



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica

PROGETTAZIONE TERMICA E ANALISI ENERGETICA PER UN COMPLESSO DI
TRULLI ADIBITO A BED AND BREAKFAST

Relatore: Prof. Ing. Michele De Carli

Laureando: Marco Epifani 1154569

Anno Accademico 2018/2019

Indice

Introduzione	5
Capitolo 1	
Descrizione generale dell'intervento	6
1.1 Descrizione climatica	6
1.2 Struttura	8
1.3 Trullo caratteristiche e cenni storici	11
1.3.1 Fasi per la costruzione di un trullo.....	12
Capitolo 2	
Trasmittanza	14
2.1 Strutture Opache	14
2.2 Strutture Vetrate	16
Capitolo 3	
Analisi Dinamica	16
3.1 Costruzione del modello.....	17
3.2 Software TRBuild	22
3.3 Simulation Studio	30
3.4 Risultati delle simulazioni	32
Capitolo 4	
Progettazione impianto di riscaldamento	42
4.1 Impianto a pannelli radianti	42
4.2 Sezione del massetto e posa della tubazione.....	47
4.3 Valutazione tempo di regime	50
Capitolo 5	
Impianto di raffrescamento	52
5.1 Ventilconvettori.....	52
Capitolo 6	
Pompe di Calore	55
6.1 Pompe di calore aria/acqua.....	55
6.2 Prestazioni di una pompa di calore	57
6.3 Schema generale	62
Capitolo 7	
Analisi dei risultati	63
7.1 Elaborazione dato di output e calcolo energia finale	63

Capitolo 8	
Produzione di Acqua Calda Sanitaria	65
8.1 Scalda acqua a pompa di calore	65
8.2 Descrizione ciclo per scalda acqua in pompa di calore.....	67
Capitolo 9	
Bilancio energia elettrica	69
9.1 Pompe di calore per il riscaldamento	69
9.2 Pompe di rilancio	72
9.3 Acqua Calda Sanitaria	73
9.4 Illuminazione	75
9.4.1 Illuminazione interna.....	75
9.4.2 Illuminazione Esterna	77
9.5 Elettrodomestici	78
9.6 Piscina.....	80
9.7 Sistema di irrigazione.....	83
9.8 Bilancio Generale.....	84
CAPITOLO 10	
FOTOVOLTAICO	87
10.1 Dimensionamento Fotovoltaico e batteria di accumulo	87
10.2 Caratteristiche componenti.....	93
CAPITOLO 11	
VALUTAZIONE CONSUMI SU BREVI PERIODI	98
11.1 Week-End invernale	98
11.2 Weekend estivo	102
11.3 Periodo Natalizio	104
CAPITOLO 12	
ANALISI DI INVESTIMENTO	106
12.1 Costi di investimento e valutazione tempi di rientro	106
CONCLUSIONI	111

Introduzione

La necessità della riduzione dei consumi energetici e l'eccessiva dipendenza dalle fonti energetiche fossili stanno generando profondi cambiamenti all'interno del sistema energetico nazionale. Soffermandosi al contesto civile-residenziale, che in Italia concorre al 36% del consumo energetico nazionale per le nuove costruzioni le linee guida europee stanno spingendo per la realizzazione di "Edifici ad Energia Quasi Zero" (NZEB), cioè immobili caratterizzati da un basso fabbisogno energetico. Nell'ambito costruttivo le direttive europee di riferimento sono:

La direttiva sulle performance energetiche degli edifici, 2010/31/UE, recepita in Italia con il DL 63/2013 poi tramutato in Legge 90 il 3 agosto 2013

La direttiva sulla promozione delle fonti energetiche rinnovabili 2009/28/CE, recepita in Italia con il D.Lgs. 03/03/2011, n. 28 quest'ultimo decreto in particolare ha definito l'obbligo di soddisfare una quota del 50% dei consumi totali mediante l'utilizzo di fonti di energia rinnovabile.

Le soglie imposte da rispettare sui consumi totali, comprendenti i servizi di riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria, rappresentano certamente una sfida. I requisiti imposti variano in funzione dell'edificio, dei possibili vincoli ambientali e della tipologia di intervento (nuova costruzione e ristrutturazione rilevante).

Nel nostro caso ci siamo posti l'obiettivo di cercare di unire la richiesta di valorizzazione di strutture caratteristiche della murgia pugliese, quali i trulli, risorsa attrattiva per il turismo, con la necessità di ottenere un edificio con consumi un basso livello di consumi energetici e che rispetti l'ambiente.

In questo lavoro di tesi andremo ad analizzare passo dopo passo la progettazione di impianti termici tecnologicamente avanzati, facendo anche delle previsioni sui consumi per riuscire a comprendere quale possa essere la migliore gestione e il loro impatto economico e ambientale.

Capitolo 1

Descrizione generale dell'intervento

1.1 Descrizione climatica

Nel seguente lavoro di tesi analizzerò passo dopo lo studio e la progettazione termica di una nuova costruzione sita nelle campagne di San Vito dei Normanni in provincia di Brindisi, che sarà adibita come Bed and Breakfast e che ha l'obiettivo di unire una struttura storica caratteristica della zona, come il Trullo, con impianti tecnologici all'avanguardia, con particolare attenzione all'utilizzazione dell'energia in maniera efficiente. La proprietà è caratterizzata da un terreno grande, di quasi 8.000 mq all'interno del quale si trova un complesso di trulli contornato dal verde con alberi, piante e fiori di vario genere

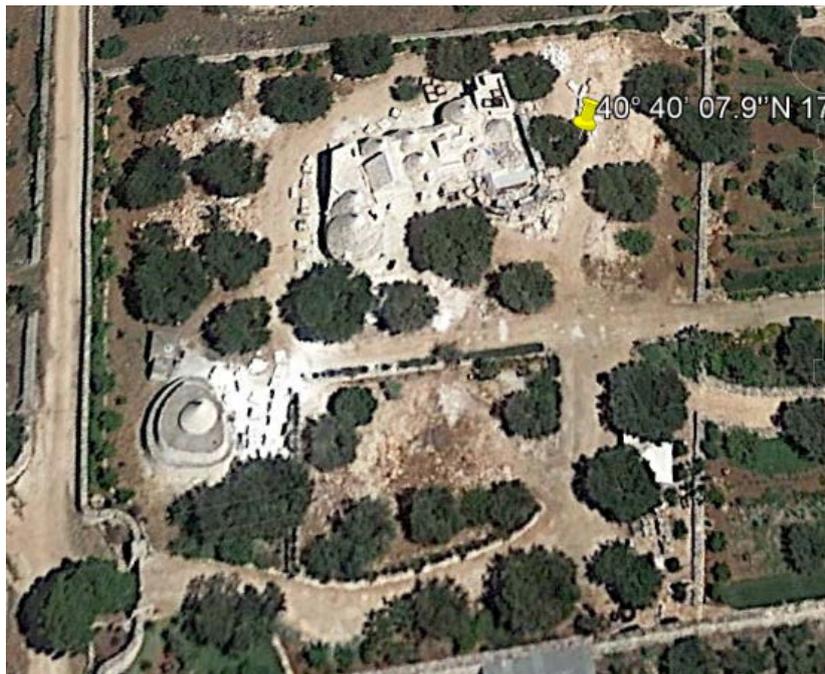
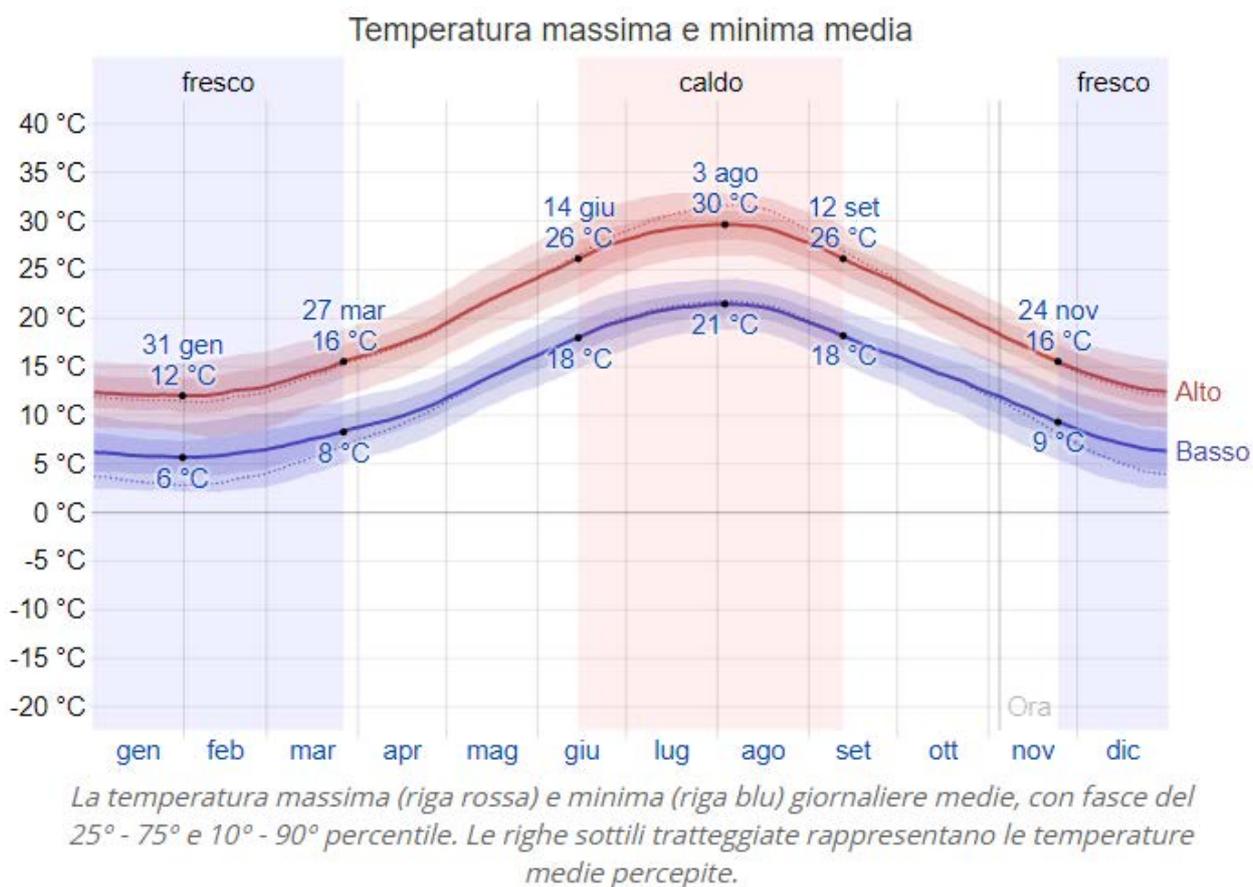


Figura 1 Immagine satellitare dei lavori in costruzione

Località	San Vito dei Normanni
Coordinate	40° 40' 08" N 17° 40' 52" E
Altitudine	108 m
Zona climatica	C
gradi giorno	1234

Ci troviamo in Zona Climatica C e di qui di seguito riportiamo l'andamento delle temperature medie in un anno, nel corso dell'anno.



Si può notare come anche nelle stagioni più rigide le temperature medie si aggirano sui 7/8°C.

Il periodo di riscaldamento va dal 15 Novembre al 31 Marzo.

In estate si raggiungono i 30°C, per questo il fattore di climatizzazione estiva ha una certa rilevanza.

1.2 Struttura

La struttura è composta da un complesso di trulli, suddivisi in 4 zone, tutti di nuova costruzione, più un trullo storico separato dal complesso che è stato ristrutturato, il tutto immerso nel verde e a pochi chilometri dal mare. L'idea è quella di formare delle piccole abitazioni adibite a BnB, con letto, pranzo-cucina e bagno, per poter sfruttare il flusso di turismo in continua espansione in queste zone.

Nella seguente pianta sono rappresentate le 4 zone termiche del complesso di trulli di nuova costruzione.

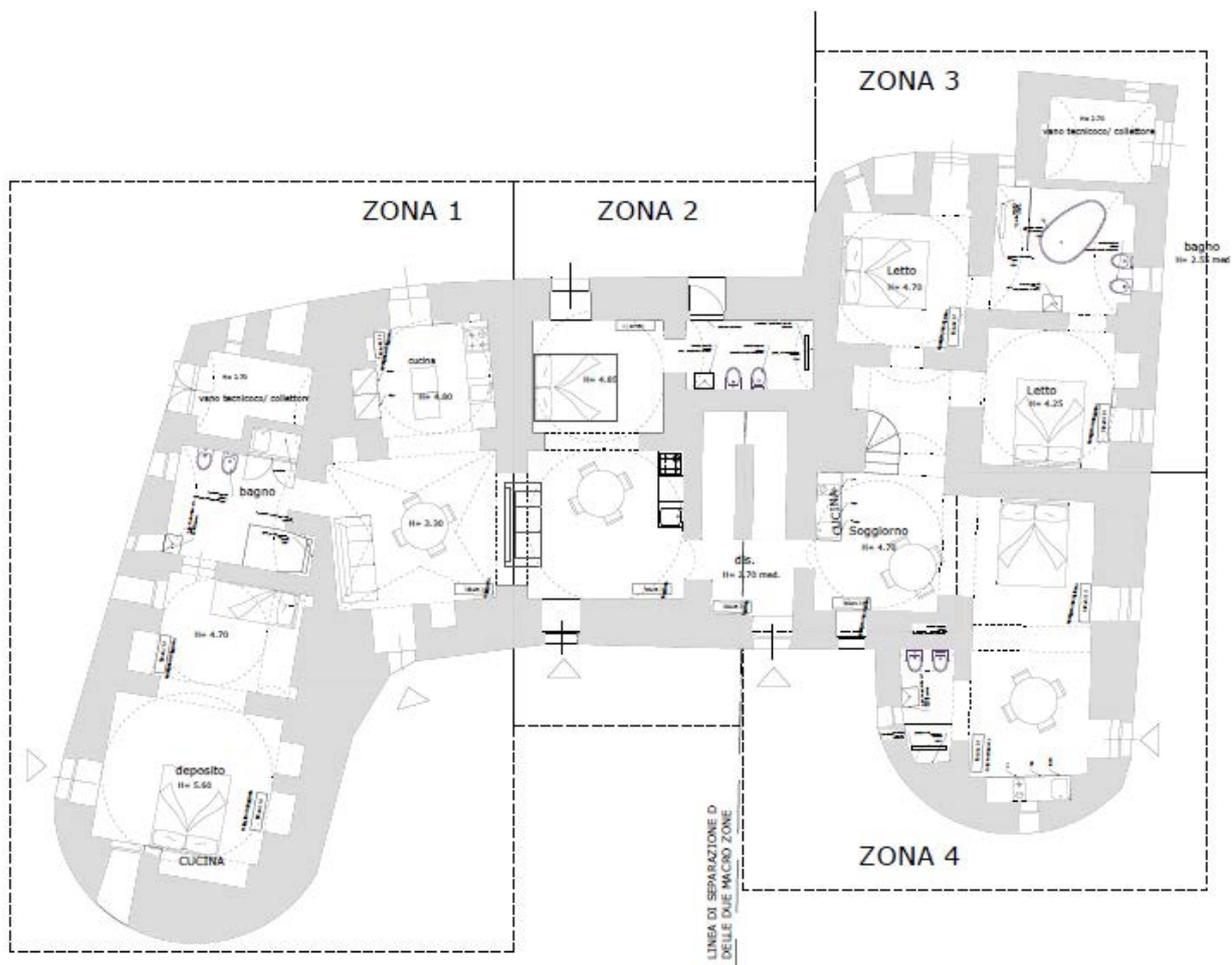


Figura 2 Complesso di trulli in pianta



Figura 3 Foto del complesso di trulli a lavori di costruzione quasi ultimati

Qui di seguito riportiamo la pianta del trullo storico, che è stato ristrutturato, situato a pochi metri dal complesso di trulli.

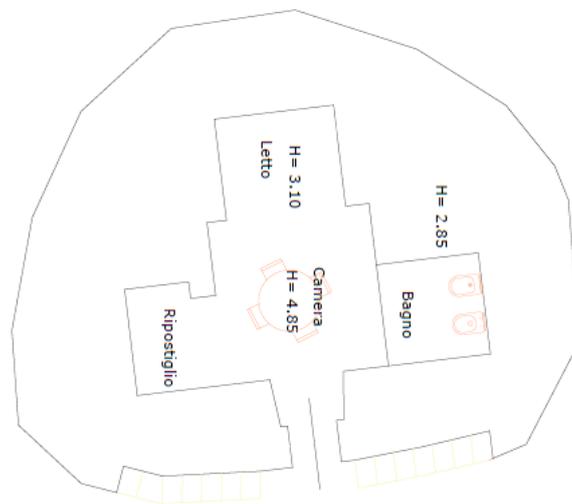


Figura 4 Trullo singolo in pianta.



Figura 5 Foto del trullo ristrutturato

Dati geometrici zona per zona.

	Superficie [m ²]	Volume [m ³]
Zona 1	55,10	176
Zona 2	32,41	104
Zona 3	41,10	132
Zona 4	21,10	68
Trullo Singolo	18,03	58
Tot	167,74	537

I trulli nel complesso hanno una superficie netta di 168 m²

1.3 Trullo caratteristiche e cenni storici

Le chiamano "le cupole del cielo". E li fanno risalire, per lo più, al 1600. Il significato del termine trullo in riferimento a un contesto agricolo esprime sempre il concetto di rotondità, il nome è di origine greca. Il grosso delle strutture urbanistiche è tra Bari e Brindisi in Puglia.

Il trullo è una costruzione in pietra a copertura conica, caratteristica di alcune località della Puglia: i cui più famosi fanno riferimento ai trulli di Alberobello "la città delle costruzioni a trullo".

Tipica struttura abitativa costituita. La maggior parte degli studiosi concorda che l'architettura del trullo sia giunta dal Vicino Oriente.

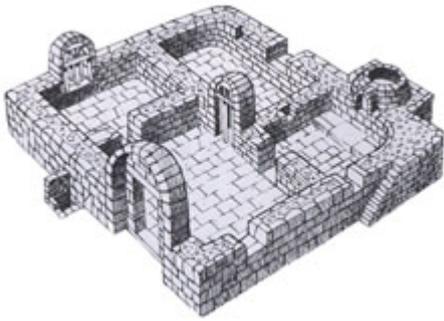
Si tratta di procedimenti lavorativi alquanto complessi che hanno antropizzato non soltanto la più nota superficie geografica denominata "La Murgia dei Trulli", ma anche numerosi altri territori limitrofi.

Questi manufatti realizzati con questo specifico linguaggio architettonico rappresentano le "identità architettoniche della Puglia". La pietra utilizzata proviene dalle cave di calcare o perpetuamente affiorante in gran parte del terreno è divenuto aspetto distintivo ed originario strumento di civiltà non soltanto nelle più note e popolari forme contadine dei trulli.

Le modalità costruttive in "pietra a secco", già applicate ad antichi manufatti della regione Puglia, hanno significato una scelta inevitabile per le necessità di sopravvivenza, e non, semplicemente, una predilezione del gusto. Era l'unica metodologia muraria che ammetteva corrispondenze tra le capacità redazionali e i quesiti degli uomini dell'epoca. Per cui bisogna sottolineare il fatto che queste strutture furono realizzate da contadini e pastori che gestirono il ciclo completo: dal progetto al manufatto al progetto compiuto, senza alcun supporto tecnico.

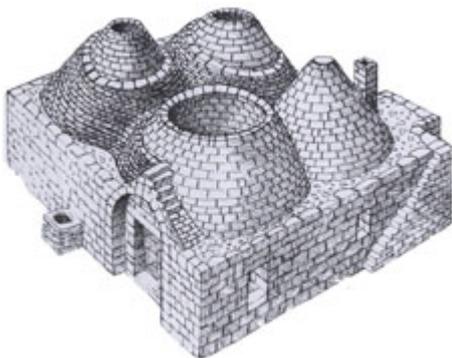
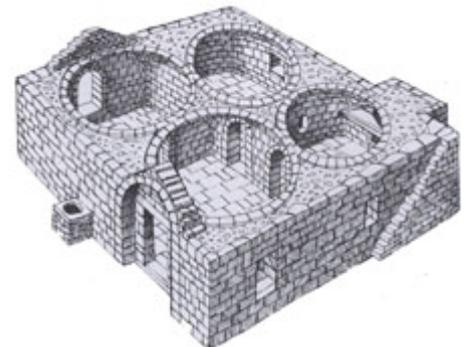
1.3.1 Fasi per la costruzione di un trullo

Gli strumenti per costruire un trullo sono il martello normale e il martello a sei denti che servono per squadrare e rifinire le pietre che occorrono.



Le fasi per costruire un trullo sono queste: prima bisogna scavare per trovare un terreno più solido dove mettere le fondamenta; poi si alzano i muri di pietra di forma rotonda o cubica; infine si costruisce il cono del trullo sistemando le pietre una sull'altra e restringendo sempre più gli anelli del cerchio.

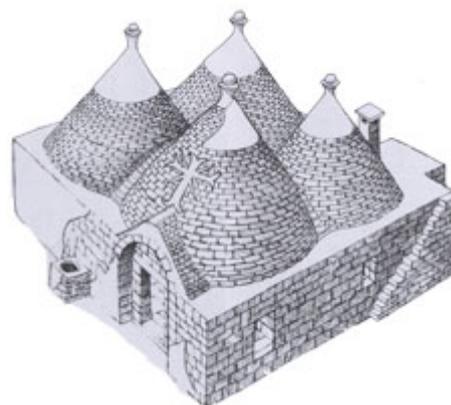
Alla fine, il cono si ricopre con le chiancarelle, lastre di pietra calcarea che vengono sistemate con una pendenza verso l'esterno. Grazie a questa inclinazione l'acqua della pioggia non entra nei trulli ma scorre giù. Inoltre, il punto in cui si uniscono due chiancarelle è sempre spostato rispetto alle chiancarelle superiori e inferiori. In questo modo l'acqua non filtra dentro.



Finito il trullo bisogna intonacarlo all'interno con la calce che è igienica; un tempo si usava invece poca calce impastata con la terra rossa che è un terreno argilloso rossastro che si trova in profondità. Poi il tutto si imbiancava con la calce.

Per la parte finale del cono, sotto al pinnacolo si usa il cemento e questa parte viene successivamente imbiancata.

Alla cima del cono in genere si mette una decorazione di pietra imbiancata: il pinnacolo. Il pinnacolo serve per abbellire il trullo. Ci sono vari tipi di pinnacoli: a stella, a forma di corna, di croce, di uccello. Ma sono pinnacoli moderni, la forma che si usava nei tempi antichi era la sfera con un disco sottostante. Questi si costruivano con gli attrezzi adatti modellando la pietra. Un trullo deve essere ristrutturato ogni 100 anni circa, perché col passar degli anni e con l'infiltrazione dell'acqua, la pietra si consuma e diventa vecchia.



Capitolo 2

Trasmittanza

2.1 Strutture Opache

Considerando i coefficienti convettivi esterni ed interni ho calcolato la trasmittanza per le superfici opache secondo la norma UNI EN ISO 6946

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_i \frac{s_i}{\lambda_i} + \sum_j R_j + \frac{1}{\alpha_e}} \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

in cui α_i è il coefficiente liminare interno invernale per la parete e assume il valore di 8 W/m²K mentre α_e è il coefficiente liminare esterno invernale e assume il valore di 25 W/m²K.



Figura 6 Foto interno dei trulli con lavori in corso

Caratteristiche del materiale utilizzato per le costruzioni

	PIETRA CALCAREA	
Capacità termica	0,87	[kJ/kg*K]
Densità	2000	[kg/m ³]
Conducibilità	2,51	[kJ/h*m*K]
Spessore esterno	1,1 - 1,4	[m]
U_medio	0,529	[W/m²*K]

Abbiamo quindi ricavato una trasmittanza media per le pareti esterne pari a 0,53 W/m² K.

Le murature sono tutte in pietra piena, e nonostante non fosse possibile realizzare un cappotto per questioni strutturali ed estetiche la trasmittanza del muro esterno risulta comunque buona, grazie all'elevato spessore dei muri.

Pavimento

Per il rivestimento del pavimento si utilizzerà la pietra naturale, che dal punto di vista termico ha una bassa resistenza e permette un riscaldamento radiante perfetto.



Figura 7 tipologia di rifinitura pavimento

2.2 Strutture Vetrate



Figura 8 Foto serramenti in alluminio

Le finestre per questo tipo di abitazioni sono tipicamente piccole, in totale sono state posate 21 finestre della serie a taglio termico soluzione capace di adattarsi perfettamente alle esigenze del restauro e dell'architettura di pregio. Questo sistema offre un ingombro visivo ridotto al minimo, senza rinunciare alle prestazioni.

In tal senso sono state montate in tutti i serramenti vetrocamere basso-emissive, in particolare: vetro 33.1 basso-emissivo all'esterno / camera con gas argon / vetro 44.1 all'interno, in modo da raggiungere una trasmittanza termica delle finestre **Uw di 1,1 W/m²K**.

Per quanto riguarda l'abbattimento acustico, non vi erano richieste particolari: la prestazione comunque si è attestata attorno ai 38-39 dB.

Tutte le soluzioni sono con cerniera a scomparsa. La finitura dei profili è di colore grigio ghisa.

Capitolo 3

Analisi Dinamica

3.1 Costruzione del modello

Per dimensionare l'impianto e fare l'analisi energetica si è utilizzato il software TRnsys che ci ha dato la possibilità di fare un'analisi dinamica nell'arco di un anno, per poter valutare i picchi utili per il dimensionamento dell'impianto termico e per poter fare un'analisi preventiva sui consumi della struttura, in modo tale da poter scegliere la migliore configurazione.

Il software utilizzato si divide in due fasi, una prima fase di costruzione dell'edificio, utilizzando TRNBuild e una seconda fase in cui si contestualizza il modello dell'edificio costruito con tutte le condizioni di Input utilizzando Simulation Studio, come si vedrà di seguito. Questo software può considerarsi a tutti gli effetti un software di simulazione energetica per la rappresentazione energetica dell'edificio, in quanto si considera un passo temporale orario in cui operare, in cui i risultati ottenuti dipendono anche dai vettori di input che vengono scelti e non solo dalle condizioni al contorno dell'edificio.

Per il progetto in questione si è scelto di costruire una zona termica per ogni singolo trullo, per poter avere maggior personalizzazione e attenzione ai dettagli. Per ogni faccia sono stati calcolati i metri quadrati di superficie, e la sua orientazione. Avendo il trullo una forma conica, si è deciso di dividere il cerchio in 12 parti con un passo di 30° ognuno, per avere una simulazione quanto più veritiera possibile, della rotondità della struttura.

Di seguito si ripota la suddivisione in 4 zone termiche del complesso di trulli che corrispondono alla suddivisione in piccole abitazioni con letto, bagno e cucina ognuno con il suo ingresso privato, più il quinto trullo esterno al complesso che corrisponde alla quinta abitazione.

Zona termica 1



Figura 8 Zona termica 1 in pianta

Z_1	Superficie [m ²]	Volume [m ³]	Muro Esterno [m ²]	Cupola [m ²]	Fin All [m ²]
Z_1_LETTO	16,00	51,2	28,50	19,23	0,36
Z_1_LETTO2	6,25	20	9,52	9,81	0,36
Z_1_BAGNO	6,25	20	5,04	9,81	0,36
Z_1_PRANZO	15,00	48	6,92	19,23	
Z_1_CUCINA	6,40	20,48	4,42	6,92	0,36

In totale abbiamo una superficie netta di 50 m², con un volume di 160 m³. Si sono calcolate tutte le superfici dei muri, interne ed esterne che saranno poi inserite all'interno del programma.

Zona termica 2

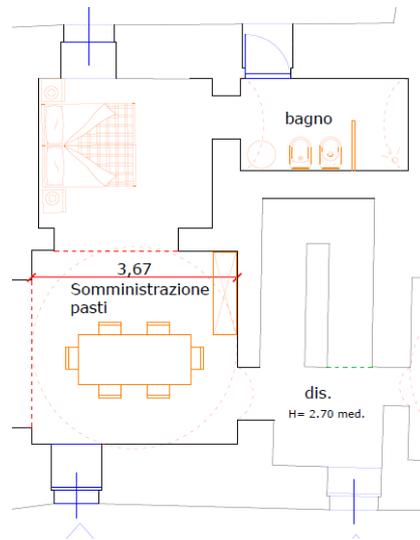


Figura 9 Zona termica 2 in pianta

Z_2	Superficie [m ²]	Volume [m ³]	Muro Esterno [m ²]	Cupola [m ²]	Fin All [m ²]
Z_2_LETTO	9,61	30,752	6,82	8,30	0,36
Z_2_PRANZO	15	48	6,34	17,51	
Z_2_BAGNO	4,95	15,84	4,2	4,95	
CORRIDOIO	2,85	9,12	4,4	2,85	

In totale abbiamo una superficie netta di 32 m², con un volume di 103 m³, composta una camera da letto, zona pranzo e bagno.

Zona termica 3



Figura 10 Zona termica 3 in pianta

Z_3	Superficie [m ²]	Volume [m ³]	Muro Esterno [m ²]	Cupola [m ²]	Fin All [m ²]
Z_3_LETTO	9,5	30,4	13,22	14,13	0,72
Z_3_LETTO2	8,7	27,84	8	13,20	0,36
Z_3_BAGNO	7,9	25,28	4,9	7,90	0,36
Z_3_PRANZO	15	48	2,62	14,13	0,36

Superficie netta di 41.1 m², con un volume di 130 m³.

Due camere da letto e un bagno

Zona_4

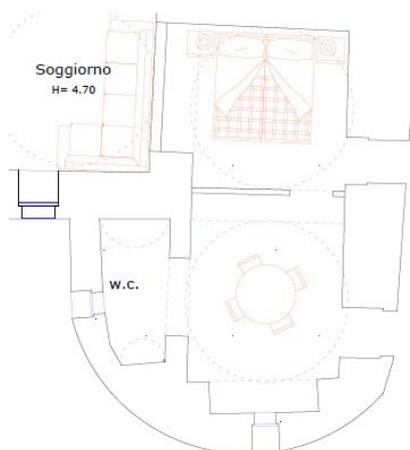


Figura 11 Zona termica 4 in pianta

Z_4	Superficie [m ²]	Volume [m ³]	Muro Esterno [m ²]	Cupola [m ²]	Fin All [m ²]
Z_4_LETTO	8,4	26,88	6,78	12,485268	0,36
Z_4_PRANZO	9,8	31,36	16,2	13,2037	0,72
Z_4_BAGNO	2,9	9,28	7,48	2,9	0,36

Superficie netta di 21,1 m², volume di 67,5 m³.

Questa è la zona termica più piccola.

Trullo_2

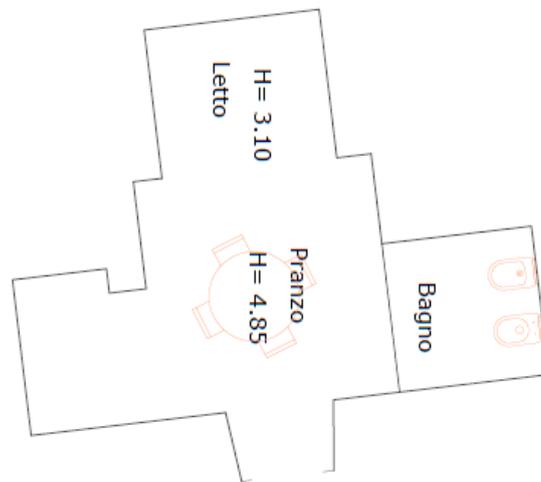


Figura 12 Trullo singolo

	Superficie [m ²]	Volume [m ³]	Muro Esterno [m ²]	Cupola [m ²]	Fin All [m ²]
Pranzo	8,56	31,03	17,50	13,57	0,36
Bagno	3,35	9,54	15,65	3,35	0,36
Letto	3,92	11,16	16,53	3,92	0,36
Ripostiglio	2,21	6,29	11,74	2,21	0,36

Vecchio trullo ristrutturato, separato dal complesso avrà una superficie di 18 m² e un volume di circa 60 m³.

3.2 Software TRBuild

Nella costruzione di un modello la prima cosa da fare è definire le diverse orientazioni necessarie per la definizione delle strutture dell'edificio, quindi nel nostro caso abbiamo definito le esposizioni Nord, Sud, Est, Ovest e Orizzonte ma anche le 12 facce per schematizzare l'effetto circolare e altre 12 per schematizzare l'inclinazione della cupola, considerando per ciascuna di esse gli angoli di azimuth e di slope.

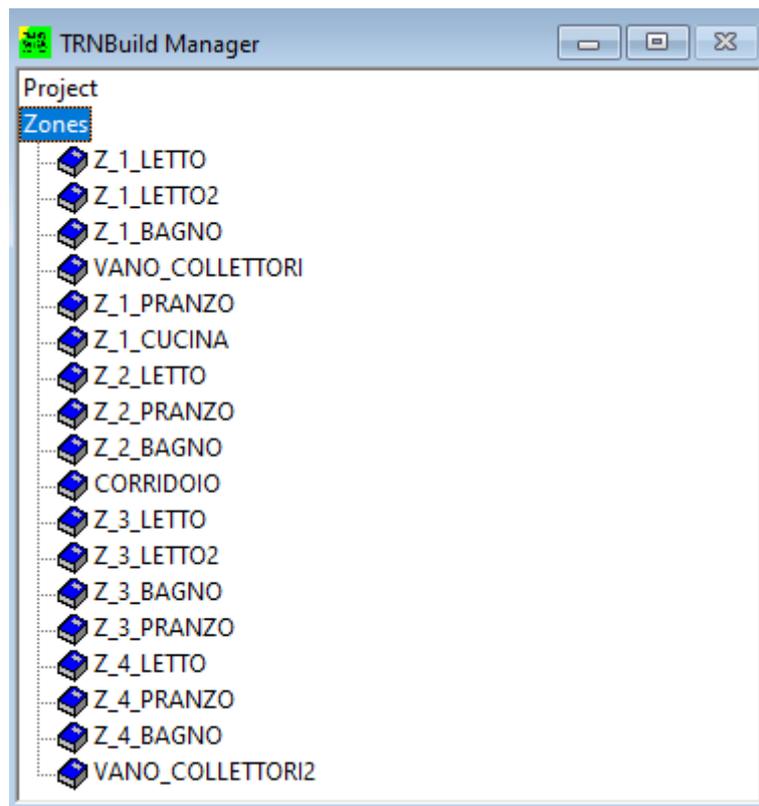


Figura 13 Zone termiche stanza per stanza

Una volta svolto questo primo passaggio si passa alla compilazione del software zona termica per zona termica. Sarà quindi necessario definire stanza per stanza, muri esterni, muri interni, muri adiacenti tra le diverse zone termiche, tetto e pavimento inserendo le varie caratteristiche per ognuna, nel nostro caso abbiamo inserito le caratteristiche della pietra calcarea e variato in base allo spessore dei diversi muri e in base alla tipologia (muro esterno, interno, pavimento, cupola)

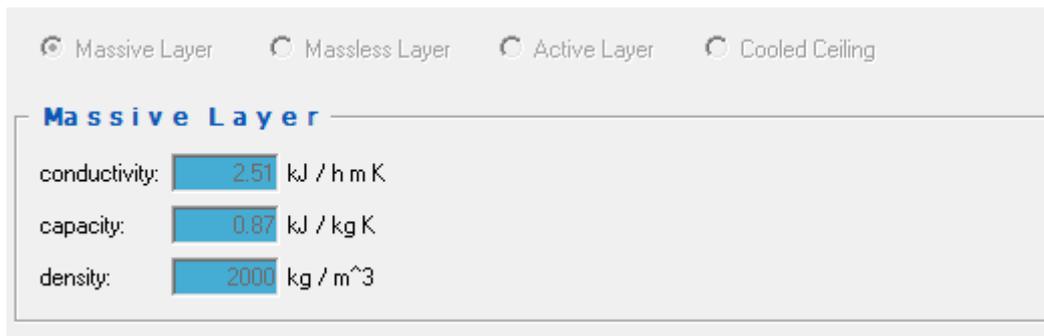


Figura 14 Caratteristiche pietra calcarea

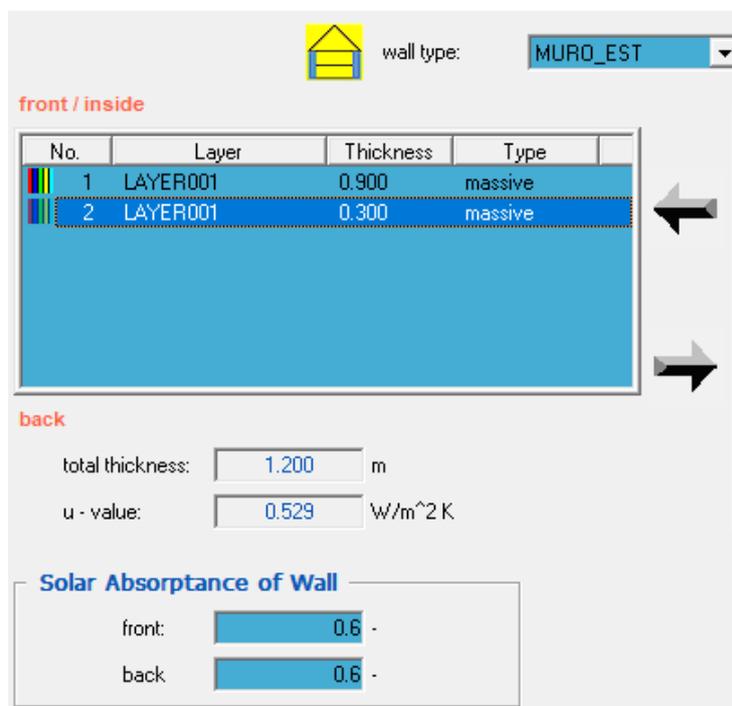
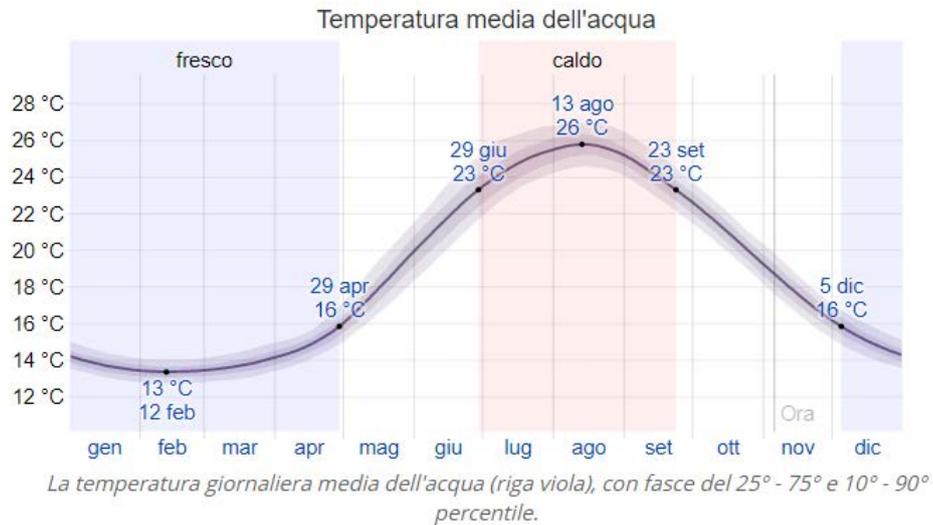


Figura 15 Valore di trasmittanza calcolato dal software

**Il software non accetta spessori di muro maggiori al metro quindi è stato suddiviso in due parti.*

In questi screenshot, si può notare prima l'inserimento delle caratteristiche della pietra calcarea e poi la costruzione del muro esterno, preso da esempio, con spessore 1,20 m e una trasmittanza di 0.529 W/.m²K.

Per quanto concerne invece il “basement floor” si è definita la categoria *boundary* e come condizione si è imposta la temperatura del terreno con un file esterno txt, che varia al variare delle stagioni, in maniera simile alla variazione della temperatura dell’acqua.



Una volta svolte tutte queste operazioni si passa alla definizione delle finestre, dalla library è stata trovata esattamente la stessa tipologia di infisso basso emissivo che sarà installato. Con trasmittanza U pari a 1,1 W/m²K come specificato nel paragrafo sulla trasmittanza delle superfici trasparenti.

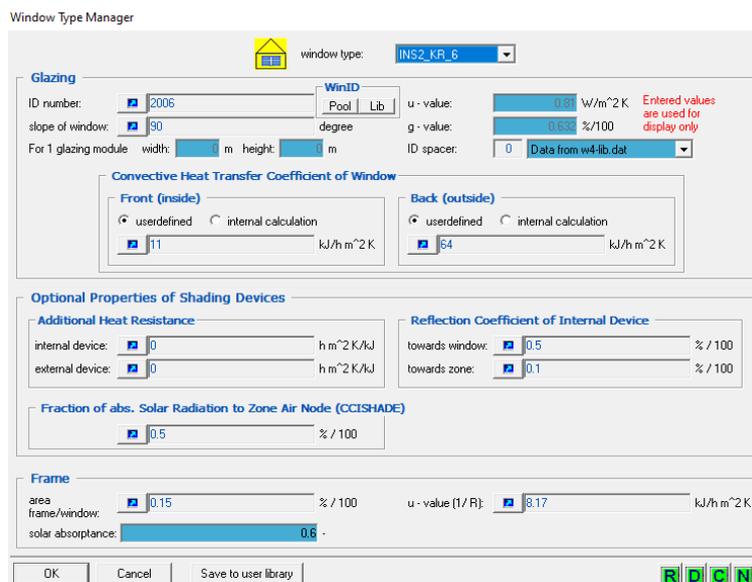


Figura 16 illustrazione del windows type

Giunti a questo punto della realizzazione del modello si passa a definire i carichi interni per ciascuna zona termica.

Infiltration Type

Il primo carico è il vettore “Infiltration Type”, il quale viene definito con un valore costante, pari a 0,2 Vol/h, come mostrato di seguito, per l’intero edificio.

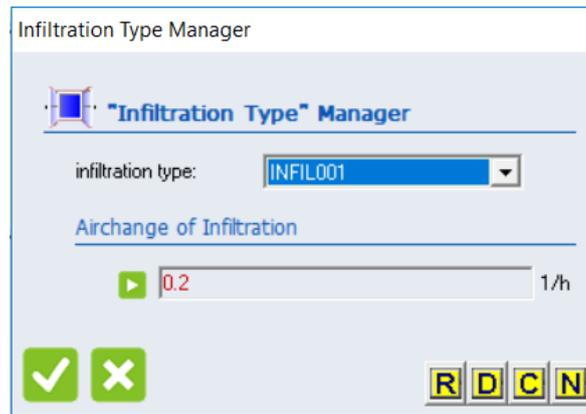


Figura 17 infiltraion type

Heating

A seguire si ha la voce “Heating”, per la quale si definisce un “heating type” per ciascuna zona termica, in modo tale da settare per ognuno di essi un “set temperature” la cui unità di misura sarà in °C e un “heating power” in kJ/h, che prenderemo limitatoin funzione della scelta di installare un impinato a pannelli radianti (che analizzeremo in seguito) sapendo che il limite è pari a 100 W/m².

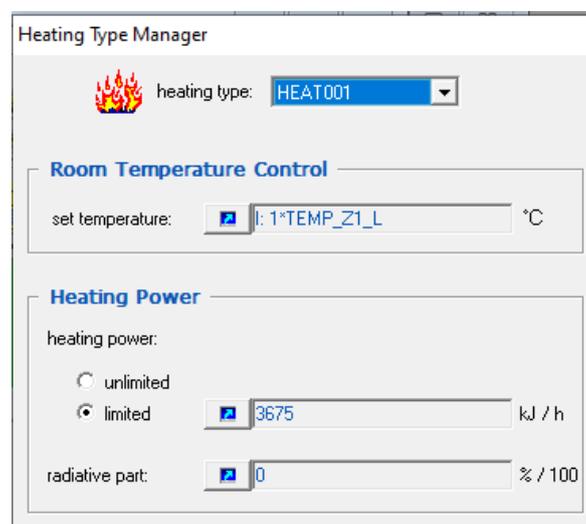


Figura 18 Heating Type

Dalla precedente figura emerge che nel programma si è focalizzati sulla definizione di:

- Room Temperature Control;
- Heating Power

dove si nota la scelta di dare al “room temperature control” un valore di input pari al “set temperature” per la zona termica in questione, in funzione delle ipotesi di occupazione fatte per l’intera struttura in un anno. Questo procedimento sarà poi implementato anche per tutte le altre zone termiche.

Cooling

Per il periodo estivo abbiamo impostato il “Cooling”, essendo periodo di picco l’abbiamo considerato impostato a 26°C dall’ultima settimana di giugno fino alle prime due di settembre, periodo in cui ci si aspetta la massima affluenza.

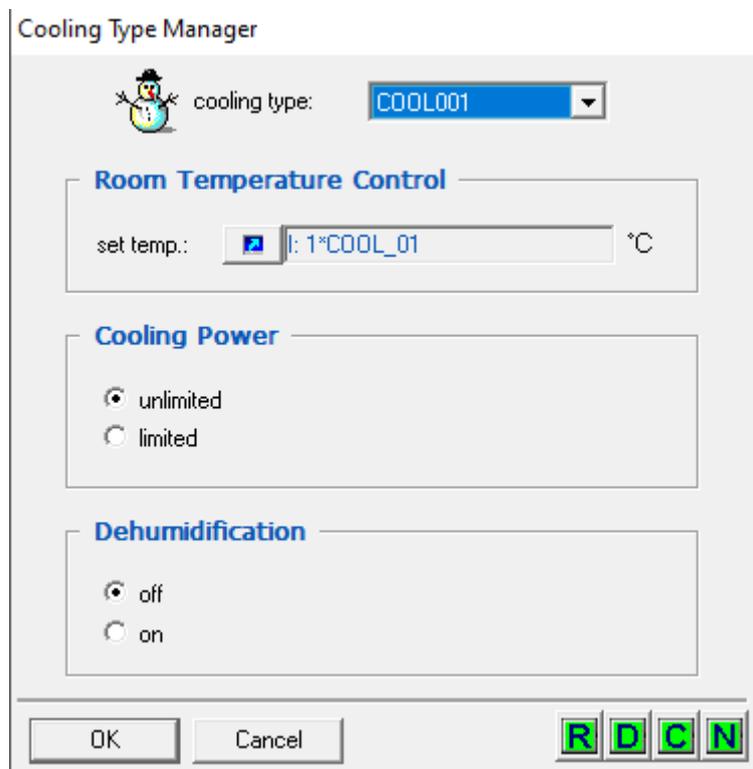


Figura 19 Cooling Type

Ventilation

Il terzo carico che trattiamo è quello di “Ventilation”, Questo carico viene definito come segue:

Dalla figura si può riscontrare che il “ventilation type” definito possiede tre voci: Air Flow, Temperature of Air Flow e Humidity of Air Flow. La voce su cui ci si focalizza è quella del “Air Flow”, in quanto anche in questo caso si definisce un valore di input per il sistema, come mostrato di seguito:

Ventilation Type Manager

ventilation type: VENT001

Airchange of Ventilation

I: 1*VENT_01 1/h

Temperature of Air Flow

outside
 other

Rel. Humidity of Air Flow

outside
 other

OK Cancel R D C N

Figura 20 Ventilation Type

Gains

L'ultimo carico analizzato è quello relativo alla voce "Gains". Questa voce al suo interno presenta i carichi dovuti al numero di persone presenti all'interno della zona termica e i carichi di illuminazione relativi all'area totale della zona termica.

Gains [Zone: Z_1_LETTO]

Persons

off on

ISO 7730 VDI 2078

degree of activity: Seated at rest

scale: 1:PERS_01

Computer

off on

Artificial Lighting

related floor area: 16 m²

off on

total heat gain: 5 W/m²

convective part: 0 %

control strategy: 1:LL_01

scale: 1

Figura 21 Gains

3.3 Simulation Studio

Si passa ora a descrivere la parte vera e propria di simulazione energetica, relativa a Simulation Studio. Anche in questo caso abbiamo costruito due modelli, uno per il complesso di trulli e uno per il trullo singolo, in cui dovranno essere effettuati tutti i collegamenti per permettere il “Run” della Simulation.

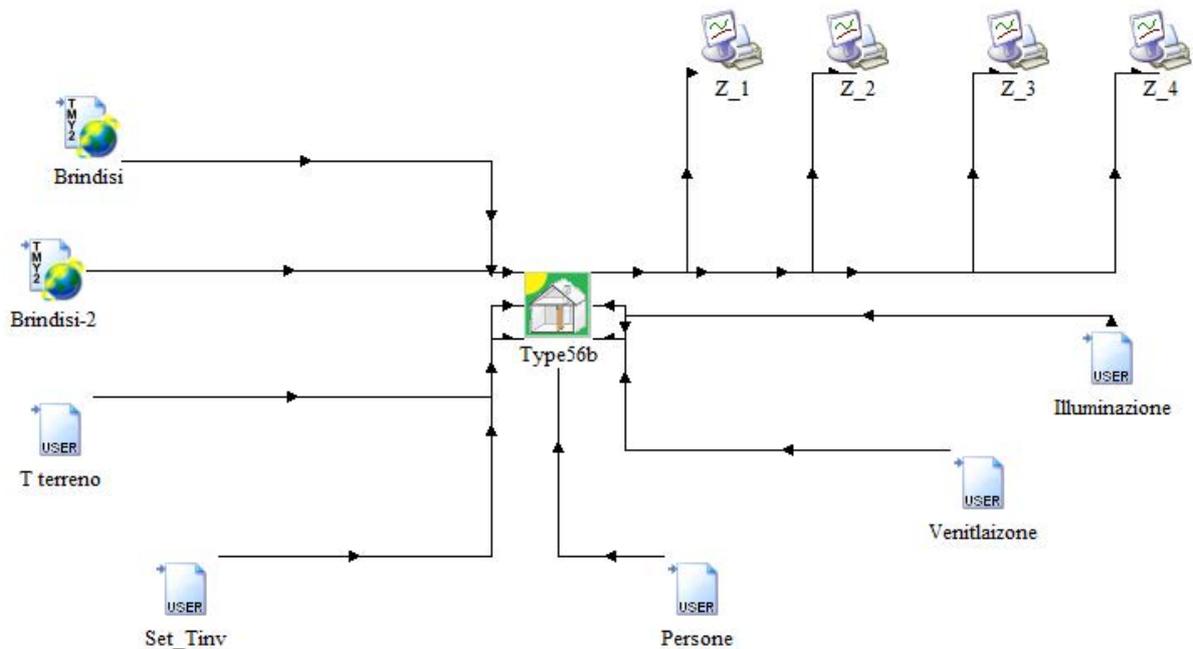


Figura 22 Simulation Studio, applicazione input al building

Dalla figura emergono tutti i collegamenti tra il building e i vettori di input, trattati in precedenza. Come si può notare per i vari input si sono utilizzate funzioni di tipo Type9c, che permettono l'uso di file .txt esterni per l'inserimento dei valori desiderati. Ho creato quindi tramite excel vettori da 8760 valori, pari alle ore che compongono l'anno per le varie zone termiche, alle quali ho inserito i carichi di T_terreno, Set_Tinv, Persone, Ventilazione e Illuminazione e Cooling come precedentemente impostati nel modello TRbuild.

Per i dati climatici si è scelta la funzione Type 109TMY-2 al quale è stato associato un file scaricato dal software “meteonorm” per i dati climatici di Brindisi.

Per quest’ultima funzione relativa ai dati climatici è bene evidenziare che si sono riportate le varie orientazioni dell’edificio, avendo un massimo di 16 output, ho dovuto inserire due file di ingresso, per poter descrivere tutte le varie orientazioni, in quanto ne avevo 12 per la parte cilindrica del trullo con slope 90° e altre 12 per il cono superiore con slope a circa 45°.

Una volta eseguiti tutti i collegamenti, si inseriscono anche delle stampanti Type65c, in modo da visualizzare i dati delle simulazioni. Avendo un numero massimo di output pari a 4, ho suddiviso le stampanti nelle diverse zone termiche. Lasciando fuori le due zone collettori in quanto non hanno controllo di temperatura. Nella creazione dei file txt si sono fatte delle ipotesi occupazionali sulla base di informazioni relative a strutture simili presenti in zona, per cercare di costruire una simulazione che si avvicinasse quanto più possibile alle condizioni reali.

In particolare, si è ipotizzato un periodo di picco con piena occupazione , durante le vacanze natalizie e durante l’estate, essendo una località a pochi km dal mare e un’occupazione parziale durante i vari WE dell’anno, mentre nei giorni feriali fuori picco si è ipotizzata una struttura vuota.

3.4 Risultati delle simulazioni

Nelle seguenti immagini si possono visualizzare i risultati ottenuti dopo aver effettuato le simulazioni.

Per le zone termiche 1 e 2 ho ipotizzato che la struttura si riempisse in tutti i WE dell'anno con il picco per tutto il periodo estivo.

A livello di gestione ho impostato che in fase di occupazione la temperatura impostata fosse quella di 20°C, temperatura di progetto, mentre in assenza ho impostato una temperatura sui 18 °C (in seguito vedremo le motivazioni per questa scelta.).

Mentre per il raffrescamento, come già anticipato, si è scelto di impostare una temperatura di 26°C.

Zona termica 1

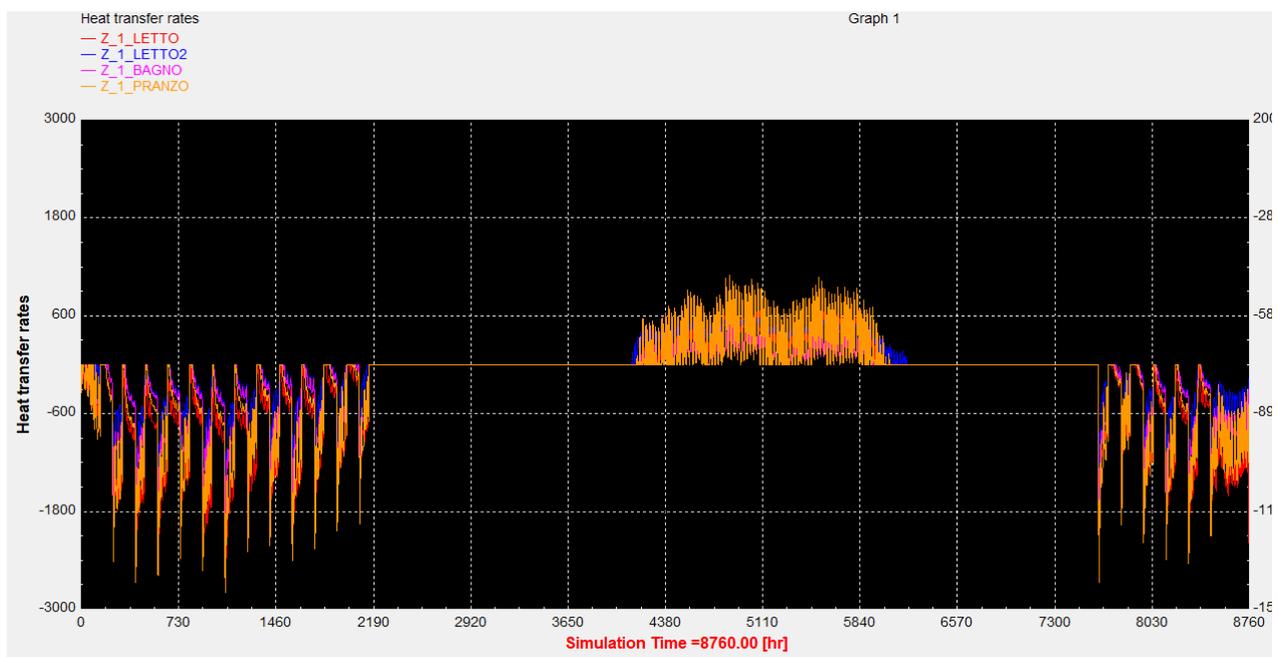


Figura 23 Variazione del Q_{sens} per la zona 1

Nell'immagine sopra si può notare la variazione del calore sensibile richiesto, in funzione degli input inseriti. Per convenzione con i valori di $Q_{sensibile}$ negativi si intende la parte relativa al riscaldamento, mentre con valori positivi il raffrescamento.

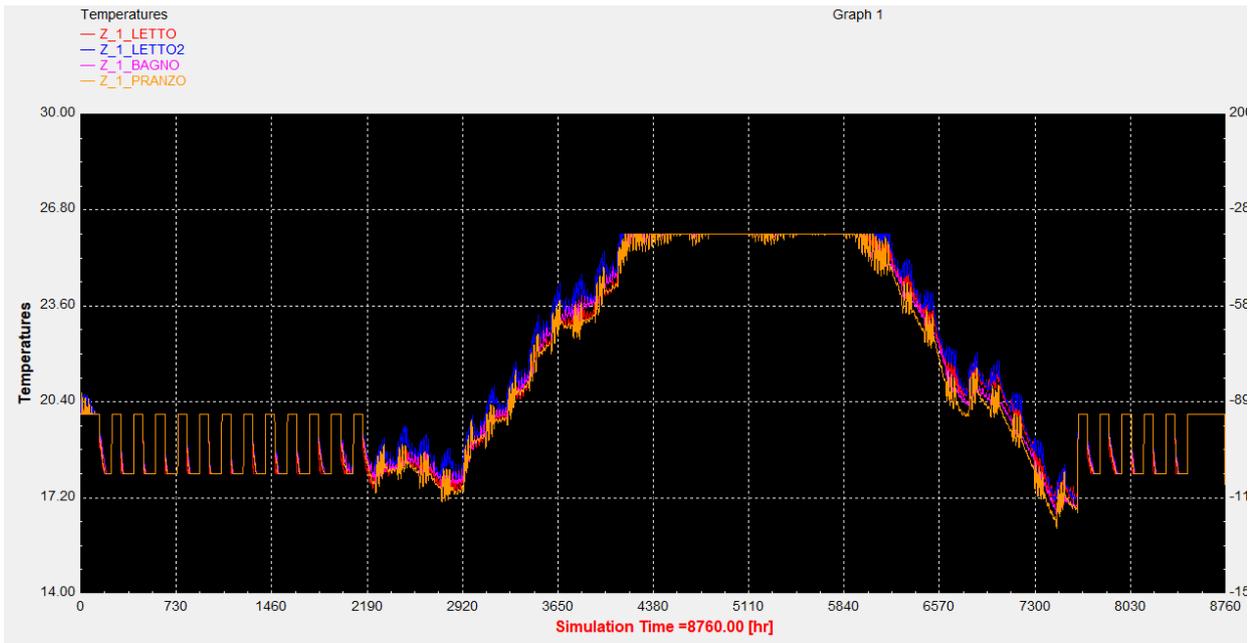
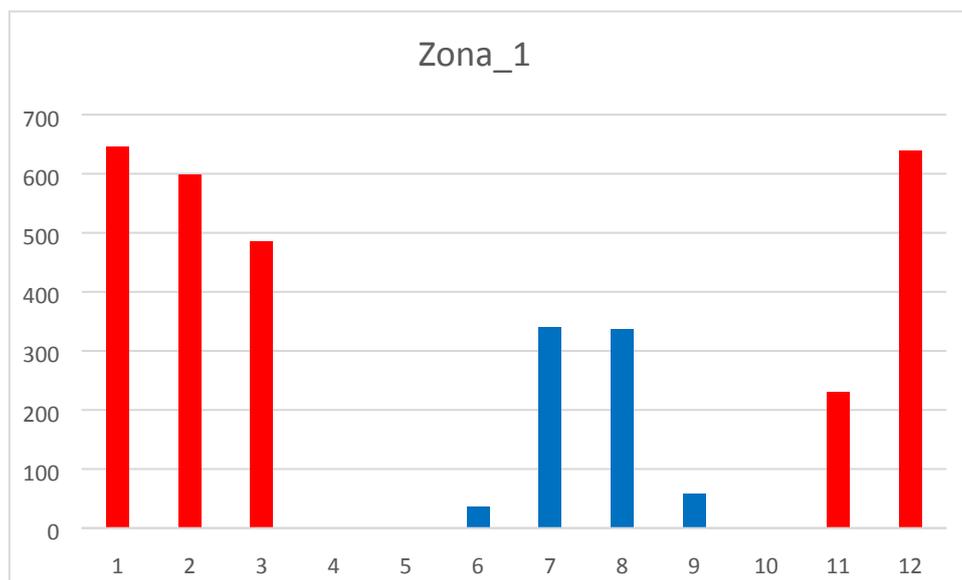


Figura 24 Variazione della T per la zona 1

Mentre in questa immagine si visualizza la variazione della temperatura all'interno della struttura, si può notare come nei WE invernali la temperatura sale a 20°C mentre durante la settimana è impostata sui 18°C. Nei mesi primaverili si ipotizza un riscaldamento spento come di norma nella zona climatica presa in considerazione.



Si sono calcolati per la zona termica_1, 2601 kWh termici per il riscaldamento e 773 kWh termici per il raffrescamento

Zona termica_2

le ipotesi occupazionali sono uguali a quelle per la zona 1, quindi valgono le considerazioni fatte in precedenza.

pe

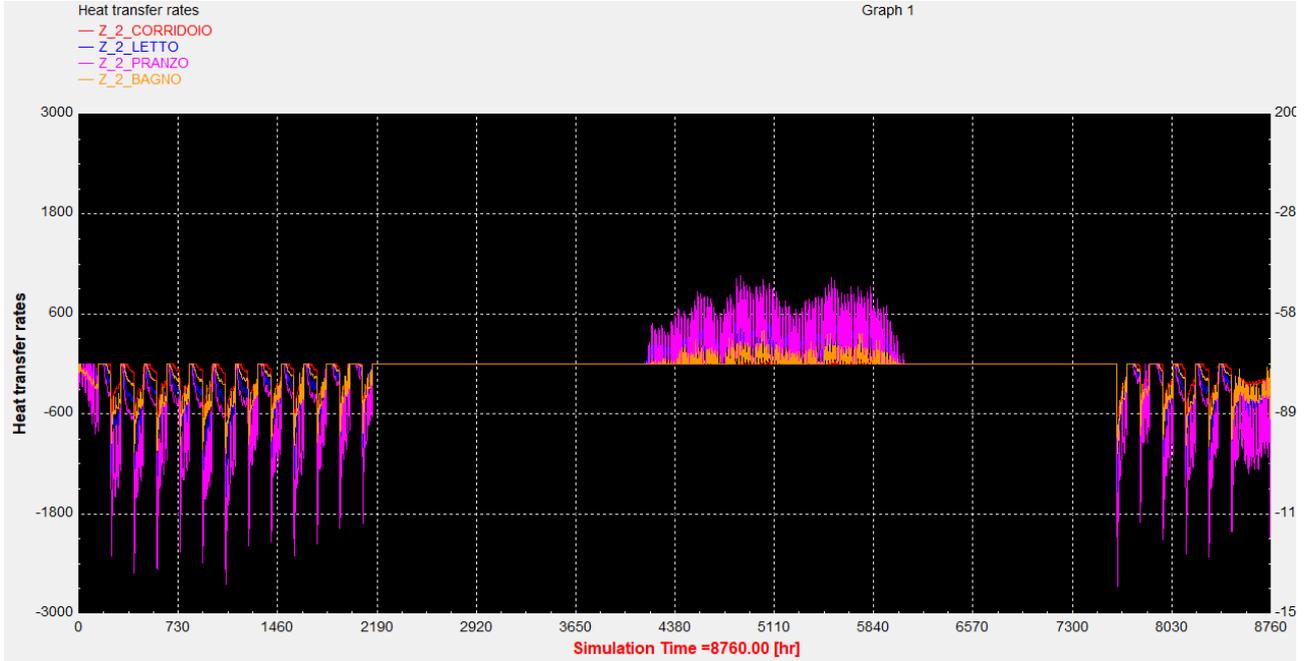


Figura 25 Variazione del Q_{sens} per la zona 2

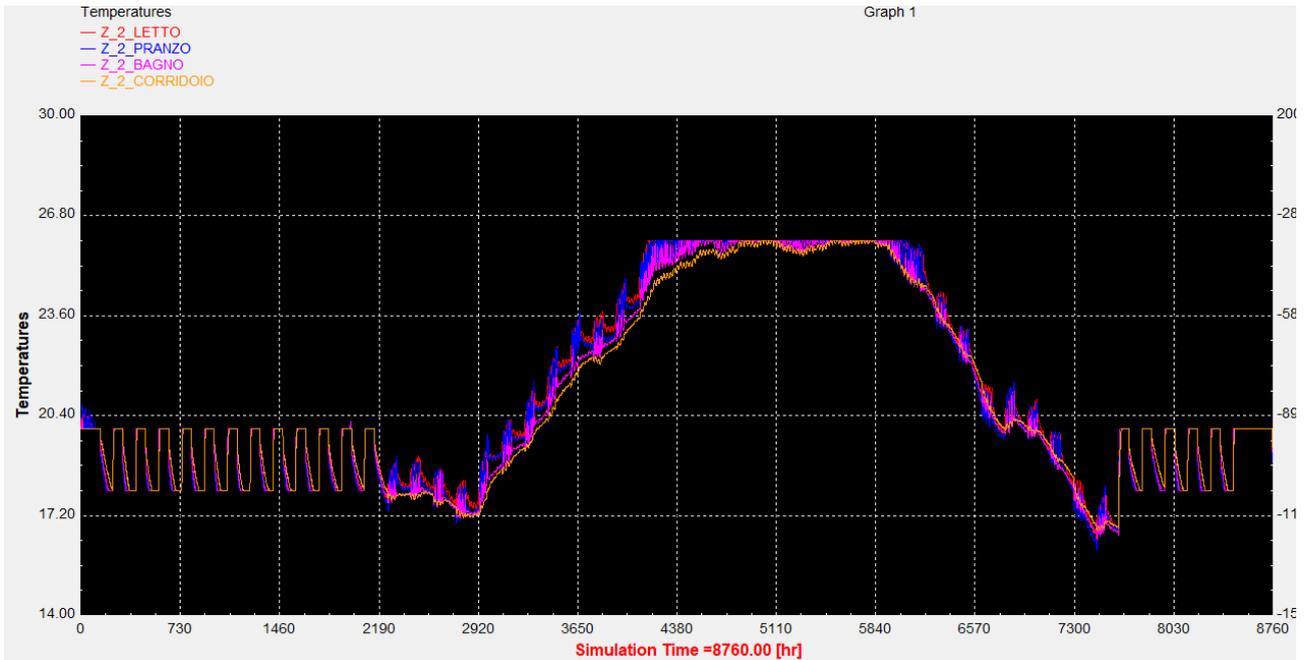
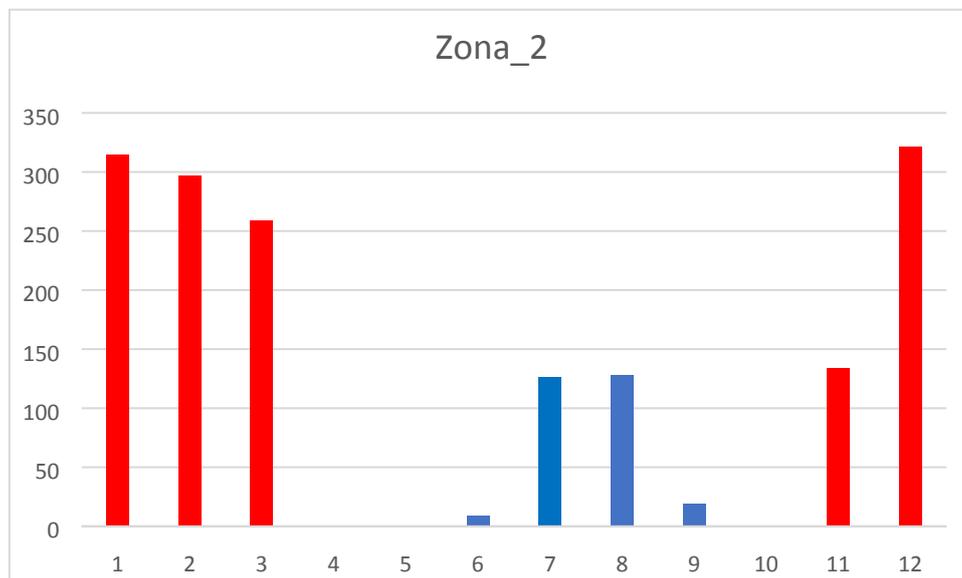


Figura 26 Variazione della temperatura Z_2

Risultati



Si sono calcolati per la zona termica_2, 1325 kWh termici per il riscaldamento e 282 kWh termici per il raffrescamento.

Zona termica 3

Per le zone 3 e 4 nel periodo invernale si è invece ipotizzato che fossero occupate solo in WE alternati, quindi 2 WE al mese, impostando comunque una temperatura sui 18°C anche a struttura vuota che verrà portata sui 20°C in caso di occupazione, mentre per il periodo estivo abbiamo ipotizzato occupazione piena.

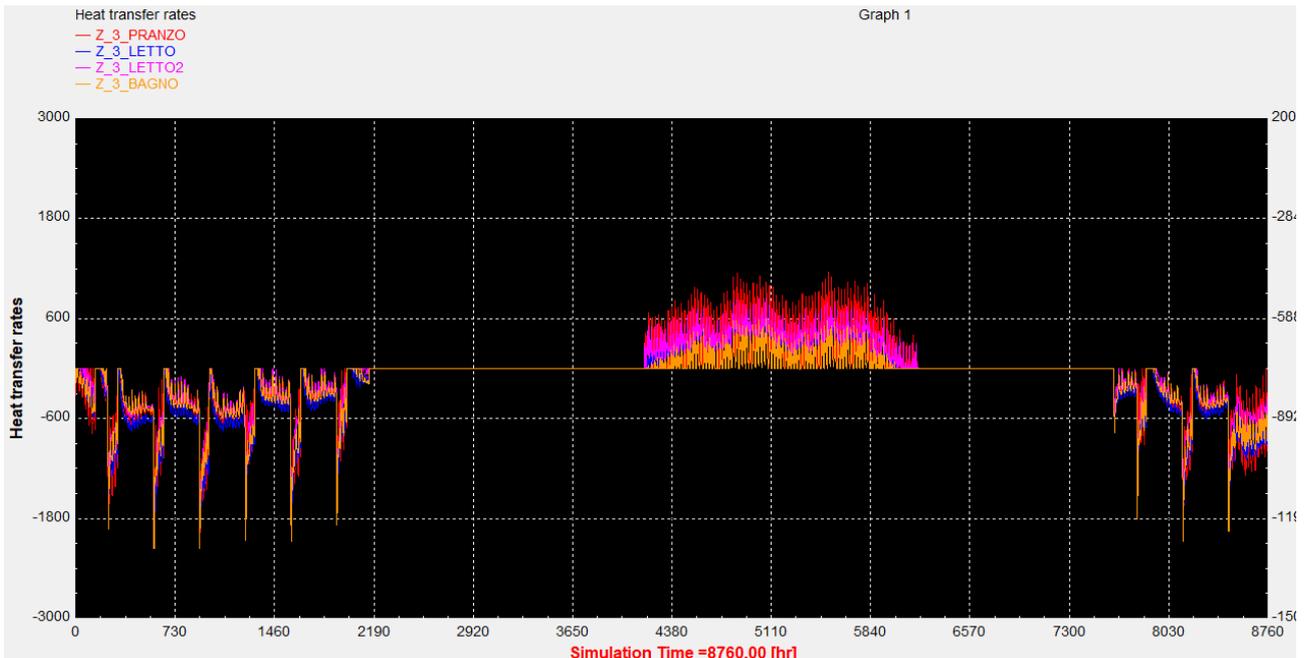


Figura 27 Variazione della Q_{sens} Z_3

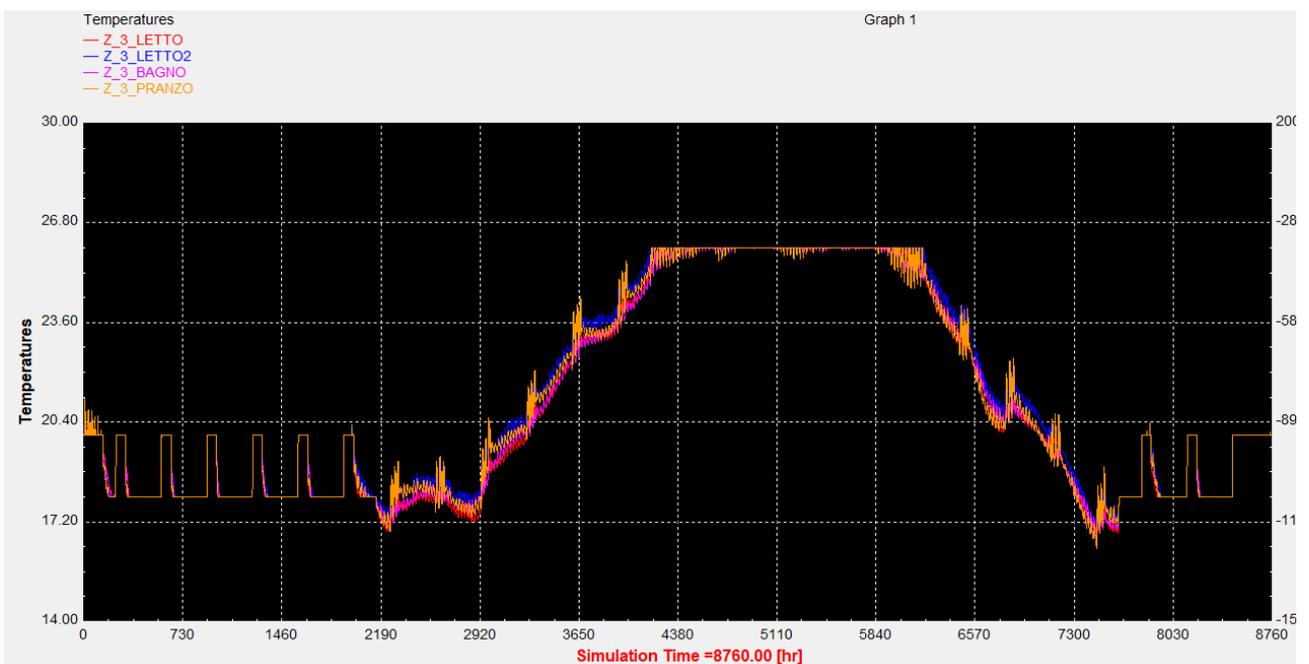
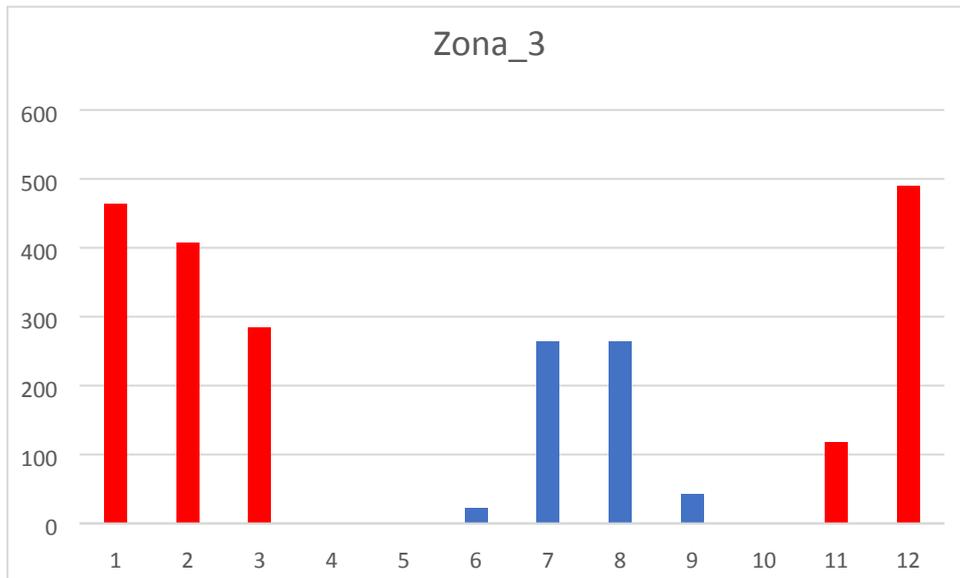


Figura 28 Variazione della temperatura Z_3



Si sono calcolati per la zona termica_3, 1763 kWh termici per il riscaldamento e 583 kWh termici per il raffrescamento.

Zona termica_4

ipotesi occupazionali descritte precedentemente.

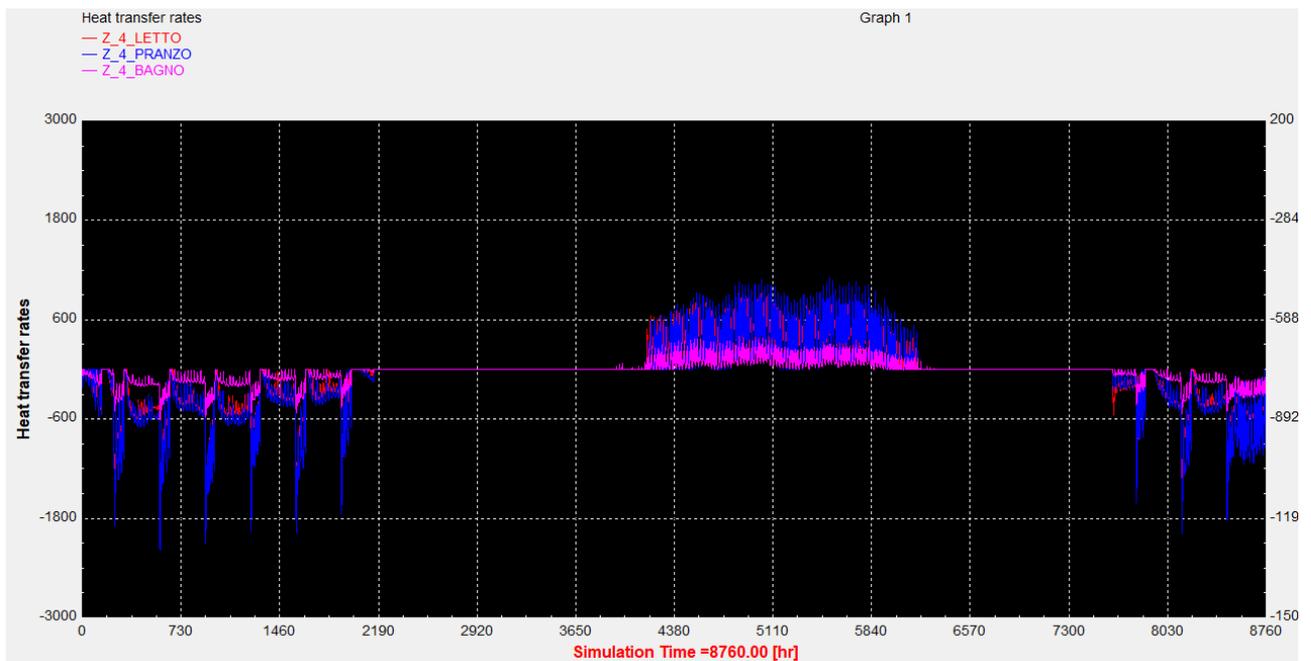


Figura 29 Variazione della Q_{sens} Z_4

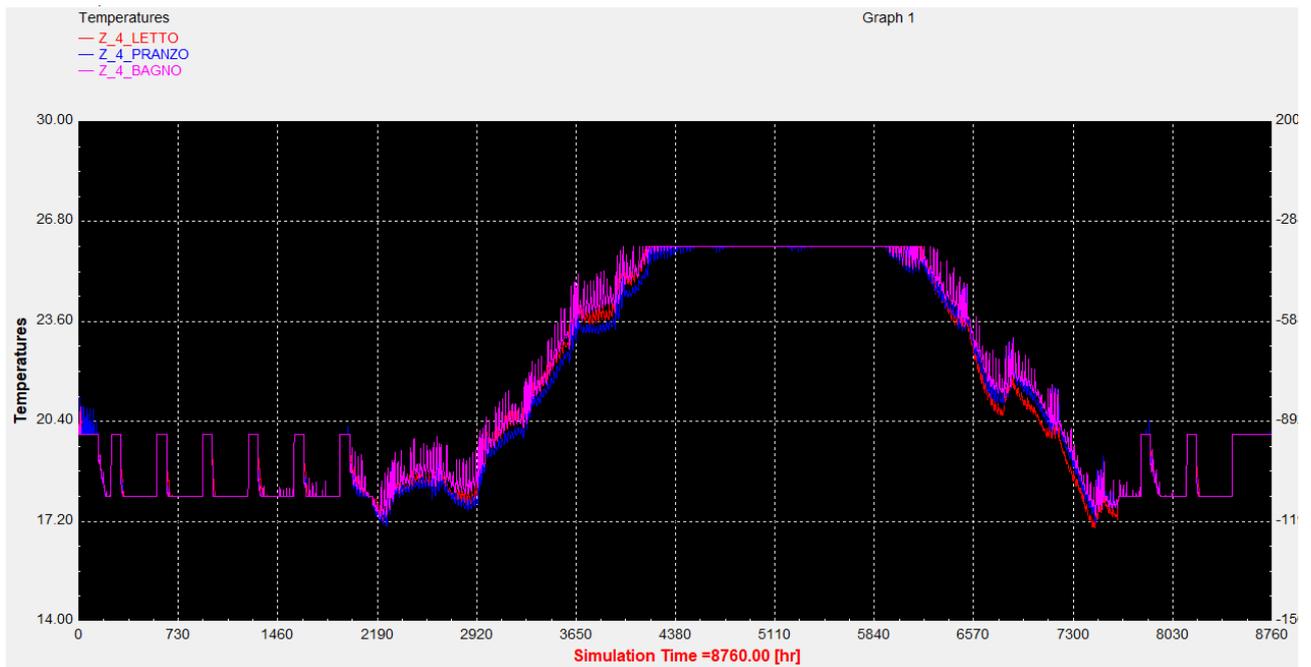
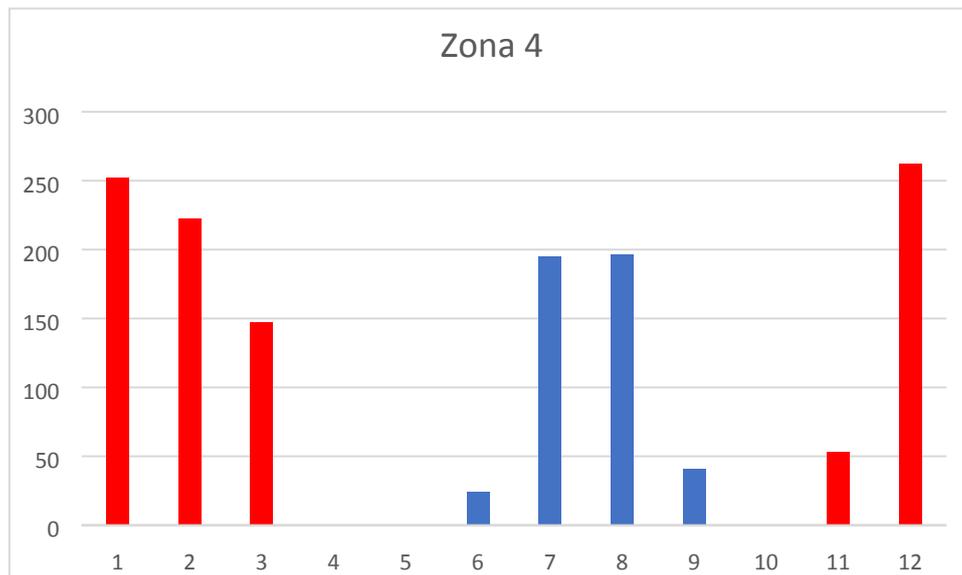


Figura 30 Variazione della Temperatura Z_4

Risultati Z_4



Si sono calcolati per la zona termica_4, 938 kWh termici per il riscaldamento e 457 kWh termici per il raffrescamento, esposta a sud, quindi radiazione solare importante.

Trullo singolo

Per il trullo separato dal complesso ho costruito un nuovo modello, personalizzando anche in questo caso tutti i vari input. Come fatto per il complesso di trulli.

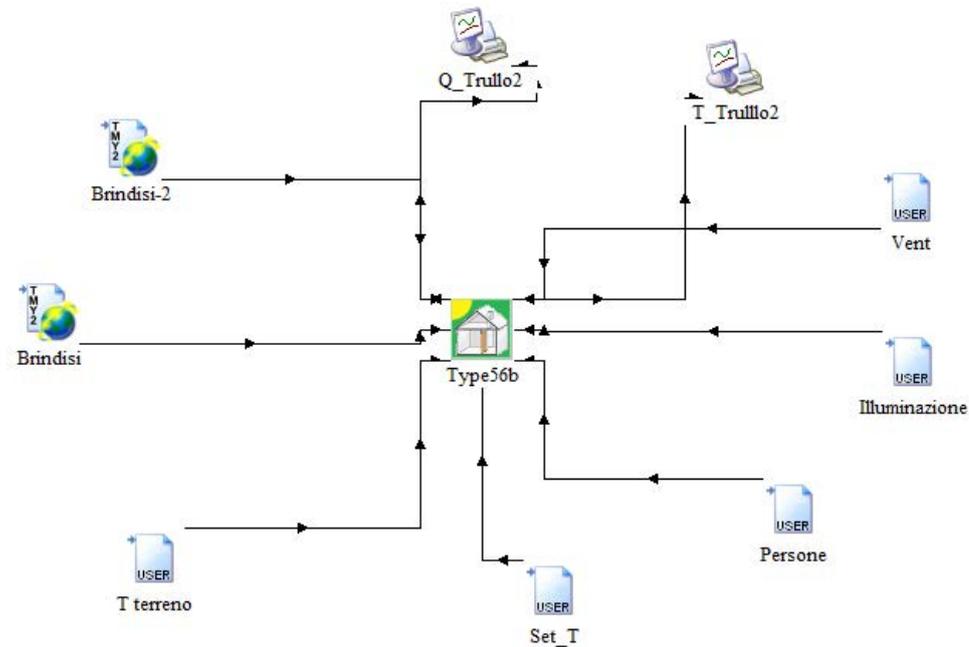


Figura 31 Simulation Studio, applicazione input al building

Visualizzazione dei risultati

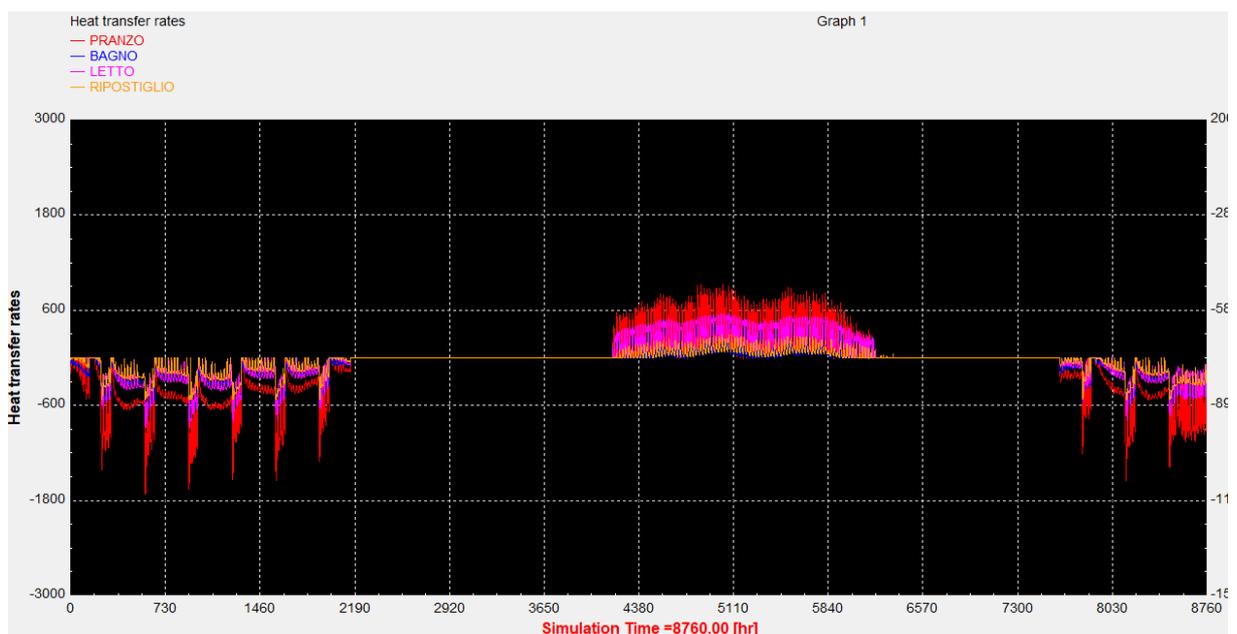


Figura 32 Variazione Q_{sens} Trullo ristrutturato

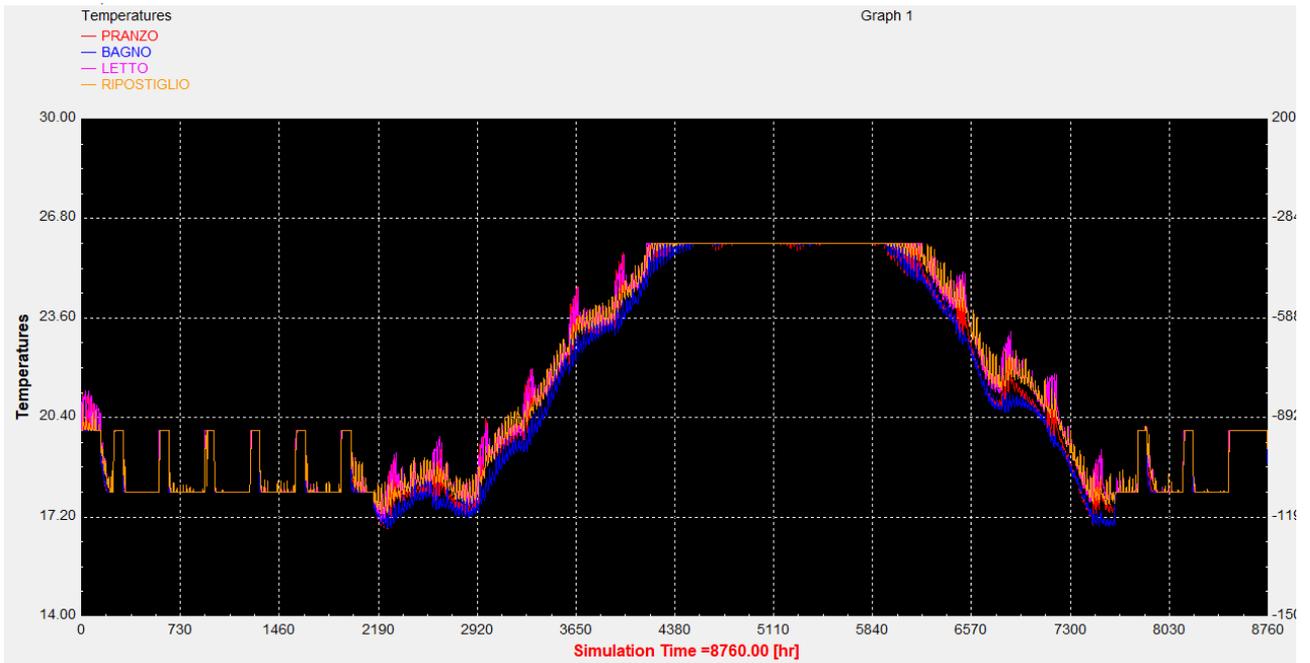
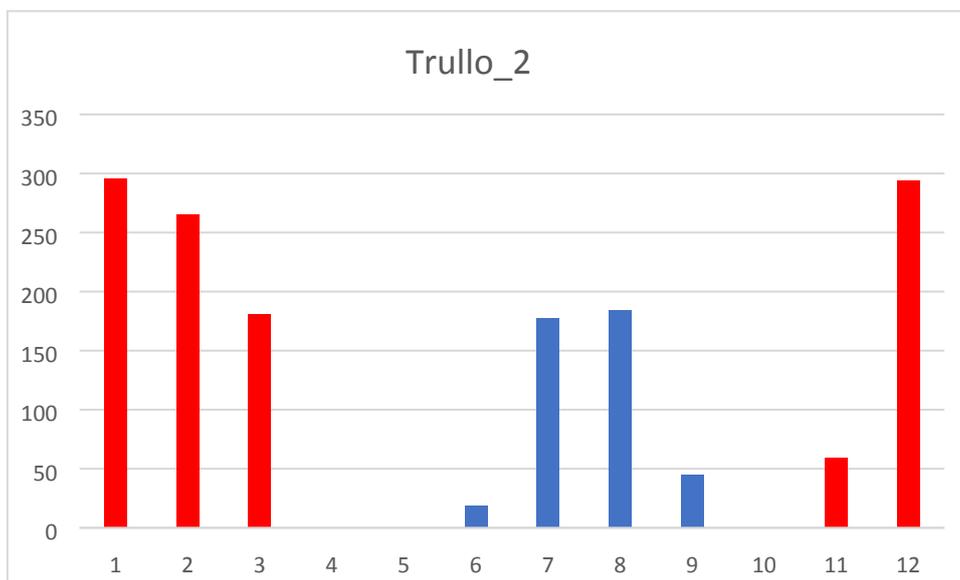


Figura 33 Variazione temperature

Risultati trullo singolo

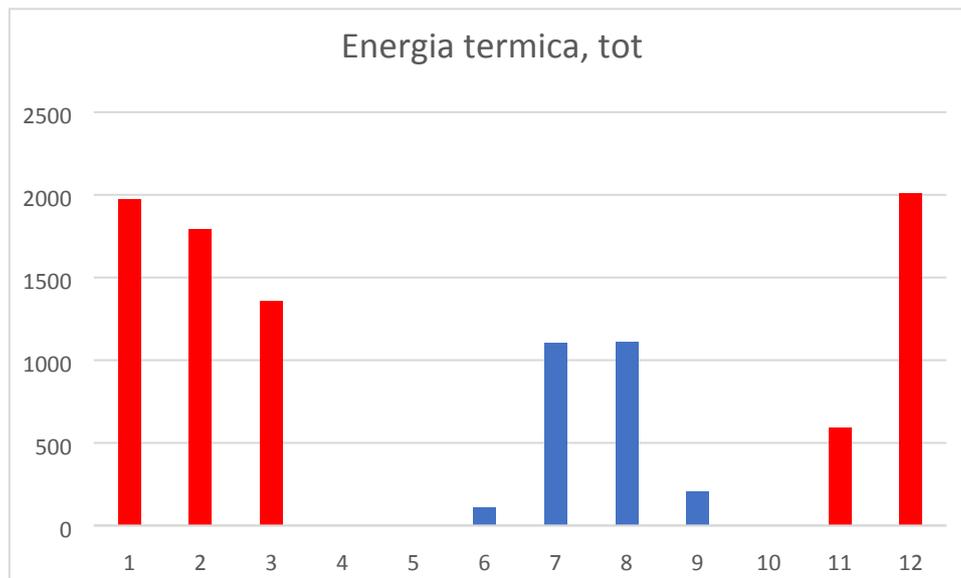


Si sono calcolati per il trullo singolo che è stato ristrutturato, 1095 kWh termici per il riscaldamento e 426 kWh termici per il raffrescamento.

Risultati generali sull'intera struttura

Mettendo insieme tutti i risultati ho calcolato l'energia termica netta necessaria per il riscaldamento e per il raffrescamento in tutto l'anno, sulla base delle ipotesi fatte in precedenza,

Riepilogo kWh termici necessari per l'intera struttura.



	Z_1 [kWh,th]	Z_2 [kWh,th]	Z_3 [kWh,th]	Z_4 [kWh,th]	Trullo_2 [kWh,th]	Tot [kWh,th]
Gennaio	646	315	464	252	295	1973
Febbraio	600	296	408	223	265	1791
Marzo	485	259	284	148	181	1357
Aprile	0	0	0	0	0	0
Maggio	0	0	0	0	0	0
Giugno	37	9	23	24	19	112
Luglio	341	127	264	195	177	1103
Agosto	337	128	264	197	185	1110
Settembre	58	19	43	41	45	206
Ottobre	0	0	0	0	0	0
Novembre	230	134	118	53	59	594
Dicembre	639	322	490	263	294	2007

Per il regime invernale è stata quindi calcolata un'energia termica necessaria netta pari a 7722 kWh termici, questo valore poi sarà valutato in base ai rendimenti dovuti al tipo di impianto per passare dall'energia termica netta, all'energia primaria.

Energia termica necessaria per il regime estivo pari 2531 kWh termici stimata dall'ultima settimana di giugno fino alla prima di settembre.

Capitolo 4

Progettazione impianto di riscaldamento

4.1 Impianto a pannelli radianti

Si è scelto come sistema di emissione per il riscaldamento i pannelli radianti a pavimento.

Per la progettazione dell'impianto a pannelli radianti, si sono valutati i carichi di picco dall'analisi dinamica stanza per stanza, si è ottenuto una potenza massima di picco in regime invernale pari a 12kW per il complesso di trulli e di 2 kW per il trullo singolo.

Gli impianti a pannelli radianti hanno in pochi anni conquistato una posizione dominante rispetto a quelli tradizionali. Per varie motivazioni

- 1) Distribuzione ottimale della temperatura ambiente: il riscaldamento a pannelli radianti offre la miglior distribuzione della temperatura ambiente, vantaggio amplificato nei locali di elevata altezza. Avremo una temperatura media del pavimento sui 24-26 °C, mentre la temperatura dell'aria pur crescendo con l'aumentare dell'altezza si mantiene circa costante per i primi 3 metri, al contrario di quello che avviene con i sistemi di riscaldamento che si basano sulla convezione.
- 2) Risparmio Energetico: è il vantaggio sicuramente più evidente, sfrutta energia termica a bassa temperatura (33-35 °C) contro i 60-70 °C necessari per gli impianti tradizionali. Evita inutile accumulo di aria calda al soffitto, e riduce al minimo le dispersioni di calore verso la soletta disponendo di uno strato di isolante e permette di utilizzare fonti energetiche alternative per la produzione di calore.
- 3) Nessun vincolo architettonico, per questo è uno dei sistemi più utilizzati anche per ristrutturazioni di edifici dall'elevato valore storico e architettonico.

I componenti che costituiscono il sistema radiante sono la lastra preformata, tubazione, giunto di dilatazione e striscia perimetrale.

In fase di progetto, è importante tenere come obiettivo un elevato livello di comfort abitativo.

Partendo dai dati di picco tirati fuori dalla simulazione dinamica si è costruito lo schema di posa per l'impianto a pannelli radianti, riportato qui di seguito per le zone termiche 1 e 2, ognuna delle quali avrà il suo collettore e la sua pompa di rilancio.

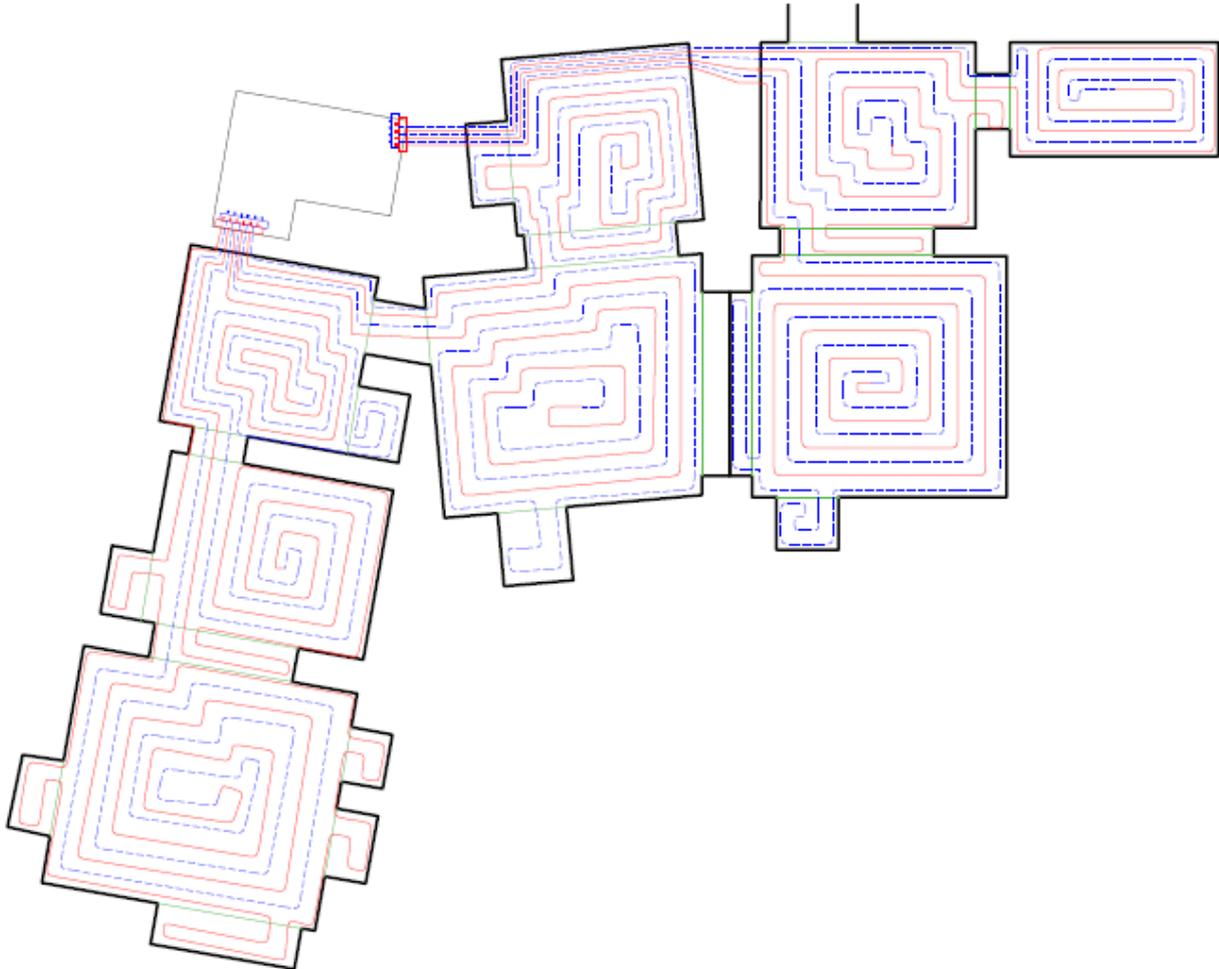


Figura 34 schema di posa impianto a pannelli radianti Zona_1e2

Mentre nella seguente tabella si possono visualizzare i valori di potenza necessari per singola stanza con le emissioni in Watt/m^2 , la lunghezza del circuito dell'impianto radiante, la portata e il valore delle perdite di pressione, calcolate attraverso software.

Zona_1

	Superficie [m ²]	Carichi [W]	[W/m ²]	Lunghezza tubi [m]	Portata [kg/h]	Perdite [kPa]
Z_1_LETTO	16,00	1021	63,81	98,3	152	3,22
Z_1_LETTO2	6,25	586	93,76	47,7	95,3	14,14
Z_1_BAGNO	6,25	534	85,44	30,6	54,6	16,68
Z_1_PRANZO	15,00	943	62,87	79,2	134,2	8,09
Z_1_CUCINA	6,40	525	82,03	43,5	62,6	16,34

Zona_2

	Superficie [m ²]	Carichi [W]	[W/m ²]	lunghezza tubi [m]	portata [kg/h]	perdite [kPa]
Z_2_LETTO	9,61	619	64,41	48,8	112,1	13,65
Z_2_PRANZO	15	864	57,60	87,4	128,9	8,98
Z_2_BAGNO	4,95	297	60,00	52,4	42,3	17,12

Schema di posa dell'impianto a pavimento per le zone termiche 3 e 4

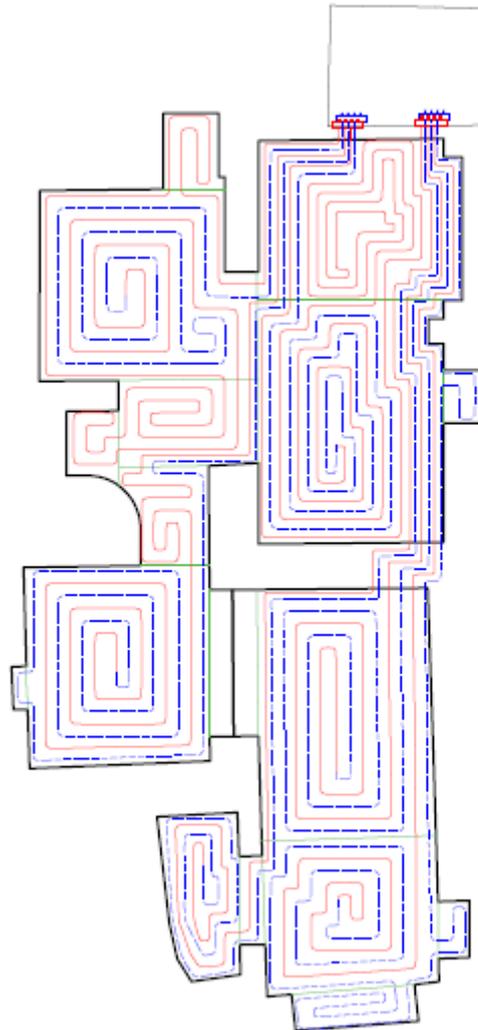


Figura 35 Schema di posa impianto a pannelli radianti Zona_3e4

Tabelle che riassumono stanza per stanza le caratteristiche dell'impianto.

	Superficie [m ²]	Carichi [W]	[W/m ²]	lunghezza tubi [m]	portata [kg/h]	perdite [kPa]
Z_3_LETTO	9,5	679	71,51	431	72	12,4
Z_3_LETTO2	8,7	659	75,72	73,8	135,9	8,83
Z_3_BAGNO	7,9	598	75,72	30,6	54,6	16,68
Z_3_PRANZO	15	1073	71,51	84	126,6	8,82

	Superficie [m ²]	Carichi [W]	[W/m ²]	lunghezza tubi [m]	portata [kg/h]	perdite [kPa]
Z_4_LETTO	8,4	557	66,32	54,4	121	11,63
Z_4_PRANZO	9,8	650	66,32	69,8	97,8	12,29
Z_4_BAGNO	2,9	221	76,21	55,6	44	16,15

Trullo singolo

Schema di posa dell'impianto a pavimento il trullo singolo ristrutturato.

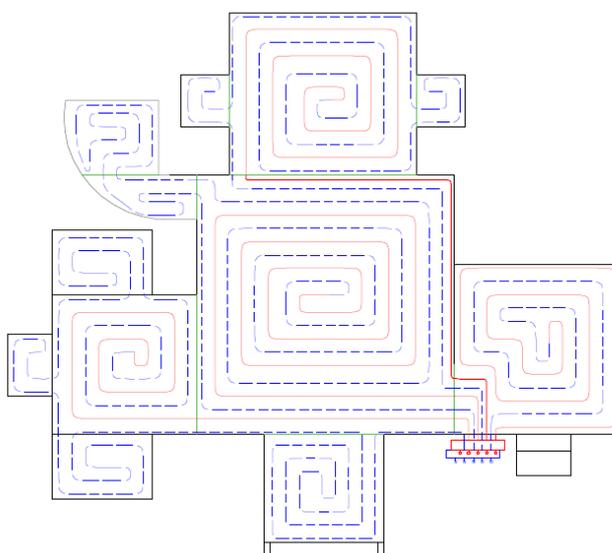
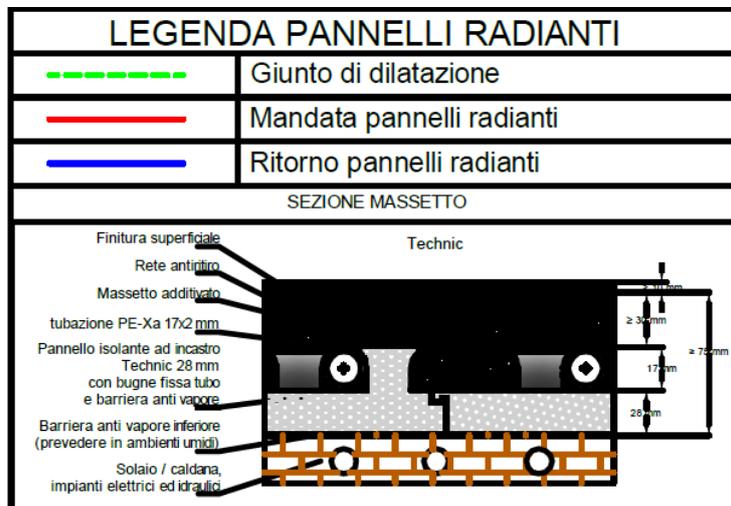


Figura 36 Schema di posa impianto a pannelli radianti trullo singolo

	Superficie [m ²]	Carichi [W]	[W/m ²]	lunghezza tubi [m]	portata [kg/h]	perdite [kPa]
PRANZO	8,56	686	80,18	50	64,1	16,68
BAGNO	3,35	221	65,99	21,2	20,8	17,59
LETTO	3,92	272	69,46	41,1	35,2	17,26
CUCINA	2,21	273	123,64	46,3	39	17,14

4.2 Sezione del massetto e posa della tubazione.



Composizione del pavimento: solaio con passaggio di tubazione per impianto idrico ed elettrico, barriera anti vapore, 28mm di strato isolante, tubazione, massetto additivato di circa 30mm, rete antiritiro e finitura superficiale in pietra. Tubazione in polietilene a tre strati con barriera antidiffusione di ossigeno. Diametro 17 mm, pressione massima di esercizio 6 bar



Figura 37 posa impianto a pannelli radianti

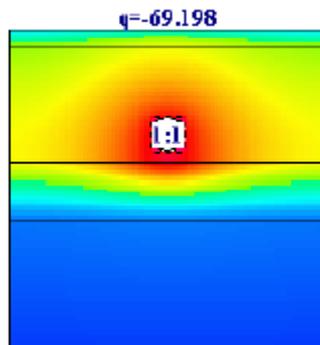
Pannello isolante e barriera anti-vapore

Pannello isolante da 28 mm, pannello bugnato in polistirene espanso sinterizzato a celle chiuse (EPS), accoppiato con un guscio in polistirene laminato avente funzione di barriera antivapore. Conducibilità termica 0,033 W/m²K.



La barriera di vapore va posizionata al di sotto dello strato di isolamento termico e deve sempre essere prevista. Ha lo scopo di impedire la risalita di umidità dagli strati inferiori.

Nei sistemi radianti ha un ruolo fondamentale, lo strato isolante sotto la posa della tubazione, proprio perché ha lo scopo di evitare la dispersione del calore verso il terreno.



Con la tipologia installata abbiamo valutato una resa verso l'alto pari a circa il 95%.

Massetto

Massetto del tipo fluido autolivellante, caratterizzato da elevata scorrevolezza, fluidità e una volta induriti, da alte resistenze meccaniche. La scarsa resistenza al passaggio del calore li rende idonei per la copertura e l'avvolgimento dei pannelli radianti a pavimento.

Striscia perimetrale

Striscia perimetrale applicata in ogni stanza per dare lo spazio necessario alla normale dilatazione termica.

Collettori

In tutto avremo 5 collettori, uno per ogni zona, con le seguenti caratteristiche, ognuno con la sua pompa di rilancio.

	T alim [°C]	portata [kg/h]	perdite [kPa]
Collettore Z_1	35	498,8	17,25
Collettore Z_2	35	283,3	17,85
Collettore Z_3	35	386,5	17,57
Collettore Z_4	35	262,9	16,95
Collettore T2	35	159,1	17,74

Collettori di zona hanno la funzione di collegare la rete principale di distribuzione ai terminali di utilizzo, nel nostro caso, i pannelli radianti con la pompa di calore aria/acqua che sarà analizzata in seguito.

Collettori in ottone da 1'' pollice



Figura 38 Collettore

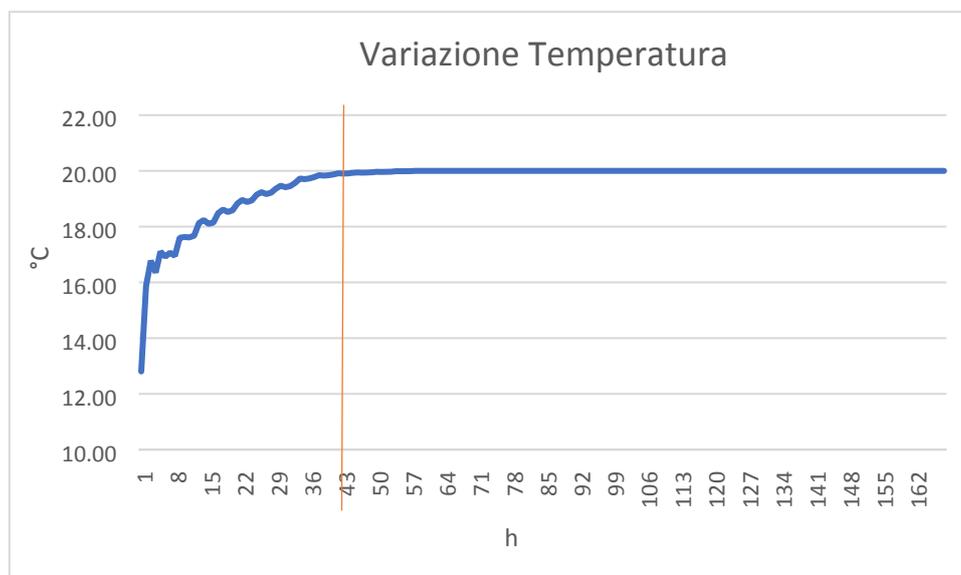
4.3 Valutazione tempo di regime

L'inerzia termica dell'impianto può essere identificata come la "velocità" con la quale l'impianto segue le variazioni di temperatura ambiente. In termotecnica per inerzia termica si intende la capacità di un materiale o di una struttura di variare più o meno lentamente la propria temperatura come risposta a variazioni di temperatura esterna o ad una sorgente di calore/raffreddamento interno.

Il nostro sistema di riscaldamento è a bassa inerzia termica.

In questo paragrafo andremo a valutare quanto tempo ci mette circa l'impianto a pannelli radianti per arrivare alla temperatura di regime, questo sarà utile per scegliere la miglior gestione dell'impianto, in quanto sappiamo che questo tipo di sistema di riscaldamento a bassa inerzia, non è adatto al funzionamento accendi/spegni a differenza dei sistemi tradizionali come quello a radiatori.

Ho impostato una nuova simulazione tenendo l'impianto totalmente spento per poi riaccenderlo in uno dei WE più freddi dell'anno preso in considerazione.



Si può notare anche graficamente, come ci vogliono circa i primi 50 valori che abbiamo calcolato corrispondo ad una energia pari a 426 kWh per portare l'intera struttura alla temperatura di regime. A questo punto si è valutata l'emissione media dell'impianto a pannelli radianti, pari a 70 W/m², e quindi ho calcolato le ore necessarie per far arrivare l'intera struttura alla temperatura di progetto nella seguente maniera

$$h_{T_{reg}} = \frac{\text{Energia per raggiungere il regime}}{\text{Emissione h imp a pavimento}} = \frac{426 \text{ kWh}}{11,2 \text{ kW}} = 38 \text{ h}$$

Energia necessaria per raggiungere T_regime [kWh,th]	Superficie riscaldata [m2]	Emissione media impianto a pavimento [W/m2]	Energia oraria emessa da impianto a pavimento [Wh]	Ore per arrivare a T_regime [h]
426	160	70	11200	38

Ho calcolato quindi che ci vuole circa un giorno e mezzo per raggiungere la temperatura di regime, per questo in caso di prenotazione last-minute, non si riuscirebbero a garantire le condizioni di comfort al cliente.

Come miglior gestione, si è ipotizzata quella di impostare nel periodo invernale una temperatura costantemente sui 17-18 °C e portarla alla T di regime in caso di occupazione.

Si è inoltre valutato che a livello di consumi la variazione è minima tra la scelta di impostare il sistema di riscaldamento on/off e quella di tenerlo ad una temperatura base inoltre nel secondo caso si evita di sforzare costantemente il sistema di riscaldamento.

Capitolo 5

Impianto di raffrescamento

5.1 Ventilconvettori

Come sistema emissivo per l'impianto di raffrescamento, saranno installati dei ventilconvettori per ogni cono, che saranno sempre alimentati dalla pompa di calore che essendo inverter varia il funzionamento tra invernale ed estivo.

Il ventilconvettore è un terminale dell'impianto di climatizzazione costituito da due batterie per lo scambio termico tra acqua e aria, un ventilatore, un filtro dell'aria, una vaschetta per la raccolta della condensa; all'esterno presenta i collegamenti con le reti dell'acqua refrigerata.

Funzionamento dei ventilconvettori

Gli impianti a fan coil rientrano nella tipologia "UTA" (unità terminali): si tratta di sistemi in cui l'acqua cede calore all'aria tramite una batteria alettata.

Il ventilatore preleva l'aria dall'ambiente da raffreddare reperendola da un'apertura posta in basso al terminale. Una volta entrata l'aria viene prima filtrata e poi spinta dal ventilatore verso la batteria di scambio termico.

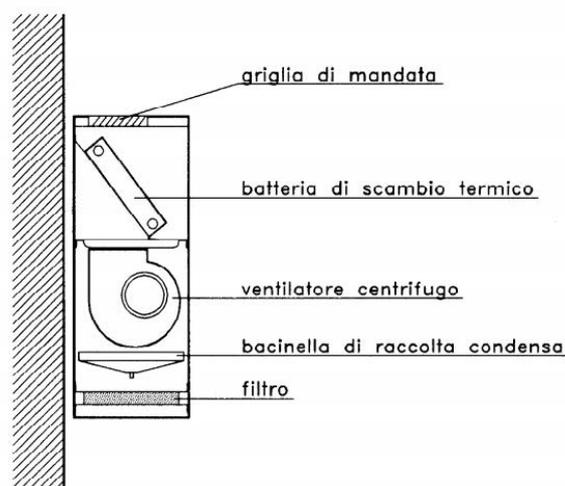


Figura 39 Componenti ventilconvettore

La batteria in cui scorre acqua refrigerata mandata dalla pompa di calore sarà alettata per favorire lo scambio termico aria/acqua, generalmente in alluminio; l'aria passando cede calore all'acqua. Quando l'aria viene raffreddata si effettua anche un processo di deumidificazione, con produzione di liquido di condensa che viene raccolto nella vaschetta installata sul fondo della loggia della batteria.

Caratteristica fondamentale dei fan-coil è la possibilità di riscaldare o raffreddare un ambiente. Il circuito idraulico è quello detto a due tubi: l'acqua che circola nell'impianto viene raffreddata da un refrigeratore e lavora a temperatura di mandata 10°C e ritorno 15°C

Da scheda tecnica saranno valutate le taglie, in funzione della potenza necessaria e delle temperature di funzionamento.

Qui di seguito riportiamo i valori di picco calcolati, necessari per il raffrescamento, zona per zona.

	Superficie [m²]	Potenza [W]
Z_1_LETTO	16,00	1040
Z_1_LETTO2	6,25	556
Z_1_BAGNO	6,25	405
Z_1_PRANZO	15,00	975
Z_1_CUCINA	6,40	589

	Superficie [m²]	Potenza [W]
Z_2_LETTO	9,61	471
Z_2_PRANZO	15	750
Z_2_BAGNO	4,95	322

	Superficie [m²]	Potenza [W]
Z_3_LETTO	9,5	516
Z_3_LETTO2	8,7	752
Z_3_BAGNO	7,9	476
Z_3_PRANZO	15	975

	Superficie [m²]	Potenza [W]
Z_4_LETTO	8,4	846
Z_4_PRANZO	9,8	619
Z_4_BAGNO	2,9	188

	Superficie [m ²]	Pot picco est [W]
PRANZO	8,56	599
BAGNO	3,35	218
LETTO	3,92	448
CUCINA	2,21	218

Per quanto riguarda i consumi elettrici, l'assorbimento elettrico del ventilatore è di 16W, quindi ipotizzando un funzionamento per i 90 giorni nel periodo estivo potremmo raggiungere un consumo massimo di 34 kWh, sostanzialmente irrilevante.



Figura 40 Ventilconvettore sabiana

Caratteristiche

Gruppo ventilante: costituito da ventilatori centrifughi a doppia aspirazione, particolarmente silenziosi, con giranti in alluminio, direttamente calettate sull'albero motore.

Motore elettrico: di tipo monofase a 6 velocità. Batteria di scambio termico: è costruita da tubi di rame ed alette in alluminio.

Bacinella raccolta condensa: in materiale plastico, realizzata a forma di L e fissata alla struttura interna;

Capitolo 6

Pompe di Calore

6.1 Pompe di calore aria/acqua

Come sistema emissivo si è scelto quindi di installare 2 pompe di calore reversibili aria/acqua per il complesso di trulli, che mi riescono a fornire fino a 8,3 kW di potenza termica ad una temperatura esterna di 2°C (temperatura che si raggiungono poche volte in un anno) con una temperatura di mandata dell'acqua pari a 35°, mentre per il trullo singolo sarà installata un'altra pompa di calore da 4 kW.

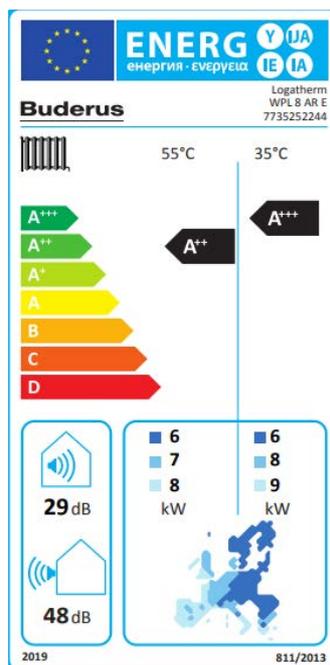


Figura 41 Etichetta energetica

Le pompe di calore servono al riscaldamento e raffrescamento degli ambienti mediante un ciclo frigorifero.

La pompa di calore prende il calore dall'aria esterna e lo rilascia nell'impianto di riscaldamento interno, e viceversa nella stagione estiva. Facendo scorrere il fluido refrigerante attraverso l'evaporatore, il compressore, il condensatore e la valvola di espansione, la pompa di calore innalza il calore prelevato dall'ambiente esterno a un livello di temperatura più alto utilizzabile per il riscaldamento. Il refrigerante è un fluido tecnologico, di varia tipologia a seconda dell'applicazione, scelto in base alle temperature di evaporazione che raggiunge in diverse condizioni di pressione nel nostro caso avremo R410A. Nell'evaporatore [1] il refrigerante, grazie alla bassa pressione a cui si trova, passa dallo stato liquido a quello di vapore ad una temperatura inferiore alla fonte di calore esterna, riuscendo ad assorbirne l'energia. Man mano che evapora il refrigerante viene aspirato dal compressore [2] nel quale, aumentando di pressione, raggiunge una temperatura superiore a quella necessaria all'impianto di riscaldamento. La velocità del compressore è regolata tramite l'inverter, per raggiungere in modo efficiente le condizioni necessarie al funzionamento del ciclo. Passando nel condensatore [3] il refrigerante cede energia al fluido dell'impianto (acqua, aria) che è ad una temperatura inferiore a quella di condensazione nelle condizioni di pressione presenti, tornando in questo modo allo stato liquido. Attraverso la valvola di laminazione [4], controllata elettronicamente, il refrigerante sempre in forma liquida viene riportato alla pressione necessaria per ritornare nell'evaporatore e ricominciare il ciclo. Rappresentazione schematica del circuito del refrigerante in una pompa di calore

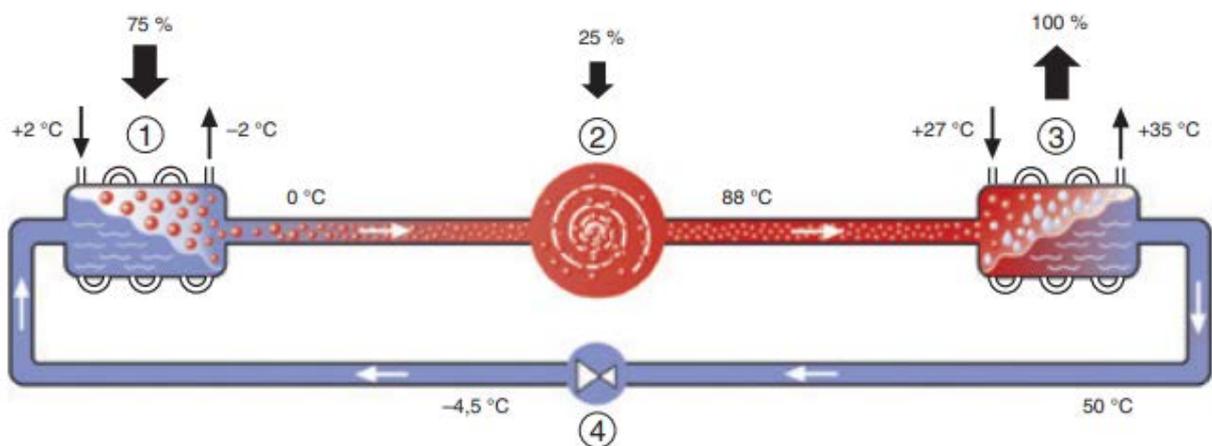


Figura 42 Rappresentazione schematica del circuito refrigerante in una pompa di calore

6.2 Prestazioni di una pompa di calore

Il rendimento di un processo è la relazione fra l'effetto utile e l'energia impiegata per ottenerlo. Tutti i processi tecnici e naturali comportano delle perdite, per questa ragione i rendimenti sono sempre inferiori ad 1. Nei cicli frigoriferi buona parte dell'effetto utile è data dall'energia scambiata con l'ambiente esterno che non viene considerata come energia fornita, poiché è gratuita. Poiché se il rendimento venisse calcolato in questi termini sarebbe maggiore di 1, per la descrizione dell'efficienza di una pompa di calore viene impiegato il coefficiente di prestazione COP (dall'inglese Coefficient Of Performance) in riscaldamento e il rapporto di efficienza energetica EER (dall'inglese Energy Efficiency Ratio) in raffrescamento. Negli impianti di climatizzazione l'effetto utile è il calore ceduto o sottratto all'ambiente e l'energia impiegata è l'elettricità.

Definizione dei coefficienti COP ed EER COP ed EER raggiungibili da una pompa di calore dipendono, ancor prima che dalla tecnologia costruttiva, dalla differenza di temperatura tra ambiente esterno ed interno.

$$COP = \frac{\text{calore utile}}{\text{energia fornita}} = \frac{Q_{\text{riscaldamento}}}{P_{\text{elettrica}}}$$

$$EER = \frac{\text{calore utile}}{\text{energia fornita}} = \frac{Q_{\text{raffrescamento}}}{P_{\text{elettrica}}}$$

Il ciclo frigorifero è interamente contenuto nell'unità esterna e risulta ermetico, non sono necessarie operazioni con il refrigerante in fase di installazione. La circolazione dell'acqua sullo scambiatore e verso l'impianto è garantita dal circolatore contenuto nell'unità interna. La velocità del compressore è regolata tramite un inverter che garantisce un'elevata efficienza energetica e un ampio campo di modulazione.



Figura 43 immagine dell'unità esterna Logatherm

La struttura dell'unità è composta da elementi autoportanti di EPP (Expanded PolyPropylene), un materiale plastico espanso estremamente robusto, leggero e fonoassorbente. Limiti di funzionamento particolarmente estesi permettono un funzionamento efficiente e confortevole dell'impianto.

Accumulo inerziale

Per consentire un funzionamento più regolare della pompa di calore, ed in particolare negli impianti di raffrescamento dove sono solitamente utilizzati terminali a basso contenuto di acqua, è opportuno utilizzare un accumulatore inerziale. Infatti, onde evitare continui avviamenti, la pompa di calore opera con delle fasi di rallentamento del compressore e dei tempi di attesa tra l'arresto e il successivo riavvio nell'esercizio di climatizzazione. L'accumulo inerziale può essere collegato come separatore tra il primario ed il secondario, rendendo idraulicamente indipendenti i due circuiti.

Sbrinamento

È necessario considerare il comportamento della macchina nella fase di sbrinamento, durante la quale il ciclo frigorifero viene temporaneamente invertito per riscaldare la batteria dell'unità esterna. Se l'impianto ha una sufficiente inerzia può essere temporaneamente raffreddato mantenendo il funzionamento sicuro della macchina senza perdite di comfort per l'utente finale. Per questo, almeno una parte dei circuiti di riscaldamento deve essere sempre aperta rispetto alla mandata della pompa di calore.

Per i nostri circuiti saranno utilizzati 3 accumulatori inerziali uno per ogni pompa di calore da 50l.

Requisiti per il luogo di installazione

La pompa di calore deve essere installata all'esterno su una base di appoggio stabile e piana, ancorata in modo che non possa ribaltarsi.

Lo spazio di fronte all'unità esterna deve essere libero da ostacoli, in modo che l'aria possa scorrere senza ostacoli attraverso la batteria di scambio senza ricircoli.

Bisogna inoltre evitare di posizionare la pompa di calore in modo tale che sia esposta frontalmente alla direzione principale del vento per evitare che la velocità del ventilatore possa essere influenzata.

Termo-regolatore

Il termoregolatore principale della pompa di calore consente di gestire con facilità la pompa di calore esso è collegato con i termostati ambiente per ricercare la migliore gestione dell'impianto di riscaldamento.

Un funzionamento ottimale garantisce anche un funzionamento a basso consumo energetico. Il riscaldamento o il raffreddamento vengono regolati in modo tale da raggiungere un comfort ottimale con il minimo consumo energetico

Tramite il termo regolatore è possibile gestire diverse funzioni di programmazione dell'impianto di riscaldamento e/o raffrescamento. Se sono installati diversi circuiti di riscaldamento ciascuno può essere dotato delle proprie impostazioni, delle temperature di esercizio e di un programma orario indipendente.

Temperatura

Esistono tre diverse impostazioni di temperatura ambiente regolabili dall'utente: riscaldamento, attenuazione, raffrescamento. In funzione della stagione, dell'orario e dei dati impostati il regolatore calcolerà quale temperatura di mandata adottare per soddisfare la richiesta. Nel funzionamento in riscaldamento il regolatore si basa su una curva termocaratteristica che indica la temperatura di mandata opportuna per ogni condizione di funzionamento interna ed esterna. Il regolatore necessita, per il calcolo di questa curva, di alcuni parametri dell'edificio/impianto. In base alle caratteristiche dell'edificio le variazioni della temperatura esterna misurata possono essere ritardate e le oscillazioni ridotte, generando il valore di temperatura esterna attenuata. La temperatura ambiente normale, a sua volta, è una grandezza di calcolo basata sulla temperatura desiderata nel locale e dall'influenza della temperatura ambiente. La temperatura di mandata è determinata dalle condizioni esterne e dal programma orario. I parametri che devono essere impostati per un circuito di riscaldamento con regolazione climatica sono: temperatura esterna di progetto, temperatura di progetto dell'impianto di riscaldamento, temperatura punto base, massima temperatura di mandata, , influsso solare. Se viene variata la temperatura richiesta in ambiente (la curva termocaratteristica trasla parallelamente in funzione dell'aumento/diminuzione; la pendenza della curva dipende invece dai punti impostati in base alle caratteristiche dell'impianto.

Funzione fotovoltaico

Le pompe di calore sono progettate per un funzionamento intelligente in presenza di un impianto fotovoltaico.

È necessario che l'impianto fotovoltaico, tramite uscita dedicata dell'inverter o un sistema di monitoraggio, sia in grado di comunicare quando vi è produzione di energia elettrica gratuita. Non appena c'è una potenza elettrica specifica dall'impianto FV, l'inverter dà l'abilitazione di avvio per la pompa di calore. Onde impedire un funzionamento in pendolazione della pompa di calore, la disponibilità minima di energia elettrica che l'impianto FV dichiara disponibile deve rimanere presente per un intervallo di tempo stabilito, prima che possa verificarsi l'abilitazione dell'avvio. L'abilitazione all'avvio dovrebbe idealmente rimanere per un periodo fisso di almeno 20 minuti. La produzione dell'acqua sanitaria viene impostata alla temperatura nominale.

La temperatura in ambiente del circuito di riscaldamento viene innalzata di un offset impostabile tra 0 e 5 K, con limite massimo a 30 °C. La pompa di calore riscalda i circuiti di riscaldamento secondo il valore nominale incrementato con l'offset. Quando anche la richiesta di calore è stata soddisfatta, la pompa di calore si spegne, anche se l'inverter è sempre attivo. Solo se il sistema dispone di un accumulatore inerziale e tutti i circuiti di riscaldamento sono miscelati, la pompa di calore continua a riscaldare l'accumulatore inerziale alla massima temperatura. Qualora la pompa di calore raggiungesse la sua massima temperatura di mandata senza soddisfare il valore nominale, viene attivato gradualmente il riscaldatore elettrico.

6.3 Schema generale

Schema generale di impianto, l'unità esterna della pompa di calore posta fuori dall'edificio, sarà collegata con l'unità interna in locale termico, che va a servire l'accumulo tecnico, che sarà successivamente collegato con i collettori di distribuzione, dal quale saranno serviti il sistema di impianto a pannelli radianti a pavimento e il sistema a ventilconvettori per il raffrescamento estivo, per ogni circuito avremo il gruppo di rilancio.

Il tutto collegato con il sistema fotovoltaico, che manderà l'input alla pompa di calore in caso di produzione, per sfruttare al meglio l'ottimizzazione dell'impianto.

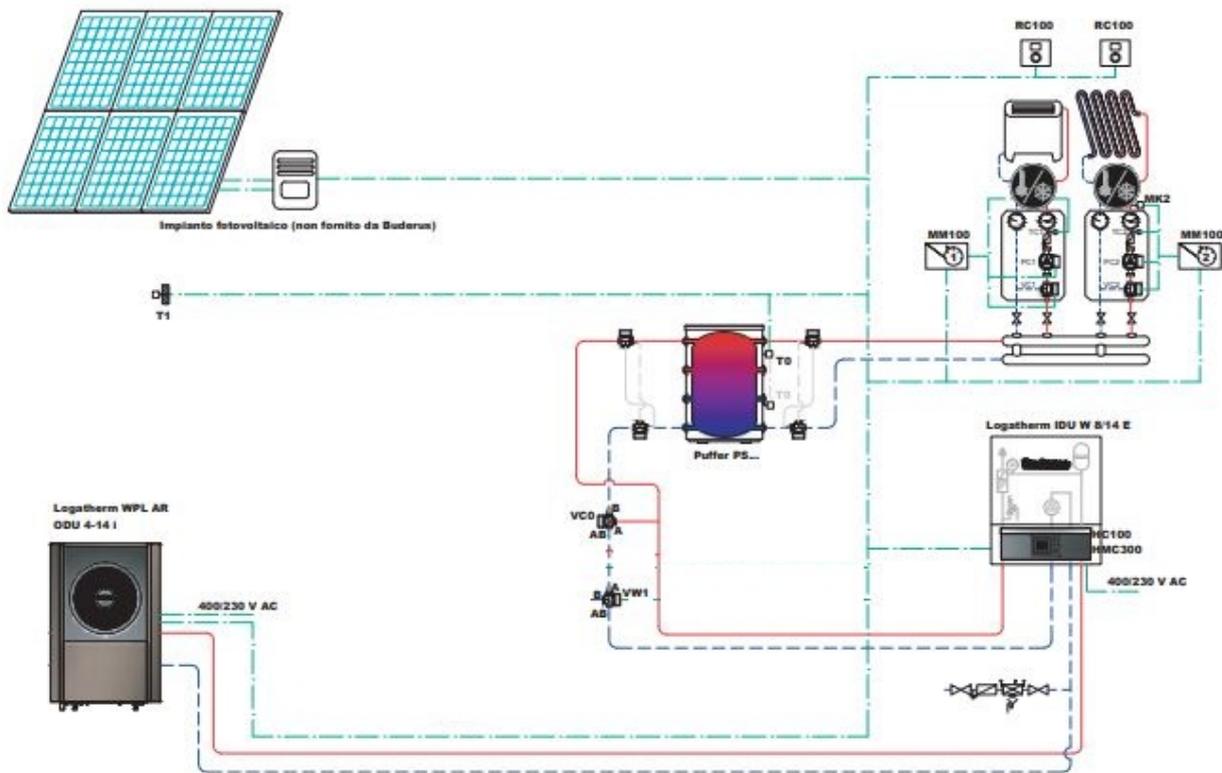


Figura 44 schema generale di impianto

Capitolo 7

Analisi dei risultati

7.1 Elaborazione dato di output e calcolo energia finale

Applicazione rendimenti dei sottosistemi di riscaldamento

Per il calcolo del rendimento globale medio stagionale si è deciso di considerare il sistema impianto suddiviso in diversi sottosistemi come indicato nel prospetto 15 della UNI 11300:2:2014. Avremo dunque i seguenti sottosistemi:

- 1) **Sottosistema di emissione:** considerando che l'altezza del locale riscaldato è di <4m, si utilizza il prospetto 17 per la determinazione del rendimento di emissione. In particolare, bisogna calcolare il carico termico medio annuo tramite la relazione:

$$C_t = \frac{Q_{tot}}{V_{lordo} * h} = 8,9 [W/m^3]$$

Dove Q_{tot} è l'energia termica richiesta dall'edificio, V_{lordo} volume lordo riscaldato e h sono le ore di funzionamento dell'impianto di riscaldamento. Per pannelli radianti annegati a pavimento di $\eta_e = 0.96$.

- 2) **Sottosistema di regolazione:** si utilizzano i valori indicati dal prospetto 20. L'alloggio considerato è dotato di un sistema zona + climatica per cui si è considerato un valore di rendimento di regolazione pari a $\eta_r = 0,97$.
- 3) **Sottosistema di distribuzione:** Il rendimento di distribuzione tiene conto delle perdite del sistema di distribuzione dell'acqua di riscaldamento nell'impianto. Isolamento medio in questo modo ricaviamo un rendimento pari a 0,94 dal prospetto 22 – impianto a zone al con distribuzione a collettori. I valori riportati nei prospetti si riferiscono alla distribuzione con temperatura di mandata e di ritorno di progetto pari a 80/60°C. Per differenti valori di temperatura bisogna correggere il rendimento tramite la relazione :

$$\eta_{H,dx} = 1 - (1 - \eta_d) * C$$

Dove C è il fattore di correzione ricavato dal prospetto 24. Per impianti pannelli radianti con temperature di mandata pari a 35 °C il fattore di correzione assume il valore di 0,51. Il valore del rendimento corretto è ora di $\eta_{H,dx} = 0,97$.

- 4) **Sottosistema di generazione:** sistema di generazione a pompa di calore, abbiamo fatto una valutazione più precisa che tratteremo nel capitolo inerente il bilancio di energia elettrica

$$\eta_g = \eta_e * \eta_r * \eta_{H,dx} = 0,9$$

Fabbisogno di energia termica di finale pari a 8.554 kWh.

Considerando una superficie netta di 167 m², avremo una energia necessaria pari a 52 kWh/m²anno, chiaramente su questo valore vanno ad incidere anche le ipotesi occupazionali.

Nonostante non abbiamo un cappotto termico per l'edificio, l'elevato spessore dei muri che abbassa il valore di trasmittanza e l'alta efficienza dei sistemi di impianto quali i pannelli radianti e la pompa di calore, rendono l'edificio ottimo dal punto di vista dei consumi.

Capitolo 8

Produzione di Acqua Calda Sanitaria

8.1 Scalda acqua a pompa di calore

La produzione di acqua calda sanitaria si è deciso di renderla indipendente dalle pompe di calore per il riscaldamento/raffrescamento, quindi saranno installati 3 scalda acqua a pompe di calore, 2 che andranno a servire il complesso di trulli e uno per il trullo singolo.

Quelle per il complesso di trulli avranno un serbatoio da 250 litri e andranno a servire due bagni ciascuno più le cucine, mentre per il trullo singolo sarà installato uno scalda acqua a pompa di calore da 200 litri.

Caratteristiche tecniche Scalda Acqua a pompa di calore.

La pompa di calore per produzione di acqua calda sanitaria, con serbatoio integrato in acciaio smaltato ed isolato. Carica stratificata dell'accumulo al fine di garantire una più rapida disponibilità d'acqua. Possibilità di gestione intelligente per ottimizzare l'integrazione con impianto fotovoltaico, tramite kit di integrazione totale accessorio. Funzionamento della pompa di calore con aria a temperatura compresa tra +5°C e 35°C, così da permettere il funzionamento sia con aria interna da ambienti riscaldati che non riscaldati nel nostro caso saranno locati in ambiente riscaldato.

Circuito refrigerante ermetico operante con R134a. Resistenza elettrica a supporto da 2 kW. Produzione acqua calda a 60°C con la sola pompa di calore (70°C con resistenza elettrica)

Potenza massima assorbita: 0,6 kW senza resistenza elettrica in funzione, 2,6 kW con resistenza elettrica in funzione.

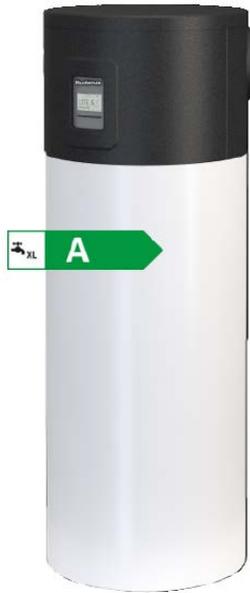


Figura 45 scaldacqua a pompa di calore

Per la valutazione dei consumi elettrici dovremo tener conto anche delle dispersioni dell'accumulo termico ma lo vedremo in maniera più dettagliata nel seguente capitolo quando andremo a parlare del bilancio di energia elettrica.

Gli scaldacqua in pompa di calore sono macchine caratterizzate da un'elevata tecnologia, capaci di prelevare calore dall'aria circostante al fine di produrre acqua calda sanitaria in maniera efficace ed ecologica. Le macchine installate sono contraddistinte da elevate prestazioni in termini di COP e dalla possibilità di operare in un grande intervallo di temperature esterne.

Le pompa di calore per acqua calda sanitaria sono macchine semplici da installare, mantenere e utilizzare e garantiscono un elevato grado di flessibilità in fase di installazione.

La macchina è schematicamente costituita da un accumulo di acqua calda sanitaria, uno scambiatore, una pompa e un circuito frigorifero a compressione. Il refrigerante è il vettore attraverso cui si realizza il ciclo

8.2 Descrizione ciclo per scaldare acqua in pompa di calore

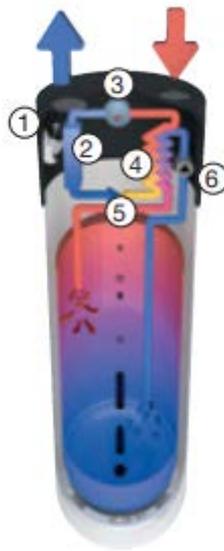


Figura 46 ciclo all'interno dello scaldatore a pdc

L'aria circostante viene aspirata dal ventilatore (1) della pompa di calore, facendo cambiare di stato il refrigerante nell'evaporatore (2). Qui il refrigerante, grazie alla bassa pressione a cui si trova, passa dallo stato liquido a quello di vapore ad una temperatura inferiore alla fonte di calore esterna (aria), riuscendo ad assorbirne l'energia. Man mano che evapora, il refrigerante viene aspirato dal compressore (3) nel quale, aumentando di pressione, raggiunge una temperatura superiore a quella necessaria alla produzione di acqua calda sanitaria. Passando nel condensatore (4) il refrigerante cede energia al fluido dell'impianto (acqua) che è ad una temperatura inferiore a quella di condensazione nelle condizioni di pressione presenti, tornando in questo modo allo stato liquido. Attraverso la valvola di laminazione (5) il refrigerante, sempre in forma liquida, viene riportato alla pressione necessaria per ritornare nell'evaporatore e ricominciare il ciclo. L'acqua sanitaria è trasportata dal bollitore al condensatore attraverso una pompa (6). La tecnologia della pompa di calore fa sì che l'energia necessaria alla produzione di acqua calda sanitaria venga ricavata per la maggior parte dal calore sottratto all'aria esterna. La restante quota viene fornita dall'energia elettrica necessaria principalmente per garantire il funzionamento del compressore e, in misura minore, quello del ventilatore posto all'aspirazione della macchina stessa. L'immagine precedente rappresenta un esempio pratico del concetto appena espresso, in cui il 75% dell'energia fornita per riscaldare l'acqua sanitaria viene estratto dall'ambiente, mentre soltanto il 25% viene

fornito sotto forma di energia elettrica. Partendo da questa schematizzazione, si va ad introdurre di seguito il concetto di COP (Coefficiente di Performance).

Legionellosi: sistema di ricircolo e funzione anti-legionellosi Le direttive per il controllo della legionellosi suggeriscono, ove l'impianto lo permetta, che l'acqua calda sanitaria debba avere una temperatura di erogazione costantemente al di sopra dei 50 °C. Soprattutto nei rami più svantaggiati, tale condizione può essere mantenuta attraverso un circuito di ricircolo, efficace in tal senso anche se dispendioso dal punto di vista energetico. Le pompe di calore della serie oltre al fatto che di fabbrica abbiano impostata come temperatura di erogazione dell'acqua sanitaria 53 °C, dispongono di una funzione "Rcir" che permette di impostare un sistema di ricircolo nell'apparecchio. In generale, nel caso si evidenziasse un rischio di ustioni, sarà necessario minimizzare tale rischio attraverso l'utilizzo di valvole termostatiche di miscelazione con l'accorgimento di posizionarle il più vicino ai terminali di erogazione.

Capitolo 9

Bilancio energia elettrica

9.1 Pompe di calore per il riscaldamento

Per valutare i consumi elettrici della pompa di calore abbiamo bisogno di conoscere la variazione del Coefficiente di Prestazione. Esso è funzione

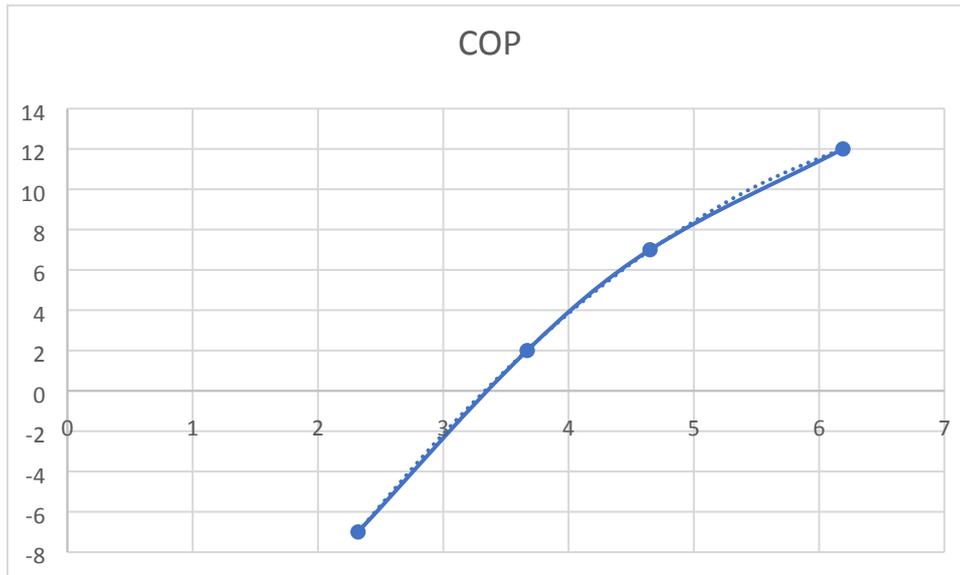
- della temperatura della sorgente fredda e dalla sorgente calda
- del gas refrigerante
- del tipo di macchina

In generale sappiamo che riesce a mantenere alti livelli di efficienza quando le temperature non sono molto rigide, come nel nostro caso, che ci troviamo in zona climatica C. In quanto la temperatura media come visto in precedenza anche nei mesi più freddi si attesta sui 9/10°.

Per fare una valutazione quanto più verosimile possibile del consumo elettrico ho preso i dati presenti sulla scheda tecnica, che mi fornivano i valori di COP per 4 diverse temperature esterne

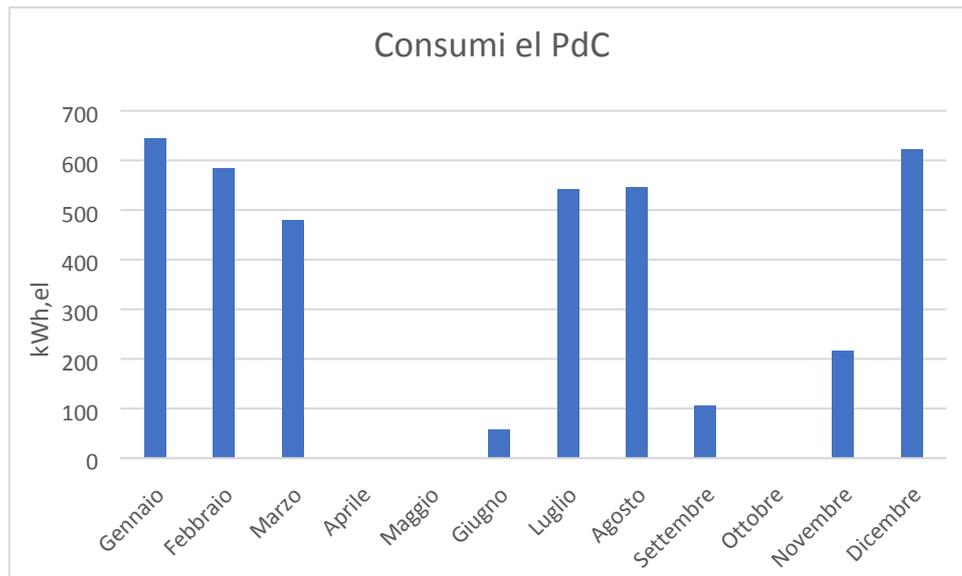
T_est	T_int	Cop
-7	20	2,32
2	20	3,67
7	20	4,65
12	20	6,19

Da questi dati ho ricavato la curva di variazione del COP in funzione della temperatura esterna, in modo da poterla confrontare con il vettore orario delle temperature ambiente dell'anno preso come riferimento e riuscire ad ottenere il COP ora per ora per il periodo di riscaldamento che per la zona climatica C, va dal 15 Novembre al 31 Marzo.



Dal valore precedentemente calcolato di energia termica annuale necessaria per l'edificio, passando attraverso il COP ho calcolato quindi un consumo elettrico di 3793 kWh,el.

	PdC [kWh,el]
Gennaio	644
Febbraio	585
Marzo	480
Aprile	0
Maggio	0
Giugno	58
Luglio	542
Agosto	545
Settembre	105
Ottobre	0
Novembre	216
Dicembre	623



Chiaramente si possono notare i picchi di consumo nei mesi più freddi e durante il periodo di picco estivo. Nei mesi intermedi abbiamo ipotizzato che il sistema di riscaldamento/raffreddamento fosse spento.

9.2 Pompe di rilancio

Per ogni circuito si è scelto di installare una pompa di rilancio, per rendere del tutto autonomo e ottenere la migliore gestione dell'impianto, si stima un consumo di circa 21W per ogni singola pompa, tale valore è stato quindi distribuito lungo i vettori di accensione del riscaldamento e del raffrescamento. E abbiamo ottenuto un consumo di circa 640 kWh,el.



Figura 47 gruppo di rilancio

Gruppo compatto di rilancio e miscelazione modulante premontato per impianti di riscaldamento e raffrescamento con di valvola di miscelazione a 3 vie e attuatore elettronico modulante.

9.3 Acqua Calda Sanitaria

Per il calcolo del consumo elettrico per gli scaldi acqua in pompa di calore si parte dalle ipotesi di occupazione.

Avendo l'intera struttura 5 camere da letto, uno per ogni zona. In caso di occupazione piena avremo all'interno della struttura 10/12 persone.

Sulla base delle ipotesi fatte in abbiamo valutato un'occupazione della struttura per circa 200 giorni all'anno, con una media di 6,5 persone al giorno.

Da normativa abbiamo impostato un consumo medio di circa $70 \frac{\text{litri}}{\text{pers} * \text{giorno}}$.

Quindi si è calcolato un consumo annuale per acqua calda sanitaria come segue:

$$E_{ACS} = \frac{\dot{m} * n_p * c_{p,h_2o} * (T_{emi} - T_{acq})}{3600} = \frac{70 * 1300 * 4,186 * (45 - 14)}{3600} kWh = 3174 kWh,th$$

$E_{th,ACS}$ – energia annuale utile per acqua sanitaria in [kWh]

\dot{m} – portata di acqua in $\left[\frac{\text{litri}}{\text{pers} * \text{gg}} \right]$

c_p – calore specifico dell'acqua in $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} \right]$

n_p – flusso di persone in un anno

T_{emi} – Temperatura di utilizzo dell'acqua calda sanitaria [°C]

T_{acq} – Temperatura media dell'acqua di acquedotto [°C]

Da scheda tecnica il COP degli scaldacqua installati valutati a Temp interna di 20 °C, è pari 2,7

Quindi si può stimare il consumo elettrico in un anno pari

$$E_{el} = \frac{E_{th,ACS}}{COP} = \frac{3174}{2,7} = 1176 kWh_{el}$$

Tale valore sarà distribuito lungo il vettore orario in base alle ipotesi di occupazione, si può quindi stimare un consumo medio di $5,88 \frac{kWh_{el}}{gg}$ per l'acqua calda sanitaria.

9.4 Illuminazione

9.4.1 Illuminazione interna

Per l'illuminazione degli interni si è optato per dei faretti led a basso consumo, posizionati in modo da andare ad esaltare le caratteristiche costruttive del trullo. Come nel seguente esempio.



Figura 48 esempio di sistema di illuminazione

Per il calcolo dell'assorbimento elettrico, partendo dal progetto illuminotecnico, si è impostato un valore di lux/m² in funzione del tipo di ambiente, come riportato nella seguente tabella.

Stanza	Valore
camera da letto	150 lux/m ²
bagno	150 lux/m ²
pranzo/cucina	350 lux/m ²
corridoio	100 lux/m ²

Quindi da qui sono andato a calcolare i lumen necessaria per ogni stanza e anche il consumo elettrico, partendo dal dato di scheda tecnica di un faretto led che mi fornisce 550 lumen con un assorbimento di 6W.

Come riportato nella seguente tabella.

	Sup m2	lux/m2	lumen	Assorbimento ele [Watt]
Z_1_LETTO	16,0	150	2400	26,40
Z_1_LETTO2	6,3	150	938	10,31
Z_1_BAGNO	6,3	150	938	10,31
VANO COLLETTORI	5,2	100	520	5,72
Z_1_PRANZO	15,0	350	5250	57,75
Z_1_CUCINA	6,4	350	2240	24,64
Z_2_LETTO	9,6	150	1442	15,86
Z_2_PRANZO	15,0	350	5250	57,75
Z_2_BAGNO	5,0	150	743	8,17
CORRIDOIO	2,9	100	285	3,14
Z_3_LETTO	9,5	150	1425	15,68
Z_3_LETTO2	8,7	150	1305	14,36
Z_3_BAGNO	7,9	150	1185	13,04
Z_3_PRANZO	15,0	350	5250	57,75
Z_4_LETTO	8,4	150	1260	13,86
Z_4_PRANZO	9,8	350	3430	37,73
Z_4_BAGNO	2,9	150	435	4,79
VANO COLLETTORI	5,2	100	520	5,72

A questo punto in funzione del vettore di occupazione per ogni zona ho costruito un vettore annuale orario anche per il sistema di illuminazione interno. Che prevede l'accensione delle luci quando occupato per 8 h/gg nelle zone cucina-pranzo distribuite tra mattina, mezzogiorno e cena, 3h/gg nella zona letto, e 3h/gg nei bagni concentrate nelle ore mattutine e la sera.

Sulla base di queste ipotesi facendo un calcolo annuale ho valutato un consumo elettrico pari 390 kWh per l'intera struttura.

9.4.2 Illuminazione Esterna

All'esterno vi saranno dei faretti led posizionati per illuminare dal basso verso l'alto tutto intorno alla struttura, e dei fari posizionati lungo la strada lunga circa 150m.



Figura 49 esempio di illuminazione esterna

Anche in questo caso ho costruito il vettore orario in funzione delle ore di alba/tramonto mese per mese per la località presa in considerazione.

In base alla tipologia di illuminazione ho quindi calcolato un assorbimento elettrico totale considerando quindi sia l'illuminazione lungo la strada che quella intorno alla struttura pari a 900 W che corrispondono a circa 81900 lumen necessari per illuminare tutto l'esterno.

Distribuendo tale valore lungo il vettore orario annuale, e ipotizzando un'accensione quando occupato per ogni mese dal tramonto fino alle 3:00, ho stimato un consumo di energia elettrica pari a 2.043 kWh, per un totale di ore di accensione di 2270h in un anno.

9.5 Elettrodomestici (Piastra a induzione, frigorifero, tv)

Componenti interni alla struttura che contribuiscono al bilancio elettrico.

Frigorifero

vi saranno 4 frigoriferi di dimensioni medie, uno per ogni zona termica dal consumo annuale pari a 205 kWh all'anno. Che sarà sempre acceso e quindi avrà una distribuzione regolare per tutto l'anno.

Televisore

Allo stesso modo per i televisori con un consumo pari a 45 kWh in un anno. Si ipotizzano n° 4 televisori.

Piastra

Per le cucine si è scelto di essere totalmente indipendenti dal gas e quindi si di installare delle piastre a induzione con 4 fuochi rendimento di riscaldamento intorno al 90% .

Si stima l'accensione di due fornelli per ogni cucina per circa 2h/gg quando occupato, con 5 piastre elettriche sulla base delle ipotesi fatte di occupazione, avremo un consumo annuale di circa 980 kWh in un anno



Figura 50 piastra ad induzione

Confronto piastra a induzione con fornello a gas

Si è ritenuto interessante fare un confronto energetico tra la piastra a induzione e quella a gas, in quanto sappiamo che in generale il riscaldamento con resistenze elettriche è decisamente poco performante a livello energetico.

Principio di funzionamento un piano cottura a induzione è azionato da energia elettrica alternata che viene trasmessa a delle bobine coperte da un materiale affinché sia il fondo della pentola a riscaldarsi, non il piano cottura, che rimane freddo. La corrente elettrica che confluisce nelle bobine produce un campo magnetico che a sua volta dà luogo a correnti “parassite” che vedono la corrente elettrica indotta dissiparsi sotto forma di calore. Grazie a questo calore si verifica la cottura dei cibi. Il risparmio energetico è dunque assicurato dal fatto che l'energia utilizzata serve a generare il calore solo dove serve, quando serve infatti nel momento in cui la pentola viene tolta dal piano, la reazione elettromagnetica si interrompe. il vero successo di questi impianti è dovuto all'alto rendimento in quanto si hanno dispersioni minime

Per fare un confronto partiamo dalla stima sui consumi, pari a 980 kWh_{el}, Sappiamo che il rendimento della piastra a induzione si aggira sul 90%, mentre quella di un fornello a gas è pari al 60%.

	Calore [kWh]	rendimento	kWh _{th}	m ³	Costo
Piastra a induzione	882	90	980		225
Fornello a gas	882	60	1470	153	113

A livello economico in un anno la piastra a induzione risulta meno conveniente rispetto a quella a gas, mentre risulta una scelta appropriata se si considera la presenza di un impianto fotovoltaico e la totale indipendenza dal contratto gas e quindi dei suoi costi fissi.

9.6 Piscina

Considerando il volume della piscina si è dimensionata la pompa utile per il ricircolo dell'acqua e a valutare quindi l'assorbimento elettrico.

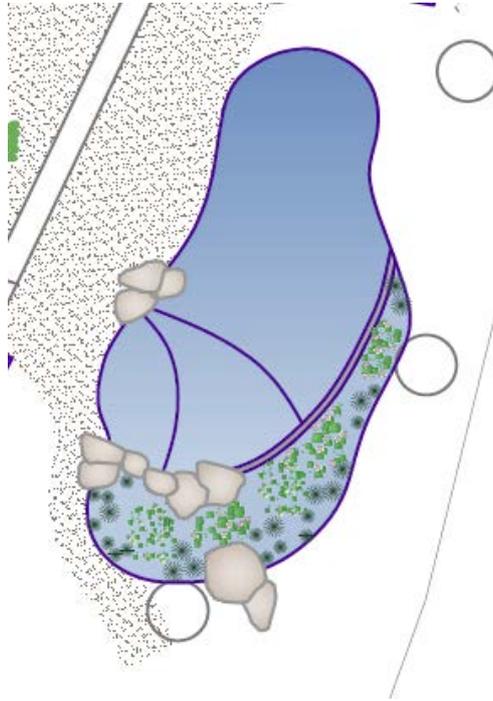


Figura 51 disegno piscina benessere

Sarà una piscina di tipo benessere.

Ha una superficie di 103,5 m², con un'altezza media di 80 cm, quindi avrà un volume di 82,8 m³ di acqua.

Per la valutazione della giusta pompa, partiamo dall'idea di voler cambiare l'intero volume d'acqua in 5h, quindi possiamo ricavare la portata in condizioni di progetto pari a

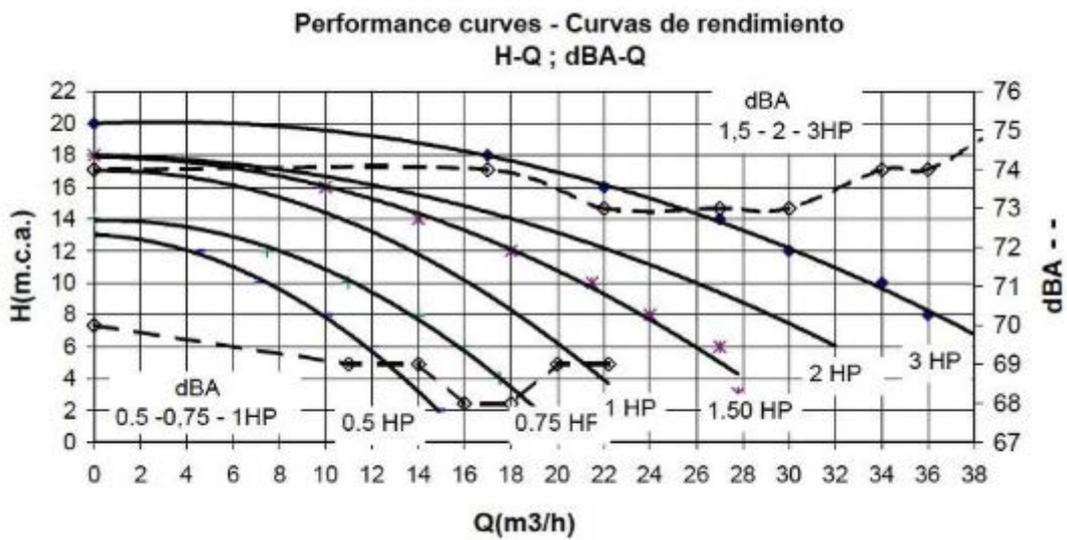
$$\dot{V} = \frac{\text{Volume}}{h \text{ di ricambio}} = \frac{82,8 \text{ m}^3}{5 \text{ h}} = 16,56 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

La curva della pompa dovrà essere incrociata con quella relativa alle perdite di impianto.

Componenti che incidono sulle perdite

Skimmer	1,2	mca
boc immissione	0,5	mca
valvola selettrice	2,5	mca
filtro	4	mca

Figura esempio di illuminazione esterna



Incrociando il valore della portata con le perdite di impianto, si è scelto una pompa da 1,5 kW, con una prevalenza di 14 m e una portata di 18 m³/h.

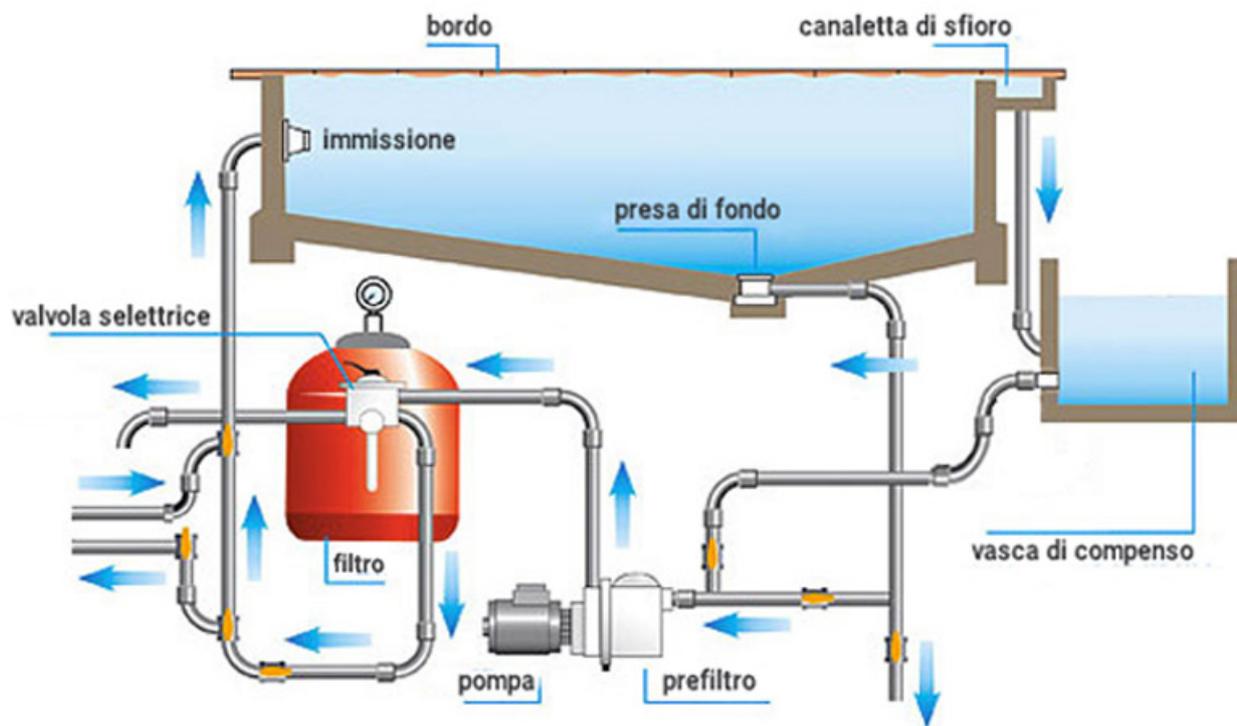


Figura 44 schema piscina

Una volta depurata, l'acqua viene reimpressa in piscina tramite le bocchette. Questa, grazie al costante movimento dell'acqua e alla pompa di filtrazione, immetterà in vasca costantemente la quantità d'acqua pulita necessaria a compensare quella mancante per il movimento dei bagnanti.

La vasca di compenso è da costruire a fianco della piscina, solitamente viene realizzata interrata, in una muratura e deve essere ispezionabile per la pulizia.

Per la valutazione dell'assorbimento elettrico, si ipotizza un'accensione della pompa per 12h/giorno nel periodo estivo, mentre nel restante periodo dell'anno si ipotizza un ricambio totale dell'acqua 1 volta a settimana per tenere pulita la piscina, in quanto comunque è giusto tenerla pulita.

9.7 Sistema di irrigazione

Nella struttura è installato un sistema di irrigatori dinamici, che andranno a servire tutto il verde intorno alla struttura.



Figura 52 irrigatore dinamico

Per valutare il consumo elettrico si parte da un valore di consumo di acqua pari a 5 litri per metro quadrato, su una superficie di circa 700 m². Sono installate due pompe a giri fissi da 2 kW di potenza.

Funzionamento per 40 min/giorno nel periodo estivo e 20 min al giorno in quello invernale.

Consumo calcolato pari a 898 kWh/anno.

9.8 Bilancio Generale

Mettendo insieme tutti i vettori orari di 8760 valori, che vanno a rappresentare i consumi annuali, per ogni carico, si può fare una stima dei consumi totali e la loro distribuzione mensile.

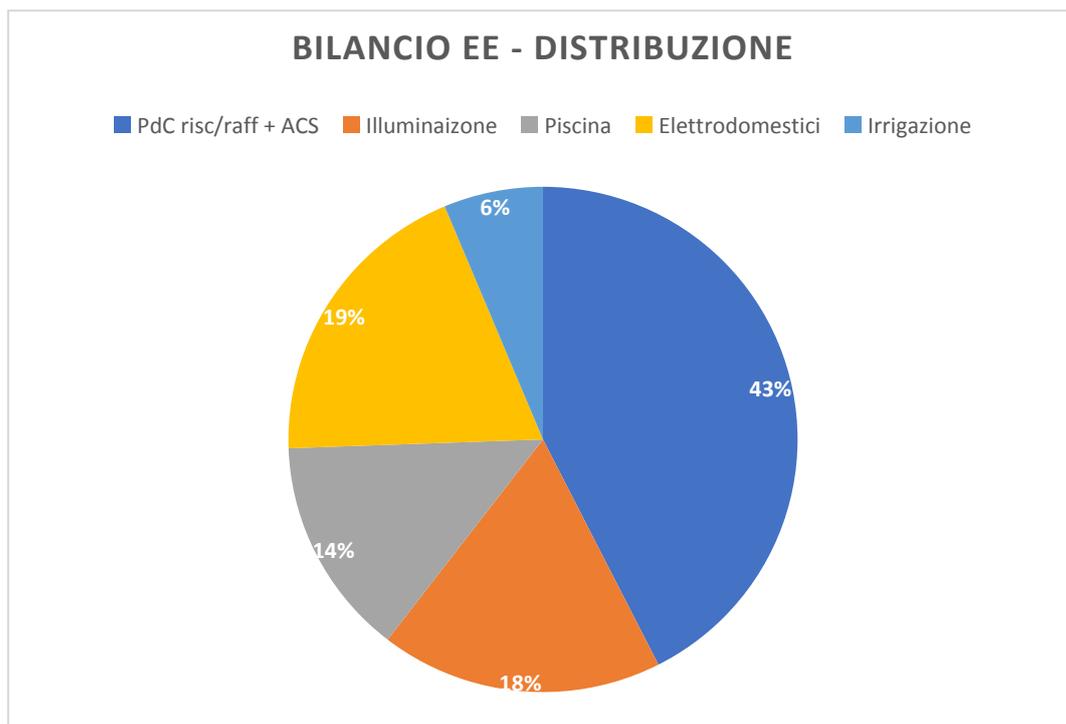


Figura 53 distribuzione percentuale del consumo elettrico annuale

Da questo grafico si nota come i consumi principali sono attribuibili alle pompe di calore per riscaldamento, raffreddamento e acqua calda sanitaria alle quali ho aggiunto anche le pompe di rilancio, circa il 43%, il 19% dei consumi è attribuibile alla pompa della piscina essendo accesa la pompa per molte ore al giorno durante tutto il periodo estivo, l'illuminazione pesa per il 18%, i vari carichi interni con particolare rilievo per la piastra ad induzione occupano il 14% e infine per l'impianto di irrigazione si stima un 6%.

	EE [kWh]
PdC risc/raff	3799
ACS	1606
P. di rilancio	646
Illuminazione	2553
Piscina	1992
Elettrodomestici	2740
Irrigazione	898
Tot	14233

Avendo la distribuzione lungo il vettore annuale ho potuto fare una stima anche dei consumi elettrici mese per mese.

	PdC	ACS	Illuminazione	Piscina	P. di rilancio	Elettrodomestici	Irrigazione	Tot
Gennaio	644	123	181	38	85	211	62	1344
Febbraio	585	91	141	30	77	180	56	1160
Marzo	480	104	178	30	82	211	62	1148
Aprile	0	93	141	38	8	187	60	526
Maggio	0	101	152	30	8	198	62	550
Giugno	58	131	181	203	31	229	74	906
Luglio	542	233	401	558	86	322	124	2267
Agosto	545	233	401	558	86	322	124	2269
Settembre	105	159	278	404	46	249	90	1332
Ottobre	0	94	141	38	8	191	62	533
Novembre	216	99	163	30	43	201	60	813
Dicembre	623	145	194	38	86	239	62	1386
ANNO	3799	1606	2553	1992	646	2740	898	14233

Chiaramente si notano i consumi maggiori nel periodo estivo, quando abbiamo il massimo dell'affluenza.

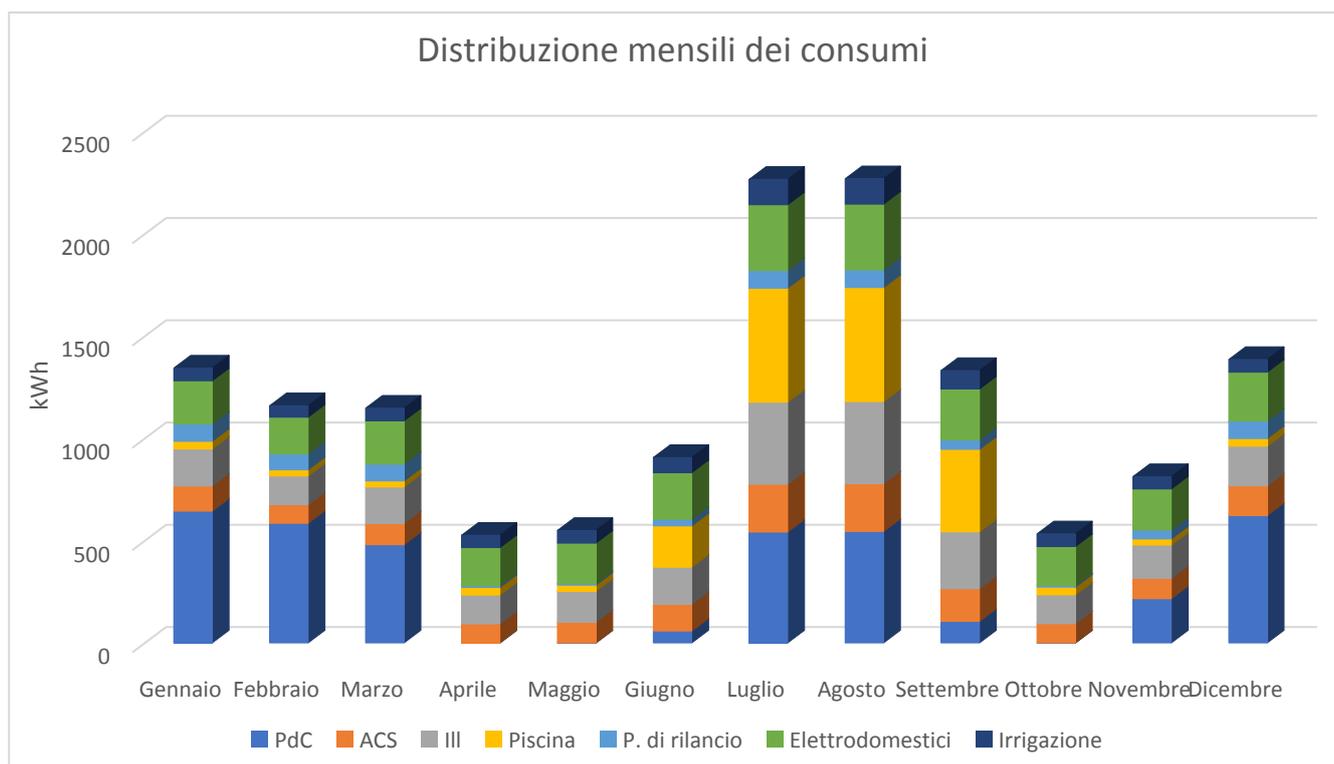


Figura 54 Distribuzione mensile dei consumi elettrici

Consumi limitati durante i mesi primaverili e autunnali in cui abbiamo previsto il sistema di riscaldamento e raffreddamento spenti.

Picco nel periodo estivo, dovuto come già anticipato alla pompa della piscina, attiva per 12h/gg.

Consumo totale stimato pari a 14.233 kWh,el.

A fronte di questi consumi, e della totale indipendenza da fonte combustibili, come il gas, si è ritenuto conveniente installare un impianto fotovoltaico, che grazie alle previsioni sui consumi, potremo cercare di dimensionare al meglio.

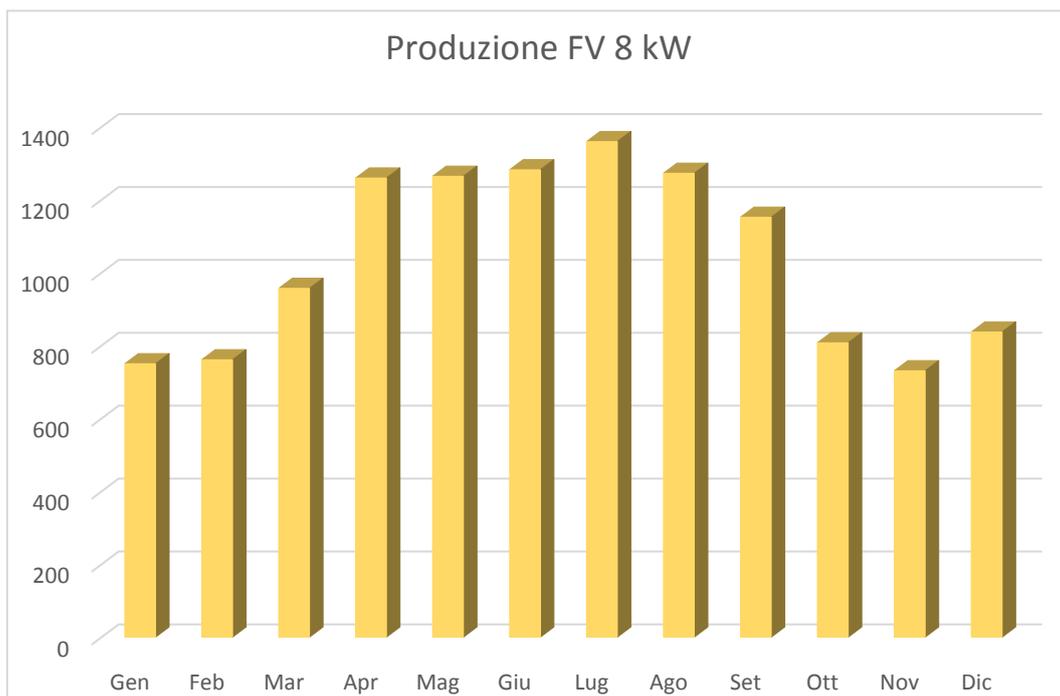
CAPITOLO 10

FOTOVOLTAICO

10.1 Dimensionamento Fotovoltaico e batteria di accumulo

Partendo dall'analisi dei consumi, si è deciso di installare un impianto fotovoltaico da 8 kW, l'installazione avverrà sopra un gazebo, posizionato nei pressi della piscina.

Da "PVGIS" mi sono andato a ricavare la producibilità nell'anno utilizzato di riferimento per un impianto fotovoltaico da 8 kW nella zona presa in considerazione. Ricavando i seguenti risultati.



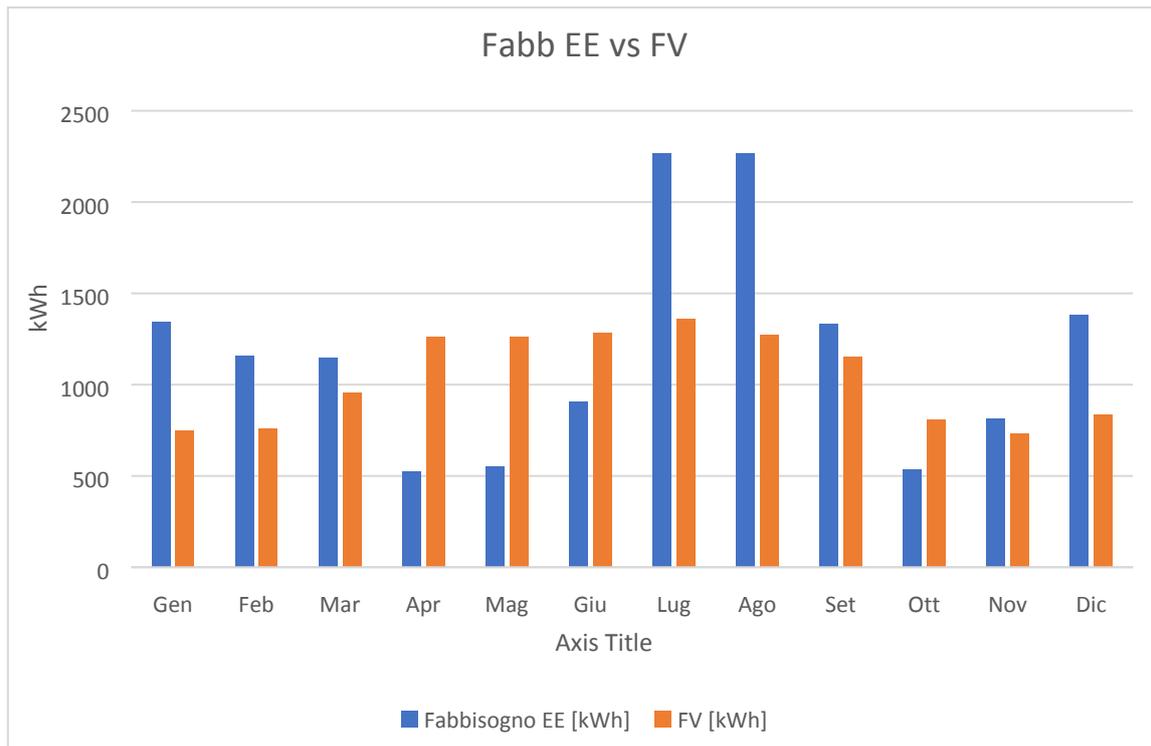
mesi	FV [kWh]
Gennaio	750
Febbraio	761
Marzo	957
Aprile	1259
Maggio	1264
Giugno	1282
Luglio	1359
Agosto	1273
Settembre	1152
Ottobre	807
Novembre	731
Dicembre	837

Inoltre, mi sono ricavato i valori di producibilità oraria per l'intero anno, in modo tale da poterlo confrontare con il vettore dei carichi, e valutare il funzionamento dell'impianto fotovoltaico.

Fabbisogno EE	14233	kWh
Produzione FV	12433	kWh
Autoconsumo	5896	kWh
Cessione alla rete	6536	kWh
Energia acquistata da rete	8337	kWh

A fronte di un'analisi giornaliera si è notato come spesso la produzione del fotovoltaico durante il giorno fosse più alta della necessità, con conseguente cessione alla rete poco redditizia con il contratto di scambio sul posto (circa 4 cent€/per kWh) e quindi si è ritenuto opportuno valutare l'inserimento di una batteria agli ioni di litio.

Per scegliere la taglia più opportuna si è fatto prima un confronto mensile tra produzione fotovoltaica e carichi.



La quota di cessione alla rete è dovuta ai mesi primaverili, dove abbiamo ipotizzato l'impianto di riscaldamento/raffreddamento spento e dove quindi il fotovoltaico produce più di quanto necessita la struttura. Però con una batteria si può recuperare parte della produzione giornaliera per sopperire ai carichi notturni. La scelta della taglia nasce dalla seguente analisi, partendo dal confronto delle curve di fabbisogno e produzione fotovoltaica, escludendo i mesi in cui si sono considerati spenti i sistemi di raffrescamento e riscaldamento, dove abbiamo una produzione di energia elettrica da fotovoltaico eccessiva rispetto al fabbisogno. Vogliamo ottimizzare il sistema sui mesi invernali ed estivi. Si è fatta una media giornaliera del valore di cessione di energia elettrica nei mesi [gennaio, febbraio, marzo, luglio, agosto, settembre, novembre, dicembre] per valutare quale fosse la configurazione migliore.

	Fabbisogno EE [kWh]	FV [kWh]	Autoconsumo [kWh]	Cessione alla rete [kWh]
Gennaio	1346	750	404	346
Febbraio	1160	761	354	407
Marzo	1146	957	407	550
Aprile	526	1259	247	1012
Maggio	551	1264	267	997
Giugno	907	1282	482	800
Luglio	2267	1359	1107	252
Agosto	2269	1273	1064	209
Settembre	1330	1152	639	513
Ottobre	534	807	209	599
Novembre	814	731	253	477
Dicembre	1384	837	464	373

$$Cap_{batteria} = \frac{\text{En FV ceduta alla rete nei mesi evidenziati}}{\text{numero di giorni dei mesi considerati}} = \frac{3128}{243} = 12,87 \text{ kWh/giorno}$$

A seguito di questa valutazione ho inserito all'interno della simulazione una batteria da 13 kWh (RESU13 LG) con una capacità reale di accumulo di 12,4 kWh, che si andava a caricare ogni volta che la produzione di FV superasse la richiesta dei carichi.

Ottenendo i seguenti risultati

Fabbisogno	14233,17	kWh
Produzione	12432,63	kWh
Autoconsumo	5896	kWh
Batteria	3127	kWh
Cessione alla rete	3410	kWh
Acquisto dalla rete	5210	kWh
Perc di sfruttamento	72,6	%

Quindi attraverso l'installazione della batteria sono andato a recuperare altri 3.127 kWh, ottenendo uno sfruttamento della produzione fotovoltaica pari al 72,6 %.

A seguito di questa nuova configurazione, si sono fatte delle analisi economiche, sulla convenienza dell'impianto fotovoltaico con le diverse configurazioni.

Stimando un costo di 2000 €/kWp installato e di 450 €/kWh di accumulo batteria, ipotizzando un costo per l'energia elettrica pari a 0,25 € per ogni kWh acquistato dalla rete.

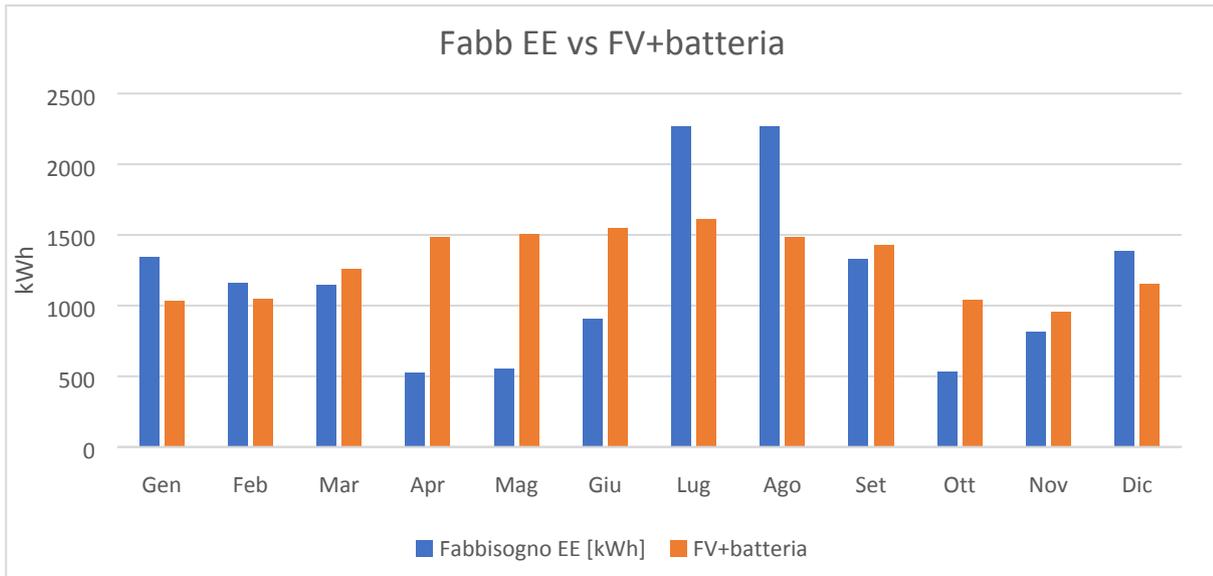
	FV 8 kW [€]	Costo Batteria [€]	Investimento tot [€]	EE acquistata da rete [kWh]	Costo bolletta [€]	Risp [€]	PBT
Base				14233	3558		
FV	16000		16.000	8337	2084	1474	10,85
FV + batteria 13	16000	5850	21.850	5210	1303	2256	9,6

Dai risultati ottenuti, la configurazione che risulta più conveniente è quella che vede l'abbinamento del fotovoltaico con la batteria, che ci comporterà un risparmio annuale stimato di 2.256 € con un tempo di rientro pari a 9,6 anni.

Bisogna comunque tenere in considerazione che la vita media di queste batterie si aggira intorno ai 15 anni.

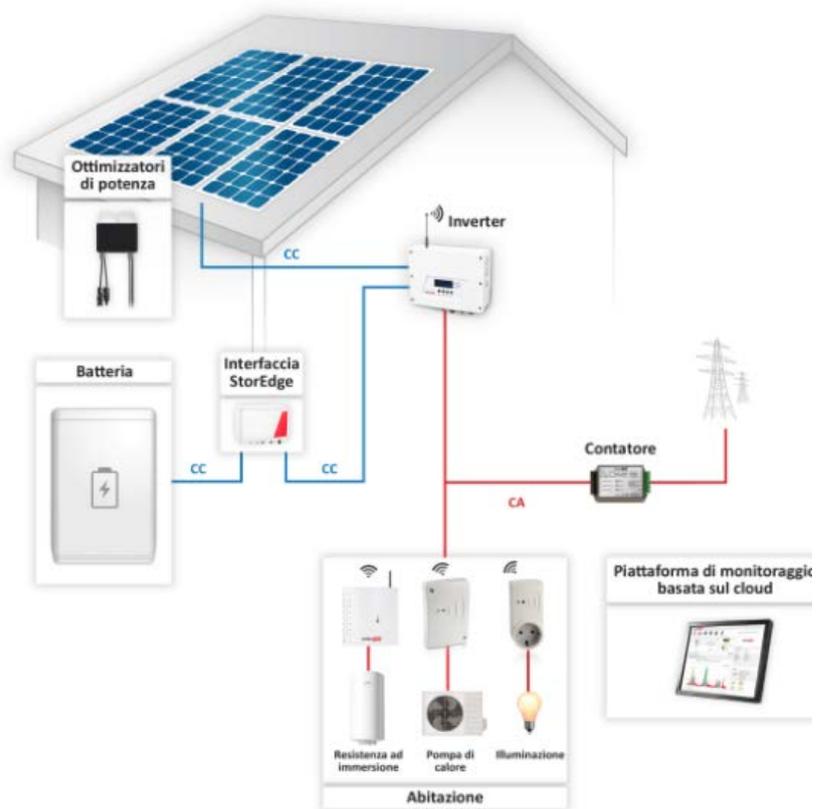
Ampliando quindi l'arco temporale a 15 anni otteniamo un risparmio totale in bolletta pari a 33.835,00 €. Si può notare che anche inserendo l'acquisto della nuova batteria dopo 15 anni rimane comunque la configurazione migliore.

In definitiva quindi si è optato per la configurazione di impianto fotovoltaico da 8kWp e una batteria da 12,4 kWh.



Nuova configurazione, con l'inserimento della batteria.

Schema elettrico



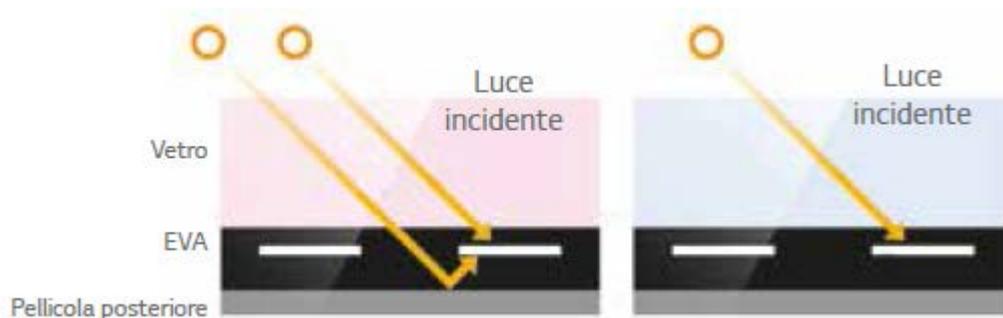
10.2 Caratteristiche componenti

Pannelli

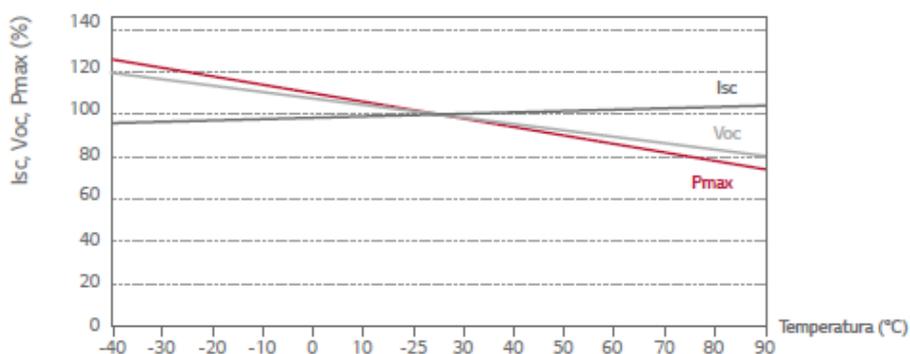
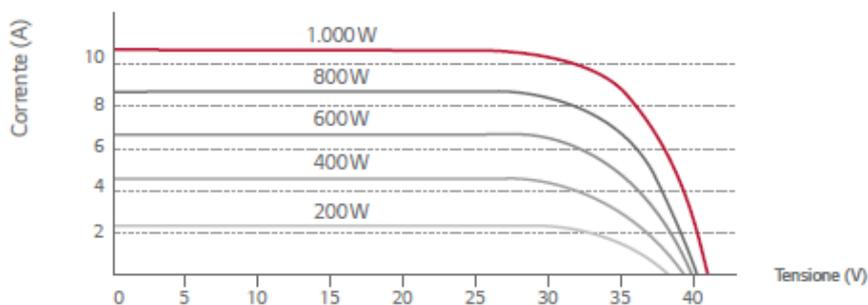
Saranno installati 24 pannelli da 325 kWp, 34 volt e 9,3 ampere in condizioni di picco, con irraggiamento $1000\text{W}/\text{m}^2$ a temperatura di 25°C .

Composti da 60 celle 6X10, rendimento dei moduli fino al 19,6%.

Il modulo è in grado di captare la luce incidente sia sulla parte anteriore sia sulla parte posteriore della cella, questa tecnologia consente alle celle e di lavorare in maniera più efficiente rispetto alle celle solari tradizionali, con una resa maggiore.



Curve caratteristiche



Inverter

Per 8000 W di potenza nominale

L'inverter è un apparato elettronico di ingresso/uscita in grado di convertire una corrente continua in ingresso in una corrente alternata in uscita e di variarne i parametri di ampiezza e frequenza.

Nell'utilizzo di pannelli fotovoltaici, consente di trasformare la tensione continua in tensione alternata da poter utilizzare in ambito domestico o immettere sulla rete di distribuzione. Queste macchine attraverso la funzione MPPT (Maximum Power Point Tracker) estendono la funzione base di un inverter generico con funzioni estremamente sofisticate e all'avanguardia, mediante l'impiego di particolari sistemi di controllo software e hardware che consentono di estrarre dai pannelli solari la massima potenza disponibile in qualsiasi condizione meteorologica.

I moduli fotovoltaici hanno una curva caratteristica V/I tale che esiste un punto di lavoro ottimale, detto appunto Maximum Power Point, dove è possibile estrarre la massima potenza disponibile. Questo punto della caratteristica varia continuamente in funzione del livello di radiazione solare che colpisce la superficie delle celle. È evidente che un inverter in grado di restare "agganciato" a questo punto, otterrà sempre la massima potenza disponibile in qualsiasi condizione. Ci sono svariate tecniche di realizzazione della funzione MPPT, che si differenziano per prestazioni dinamiche (tempo di assestamento) e accuratezza. Sebbene la precisione dell'MPPT sia estremamente importante, il tempo di assestamento lo è, in taluni casi, ancor più. Solo in pochi riescono a unire precisione a velocità.

È infatti nelle giornate con nuvolosità variabile che si verificano sbalzi di potenza solare ampi e repentini. È molto comune rilevare variazioni da 100 W/m² a 1000-1200 W/m² in meno di 2 secondi. In queste condizioni, che sono molto frequenti, un inverter con tempi di assestamento minori di 5 secondi riesce a produrre fino al 5%-10% di energia in più di uno lento.

Alcuni inverter fotovoltaici sono dotati di stadi di potenza modulari, e alcuni sono addirittura dotati di un MPPT per ogni stadio di potenza. In questo modo i produttori lasciano all'ingegneria di sistema la libertà di configurare un funzionamento master/slave o a MPPT indipendenti. L'utilizzo di MPPT indipendenti fornisce un vantaggio oggettivo in condizioni di irraggiamento non uniforme dei pannelli. Infatti, non è infrequente che la superficie dei pannelli solari sia esposta al sole in modo difforme su tutto il campo.

Batteria agli ioni di litio

Sistema di accumulo energetico residenziale ideale per l'utilizzo in abbinamento ad impianti fotovoltaici di ultima generazione per la massimizzazione dell'autoconsumo.

Materiali di altissima qualità e un processo produttivo innovativo: è la soluzione per l'accumulo energetico tecnologicamente più avanzata.



Figura 55 batteria di accumulo per fotovoltaico

Il sistema di gestione controlla carica e scarica del sistema di accumulo di energia e assicura la completa affidabilità e protezione contro sovratensioni e alte temperature.

Una volta installato per lo stoccaggio solare non richiede nessun tipo di intervento da parte del proprietario dell'impianto. Il sistema di gestione della batteria (BMS) controlla automaticamente tutte le funzioni all'interno dell'unità abitativa. La BMS si occupa dei processi di carica e scarica in maniera ottimale.

- Ideale per il fotovoltaico: il gruppo batterie è progettato per sistemi fotovoltaici di tipo residenziale o domestico.
- BMS (battery management system, sistema di gestione della batteria): il sistema BMS integrato del gruppo batterie monitora il funzionamento della batteria e impedisce il funzionamento oltre i limiti di progettazione.
- Sistema espandibile: il gruppo batterie può essere facilmente esteso aggiungendo gruppi di batterie di espansione.

Ottimizzatori

Una tecnologia innovativa sono gli ottimizzatori, riescono a far produrre fino al 25% di potenza in più grazie alla possibilità di renderli indipendenti dalla stringa, sappiamo in generale in caso di ombra su un singolo pannello a livello di produzione elettrica ne risente l'intera stringa, ma grazie all'introduzione degli ottimizzatori essi riescono a circoscrivere la limitazione di produzione al singolo pannello quindi a far sparire tutti i tipi di perdite dovute al disaccoppiamento tra i moduli, dalla tolleranza di produzione all'ombreggiamento parziale

Schema dettagliato impianto fotovoltaico

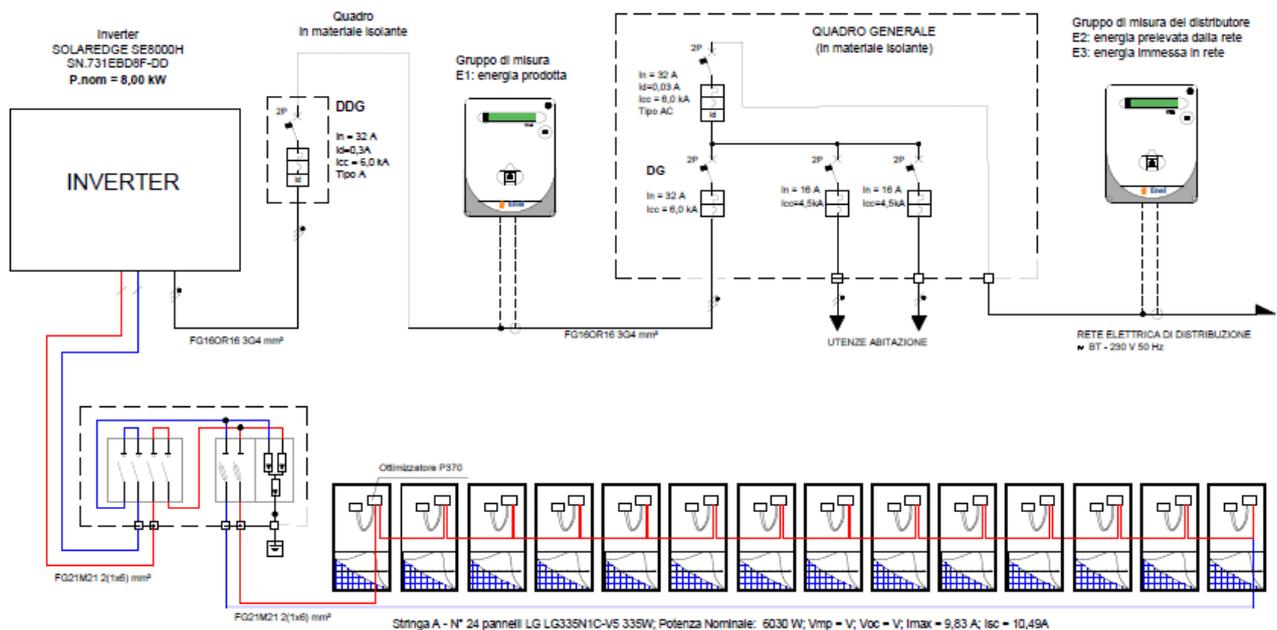


Figura 56 schema elettrico per FV

SISTEMI DI SICUREZZA

Fusibili

I fusibili cilindrici costituiscono la soluzione ottimale per la protezione delle stringhe di pannelli negli impianti fotovoltaici. Da utilizzare con gli appositi portafusibili o con le relative pinze, ed in una pratica versione con alette metalliche forate per il loro fissaggio a vite direttamente su piastra.

Scaricatori

Gli impianti fotovoltaici sono caratterizzati dall'occupazione di un'area che risulta proporzionale alla potenza installata; quando la taglia sale e l'area occupata diventa significativa, i sistemi sono particolarmente esposti agli effetti delle fulminazioni, soprattutto di quelle indirette. Nel caso di fulminazioni indirette, i moduli fotovoltaici possono essere sottoposti a tensioni indotte localizzate fra conduttori e terra (modo comune) o tra due conduttori (modo differenziale): a queste tensioni sono associate correnti transitorie che circolano nei corrispondenti circuiti. Affinché gli effetti della sovratensione non provochino danni, è bene adottare scaricatori di sovratensione per ogni polarità verso terra (ed eventualmente anche differenziale), nel punto più vicino alle stringhe. Nella pratica, si usa installare gli scaricatori di sovratensione subito in ingresso al quadro elettrico dove si effettua il parallelo delle stringhe garantendo il loro collegamento a terra con un morsetto giallo-verde dedicato.

Sezionatore

Gli interruttori sezionatori per utilizzo in corrente continua sono disponibili in svariate versioni. Essi sono particolarmente indicati per il sezionamento dei cavi che dai pannelli si dirigono verso l'inverter, all'interno degli impianti fotovoltaici. Sono disponibili maniglie dirette oppure maniglie blocco porta, insieme con tutti i necessari accessori di protezione e gestione.

CAPITOLO 11

VALUTAZIONE CONSUMI SU BREVI PERIODI

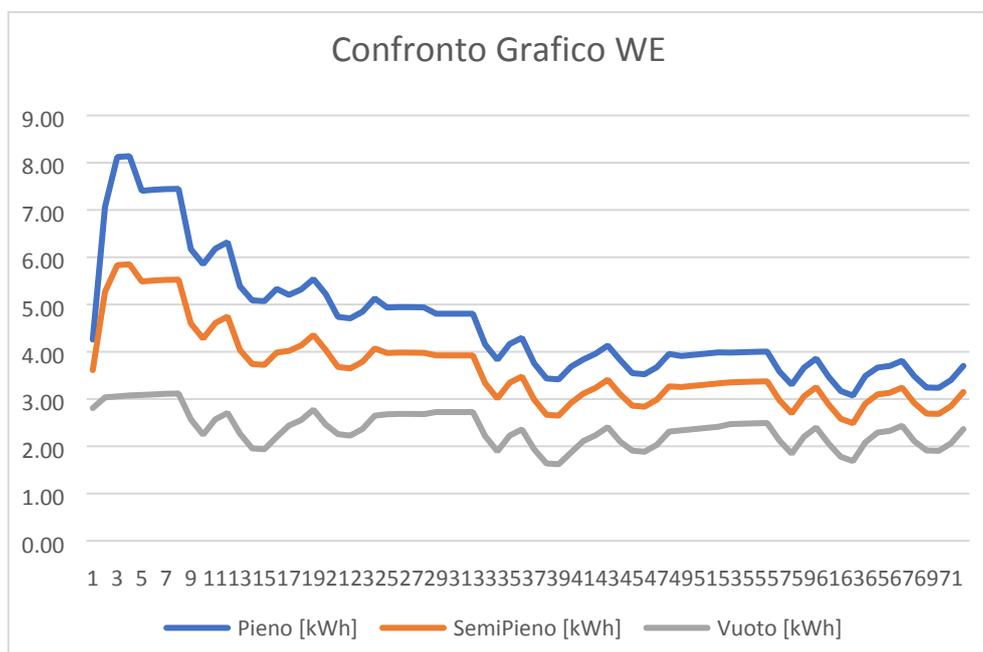
11.1 Week-End invernale

Oltre alla valutazione generale su base annuale, sono state fatte delle simulazioni in periodi di tempo più brevi per ottenere una visione più pratica di cosa succede a livello di consumi energetici, ho analizzato un week end nel periodo invernale con struttura piena e struttura vuota, un weekend estivo e le due settimane nel periodo natalizio e

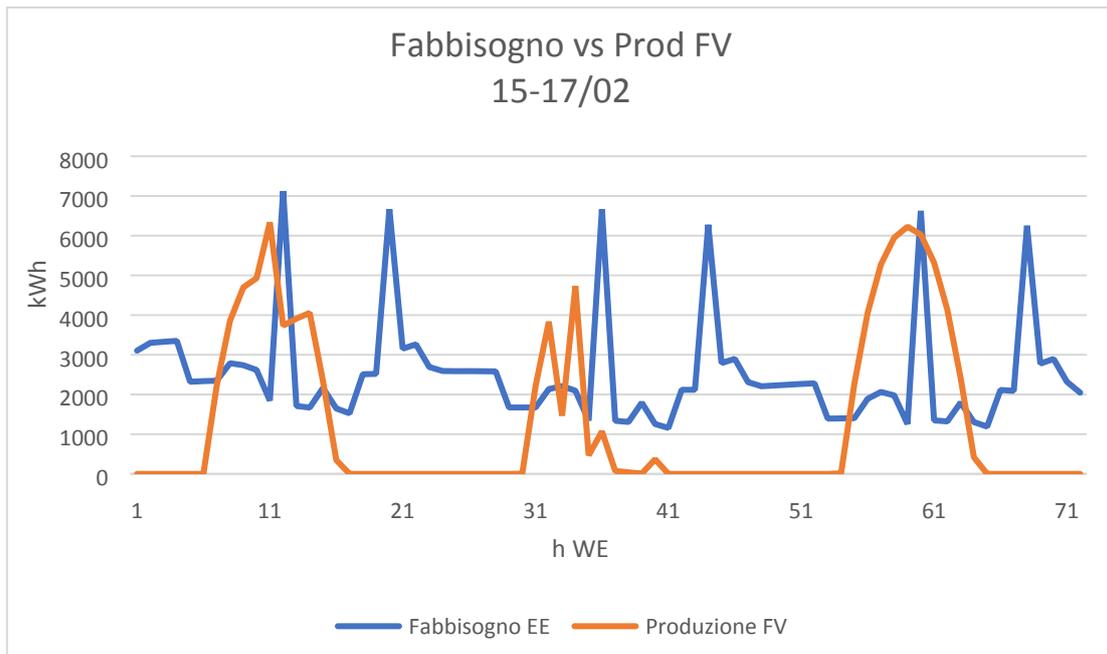
Weekend invernale

Consumi termici valutati attraverso simulazioni in TRnsys.

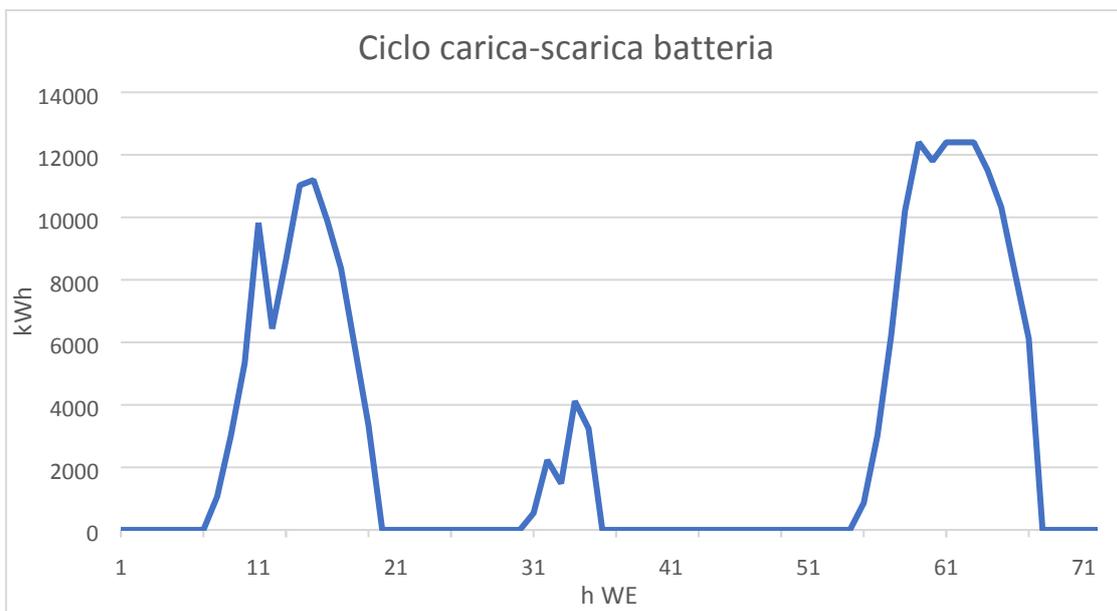
WE - 14 Febbraio	kWh,th	h
Pieno	331	72
Semipieno	262	72
Vuoto	170	72



A questo punto ho trasformato i consumi da termici ad elettrici passando attraverso il COP ed ho aggiunto anche i vari carichi, secondo le ipotesi fatte in precedenza.



Confronto tra la curva dei carichi elettrici e la produzione fotovoltaica, mentre qui di seguito notiamo il comportamento giornaliero della batteria



Visualizzazione risultati

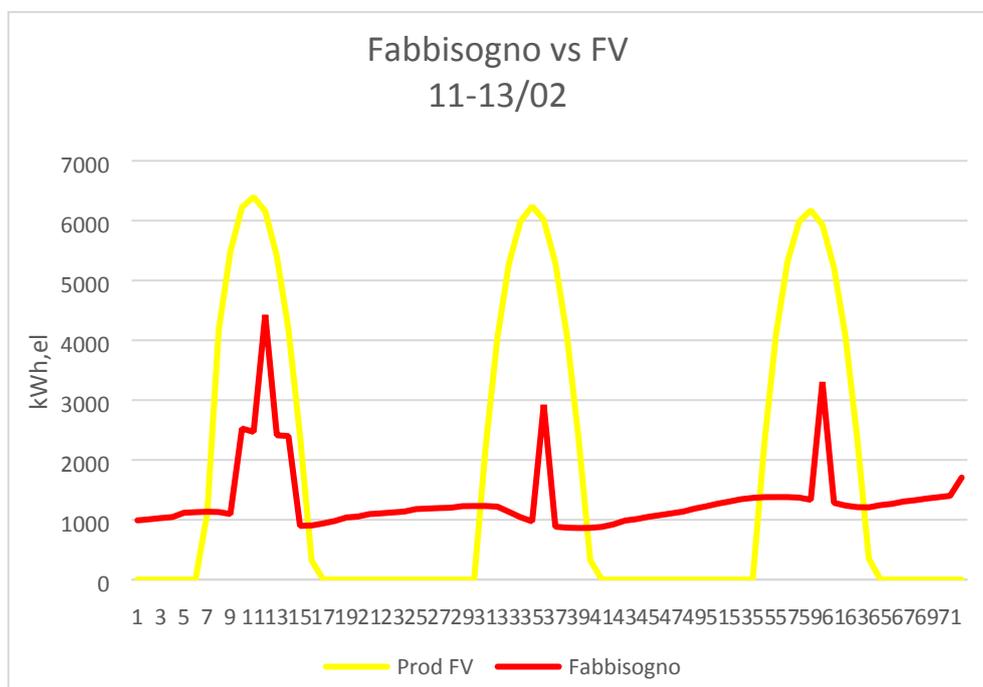
WE		
Fabbisogno	181	kWh
Prod FV	93	kWh
Autoconsumo	51	kWh
Batteria	38,6	kWh
Acquisto	91.4	kWh
Sfruttamento FV	96%	

Dai calcoli effettuati, si stima un consumo di 181 kWh,el nel WE ipotizzato pieno, grazie al sistema fotovoltaico con batteria riesco ad abbattere i consumi fino al 50%, sfruttando la produzione fotovoltaica al 96%, si può anche notare facilmente che nel WE preso in considerazione nel secondo giorno abbiamo avuto una bassa produzione fotovoltaica, probabilmente dovuta ad una giornata nuvolosa, altrimenti potevamo sicuramente riuscire ad abbattere ulteriormente i consumi.

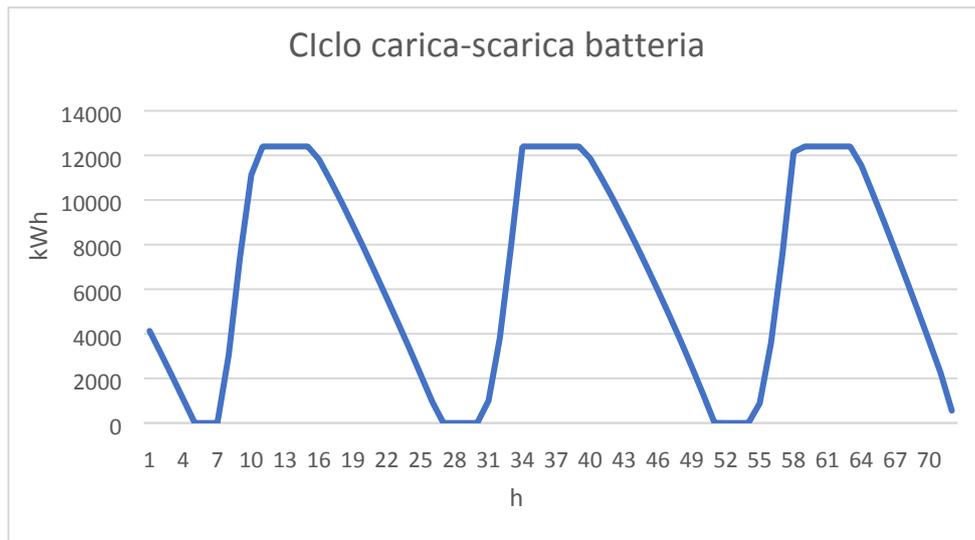
Per concludere si stima un costo per il fabbisogno di EE per il WE pari a 22,85€

Una media di 7,60 €al giorno di costi fissi per l'energia.

A questo punto ho fatto una simulazione ipotizzando la struttura vuota per valutare i costi fissi e il comportamento del sistema, ricordiamo che a livello di gestione abbiamo ipotizzato nel periodo invernale anche a struttura vuota un mantenimento sui 16-18°C dell'impianto a pannelli radianti, ottenendo i seguenti risultati



Produzione fotovoltaica decisamente superiore ai consumi.



Risultati

WE vuoto		
Fabbisogno	95	kWh
Prod FV	125	kWh
Autoconsumo	44	kWh
Batteria	37,2	kWh
Acquisto	14	kWh
Sfruttamento FV	65	%

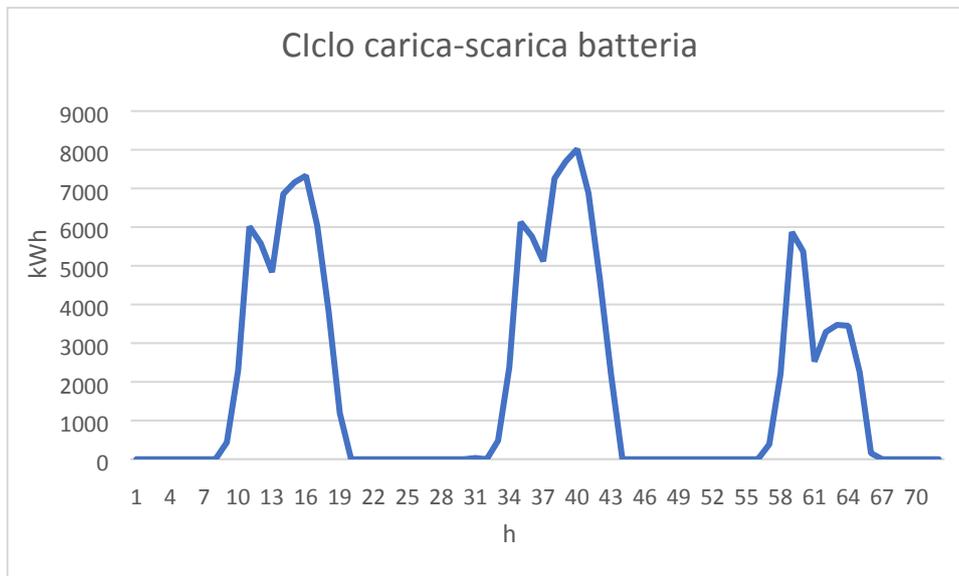
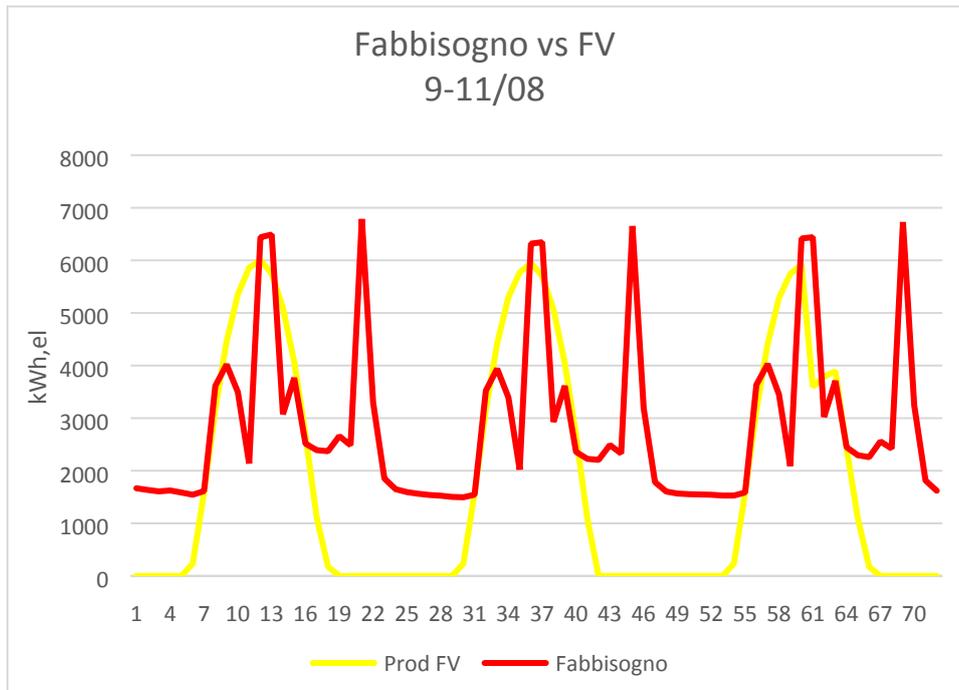
Il fabbisogno stimato è di 95 kWh, in questo caso riesco a coprire con il fotovoltaico l'88% dei consumi, ottenendo una spesa irrisoria per 14 kWh-

Ma è importante notare che con questo modello di gestione, riesco a tenere la struttura attiva anche quando non occupato, avendo la parte base dei consumi completamente coperta dall'autoproduzione.

Chiaramente la produzione di energia da fotovoltaico la sfrutto solo al 65%.

11.2 Weekend estivo

Confronto curva dei carichi con produzione fotovoltaica in un WE estivo, con piena occupazione.



Valutazione dei consumi e visualizzazione risultati

WE		
Fabbisogno	207	kWh
Prod FV	132	kWh
Autoconsumo	107	kWh
Batteria	24,4	kWh
Acquisto	75	kWh
Sfruttamento FV	100	%

Costi con il sistema FV+batteria pari 18,75€circa il 75% in meno, riesco a sfruttare l'energia prodotta da fotovoltaico al 100% senza cessioni in rete.

Costi fissi pari a 6,25 €al giorno per l'energia. Valore simile al WE invernale.

Attraverso queste simulazioni, si può come influisce un buon dimensionamento della batteria.

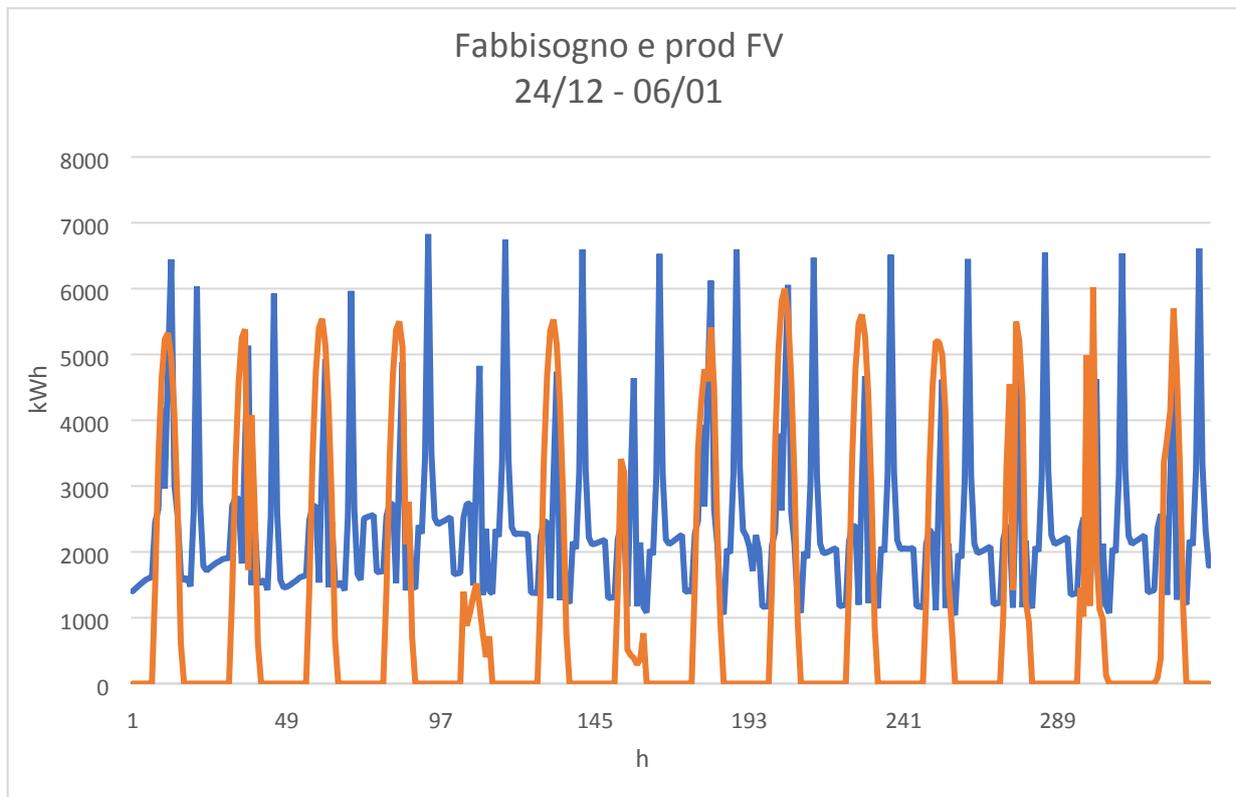
Sostanzialmente la cessione di energia alla rete è concentrata nei mesi delle stagioni di primavera ed autunno in cui non abbiamo grossi carichi, e nei giorni in cui abbiamo ipotizzato la struttura vuota.

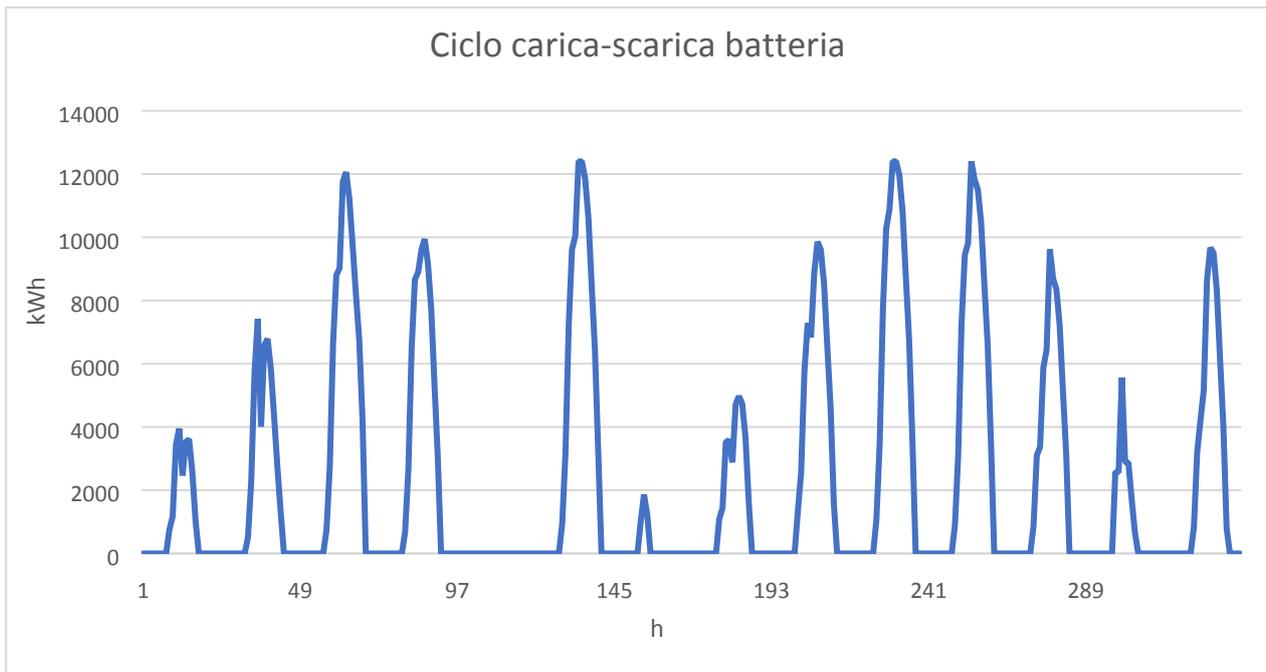
11.3 Periodo Natalizio

Anche per il periodo natalizio che va dal 24/12 al 06/01 ho valutato i consumi con struttura piena, ottenendo i seguenti risultati.

Periodo Natalizio		
Fabbisogno	807	kWh
Prod FV	385	kWh
Autoconsumo	264	kWh
Batteria	117,2	kWh
Acquisto	426	kWh
Sfruttamento FV	98%	%

Otengo una produzione di energia da fotovoltaico media per 14 giorni, pari a 27,5 kWh/gg, che grazie alla presenza della batteria riesco a sfruttare quasi totalmente.





Costi per l'energia senza produzione fotovoltaica si stimano per circa 202 € mediamente 14,5 €/gg.

Con il sistema FV + batteria riesco a diminuire questi costi di circa il 50% , portandoli a 106,5 € per i 14 giorni presi in considerazione, vale a dire mediamente 7,60 €/gg.

Per concludere si può dire che grazie al sistema progettato in questa maniera, nel periodo invernale con occupazione piena riesco ad abbattere circa il 50% dei costi, mentre nel periodo estivo riesco ad abbattere fino al 75% grazie alla produzione maggiore di energia elettrica da fotovoltaico. Mentre invece quando la struttura è ipotizzata vuota, copro la totalità dei consumi, ottenendo anche un surplus di energia elettrica che potrò vendere in rete. In particolare, la maggior parte del surplus sarà concentrato nei mesi in cui abbiamo ipotizzato spento il sistema di riscaldamento/raffrescamento.

CAPITOLO 12

ANALISI DI INVESTIMENTO

12.1 Costi di investimento e valutazione tempi di rientro

Per concludere il lavoro di tesi, si è ritenuto interessante fare un'analisi di investimento, per valutare i tempi di rientro. La struttura si vuole assestare su un target alto di clientela, per questo sarà fornita di tutti i comfort necessari.

Sarà indicato per famiglie o coppie che vogliono trascorre qualche giorno all'insegna del relax, immersi nel verde, tra alberi secolari e un giardino curato.

Le strutture saranno adibite con tutti i comfort necessari, televisori, divani, internet , ampia zona parcheggio.

A seguito di un'analisi svolta valutando strutture simili presenti in zona, siamo riusciti ad ipotizzare oltre all'occupazione media, che ci ha permesso di fare l'analisi dei consumi nell'anno, anche i prezzi medi in base ai vari periodi dell'anno-



Figura 57 Foto di una struttura simile a Ceglie Messapica (BR)

Per la scelta dei prezzi, dopo aver consultato vari siti che si occupano di prenotazioni di Bed and Breakfast, abbiamo stimato dei valori di affitto in funzione dei diversi periodi dell'anno.

Come riportato nella seguente tabella

	Affitto miniappartamento €/giorno
dal 06 Gennaio al 24 Maggio	80
dal 25 Maggio al 21 Giugno	110
dal 22 Giugno al 30 Agosto	200
dal 31 Agosto al 27 Settembre	110
dal 28 Settembre al 20 Dicembre	80
Natale-Capodanno-Pasqua	110

Per ogni appartamento ci saranno 2/3 persone.

In tutto la struttura può contenere fino a 12 persone.

A questo punto, dopo aver chiesto informazioni presso queste strutture per comprendere quale fosse il flusso di turismo durante l'anno, sulle quali abbiamo basato tutte le simulazioni energetiche, abbiamo fatto una stima dei ricavi annuali, seguendo le ipotesi occupazionali di cui ho già parlato per la costruzione del modello di analisi energetica, sostanzialmente per nei week end struttura parzialmente occupata, mentre nel periodo estivo, struttura al completo.

Quindi otteniamo la seguente previsione

	Costo appartamento €/giorno	numero di settimane	giorni di occupazione per settimana	n°giorni	n° lotti occupati	Ricavi [€]
06/01 - 24/05	80	20	3	60	3	14400
25/05 - 21/06	110	4	3	12	3	3960
22/06 - 31/08	200	9	7	63	3	37800
01/09 - 27/09	110	4	3	12	6	7920
28/09 - 20/12	80	12	3	36	3	8640
Natale/Pasqua	110	3	7	21	6	13860
Tot				204		86580

Con un'occupazione stimata di 200 giorni in un anno, distribuito come rappresentato in tabella, ricaviamo un incasso pari a 86.580,00 € tale valore sarà decurtato di tasse e di spese varie per la gestione.

Con l'attuale legislazione, le tasse per strutture BnB si pagano per il 15%, quindi otteniamo un ricavo netto dalle spese di gestione e dalla tassazione pari a 61.506,00 €

Ora andremo a fare un'analisi sui costi totali di investimento, per poi ricavare il PBT.

Andremo a valutare costo della struttura, impianti idrici, termici, elettrici, fotovoltaico con batteria e la piscina.

Ci tengo a precisare che tutti i prezzi qui riportati sono delle stime, che cercano di avvicinarsi quanto più possibile alla realtà, ma chiaramente non sono prezzi reali, si può stimare un range di errore sul totale pari al 10%.

Nella seguente tabella riassumiamo i vari costi di investimento, per la costruzione dei 12 con si stima un prezzo di 35.000 €cono, costo di investimento totale 420.000,00 €

Per gli impianti di riscaldamento, comprese le 5 pompe di calore, i serbatoi di accumulo, le pompe di rilancio, l'impianto a pannelli radianti e la progettazione per tutta la struttura con posa si stima un costo pari a 56.000,00 €

Per gli impianti idrici si è fatta una valutazione in base ai punti d'acqua stimando un costo pari a 12.000,00 €

Fossa settica 5.000,00 €

Impianti elettrici, considerando il fatto che si sta installando un impianto domotico, che permetta la gestione anche da remoto, si stima un costo pari a 11.000,00 €(70€/m²).

Per i sanitari, circa 1500€per ogni bagno per un totale di 7500,00 €

Fotovoltaico da 8 kW con batteria circa 22.000,00 €

Piscina benessere 40.000,00 €

E per l'arredamento interno, di livello medio-alto 27.000,00 €

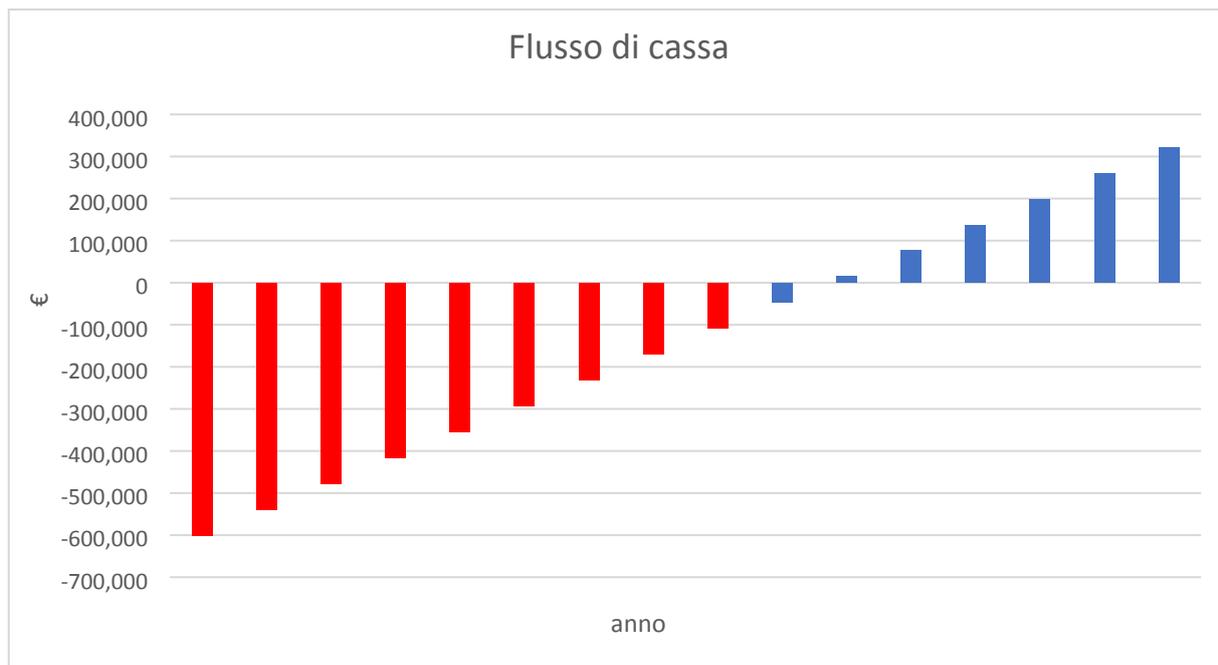
Si riassumono i costi stimati di investimento nella seguente tabella.

	Costo per cono	
Costruzione Trulli	420.000	€
PdC e impianto a pavimento	56.000	€
Impianti idrici	12.000	€
fossa settica	5.000	€
Impianti elettrici	11.200	€
Piscina	40.000	€
Fotovoltaico + batteria	22.000	€
Sanitari	7.500	€
Interni	27.000	€
Tot	600.700	€

Avendo quindi stimato i ricavi netti pari a 61.506,00 € e i costi di investimento pari a 600.700,00€, si è calcolato un Pay Back Time pari a 9,8 anni.

Nella seguente tabella si rappresenta il flusso di cassa in 15 anni.

	Flusso di cassa €
0	-600.700
1	-539.194
2	-477.688
3	-416.182
4	-354.676
5	-293.170
6	-231.664
7	-170.158
8	-108.652
9	-47.146
10	14.360
11	75.866
12	137.372
13	198.878
14	260.384
15	321.890



In questo grafico si mette in evidenza il flusso di cassa per ogni anno, si stima che in 15 anni, la struttura andrà a fruttare sui 315.000 € In realtà si potrebbe ipotizzare un aumento del flusso di turismo negli anni con conseguente aumento dei ricavi annuali.

CONCLUSIONI

Ho ritenuto molto interessante a livello personale questo lavoro di tesi, in quanto mi ha dato la possibilità di applicare alla realtà diversi concetti studiati in questi anni, in particolare è stato interessante interfacciarsi passo dopo passo, a partire dalla prima fase di proposta al cliente, fino alla scelta della migliore configurazione impiantistica, passando dalla fase di progettazione e analisi come mostrate in questa tesi.

La scelta di investire in questo campo, è sicuramente coraggiosa, ma dalle analisi fatte e dai risultati ottenuti si può notare come nel medio-lungo periodo si tratta un investimento vantaggioso.

Per quanto riguarda la scelta impiantistica si è potuto optare per le migliori configurazioni che permettono di ottenere un'ottima efficienza della struttura, in quanto i costi per la sola costruzione del complesso di trulli pesava in maniera preponderante, sostanzialmente andare ad installare impianti meno efficienti per limitare la spesa iniziale, non avrebbe avuto grosso impatto sul totale.

Inoltre, si è valutato come la pompa di calore aria/acqua in questa zona climatica (C), quindi con temperature medie non troppo rigide anche nei mesi più freddi, riesce a lavorare molto bene e con COP che di conseguenza comportano importanti risparmi energetici.

La pompa di calore con impianto fotovoltaico risulta vincente, anche per la quantità elevata di sole in queste zone, che ci permette di autoprodurre circa 1500 kWh per ogni kWp installato.

Ci stiamo muovendo all'interno di un cambiamento importante, per quanto riguarda i nuovi edifici e la ristrutturazione di quelli più vecchi.

Si sta tendendo progressivamente ad abbandonare sempre più il combustibile fossile all'interno delle case, per passare alla sola energia elettrica, permettendo una visione al futuro che ci renda quasi totalmente indipendenti da energia esterna, sono noti in questo campo i nuovi edifici denominati NZeb (Nearly Zero Energy Building) sostanzialmente edifici ad altissima prestazione energetica il cui fabbisogno energetico sia molto basso o quasi nullo e dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta in loco o nelle vicinanze.

Da questo lavoro di tesi si è visto come con una progettazione mirata si può pensare di abbattere quasi completamente i consumi, considerando l'investimento per avere autoproduzione di energia elettrica e la massima efficienza impiantistica come una spesa che porterà dei frutti a livello economico negli anni.

Il beneficio nel migliorare l'efficienza energetica chiaramente non è solo a livello economico ma anche ambientale, lo sfruttamento eccessivo delle risorse fossili abbinato con lo sviluppo industriale dell'ultimo secolo, ha peggiorato gravemente le condizioni del nostro pianeta attraverso i noti problemi, fortunatamente si percepisce una sempre più crescente sensibilità verso questi temi. Quindi possiamo guardare al futuro con ottimismo iniziando a pensare alle città del futuro, note come Smart City.

BIBLIOGRAFIA

- N. Rossi, “Manuale del termotecnico”, Milano, Hoelpli, 2014
- Cavallini A., Mattarolo L., “Termodinamica applicata”, Cleup Editore, Padova
- Michele De Carli, Clara Peretti, Sistemi radianti a bassa differenza di temperatura. Monfalcone (Gorizia): EdicomEdizioni, 2015
- ranryd et al., Refrigerating engineering. Stockholm: Department of Energy Technology, KTH, 2011.
- Trasmissione del Calore, C. Bonacina, A. Cavallini, L. Mattarolo, Cleup Editore;
- Buderus, quaderno di progetto per pompe di calore – 2018
- Tatiana Barletta il sistema trullo ARMONIE A SECCO, 2015

Schede Tecniche

- Ventilconvettori sabiana
- Pompe di calore Logatherm, Buderus
- Pannelli fotovoltaici LG
- Batteria agli ioni di litio RESU13
- Inverter Solar Edge

Siti internet

- https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/it/tools.html
- <https://www.airbnb.it/>

Ringraziamenti

Ci tengo a ringraziare il Prof. Michele De Carli,
l'Ingegnere Vincenzo Sasso e l'Architetto Patrizio Punzi,
le società Esco Laghezza Srl, la Termoidraulica Epifani, e l'impresa
edilizia "La Corte",
per il supporto tecnico e la disponibilità mostrata in fase di stesura della
tesi.

Infine un ringraziamento particolare va alla mia famiglia, per avermi
sempre supportato e dato la forza di andare avanti.