

Politecnico di Torino



Tesi di laurea triennale

Ingegneria Energetica

DIAGNOSI DI UN EDIFICIO IN BIOEDILIZIA ISOLATO CON LA PAGLIA

RELATRICE: Guglielmina Mutani

Studente: Nicolò Fabiani

INDICE:

1- Introduzione.....	pag.5
2- Stato dell'arte	
2.1 Brevi cenni storici sul prefabbricato.....	pag.6
2.2 Abitazioni prefabbricate - Il processo di costruzione.....	pag.8
2.3 Abitazioni prefabbricate – L'impiego della paglia come materiale isolante.....	Pag.9
3 - Caso di studio	
3.1 Esempi di progetti in Italia.....	pag.10
3.2 Maisonéco.....	pag.11
3.3 Valori conducibilità termica della paglia.....	pag.13
3.4 Stratigrafie.....	pag.14
3.5 Ponti termici.....	pag.19
3.6 Involucri trasparenti.....	pag.24
3.7 Ricambi d'aria.....	pag.24
4 - Calcolo delle prestazioni energetiche	
4.1 Modalità di valutazione.....	pag.25
4.2 Cenni normativi.....	pag.28
4.3 Dati climatici.....	pag.30
4.4 Calcolo di progetto delle prestazioni invernali.....	pag.31
5 – Risultati Certificazione energetica dell'edificio e diagnosi energetica	
5.1 Motivazioni legate alla certificazione.....	pag.33
5.2 Step sul software e dettagli per arrivare alla certificazione.....	pag.35
5.3 Risultati del calcolo.....	pag.43
5.4 Risultati per altri valori di λ	pag.50
5.5 Diagnosi energetica.....	pag.55
5.6 Interventi migliorativi	pag.58
6 – Conclusioni.....	pag.63
7 – Bibliografia.....	pag.65
8 – Allegati	pag.67

1- Introduzione

Nell'antichità gli edifici venivano costruiti con i materiali disponibili in loco con caratteristiche note in quanto tramandate nel corso della storia. Con l'avvento dell'industria petrolchimica e, più in generale di nuove macchine, i materiali costruttivi cambiarono risultando spesso estranei alle abitudini abitative dell'uomo trasformando, così, l'abitazione da "organismo vivente e salutare" in "ambiente completamente artificiale e potenzialmente aggressivo".

La sindrome da edificio malato, riconosciuta dall' Organizzazione Mondiale della Sanità (O.M.S.), è riconoscibile come problematica di molte nuove costruzioni o ristrutturazioni recenti. Infatti, l'uso inconsapevole di numerose sostanze chimiche sintetiche e la "sigillatura ermetica" degli edifici in nome di una riduzione del consumo energetico sono alla base dei motivi per i quali questi edifici sono caratterizzati da scarsa ventilazione e scarsa traspirabilità dei materiali. "L'interazione tra le sostanze volatili immesse dai materiali edili (come, ad esempio, la formaldeide) e la presenza nell'aria di altre sostanze tossiche contribuiscono in maniera determinante sui possibili effetti nocivi sulla salute delle persone che abitano quegli edifici" [1].

Per questi motivi, negli ultimi anni soprattutto, tecniche costruttive differenti stanno, a mano a mano, diffondendosi. Queste tecniche, perlopiù basate sull'utilizzo di materiali sani, naturali, biocompatibili e, possibilmente, a km 0 garantiscono un impatto ambientale pressoché nullo oltre a un più che discreto benessere abitativo.

Ne sono un esempio gli edifici isolati in paglia, spesso costruiti assemblando moduli prefabbricati per rendere il prodotto ancora più economico e per risparmiare materiale.

2- Stato dell'arte

2.1-Brevi cenni storici sul prefabbricato

La prima idea di casa prefabbricata fu di Leonardo Da Vinci il quale, intorno al 1494, progettò la cosiddetta “Casa Mutabile”, prima casa in bioedilizia costituita da componenti prefabbricati.

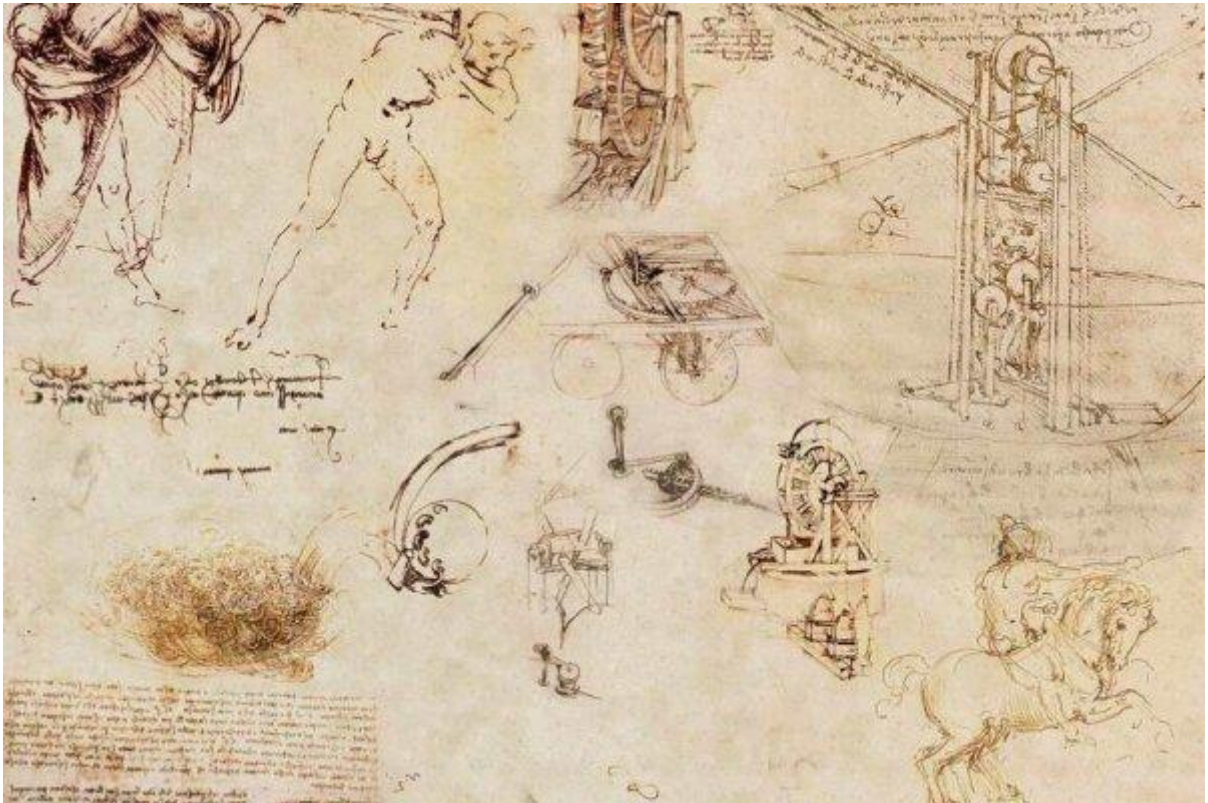


Figura 1- “La casa mutabile”, di Leonardo Da Vinci

Nel 1833 Herbert Mamming inviò in Australia via nave enormi casse di moduli prefabbricati per la costruzione veloce di case residenziali.

In Austria nel 1910 Wenzel Hartl presentò la prima casa unifamiliare in prefabbricato, denominata “Jagdhaus”, in occasione della mostra di caccia del 1910 a Vienna.

In seguito, Gustav Lilienthal inventò il cosiddetto “Case Terrast”, edificio completamente prefabbricato e montato in cantiere. Si trattava, perlopiù, di strutture di supporto funzionale provvisorio ad attività produttive. [2]

Fu Walter Gropius con la sua scuola, movimento "Bauhaus", che implementò per primo un vero e proprio sistema modulare rendendo possibile molteplici variazioni dell'edificio tramite i componenti prefabbricati; fondò, inoltre, una delle prime fabbriche per la produzione integrata di elementi per la costruzione di abitazioni. Chiaramente questo rese il prodotto finale più economico, con sensibili risparmi di produzione, di materiale e di tempo di montaggio. Gli edifici poterono così corrispondere in misura maggiore alle esigenze individuali del cliente.

Agli inizi del 1940, a causa della 2^a guerra mondiale e delle pressioni delle imprese di cemento e acciaio, questa tecnica innovativa entrò, praticamente, in disuso, soffocata dalla crescita prepotente nell'edilizia del mercato delle costruzioni in acciaio e, soprattutto, in cemento armato. Di conseguenza si assistette ad un forte rallentamento dello sviluppo del prefabbricato in Europa.

Nel dopoguerra si rese necessaria la creazione di grandi superfici abitative di carattere provvisorio e di dimensioni ridotte; tale esigenza venne soddisfatta con moduli abitativi prefabbricati di modestissima qualità che contribuirono, in maniera sensibile, a determinare la brutta immagine che a lungo ebbero le costruzioni prefabbricate. [3]

Grazie alla ricerca e alla sperimentazione di nuovi materiali, la bioedilizia (e il prefabbricato) gode, oggi, al contrario di un'ottima considerazione.

Il concetto e lo sviluppo della bioedilizia propriamente detta nascono alla fine degli anni Settanta in Germania a seguito della crisi energetica del '73 e successive. Venne abolito e/o scoraggiato l'impiego di alcuni materiali isolanti, di pavimenti in cemento, di collanti sintetici e vernici impermeabili; inoltre si cominciò a sviluppare l'interesse verso fonti alternative al petrolio anche per le necessità energetiche delle abitazioni. Il principio informatore di tali sviluppi di ricerca iniziò ad essere individuato nella creazione di luoghi per aiutare l'uomo ad abitare nel rispetto del "genius loci" [4] (spirito del sito); quindi si immaginarono e studiarono edifici flessibili e riadattabili nel tempo, tecniche e materiali ecocompatibili, ecc. Sempre maggiore importanza venne assegnata alle tematiche di isolamento termico, ombreggiamento, deumidificazione, ventilazione e illuminazione.

Questo consentì, mano a mano, di assistere allo sviluppo di idee e realizzazioni edilizie con funzione di:

- sperimentazione di materiali da costruzione non tradizionalmente impiegati in questo settore;
- sperimentazione di soluzioni abitative in grado di adattarsi all'ambiente esterno ed ai cambiamenti climatici.

2.2-Abitazioni prefabbricate- Il processo di costruzione

Il processo di costruzione di una casa in bioedilizia prefabbricata è, evidentemente, diverso da quello di una tradizionale casa in muratura.

Diverso è il materiale strutturale e diversi sono gli step di lavorazione per arrivare ad avere l'abitazione chiavi in mano.

Il processo si può sintetizzare come segue:

- Individuazione del terreno edificabile (come nelle case in edilizia tradizionale);
- Progettazione integrata dell'unità edilizia comprensiva di tutte le procedure amministrative e di autorizzazione necessarie (come nell'edilizia tradizionale);
- Realizzazione delle strutture di fondazione: in cemento armato come per le case tradizionali, in quanto serviranno come base su cui montare le pareti in legno oppure struttura in legno portante. Bisogna precisare che una struttura in legno richiederà fondamenta più contenute in quanto caratterizzata da minor peso (riduzione dei carichi).
- Progettazione costruttiva di dettaglio degli elementi prefabbricati in elevazione da produrre in stabilimento;
- Produzione dei prefabbricati in legno; ogni singola parte viene prodotta secondo un processo di lavorazione valutato in fase progettuale nel completo rispetto degli standard normativi di qualità e delle specifiche contrattuali;
- Montaggio in opera degli elementi prefabbricati;
- Realizzazione delle finiture esterne: prevede il montaggio del pacchetto termico in copertura, pluviali e manto di finitura del tetto, realizzazione del cappotto termico ed eventuale rivestimento esterno, montaggio degli infissi.
- Realizzazioni delle pareti interne, degli impianti e posa finale delle finiture interne e relative tinteggiature.

In generale il mercato distingue tra le seguenti formule e/o livelli di finizione:

Grezzo avanzato: abitazione fornita completa di ogni finitura ed accessorio nella parte esterna mentre nella parte interna sono escluse le opere di finitura in cui, fra l'altro, incidono maggiormente specifiche esigenze e gusti del cliente; gli ambienti interni saranno quindi pronti per essere stuccati e tinteggiati e per ricevere il completamento dell'impiantistica, la posa dei pavimenti e dei rivestimenti, l'installazione di tutti gli altri complementi d'arredo.

Chiavi in mano: formula di abitazione che dia modo al cliente di ottenerla in tempi ancora più ridotti; sono comprese quindi le finiture degli ambienti interni ecc.

In ogni caso la costruzione edilizia è concepita per permettere che il suo involucro "respiri" grazie all'abolizione di colle sintetiche per la posa di elementi di finitura, di intonaci e isolanti non traspiranti, ecc.. Con tali accorgimenti si tende ad evitare di produrre un pericoloso inquinamento degli ambienti interni ed esalazioni derivanti da materiali da costruzioni. Inoltre l'interno delle pareti viene riempito con materiali isolanti ed esternamente rivestito con pannelli (di legno, cartongesso ecc.) che, al contempo, assicurano ottimi parametri di isolamento e buone caratteristiche di permeabilità al vapore.

2.3- Abitazioni prefabbricate- L'impiego della paglia come materiale isolante

Dopo aver costruito per decenni impiegando materiali ad alto impatto ambientale iniziano a farsi strada alcuni materiali alternativi caratterizzati da impatti molto inferiori. Ad esempio il maggior competitor del mattone è divenuto il legno, su cui si è investito molto sulla scia culturale del "green building", ma anche altri materiali naturali sono stati più di recente rivalutati. Uno di questi è la **paglia**, anche se essa sconta tutt'ora una serie di pregiudizi legati all'immaginario comune che associa le abitazioni in paglia alle tradizionali capanne (ripari di fortuna sinonimo di povertà e disagio). Evidentemente questo non corrisponde al vero, infatti le moderne abitazioni isolate utilizzando elementi che derivano dalla paglia risultano efficienti sotto molti profili:

- Non emettono sostanze inquinanti e nocive negli ambienti;
- L'involucro edilizio risulta altamente traspirabile, fonoassorbente e resistente alle fiamme (la resistenza risultante all'incendio risulta ottima in quanto la paglia si trova compressa in balle che contengono una bassissima percentuale di ossigeno).

L'utilizzo della paglia di cui trattasi comparve per la prima volta nei primi del '900 in Nebraska. Le case di paglia sono poi state riprese intorno al 1970 e riadattate, man mano, alle mutate esigenze dell'edilizia moderna. Il valore delle abitazioni in paglia risiede nella evidente sostenibilità di un materiale organico, facilmente reperibile, leggero e interamente riciclabile una volta dismesso. Abbinata ad un intonaco naturale, la paglia è altamente traspirante e questo assicura un ricambio d'aria costante all'interno dell'abitazione, generalmente sufficiente ad evitare muffe e condense. Buone sono le potenzialità anche sul fronte dell'isolamento termico e acustico. La sua trasmittanza termica, infatti, si aggira tra valori che permettono di raggiungere facilmente ottimi requisiti energetici. Non a caso, la paglia viene utilizzata per la realizzazione di sistemi di isolamento, sia interni che esterni. Per quanto concerne la resistenza sismica, le abitazioni con involucro in paglia si dimostrano intrinsecamente più sicure rispetto alle tradizionali abitazioni in laterizio o calcestruzzo; avendo, infatti, una massa inferiore il materiale risente meno delle accelerazioni sismiche e la sua deformabilità e flessibilità permette un migliore assorbimento delle vibrazioni e delle deformazioni indotte dal fenomeno, riducendo la possibilità di fratture importanti e conseguenti necessità di ripristino.

Il risparmio economico diretto, in linea generale, si attesta intorno al 30 % rispetto ad involucri tradizionali. [5] [5.1]

3- Caso di studio

3.1 Esempi di progetti in Italia

Nell'ultimo decennio sono state progettate e costruite molteplici abitazioni isolate attraverso la paglia. Come esempi conosciuti possono essere citati:

- Il progetto curato da Archética di tre villette a schiera in balle di paglia realizzate a Fano. Struttura portante in legno mentre per le tamponature esterne sono state utilizzate balle di paglia fornite a Km zero da un fornitore del paese. Grazie all'alto isolamento termico-acustico delle pareti, unito all'installazione di pannelli solari termici e fotovoltaici, le abitazioni raggiungono uno standard di consumo energetico pari quasi a zero.
- Il progetto E.V.A. (Eco Villaggio Autocostruito) curato dagli architetti Paolo Robazza e Fabrizio Savini del BAG. Si tratta del progetto con maggiore eco mediatica, nata come segno di rinascita e ricostruzione dopo il sisma che ha colpito L'Aquila nell'aprile del 2009. Si tratta non solo di edilizia sostenibile ma di un vero e proprio modello comunitario basato sulla promozione delle attività agricole, artigianali e di un turismo rurale e responsabile. Le case sono state realizzate in paglia, l'energia elettrica è fornita da impianti fotovoltaici, mentre per l'irrigazione degli orti è stato realizzato un sistema di recupero delle acque piovane.



Figura 2- Villette a schiera in paglia realizzate da Archética a Fano



Figura 3-Eco villaggio Autocostruito, L'Aquila. Realizzato dopo il Terremoto

3.2 - Maisonéco

Nel 2014 i fondatori di Maisonéco, in collaborazione con Abito Paglia, hanno costruito un modulo abitativo di circa venti metri quadrati, progettato in legno e paglia. Per unire ecosostenibilità e versatilità è stato sviluppato un sistema a moduli prefabbricati, così da garantire tempi rapidi di costruzione. Ogni modulo è sia struttura portante che involucro isolante:

- Parte portante costituita da legno massiccio
- Parte isolante costituita da paglia compattata con intrecci paralleli alla parete per garantire un migliore isolamento termico

La struttura viene assemblata su travi in legno che si incastrano con i moduli formando una struttura compatta e diminuendo i ponti termici strutturali.

Trattandosi di un'abitazione prefabbricata da assemblare velocemente, anche come rifugi di fortuna in altura, le caratteristiche edilizie sono molto semplici e il numero di superfici trasparenti ridotte al minimo al fine di mettere in evidenza l'isolamento dovuto alla struttura in paglia.



Figura 4 – Casa di paglia (Maisonéco, AbitoPaglia) presso ISITIP Verrès

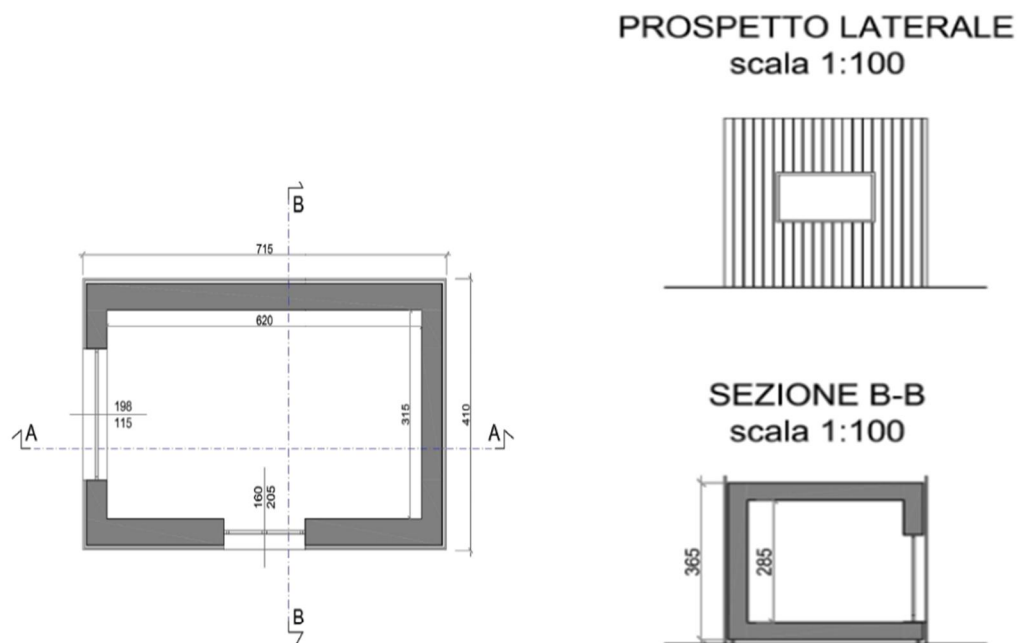


Figura 5- Pianta dello stabile

Superfici disperdenti (m ²)	Esposizione	A (m ²)
Parete verticale opaca	Sud	14,965
Parete verticale opaca	Nord	12,711
Parete verticale opaca	Ovest	22,8175
Parete verticale opaca	Est	26,0975
Parete orizzontale opaca		29,315
Soletta		29,315
Trasparente	Nord	2,254
Trasparente	Ovest	3,28
Totale sup. disperdenti		140,755
Volume lordo riscaldato(m ³)		106,9998
Volume netto riscaldato(m ³)		55,6605
Fattore di forma(S/V)		1,315

Tabella 1- Superfici disperdenti e volumi riscaldati

3.3 - Valore conducibilità termica della paglia

La conducibilità termica della paglia è stata calcolata per tre diversi periodi, rispettivamente periodo invernale, estivo e primaverile, dando chiaramente risposte diverse a causa dei differenti valori di T. I metodi di calcoli sono stati differenti:

1) Per il periodo invernale è stata utilizzato un calcolo approssimato utilizzando la seguente formula nella forma inversa per trovare la trasmittanza media della struttura da cui poi è stato ricavato il valore di conducibilità essendo, della parete, del solaio, della copertura e dei serramenti noti tutti i parametri eccezion fatta per la paglia.

Risulta evidente come questo calcolo, a differenza dei successivi, sia approssimato utilizzando i dati noti invernali.

$$\Phi = U * (T_i - T_e)$$

La superficie interna della struttura risulta essere pari a $140,755m^2$.

I risultati hanno evidenziato una trasmittanza media pari a $0,28654 \frac{W}{m^2 * K}$

Da cui è stato ricavato un valore di conducibilità pari a $0,1 \frac{W}{m * K}$

N.B: Per dettagli calcolo si faccia riferimento all'allegato 1.

2) Per il periodo primaverile è stato utilizzato il metodo delle medie progressive per calcolare il valore della U, noti i valori del termoflussimetro, da cui poi si è ricavata la conducibilità della paglia.

I risultati hanno evidenziato una trasmittanza media pari a $0,43 \frac{W}{m^2 * K}$

Da cui è stato ricavato un valore di conducibilità pari a $0,21 \frac{W}{m * K}$

N.B: Per dettagli calcolo si faccia riferimento all'allegato 2.

3) Anche per il periodo estivo è stato utilizzato lo stesso procedimento del periodo primaverile, in entrambi i casi per avere un delta T significativo la struttura è stata riscaldata fino a temperature ben al di sopra dei 30 °C.

I risultati hanno evidenziato, anche in queste condizioni, una trasmittanza media pari a $0,43 \frac{W}{m^2 * K}$

Da cui è stato ricavato un valore di conducibilità pari a $0,21 \frac{W}{m * K}$

N.B: Per dettagli calcolo si faccia riferimento all'allegato 2.

3.4 - Stratigrafie

Valuto inizialmente le prestazioni termiche dell'edificio considerando una conducibilità pari a $0,08 \frac{W}{m \cdot K}$, valore di riferimento per la paglia.

- Pareti verticali opache

Dall'esterno all'interno:

- 1) Copertura in legno: l'intera abitazione è circondata da copertura in legno di uno spessore di 2 cm con conducibilità termica pari a $0,14 (W/m^{\circ}C)$;
- 2) Intercapedine d'aria semi ventilata con spessore di 4 cm;
- 3) Barriera al vapore al fine di evitare penetrazioni di umidità tali da deteriorare la paglia;
- 4) Pannello OSB (Holzforschung) con uno spessore di 3 cm e una conducibilità termica pari a $0,13 (W/m^{\circ}C)$;
- 5) Paglia compressa dall'azienda Maisonéco con filamenti paralleli alla parete di spessore complessivo pari a $0,37$ cm;
- 6) Pannello OSB (Holzforschung) con uno spessore di 3 cm e una conducibilità termica pari a $0,13 (W/m^{\circ}C)$;



Figura 6 -
Dettaglio interno parete, paglia compressa

Utilizzando il file Excel del Professor Corrado [6], secondo la norma UNI EN ISO 13786:

Stratigrafia	s	ρ	μ	c	λ	R	opz.
(int-est)	[cm]	[kg/m ³]	[-]	[J/kg°C]	[W/m°C]	[m ² °C/W]	$\lambda \rightarrow R$
Strato liminare interno						0,13	
I Pannello OSB	3,0	650	202	1700	0,130		<input type="checkbox"/>
II Paglia	37,0	340	100	1900	0,080		<input type="checkbox"/>
III Pannello OSB	3,0	650	202	1700	0,130		<input type="checkbox"/>
IV Barriera al vapore	0,2	110	1700	1800	0,400		<input type="checkbox"/>
V							<input type="checkbox"/>
VI							<input type="checkbox"/>
VII							<input type="checkbox"/>
VIII							<input type="checkbox"/>
IX							<input type="checkbox"/>
X							<input type="checkbox"/>
Strato liminare esterno						0,04	

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammetenza termica interna (Y_{ii})	2,342 W/(m ² K)	2,63 h
Ammetenza termica esterna (Y_{ee})	2,757 W/(m ² K)	3,21 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0,002 W/(m ² K)	-2,03 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	32,2 kJ/(m ² K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	37,9 kJ/(m ² K)	
Resistenza termica (R)	5,262 (m ² K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,190 W/(m ² K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,013	

Spessore (s)	43,2 cm	
Massa superficiale (m)	165 kg/m ²	
Sfasamento (ϕ)	2,03 h	

Tabelle 2,3 – Foglio di calcolo con rispettive stratigrafie e risultati relativi ai parametri dinamici

N.B: essendo la parete semi-ventilata dovrei utilizzare, per la resistenza, la formula:

$$\frac{1500-A_v}{1000} * R_{t,u} + \frac{A_v-500}{1000} * R_{t,v}$$

u= non ventilata;

v= fortemente ventilata

Si preferisce trascurare visto il ridotto spessore!

N.B: i valori di sfasamento negativi vanno interpretati come 24 più il modulo del numero negativo.

I risultati del file sono stati confrontati con quelli dati dal software Termolog risultando pressoché identici.

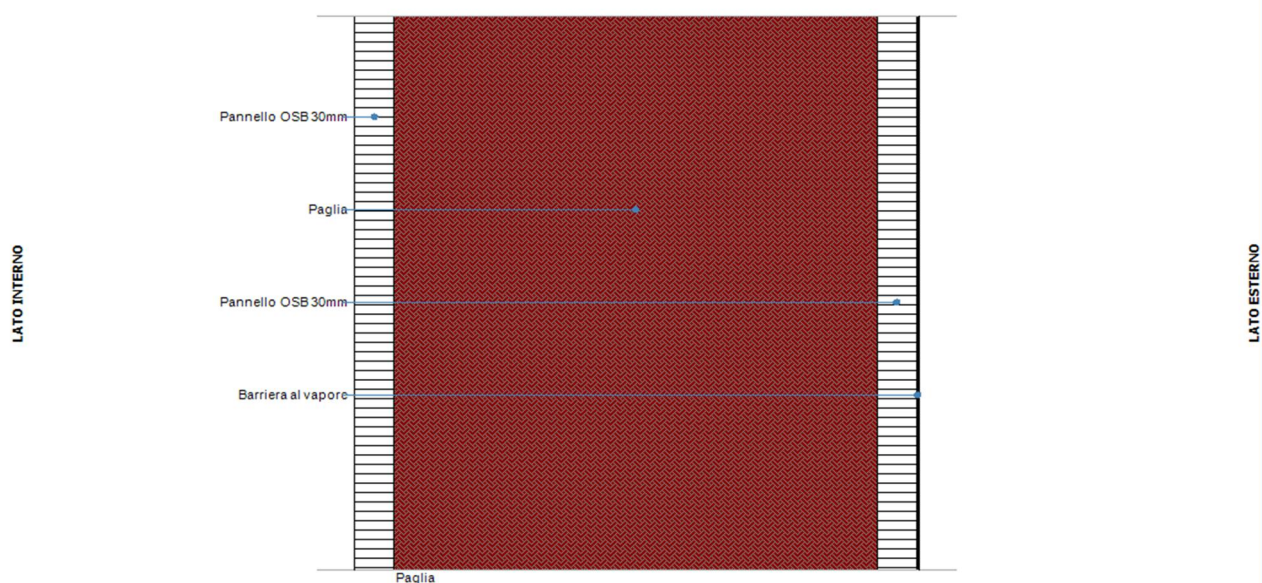


Figura 7 - Rappresentazione effettuata dal software Termolog della parete verticale

- Soletta (pavimento)

Dal pavimento verso il basso:

- 1) Pavimento in legno;
- 2) Pannello OSB (Holzforschung) con uno spessore di 3 cm e una conducibilità termica pari a 0,13 (W/m*°C);
- 3) Paglia compressa dall'azienda Maisonéco con filamenti paralleli alla parete di spessore complessivo pari a 0,37 cm;
- 4) Pannello OSB (Holzforschung) con uno spessore di 3 cm e una conducibilità termica pari a 0,13 (W/m*°C);
- 5) Barriera al vapore;
- 6) Intercapedine d'aria: l'edificio risulta rialzato dal terreno e l'intercapedine risulta chiusa dalle assi esterne delle pareti verticali;



Figura 8 -

Pannello OSB,
dettaglio

Utilizzando il file Excel del Professor Corrado [6]:

Tipo di componente		Chiusura orizzontale inferiore						opz.
Stratigrafia (int-est)	s [cm]	ρ [kg/m³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m²C/W]	λ→R	
Strato liminare interno							0,17	
I	Pavimento in legno	2,0	550	44	2700	0,140		<input type="checkbox"/>
II	Pannello OSB	3,0	650	202	1700	0,130		<input type="checkbox"/>
III	Paglia	37,0	340	100	1900	0,080		<input type="checkbox"/>
IV	Pannello OSB	3,0	650	202	1700	0,130		<input type="checkbox"/>
V	Barriera al vapore	0,2	110	1700	1800	0,400		<input type="checkbox"/>
VI								<input type="checkbox"/>
VII								<input type="checkbox"/>
VIII								<input type="checkbox"/>
IX								<input type="checkbox"/>
X								<input type="checkbox"/>
Strato liminare esterno							0,04	

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammetenza termica interna (Y _{ti})	2,536 W/(m²K)	2,18 h
Ammetenza termica esterna (Y _{te})	2,757 W/(m²K)	3,22 h
Trasmittanza termica periodica (Y _{ie})	0,002 W/(m²K)	-3,91 h
Capacità termica areica interna (κ _i)	34,9 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ _e)	37,9 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	5,444 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,184 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,009	

Spessore (s)	45,2 cm	
Massa superficiale (m)	176 kg/m²	
Sfasamento (φ)	3,91 h	

Tabelle 4,5 – Foglio di calcolo con rispettive stratigrafie e risultati relativi ai parametri dinamici

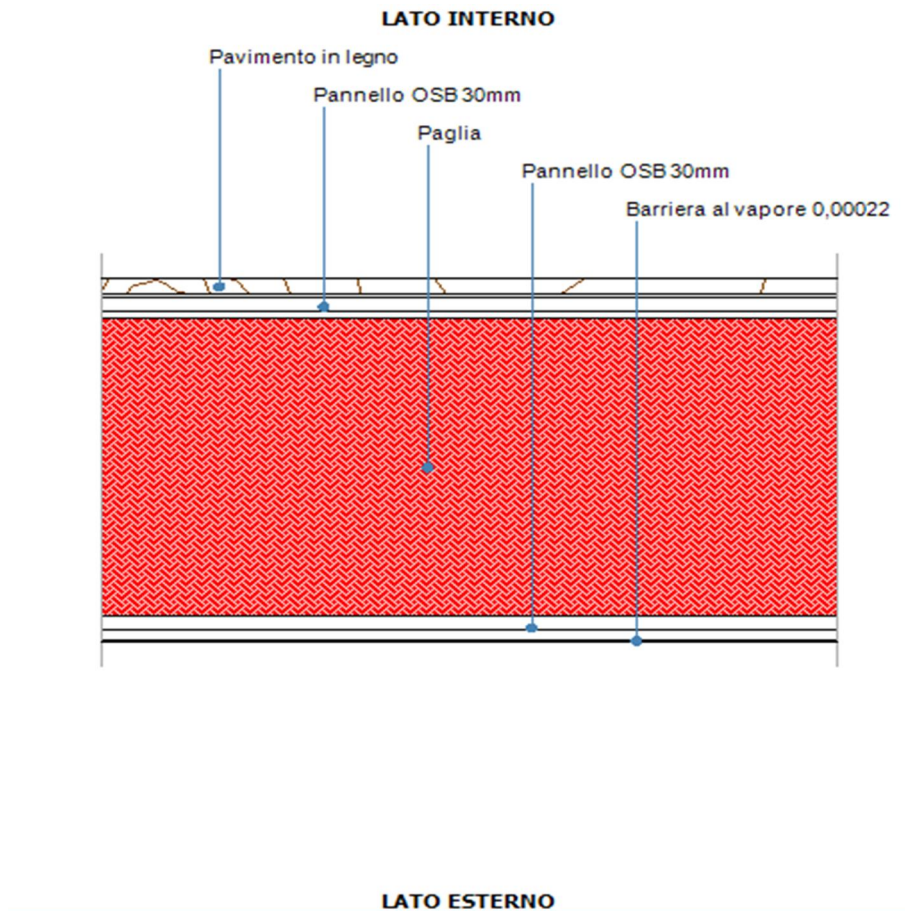


Figura 9 - Rappresentazione effettuata dal software Termolog della soletta (pavimento)

- Copertura(soffitto)

Dall'interno verso l'alto:

- 1) Lamina di compensato;
- 2) Intercapedine d'aria con spessore di 2 cm;
- 3) Pannello OSB (Holzforschung) con uno spessore di 3 cm e una conducibilità termica pari a 0,13 (W/m*°C);
- 4) Paglia compressa dall'azienda Maisonéco con filamenti paralleli alla parete di spessore complessivo pari a 0,37 cm;
- 5) Pannello OSB (Holzforschung) con uno spessore di 3 cm e una conducibilità termica pari a 0,13 (W/m*°C);
- 6) Barriera al vapore;
- 7) Intercapedine d'aria tra la struttura e un tetto che risulta rialzato di 20 cm;
- 8) Copertura con ghiaia;

Utilizzando il file Excel del Professor Corrado [6]:

Tipo di componente		Chiusura superiore						
Stratigrafia (int-est)	s [cm]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m ² C/W]	opz. $\lambda \rightarrow R$	
Strato liminare interno							0,10	
I Compensato	2,0	630	200	1700	0,140		<input type="checkbox"/>	
II Intercapedine d'aria	5,0	1	1	1		0,11	<input checked="" type="checkbox"/>	
III Pannello OSB	3,0	650	202	1700	0,130		<input type="checkbox"/>	
IV Paglia	37,0	340	100	1900	0,080		<input type="checkbox"/>	
V Pannello OSB	3,0	650	202	1700	0,130		<input type="checkbox"/>	
VI Barriera al vapore	0,2	110	1700	1800	0,400		<input type="checkbox"/>	
VII Intercapedine d'aria	20,0	1	1	1		0,16	<input checked="" type="checkbox"/>	
VIII Legno	2,0	550	44	2700	0,140		<input type="checkbox"/>	
IX Ghiaia	4,0	1700	5	840	1,200		<input type="checkbox"/>	
X							<input type="checkbox"/>	
Strato liminare esterno							0,04	

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	2,371 W/(m ² K)	2,59 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	5,788 W/(m ² K)	3,73 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0,001 W/(m ² K)	-6,85 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	32,6 kJ/(m ² K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	79,6 kJ/(m ² K)	
Resistenza termica (R)	5,821 (m ² K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,172 W/(m ² K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,005	

Spessore (s)	76,2 cm	
Massa superficiale (m)	257 kg/m ²	
Sfasamento (ϕ)	6,85 h	

Tabella 6,7 – Foglio di calcolo con rispettive stratigrafie e risultati relativi ai parametri dinamici

N.B: per tutti i valori (tra cui le conducibilità) si è utilizzata, oltre ai dati di progetto, la Norma UNI 10351.

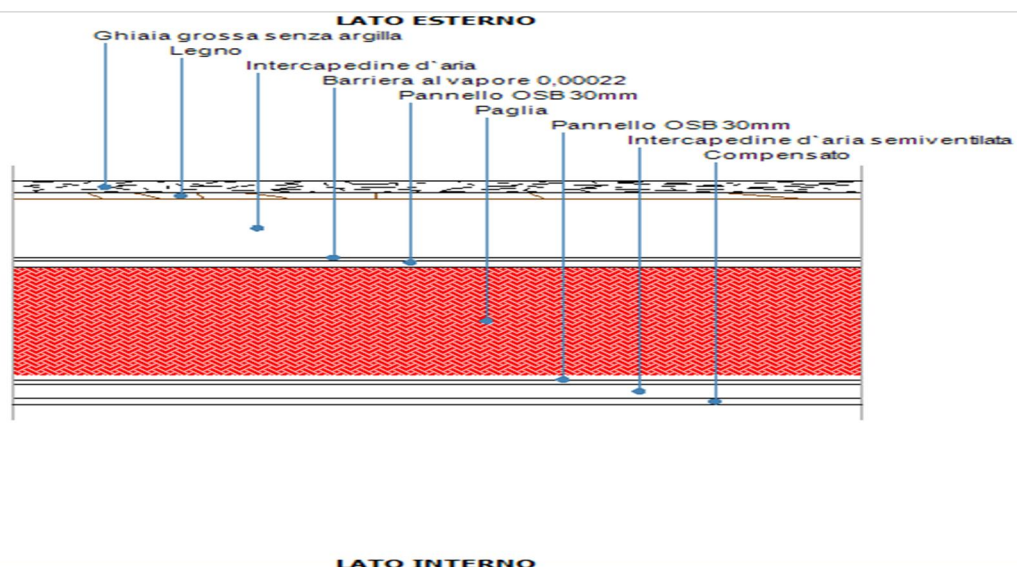


Figura 10 – Rappresentazione effettuata dal software Termolog della copertura orizzontale

Si può notare come in tutte le stratigrafie l'isolante sia verso l'interno. Questo è dovuto al fatto che queste abitazioni sono nate per essere perlopiù utilizzate come rifugi o B&B e quindi, non essendo sempre occupate, si è preferito un edificio cosiddetto "leggero" (capacità termica interna bassa) così da poter riscaldare velocemente la struttura.

Inoltre tutte i valori di trasmittanza sono inferiori a quelli imposti da normativa per la zona climatica corrispondente. [7]

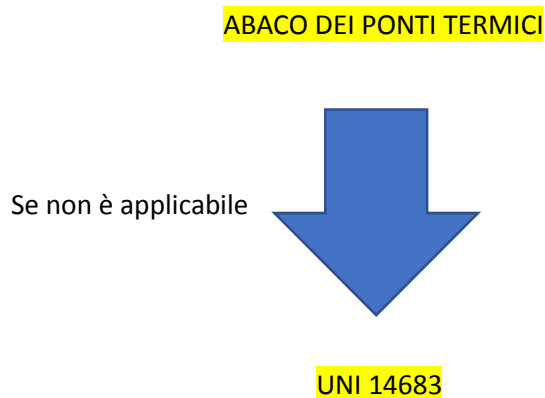
3.5 Ponti termici

I ponti sono facilmente evidenziabili attraverso una analisi termografica che sfrutta la radiazione infrarossa.

Lo studio e l'analisi termografica effettuati in precedenza dal Professor Ferrarese evidenziarono che "la struttura è assemblata con una particolare attenzione; infatti tra i vari blocchi che la costituiscono non vi sono quasi differenze termiche rilevanti. Un'altra particolare accuratezza costruttiva si osserva nelle giunzioni tra infissi e pareti poiché è presente uno stato isolante aggiunto per compensare la discontinuità strutturale così critica e per diminuire al massimo i ponti termici". [8]

METODI DI CALCOLO:

Il metodo di calcolo adottato è il seguente :



Abaco dei ponti termici:

Validità:

- Condizioni geometriche definite;
- Campo di validità specifico per ogni ponte termico.

Accuratezza:

- Specificità dei risultati;
- Maggiore precisione.

UNI 14683:

Validità:

- Condizioni geometriche meno definite;
- Minor numero di condizioni al contorno;

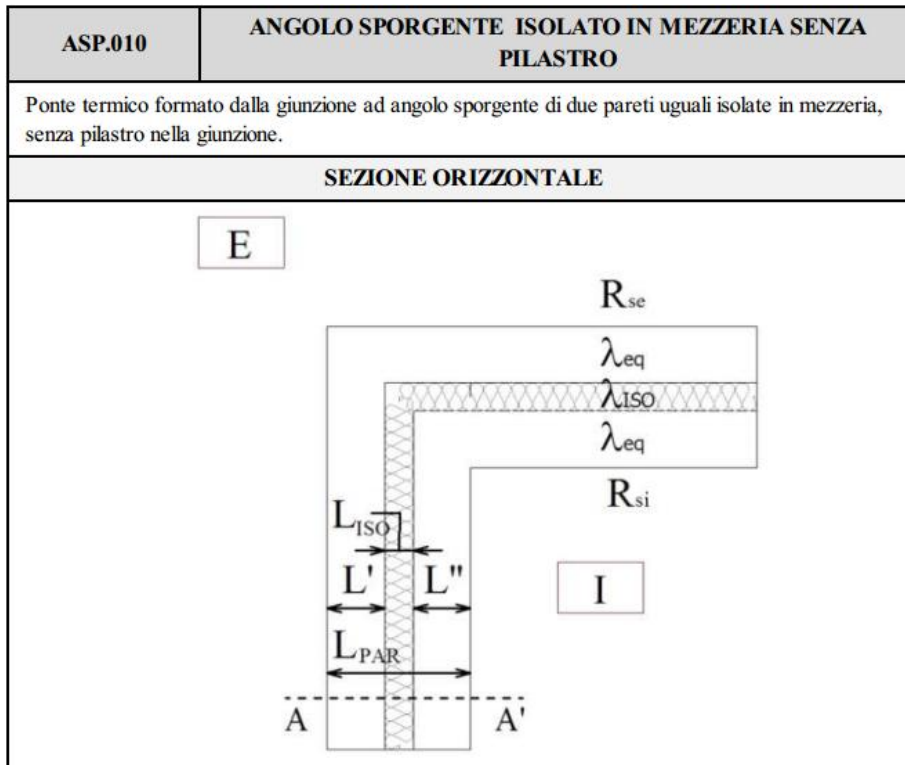
Accuratezza:

- Uniformità dei risultati;
- Minor precisione.

1) Angolo sporgente:

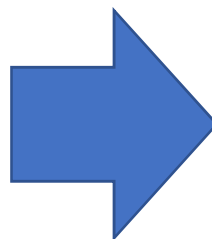
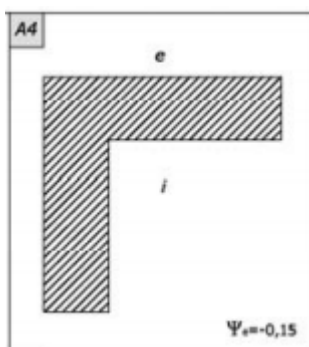
Ponte termico formato dalla giunzione ad angolo sporgente di due pareti uguali, senza pilastro nella giunzione.

- Riferimento a abaco CENED:



Campo di validità	Limite	Reale	
U_{par} [W/(m ² K)]	0,17-0,58	0,23299	OK
λ_{eq} [W/(mK)]	0,23-0,81	0,132893	NO

- Riferimento all'UNI 14683:

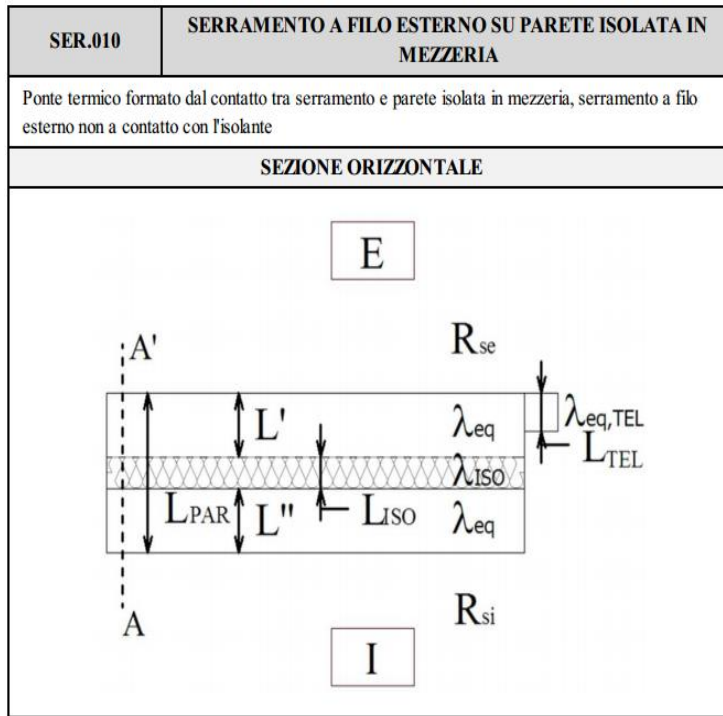


$$\psi_e = -0,15$$

2) SERRAMENTO:

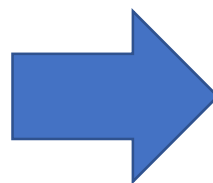
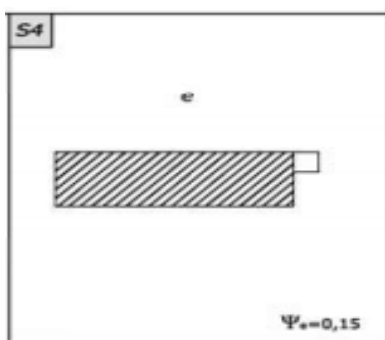
Ponte termico formato dal contatto tra il serramento e la parete isolata in mezzeria, serramento a filo esterno.

- Riferimento a abaco CENED:



Campo di validità	Limite	Reale	
U_{par} [W/(m ² K)]	0,17-0,58	0,23299	OK
λ_{eq} [W/(mK)]	0,23-0,81	0,132893	NO

- Riferimento all'UNI 14683:

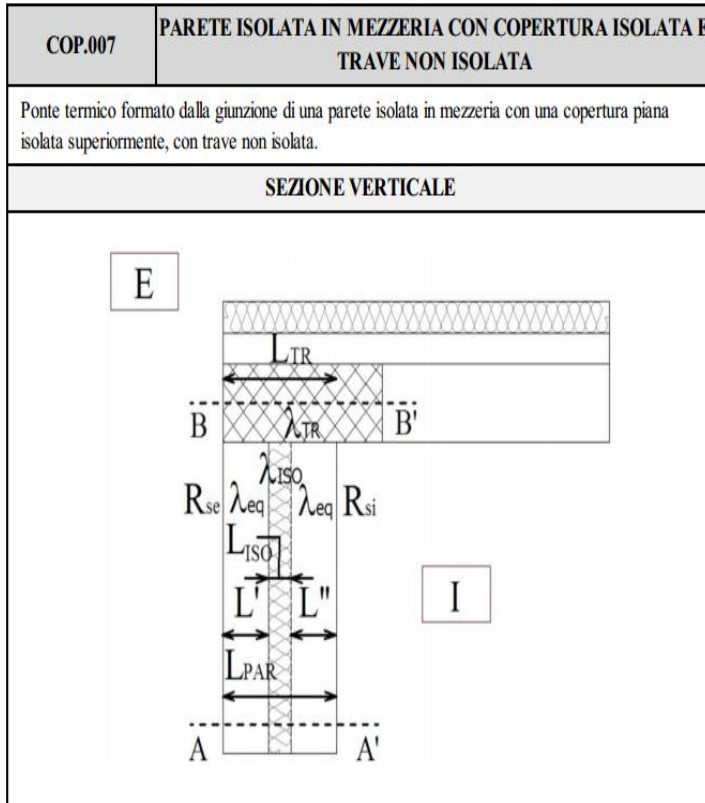


$$\psi_e = 0,15$$

3) COPERTURA:

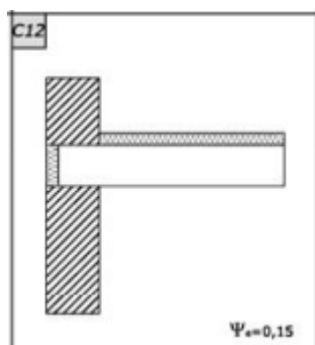
Ponte termico formato dalla giunzione tra parete e copertura piana.

- Riferimento all'abaco CENED:



Campo di validità	Limite	Reale	
λ_{eq} [W/(mK)]	0,23-0,81	0,132893	NO

- Riferimento all'UNI 14683:



$$\psi_e = 0,15$$

Solaio-parete		
Lunghezza [m]	[W/mK]	Hpt[W/K]
18,7	0,15	2,805
Angoli sporgenti		
Lunghezza [m]	[W/mK]	Hpt[W/K]
11,4	-0,15	-1,71
Parete-serramento		
Lunghezza [m]	[W/mK]	Hpt[W/K]
7,3	0,15	1,095



$$H_{tot,pt} = 2,19 \frac{W}{K}$$

3.6 - Involucri trasparenti

I serramenti comprendono finestre non bassoemissive a doppio vetro (vetrocamera) caratterizzato da uno strato di vetro dello spessore di 4 millimetri seguito da una camera sotto vuoto (N.B: non contiene né argon né krypton) dello spessore di 15 millimetri, uno strato finale di vetro dello stesso spessore del primo.

$$U = 1,4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

3.7 - Ricambi d'aria

Ipotizzando un ricambio d'aria equivalente a quello utilizzato per le abitazioni civili, $0,5 \frac{\text{ricambi}}{h}$ (da UNI TS 11300 1 e UNI 10339),:

$$v'_{aria} = 0,5 \frac{\text{ricambi}}{h} * 55,6605 m^3 = 27,8303 \frac{m^3}{h} = 0,00773 \frac{m^3}{s}$$

Determinazione della portata d'aria (di calcolo) effettiva

$$m'_{aria} = \rho_{aria} * v'_{aria} = 1,2 \frac{kg}{m^3} * 0,00773 \frac{m^3}{s} = 0,00928 \frac{kg}{s}$$

Coefficiente globale di scambio termico per ventilazione

$$H_{ve} = c_a * m'_{aria} = 1005 \frac{J}{kg \cdot K} * 0,00928 \frac{kg}{s} = 9,326 \frac{W}{K}$$

I risultati ottenuti utilizzando il blower door system risultano profondamente diversi. I risultati indicano che i ricambi d'aria si attestano a $0,75 \frac{\text{ricambi}}{h}$. Questo risultato è credibile in quanto la struttura è caratterizzata da una forte traspirabilità, e quindi le infiltrazioni d'aria sono di notevole entità.



Figura 11 -
Blower door system

4 - Modalità di calcolo delle prestazioni energetiche

4.1- Modalità di valutazione

Il calcolo delle prestazioni energetiche di un edificio può essere svolto con modalità differenti.

Il quadro dei diversi metodi è fornito dalla UNI EN ISO 15603:

Modalità di valutazione		Dati di ingresso			Scopo ed applicazione	
		Uso	Clima	Edificio	Scopo	Edificio
A1	Di progetto (design rating)	Standard	Standard	Di progetto	Verifiche di legge/certificazione energetica	Nuovo, ristrutturazione o compravendita
A2	Standard (asset rating)	Standard	Standard	Reale		
A3	Adattata all'utenza (tailored rating)	In funzione dello scopo	In funzione dello scopo	Reale	Diagnosi energetica	Esistente

Figura 12 - Tipologie di valutazione energetica da UNI/TS 11300-1

Per le prime due, A1 e A2, lo scopo è quello di determinare indicatori energetici, i quali consentano di classificare gli edifici, e di verificarne i requisiti rispetto a prestazioni di riferimento (renderli tra loro confrontabili). Al fine di perseguire tale obiettivo, occorre fondare il calcolo su parametri ed impostazioni convenzionali, funzione, ad esempio, della località o della destinazione d'uso, prescindendo quindi dalle tipicità di ogni edificio.

In caso di diagnosi energetica l'obiettivo invece è tutt'altro, vale a dire costruire un modello di calcolo il più possibile fedele alla realtà, tenendo conto di tutti gli specifici aspetti caratterizzanti l'edificio considerato.

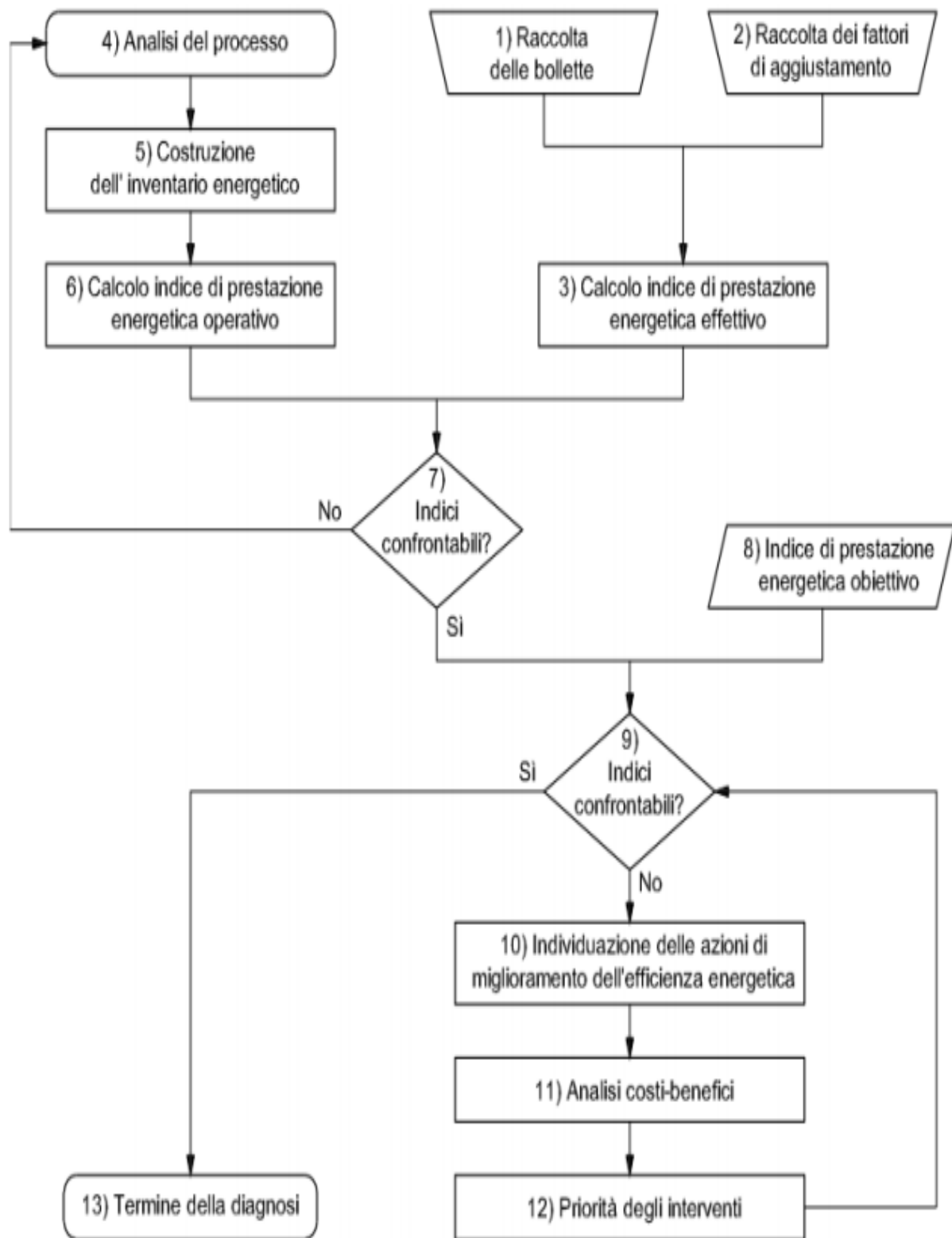


Figura 13 - Flow chart del processo di diagnosi energetica

L'UNI CEI TR 114285:2011 definisce i requisiti generali della diagnosi energetica suddivisi nei seguenti punti:

1. Raccolta delle bollette per ricostruire i consumi effettivi di combustibile nel periodo d'interesse, nel caso in esame l'anno 2017;
2. Identificazione dei dati dell'edificio e dei fattori di aggiustamento (superficie e volume utile) a cui riferire i consumi;
3. Calcolo dell'indice di prestazione energetica effettivo in $\frac{kWh}{m^2 \cdot anno}$ ovvero l'energia rispetto al fattore di aggiustamento scelto ossia della "Grandezza quantificabile che influenza il consumo energetico utilizzata per normalizzare e confrontare in modo omogeneo i consumi, periodo per periodo" [9];
4. Raccolta delle informazioni necessarie allo svolgimento della diagnosi;
5. Costruzione di un inventario energetico elettrico e termico dell'edificio (in questo caso solo termico);
6. Calcolo dell'indice di prestazione energetica operativo;
7. Confronto tra i due indici. Se sono paragonabili, ovvero hanno uno scostamento accettabile, si può proseguire al punto successivo; altrimenti si torna al passaggio 4 individuando le cause della mancata convergenza;
8. Definizione di un indice di prestazione energetica obiettivo definito come risparmio energetico desiderato;
9. Confronto tra i due indici. Se sono comparabili si termina la diagnosi; altrimenti si passa al punto 10;
10. Individuazione delle misure di miglioramento dell'efficienza che consentano il riallineamento degli indici. Come per esempio: aumento dell'isolamento, sostituzione dei componenti disperdenti, integrazione con fonti rinnovabili;
11. Analisi di fattibilità tecnico-economiche;
12. Individuazione degli interventi prioritari;
13. Se gli interventi permettono di ottenere un indice confrontabile con il valore obiettivo la diagnosi è conclusa.

Il passaggio finale del modello così costruito è la valutazione dei consumi (nello specifico il fabbisogno di combustibile, di energia elettrica e, in generale, di ciascun vettore energetico utilizzato dall'edificio).

I consumi calcolati vanno successivamente confrontati con quelli reali ai fini della validazione del modello di calcolo.

4.2 - Cenni normativi

In Italia è possibile costruire case di paglia. Per costruirle, però, è necessario rispettare parametri di progettazione differenti dalle case tradizionali. La normativa italiana entrata in vigore nel 2010 non consente di impiegare la paglia come elemento strutturale e cioè, ad esempio, con la tecnica autoportante utilizzata in Nebraska. A causa delle norme antisismiche risulta necessaria una struttura portante da riempire con le balle di paglia.

Trattandosi di case vere e proprie per poterle costruire occorre presentare regolare progetto all'Ufficio tecnico del Comune preposto. [10] Il progetto dovrà essere realizzato e firmato da un professionista abilitato e sottoposto all'approvazione del Comune per l'ottenimento del permesso di costruzione. La progettazione deve prevedere anche la costruzione in legno o acciaio che faccia da scheletro alla struttura, da riempire poi con le balle di paglia. Questo sistema rende estremamente sicura e flessibile la casa in caso di terremoto. Da notare come già due associazioni siano sorte per la promozione delle costruzioni in paglia, Edilpaglia e A.R.I.A le quali offrono servizi di supporto e consulenza normativa per la realizzazione di queste abitazioni.

Per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici si può far riferimento alla norma tecnica UNI/TS 11300 che definisce una metodologia di calcolo univoco. Questa si suddivide in sei parti:

Parte 1: determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale

Parte 2: determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali

Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva

Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e altri metodi di generazione per la climatizzazione e per la produzione di acqua calda sanitaria

Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili

Parte 6: Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori e scale mobili

Ipotesi normativa UNI TS 11300:

- Si affrontano le sole problematiche legate al calore sensibile;
- L'ambiente interno è considerato come un sistema termodinamico costituito dal volume d'aria racchiuso dall'involucro edilizio;
- Il suddetto volume è limitato da una superficie di confine costituito dalla faccia interna delle pareti che racchiudono lo spazio riscaldato;
- Tale sistema termodinamico è aperto (infiltrazioni o ventilazione);
- Per flussi d'aria si assume che siano monodimensionali;
- T_{int} viene considerata costante;

Per l'utilizzo dei dati climatici, per il calcolo orario e mensile dei fabbisogni energetici degli edifici in regime standard, nelle zone climatiche Italiane, si deve far uso della norma UNI 10349 del 4 aprile 2016 che è suddivisa in tre parti:

UNI 10349-1: Riscaldamento e raffrescamento degli edifici

– Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata.

UNI 10349-2: Riscaldamento e raffrescamento degli edifici

-Parte 2: Dati di progetto.

UNI 10349-3: Riscaldamento e raffrescamento degli edifici

– Parte 3: Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno) ed altri indici.

4.3 – Dati climatici

Località: Verrès

Altitudine: 271 m.s.l.m.

Gradi giorno: 2793

Zona climatica: E [11]

Latitudine 45°40'3''00 N

Longitudine 07°41'24''72 E

Temperatura di progetto invernale aria esterna: -15 °C (da norma UNI 5364 e UNI 10349)

Temperatura di progetto invernale aria interna: 20 °C

Durata stagione riscaldamento zona E: 15 Ottobre- 15 Aprile

N.B:

1. Le temperature medie mensili dell'aria esterna (e) per la città di Aosta sono quelle riportate nella norma UNI 10349.
2. Le temperature medie mensili dell'aria esterna (e) per le altre località sono ricavate a partire dai valori riportati nella norma UNI 10349 per la città di Aosta, corretti in base all'altitudine della località considerata, secondo quanto riportato nella medesima norma, utilizzando un gradiente di temperatura pari a $1/178$ °C/m.
3. La temperatura media annuale dell'aria esterna (me) è calcolata come media pesata su un anno delle temperature esterne medie mensili e.
4. Le temperature medie giornaliere dell'aria esterna (e,day) sono ricavate per interpolazione lineare dai dati di temperatura media mensile e. La procedura di interpolazione prevede che siano attribuiti i valori medi mensili di temperatura dell'aria esterna (e) al quindicesimo giorno di ciascun mese.
5. Quando è richiesto il dato di temperatura media relativa ad un periodo temporale di una frazione di mese, tale valore è calcolato come media delle temperature medie giornaliere rispetto all'effettivo numero di giorni compresi nel periodo considerato. Per semplicità, anche tale valore è indicato con il simbolo e.
6. La temperatura media stagionale dell'aria esterna per la stagione di riscaldamento è calcolata come media delle temperature medie giornaliere e,day dei giorni compresi nella stagione di riscaldamento.
7. La temperatura esterna di progetto invernale è ricavata dalla norma UNI 5364, e dipende dalla collocazione geografica della località

4.4 – Calcolo di progetto delle prestazioni invernali

Fine: determinare la massima sollecitazione al fine del dimensionamento dell'impianto di riscaldamento (vengono quindi omessi gli apporti gratuiti interni e solari!)

$$\dot{Q}_{risc} = \dot{Q}_{tr,OP} + \dot{Q}_{tr,W} + \dot{Q}_{tr,PT} + \dot{Q}_{ve}$$

Trasmissione:

$$\dot{Q}_{tr} = \dot{Q}_{tr,OP} + \dot{Q}_{tr,W} + \dot{Q}_{tr,PT} \quad [W]$$

PARETI OPACHE VERSO L'ESTERNO	$U_{tr,OP}$ [W/m ² K]	A_{OP} [m ²]	$H_{tr,OP}$ [W/K]	ΔT [°C]	$\dot{Q}_{tr,OP}$ [W]
Parete esterna verso Sud	0,190	14,965	2,8434	35	99,519
Parete esterna verso Nord	0,190	12,711	2,4151	35	84,528
Parete esterne verso Est	0,190	26,0975	4,9585	35	173,547
Parete esterna verso Ovest	0,190	22,8175	4,3353	35	151,735
Soletta	0,184	29,315	5,394	35	188,79
Copertura	0,172	29,315	5,0422	35	176,477
Totale			24,988		874,596

Tabella 8 - Calcolo di $\dot{Q}_{tr,OP}$

SUPERFICI TRASPARENTI VERSO L'ESTERNO	$U_{tr,W}$ [W/m ² K]	A_w [m ²]	$H_{tr,W}$ [W/K]	ΔT [°C]	$\dot{Q}_{tr,W}$ [W]
Finestra Nord	1,4	2,254	3,156	35	110,446
Finestra Ovest	1,4	3,28	4,592	35	160,720
Totale			7,748		271,166

Tabella 9 – Calcolo di $\dot{Q}_{tr,W}$

PONTI TERMICI	$\Psi_{tr,PT}$ [W/m*K]	L [m]	$H_{tr,PT}$ [W/K]	ΔT [°C]	$\dot{Q}_{tr,PT}$ [W]
Angoli tra pareti esterne	0,15	18,7	2,805	35	98,175
Nodi parete/serramenti	0,15	7,3	1,095	35	38,325
Parete verticale/copertura	-0,15	11,4	-1,71	35	-59,85
Totale			2,19		76,65

Tabella 10 - Calcolo di $\dot{Q}_{tr,PT}$

$$H_{tr} = H_{tr,OP} + H_{tr,W} + H_{tr,PT} = 24,988 + 7,748 + 2,19 = 34,926 \left[\frac{W}{K} \right]$$

$$\dot{Q}_{tr} = \dot{Q}_{tr,OP} + \dot{Q}_{tr,W} + \dot{Q}_{tr,PT} = 874,596 + 271,166 + 76,65 = 1222,412 [W]$$

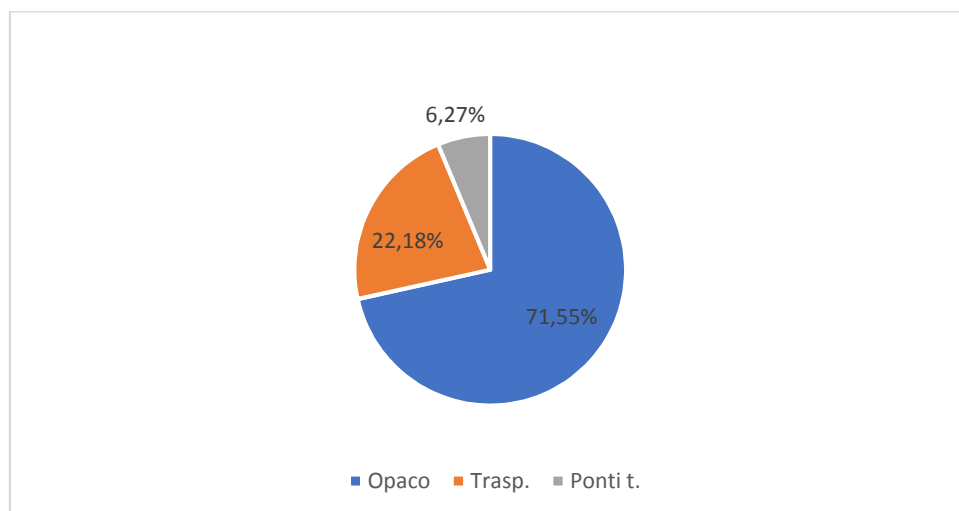


Grafico 1 - Ripartizione percentuale delle dispersioni termiche per trasmissione (Excel)

Ventilazione:

Calcolo del flusso termico disperso per ventilazione:

$$\dot{Q}_{ve} = H_{ve} \cdot (T_{ai} - T_{ae}) = 9,326 \frac{W}{^{\circ}C} * 35 ^{\circ}C = 326,41 [W]$$

Ne deriva che le dispersioni in caso di progetto siano le seguenti:

$$\dot{Q}_{ht} = \dot{Q}_{tr} + \dot{Q}_{ve} \quad \text{con } \Delta T = 35 ^{\circ}C$$

\dot{Q}_{tr}	1164,137 [W]	78,1 %
\dot{Q}_{ve}	326,41 [W]	21,9 %
\dot{Q}_{ht}	1490,547 [W]	100 %

5 - Certificazione energetica dell'edificio e diagnosi energetica

5.1 Motivazioni legate alla certificazione

Nel 2009 viene pubblicato il D.P.R. n.59 il quale definisce i criteri, le metodologie di calcolo e i requisiti da soddisfare concernenti la prestazione energetica dell'edificio e degli impianti termici per la climatizzazione invernale e estiva, la preparazione dell'acqua calda (ACS) e per l'illuminazione artificiale degli edifici (limitatamente al terziario).

Il D.M: 26/06/09 ("Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici") entrato in vigore il 25/07/09 rende obbligatorio in tutto il territorio nazionale la certificazione energetica eseguita da un soggetto indipendente con il rilascio dell'Attestato di Certificazione Energetica (ACE).

Il D.M. 22/11/12 elimina la possibilità per alcune tipologie di immobile dell'autocertificazione della classe energetica più bassa, la G.

Infine viene pubblicato nel 2013 il D.L. 63/13 il quale indica nuove regole per l'efficienza del dominio edilizio e rende obbligatorio l'APE (Attestato di Prestazione Energetica).

Oggi la certificazione energetica è un elemento utile anche per valutare il valore economico di un edificio e, inoltre, può aumentare o diminuire l'appeal della struttura su un possibile acquirente.

Al giorno d'oggi gli edifici vengono classificati attraverso targhe energetiche che mostrano la quantità di energia richiesta dall'edificio annualmente per mantenere un livello determinato, da normative, di confort termoigrometrico. Il sistema di classificazioni è a classi dalla A (la migliore) alla G (la peggiore).

In un mondo in cui ormai la maggior parte della popolazione è conscia dei problemi climatici legati all'inquinamento atmosferico l'APE risulta uno strumento fondamentale per incentivare la costruzione di edifici ad elevata efficienza energetica.



Figura 14 - Classi energetiche

La procedura di calcolo utilizzata per la certificazione è definita dalla UNI TS 11300 parte 1 (calcolo del fabbisogno termico dell'involucro) e parte 2 (valutazione fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e ACS).

Nell' Ottobre 2015 l'entrata in vigore di nuovi decreti determina un cambiamento nella valutazione della classe energetica dell'edificio. Da allora, infatti, essa viene determinata in base all'indice di prestazione energetica globale dell'edificio per tutti i servizi presenti. I limiti tra le classi non sono più legati al fattore di forma dell'edificio ma calcolati in funzione dell'indice di prestazione globale (in $\frac{kWh}{m^2}$) dell'edificio di riferimento. Questo fa sì che ogni edificio abbia la propria scala di classificazione.

5.2 – Step per arrivare alla certificazione e alla diagnosi

Procedimento per il calcolo della richiesta di energia termica dell'edificio [13]:

- Definire i confini dello spazio riscaldato e delle zone non riscaldate
- Valutare per gli spazi riscaldati il coefficiente di dispersione termica per trasmissione
- Valutare per tali spazi il coefficiente di dispersione per ventilazione
- Definire la T interna (18 °C per categoria di edifici E 8, industrie, 20 °C per le altre) N.B: è ammessa tolleranza di 2 °C
- Valutare T esterna media (database TERMOLOG e stazione meteo)
- Valutare periodo di funzionamento impianto (da UNI TS 11300)
- Calcolare le dispersioni termiche per trasmissione e ventilazione
- Calcolare gli apporti di calore interni
- Calcolare apporti solari
- Calcolare il calore fornito nell'intera stagione agli ambienti mediante l'impianto di riscaldamento

N.B:

- Se ci sono diverse zone termiche la procedura si ripete per ogni zona
- Se ho vicino una zona riscaldata dovrò pormi sulla mezzera delle due zone

Il bilancio va esteso a tutta la stagione di riscaldamento che per la zona a cui appartiene l'edificio, zona E, va dal 15 Ottobre al 15 Aprile. Questo periodo viene definito a partire dal grado giorno, vale a dire la sommatoria estesa a tutti i giorni di riscaldamento della differenza di T tra quella ambiente (20°C) e quella esterna media giornaliera. La stagione si ferma quando per tre giorni consecutivi la T media esterna risulta maggiore di 12 °C, mentre inizia quando per tre giorni consecutivi risulta inferiore a 12 °C.

La classificazione climatica dei comuni italiani è stata introdotta dal D.P.R. n. 412 del 26 agosto 1993. L'articolo 2 comma 1, del decreto sopra citato sancisce che:

«Il territorio nazionale è suddiviso nelle seguenti sei zone climatiche in funzione dei gradi -giorno, indipendentemente dalla ubicazione geografica:

Zona A: comuni che presentano un numero di gradi-giorno non superiore a 600;

Zona B: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 600 e non superiore a 900;

Zona C: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 900 e non superiore a 1.400;

Zona D: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 1.400 e non superiore a 2.100;

Zona E: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 2.100 e non superiore a 3.000;

Zona F: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 3.000.»

Il fabbisogno globale di energia termica si ottiene sommando i contributi relativi ai vari intervalli di tempo di cui è composta la stagione di riscaldamento nei quali si può considerare costante la T esterna media.

Risulta evidente che i calcoli da effettuare siano molteplici e non semplici, quindi per una maggiore accuratezza di calcolo e precisione di informazione per il caso di studio mi avvarrò dell'ausilio del programma **TERMOLOG EpiX 8**.

T media esterna:

Da database TERMOLOG:

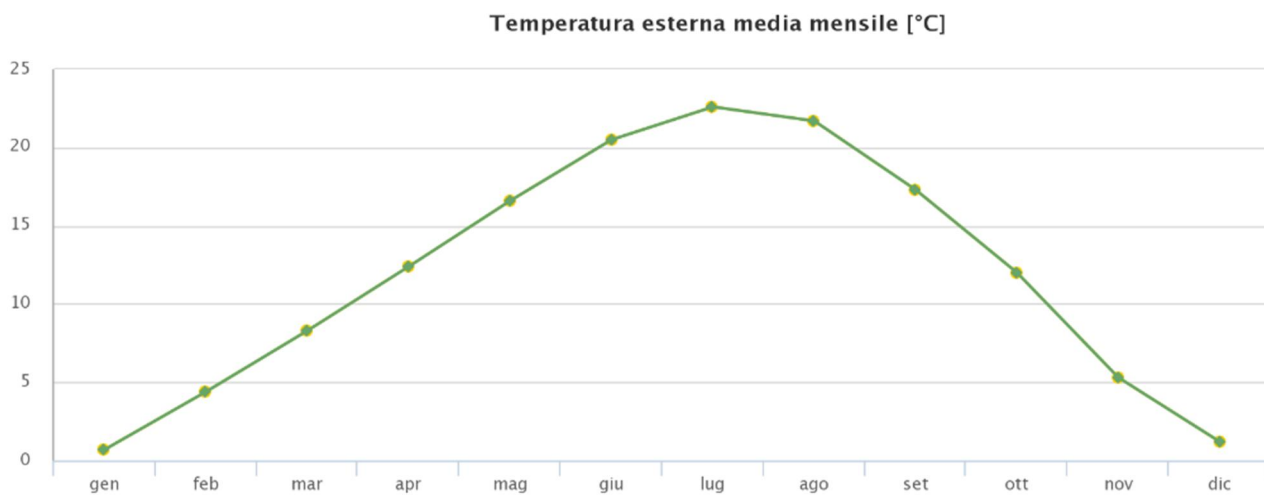


Figura 15 - T esterna media standard, da norma

Da stazione meteo:

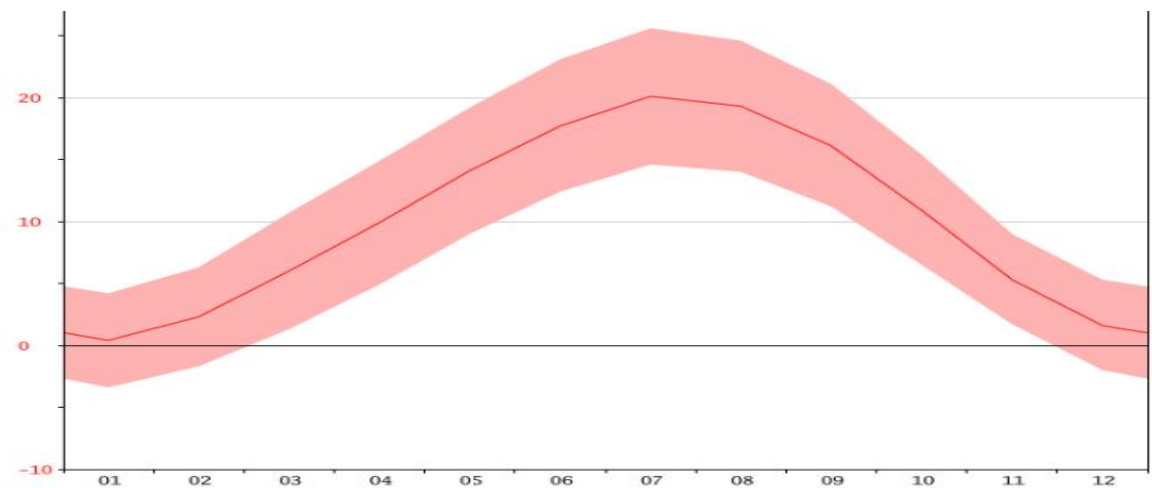


Figura 16 - T media esterna dati arpa [12] stazione Saint-Christophe.

Utilizzando come valori di T_e quelli reali nel caso in cui siano stati misurati e quindi risultino noti oppure riportando quelli reali misurati a Saint-Christophe in quell'anno utilizzando il fattore di correzione basato sulla differenza di altitudine con Verrès.

	Standard [°C]	Reale [°C]	Da Arpa	Da misur.
Gennaio	0,7	0,136	No	Sì
Febbraio	4,4	4,571	No	Sì
Marzo	8,3	11,3	No	Sì
Aprile	12,4	12,7	Sì	No
Maggio	16,6	17	No	Sì
Giugno	20,5	21,5	No	Sì
Luglio	22,6	23	Sì	No
Agosto	21,7	22,6	Sì	No
Settem.	17,3	16,4	Sì	No
Ottobre	12	13	Sì	No
Novem.	5,3	6,2	Sì	No
Dicembre	1,2	3,5	No	Sì

Tabella 11 - T_e standard e reale

Facendone un grafico risulta:

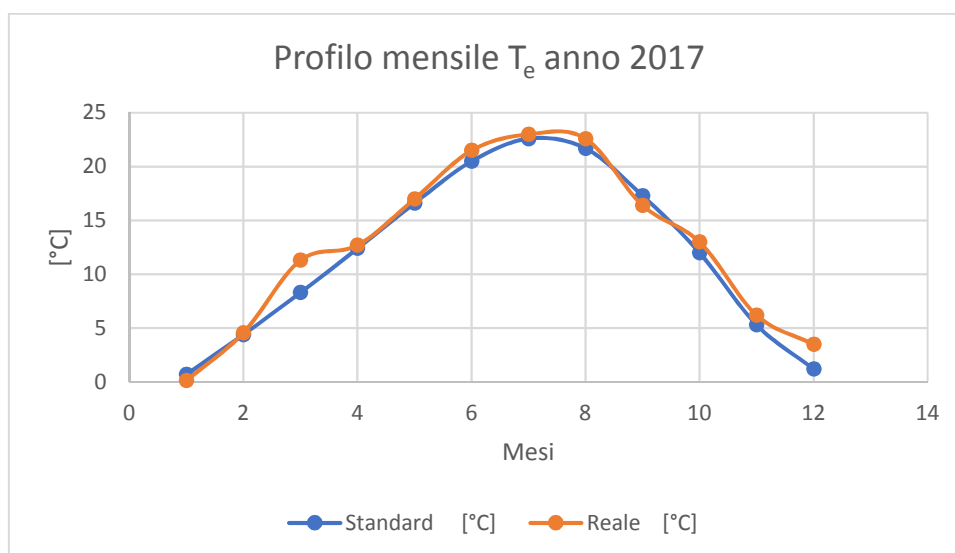


Grafico 2 - Profilo di T_e standard e reale anno 2017

Confini dello spazio riscaldato:

Nel caso di studio lo spazio riscaldato si compone di un'unica zona la quale verrà denominata zona 1 e la cui destinazione d'uso risulterà E.1(2) (abitazione adibite a residenza con occupazione saltuaria). [11]

Valutazione per gli spazi riscaldati del coefficiente di dispersione termica per trasmissione:

Struttura	Tipo	Verso ...	S	A	U/ψ	C	Uso
└─ Pareti							
└─ ● Parete Est	▽ Parete	Esterno	43,2	-	0,190	32,185	22,82
└─ ● Parete Nord	▽ Parete	Esterno	43,2	-	0,190	32,185	12,72
└─ ● Parete Ovest	▽ Parete	Esterno	43,2	-	0,190	32,185	26,10
└─ ● Parete Sud	▽ Parete	Esterno	43,2	-	0,190	32,185	15,00
└─ Pavimenti							
└─ ● Soletta	▽ Pavimento	Terreno	45,2	19,53	0,184	34,874	19,50
└─ Coperture							
└─ ● Copertura	▽ Soffitto/Copertura	Esterno	76,2	29,32	0,172	32,626	29,30
└─ Vetri							
└─ ● Vetro 4-15-4 (Aria)	▽ Vetro	Esterno	2,3	-	1,284	7,420	
└─ Serramenti							
└─ ● Porta vetro	∫ Precalcolato	Esterno	-	3,28	1,400		3,28
└─ ● Serramento Nord	∫ Precalcolato	Esterno	-	2,28	1,400		2,28
└─ Ponti termici							
└─ ● C2 Angoli	Angoli	Esterno	-	-	-0,150		11,40
└─ ● R.12 Coperture	Coperture	Esterno	-	-	0,150		18,70
└─ ● W4 Serramenti	Serramenti	Esterno	-	-	0,150		7,30

Figura 17 - Dettaglio strutture (Termolog)

Prestando attenzione ai valori di trasmittanza U essi risultano quasi identici ai valori ottenuti in precedenza attraverso il foglio di calcolo del Professor Corrado. Questa è una buona indicazione sulla correttezza del calcolo. Inoltre si può notare il fatto che i serramenti siano decisamente disperdenti.

Valutazione di possibili aggetti o ostruzione per il calcolo degli apporti solari:

Nel caso di studio è presente un'ostruzione esterna in corrispondenza della facciata Nord. In particolare si tratta di un edificio ad uso scolastico posto ad una distanza di 31,89 metri dall'edificio considerato ed alta 8 metri rispetto al centro della finestra Nord. L'angolo così formato è di circa 14,1 °C.

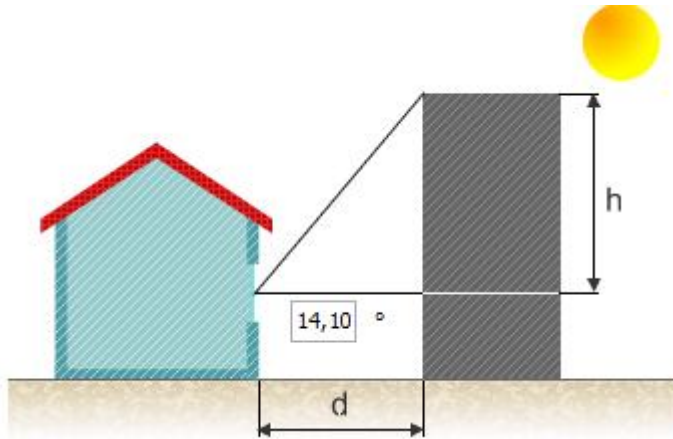


Figura 18 – Schema rappresentativo di una ostruzione esterna

Inoltre, sia in corrispondenza della porta finestra che del serramento Nord sono presenti due aggetti orizzontali della stessa tipologia:

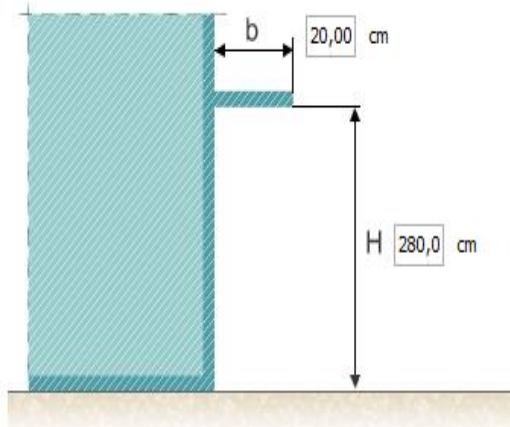


Figure 19,20 - Schema rappresentativo di un aggetto orizzontale(sx), dettaglio aggetto (dx)

Sottosistema di emissione:

Coincide con il terminale attraverso cui immetto calore in ambiente.

Parametri che influenzano rendimento:

- Altezza edificio (mi dà la probabilità di stratificazione termica);
- Tipologia del terminale;
- Dove viene allocato;

- Entità del carico termico;

Il caso di studio prevedeva, originariamente, come terminale di emissione un **termoconvettore** elettrico da 829 W a circolazione naturale. Il vantaggio principale è che all'interno del singolo **termoconvettore** non circola alcun liquido che può gelare se la temperatura scende sottozero. Per cui d'inverno può essere lasciato spento senza problemi, a differenza dei termosifoni che devono rimanere al minimo oppure svuotati assieme all'impianto di riscaldamento.

Questo fattore rende i **termoconvettori** adatti per le seconde case in montagna che si usano solo in brevi periodi dell'anno.

Un altro vantaggio dei **termoconvettori** è che il caldo si crea abbastanza velocemente, quindi il riscaldamento è rapido, quasi immediato. Anche questo aspetto risulta fondamentale per un tipo di abitazione adibita ad uso saltuario.

Unità immobiliare 01

- SIH1 - riscaldamento dirett... ⇒ Diretto
- Zona 1 SI
 - Emissione ● Radiatori su parete interna

▷ Sistema di emissione - Riscaldamento

Altezza locali fino a m [Seleziona in base all'altezza di zona](#)

Terminale di erogazione

▷ Terminali di emissione

Potenza termica di progetto emessa $\Phi_{e,des}$ W [Calcola](#)

Figura 21 – Dettagli sulla climatizzazione invernale

Sottosistema di regolazione:

E' il sistema attraverso cui riesco a regolare l'immissione di calore nel tempo.

Per il caso in esame è stata scelta una regolazione a Zona+climatica:

1. **Climatica:** sonda climatica esterna all'edificio in comunicazione;
2. **Zona:** cronotermostato di zona, con quest'ultima intesa come intera unità immobiliare o come parte specifica di essa oppure ancora come insieme di ambienti termicamente omogenei; [13]

Una regolazione solo climatica è sconsigliabile perché è cieca rispetto all'ambiente interno in quanto la regolazione è gestita dalla T esterna ed una regolazione risulta soddisfacente se garantisce uno sfruttamento efficace degli apporti gratuiti.

▷ Sistema di regolazione - Riscaldamento

Tipo di regolazione	Zona + climatica	▼
Caratteristiche	P banda prop. 0,5 °C	▼
Sistemi a inerzia termica	Bassa	▼
	Pannelli integrati nelle strutture edilizie e disaccoppiati termicamente	
Rendimento regolazione η_{rg}	0,980	

Figura 22 – Sistema di regolazione, dettagli (Termolog)

Sottosistema di distribuzione:

La distribuzione avviene tramite cavi elettrici che vanno verso la resistenza. Il rendimento viene supposto circa unitario. Infatti dal generatore alla stufa la distanza percorsa dai cavi è ininfluente; a differenza delle perdite nella rete elettrica nazionale che sono di tutt'altra caratura. Chiaramente l'energia elettrica al sistema di generazione viene confluente tramite cavi a bassa tensione.

Sottosistema di generazione

L'energia al termoconvettore elettrico è fornita grazie ad un generatore elettrico, il cui rendimento risulta quasi unitario (0,98).

Sistema di generazione 1 - Generatore a energia elettrica: sistema di produzione di riscaldamento



Nome	<input type="text" value="Generatore a energia elettrica"/>	Anno costruzione	<input type="text" value="2014"/>
Tipo di generatore	<input type="text" value="Generatore elettrico generico (effetto Joule)"/>		
Tipo di combustibile	<input type="text" value="Energia elettrica"/>  		
ϕ_n	<input type="text" value="1,00"/> kW	Potenza utile nominale	
η_{gn}	<input type="text" value="0,980"/>	Rendimento del sistema di generazione	
$W_{gn, Po}$	<input type="text" value="50,0"/> W	Potenza assorbita da pompe di circolazione interne al generatore	

Figura 23 – Sistema di generazione, dettagli (Termolog)

5.3 - Risultati del calcolo

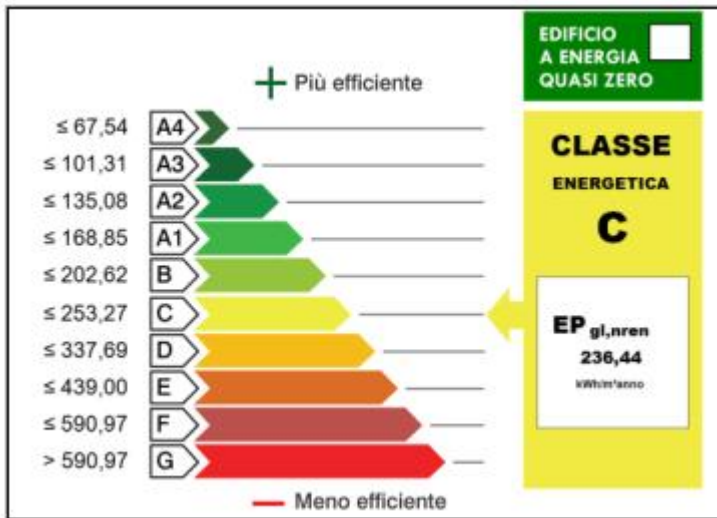


Figura 24 – Classe energetica dell’edificio (Termolog)

Come risultato la classe dell’edificio risulta C. Il fatto che l’edificio si attesti su una classe intermedia è dovuta sia al fatto che i serramenti sono particolarmente disperdenti ma soprattutto all’assenza di pannelli solari o fotovoltaici in grado di incrementare la quota parte rinnovabile di energia primaria. Inoltre l’installazione di una pompa aria-aria ridurrebbe di un fattore 3 o 4 i consumi, incrementando anche la quota parte rinnovabile. Vedremo in seguito come questi interventi fossero stati preventivati dagli ingegneri costruttori (Massimiliano Fedrizzi e Marco Daguin).

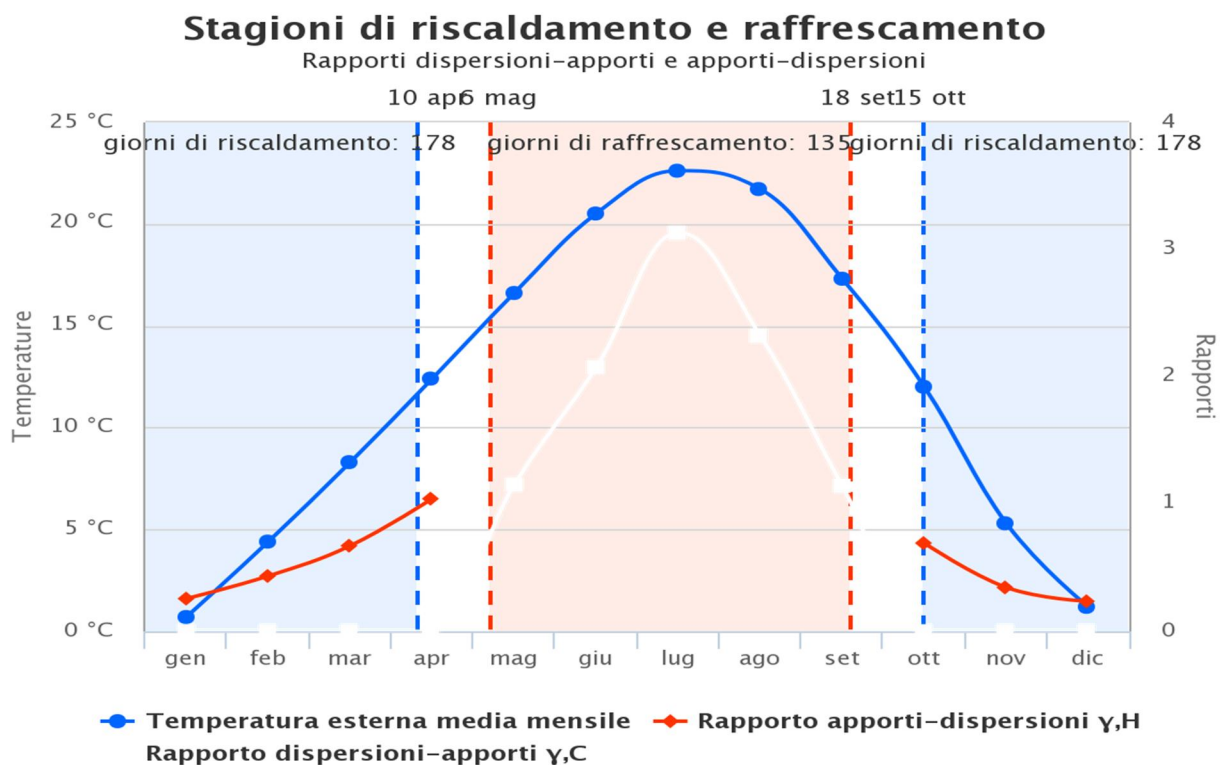


Grafico 3 – Dettagli stagione di riscaldamento e raffrescamento (Termolog)

Fabbisogni di energia termica		Indici di prestazione	
	kWh		kWh/m ²
Riscaldamento involucro	1604,4	Energia utile Riscaldamento	82,28
Raffrescamento involucro	632,9	Energia utile Raffrescamento	32,45
Acqua calda sanitaria	595,5	Energia utile Acqua calda sanitaria	30,54

Fabbisogni energia primaria	rinnov	non rinnov	totale
	kWh	kWh	kWh
Riscaldamento	857,9	3559,5	4417,5
Globale	857,9	4610,5	5468,5

Da questi valori è facilmente ricavabile l'efficienza globale stagionale di riscaldamento che risulterà pari a:

$$\frac{1604,4}{4417,5} = 0,363$$

E' subito evidente come l'energia primaria per il riscaldamento non rinnovabile abbia valori decisamente elevati, infatti, la quota parte di energia rinnovabile per il riscaldamento risulta semplicemente il 19,4 % dovuto al fattore che la fornisce:

	fp,ren	fp,nren	fp
Energia elettrica da rete	0,470	1,950	2,420

Per controprova:

$$\frac{0,470}{2,420} = 19,4 \quad \text{C.V.D.}$$

Inoltre, chiaramente, l'elevato valore di energia primaria non rinnovabile per il riscaldamento è tra le cause di un elevato valore di energia primaria non rinnovabile globale.

Indice di prestazione	rinnov.	non rinnov	totale
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Energia primaria riscaldamento	44	182,54	226,54
Energia primaria a.c.s	0	53,9	53,9
Globale	44	236,44	280,43

Tabelle 12,13,14,15 - Risultati del calcolo

Facendo un grafico dei risultati:

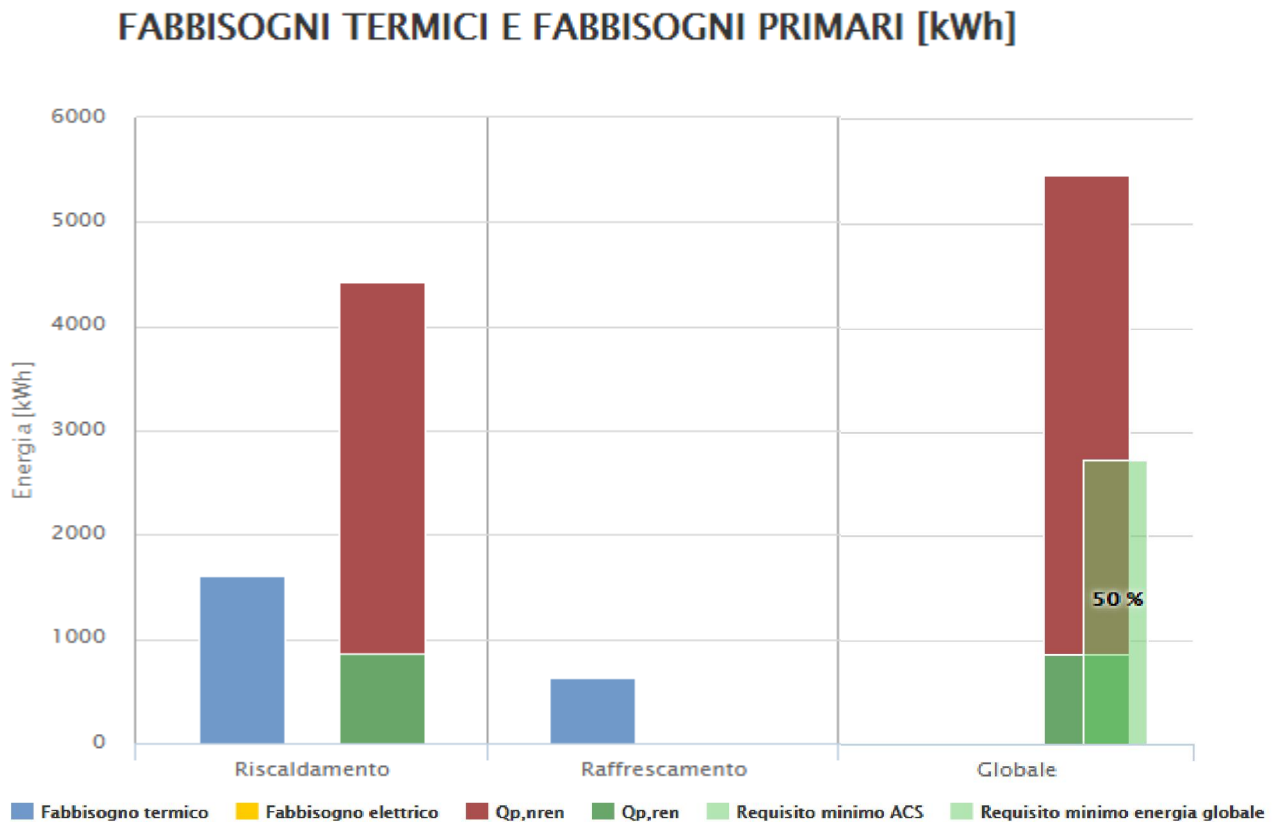


Grafico 4 - Fabbisogni termici e primari

Q_p : energia primaria

Dai dati e dal grafico si può notare come l'edificio non rispetti i requisiti minimi di energia primaria rinnovabile. Questo era facilmente intuibile dalle considerazioni fatte in precedenza.

Valuto, ora, per il riscaldamento dell'unica zona presente, gli apporti e le dispersioni che risultano le seguenti:

Zona 1

	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
nn	giorni	31,00	28,00	31,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	30,00	31,00	178,00
Qint	kWh	105,89	95,64	105,89	34,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,07	102,47	105,89	608,01
Qsol,w	kWh	46,56	92,00	136,73	58,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,55	48,82	31,46	470,52
Qsol,op	kWh	10,38	19,40	27,58	11,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,56	10,32	6,80	97,32
Qgn	kWh	152,44	187,64	242,61	92,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	114,62	151,29	137,35	1.078,53
Qd + Qg + Qu + Qa	kWh	494,10	360,72	299,53	73,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	136,59	364,19	481,30	2.210,11
Qr	kWh	29,02	31,31	39,77	14,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,98	25,46	29,44	187,35
QH,ve	kWh	81,43	59,45	49,37	12,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,51	60,02	79,32	364,26
QH,ht	kWh	594,17	432,08	361,09	88,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	165,52	439,36	583,26	2.664,40
gamma H	-	0,26	0,43	0,67	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,34	0,24	-
etaH,gn	-	1,00	1,00	0,98	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	1,00	1,00	-
QH,nd	kWh	441,73	244,60	122,29	8,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	53,06	288,10	445,91	1.604,38

Tabella 16 - Apporti e dispersione per riscaldamento zona 1 (Termolog) N.B unità di misura è kWh.

LEGENDA
numero giorni di riscaldamento
apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetrati
apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
apporti totali di energia termica
scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste
scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
rapporto apporti - dispersioni
fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti

Si può notare come gli apporti gratuiti vengano, per quasi tutta la stagione di riscaldamento, interamente sfruttati per compensare le dispersioni, eccezion fatta per il mese di aprile il quale è caratterizzato da maggiori apporti rispetto alle dispersioni.

Infatti per quel mese il rapporto $\gamma = \frac{\text{apporti}}{\text{dispersioni}}$ risulta uguale a 1,04.

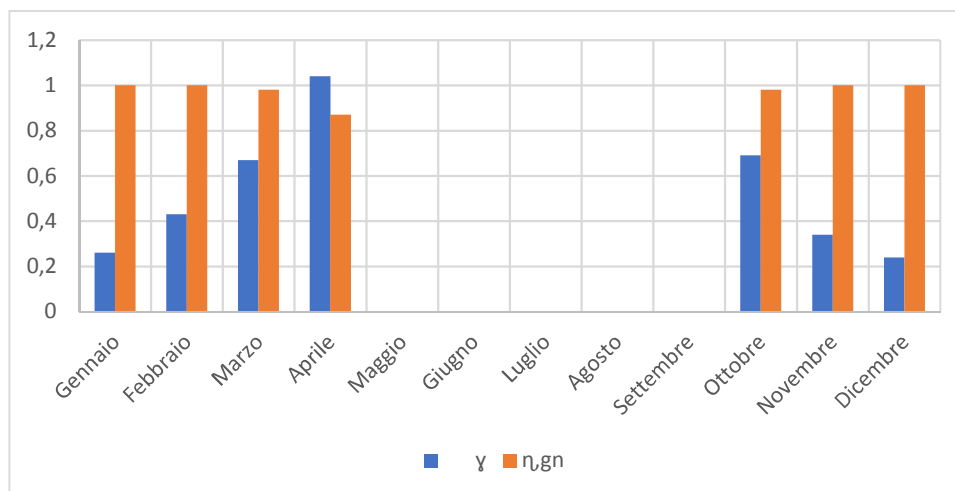


Grafico 5 - Rapporto apporti/dispersioni e fattore di utilizzazione

Considero ora anche il raffrescamento:

RAFFRESCAMENTO - Fabbisogni di involucro

Zona 1

	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
nn	giorni	0,00	0,00	0,00	0,00	26,00	30,00	31,00	31,00	18,00	0,00	0,00	0,00	136,00
Qint	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	88,81	102,47	105,89	105,89	61,48	0,00	0,00	0,00	464,54
Qsol,w	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	171,17	223,18	226,95	191,52	97,54	0,00	0,00	0,00	910,35
Qsol,op	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	31,90	41,14	42,25	36,43	19,45	0,00	0,00	0,00	171,17
Qgn	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	259,98	325,66	332,84	297,41	159,02	0,00	0,00	0,00	1.374,90
Qd + Qg + Qu + Qa	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	192,38	136,26	87,04	110,08	116,67	0,00	0,00	0,00	642,43
Qr	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	33,50	39,47	47,21	36,35	22,71	0,00	0,00	0,00	179,24
QC,ve	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	31,71	22,46	14,35	18,14	19,23	0,00	0,00	0,00	105,88
QC,ht	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	225,69	157,05	106,34	128,14	139,16	0,00	0,00	0,00	756,39
gamma C	-	0,00	0,00	0,00	0,00	1,15	2,07	3,13	2,32	1,14	0,00	0,00	0,00	-
etaC,gn	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	1,00	1,00	1,00	0,96	0,00	0,00	0,00	-
QC,nd	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	42,95	168,65	226,49	169,27	25,49	0,00	0,00	0,00	632,85

Tabella 17 - Apporti e dispersioni per raffrescamento zona 1

Anche per la stagione di raffrescamento gli apporti gratuiti vengono quasi sempre interamente sfruttati per compensare le dispersioni. Infatti i fattori di utilizzazione medi risultano decisamente elevati:

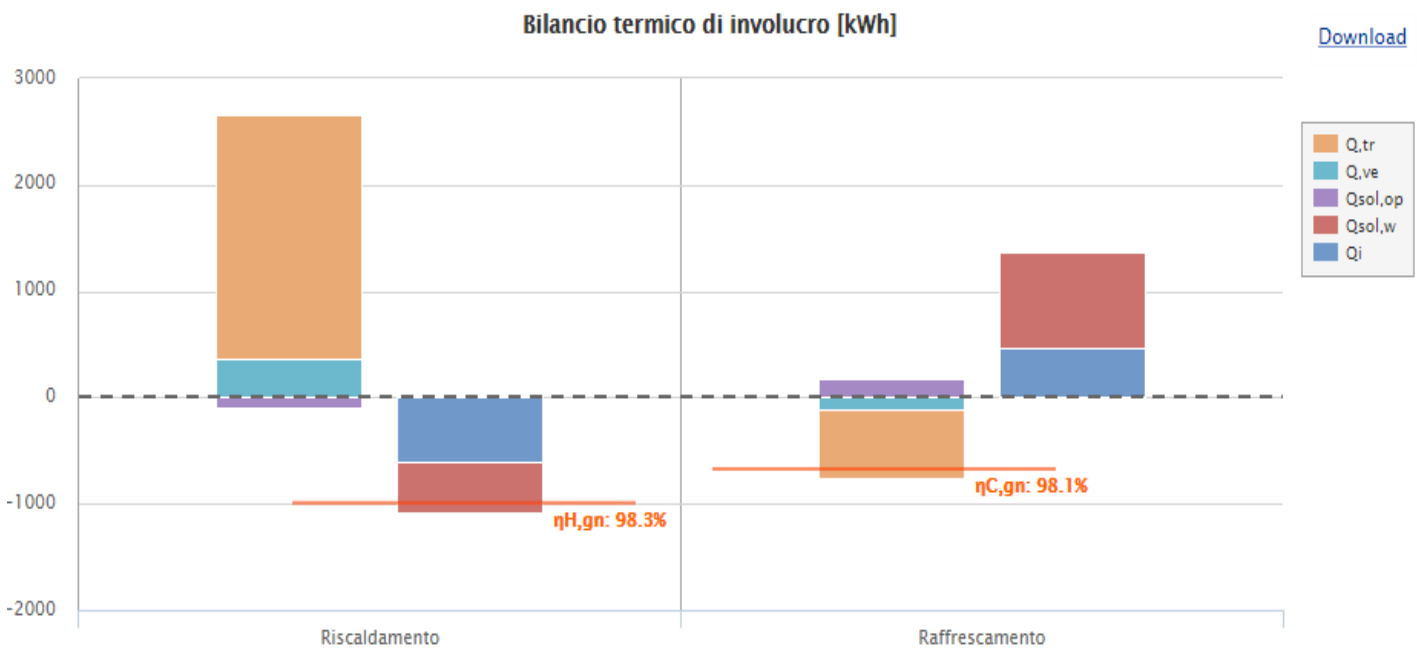


Grafico 6 - Bilancio termico (Termolog)

Stagione di riscaldamento: scambi termici [kWh]

Unità immobiliare/Zona	Qd	Qg	Qu	Qa	Qr	QH,tr	QH,ve	QH,ht
Unità immobiliare 01/Zona 1	2.106,59	103,52	0,00	0,00	187,35	2.300,15	364,26	2.664,40
Totale	2.106,59	103,52	0,00	0,00	187,35	2.300,15	364,26	2.664,40

Stagione di riscaldamento: apporti gratuiti e fabbisogno ideale di energia termica [kWh]

Unità immobiliare/Zona	Qsol,op	Qsol,w	Qi	Qgn	QH,nd
Unità immobiliare 01/Zona 1	97,32	470,52	608,01	1.078,53	1.604,38
Totale	97,32	470,52	608,01	1.078,53	1.604,38

Stagione di raffrescamento: scambi termici [kWh]

Unità immobiliare/Zona	Qd	Qg	Qu	Qa	Qr	QC,tr	QC,ve	QC,ht
Unità immobiliare 01/Zona 1	612,34	30,09	0,00	0,00	179,24	650,51	105,88	756,39
Totale	612,34	30,09	0,00	0,00	179,24	650,51	105,88	756,39

Stagione di raffrescamento: apporti gratuiti e fabbisogno ideale di energia termica [kWh]

Unità immobiliare/Zona	Qsol,op	Qsol,w	Qi	Qgn	QC,nd
Unità immobiliare 01/Zona 1	171,17	910,35	464,54	1.374,90	632,85
Totale	171,17	910,35	464,54	1.374,90	632,85

Tabelle 18,19,20,21 - Dettagli risultati Termolog
Legenda

Qd	Energia scambiata per trasmissione con l'ambiente esterno
Qg	Energia scambiata per trasmissione con il terreno
Qu	Energia scambiata per trasmissione attraverso ambienti non climatizzati
Qa	Energia scambiata per trasmissione attraverso ambienti climatizzati a temperatura
Qr	Extra flusso termico per radiazione infrarossa verso la volta celeste
QH, tr	Energia termica scambiata per trasmissione nel periodo di riscaldamento
QH,ve	Energia termica scambiata per ventilazione nel periodo di riscaldamento
QH,ht	Energia termica complessiva scambiata nel periodo di riscaldamento
Qsol,op	Energia dovuta agli apporti solari su superfici opache
Qsol,w	Energia dovuta agli apporti solari su superfici trasparenti
Qi	Energia dovuta agli apporti interni
Qgn	Energia dovuta agli apporti termici gratuiti totali
QH,nd	Fabbisogno ideale di energia termica utile per la stagione di riscaldamento
QC,tr	Energia termica scambiata per trasmissione nel periodo di raffrescamento
QC,ve	Energia termica scambiata per ventilazione nel periodo di raffrescamento
QC,ht	Energia termica complessiva scambiata nel periodo di raffrescamento
QC,nd	Fabbisogno ideale di energia termica utile per la stagione di raffrescamento

Per quanto riguarda lo scambio di energia per trasmissione con il terreno è stato considerato un fattore correttivo b_{tr} di 0,8 valore standard per pavimento su vespaio aerato.

Fabbisogni di generazione:

Zona 1 - RH2 - riscaldamento diretto 1

	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Q'H	kWh	441,73	244,60	122,29	8,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	53,06	288,10	445,91	1.604,38
$\eta_{r,e}$	-	0,96	0,96	0,96	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	0,96	0,96	-
Ql,e	kWh	18,41	10,19	5,10	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,21	12,00	18,58	66,85
Ql _{rh,aux,e}	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ql,rg	kWh	9,39	5,20	2,60	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,13	6,12	9,48	34,11
$\eta_{r,rg}$	-	0,98	0,98	0,98	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,98	0,98	-
Qrg,in	kWh	469,53	260,00	129,99	9,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,40	306,23	473,97	1.705,34

	LEGENDA
Q'H	fabbisogno ideale netto di riscaldamento
$\eta_{r,e}$	rendimento del sottosistema di emissione
Ql,e	perdite del sottosistema di emissione
Ql _{rh,aux,e}	recuperi degli ausiliari elettrici del sottosistema di emissione
Ql,rg	perdite del sottosistema di regolazione
$\eta_{r,rg}$	rendimento del sottosistema di regolazione
Qrg,in	fabbisogno in ingresso al sottosistema di regolazione

Generatore a energia elettrica

Riscaldamento	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Qgn,out	kWh	469,53	260,00	129,99	9,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,40	306,23	473,97	1.705,34
FC,gn	-	0,63	0,39	0,17	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,43	0,64	-
Ql,gn	kWh	9,58	5,31	2,65	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,15	6,25	9,67	34,80
Qgn,in	kWh	479,11	265,30	132,64	9,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,55	312,48	483,64	1.740,14
Qaux,gn	kWh	23,48	13,00	6,50	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,82	15,31	23,70	85,27
$\eta_{r,gn}$	-	0,98	0,98	0,98	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,98	0,98	0,98

LEGENDA
fabbisogno in uscita al sottosistema di generazione
fattore di carico del generatore
perdite del sottosistema di generazione
fabbisogno in ingresso al sottosistema di generazione
fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di generazione
efficienza del sistema di generazione

Riassumendo l'energia primaria necessaria è ripartita come segue:

ENERGIA PRIMARIA															
	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Ep rinnovabile	H	kWh	236,22	130,80	65,40	4,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,37	154,06	238,45	857,94
	W	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ep non rinnovabile	H	kWh	980,04	542,69	271,32	19,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	117,71	639,18	989,32	3.559,55
	W	kWh	89,25	80,62	89,26	86,38	89,26	86,38	89,26	89,26	86,38	89,26	86,38	89,26	1.050,97
Ep totale	H	kWh	1.216,26	673,49	336,72	23,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	146,09	793,24	1.227,77	4.417,49
	W	kWh	89,25	80,62	89,26	86,38	89,26	86,38	89,26	89,26	86,38	89,26	86,38	89,26	1.050,97

Tabelle 22,23,24 – Dettagli risultati (Termolog)

5.4 - Risultati per altri valori di conducibilità:

a) Caso con $\lambda = 0,1 \frac{W}{m \cdot K}$

- Componenti opachi:

Tipo di componente		Chiusura superiore						opz.	
Stratigrafia (int-est)		s	p	μ	c	λ	R	$\lambda \rightarrow R$	
		[cm]	[kg/m ³]	[-]	[J/kg°C]	[W/m°C]	[m ² C/W]		
Strato liminare interno								0,10	
I	Compensato	2,0	630		1700	0,140		<input type="checkbox"/>	
II	Intercap. Aria	5,0	1		1000		0,11	<input checked="" type="checkbox"/>	
III	Pannello OSB	3,0	650		1700	0,130		<input type="checkbox"/>	
IV	Paglia	37,0	340		1900	0,100		<input type="checkbox"/>	
V	Pannello OSB	3,0	650		1700	0,130		<input type="checkbox"/>	
VI	Barriera vapore	0,2	110		1800	0,400		<input type="checkbox"/>	
VII	Intercap. Aria	20,0	1		1000		0,16	<input checked="" type="checkbox"/>	
VIII	Legno	2,0	650		2700	0,140		<input type="checkbox"/>	
IX	Ghiaia	4,0	1700		840	1,200		<input type="checkbox"/>	
X								<input type="checkbox"/>	
Strato liminare esterno								0,04	

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammetenza termica interna (Y_{ii})	2,356 W/(m ² K)	2,54 h
Ammetenza termica esterna (Y_{ee})	5,954 W/(m ² K)	3,67 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0,002 W/(m ² K)	-4,46 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	32,4 kJ/(m ² K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	81,9 kJ/(m ² K)	
Resistenza termica (R)	4,896 (m ² K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,204 W/(m ² K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,008	

Spessore (s)	76,2 cm	
Massa superficiale (m)	259 kg/m ²	
Sfasamento (ϕ)	4,46 h	

Figura 25 - Dettaglio foglio di calcolo Corrado

Tipo di componente		Chiusura verticale						opz.	
Stratigrafia (int-est)		s	p	μ	c	λ	R	$\lambda \rightarrow R$	
		[cm]	[kg/m ³]	[-]	[J/kg°C]	[W/m°C]	[m ² C/W]		
Strato liminare interno								0,13	
I	Pannello OSB	3,0	650	202	1700	0,130		<input type="checkbox"/>	
II	Paglia	37,0	340	100	1900	0,100		<input type="checkbox"/>	
III	Pannello OSB	3,0	650	202	1700	0,130		<input type="checkbox"/>	
IV	Barriera al vapore	0,2	110	1700	1800	0,400		<input type="checkbox"/>	
V								<input type="checkbox"/>	
VI								<input type="checkbox"/>	
VII								<input type="checkbox"/>	
VIII								<input type="checkbox"/>	
IX								<input type="checkbox"/>	
X								<input type="checkbox"/>	
Strato liminare esterno								0,04	

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammetenza termica interna (Y_{ii})	2,359 W/(m ² K)	2,53 h
Ammetenza termica esterna (Y_{ee})	2,794 W/(m ² K)	3,10 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0,005 W/(m ² K)	0,44 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	32,4 kJ/(m ² K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	38,4 kJ/(m ² K)	
Resistenza termica (R)	4,337 (m ² K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,231 W/(m ² K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,022	

Spessore (s)	43,2 cm	
Massa superficiale (m)	165 kg/m ²	
Sfasamento (ϕ)	23,56 h	

Tipo di componente		Chiusura orizzontale inferiore							
Stratigrafia (int-est)	s [cm]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m ² °C/W]	opz. $\lambda \rightarrow R$		
Strato liminare interno							0,17		
I	Legno	2,0	550	44	2700	0,140			
II	Pannello OSB	3,0	650	202	1700	0,130			
III	Paglia	37,0	340	100	1900	0,100			
IV	Pannello OSB	3,0	650	202	1700	0,130			
V	Barriera al vapore	0,2	110	1700	1800	0,400			
VI									
VII									
VIII									
IX									
X									
Strato liminare esterno							0,04		

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammetenza termica interna (Y_{ii})	2,520 W/(m ² K)	2,14 h
Ammetenza termica esterna (Y_{ee})	2,794 W/(m ² K)	3,10 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0,003 W/(m ² K)	-1,42 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	34,6 kJ/(m ² K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	38,4 kJ/(m ² K)	
Resistenza termica (R)	4,519 (m ² K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,221 W/(m ² K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,015	

Spessore (s)	45,2 cm	
Massa superficiale (m)	176 kg/m ²	
Sfasamento (ϕ)	1,42 h	

Figure 26,27 - Dettagli foglio di calcolo Corrado

- Risultati notevoli ottenuti dal software:

Fabbisogni di energia termica	kWh	Indici di prestazione	kWh/m ²
Riscaldamento involucro	1745,8	Energia utile Riscaldamento	89,53
Raffrescamento involucro	598,6	Energia utile Raffrescamento	30,7
Acqua calda sanitaria	595,5	Energia utile Acqua calda sanitaria	30,54

Indice di prestazione	rinnov.	non rinnov	totale
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Energia primaria riscaldamento	47,87	198,63	246,5
Energia primaria a.c.s	0	53,9	53,9
Globale	47,87	252,52	300,4

Fabbisogni energia primaria	rinnov	non rinnov	totale
	kWh	kWh	kWh
Riscaldamento	933,6	3873,2	4806,8
Globale	933,6	4924,2	5857,8

Tablelle 25,26,27,28 – Risultati calcolo (Termolog)

b) Caso con $\lambda = 0,21 \frac{W}{m \cdot K}$

- Componenti opachi:

Tipo di componente		Chiusura superiore							
Stratigrafia (int-est)		s [cm]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m ² °C/W]	opz. $\lambda \rightarrow R$	
Strato liminare interno								0,10	
I	Compensato	2,0	630		1700	0,140		<input type="checkbox"/>	
II	Intercap. Aria	5,0	1		1000		0,11	<input checked="" type="checkbox"/>	
III	Pannello OSB	3,0	650		1700	0,130		<input type="checkbox"/>	
IV	Paglia	37,0	340		1900	0,210		<input type="checkbox"/>	
V	Pannello OSB	3,0	650		1700	0,130		<input type="checkbox"/>	
VI	Barriera vapore	0,2	110		1800	0,400		<input type="checkbox"/>	
VII	Intercap. Aria	20,0	1		1000		0,16	<input checked="" type="checkbox"/>	
VIII	Legno	2,0	650		2700	0,140		<input type="checkbox"/>	
IX	Ghiaia	4,0	1700		840	1,200		<input type="checkbox"/>	
X								<input type="checkbox"/>	
Strato liminare esterno								0,04	

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammetenza termica interna (Y_{ii})	2,304 W/(m ² K)	2,41 h
Ammetenza termica esterna (Y_{ee})	5,874 W/(m ² K)	3,66 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0,010 W/(m²K)	2,21 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	31,5 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	80,6 kJ/(m ² K)	
Resistenza termica (R)	2,957 (m ² K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,338 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,028	
Spessore (s)	76,2 cm	
Massa superficiale (m)	259 kg/m²	
Sfasamento (ϕ)	21,79 h	

Tipo di componente		Chiusura verticale							
Stratigrafia (int-est)		s [cm]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m ² °C/W]	opz. $\lambda \rightarrow R$	
Strato liminare interno								0,13	
I	Pannello OSB	3,0	650	202	1700	0,130		<input type="checkbox"/>	
II	Paglia	37,0	340	100	1900	0,210		<input type="checkbox"/>	
III	Pannello OSB	3,0	650	202	1700	0,130		<input type="checkbox"/>	
IV	Barriera al vapore	0,2	110	1700	1800	0,400		<input type="checkbox"/>	
V								<input type="checkbox"/>	
VI								<input type="checkbox"/>	
VII								<input type="checkbox"/>	
VIII								<input type="checkbox"/>	
IX								<input type="checkbox"/>	
X								<input type="checkbox"/>	
Strato liminare esterno								0,04	

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammetenza termica interna (Y_{ii})	2,424 W/(m ² K)	2,17 h
Ammetenza termica esterna (Y_{ee})	2,924 W/(m ² K)	2,69 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0,030 W/(m²K)	6,83 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	33,2 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	40,0 kJ/(m ² K)	
Resistenza termica (R)	2,399 (m ² K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,417 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,073	
Spessore (s)	43,2 cm	
Massa superficiale (m)	165 kg/m²	
Sfasamento (ϕ)	17,17 h	

Tipo di componente		Chiusura orizzontale inferiore						opz.	
Stratigrafia (int-est)		s [cm]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m ² °C/W]	λ→R	
Strato liminare interno								0,17	
I	Legno	2,0	550	44	2700	0,140		<input type="checkbox"/>	
II	Pannello OSB	3,0	650	202	1700	0,130		<input type="checkbox"/>	
III	Paglia	37,0	340	100	1900	0,210		<input type="checkbox"/>	
IV	Pannello OSB	3,0	650	202	1700	0,130		<input type="checkbox"/>	
V	Barriera al vapore	0,2	110	1700	1800	0,400		<input type="checkbox"/>	
VI								<input type="checkbox"/>	
VII								<input type="checkbox"/>	
VIII								<input type="checkbox"/>	
IX								<input type="checkbox"/>	
X								<input type="checkbox"/>	
Strato liminare esterno								0,04	

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y _{ii})	2,466 W/(m ² K)	2,02 h
Ammettenza termica esterna (Y _{ee})	2,926 W/(m ² K)	2,70 h
Trasmittanza termica periodica (Y _{ie})	0,020 W/(m ² K)	5,08 h
Capacità termica areica interna (κ _i)	33,7 kJ/(m ² K)	
Capacità termica areica esterna (κ _e)	40,0 kJ/(m ² K)	
Resistenza termica (R)	2,581 (m ² K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,387 W/(m ² K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,050	

Spessore (s)	45,2 cm	
Massa superficiale (m)	176 kg/m ²	
Sfasamento (φ)	18,92 h	

Figure 28,29,30 - Dettagli Foglio Corrado

- Risultati notevoli ottenuti dal software:
Innanzitutto con tale valore di conducibilità la classe energetica risulta peggiorata rispetto agli altri due casi ($0,08$ e $0,01 \frac{W}{m \cdot K}$), infatti si passa da una classe C a una classe D

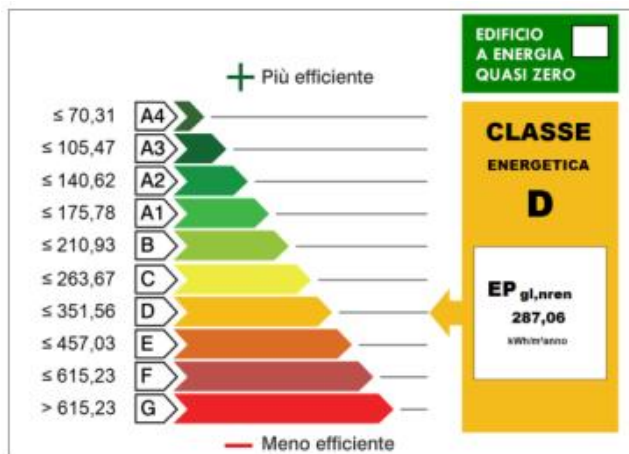


Figura 31 – Classe energetica (Termolog)

Fabbisogni di energia termica		Indici di prestazione		
	kWh			kWh/m ²
Riscaldamento involucro	2028	Energia utile Riscaldamento		104
Raffrescamento involucro	540	Energia utile Raffrescamento		27,7
Acqua calda sanitaria	595,5	Energia utile Acqua calda sanitaria		30,54
Indice di prestazione	rinnov.	non rinnov	totale	
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	
Energia primaria riscaldamento	56,2	233,16	289,36	
Energia primaria a.c.s	0	53,9	53,9	
Globale	56,2	287,06	343,26	
Fabbisogni energia primaria	rinnov	non rinnov	totale	
	kWh	kWh	kWh	
Riscaldamento	1095,9	4546,7	5642,6	
Globale	1095,9	5597,7	6693,6	

Tabelle 29,30,31,32 – Risultati calcolo (Termolog)

- Confronto dei 3 diversi casi con la normativa:

	$\lambda_1(0,08)$	$\lambda_2(0,1)$	$\lambda_3(0,21)$	limite	
U par	0,19	0,231	0,417	0,27	W/(m ² K)
U copert	0,172	0,204	0,338	0,24	W/(m ² K)
U solaio	0,184	0,221	0,387	0,3	W/(m ² K)

5.4 - Diagnosi energetica:

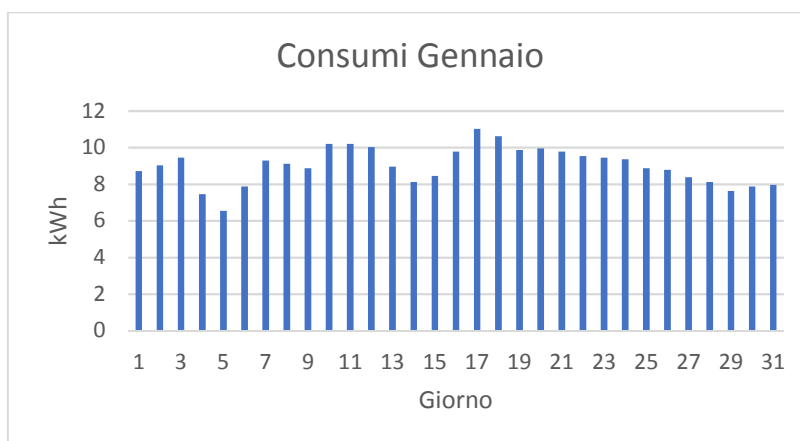
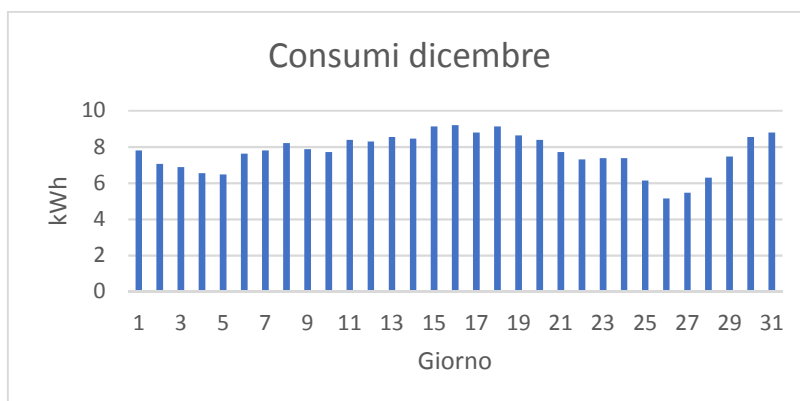
Non avendo indicazioni sugli ultimi consumi, in quanto il sistema di monitoraggio risulta spento da più di un anno così come il riscaldamento, la diagnosi terrà conto dei consumi dell'anno 2017 utilizzando per i mesi in cui il monitoraggio è stato attivo i consumi noti mentre per gli altri mesi o i consumi di anni precedenti nello stesso mese o un consumo comparabile a quello standard.

Dalla stazione meteo la T reale media esterna risulta:

	Standard [°C]	Reale [°C]	Da Arpa	Da misur.
Gennaio	0,7	0,136	No	Sì
Febbraio	4,4	4,571	No	Sì
Marzo	8,3	11,3	No	Sì
Aprile	12,4	12,7	Sì	No
Maggio	16,6	17	No	Sì
Giugno	20,5	21,5	No	Sì
Luglio	22,6	23	Sì	No
Agosto	21,7	22,6	Sì	No
Settem.	17,3	16,4	Sì	No
Ottobre	12	13	Sì	No
Novem.	5,3	6,2	Sì	No
Dicembre	1,2	3,5	No	Sì

Tabella 33 - T medie mensili esterne standard [UNI 10349] e reali

Consumi noti:



Grafici 7,8 - Consumi

Per quanto concerne la T interna essa è mantenuta costante attraverso l'ausilio di un sistema di controllo che la mantiene intorno ai 20 °C con oscillazioni di al massimo 0,2 °C. Si è deciso, quindi, per il caso di studio di utilizzare una T interna media pari a 20 °C dato che le oscillazioni sono di non molta significatività.

Per quanto concerne i ricambi d'aria, nel caso reale vi è un alto grado di ricambi in quanto la struttura è caratterizzata da forte traspirabilità. E' per questo che è stato deciso, anche tramite l'ausilio del blower door system di utilizzare un ricambio medio pari a $0,75 \frac{\text{ricambi}}{h}$.

Inoltre, non potendo avere informazioni precise sull'occupazione essendo l'abitazione adibita ad uso saltuario, gli apporti interni sono stati calcolati considerando un'occupazione di 2 giorni a settimana da parte di due persone in attività in piedi [14] (nel periodo di monitoraggio, infatti, erano presenti almeno due persone che si occupavano del perfetto funzionamento del monitoraggio stesso).

STATO DI FATTO	
C*	
Condizioni STANDARD	DIAGNOSI Condizioni TAILORED

Fabbisogni di energia termica per riscaldamento

Durata	giorni	180,00	183,00
QH,tr	kWh	2.395,19	2.304,32
QH,ve	kWh	366,47	525,59
Qsol,e	kWh	99,58	102,96
Qsol,i	kWh	482,20	499,72
Qi	kWh	614,84	298,66
QH,nd	kWh	1.684,57	2.043,28

Tabella 34 - Fabbisogni di energia termica per riscaldamento

Come si può notare la Q di trasmissione risulta di poco minore in condizioni tailored, questo probabilmente è dovuto all'aumento delle temperature nella stagione di riscaldamento, lo stesso ragionamento è valido per gli apporti solari. Inoltre risulta evidente che la dispersione per ventilazione risulta decisamente maggiore in quanto, i ricambi d'aria in condizioni tailored risultano maggiori di quelli in condizioni standard; gli apporti interni invece risultano decisamente minori in quanto l'occupazione risulta meno invasiva in condizioni tailored rispetto che in quelle standard.

I consumi teorici risultano superiori in condizioni tailored rispetto a quelli in condizioni standard.

Questo è un normale risultato del fatto che la QH,nd è maggiore nelle condizioni tailored.

Energia elettrica

Consumo teorico	kWh	1.916,65	2.349,24
Consumo effettivo	kWh	-	2.254,40
Costo teorico	€	383,33	469,85
Costo effettivo	€	-	574,80
k	%	-	-4,04

Tabella 35 - Consumi e costi energia elettrica

Dalla tabella si evince facilmente che il consumo effettivo è comparabile con quello teorico, infatti lo scostamento percentuale è del 4,04 %. Questo risultato è più che accettabile in quanto per una buona diagnosi il limite accettabile è uno scostamento del 15 %.

N.B: In mancanza di dati il costo è stato ipotizzato pari a $0,255 \frac{\text{euro}}{\text{kWh}}$.

5.5 - Interventi migliorativi:

Come interventi migliorativi le principali intenzioni dei costruttori erano di installare una pompa aria-aria come sistema di generazione (sostitutivo del generatore elettrico) e dei moduli fotovoltaici incrementando quindi la quota parte rinnovabile e diminuendo i consumi.

Tipologia di pompa di calore:

▷ **Caratteristiche generali**

Nome: Anno costruzione:

Combustibile: ?

Circuito ausiliario:

Circuito UTA:

▷ **Funzionamento**

Funzionamento: Carico minimo di modulazione: ?

Pozzo caldo: ? Tipo di pozzo caldo:

Sorgente fredda: ?

Figura 32 - Caratteristiche pompa

Pannelli fotovoltaici:

Installazione di 3 file di pannelli con area pari a $1,46 m^2$ ciascuno:

Dati del pannello

Pannello fotovoltaico: [Mostra](#) [Archivio Pannelli](#)

n°	Area	Azimut	Inclinazione
1	1,46	0,0	23,0
1	1,46	0,0	23,0
1	1,46	0,0	23,0

n° file:

Riflettanza:

Calcola l'area minima necessaria

Fattore di potenza di picco Kpv: kW/m² Superficie in pianta dell'edificio a livello terreno: m² ?

Calcolo automatico dell'efficienza del sistema fotovoltaico

Grado di ventilazione:

Figura 33 - Caratteristiche pannelli

La classe raggiunta con questi accorgimenti è nettamente superiore, si tratta infatti della classe A3.

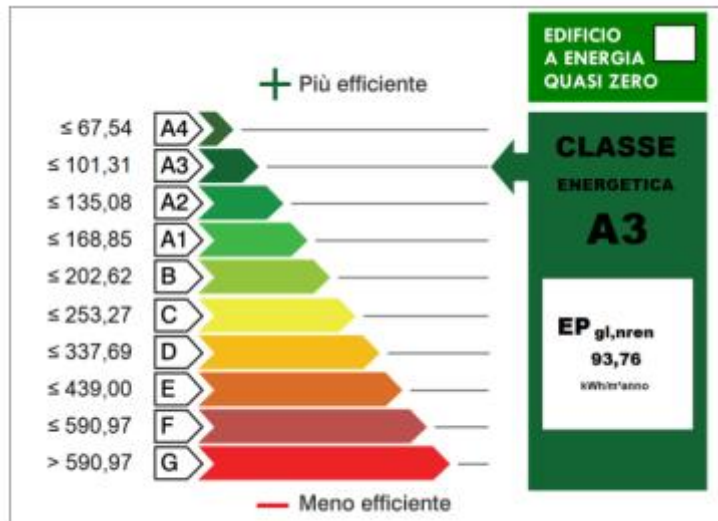


Figura 34 – Nuova classe energetica

Indici di prestazione	rinnov kWh/m ²	non rinnov kWh/m ²	totale kWh/m ²
Energia primaria Riscaldamento	76,62	39,86	116,48
Energia primaria a.c.s globale	0	53,9	53,9
	76,62	93,76	170,38

Fabbisogni energia primaria	rinnov kWh	non rinnov kWh	totale kWh
Riscaldamento	1494,1	777,3	2271,4
Globale	1494,1	1828,3	3322,4

Tablelle 36,37- Fabbisogni di energia primaria

Dopo questi interventi il rendimento stagionale invernale si attesta su un valore pari a 0,706 nettamente superiore al 0,363 pre interventi.

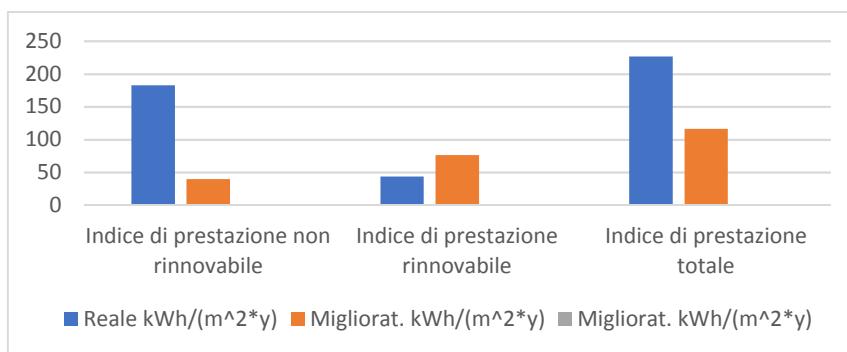
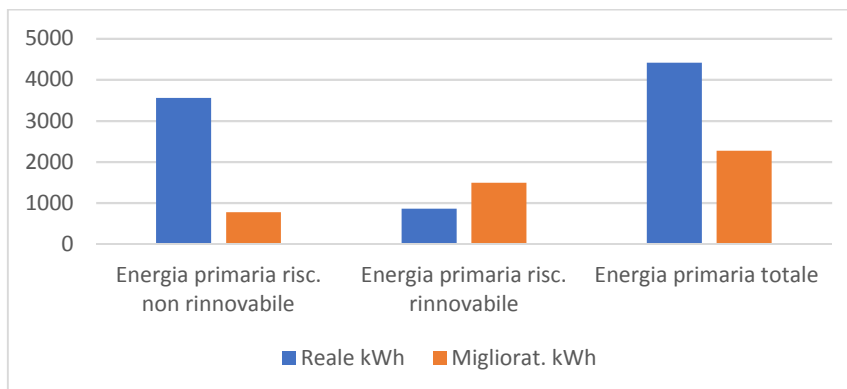
Si può notare come la quota rinnovabile per la climatizzazione invernale sia passata da 19,4 % a 65,8 %.

Mentre la quota rinnovabile totale dal 15,7 % al 45 %.

Inoltre l'energia primaria totale è mutata da 5468,5 kWh a 3332,4 kWh e soprattutto l'energia primaria globale non rinnovabile si è ridotta di circa un fattore 2,5 passando da 4610,5 kWh a 1828,3 kWh.

Riscaldamento		
	Reale	Migliorat.
	kWh	kWh
Energia primaria risc. non rinnovabile	3559,5	777,3
Energia primaria risc. rinnovabile	857,9	1494,1
Energia primaria totale	4417,5	2271,4
	Reale	Migliorat.
	kWh/(m ² *y)	kWh/(m ² *y)
Indice di prestazione non rinnovabile	182,54	39,86
Indice di prestazione rinnovabile	44	76,62
Indice di prestazione totale	226,54	116,48

Tabella 38 –
Confronto tra Reale
e post interventi
migliorativi



Grafici 9,10 – Confronto tra reale e post interventi migliorativi

Specificamente alla pompa:

FABBISOGNO DI ENERGIA IN USCITA DAI GENERATORI

Di seguito sono riportati i valori di $Q_{gn,out}$ serviti da ciascun generatore divisi per servizio.

Generatore	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Esempio - pdc RISC - Pompa di calore	H	kWh	469,53	260,00	129,99	9,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,40	306,23	473,97	1.705,34

FABBISOGNO DI ENERGIA IN INGRESSO AI GENERATORI

Di seguito sono riportati i valori di $Q_{gn,in}$ per ciascun generatore.

Generatore	Combustibile	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Esempio - pdc RISC - Pompa di calore	Energia elettrici	kWh	168,19	88,63	41,29	2,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,43	102,73	166,66	585,51

Esempio - pdc RISC - Pompa di calore Aria-Aria 8 kW

	Um	LEGENDA
SPF	-	2,91 fattore di rendimento stagionale medio stimato

Riscaldamento	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI	LEGENDA
$Q_{gn,out}$	kWh	469,53	260,00	129,99	9,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,40	306,23	473,97	1.705,34	fabbisogno in uscita al sottosistema di generazione
FC_{gn}	-	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	-	fattore di carico del generatore
$Q_{gn,in}$	kWh	168,19	88,63	41,29	2,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,43	102,73	166,66	585,51	fabbisogno in ingresso al sottosistema di generazione
$Q_{aux,gn}$	kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di generazione
η_{gn}	-	2,79	2,93	3,15	3,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,66	2,98	2,84	3,13	efficienza del sistema di generazione

Tabella 39,40 - Dettagli fabbisogni pompa ipotetica

Per il fotovoltaico:

	Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALI
Energia elettrica da fotov./minieolico	H+W	kWh	29,20	51,97	69,61	80,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,37	27,75	18,67	331,84

Tabella 41 – Produzione fotovoltaico ipotetico

Si potrebbero ottenere migliori risultati incrementando la superficie di pannelli fotovoltaici ma non sarebbe una soluzione ottimale dal punto di vista economico in quanto il caso di studio è nato come esempio di rifugio in altura e un'eccessiva superficie fotovoltaica genererebbe poco in inverno mentre sarebbe sovradimensionata in estate.

6- Conclusioni

Risulta evidente, quindi, che la paglia riesce a garantire ottime prestazioni energetiche a costi ridotti; a questo si aggiunge anche un impatto ecologico/ambientale praticamente nullo.

Diversi progetti stanno nascendo in Italia per la realizzazione di abitazioni in legno e paglia, ne è un esempio l'impegno dell'architetto Tiziana Monterisi (da anni impegnata nella diffusione di una architettura basata sull'utilizzo di materiali naturali a discapito dei materiali di origine petrolchimica). In particolare dalla sua collaborazione con Novello è nata RISOrsa specializzata nella costruzione di abitazioni che si avvalgono della paglia di riso come materiale isolante.

Questo dimostra come l'interesse verso la paglia nell'ambito edile sia in costante aumento in questo periodo storico.

Non è un caso l'idea, sviluppata ormai anche in Italia negli ultimi anni, di costruire abitazioni ecologiche cercando di trasformare le cosiddette "case popolari" in "social houses" sane ed ecologiche.

Il mercato immobiliare, infatti, a causa della crisi economica è decisamente mutato. Oggi nelle case popolari non abitano solo i più poveri ma anche persone che hanno voluto spostarsi dai cari affitti delle città. Sono cambiate quindi anche le esigenze e le richieste dei nuovi inquilini più inclini a dare della loro casa un valore diverso. Per questo negli ultimi anni si stanno moltiplicando gli esempi di social housing ecologico. Abitazioni prefabbricate spesso costruite con il legno e isolate attraverso materiali ecologici quali la paglia per garantire prestazioni termiche ed energetiche di livello.

In Italia, il progetto Parma social housing realizzerà 852 abitazioni in social housing ecologico.

Risulta evidente dallo studio appena esposto il fatto che la paglia si possa inserire in questo mercato garantendo prestazioni termiche di buon livello oltre che un prezzo decisamente inferiore rispetto all'edilizia tradizionale.

L'esempio di Maisonéco, oltre a questo, dimostra che questa tipologia di abitazione può diventare anche d'interesse per i rifugi in altura, dove chiaramente il clima risulta più rigido rispetto alla maggior parte delle città.

Al termine dei miei studi magistrali in "Uso razionale dell'energia e progettazione termotecnica" spero di poter approfondire l'argomento e svilupparlo sui nuovi orizzonti appena esposti.

8 – Bibliografia

- [1] RISOrsa abitare in paglia, novello case, BIOEDILIZIA
- [2] Ecoseven.net
- [3] Barbiero, Veronica, *“Comparazione energetica ed economica tra sostituzione e riqualificazione edilizia su immobili residenziali esistenti.”*
- [4] “Genius Loci”, Christian Norberg-Schulz
- [5] <<Case in paglia per la bioedilizia: tanti vantaggi sconosciuti>>, Green, vivi sostenibile
- [5.1] “Costruire con la paglia”, Piovesan Eros
- [6] Foglio di calcolo excell, Prof. Corrado, Polito, corso energetica
- [7] Guida ANIT Nazionale, Parametri d’involucro appendice A
- [8] Ferrarese Alberto, “Piano di Azione per l’Energia Sostenibile e per lo Sviluppo del Turismo in Alta Quota”
- [9] UNI CEI/TR 11428:2011, Definizione di fattore di aggiustamento
- [10] Guida ANIT Nazionale, IL RUOLO DEL COMUNE Secondo l’Art. 8 del DLgs 192/05, modificato dalla Legge 90
- [11] Da D.P.R 412/93
- [12] Arpa Valle d’Aosta
- [13] Capozzoli Alfonso, Appunti presi a lezione corso energetica dell’edificio
- [14] Da UNI EN 8996
- [15] http://www.bandopiemontequasizero.it/zeb_34.html

9 - ALLEGATI:

Allegato 1: Caso invernale

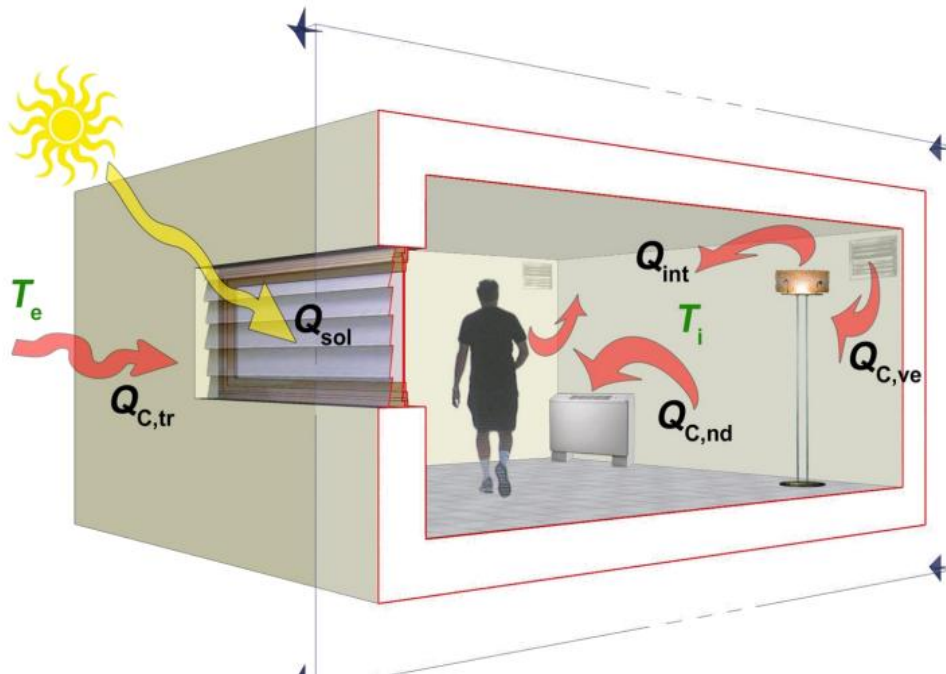


Figura 33 – Scambi termici abitazione

Trascurando gli apporti solari in quanto le misurazioni risultano effettuate in periodo notturno, gli apporti interni e lo scambio termico per ventilazione è possibile ricavare un valore approssimato della trasmittanza media da cui si ricava la conducibilità della paglia noti tutti i componenti delle pareti, copertura, soletta, i ponti termici oltre alla trasmittanza del serramento (N.B: devono essere noti tutti i componenti in quanto la U ricavata è quella media che dipende quindi da tutte le componenti d'involucro!):

$$Q'_{nd} = (Q'_{tr} + Q'_{ve}) - \eta_{gn}(Q'_{int} + Q'_{sol})$$

Essendo $Q'_{ve}, Q'_{int}, Q'_{sol}$ da ipotesi pari a 0 $\rightarrow Q'_{nd} = Q'_{tr}$

$$U_{media} = \frac{Q'_{stufa} \cdot h_{accensione}}{12 \cdot \Delta T \cdot S}$$

$$\text{dove } Q'_{stufa} = 829 \text{ W}; S = 140,755 \text{ m}^2$$

	ore di accens.	ore off	DT noct	Um noct
01/12/2016	9,4	14,6	14,39	0,32
02/12/2016	8,5	15,5	16,89	0,25
03/12/2016	8,3	15,7	17,29	0,24
04/12/2016	7,9	16,1	17,14	0,23
05/12/2016	7,8	16,2	16,45	0,23
06/12/2016	9,2	14,8	16,25	0,28
07/12/2016	9,4	14,6	17,64	0,26
08/12/2016	9,9	14,1	17,25	0,28
09/12/2016	9,5	14,5	16,95	0,28
10/12/2016	9,3	14,7	18,64	0,24
11/12/2016	10,1	13,9	19,00	0,26
12/12/2016	10	14	18,89	0,26
13/12/2016	10,3	13,7	18,95	0,27
14/12/2016	10,2	13,8	18,80	0,27
15/12/2016	11	13	18,20	0,30
16/12/2016	11,1	12,9	16,16	0,34
17/12/2016	10,6	13,4	14,69	0,35
18/12/2016	11	13	15,38	0,35
19/12/2016	10,4	13,6	15,71	0,32
20/12/2016	10,1	13,9	14,75	0,34
21/12/2016	9,3	14,7	10,27	0,44
22/12/2016	8,8	15,2	10,28	0,42
23/12/2016	8,9	15,1	11,34	0,39
24/12/2016	8,9	15,1	14,88	0,29
25/12/2016	7,4	16,6	16,72	0,22
26/12/2016	6,2	17,8	18,49	0,16
27/12/2016	6,6	17,4	18,55	0,17
28/12/2016	7,6	16,4	18,29	0,20
29/12/2016	9	15	19,43	0,23
30/12/2016	10,3	13,7	18,90	0,27
31/12/2016	10,6	13,4	15,63	0,33

	ore di accens.	ore off	DT noct	Um noct
01/01/2017	10,5	13,5	13,52	0,38
02/01/2017	10,9	13,1	19,36	0,28
03/01/2017	11,4	12,6	20,91	0,27
04/01/2017	9	15	21,01	0,21
05/01/2017	7,9	16,1	21,91	0,18
06/01/2017	9,5	14,5	20,69	0,23
07/01/2017	11,2	12,8	20,23	0,27
08/01/2017	11	13	20,28	0,27
09/01/2017	10,7	13,3	17,93	0,29
10/01/2017	12,3	11,7	15,82	0,38
11/01/2017	12,3	11,7	19,07	0,32
12/01/2017	12,1	11,9	21,13	0,28
13/01/2017	10,8	13,2	23,15	0,23
14/01/2017	9,8	14,2	21,71	0,22
15/01/2017	10,2	13,8	20,27	0,25
16/01/2017	11,8	12,2	21,11	0,27
17/01/2017	13,3	10,7	20,70	0,32
18/01/2017	12,8	11,2	20,14	0,31
19/01/2017	11,9	12,1	20,03	0,29
20/01/2017	12	12	19,67	0,30
21/01/2017	11,8	12,2	18,19	0,32
22/01/2017	11,5	12,5	18,11	0,31
23/01/2017	11,4	12,6	16,85	0,33
24/01/2017	11,3	12,7	16,79	0,33
25/01/2017	10,7	13,3	17,03	0,31
26/01/2017	10,6	13,4	17,63	0,30
27/01/2017	10,1	13,9	16,95	0,29
28/01/2017	9,8	14,2	16,76	0,29
29/01/2017	9,2	14,8	14,25	0,32
30/01/2017	9,5	14,5	13,64	0,34
31/01/2017	9,6	14,4	15,42	0,31

Tabelle 42,43 – Calcolo U

$$U_{medio} = 0,28654 \frac{W}{m^2 * K}$$

Dalle stratigrafie delle pareti, del pavimento, del soffitto e noti i ponti termici e la trasmittanza delle superfici vetrate si dimostra che la conducibilità della paglia, in condizioni invernali, è pari a $0,1 \frac{W}{m * K}$.

Dettagli calcoli:

stratigrafia parete

	Descrizione strato (dall'interno all'esterno)	s [m]	ρ [Kg/m3]	c [Kj/(KgK)]	λ [w/mK]	R=s/λ [m2K/W]	CF=s*ρ*c [Kj/(m2K)]	MF=s*ρ [kg/m2]
-	aria interna					0,13		
1	pannello OSB	0,03	650	1,7	0,13	0,23	33,15	19,5
2	paglia	0,37	340	1,9	0,10	3,70	239,02	125,8
3	pannello OSB	0,03	650	1,7	0,13	0,23	33,15	19,5
4	barrirera al vapore	0,0002	110	1,8	0,40	0,0005	0,0396	0,022
5	intercapedine d'aria ventilata	0,04	-	-	-	0	-	-
6	parete in legno esterno	0,02	-	-	-	0,00	-	-
	aria esterna							
	totale					4,2920		

sup	76,591
-----	--------

U	0,23299
H	17,8449

stratigrafia pavimento

	Descrizione strato (dall'interno all'esterno)	s [m]	ρ [Kg/m3]	c [Kj/(KgK)]	λ [w/mK]	R=s/λ [m2K/W]	CF=s*ρ*c [Kj/(m2K)]	MF=s*ρ [kg/m2]
-	aria interna					0,17		
1	pavimento in legno	0,02	550	2,7	0,14	0,14	29,7	11
2	pannello OSB	0,03	650	1,7	0,13	0,23	33,15	19,5
3	paglia	0,37	340	1,9	0,10	3,70	239,02	125,8
4	pannello OSB	0,03	650	1,7	0,13	0,23	33,15	19,5
5	barrirera al vapore	0,00022	-	-	-	-	-	-
6	intercapedine d'aria ventilata	0,04	-	-	-	-	-	-
-	aria esterna					0,04		
Totale						4,514396		

sup	29,315
-----	--------

btr	0,8
-----	-----

U	0,221514
H	5,194937

stratigrafia tetto

	Descrizione strato (dall'interno all'esterno)	s [m]	ρ [Kg/m3]	c [Kj/(KgK)]	λ [w/mK]	R=s/λ [m2K/W]	CF=s*ρ*c [Kj/(m2K)]	MF=s*ρ [kg/m2]
-	aria interna					0,10		
1	controtetto in compensato	0,02	400	1,7	0,14	0,14	13,6	8
2	intercapedine d'aria	0,05	1,3	1	-	0,11	0,065	0,065
3	pannello OSB	0,03	650	1,7	0,13	0,23	33,15	19,5
4	paglia	0,37	340	1,9	0,10	3,70	239,02	125,8
5	pannello OSB	0,03	650	1,7	0,13	0,23	33,15	19,5
6	barrirera al vapore	0,00022	110	1,8	0,4	-	0,04356	0,0242
7	intercapedine d'aria	0,2	1,3	1	-	0,16	0,26	0,26
8	pavimento in legno	0,02			0,14	0,14	0	0
9	ghiaia	0,04			1,2	0,03	0	0
-	aria esterna					0,04		
totale						4,850586		

sup	29,315
-----	--------

U	0,206161
H	6,0436

Superfici trasparenti

	sup tot	5,58	
porta [m2]	finestra[m2]	U [W/(m2*K)]	H [W/K]
3,28	2,3	1,4	7,812

ponti termici totali	2,19	$\frac{W}{K}$
----------------------	------	---------------

Risultati:

H tot	41,47
sup totale	140,755
U media	0,29

U media è circa 0,29 nel caso in cui la conducibilità della paglia risulta pari a $0,10 \frac{W}{m \cdot K}$

N.B: Si ricordi che il risultato è frutto di un'approssimazione dovuta alle ipotesi di pagina 68.

ALLEGATO 2:

“Calcolo della trasmittanza attraverso il metodo della media progressiva, dati da flussimetro (nel rispetto della normativa **UNI ISO 9869-1:2015**)”

a) Caso estivo

Ora	Flusso	Tsens1	Tsens2	Tsens3,e	Tsens4,e	Tmi	Tme	DT	Somm(DT)	Somm(q)		DTm	qm	Cm
hh:mm:ss	W/m^2	°C	°C	°C	°C	°C	°C							
00:16:02	7,66	33,12	33,64	22,75	22,69	33,38	22,72	10,66	10,66	7,66	1	10,66	7,66	0,718574
01:16:02	7,1	33,09	33,6	22,77	22,72	33,35	22,75	10,60	21,26	14,76	2	10,63	7,38	0,694262
03:16:02	6,51	34,01	34,55	20,78	20,67	34,28	20,73	13,56	34,82	21,27	3	11,605	7,09	0,610944
04:16:02	6,69	35,67	36,21	20,05	19,98	35,94	20,02	15,93	50,74	27,96	4	12,685	6,99	0,551045
05:16:02	6,34	35,8	36,33	20,02	19,98	36,07	20,00	16,07	66,81	34,3	5	13,361	6,86	0,513435
06:16:02	6,6	36,73	37,26	20,54	20,61	37,00	20,58	16,42	83,23	40,9	6	13,87083	6,82	0,491439
07:16:02	6,95	36,67	37,2	20,54	20,61	36,94	20,58	16,36	99,59	47,85	7	14,22643	6,84	0,480494
08:16:02	6,62	36,55	37,09	20,31	20,33	36,82	20,32	16,50	116,09	54,47	8	14,51063	6,81	0,469225
09:16:02	6,84	36,5	37,04	20,19	20,21	36,77	20,20	16,57	132,66	61,31	9	14,73944	6,81	0,462176
10:16:02	7,03	36,47	37,01	20,09	20,05	36,74	20,07	16,67	149,33	68,34	10	14,9325	6,83	0,457659
11:16:02	7,01	36,52	37,07	20,3	20,33	36,80	20,32	16,48	165,81	75,35	11	15,07318	6,85	0,45445
12:16:02	7,06	36,68	37,2	20,47	20,54	36,94	20,51	16,44	182,24	82,41	12	15,18667	6,87	0,452206
13:16:02	7,14	36,81	37,33	20,55	20,64	37,07	20,40	16,68	198,92	89,55	13	15,30115	6,89	0,450192
14:16:02	7,1	36,82	37,35	20,46	20,56	37,09	20,51	16,58	215,49	96,65	14	15,39214	6,90	0,448513
15:16:02	7,16	36,88	37,39	20,83	20,96	37,14	20,90	16,24	231,73	103,81	15	15,44867	6,92	0,447978
16:16:02	6,71	36,13	36,66	20,07	20,01	36,40	20,04	16,36	248,09	110,52	16	15,50531	6,91	0,445492
17:16:02	7,19	34,74	35,26	20,91	20,86	35,00	20,89	14,12	262,20	117,71	17	15,42353	6,92	0,448932
18:16:02	7,08	34,13	34,64	20,84	20,76	34,39	20,80	13,59	275,79	124,79	18	15,32139	6,93	0,45249
19:16:02	6,93	33,95	34,48	20,6	20,49	34,22	20,55	13,67	289,46	131,72	19	15,23447	6,93	0,455062
20:16:02	7,4	33,52	34,04	21,8	21,69	33,78	21,72	12,07	301,52	139,12	20	15,076	6,96	0,461396
21:16:02	6,82	33,15	33,68	22,68	22,61	33,42	22,65	10,77	312,29	145,94	21	14,87095	6,95	0,467322
22:16:02	6,84	32,91	33,44	22,91	22,86	33,18	22,89	10,29	322,58	152,78	22	14,66273	6,94	0,473619
00:16:02	6,64	35,02	35,56	20,62	20,56	35,29	20,59	14,70	337,28	159,42	23	14,66435	6,93	0,472664
01:16:02	6,42	35,04	35,57	20,42	20,36	35,31	20,39	14,92	352,20	165,84	24	14,67479	6,91	0,470876
02:16:02	6,62	35,06	35,6	20,72	20,67	35,33	20,70	14,64	366,83	172,46	25	14,6732	6,90	0,470136
03:16:02	6,93	35,09	35,62	20,83	20,77	35,36	20,80	14,56	381,39	179,39	26	14,66865	6,90	0,470365
05:16:02	6,45	35,14	35,69	20,63	20,58	35,42	20,61	14,82	396,20	185,84	27	14,67407	6,88	0,469056
06:16:02	6,45	35,22	35,77	20,89	20,84	35,50	20,87	14,63	410,83	192,29	28	14,6725	6,87	0,468052
07:16:02	6,57	35,24	35,78	20,8	20,76	35,51	20,78	14,73	425,56	198,86	29	14,67448	6,86	0,46729
09:16:02	6,34	35,8	36,3	20	19,98	36,05	19,99	16,06	441,62	205,2	30	14,72067	6,84	0,464653
10:16:02	6,21	35,96	36,52	20,39	20,33	36,24	20,36	15,88	457,50	211,41	31	14,75806	6,82	0,462098
11:16:02	6,58	35,98	36,52	20,46	20,41	36,25	20,44	15,82	473,32	217,99	32	14,79109	6,81	0,46056
20:16:02	7,03	32,83	33,36	22,94	22,9	33,10	22,92	10,18	483,49	225,02	39	12,39718	5,77	0,465408
21:16:02	6,44	33,32	33,84	22,41	22,34	33,58	22,38	11,21	494,70	231,46	40	12,36738	5,79	0,467884
22:16:02	6,57	33,78	34,32	21,06	20,95	34,05	21,01	13,05	507,74	238,03	41	12,3839	5,81	0,468803
23:16:02	6,9	34,2	34,72	20,94	20,86	34,46	20,90	13,56	521,30	244,93	42	12,4119	5,83	0,469845
00:16:02	6,72	34,59	35,13	21,12	21,06	34,86	21,08	13,78	535,08	251,65	43	12,44372	5,85	0,470304
01:16:02	6,74	34,98	35,52	20,7	20,66	35,25	20,68	14,57	549,65	258,39	44	12,49205	5,87	0,470099
02:16:02	6,97	35,33	35,86	20,67	20,61	35,60	20,64	14,96	564,61	265,36	45	12,54678	5,90	0,469992
03:16:02	6,92	35,66	36,19	20,11	20,05	35,93	20,08	15,85	580,45	272,28	46	12,61848	5,92	0,469084
04:16:02	6,81	35,97	36,51	20,39	20,34	36,24	20,37	15,88	596,33	279,09	47	12,68777	5,94	0,468017
05:16:02	6,7	36,24	36,78	19,86	19,8	36,51	19,83	16,68	613,01	285,79	48	12,77094	5,95	0,466212
06:16:02	7,12	36,53	37,06	20,22	20,23	36,80	20,23	16,57	629,58	292,91	49	12,84847	5,98	0,46525
07:16:02	7,17	36,8	37,34	20,57	20,66	37,07	20,62	16,46	646,03	300,08	50	12,9206	6,00	0,464499
12:16:02	7,1	34,46	34,99	21,09	21,03	34,73	21,06	13,67	659,70	307,18	53	12,44708	5,80	0,465639
13:16:02	6,53	35,96	36,52	20,39	20,33	36,24	20,36	15,88	675,58	313,71	54	12,51065	5,81	0,46436
14:16:02	6,42	33,84	34,37	20,98	20,85	34,11	20,92	13,19	688,77	320,13	55	12,523	5,82	0,464788
15:16:02	6,45	35,22	35,77	20,89	20,84	35,50	20,87	14,63	703,40	326,58	56	12,56063	5,83	0,464291
16:16:02	6,42	35,51	36,06	20,58	20,52	35,79	20,55	15,24	718,63	333	57	12,60754	5,84	0,463382
17:16:02	6,34	35,8	36,33	20,02	19,98	36,07	20,00	16,07	734,70	339,34	58	12,66716	5,85	0,461879
18:16:02	5,8	36,78	36,97	20,49	20,21	36,88	20,35	16,53	751,22	345,14	59	12,73254	5,85	0,459439
19:16:02	5,76	36,56	36,79	21,03	20,86	36,68	20,95	15,73	766,95	350,9	60	12,7825	5,85	0,457527
20:16:02	5,95	35,7	35,57	21,24	21,17	35,64	21,21	14,43	781,38	356,85	61	12,80951	5,85	0,456692
21:16:02	6,12	35,63	35,41	21,14	21,08	35,52	21,11	14,41	795,79	362,97	62	12,83532	5,85	0,456113
22:16:02	5,98	31,2	30,83	17,33	17,64	31,02	17,35	13,67	809,46	368,95	63	12,84854	5,86	0,455799
23:16:02	6,1	33,43	32,98	19,43	19,51	33,20	19,47	13,73	823,19	375,05	64	12,86231	5,86	0,455607

Tabella 44– Calcolo attraverso medie progressive

Da cui si è ricavato:

$$C = 0,456 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad R = \frac{1}{C} = 2,19 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad R_{totale} = R + 0,13 = 2,32 \quad U = \frac{1}{R_{tot}} = 0,43 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Dal grafico seguente si nota come la conduttanza converga proprio per quel valore di C:

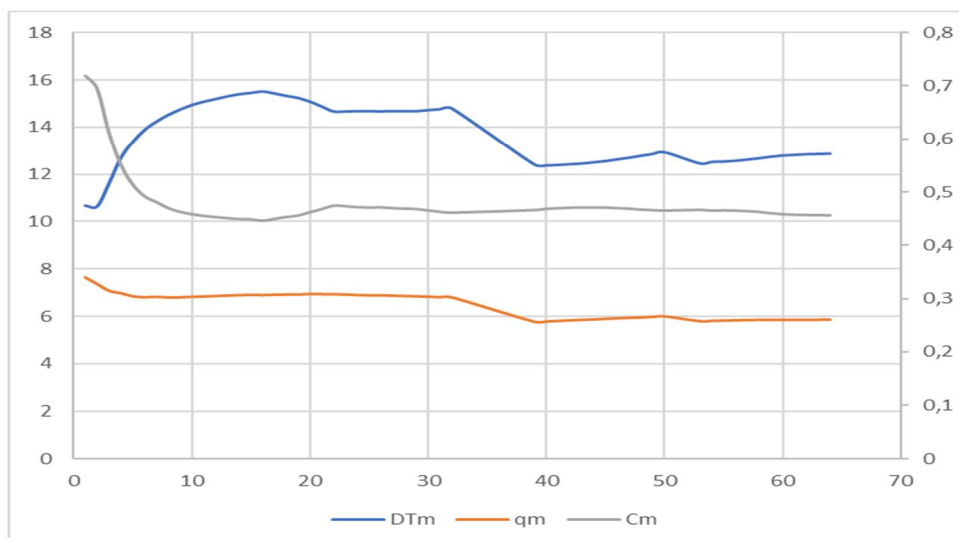


Grafico 11 – Dettaglio convergenza

b) Caso primaverile

	Flusso termico (0.00 W/m2)	qmmedio	Tint media	somma T	Tint	Test	Delta T	Cmedia
1	8,15	8,15	8,15	27,47	27,47	20,81	6,66	1,225
2	8,32	16,47	8,24	27,95	55,41	21,13	6,57	1,253
3	7,93	24,4	8,13	28,52	83,93	21,32	6,66	1,222
4	7,02	31,42	7,86	28,96	112,89	21,36	6,87	1,144
5	6,8	38,22	7,64	29,32	142,21	21,37	7,07	1,081
6	6,82	45,04	7,51	29,65	171,85	21,30	7,34	1,022
7	6,49	51,53	7,36	30,00	201,85	21,17	7,66	0,961
8	6,39	57,92	7,24	30,21	232,06	21,02	7,98	0,907
9	6,65	64,57	7,17	30,49	262,55	20,84	8,33	0,861
10	6,28	70,85	7,09	30,73	293,27	20,62	8,70	0,814
11	6,4	77,25	7,02	30,96	324,23	20,40	9,07	0,774
12	6,22	83,47	6,96	31,15	355,37	20,22	9,39	0,741
13	6,41	89,88	6,91	31,37	386,74	20,07	9,68	0,714
14	6,18	96,06	6,86	31,57	418,31	19,88	9,96	0,689
15	6,07	102,13	6,81	31,76	450,06	19,79	10,21	0,667
16	6,13	108,26	6,77	31,94	482,00	19,67	10,46	0,647
17	5,86	114,12	6,71	32,13	514,12	19,53	10,71	0,627
18	5,76	119,88	6,66	32,27	546,39	19,38	10,97	0,607
19	6,1	125,98	6,63	32,43	578,82	19,21	11,25	0,590
20	5,88	131,86	6,59	32,58	611,40	19,05	11,52	0,572
21	6,18	138,04	6,57	32,73	644,12	18,88	11,79	0,557
22	5,86	143,9	6,54	32,86	676,98	18,71	12,06	0,543
23	5,96	149,86	6,52	32,98	709,96	18,54	12,32	0,529
24	5,98	155,84	6,49	33,09	743,05	18,38	12,58	0,516
25	6,03	161,87	6,47	33,21	776,26	18,21	12,84	0,504
26	5,83	167,7	6,45	33,33	809,59	18,05	13,09	0,493
27	6,05	173,75	6,44	33,46	843,05	17,89	13,33	0,483
28	6,01	179,76	6,42	33,56	876,61	17,73	13,57	0,473
29	5,92	185,68	6,40	33,66	910,27	17,57	13,81	0,464
30	5,98	191,66	6,39	33,76	944,03	17,43	14,04	0,455

Dal grafico seguente si può notare come la conduttanza converga:

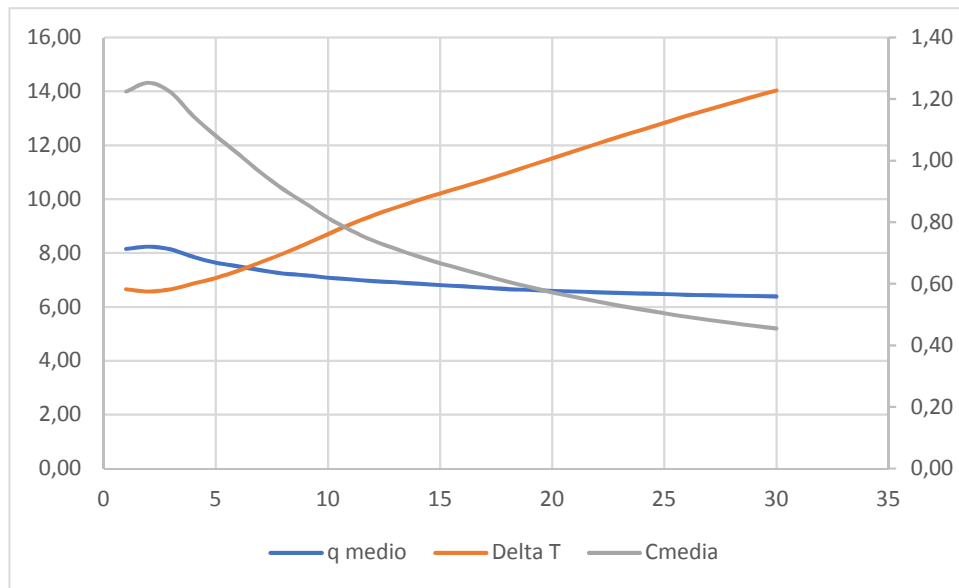


Grafico 12 – Dettaglio convergenza

Essendo la conduttanza praticamente pari a quella trovata nel caso estivo la trasmittanza della parete risulta anche in questo caso pari a $U = 0,43 \frac{W}{m^2 \cdot K}$.

Essendo le componenti della parete, eccezion fatta per la paglia, note è possibile calcolare la conducibilità termica della paglia in queste condizioni:

stratigrafia parete

	Descrizione strato (dall'interno all'esterno)	s [m]	ρ [Kg/m3]	c [Kj/(KgK)]	λ [w/mK]	R=s/λ [m2K/W]	CF=s*ρ*c [Kj/(m2K)]	MF=s*ρ [kg/m2]
-	aria interna					0,13		
1	pannello OSB	0,03	650	1,7	0,13	0,23	33,15	19,5
2	paglia	0,37	340	1,9	0,21	1,73	239,02	125,8
3	pannello OSB	0,03	650	1,7	0,13	0,23	33,15	19,5
4	barrirera al vapore	0,00022	110	1,8	0,40	0,0006	0,04356	0,0242
5	intercapedine d'aria ventilata	0,04	-	-	-	0	-	-
6	parete in legno esterno	0,02	-	-	-	0,00	-	-
	aria esterna							
	totale					2,3256		

U 0,43

La conducibilità, in queste condizioni, si attesta su un valore pari a $\lambda = 0,21 \frac{W}{m \cdot K}$:

Le differenze tra le conducibilità nei diversi periodi ci fa capire come la paglia abbia prestazioni, dal punto di vista dell'isolamento termico, decisamente peggiori per temperature elevate.

Essendo la struttura, nel caso di studio, adibita ad uso saltuario in altura come rifugio la paglia si troverà spesso in condizioni più "idonee" alla sua funzione isolante.