione elettrica per far funzionare i controlli, le pompe e altri componenti elettrici.

#### **IMPIANTO IBRIDO**

Un impianto ibrido si compone da due generatori di calore che utilizzano rispettivamente una fonte rinnovabile e una fonte non rinnovabile:

- · una caldaia a condensazione alimentata con fonte non rinnovabile
- una pompa di calore alimentata con energia elettrica

I vantaggi di un sistema ibrido sono:

Maggiori opzioni di combustibile.

Viene offerta la possibilità di utilizzare diversi combustibili, a seconda delle esigenze e della disponibilità locale. Questo consente di adattarsi alle preferenze dell'utente e alle condizioni del mercato dei combustibili.

Efficienza energetica.

La combinazione di una caldaia e una pompa di calore risulta essere flessibile, consentendo di sfruttare le caratteristiche di entrambi i sistemi per massimizzare l'efficienza energetica complessiva, in base alle condizioni climatiche presenti.

Riduzione dei costi energetici.

Grazie alla maggiore efficienza energetica, un sistema ibrido può ridurre i costi energetici a lungo termine.

· Riduzione delle emissioni.

Utilizzando la pompa di calore alimentata da fonti di energia rinnovabile, si riduce l'uso di combustibili fossili e si contribuisce alla sostenibilità ambientale.

Affidabilità del sistema.

Un sistema ibrido offre una maggiore sicurezza e affidabilità. Nel caso in cui uno dei componenti del sistema abbia un guasto o richieda manutenzione, l'altro componente può continuare a garantire il funzionamento dell'impianto di riscaldamento.

Gli svantaggi di un sistema ibrido sono:

· Complessità del sistema.

Un sistema ibrido caldaia e pompa di calore richiede un'adeguata progettazione e integrazione dei componenti. Ciò può comportare una maggiore complessità del sistema e richiedere competenze specializzate per l'installazione e la manutenzione.

#### · Costi iniziali.

L'investimento iniziale è notevolmente più elevato rispetto a un singolo sistema di riscaldamento. È necessario considerare il costo delle due unità e dei relativi componenti, nonché delle modifiche strutturali necessarie per ospitare entrambi i sistemi.

#### · Spazio richiesto.

È necessario considerare se l'edificio dispone dello spazio sufficiente per l'installazione di entrambe le unità e dei relativi accessori.

#### · Manutenzione.

Il sistema ibrido comportare il possedere due generatori e quasi due impianti paralleli che portano circa a raddoppiare costi per la manutenzione e pulizia.

#### Complessità operativa.

Un sistema ibrido richiede una gestione adeguata con lo scopo di sfruttare al massimo i vantaggi di entrambi i componenti. Questo può richiedere una comprensione dettagliata delle condizioni climatiche, delle prestazioni dei sistemi e dei controlli per ottimizzare l'uso dei due sistemi.

Analizzati i pregi e i difetti appena descritti, si è scelto, per il Rifugio Città di Ciriè, di sostituire l'attuale caldaia a condensazione a GPL (per acqua calda sanitaria) e le due stufe (per il riscaldamento) con un sistema ibrido composto da:

- Pompa di calore aria-acqua monoblocco
- Caldaia combinata a biomasse (legna, cippato e pellet)

La pompa di calore monoblocco è costituita da un'apparecchiatura unica, contenente al suo interno tutti gli elementi costituenti il circuito frigorifero, che sono in dettaglio lo scambiatore a piastre acqua/refrigerante, il compressore, la valvola di espansione e il ventilatore che permette lo scambio termico aria/refrigerante nell'evaporatore.

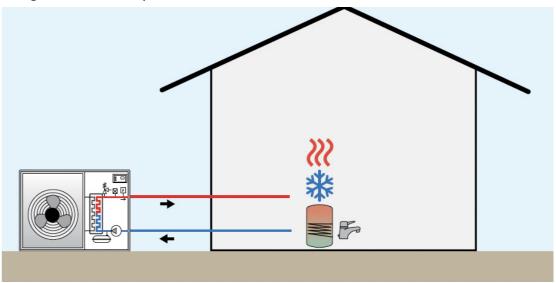


Fig. 6.17 - Schema pompa di calore monoblocco - https://idraulica.caleffi.com/

L'unità, collocata all'esterno, è collegata direttamente all'impianto attraverso le tubazioni che convogliano l'acqua tecnica dalla macchina all'edificio. Sarà collocata nello spazio esterno a Ovest, in modo da essere il più vicino possibile al locale tecnico. Il posizionamento sul terrazzo a Nord sarebbe stato ottimale, ma l'accumulo di neve invernale e la quantità di ore in ombra non permettono la presenza di condizioni ottimali di funzionamento.

Le PdC aria-acqua sono quindi delle macchine dalle performance variabili per cui il posizionamento della macchina esterna influisce sulle prestazioni finali in maniera importante.

Generalmente per valutare le prestazioni di un generatore tradizionale viene confrontata la quantità di energia termica prodotta rispetto all'energia primaria consumata:

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{E_{\text{termica}}}{E_{\text{primaria}}}$$

Nel caso delle pompe di calore l'efficienza con la quale viene trasferito il calore è definita dal coefficiente di prestazione COP che confronta il calore ceduto al fluido caldo con l'energia elettrica totale assorbita:

$$COP = \frac{Q_c}{W_{compressore} + W_{ausiliari}}$$

Generalmente durante il funzionamento il valore del coefficiente di prestazione è mediamente pari a 4. Questo significa che consumando una quantità di energia elettrica pari a 1 kWh la pompa di calore riesce a cedere 4 kWh (Q caldo) di energia termica all'ambiente, prelevando gli altri 3 kWh (Q aria) gratuitamente dall'ambiente esterno sotto forma di energia rinnovabile. La pompa di calore aria-acqua<sup>64</sup> scelta per questo caso studio ha un COP<sub>massimo</sub> di 4,8.

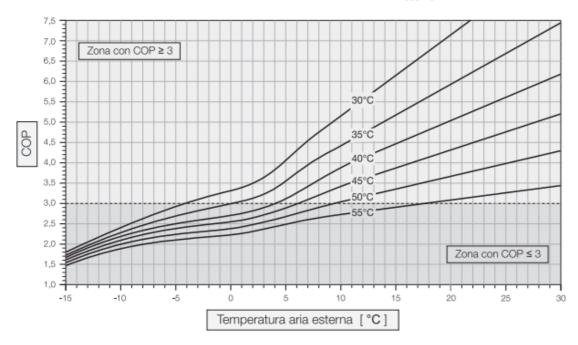


Fig. 6.18 - Variazione del COP al variare della temperatura esterna e della temperatura di mandata dell'impianto - https://www.caleffi.com/

Nella tabella vengono riportati i valori del COP al variare della temperatura esterna e della temperatura di mandata dell'impianto, per quanto riguarda una pompa di calore aria-acqua. Da sottolineare che la t<sub>mandata</sub> necessaria per il

progetto di tesi è compresa tra 45-50 °C, perché i terminali negli ambienti sono ventilconvettori.

Per il dimensionamento della pompa di calore si sono raccolti alcuni dati necessari:

- Fabbisogno termico EP<sub>H nd</sub> = 161,77 kWh/m²anno
- Superficie S = 325,16 m<sup>2</sup>
- Zona climatica F
- Temperatura esterna minima di progetto T<sub>min</sub> = 5 °C
- Gradi-giorno = 4502
- Ore di riscaldamento giornaliere = 16 ore

<u>Fabbisogno termico</u> (kWh/anno) = superficie utile da riscaldare (m²) \* fabbisogno annuo di energia termica (kWh/m²anno)

<u>Potenza nominale pompa di calore</u> (kW) = Fabbisogno termico \* (20 °C – Temperatura min. progetto) / Gradi-Giorno / Ore riscaldamento giornaliere

Il risultato ottenuto è 10,95 kW a cui sommo +1,76 kW<sup>65</sup> per la produzione di ACS, quindi è necessaria una potenza minima della pompa di calore di 12,71 kW.

La temperatura minima esterna di progetto è stata considerata di 5 °C e non di -8°C, per una scelta impiantistico progettuale, come indicato nell'immagine seguente.

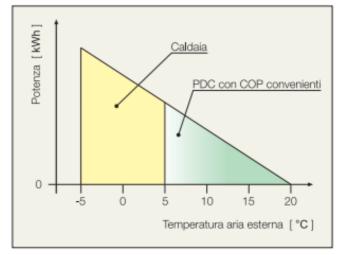


Fig. 6.19 - Funzionamento dell'impianto di riscaldamento in funzione della temperatura esterna - https://www.caleffi.com/

<sup>64</sup> Vaillant aroTHERM VWL (15 kW) per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria (con bollitore esterno)

Valore ottenuto dal software *TermusBim*, con cui si è modellato il progetto, che tiene in considerazione il numero di lavabi, docce e le loro curve di utilizzo.

Si è dimensionato la pompa di calore  $^{66}$  al fine di coprire il fabbisogno energetico dell'impianto fino ad una determinata temperatura dell'aria esterna (+ 5  $^{\circ}$ C), detta temperatura bivalente (TB).

Impostando solo la temperatura bivalente avremo un funzionamento dell'impianto del tipo bivalente alternativo, funzionerà o solo la caldaia o solo la PdC:

- T<sub>esterna</sub> < T<sub>hivalente</sub>, entra in funzione solo la caldaia;
- T<sub>esterna</sub> > T<sub>hivalente</sub>, entra in funzione solo la PdC.

Il funzionamento in alternativa, rispetto a quello in parallelo, consente alla PdC di lavorare sempre con COP elevati, come si può osservare dalla *fig. 6.18*, e quindi sempre in condizioni di convenienza.

Per comprendere la taglia della caldaia a biomassa si è utilizzato una formula di massima, verificando poi il prodotto con il software TermusBim per evitare sottodimensionamenti e sovradimensionamenti. Si sono raccolti alcuni dati necessari:

- il volume dell'abitazione V = 989,78 m<sup>3</sup>
- il fabbisogno di calore specifico (kW/m³), che dipende dal grado di coibentazione dell'edificio.

In genere i valori di riferimento sono:

- 0,03 kW/m³ per una casa di recentissima costruzione, dotata di molti accorgimenti per l'efficienza energetica (cappotto termico, doppi vetri, impianto radiante, ecc.);
- 0,05 kW/m³ per un'abitazione non troppo recente, ma ristrutturata con tutti i principi del buon isolamento termico;
- 0,08 kW/m³ per una casa di vecchia costruzione non ristrutturata, ma che si presume abbia un discreto isolamento;
- 0,12 kW/m³ per un'abitazione ubicata in un edificio antico non ben isolato.
   Il valore scelto per il calcolo è stato 0,04 kW/m³, perché edificio in pietra esistente soggetto a importante riqualificazione energetica.

66 Pompa di calore AroTherm Plus di Vaillant.

<u>Potenza caldaia</u> (kW) = volume abitazione (m³) x fabbisogno di calore specifico (kW/m³)

La potenza minima ottenuta è stata di 39,59 kW, aumentata successivamente di 15% al fine di garantire la produzione di acqua calda sanitaria. Quindi il valore finale minimo di potenza per determinare la taglia della caldaia a biomassa è 45.5 kW.

Si è scelto una caldaia<sup>67</sup> di taglia 49 kW, alimentata a pellet e legna con rendimenti fino al 95.5 % e certificazione ambientale 5 stelle<sup>68</sup>.

Una volta determinati i due generatori di calore si è scelto l'accumulo termico. I puffer termici svolgono un ruolo cruciale nell'ottimizzazione dell'efficienza e delle prestazioni di un sistema di riscaldamento di questa tipologia.

Agiscono come riserve di calore, consentendo di compensare le fluttuazioni di domanda e offerta di calore nel sistema, sia per il riscaldamento che per l'acqua calda sanitaria. Poiché le pompe di calore e le caldaie a biomassa spesso generano calore in modo discontinuo o a velocità variabili, il puffer termico permette di immagazzinare l'energia termica in eccesso quando la produzione supera la richiesta e di restituirlo quando la produzione è insufficiente. Ciò riduce l'accensione frequente e lo spegnimento dei generatori di calore, consentendo un funzionamento più stabile e riducendo l'usura del sistema.

Infine, l'utilizzo di un accumulo termico contribuisce a garantire una distribuzione uniforme del calore nell'edificio. Poiché il puffer termico immagazzina l'energia termica in eccesso, può rilasciarla gradualmente quando richiesto, evitando sbalzi di temperatura e garantendo un comfort costante negli ambienti.

Scegliendo un accumulo termico stratificato rispetto a uno tradizionale, si ha come vantaggio la presenza di diverse zone di temperatura all'interno del serbatoio, che permettono una migliore gestione del calore immagazzinato.

Caldaia a biomassa *Therminator II* di SolarFocus

Il D.M. 186 del Novembre 2017 ha introdotto una classificazione che assegna n. 5 diverse classi ambientali (denominate "STELLE") ai generatori di calore. Maggiore è il numero delle stelle, maggiore è l'efficienza. Le caldaie con 5 stelle, come quella scelta per il caso studio, risultano essere le più performanti in commercio.

Grazie alla stratificazione è possibile utilizzare il calore con maggiore precisione in base alle esigenze termiche dell'edificio, riducendo gli sprechi e migliorando l'efficienza complessiva del sistema.

La stratificazione del calore consente di mantenere una zona superiore ad alta temperatura specificamente per l'acqua calda sanitaria, garantendo un rapido accesso all'acqua calda senza dover aspettare il tempo di riscaldamento dell'intero serbatoio.

I principali componenti di un accumulo termico stratificato sono:

· Serbatoio.

Realizzato in acciaio inossidabile ed è progettato per contenere e isolare l'acqua calda. La capacità del serbatoio può variare a seconda delle dimensioni dell'edificio e delle esigenze termiche.

#### Strati di stratificazione.

All'interno del serbatoio, sono presenti divisori o tubi di distribuzione che creano diverse zone di temperatura. Questi strati consentono di separare il calore immagazzinato a temperature diverse, mantenendo le zone superiori a temperature più elevate e le zone inferiori a temperature più basse.

#### · Isolamento termico.

Il serbatoio di acciaio è avvolto da un isolamento termico efficace, con lo scopo di ridurre al minimo le perdite di calore. L'isolamento è realizzato con materiali ad alta densità, come la schiuma di poliuretano, che aiuta a mantenere il calore all'interno del serbatoio.

#### Sensori e sonde.

Per monitorare e controllare le temperature all'interno dell'accumulo, sono presenti sensori e sonde a diverse altezze che forniscono informazioni ai sistemi di controllo del riscaldamento. Questi componenti aiutano a garantire una gestione accurata del calore.



Fig. 6.20 - Schema accumulo termico stratificato - https://www.genialenergy.it/

Il dimensionamento dell'accumulo, facendo riferimento alla norma UNI EN 303-5<sup>69</sup>, è stato fatto utilizzando le caratteristiche della caldaia a biomassa. La motivazione è legata al maggiore bisogno di accumulo termico (25-30 litri ogni kW) delle caldaie a biomassa rispetto alle pompe di calore.

Per ottenere il volume minimo necessario per il puffer termico si è svolto il seguente calcolo:

Volume (litri) = potenza nominale caldaia a biomassa (kW) x 30 (litri) = 1470 litri

Per soddisfare questo volume sono stati previsti due accumuli termici da 800 litri ciascuno. La scelta di due unità è legata a due principali motivazioni:

- Le dimensioni di un accumulo singolo per 1470 litri non sono adatte per la tipologia di locale tecnico disponibile.
- Riscaldare 1500 litri circa in una sola volta è molto più energivoro di riscaldare due volte 800 litri, a causa resistenza termica dell'acqua.

<sup>69</sup> UNI EN 303-5:2021 Caldaie per riscaldamento - Parte 5: Caldaie per combustibili solidi, con alimentazione manuale o automatica, con una potenza termica nominale fino a 500 kW - Terminologia, requisiti, prove e marcatura

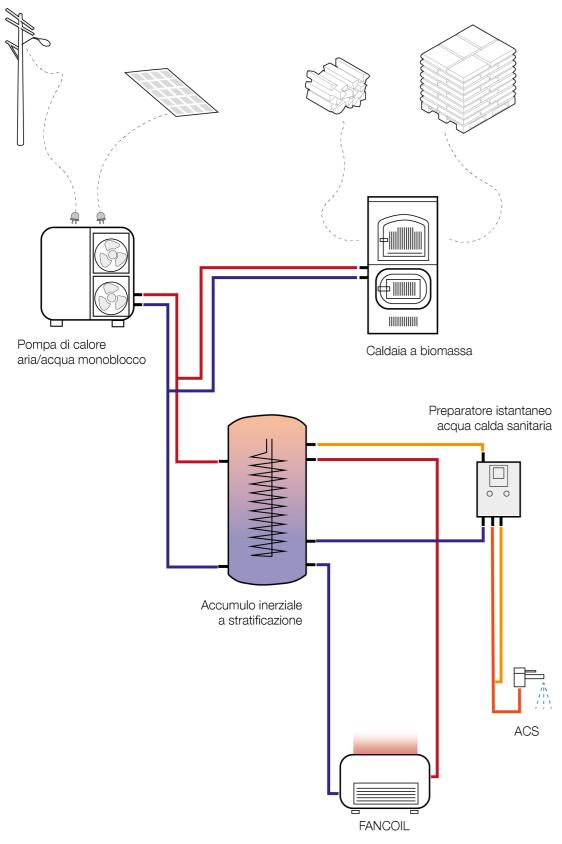


Fig. 6.21 - Schema dell'impianto post-intervento

Da sottolineare che nell'accumulo non convoglia acqua riscaldata da pannelli solari in copertura, perché non presenti. Questa scelta progettuale è stata fatta per massimizzare la produzione fotovoltaica, utilizzando tutta la superficie della copertura per l'istallazione dell'impianto.

Dall'accumulo di acqua tecnica si è previsto anche la derivazione di una produzione istantanea di acqua calda sanitaria, soprattutto per le esigenze della cucina. È un'alternativa raffinata alla produzione per accumulo che riduce al minimo il rischio di proliferazione di batteri quali la legionella e permette una gestione semplice e completa della funzione scaldacqua.

Dopo aver progettato l'impianto di riscaldamento, si sono progettati i terminali per climatizzare gli ambienti.

Si sono scelti i ventilconvettori che sono dispositivi che combinano la funzionalità di un ventilatore e di un convettore per generare flussi d'aria calda o fredda. La caratteristica principale è la rapidità; grazie all'uso di un ventilatore possono fornire riscaldamento o raffreddamento rapidi. L'aria calda o fredda viene distribuita in modo efficiente e uniforme nell'ambiente, consentendo di raggiungere rapidamente la temperatura desiderata. Fattore molto importante per un edificio come il rifugio.

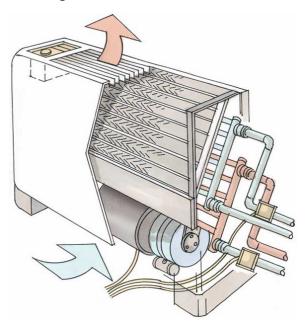


Fig. 6.22 - Schema funzionamento ventilconvettore - https://www.rifarecasa.com/

I principali componenti di un ventilconvettore sono:

· Ventilatore.

Un ventilatore incorporato nel dispositivo viene utilizzato per aspirare l'aria ambiente e farla passare attraverso uno scambiatore di calore. Il ventilatore accelera il flusso d'aria, consentendo una distribuzione più rapida e uniforme del calore o del fresco nell'ambiente.

· Scambiatore di calore.

È responsabile del trasferimento termico tra l'aria calda o fredda e l'ambiente. L'aria viene fatta passare attraverso lo scambiatore di calore, che può essere alimentato da un sistema di riscaldamento centralizzato o da una pompa di calore, per scaldare o raffreddare l'aria prima che venga diffusa nell'ambiente.

· Diffusore.

È costituito da una serie di griglie regolabili o bocchette di distribuzione che consentono di indirizzare il flusso d'aria in direzioni specifiche.

I ventilconvettori o fancoil hanno una temperatura di mandata di 45-50°C, il che li rende perfetti per essere abbinati a generatori di calore a bassa-media temperatura come le pompa di calore.

Il dimensionamento dei ventilconvettori è avvenuto scegliendo il modello in base a due principali fattori:

- Il carico termico di progetto Q<sub>2</sub> di ogni ambiente;
- Gli spazi disponibili in ogni ambiente dove poter istallare i ventilconvettori.

I ventilconvettori previsti e le intercapedini attraversate dalle tubazioni per il riscaldamento saranno rivestite con perline di legno o cartongesso (in base all'ambiente) con lo scopo di integrare il sistema al meglio nell'ambiente esistente.

Carico Termico Q <sub>p</sub> [W]	MOD	ELLO
Piano Terra		
1271	2455 W	Iris LH22
434	750 W	Iris Slim601
1981	2455 W	Iris LH22
5006	4 x 1400 W	Iris Slim801
1549	2455 W	Iris LH22
907	1400 W	Iris Slim801
Piano Primo		
2477	2455 W	Iris Ceiling
2260	2 x 1400 W	Iris Slim801
1255	2 x 750 W	Iris Slim601
1332	2 x 750 W	Iris Slim601
631	750 W	Iris Slim601
683	750 W	Iris Slim601
571	750 W	Iris Slim601
266	750 W	Iris Slim601
441	750 W	Iris Slim601
1261	2455 W	Iris LH22
	Piano Terra 1271 434 1981 5006 1549 907 Piano Primo 2477 2260 1255 1332 631 683 571 266 441	Piano Terra  1271

Tab 6.5 - Abaco ventilcovettori



Fig. 6.23 - In ordine da sinistra, Iris Slim601, Iris LH22 e Iris Ceiling di Rossatto Group - https://www.rossatogroup.com/

#### Le tre tipologie di terminali sono:

- Ventilconvettore sottile a parete<sup>70</sup>. Con portata d'aria massima da 180 m<sup>3</sup>/h a 600 m<sup>3</sup>/h.
- Ventilconvettore orizzontale da incasso<sup>71</sup>. Con portate aria, da 400 m<sup>3</sup>/h
  a 1940 m<sup>3</sup>/h.
- Ventilconvettore da incasso a soffitto<sup>72</sup>. La sua conformazione dirige il flusso d'aria immessa verso le pareti (*effetto Coanda*) e non direttamente verso il basso, evitando quel fastidioso movimento d'aria che tradizionalmente si avverte nella zona sottostante i ventilconvettori a cassetta. Con portate aria, da 400 m³/h a 1940 m³/h.

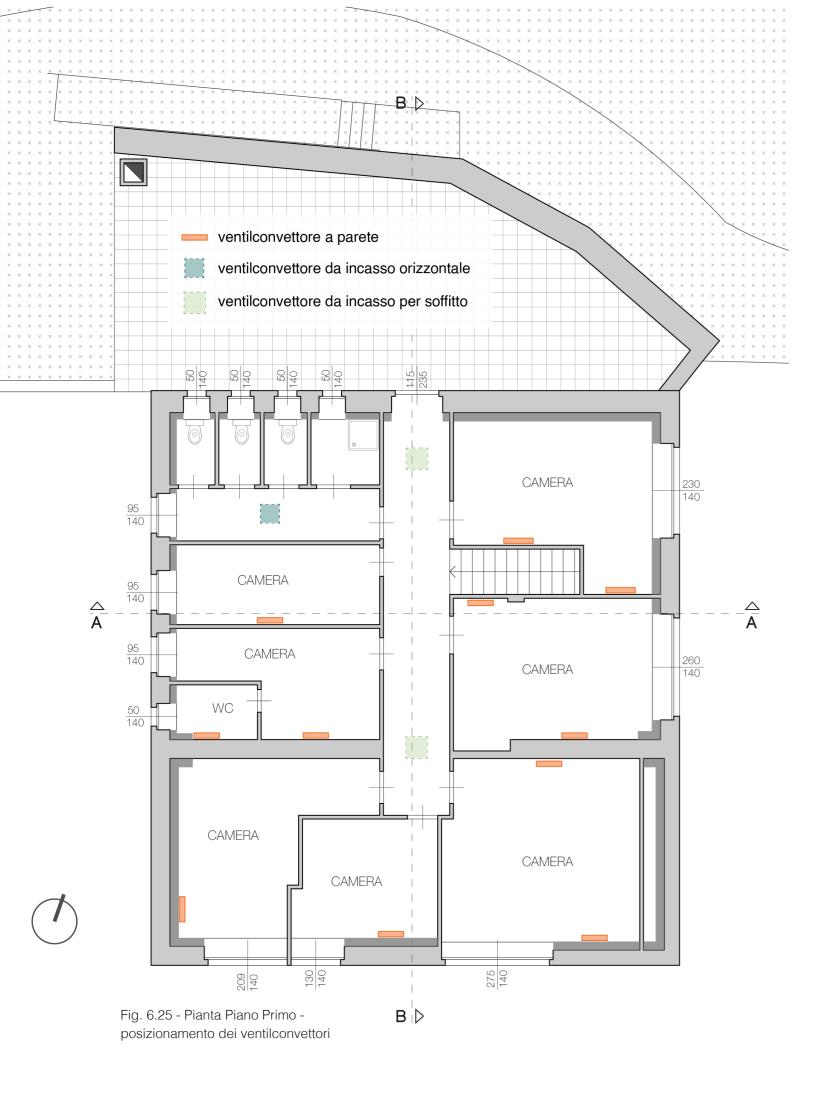
Nella sala da pranzo viene mantenuto il focolare a vista per mero effetto scenico e per i periodi più freddi. L'impianto principale sarà quindi dotato di termostato per impedire il funzionamento simultaneo quando scalda la stufa a legna.



<sup>70</sup> Iris Slim 601 e 801 di Rossato group. Dimensioni 60 x 58 x 13 cm

<sup>71</sup> Iris LH22 di Rossato group. Dimensioni 54 x 45 x 21 cm

<sup>72</sup> Iris Ceiling do Rossato group. Dimensioni 57 x 57 x 27 cm



#### **6.4 IMPIANTO FOTOVOLTAICO**

L'allegato III del D.Lgs. 199/2021<sup>73</sup> obbliga, per gli edifici di nuova costruzione e per le ristrutturazioni rilevanti di edifici esistenti, categoria in cui rientra il caso studio, la copertura del 60% dei consumi previsti per la produzione di acqua calda sanitaria e del 60% della somma dei consumi previsti per la produzione di acqua calda sanitaria, la climatizzazione invernale e la climatizzazione estiva da fonti rinnovabili.

La produzione di energia elettrica per soddisfare il fabbisogno dell'edificio avviene tramite i pannelli fotovoltaici posizionati in copertura. Nella trattazione che segue si useranno i termini pannello e modulo per indicare lo stesso concetto. Per questo studio sono stati scelti i pannelli dell'azienda giapponese *Leapton Solar*, figura leader nel settore del solare fotovoltaico mondiale, specializzata nella produzione di moduli fotovoltaici monocristallini ad alte prestazioni. Il modello scelto per il rifugio è il *LP182-M-60-MH*. Il modulo è costituito da 120 celle monocristalline di tipologia MBB, per una minore perdita di corrente interna. I pannelli sono resistenti alla nebbia salina, ai fumi di ammoniaca, all'attrito della sabbia e della grandine. Raggiungono una resistenza al vento di 2400 Pa e un carico di neve di 5400 Pa.<sup>74</sup>

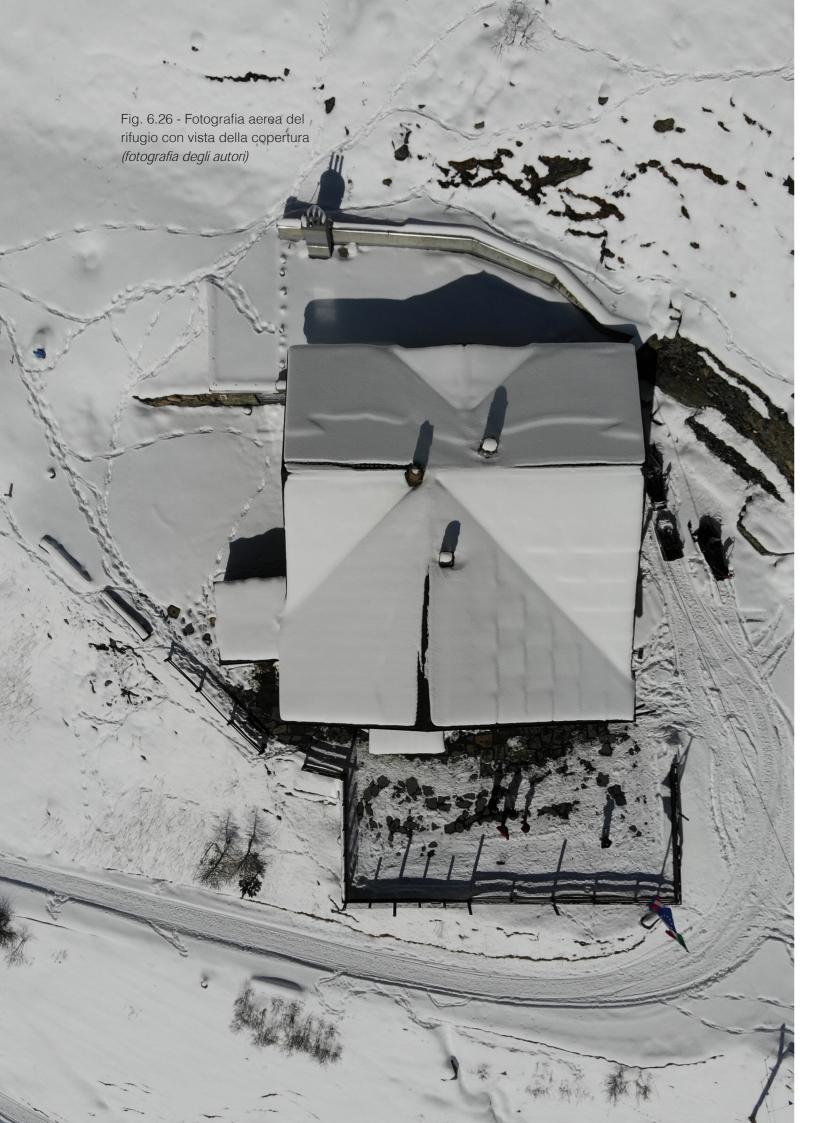
Per comprendere al meglio la potenza dell'impianto fotovoltaico è necessario esplicare il significato di potenza di picco (kWp), che rappresenta la potenza elettrica erogata da un modulo o da una cella fotovoltaica di una determinata superficie, se sottoposti a condizioni standard; irradianza di 1 kW/m² su detta superficie (a 25°C), con posizione del sole a 1,5 AM<sup>75</sup>.

Le dimensioni di un singolo modulo sono 1909 x 1134 x 30 mm, a cui corrisponde una potenza di picco pari a 460 W. Di conseguenza, per raggiungere valori più elevati, è stato necessario creare una stringa fotovoltaica, ossia un insieme di più pannelli collegati in serie.

<sup>73</sup> Decreto Legislativo n.199 dell'8 novembre 2021 - Allegato III (Obblighi per i nuovi edifici, per gli edifici esistenti e per gli edifici sottoposti a ristrutturazioni rilevanti), che attua la Direttiva UE

<sup>74</sup> https://beein.pl/it/prodotto/salto-460w/

<sup>75</sup> CEI – EN 60904-3 Dispositivi fotovoltaici - Parte 3: Principi di misura per sistemi solari fotovoltaici (PV) per uso terrestre e irraggiamento spettrale di riferimento



LEAPTON SOLAR LP182*182-M-60-MH				
Produzione picco	460 W			
Peso	23.5 kg			
Dimensioni	190.9 x 113.4 x 3 cm			
Dimensioni cella	182 x 182 mm			
Quantità celle	120 celle			
Tensione massima del sistema	1500 V			
Telaio	Alluminio			
Voltaggio a circuito aperto	41.80 V			
Voltaggio corto circuito	13.78 A			
Voltaggio massimo	35.20 V			
Corrente massima	13.08 A			

Tab 6.6 - Dati tecnici del modulo fotovoltaico

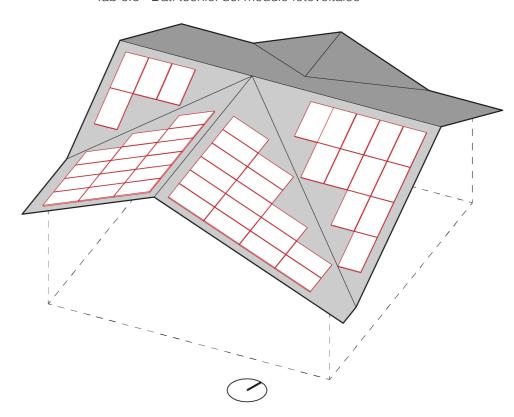


Fig. 6.27 - Assonometria Sud-Est della copertura con individuazione dei moduli fotovoltaici

Per il posizionamento dei moduli è stato seguito il criterio di massimizzazione dell'impiego delle falde della copertura, orientate verso Sud-Est (azimut +20°), Nord-Est (azimut +110°) e Sud-Ovest (azimut -70°). La configurazione definitiva scelta, comprensiva di tipologia, dimensione e orientamento (verticale) dei moduli, è stata raggiunta dopo diverse combinazioni e tentativi di posizionamento.

La distribuzione finale comprende:

- 16 moduli sulle due falde rivolte a Sud-Est (7,36 kW)
- 16 moduli sulla falda rivolta a Nord-Est (7,36 kW)
- 15 moduli sulla falda rivolta a Sud-Ovest (6,9 kW)

In totale sono presenti 47 moduli con potenza di picco pari a 21,6 kWp, istallati sulla porzione di copertura che meglio capta la radiazione solare.

Per avere un'idea abbastanza precisa della durata delle ore di luce e degli angoli solari, in particolare dell'altezza solare  $\alpha$  e dell'azimuth  $\gamma$ , è utile fare riferimento alla carta solare del sito, approfondita nel capitolo 2.2 Parametri climatici della località.

Per comprendere irradianza solare e produzione di energia si è utilizzato il web tool PVGIS. PVGIS Online Tool - EU Science Hub è un simulatore realizzato in collaborazione tra il Joint Research Centre, l'Institute for Energy and Transport e la Commissione Europea, in particolare dall'ESTI (European Solar Test). L'applicazione online si basa su un sistema di mappe e fornisce un inventario della risorsa energetica solare e la sua valutazione geografica. Un elemento che rende PVGIS molto affidabile è lo studio morfologico, che viene fatto sempre a livello satellitare, il quale permette di ottenere un profilo dell'orizzonte per una qualsiasi località di interesse. Questo elemento non è da trascurare in quanto come si vedrà, per località montane, i valori della radiazione solare possono essere fortemente alterati a causa della presenza dei rilievi<sup>76</sup>. A causa della situazione di ombreggiamento dovuta alla presenza delle montagne, infatti, è possibile assistere ad una considerevole variazione di produzione fotovoltaica rispetto ad un impianto, posizionato nella stessa località geografica, ma che non è soggetto ad ostruzioni.

I principali input necessari per il calcolo sono:

 la località di installazione, selezionabile sulla mappa interattiva oppure inserendo direttamente le coordinate in termini di longitudine e latitudine;

Amedeo TESTORI, *Dimensionamento di un impianto fotovoltaico per un utente tipico*, tesi di Laurea Triennale in Ingegneria Energetica, Politecnico di Torino, relatore Filippo Spertino, 2019.

- il mese di interesse;
- l'inclinazione:
- · l'orientamento;
- · la potenza di picco;
- · le perdite di sistema.

I principali output che si ottengono sono:

- Irradianza giornaliera. Il risultato della ricerca è rappresentato da un elenco di orari (dall'alba al tramonto) del mese scelto, con un intervallo di 15 minuti. La tabella restituita dal programma comprende i relativi valori quantitativi di irradiazione istantanea incidente sulla superficie selezionata, in corrispondenza di ciascun intervallo orario. Tale output è basato e stilato a seconda delle opzioni precedentemente scelte nella fase di input.
- Irraggiamento mensile. Mediante un'integrazione con i calcoli dell'irradianza giornaliera relativa a tutti i giorni del mese selezionato, si ricava una tabella contenente la quantità di radiazione solare media incidente sulla superficie selezionata per ciascun mese dell'anno e la media annuale. L'integrazione consiste nell'estendere il calcolo a tutti i dodici mesi.<sup>77</sup>

FALDA SUD - EST

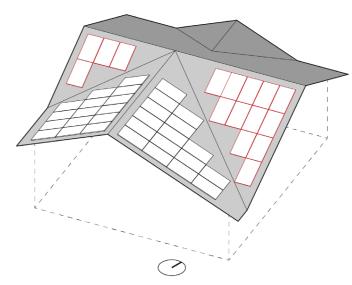


Fig. 6.28 - Assonometria Sud-Est della copertura con individuazione dei moduli fotovoltaici sulla falda Sud-Est

<sup>77</sup> https://www.edilizialavoro.com/

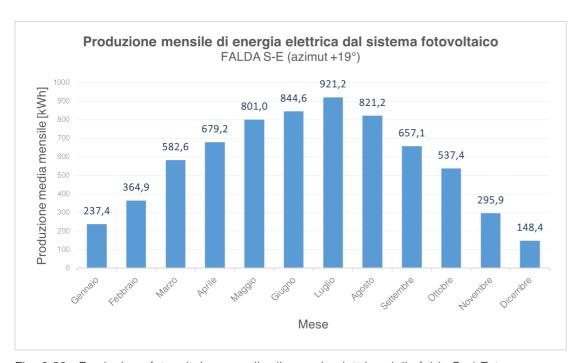


Fig. 6.29 - Produzione fotovoltaica mensile di energia elettrica della falda Sud-Est

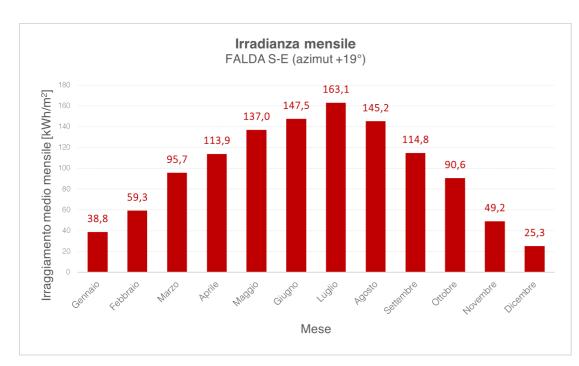


Fig. 6.30 - Irradianza fotovoltaica mensile della falda Sud-Est

#### FALDA NORD - EST

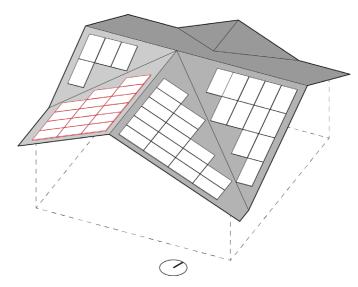


Fig. 6.31 - Assonometria Sud-Est della copertura con individuazione dei moduli fotovoltaici sulla falda Nord-Est

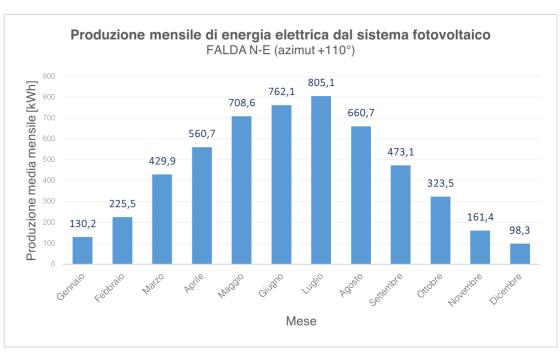


Fig. 6.32 - Produzione fotovoltaica mensile di energia elettrica della falda Nord-Est

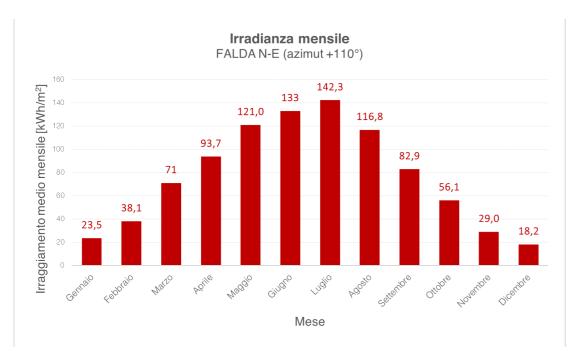


Fig. 6.33 - Irradianza fotovoltaica mensile della falda Nord-Est

#### FALDA SUD - OVEST

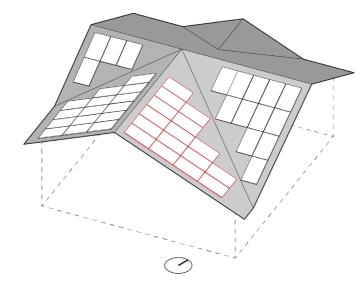


Fig. 6.34 - Assonometria Sud-Est della copertura con individuazione dei moduli fotovoltaici sulla falda Sud-Ovest

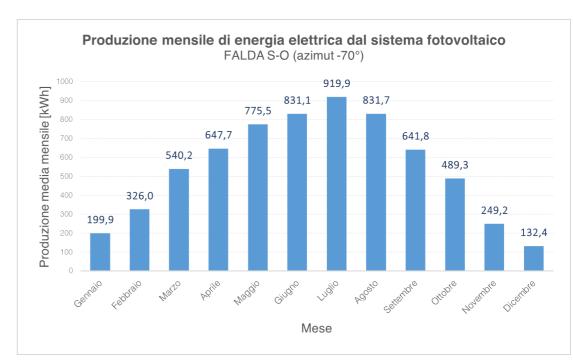


Fig. 6.35 - Produzione fotovoltaica mensile di energia elettrica della falda Sud-Ovest

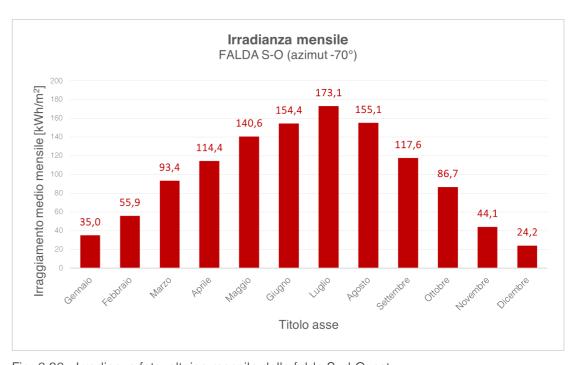


Fig. 6.36 - Irradianza fotovoltaica mensile della falda Sud-Ovest

#### INTERA COPERTURA

#### Produzione mensile di energia elettrica dal sistema fotovoltaico TOTALE

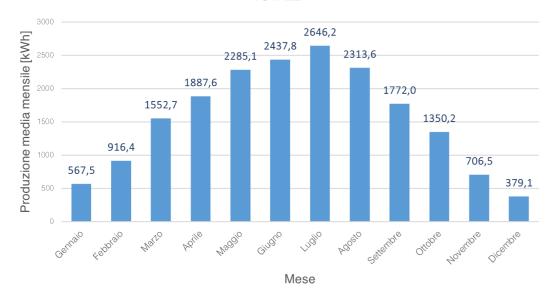


Fig. 6.37 - Produzione fotovoltaica mensile di energia elettrica dell'intero sistema

DATI - Rifugio Ci	ttà di Ciriè
Latitudine	453,072
Longitudine	71,636
Database	PVGIS - SARAH
Tecnologia FV	Silicio cristallino
Posizione	Copertura
FALDA SUD-EST	
Azimut	19°
Inclinazione falda	25°
Numero moduli	16
Potenza Fv di picco	7.36 kWp
Produzione annuale	6891 kWh
Irraggiamento annuale	1180 kWh/m <sup>2</sup>
FALDA NORD-EST	
Azimut	110°
Inclinazione falda	24°
Numero moduli	16
Potenza Fv di picco	7.36 kWp
Produzione annuale	5339 kWh
Irraggiamento annuale	926 kWh/m <sup>2</sup>
FALDA SUD-OVEST	
Azimut	-70°
Inclinazione falda	24°
Numero moduli	15
Potenza Fv di picco	6.90 kWp
Produzione annuale	6585 kWh
Irraggiamento annuale	1194 kWh/m <sup>2</sup>

Tab 6.7 - Dati riassuntivi del sistema fotovoltaico

I risultati ottenuti da PVGIS sottolineano come la produzione si abbassi notevolmente nei mesi di dicembre e gennaio, proporzionalmente all'irradianza. Questo è dovuto al fatto che le giornate più corte ed il maggiore ombreggiamento da parte delle montagne comporta una riduzione della riduzione solare che colpisce i pannelli. Al contrario, i mesi di giugno e luglio si dimostrano quelli più produttivi dell'anno, grazie alla maggiore disponibilità di ore di luce. Proprio il mese di luglio offre infatti il picco di produzione annuale, raggiungendo una produzione mensile di circa 2650 kWh.

Se si confronta la produzione mensile fotovoltaica con quelli che sono i consumi attuali del rifugio, è possibile osservare come la condizione di autosufficienza energetica venga raggiunta solo in alcune giornate di giugno, ma la presenza dell'impianto permetta di ridurre considerevolmente durante l'intero anno il quantitativo di energia che deve essere acquistata dalla rete. Questo ha come conseguenza un significativo risparmio economico, a cui si affianca anche un miglioramento in termini ambientali in quanto tutta l'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici è rinnovabile.

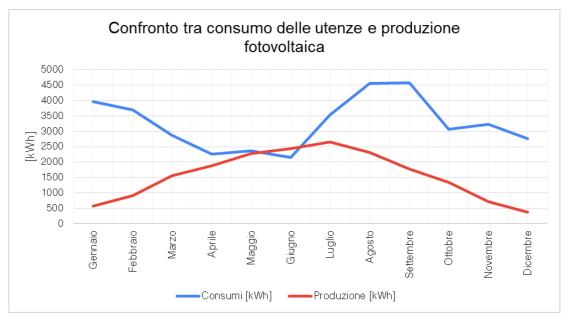


Fig. 6.38 - Confronto tra i consumi elettrici delle utenze e produzione fotovoltaica annuale

#### 6.5 VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA

"L'aria che respiriamo gioca un ruolo fondamentale quando si parla di comfort ambientale e solo una ventilazione che soddisfi precisi requisiti è in grado di garantire una condizione di benessere. La temperatura, l'umidità e il livello di inquinanti sono solo alcuni fattori che determinano la qualità dell'aria da cui dipende la salute delle persone."<sup>78</sup>

L'aerazione dei locali, ossia la sostituzione dell'aria presente in un ambiente con l'aria proveniente dall'esterno, può avvenire attraverso due modalità:

- Aereazione: avviene tramite l'apertura delle finestre, e sfrutta le differenze di temperatura e pressione tra aria interna e aria esterna affinché esse si scambino naturalmente.
- Ventilazione: sistema dimensionato d'immissione ed estrazione dell'aria da un'ambiente. Può essere naturale o meccanica controllata.

Nella situazione attuale del caso studio, l'aria esterna penetra all'interno dell'edificio passando attraverso aperture già presenti nell'involucro edilizio, come le fessure che si trovano intorno agli infissi (infiltrazioni) e tramite l'apertura di porte e finestre. Il rifugio, in seguito all'intervento di riqualificazione, possiederà elevate prestazioni e ridotte dispersioni termiche, a cui si assocerà tenuta all'aria quasi perfetta. Questo ha come conseguenza l'eliminazione del ricambio naturale di aria, comportando la necessità di installazione di un impianto di ventilazione meccanica controllata.

I sistemi di ventilazione meccanica controllata (VMC) sono impianti che consentono di gestire il ricambio dell'aria di un ambiente con l'esterno. Questo avviene senza l'apertura di finestre o porte, tramite condotte di ventilazione forzata, collegate con gli ambienti interni da aspiratori (per la rimozione dell'aria viziata o inquinata) e da diffusori (per l'immissione di aria nuova).

Il controllo dell'umidità RH (*Relative Humidity*) prodotta in ambiente, eviterà la proliferazione di muffe, spore e batteri, soprattutto in corrispondenza di zone

fredde, che presentano temperature inferiori rispetto alle aree circostanti. Al fine di garantire un buon livello di comfort abitativo l'umidità relativa presente in ambiente dovrebbe essere compresa tra il 40 ed il 60 %<sup>79</sup>. Con valori di umidità relativa troppo bassi l'aria diventa eccessivamente secca, favorendo la trasmissione di batteri e virus, mentre se la percentuale di umidità relativa aumenta, si creano le condizioni adatte alla formazione di muffe e alla proliferazione di acari. La tendenza dell'umidità relativa negli ambienti chiusi è quella di aumentare nel caso in cui non avvenga un numero adeguato di ricambi d'aria.

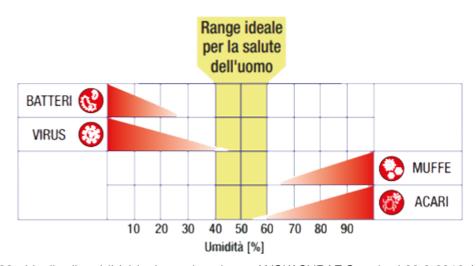


Fig. 6.39 - Livello di umidità ideale per la salute - ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2016, Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings

L'anidride carbonica è tossica per l'uomo quando raggiunge elevate concentrazioni, ma già con quantitativi ridotti le prestazioni, la concentrazione e il benessere degli occupanti sono compromessi. In ambienti chiusi come nella sala da pranzo del rifugio, la zona più affollata dell'edificio, è possibile raggiungere concentrazioni elevate causa del fatto che l'anidride carbonica è uno dei prodotti della respirazione umana. Viene qualitativamente considerata salubre l'aria con concentrazioni tra i 300 e i 500 ppm di CO<sub>2</sub>. Con valori oltre i 1000 ppm gli occupanti percepiscono l'aria come viziata, fino ad arrivare a concentrazioni molto elevate, superiori alle 5000 ppm, per cui si va incontro a tossicità.

<sup>78</sup> Ingg. Pietro Malavolta e Dennis Boetto, *La qualità dell'aria*, in *Idraulica*, n. 62, giugno 2022

<sup>79</sup> ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2016, Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings

Per questo motivo normative quali la UNI EN 15251 stabiliscono dei limiti di concentrazione di anidride carbonica in ambiente, affinché la salute degli occupanti sia tutelata garantendo la salubrità dell'aria. La normativa citata classifica la quantità di CO<sub>2</sub>, secondo cinque categorie. Una categoria più alta implicherà un tasso di ricambio d'aria maggiore, per controbilanciare la quantità di CO<sub>2</sub> in ambiente.

Concentrazione di CO <sub>2</sub> [ppm]	Percezione ed effetti sulla salute				
300-500	Aria esterna	ARIA SALUBRE			
500-1000	Spazi con buon ricambio d'aria	ARIA IGIENICAMENTE INNOCUA			
1000-2000	Sensazione d'aria scadente	ARIA VIZIATA			
2000-5000	Scarsa concentrazione, sonnolenza	ARIA MOLTO VIZIATA			
>5000	Tossicità	ARIA INSALUBRE			

Fig. 6.40 - Limiti di concentrazione di anidride carbonica

Durante il processo di rinnovo dell'aria, soprattutto ad elevate altitudini, risulta molto importante riuscire a non disperdere il calore interno. Il recupero di calore è il principio di funzionamento principale dei sistemi VMC moderni. Con l'ausilio di uno scambiatore, viene recuperato il calore contenuto nell'aria di ripresa dagli ambienti prima della sua espulsione, preriscaldando l'aria immessa nella stagione invernale o preraffrescandola nella stagione estiva.

Per una migliore comprensione, è possibile fare un confronto tra ciò che

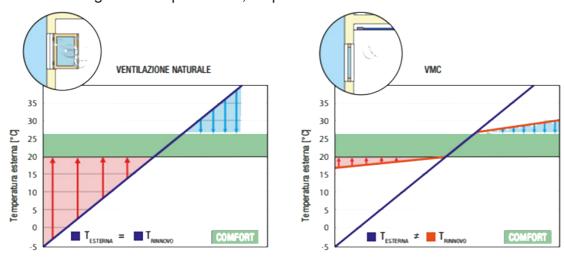


Fig. 6.41 - Confronto tra ventilazione naturale e sistemi di ventilazione meccanica controllata https://idraulica.caleffi.com/

avviene con ricambi d'aria tramite ventilazione naturale (senza alcun recupero di calore) e sistemi VMC.

La fascia verde indica l'intervallo di temperatura di comfort per l'occupante, compreso tra i 20 °C e i 26 °C. Se la temperatura media dell'aria interna è maggiore o minore di questo range è necessario intervenire tramite l'intervento dell'impianto, rispettivamente, di raffrescamento o di riscaldamento affinché sia possibile tornare nella fascia di comfort.

Nel caso della ventilazione naturale, l'aria che viene rinnovata risulta essere alla stessa temperatura dell'aria esterna e dovrà essere riscaldata (o raffrescata) per rientrare nelle condizioni ideali di comfort. La quota parte di energia da integrare sarà a carico dell'impianto di climatizzazione e direttamente proporzionale alla differenza tra la temperatura di comfort e quella esterna.

Per la ventilazione meccanica controllata, il sistema è in grado di recuperare la maggior parte del calore dall'aria di ripresa (quella estratta dall'ambiente), grazie alla sua elevata efficienza. Il recupero termico fa sì che la temperatura dell'aria di rinnovo sia quindi sensibilmente prossima alle condizioni ideali di comfort. L'energia da integrare sarà, quindi, molto inferiore rispetto alla semplice ventilazione naturale.

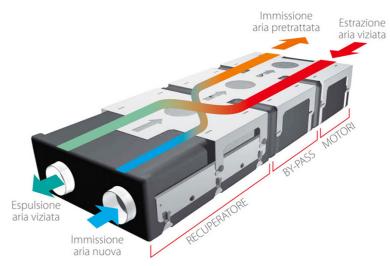


Fig. 6.42 - Schema sistema di ventilazione controllata a recupero energetico https://tiecosrl.com/

Il recuperatore di calore a flussi incrociati, nella VMC centralizzata, è composto da una massa radiante e da una ventola. I due flussi d'aria, mossi dalla ventola attraverso il cooler, scambiano calore sensibile e hanno direzione perpendicolare tra di loro.

I principali componenti sono:

- Involucro, funge da contenitore per tutti i componenti e garantisce la tenuta a perdite di calore e trafilamenti d'aria che possono ridurre l'efficienza energetica. Ha un'importante funzione di isolamento acustico, riducendo la rumorosità irraggiata e trasmessa ai canali.
- Pacco di recupero, permette la cessione del calore dall'aria esausta all'aria di rinnovo, senza miscelazione tra i due flussi. Permette quindi l'espulsione degli inquinanti interni, preservando all'interno dell'involucro dell'edificio il calore.
- Filtri aria, atti a garantire la pulizia dell'aria che attraversa ventilatori e pacco di scambio, oltre alla salubrità dell'ambiente trattato. La tipologia di media filtrante aumenta il grado di qualità dell'aria. I filtri sono facilmente accessibili per la loro pulizia ordinaria.<sup>80</sup>
- Ventilatori, uno lato aria esausta ed uno lato aria di rinnovo. Forzano
  il movimento dell'aria all'interno dei canali e dell'edificio. La possibilità
  di regolarne la velocità permette di adeguare le portate d'aria in base
  alle condizioni ambientali ed al momento della giornata, prediligendo
  la massima portata in caso di affollamento e riducendo la rumorosità
  durante le ore di riposo.
- Serranda di bypass, che permette di escludere il passaggio del flusso d'aria di rinnovo attraverso lo scambiatore quando non richiesto (freecooling / free-heating).
- Elettronica: il "cervello", che, tramite i sensori posti all'interno dell'unità ed in ambiente (se previsti), regola il funzionamento dell'unità per ottimizzare la qualità dell'aria e l'efficienza di recupero.

L'impianto di ventilazione meccanica controllata, anche se dotato di recuperatore di calore performante, presenterà delle difficoltà quando la temperatura di immissione dell'aria, soprattutto nel periodo invernale, sarà molto rigida. Al fine di minimizzare e annullare il discomfort interno si è previsto l'utilizzo di una batteria idronica per il riscaldamento dell'aria. Queste unità di pre/post riscaldo

ad acqua sono costituite da telaio in lamiera zincata ed una batteria di scambio termico composta da tubi di rame ed alette di alluminio. È alimentata con acqua calda dell'impianto di riscaldamento e si comporta come una termoventilante a valle del della vmc.

#### **FUNZIONAMENTO IN RISCALDAMENTO**

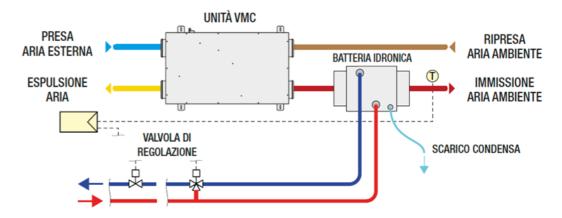


Fig. 6.43 - VMC con batteria ionica di recupero - https://idraulica.caleffi.com/

L'obiettivo di questa trattazione è stato quello di esplicare le basi teoriche da cui partire per il dimensionamento della rete di distribuzione negli impianti di ventilazione, in modo da garantire il corretto afflusso ed estrazione di aria dagli ambienti.

Il sottotetto, sopra il corridoio distributivo delle camere da letto, si è rilevato il luogo adatto per ospitare il dispositivo di trattamento dell'aria. Il locale dedicato, la posa su tappetini acustici, giunti antivibranti e l'utilizzo di plenum dotati di dispositivi di attenuazione acustica permettono la massima prevenzione del rumore. Inoltre, la facile accessibilità all'unità agevola le operazioni di manutenzione. La distribuzione viene realizzata in cassonetti di legno nelle zone con rivestimenti simili, e in cartongesso nei bagni e in cucina. Entrambe le soluzioni prevedono il passaggio di canali con rivestimento fonoisolante, in modo tale da non disturbare le zone servite, qualunque esse siano.

Il monitoraggio indoor avverrà grazie a sensori che permettono la regolazione automatica delle portate di funzionamento in funzione dei parametri ambientali. Questo facilita un corretto funzionamento e un'ottima resa, soprattutto durante i periodi di maggiore affollamento del rifugio, quando i gestori non riuscirebbero a dedicarsi alla regolazione delle portate della VMC.

I filtri vengono classificati secondo la loro efficienza di filtrazione. Sono regolati dalla normativa UNI EN ISO 16890:2017. Nel caso del Rifugio Città di Ciriè, non sarà necessario difendersi dallo smog, ma solamente da pollini e polveri sottili.

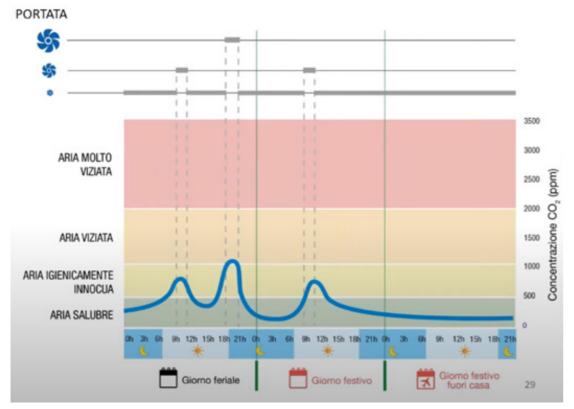


Fig. 6.44 - Funzionamento dell'impianto di ventilazione meccanica controllata in funzione della concentrazione di CO<sub>2</sub> - https://www.youtube.com/

Facendo riferimento alle normative UNI EN 15251:2008<sup>81</sup> e UNI EN 10339:1995<sup>82</sup> è stata stimata la portata dell'aria, considerando il volume dei locali.

Vista la grande affluenza al Piano Terra della struttura, si è scelto di non prevedere ovunque un ricambio d'aria di 0,5 vol/h (valore invece ottimale per il corridoio e le camere da letto del Piano Primo).

La situazione di affollamento massimo si ottiene raggiungendo la capienza massima della sala da pranzo, con circa 40 persone sedute e una decina di persone, facenti parte del personale, che lavorano in movimento tra cucina, bar e sala. Durante i momenti dei pasti le zone del Piano Primo saranno pressoché vuote e la VMC, abbinata al sistema di monitoraggio, lavorerà a pieno regime per garantire i giusti ricambi d'aria della sala da pranzo.

I ricambi d'aria, previsti dalla norma UNI EN 10339, per le sale da pranzo

81 UNI EN 15251:2008 - Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna,

all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica

sono di 10 l/s d'aria per ogni persona, quindi 36 m³/h per persona, per un totale di 1800 m³/h. Si è scelta una macchina con scambiatore di calore ad alta efficienza e batterie di pre o post riscaldamento ad acqua con portata massima di 2500 m³/h8³.

Nonostante la grande portata di aria immessa la sala da pranzo non avrà problemi di sovrapressione, neanche nel periodo invernale con i serramenti chiusi, perché è comunicante con la zona d'ingresso-bar, che viene aperta verso l'esterno molto frequentemente.

Le immissioni sono state previste per i locali nobili, quali sala da pranzo e camere da letto. I locali con importante carico di umidità, quali bar<sup>84</sup>, cucina e servizi igienici, saranno soggetti a estrazione. Vi sono anche dei locali, dove non è prevista nessuna bocchetta, quali corridoi e disimpegni, ma saranno solo attraversati da canali d'aria.

I canali scelti per il trasporto dell'aria all'interno dei singoli locali o viceversa sono flessibili in polietilene circolare DN 75 mm, con portata massima ammessa pari a 30 m $^3$ /h, contenuti in ribassamenti del soffitto rivestiti da perlinatura lignea.

La scelta del Plenum<sup>85</sup> è stata effettuata raggruppando i diversi canali di estrazione e i diversi canali di immissione, per ogni piano.

Si sono, infine, scelte delle bocchette ambiente universale<sup>86</sup>, con la possibilità di ospitare un massimo di due tubi, ma in tre diverse configurazioni.

La loro posizione, dove possibile, è stata scelta in modo da essere negli angoli opposti di ogni stanza. Mentre per la sala da pranzo, dove le portate d'aria necessarie, sono notevolmente maggiori, si sono previsti due canali microforati induttivi circolari, in modo da massimizzare la distribuzione.

UNI 10339:1995 - Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'orferta, l'ordine e la fornitura.

VMCgroup RIS 2500 PE/PW EKO 3.0. Rendimento 95 %. Portata min e max 500/2500 m3/h. Assorbimento di picco 1,89 kW/h.

Il bar-ingresso è caratterizzato da importanti carichi di umidità a causa della presenza di elettrodomestici quali la macchina del caffè e il lavabicchieri. Oltre a ciò, nell'ambiente del rifugio ha anche grande influenza l'ingresso di ospiti che indossano vestiti bagnati e che, asciugandosi, rilasciano vapore in ambiente.

<sup>85</sup> Il Plenum serve per raccordare la mandata e la ripresa dell'aria dalla macchina

<sup>86</sup> Bocchetta AIR500 Caleffi. Bocchetta in ABS orientabile per collegamento di 1 o 2 tubi flessibili aria ambiente a sezione circolare DN 75 o DN 90. Possibilità di singolo attacco laterale, due posteriori, due dall'alto o dal basso.

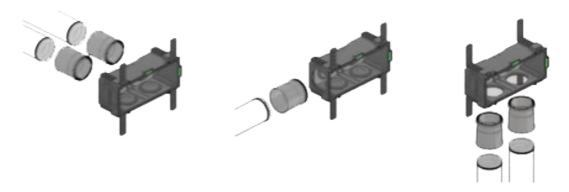


Fig. 6.45 - Bocchetta AIR500 Caleffi - https://www.caleffi.com/

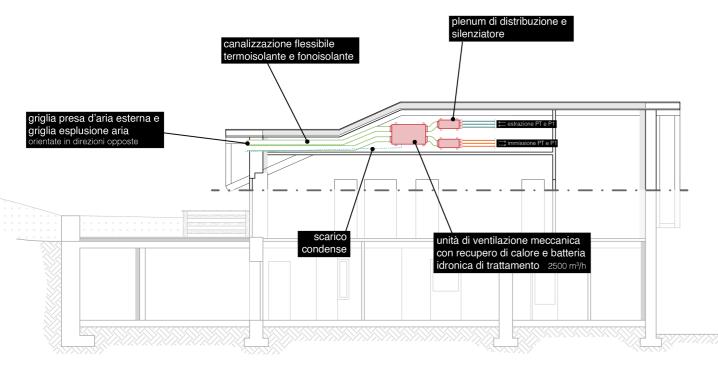
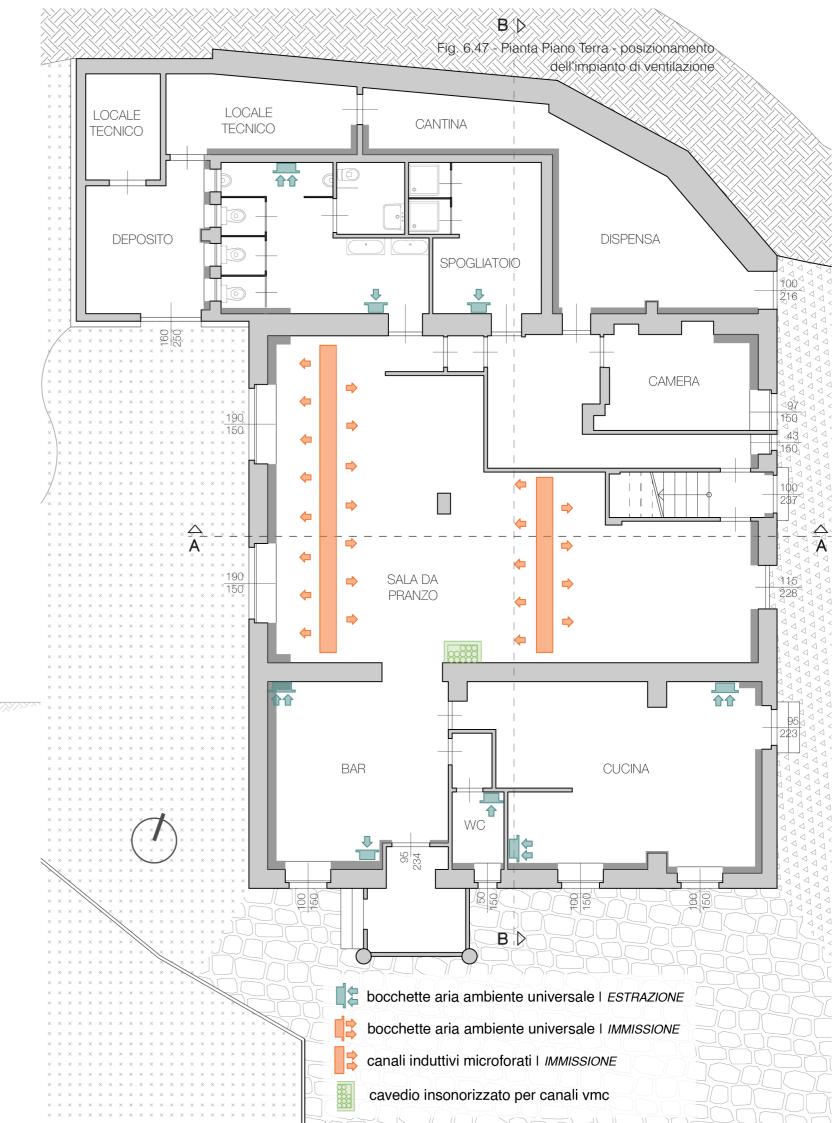
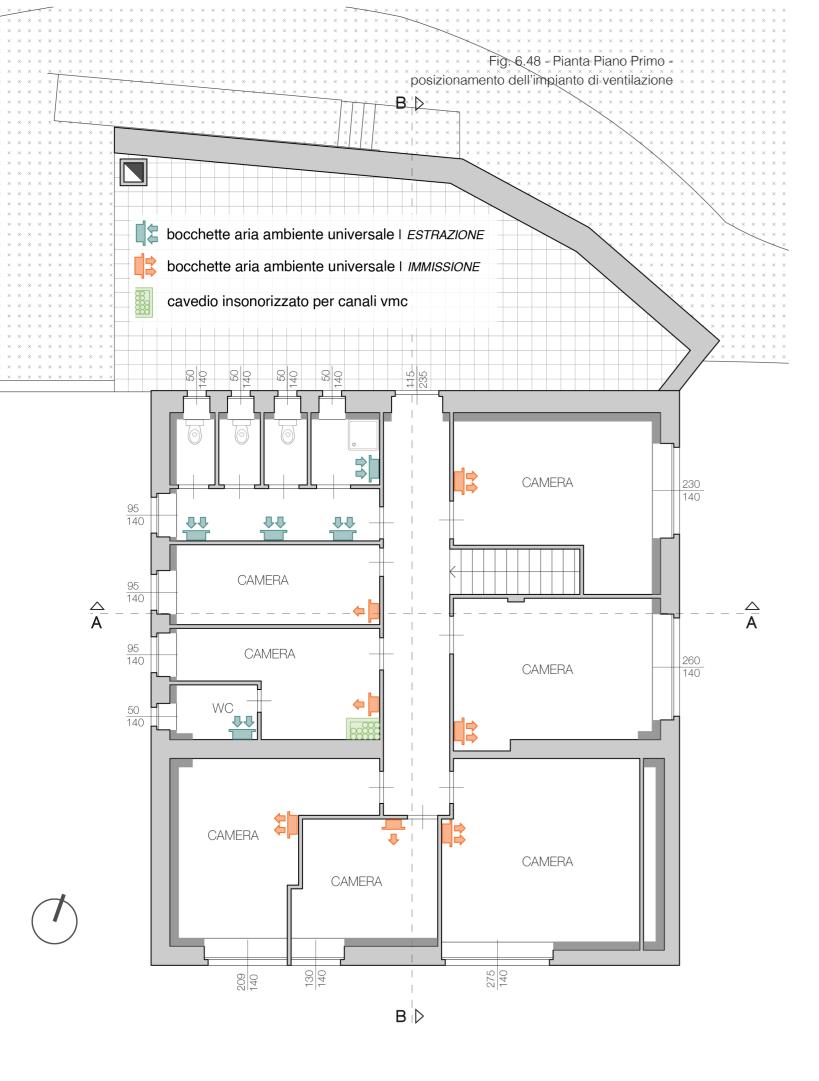


Fig. 6.46 - Sezione B-B con posizionamento dell'unità di ventilazione meccanica controllata





## 6.6 GESTIONE INTEGRATA DELL'ENERGIA

Per massimizzare il risparmio energetico all'interno di un edificio è utile delegare una serie di azioni e controlli a sistemi integrati automatizzati. È infatti possibile far funzionare i principali impianti di un fabbricato in funzione dei dati ricavati dal posizionamento negli ambienti di sensori elettronici, elaborandoli tramite dei software di supervisione e modulazione. Un edificio viene di conseguenza definito intelligente se i suoi impianti sono gestiti in maniera automatizzata, attraverso un'infrastruttura di supervisione e controllo, per ottimizzare il consumo energetico, il comfort e la sicurezza degli occupanti, garantendone l'integrazione con il sistema elettrico<sup>87</sup>. Quindi, i sensori che rilevano i parametri ambientali consentono un'elaborazione dei dati ottenuti, che permettono di modulare il funzionamento degli impianti in funzione delle reali condizioni in cui si trova l'edificio in ogni istante. Tali misure permettono di ridurre significativamente i consumi energetici, ma anche i costi di gestione del fabbricato a lungo termine.

Inserendo un sistema integrato all'interno del rifugio può permettere di:

- Ottimizzare i consumi dell'impianto di climatizzazione;
- Consentire una gestione autonoma e modulata dell'impianto di illuminazione;
- Analizzare la qualità dell'aria e dell'acqua;
- Sorvegliare l'edificio, inviando avvisi all'in caso di effrazioni, o di eventi potenzialmente dannosi quali guasti, incendi, perdite di gas o allagamenti;
- Archiviare i dati, realizzando uno storico in grado di monitorare l'edificio, ma anche consapevolizzare l'utente sui propri consumi. Da ciò è possibile collegare i livelli di confort percepito con il dispendio energetico ed economico necessario al suo raggiungimento.

<sup>7</sup> Definizione dell'Energy & Strategy Group del Politecnico di Milano.

Facendo l'esempio dell'impianto di illuminazione, essendo il caso studio un edificio aperto al pubblico, l'installazione di sensori di movimento che rilevano la presenza o l'assenza di persone, e accendono o spengono le luci di conseguenza, può costituire un importante elemento di risparmio energetico ed economico. Tale meccanismo può essere associato ad un sistema costituito da regolatori e cellule fotoelettriche, in grado di regolare l'intensità luminosa dell'impianto in funzione dell'illuminazione rilevata in ambiente. Per quanto riguarda l'impianto di climatizzazione, è possibile rilevare la temperatura e l'umidità presenti in ambiente, regolando di conseguenza, istante per istante, l'immissione di calore e la portata di ventilazione necessari.

È possibile definire il grado di integrazione dell'impianto in funzione delle capacità del sistema:

- Basso, presenta sensori che variano la capacità dell'impianto in funzione di valori booleani dotati quindi della sola funzione di accensione e spegnimento;
- Medio, in grado di regolare una determinata grandezza in funzione di dati preimpostati dall'utente;
- Alto, in cui ogni impianto è autonomo, ma collegato ad un'unità centrale di controllo che permette di modificare parametri di diversa natura, ma contemporaneamente.

Ad un livello di integrazione maggiore corrispondono investimenti più alti, che tuttavia vengono generalmente ripagati sul lungo periodo grazie ai risparmi, sia energetici che economici, che permettono di ottenere.

## 07/ Fabbisogno energetico dell'edificio post-intervento

## 7.1 RISULTATI DEI CALCOLI POST-INTERVENTO

A seguito della riqualificazione energetica in progetto è stato possibile ottenere, analizzando gli output derivati dai calcoli effettuati attraverso il software TerMus, i seguenti risultati in termini di miglioramento del fabbisogno energetico.

Il Rifugio Città di Ciriè, in seguito agli interventi progettati, passa da un fabbisogno specifico totale di energia primaria non rinnovabile (EP<sub>gl,nren</sub>) pari a 345 kWh/m²anno ad un valore di 57 kWh/m²anno. Di conseguenza, anche la classe energetica viene modificata, da A1 ad A4, in funzione di una riduzione del fabbisogno di energia grazie agli interventi svolti sull'involucro opaco e trasparente. Oltre a ciò, il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile si riduce anche grazie all'installazione dell'impianto fotovoltaico in copertura, che permette di produrre energia elettrica verde grazie alle radiazioni solari.

Anche confrontando l'indice di prestazione energetica globale EP<sub>gl</sub>, che passa da 1119,95 kWh/m²anno a 392,36 kWh/m²anno e tiene in considerazione anche l'energia rinnovabile, la riduzione del fabbisogno energetico totale dell'edificio risulta evidente, sottolineando la bontà dell'intervento.

DATI DETTAGLIO DEL FABBRICATO			
VImL	Volume lordo	1419.23	m <sup>3</sup>
SprfL	Supeficie lorda disperdente	985.56	m <sup>2</sup>
RpSV	Rapporto di forma S/V	0.69	1/m
VlmN	Volume netto	989.78	m <sup>3</sup>
AreaN	Superficie netta calpestabile	325.16	m <sup>2</sup>
C <sub>m</sub>	Capacità termica totale	72828.96	kJ/K
Yie	Trasmittanza Termica Periodica	0.021	W/m <sup>2</sup> K
H' <sub>⊤</sub>	Coefficiente globale di scambio termico per trasmissione	0.222	W/m <sup>2</sup> K

INDICE DI PRESTAZIONE			
	Classe energetica	A4	
EPgl	Indice di prestazione energetica globale	392.36	kWh/m <sup>2</sup> anno
$EP_{h,nd}$	Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	315.02	kWh/m <sup>2</sup> anno
EPh	Indice di prestazione energetica per riscaldamento	165.96	kWh/m <sup>2</sup> anno
EPw	Indice di prestazione energetica per acs	225.59	kWh/m <sup>2</sup> anno

FABBISOGNI				
Q <sub>h</sub>	Riscaldame nto	Fabbisogno di energia termica utile	43230.07	kWh
Q <sub>Ph</sub>		Fabbisogno di energia primaria totale	53964.15	kWh
$Q_{Pr}$		Fabbisogno di energia primaria rinnovabile	43864.38	kWh
Q <sub>Pnr</sub>		Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile	10099.77	kWh
V ol <sub>ACS</sub>	Acqua Calda Sanitaria	Volumi di ACS	1533.00	m <sup>3</sup>
$Q_{wa}$		Fabbisogno di energia termica utile	64633.00	kWh
Q <sub>Pw</sub>		Fabbisogno di energia primaria totale	73354.37	kWh
Q <sub>Pwr</sub>		Fabbisogno di energia primaria rinnovabile	64898.92	kWh
Q <sub>Pwnr</sub>		Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile	8455.45	kWh

Tab. 7.1 - Dati ricavati dal software TerMus dell'edificio post-intervento

Tale valutazione viene ribadita nel momento in cui si confrontano le dispersioni dell'edificio dovute alla ventilazione e alla trasmissione rispetto agli apporti solari e agli apporti interni, che presentano valori paragonabili e, di conseguenza, costituiscono un effettivo contributo al raggiungimento del comfort interno. A conferma di ciò è possibile notare come il fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento scenda da 116464,88 kWh, a 43230,07 kWh, subendo quindi una riduzione del 63%.

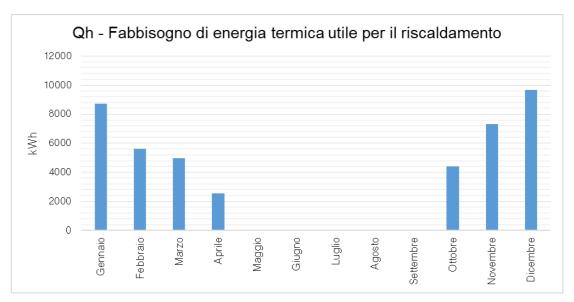


Fig. 7.1 - Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento

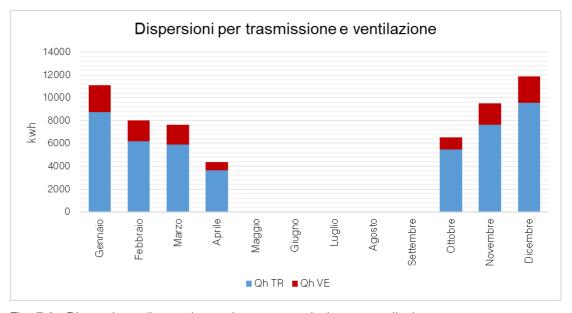


Fig. 7.2 - Dispersione di energia termica per trasmissione e ventilazione

Per comprendere meglio i grafici è necessario definire che:

- Q<sub>b</sub>: fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento [kWh];
- Q<sub>http</sub>: dispersione termica per trasmissione [kWh];
- Q<sub>hVF</sub>: dispersione termica per ventilazione [kWh];
- Q<sub>heal</sub>: energia termica da apporti solari [kWh];
- Q<sub>hint</sub>: energia termica da apporti interni [kWh].

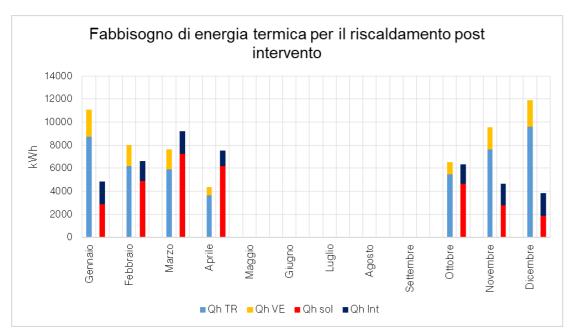


Fig. 7.3 - Confronto tra le dispersioni di energia termica per trasmissione e ventilazione ed i guadagni di energia termica dagli apporti solari e interni post-intervento

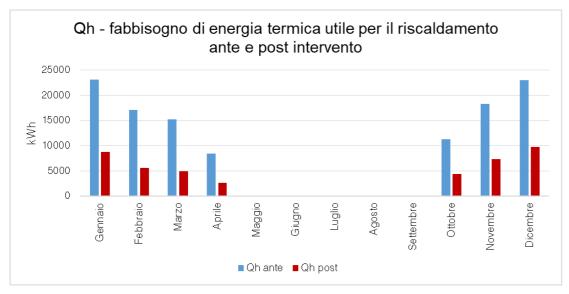


Fig. 7.4 - Confronto tra fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento ante e post intervento

# 08 / Considerazioni finali

Edificio	8.1
Integrazione fotovoltaica	8.2
Utenze elettriche	8.3

## 08/ Considerazioni finali

Dopo aver confrontato l'analisi dello stato di fatto e dello stato di progetto è stato possibile individuare quali sono state le criticità da risolvere ed i punti di forza da valorizzare. Da ciò è stato possibile definire quali sono le priorità quando si affronta un intervento simili, traducendole in un elenco di interventi che devono essere, anche se non sempre tutti realizzabili, quanto meno presi in considerazione.

## 8.1 EDIFICIO

## **INVOLUCRO**

In seguito alla riqualificazione dell'involucro edilizio, il dato che maggiormente definisce e valuta la bontà dell'operazione è la riduzione del fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento ( $Q_h$ ). Tale valore si traduce infatti in un risparmio di circa 73235 kWh per periodo di riscaldamento, determinando una riduzione del 63%.

Questo miglioramento viene evidenziato inoltre dalla riduzione del coefficiente globale di scambio termico per trasmissione H'<sub>T</sub>, ossia la trasmittanza termica media dell'involucro edilizio, sia opaco che trasparente, che include anche l'effetto dei ponti termici, che passa da 1,036 W/m²K a 0,222 W/m²K, subendo

una riduzione del 79%.

Le dispersioni dell'edificio in seguito all'inserimento del cappotto interno vengono dunque significativamente ridotte, tuttavia tale tecnologia non permette un completo annullamento dei ponti termici, che invece sarebbe possibile se si scegliesse di mettere in opera un cappotto esterno. Le pareti verso l'esterno e la copertura vengono isolate, mentre il solaio contro terra viene mantenuto uguale in quanto si è preferito limitare l'invasività dell'intervento. Tale scelta si traduce quindi in un sistema isolante efficace ma non perfetto, proprio a causa dei vincoli paesaggistici e delle rigide condizioni climatiche esterne. Se si trattasse infatti di un edificio classificato come nZEB, le perdite di trasmissione dovrebbero essere quasi nulle, come risultato dell'elevata efficienza dell'involucro, e le uniche dispersioni presenti dovrebbero essere quasi solo per ventilazione. Questo però non accade proprio perché, a meno di uno stravolgimento completo dell'edificio, che però non è permesso da normativa, non è possibile annullare completamente le dispersioni per trasmissione.

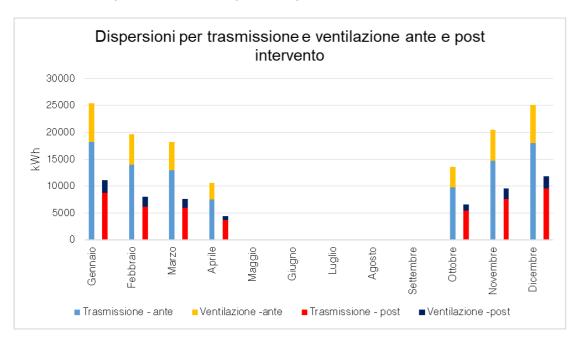


Fig. 8.1 - Confronto delle dispersioni per trasmissione e ventilazione dell'edificio ante e post intervento

## SISTEMA EDIFICIO IMPIANTO

Oltre all'intervento sull'involucro, al fine di migliorare l'efficienza energetica del rifugio, ridurre i consumi e le emissioni, si è prevista la sostituzione dell'impianto per il riscaldamento e la produzione di ACS, con l'integrazione di fonti rinnovabili.

L'eliminazione dell'utilizzo del GPL, porta immediatamente a una riduzione delle emissioni di carbonio e dei costi. Questi ultimi, ridotti ulteriormente, grazie all'utilizzo di accumuli termici per il riscaldamento e acqua calda sanitaria.

La due stufe presenti (pellet e legna) e la caldaia a condensazione vengono sostituiti da un impianto ibrido, pompa di calore aria/acqua e caldaia a biomassa. L'efficienza media del nuovo sistema è notevolmente maggiore, questo porta a diminuire il fabbisogno di energia per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria.

Al fine di migliorare il comfort interno, si è progettato un impianto di riscaldamento con terminali a ventilconvettori, avendo come risultato un riscaldamento omogeneo in tutte le zone. Situazione ad oggi non possibile vista la presenza solo di due stufe che producono grandi sbalzi di temperatura durante l'intera giornata, come dimostrato nel *cap. 4 Monitoraggio ambientale*.

Le grandi quantità di umidità interna, rilevate grazie agli acquisitori climatici, abbinate al nuovo involucro opaco e trasparente con tenuta all'aria, ha portato alla progettazione di un nuovo impianto di ventilazione meccanica controllata, ad oggi non esistente.

## 8.2 INTEGRAZIONE FOTOVOLTAICA

Analizzando l'impianto fotovoltaico progettato per il rifugio è possibile notare come l'autosufficienza energetica venga raggiunta solamente in alcune giornate del mese di giugno, e considerando solo i consumi elettrici dovuti alla presenza di elettrodomestici e dell'impianto di illuminazione. Non si prende dunque in considerazione l'inserimento dell'impianto di ventilazione meccanica controllata e della pompa di calore, che comportano un significativo aumento dell'energia elettrica consumata. Da ciò è possibile comprendere come la completa autonomia energetica, basata solo sull'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico, sia una condizione irraggiungibile per il rifugio. Tale situazione è in larga parte causata dal fatto che l'edificio si trova al centro di un altopiano, circondato da montagne che presentano altitudini elevate. I rilievi presenti riducono significativamente le ore in cui i raggi solari riescono a raggiungere i pannelli posti sul tetto, producendo energia. In particolare, il mese di dicembre presenta le peggiori condizioni annuali in quanto, mediamente, il rifugio viene

colpito dai raggi solari per meno di cinque ore giornaliere, mentre nel mese di giugno si raggiungono quasi le dodici ore.

Vista la criticità della situazione dell'edificio è doveroso domandarsi quanto sia effettivamente conveniente, anche in termini economici, l'inserimento nel progetto di un impianto fotovoltaico. Tuttavia, se si analizzano le bollette elettriche degli ultimi anni risulta evidente come i consumi, ed il conseguente costo, siano piuttosto elevati. Inoltre, al momento il riscaldamento del rifugio è affidato a due stufe, alimentate a pellet e a legna, ma con la sostituzione del generatore di calore e l'inserimento della ventilazione meccanica controllata i consumi elettrici andranno necessariamente ad aumentare. Per queste ragioni l'inserimento di un impianto fotovoltaico, nonostante le difficili condizioni climatiche del luogo, risulta comunque un investimento vantaggioso in quanto in grado di ridurre di una quota non trascurabile il costo dell'elettricità.

Numericamente parlando, il costo dell'installazione dell'impianto viene stimato pari a circa 900€ al kWp<sup>88</sup>, raggiungendo un costo totale dell'operazione pari a circa 20.000€. Considerando tuttavia il costo medio annuale attuale delle bollette, è possibile stimare che il tempo di rientro di tale investimento sia inferiore ai quattro anni.

## 8.3 UTENZE ELETTRICHE

Dall'analisi degli assorbimenti elettrici del rifugio è emerso quanto i consumi degli elettrodomestici e dell'impianto di illuminazione siano energivori. Valori così elevati comportano un proporzionale peso, in termini economici, del costo dell'elettricità. Questa situazione è in larga parte da attribuire ai consumi legati alla presenza e all'utilizzo di una cucina professionale a media efficienza, come si evince dai grafici che mostrano come i maggiori consumi siano da attribuire proprio al funzionamento dei frigoriferi e dei forni.

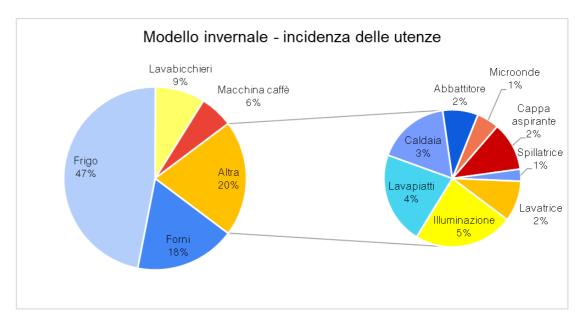


Fig. 8.2 - Incidenza degli elettrodomestici e dell'impianto di illuminazione sul consumo energetico delle utenze - modello invernale

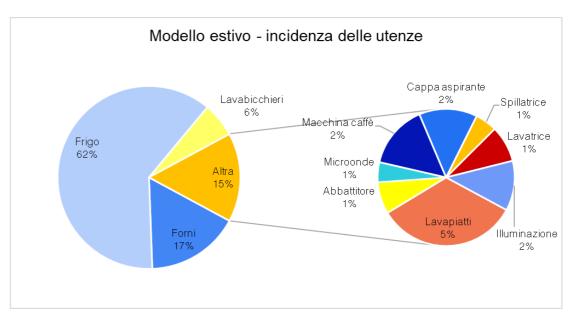


Fig. 8.3 - Incidenza degli elettrodomestici e dell'impianto di illuminazione sul consumo energetico delle utenze - modello estivo

Visto l'elevato costo mensile delle bollette elettriche si è deciso di operare un confronto tra l'attuale situazione degli elettrodomestici e dell'impianto di illuminazione del rifugio e un possibile scenario che prevede la sostituzione dei forni, dei frigoriferi e dell'impianto di illuminazione con macchinari più efficienti. Da ciò emerge come un tale cambiamento comporti un effettivo risparmio energetico, nonostante non vengano sostituiti tutti gli elettrodomestici, ma solo quelli che risultano essere più energivori.

<sup>88</sup> Come riportato nel *capitolo 6.4*, con kWp si fa riferimento alla potenza di picco dell'impianto, ossia la potenza elettrica erogata da un modulo o da una cella fotovoltaica di una determinata superficie, se sottoposti a condizioni standard.

È tuttavia da tenere in considerazione il fatto che, con lo scopo di essere indipendenti dalle fonti fossili, durante la riqualificazione dell'edificio è necessario anche sostituire i fornelli a gas con piastre ad induzione elettriche, che comporteranno consumi rilevanti.

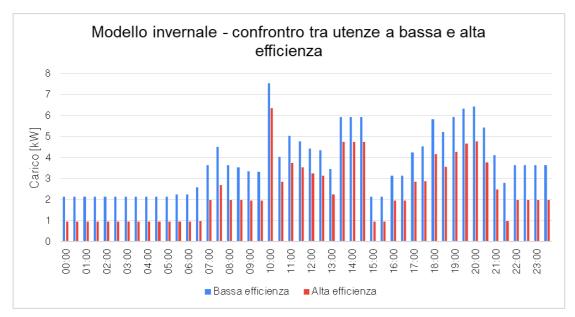


Fig. 8.4 - Confronto tra consumo energetico giornaliero delle utenze ad alta e bassa efficienza - modello invernale

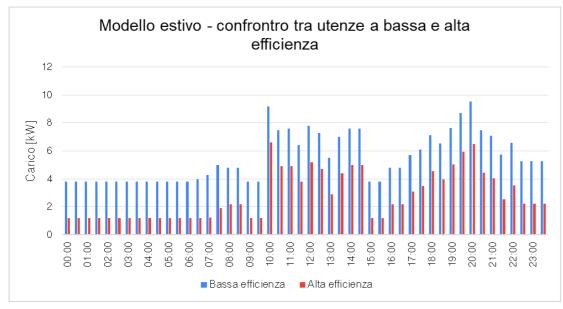


Fig. 8.5 - Confronto tra consumo energetico giornaliero delle utenze ad alta e bassa efficienza - modello estivo

## 09 / Conclusioni

## 09/ Conclusioni

Durante la stesura del presente lavoro di tesi è emersa, fin dai primi istanti, l'importanza dell'analisi preliminare dei dati ambientali. Tale evidenza assume indubbiamente una maggiore importanza a causa delle condizioni climatiche che caratterizzano il Pian della Mussa, molto più rigide rispetto a quelle con cui si è soliti confrontarsi. Approfondendo il clima e la morfologia del luogo, oltre che le condizioni termoigrometriche dell'edificio, è stato quindi possibile determinare sia la reale situazione di discomfort interna agli ambienti, sia l'effettivo valore di parametri quali gli apporti solari e la produzione fotovoltaica. Senza questi dati, dunque, l'analisi effettuata sarebbe stata molto più approssimativa.

Col procedere dell'analisi è risultato interessante osservare come, per la prima volta dall'inizio del corso di studi, sia stato necessario affrontare diversi vincoli di carattere legislativo. Le normative afferenti a diversi ambiti di interesse, primo fra tutti il vincolo paesaggistico imposto sulla struttura del rifugio, costituiscono infatti le linee guida che hanno direzionato le scelte fatte durante la stesura della tesi.

Fin dall'inizio lo scopo della trattazione è stato la dimostrazione di come soluzioni di efficientamento energetico possano essere applicate anche in situazioni caratterizzate da difficili condizioni ambientali, avendo sempre come obiettivo il raggiungimento dell'autosufficienza energetica e dello sfruttamento

di sole fonti rinnovabili. Per lo specifico caso studio, tuttavia, quello che emerge è che, mentre l'autosufficienza non viene raggiunta, è possibile utilizzare solo fonti rinnovabili grazie alla sostituzione della caldaia a GPL con la pompa di calore, purché l'energia fornita dalla rete elettrica escluda a sua volta le fonti fossili.

Al termine del nostro lavoro riteniamo tuttavia necessario lasciare aperta la questione dell'analisi dinamica del comportamento termoigrometrico dell'involucro. Affrontando questo ulteriore approfondimento sarebbe stato possibile conferire alla presente trattazione una conclusione ancora più completa, raggiungendo una migliore comprensione del comportamento globale dell'edificio. Ciò avrebbe portato ad una più precisa definizione delle soluzioni da utilizzare, ma nonostante questo si è preferito affrontare tutti gli aspetti dell'efficientamento energetico dell'edificio, analizzando il processo nella sua globalità, senza concentrarsi solo su un singolo elemento.

In conclusione, con il presente lavoro è stato nostro desiderio dimostrare come la riqualificazione del patrimonio edilizio montano sia non solo auspicabile, ma possibile, tenendo però sempre a mente la fragilità del territorio su cui si effettua l'intervento, e operando nel massimo rispetto delle tradizioni, dell'ambiente naturale e della storia del luogo.



## 10. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Luigi Clavarino, Saggio di corografia statistica e storica sulle Valli di Lanzo, Stamperia della Gazzetta del Popolo, Torino, 1867.

Norberto Tubi, *La realizzazione delle murature in laterizio*, Laterconsult, Roma, 1981.

Carlo Alberto Pinelli, *La conquista della notte*, in Airone Montagna, Editoriale Giorgio Mondadori, Milano, 1991.

Pier Giorgio Corino, Piero Gastaldo, *La montagna fortificata. Per i monti della Valle di Susa: dai forti della Triplice sino alle opere in caverna del vallo alpino*, Tipolito Melli, Borgone Susa, 1995.

Enrico Camanni, *Il rifugio di montagna nel racconto alpinistico e nell'immaginario letterario*, in Fondazione Courmayeur, Architettura moderna alpina: i rifugi, Quaderno n.17, 2005.

Norberto Tubi, Maria Pia Silvia, Federica Ditri, *Gli edifici in pietra*, SE sistemi editoriali, Napoli, (II ed.) maggio 2009.

Marco Caleffi, *Idraulica - Pubblicazione periodica di informazione tecnico-professionale*, numero 40, Poligrafica Moderna s.r.l., Novara, giugno 2011.

Marco Caleffi, *Idraulica - Pubblicazione periodica di informazione tecnicoprofessionale*, numero 41, Poligrafica Moderna s.r.l., dicembre 2011.

Deborah Laggiard, Ivana Mattea Listano, *Il retrofit energetico in edilizia storica, il caso studio: il Monastero de Santa Maria de Monfero, in Galizia, Spagna, tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile,* Politecnico di Torino, relatori: Valentina Serra, Carla Bartolozzi, Stefano Fantucci, Enrique M. Blanco Lorenzo, Patricia Patricia, 2017.

Riccardo Trimeloni, Innovazione nel rifugio alpino. L'utilizzo di nuove tecnologie applicate come alternativa per la manutenzione in ambiente isolato e di alta quota, tesi di Laurea Magistrale in Design Sistemico, Politecnico di Torino, relatore: Fabrizio Valpreda, 2018.

Roberto Dini, Luca Gibello, Stefano Giroso, *Rifugi e bivacchi. Gli imperdibili delle alpi. Architettura, storia, paesaggio*, Hoepli, 2018.

Roberto Dini, Stefano Giroso, *Rifugiarsi nella notte. Il ruolo dell'architettura nel processo di conoscenza dell'alta quota*, in Journal of Alpine Research I Revue de géographie alpine, vol. 106-1, Association pour la diffusion de la recherche alpine, 2018.

Società Meteorologica Subalpina, *Cambiamenti climatici sulla montagna* piemontese, Bussoleno (TO), 2018.

Amedeo Testori, *Dimensionamento di un impianto fotovoltaico per un utente tipico*, tesi di Laurea Triennale in Ingegneria Energetica, Politecnico di Torino, relatore Prof. Filippo Spertino, 2019.

Leonardo Gerli, Spazi di well-being. Studio sistematico del benessere (Well-being) all'interno di un ambiente di edilizia scolastico-universitaria, tesi di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione e Città, Politecnico di Torino, relatore: Enrico Fabrizio, 2019.

Nicolandrea Calabrese, Americo Carderi, Carmen Lavinia, Francesca Caffari, Elisa Passafaro, *Manuale per la diagnosi energetica degli edifici pubblici*, 2019.

Lorenzo Calcagno, *Diagnosi energetica della caserma Riberi: analisi di fattibilità tecnico-economica mediante simulazione dinamica oraria*, tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare, Politecnico di Torino, relatori: Vincenzo Corrado, Ilaria Ballarini, 2020.

Saint-Gobain Italia, *Manuale tecnico del vetro: prodotti e soluzioni per l'edilizia*, 2021.

Stefano Dolce, Dimensionamento dei componenti e studio dell'influenza dei loro dati di targa in un sistema ibrido fotovoltaico, idroelettrico ed eolico a servizio di un rifugio alpino off-grid, tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare, Politecnico di Torino, relatori: Filippo Spertino, Stefano Bazzolo, Alessandro Ciocia, 2021.

Andrè Clos, Anna Pellegrino, Valentina Serra, Ilaria Ballarini, Alice Gorrino, *IMPIANTI TERMOTECNICI impianti di climatizzazione a servizio degli edifici*, materiale didattico Politecnico di Torino, a.s. 2021/2022.

Vincenzo Corrado, Calcolo dei parametri termici dinamici e della prestazione igrometrica dei componenti edilizi secondo le norme UNI EN ISO 13786: 2008 e UNI EN ISO 13788: 2013, Politecnico di Torino – DENERG.

Enrico Fucci, La riqualificazione energetica con componenti intelligenti per la valorizzazione degli edifici contemporanei. Il caso studio dell''Unità Residenziale Ovest" a Ivrea, tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino, relatori: Carlo Micono, Rocco Antonio Curto, 2022.

Lina Castillo, *Progettare una scuola NZEB: edificio scolastico - Liceo artistico "Caravaggio"*, tesi di Laurea Magistrale in Architettura e Costruzione Città, Politecnico di Torino, relatori: Lorenzo Savio, Francesca Thiebat, 2022.

Luca Zarelli, *Prestazioni dei sistemi con pompa di calore aria-acqua ed ottimizzazione di un caso studio con sistema ibrido*, tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica, Politecnico di Torino, relatore: Prof. Masoero Marco Carlo, correlatore Ing. Giuseppe Spinelli, ottobre 2022.

Paolo Savoia, *Impianti Termici negli edifici residenziali ad elevate prestazioni energetiche. Capire l'involucro per progettare gli impianti*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2022.

Simone Marietta Oddone, Analisi prestazionale ed energetica e progettazione impiantistica di un edificio residenziale bioclimatico all'interno del Parco Regionale "La Mandria", tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare, Politecnico di Torino, relatore: Marco Carlo Masoero, 2022.

\_\_\_\_\_

https://www.cai.it/wp-content/uploads/2020/12/Regolamento-strutture-ricetti-ve-del-Club-Alpino-Italiano-20201.pdf

https://www.testo.com/it-IT/testo-174-h/p/0572-6560

https://www.salute.gov.it/portale/temi/p2\_6.jsp?id=4387&area=indor&menu=vuoto#:~:text=Il%20microclima%20si%20riferisce%20al,termico%20tra%20 individuo%20e%20ambiente.

https://energialeggera.it/assorbimenti-elettrici-di-cosa-si-tratta-e-come-control-larli/#:~:text=Definizione%20Assorbimento%20elettrico&text=L'assorbimento%20non%20rappresenta%20il,quanto%20indicato%20sull'etichetta%20 energetica.

https://www.guidafinestra.it/oscuranti-interni-trasmittanze/

https://static-int.testo.com/media/d1/75/f2ef17ce1464/testo-Comfort-Softwa-re-Basic-5-Istruzioni-per-l'uso.pdf

https://beein.pl/it/prodotto/salto-460w/

https://www.edilizialavoro.com/energie-alternative/pvgis-fotovoltaico.html

https://www.acca.it/software-certificazione-energetica

https://www.regione.piemonte.it/web/temi/ambiente-territorio/cambiamento-climatico/cambiamento-climatico-piemonte

https://www.inail.it/cs/internet/attivita/prevenzione-e-sicurezza/conoscere-il-ri-schio/ergonomia/comfort-termico.html?id1=2443085355456#anchor

https://www.teknoring.com/news/efficienza-energetica/risanamento-conservativo-guida-isolamento-interno-murature-pietra/

https://www.lauracoppo.it/la-riqualificazione-energetica/35-le-10-regole-affinche-l-isolamento-termico-dall-interno-duri-nel-tempo

https://www.anit.it/wp-content/uploads/groups-file-access/MANUALE-ANIT-I-solamento-termico-dall'interno.pdf

https://www.quotidianodelcondominio.it/ristrutturazione-e-riqualificazione/iso-lamento-cappotto-interno-contrastare-pericolo-della-condensa/

https://idraulica.caleffi.com/sites/default/files/magazine/file/ldraulica\_62.pdf

https://istitutoclimaliguria.it/wp-content/uploads/2020/01/Hoval-VMC.pdf http://www.energiazero.org/ventilazione%20meccanica/Guida-ventilazione\_ low.pdf

https://www.wavin.com/it-it/news/news/come-dimensionare-correttamente-un-impianto-vmc#:~:text=Facendo%20riferimento%20alle%20normative%20UNI,0%2C3%20volumi%2Fh.

https://storefrontapi.commerce.xella.com/medias/sys\_master/root/h84/h49/8875806588958/Brochure%20dettagli%20DWG%20pannelli%20Multipor/Brochure-dettagli-DWG-pannelli-Multipor.pdf

https://drive.google.com/drive/folders/185kpKVvagibB79hkEwG9n1kBt1hjXP-Va

https://www.qualenergia.it/articoli/pompe-calore-climi-freddi-no-per-norvegesi/

https://www.manomano.it/consigli/come-scegliere-una-caldaia-a-le-gna-o-a-pellet-4067

https://www.tuttitalia.it/piemonte/32-balme/classificazione-climatica/

https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/cambiamenti-climatici/convenzio-ne-quadro-sui-cambiamenti-climatici-e-protocollo-di-kyoto

https://www.consilium.europa.eu/it/

https://energiaclima2030.mise.gov.it/index.php/il-piano/obiettivi

https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/ 20221128STO58002/risparmio-energetico-l-azione-dell-ue-per-ridurre-il-consumo-energetico

https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/ 20221128STO58002/risparmio-energetico-l-azione-dell-ue-per-ridurre-il-consumo-energetico

https://www.politicheeuropee.gov.it/it/comunicazione/euroacronimi/cop-1/

https://www.iea.org/countries/italy

https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/31/2018-12-24

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583922805643&u-ri=CELEX:02010L0031-20181224

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32016H1318

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\_21\_6683

https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings\_en

https://www.acea.it/guide/potere-calorifico-metano

https://www.provincia.bz.it/agricoltura-foreste/fauna-caccia-pesca/fauna/stam-becco/storia-ricolonizzazione-alpi.asp

https://www.caitorino.it/itinerari/accesso-al-rifugio-gonella

https://www.wellmagazine.it/architettura/top-ten-rifugi-dalta-quota-fra-sostenibilita-e-tecnologia/

https://www.architettitrento.it/index.php?fx=dlpdfany&data=30f56db03d-81292d2c991b140f99a2a24f8eb1bd486b19f784e2e4081539980b8f40e452a-e4a345aa80664e1dce1d415716f6a6a3bd92f46a64ab727f8690d8c0ff787b-447c258ec1a90759d460835881f85966a06f6327579e3a5ec2f

https://www.salute.gov.it/portale/temi/p2\_6.jsp?id=4387&area=indor&menu=vuoto

https://www.energyup.tech/smart-building/smart-building-cosa-sono-applica-zioni-ed-esempi-di-edifici-intelligenti/

https://www.greenupdate.it/glossario/Cambiamento-climatico

https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/cambiamenti-climatici/convenzio-ne-quadro-sui-cambiamenti-climatici-e-protocollo-di-kyoto

https://www.europarl.europa.eu/news/it/press-room/20230310IPR77228/ca-se-green-approvata-la-posizione-del-parlamento-europeo

https://www.abitazioniecologiche.it/tecnica-e-servizi/impianti/pompe-di-calore.html#:~:text=Le%20pompe%20di%20calore%20sono%20essenzialmente%20costituite%20da,fluido%20freddo%20e%20lo%20cede%20a%20quello%20caldo

https://idraulica.caleffi.com/sites/default/files/magazine/file/Idraulica\_62.pdf

## 11. NORMATIVE

- Legge 29 giugno 1939, n. 1497 "Protezione delle bellezze naturali".
- Decreto Ministeriale del 20 novembre 1987 Norme Tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento.
- UNI EN ISO 10339:1995 Impianti aeraulici ai fini di benessere.
   Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.
- DPR 551/99 Modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412: Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia.
- UNI EN ISO 7730:2006 Ergonomia degli ambienti termici Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico
   mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere
   termico locale.
- UNI EN ISO 12831:2006 Impianti di riscaldamento negli edifici -Metodo di calcolo del carico termico di progetto.
- UNI EN ISO 15251:2008 Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.
- UNI EN ISO 13786: 2008 Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo.
- UNI EN ISO 13788: 2013 Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo.
- UNI/TS 11300-1:2014 Prestazioni energetiche degli edifici Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
- Decreto 26 giugno 2015 Appendice A Casi di esclusione dall'obbligo di dotazione dell'APE.

- D.M. 26 giugno 2015 Allegato 1 Criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici.
- Decreto interministeriale 26 giugno 2015 Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.
- UNI EN ISO 14001:2015 Sistemi di gestione ambientale Requisiti e guida per l'uso.
- ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2016 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings.
- UNI EN ISO 10349-1: 2016 Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata.
- UNI EN ISO 10077-1: 2018 Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1: Generalità.
- UNI EN ISO 10077-2: 2018 Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 2: Metodo numerico per i telai.
- UNI EN 303-5:2021 Caldaie per riscaldamento Parte 5: Caldaie per combustibili solidi, con alimentazione manuale o automatica, con una potenza termica nominale fino a 500 kW - Terminologia, requisiti, prove e marcatura.
- UNI CEI EN 16247-1:2022 Diagnosi energetiche Parte 1: Requisiti generali.
- UNI CEI EN 16247-2:2022 Diagnosi energetiche Parte 2: Edifici.

## 12. RINGRAZIAMENTI

Al termine di questo percorso universitario ci teniamo a ringraziare tutte le persone che hanno permesso il raggiungimento di questo importante traguardo, a partire dalla nostra relatrice, la professoressa Valentina Serra, ed il nostro correlatore, il professor Enrico Fabrizio, che ci hanno seguito lungo questo percorso dimostrandoci sempre la loro passione per l'argomento.

Ringraziamo i rifugisti, Marco e Muyo, per la loro disponibilità ed accoglienza, e Gildo, senza cui non sarebbe stato possibile nemmeno cominciare la stesura della tesi.

Ringraziamo tutte le aziende ed i professionisti che si sono resi disponibili per un confronto, un consiglio o per risolvere i nostri infiniti dubbi, in particolare l'architetto Andrè Clos e l'ingegnere Marco Zappino.

Un ringraziamento speciale va infine a tutti i nostri compagni, Emanuele, Giulia, Hector, Lorenzo, Lorenzo, Ludovica, Maria Carla, Marta, Martina, Martina, Massimiliano, Matteo, Pier, con cui abbiamo condiviso tutte le gioie e i dolori di questi anni. Senza di voi, non sarebbe stato lo stesso.

si spengono inghiottite dall'azzurro: più chiaro si ascolta il sussurro dei rami amici nell'aria che quasi non si muove, e i sensi di quest'odore che non sa staccarsi da terra e piove in petto una dolcezza inquieta. Qui delle divertite passioni per miracolo tace la guerra, qui tocca anche a noi poveri la nostra parte di ricchezza ed è l'odore dei limoni. Vedi, in questi silenzi in cui le cose s'abbandonano e sembrano vicine a tradire il loro ultimo segreto, talora ci si aspetta di scoprire uno sbaglio di Natura, il punto morto del mondo, l'anello che non tiene, il filo da disbrogliare che finalmente ci metta nel mezzo di una verità. Lo sguardo fruga d'intorno, la mente indaga accorda disunisce nel profumo che dilaga quando il giorno più languisce. Sono i silenzi in cui si vede in ogni ombra umana che si allontana qualche disturbata Divinità. Ma l'illusione manca e ci riporta il tempo nelle città rumorose dove l'azzurro si mostra soltanto a pezzi, in alto, tra le cimase. La pioggia stanca la terra, di poi; s'affolta il tedio dell'inverno sulle case, la luce si fa avara - amara l'anima. Quando un giorno da un malchiuso portone tra gli alberi di una corte ci si mostrano i gialli dei limoni; e il gelo del cuore si sfa, e in petto ci scrosciano le loro canzoni le trombe d'oro della solarità."

" [...] Meglio se le gazzarre degli uccelli

E. Montale, I limoni

E a tutti coloro che sono, per noi, come l'odore dei limoni.

Marta e Ugo

