



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica

TESI DI LAUREA

**“ COMPARAZIONE ENERGETICA ED ECONOMICA TRA
SOSTITUZIONE E RIQUALIFICAZIONE EDILIZIA SU IMMOBILI
RESIDENZIALI ESISTENTI”**

Relatore: Prof. Michele De Carli

Correlatore: Dott. Andrea Sacchetto

Laureando: Veronica Barbiero

Matricola: 1036068

Anno Accademico 2013/2014

PREMESSA

Per *riqualificazione energetica* di un edificio si intendono tutte le operazioni, tecnologiche e gestionali, atte al miglioramento delle prestazioni delle costruzioni esistenti dal punto di vista dell'efficienza energetica, volte cioè alla razionalizzazione dei flussi energetici che intercorrono tra sistema edificio ed ambiente esterno.

In generale, gli interventi di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente sono finalizzati a:

- 1) migliorare il comfort degli ambienti interni;
- 2) contenere i consumi di energia;
- 3) ridurre le emissioni di inquinanti e il relativo impatto sull'ambiente;
- 4) utilizzare in modo razionale le risorse, attraverso lo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili in sostituzione dei combustibili fossili;
- 5) ottimizzare la gestione dei servizi energetici.

Le statistiche affermano che quasi il 60% degli edifici residenziali in Italia sono stati costruiti dal secondo dopoguerra agli anni 80¹, periodo in cui nella progettazione degli edifici si prestava poca attenzione al concetto di isolamento termico dell'involucro e al risparmio energetico. Questi edifici sono pertanto caratterizzati da una classe energetica G che corrisponde alle prestazioni energetiche peggiori.

In questo quadro, i margini di miglioramento del comfort termico e di riduzione dei consumi energetici attraverso una riqualificazione che riguarda azioni di modifica sia dell'involucro sia dell'impianto sono notevoli.

A questo punto è da chiedersi se dal punto di vista energetico ed economico non sia più conveniente provvedere alla demolizione dell'edificio da riqualificare sostituendolo con una struttura prefabbricata di elevate prestazioni energetiche e relativa velocità realizzativa, anziché agire sulla struttura esistente tramite una totale ristrutturazione. La scelta di una delle due soluzioni dipende ovviamente dalla zona climatica in cui si trova l'edificio e dalla dimensione dell'intervento di riqualificazione.

L'analisi verrà effettuata prendendo in considerazione un edificio residenziale degli anni '70 in classe energetica G situato in zona climatica E: si studierà il caso di agire direttamente sulla struttura esistente in modo tale da raggiungere almeno la classe energetica B oppure il caso di demolire l'edificio per sostituirlo con un'abitazione prefabbricata in legno di uguali dimensioni e di prestazioni energetiche caratterizzanti la classe energetica A+, determinando la convenienza di una o dell'altra azione dal punto di vista sia energetico sia economico.

La scelta della costruzione prefabbricata in legno è stata effettuata in ambito ambientale a fronte di una demolizione edilizia. Dato atto che la possibile demolizione della casa esistente comporterebbe dei costi ambientali non indifferenti per quanto riguarda il riciclo/smaltimento in discarica dei materiali derivanti dalla demolizione, la nuova costruzione in materiali naturali ridurrebbe significativamente il costo futuro della dismissione e demolizione dell'edificio.

¹ www.edilportale.com

INDICE

1. ANALISI NORMATIVA	7
2. RIQUALIFICAZIONE DELL'EDIFICIO ESISTENTE	13
2.1 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO.....	13
2.2 ANALISI DELLE CRITICITA'	14
2.2.1 STRUTTURE DISPERDENTI OPACHE.....	14
2.2.2 STRUTTURE VETRATE.....	16
2.2.3 PONTI TERMICI E VERIFICA IGROMETRICA.....	20
2.2.4 SISTEMA DI GENERAZIONE, DISTRIBUZIONE ED EMISSIONE	24
2.3 CERTIFICAZIONE ENERGETICA DELL'EDIFICIO ESISTENTE.....	24
2.4 GLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE.....	26
2.4.1 RIQUALIFICAZIONE PARZIALE	26
2.4.2 RIQUALIFICAZIONE TOTALE	56
2.5 PIANIFICAZIONE TEMPORALE DEI LAVORI ATTRAVERSO IL DIAGRAMMA DI GANTT.....	61
2.5.1 RIQUALIFICAZIONE PARZIALE.....	62
2.5.2 RIQUALIFICAZIONE TOTALE	63
2.6 VALUTAZIONE ECONOMICA CON IL COMPUTO METRICO ESTIMATIVO	66
2.6.1 RIQUALIFICAZIONE PARZIALE	66
2.6.2 RIQUALIFICAZIONE TOTALE	74
2.7 ANALISI DEI RISULTATI	78
3. CASA PREFABBRICATA IN LEGNO COME SOLUZIONE DI SOSTITUZIONE.....	79
3.1 STORIA DELLE CASE PREFABBRICATE IN LEGNO.....	79
3.2 VANTAGGI DI UNA CASA PREFABBRICATA IN LEGNO	80
3.3 TECNOLOGIE COSTRUTTIVE.....	81
3.4 LA PROGETTAZIONE DELL'EDIFICIO PREFABBRICATO IN LEGNO.....	86
3.5 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO.....	87
3.5.1 STRATIGRAFIE DELLE STRUTTURE OPACHE DISPERDENTI.....	88
3.5.2 STRUTTURE VETRATE DISPERDENTI	91
3.5.3 SCELTA DELL'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO E DI PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA, E DEL SISTEMA DI VENTILAZIONE	92
3.6 RISULTATI DELLA CERTIFICAZIONE ENERGETICA PER L'EDIFICIO PREFABBRICATO IN LEGNO.	114
3.7 PIANIFICAZIONE TEMPORALE DEI LAVORI ATTRAVERSO IL DIAGRAMMA DI GANTT.....	117
3.8 VALUTAZIONE ECONOMICA TRAMITE STESURA DEL COMPUTO METRICO ESTIMATIVO	120
4. CONFRONTO DEI RISULTATI	125
4.1 CONFRONTO ENERGETICO	125
4.2 CONFRONTO DELLA DURATA DEI LAVORI.....	126
4.3 CONFRONTO ECONOMICO	126

4.3.1 AGEVOLAZIONI E DETRAZIONI FISCALI	127
4.3.2 RISPARMIO SULLA BOLLETTA	129
4.3.3 ANALISI DELL'INVESTIMENTO	143
5. CONCLUSIONI	146

APPENDICE A. SCHEDE TECNICHE

APPENDICE B. TABELLA DELLE NORMATIVE DI RIFERIMENTO

BIBLIOGRAFIA

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.1 Planimetria del piano terra	13
Figura 2.2 Planimetria del primo piano	14
Figura 2.3 Termografia dell'elemento angolare.	21
Figura 2.4 Andamento della temperatura superficiale sulla porzione di elemento angolare	21
Figura 2.5 Sezione di terrazzo per analisi del ponte termico.	22
Figura 2.6 Termografia del ponte termico.	23
Figura 2.7 Profilo della temperatura interna superficiale del ponte termico.	23
Figura 2.8 Indici di prestazione energetica.	24
Figura 2.9 Grafico dei fabbisogni termici e dei fabbisogni primari.	25
Figura 2.10 Verifica termoigrometrica della struttura: condensa interstiziale.	28
Figura 2.11 Sezione del solaio verso sottotetto	28
Figura 2.12 Struttura della copertura riqualificata.	29
Figura 2.13 Sezione del solaio controterra isolato.	30
Figura 2.14 Componenti del sistema ibrido Duo-Tec CSI-i IN.....	38
Figura 2.15 Schema di impianto con funzionamento a riscaldamento con sola pompa di calore.	40
Figura 2.16 Funzionamento pompa di calore con caldaia in integrazione.	41
Figura 2.17 Pre-riscaldamento del bollitore con pompa di calore.	41
Figura 2.18 Pre-riscaldamento del bollitore con caldaia.	42
Figura 2.19 Prelievo di ACS senza post-riscaldamento.	43
Figura 2.20 Prelievo di ACS con post-riscaldamento.	43
Figura 2.21 Andamento delle temperatura di mandata e di ritorno nei radiatori.....	44
Figura 2.22 Schemi di impianto dei due tipi di sistemi di ventilazione.	47
Figura 2.23 Lastra grecata in alluminio con attacchi per moduli fotovoltaici.	51
Figura 2.24 Dimensioni dei moduli fotovoltaici E20-327.....	51
Figura 2.25 Planimetria dell'impianto fotovoltaico.	52
Figura 2.26 Vista tridimensionale dell'edificio.	52
Figura 3.1 Esempi di applicazione della tecnica Platform Frame.	82
Figura 3.2 Sezione di due pannelli in X-Lam.	83
Figura 3.3 Fasi di montaggio di una casa con pannelli in X-Lam.	83
Figura 3.4 Fasi di cantiere di edifici prefabbricati con pannelli in X-Lam.	84
Figura 3.5 Esempi di stratigrafie di pareti con sistema "a telaio".	85
Figura 3.6 Sistema di costruzione Blockhaus.	85
Figura 3.7 Planimetria del piano terra dell'edificio prefabbricato in legno.	87
Figura 3.8 Planimetria del primo piano e del sottotetto.	87
Figura 3.9 Viste da diverse angolazioni dell'edificio nuovo in legno.	88
Figura 3.10 Prospetti EST e OVEST dell'edificio prefabbricato in legno.....	92
Figura 3.11 Prospetti SUD e NORD dell'edificio prefabbricato in legno.	92
Figura 3.12 Vista dall'alto dell'impianto fotovoltaico.	108
Figura 3.13 Prospetto Est ed Ovest dell'impianto fotovoltaico.	108
Figura 3.14 Vista tridimensionale dell'edificio con l'impianto fotovoltaico.	109
Figura 3.15 Unità interna della pompa di calore VITOCAL 200-S.	110
Figura 3.16 Curve caratteristiche della pompa di calore Vitocal 200-S, tipo AWB 201.B07.	112
Figura 3.17 Fabbisogni termici e fabbisogni primari.	115
Figura 4.1 Indice di prestazione globale della casa riqualificata e della casa nuova.	126

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 Verifica igrometrica per ogni mese del periodo di riscaldamento.	22
Tabella 2 Verifica igrometrica per ogni mese del periodo di riscaldamento.	23
Tabella 3 Fabbisogni di energia termica e primaria.	25
Tabella 4 Condensa superficiale: fattore di resistenza superficiale.	27
Tabella 5 Superfici disperdenti per porzione di edificio.	33
Tabella 6 Temperature nel radiatore.	45
Tabella 7 Resa termica dei radiatori in funzione della temperatura esterna.	45
Tabella 8 Fabbisogni di energia termica e primaria.	53
Tabella 9 Fabbisogno globale di energia primaria.	54
Tabella 10 Fabbisogni di energia termica e di energia primaria.	55
Tabella 11 Fabbisogni di energia termica e di energia primaria.	60
Tabella 12 Manodopera in cantiere per l'intervento di riqualificazione.	62
Tabella 13 Fattori relativi alla resistenza del pavimento.	100
Tabella 14 Valori del fattore A_f	100
Tabella 15 Valori del fattore A_m	101
Tabella 16 Valori del fattore A_p	101
Tabella 17 Flusso di calore emesso verso l'alto dal pannello.	102
Tabella 18 Portata d'acqua e flusso di calore totale emesso del pannello.	103
Tabella 19 Verifica della temperatura superficiale a pavimento.	104
Tabella 20 Verifica della lunghezza massima del pannello.	105
Tabella 21 Verifica della velocità del fluido termovettore.	106
Tabella 22 Verifica di soddisfacimento del fabbisogno termico dell'edificio.	106
Tabella 23 Dati tecnici pompa di calore VITOCAL 200-S, tipo AWB 201.B07.	111
Tabella 24 Dati delle prestazioni della pompa di calore a diverse temperature di mandata dell'acqua.	113
Tabella 25 Fabbisogni di energia termica e primaria.	114
Tabella 26 Fabbisogno globale di energia primaria.	115
Tabella 27 Energia primaria non rinnovabile.	130
Tabella 28 Quota rinnovabile dell'energia primaria globale.	130
Tabella 29 Quota rinnovabile per la climatizzazione invernale.	132
Tabella 30 Quota rinnovabile per la produzione di acqua calda sanitaria.	133
Tabella 31 Quota rinnovabile dell'energia primaria globale.	133
Tabella 32 Energia primaria non rinnovabile.	136
Tabella 33 Quota rinnovabile per la climatizzazione invernale.	137
Tabella 34 Quota rinnovabile per la produzione di acqua calda sanitaria.	137
Tabella 35 Quota rinnovabile dell'energia primaria globale.	138
Tabella 36 Energia primaria non rinnovabile.	140
Tabella 37 Quota rinnovabile per la climatizzazione invernale.	141
Tabella 38 Quota rinnovabile per la produzione di acqua calda sanitaria.	141
Tabella 39 Quota rinnovabile dell'energia primaria globale.	142

1. ANALISI NORMATIVA

Il quadro normativo da seguire per l'analisi proposta riguarda la parte relativa ai requisiti energetici che devono soddisfare gli edifici di nuova costruzione e gli edifici che devono essere sottoposti a ristrutturazioni importanti espressi nella direttiva europea 2010/31/UE e la parte sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili espressa dalla direttiva 2009/28/CE.

La Direttiva 2010/31/UE è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale del 18/06/2010 e sancisce un punto importante in materia di Prestazione Energetica nell'edilizia; essa infatti sostituisce in maniera definitiva la precedente direttiva 2002/91/CE che è stata abrogata definitivamente dal 1 febbraio 2012. La nuova direttiva è stata recepita dagli stati membri con la legge n. 90 del 3 agosto 2013. Lo scopo della nuova direttiva è quello di chiarire, rafforzare ed ampliare il campo di applicazione di quella vigente sul rendimento energetico nell'edilizia, nonché di ridurre le differenze tra le pratiche dei vari stati membri pur tenendo conto delle condizioni tipiche di ogni stato membro.

Le motivazioni che hanno spinto alla modifica della normativa precedente e gli obiettivi che si prefigge la nuova normativa si trovano nella premessa della direttiva stessa:

(2) Un'utilizzazione efficace, accorta, razionale e sostenibile dell'energia riguarda, tra l'altro, i prodotti petroliferi, il gas naturale e i combustibili solidi, che, pur costituendo fonti essenziali di energia, sono anche le principali sorgenti delle emissioni di biossido di carbonio.

(3) Gli edifici sono responsabili del 40 % del consumo globale di energia nell'Unione. Il settore è in espansione, e ciò è destinato ad aumentarne il consumo energetico. Pertanto, la riduzione del consumo energetico e l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili nel settore dell'edilizia costituiscono misure importanti necessarie per ridurre la dipendenza energetica dell'Unione e le emissioni di gas a effetto serra. Unitamente ad un maggior utilizzo di energia da fonti rinnovabili, le misure adottate per ridurre il consumo di energia nell'Unione consentirebbero a quest'ultima di conformarsi al protocollo di Kyoto allegato alla convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) e di rispettare sia l'impegno a lungo termine di mantenere l'aumento della temperatura globale al di sotto di 2 °C, sia l'impegno di ridurre entro il 2020 le emissioni globali di gas a effetto serra di almeno il 20 % al di sotto dei livelli del 1990 e del 30 % qualora venga raggiunto un accordo internazionale. La riduzione del consumo energetico e il maggior utilizzo di energia da fonti rinnovabili rappresentano inoltre strumenti importanti per promuovere la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e gli sviluppi tecnologici e per creare posti di lavoro e sviluppo regionale, in particolare nelle zone rurali.

I motivi della modifica possono trovare ragione sul fatto che l'Unione Europea deve attuare delle strategie per rientrare negli obiettivi del Protocollo di Kyoto e del 20-20-20 al fine di ridurre le emissioni climateranti nel settore edilizio. Poiché gli edifici sono responsabili del 40% del consumo globale di energia nell'Unione Europea, l'obiettivo è dunque quello di diminuire il fabbisogno energetico degli edifici in modo tale da ridurre le emissioni di gas ad effetto serra.

Le disposizioni fornite dalla direttiva 2010/31/UE in merito alla standardizzazione tra gli Stati Membri sono le seguenti:

- a) il quadro comune generale di una metodologia per il calcolo della prestazione energetica integrata degli edifici e delle unità immobiliari;
- b) l'applicazione di requisiti minimi alla prestazione energetica di edifici e unità immobiliari di nuova costruzione;
- c) l'applicazione di requisiti minimi alla prestazione energetica di:
 - i) edifici esistenti, unità immobiliari ed elementi edilizi sottoposti a ristrutturazioni importanti;
 - ii) elementi edilizi che fanno parte dell'involucro dell'edificio e hanno un impatto significativo sulla prestazione energetica dell'involucro dell'edificio quando sono rinnovati o sostituiti;
 - iii) sistemi tecnici per l'edilizia quando sono installati, sostituiti o sono oggetto di un intervento di miglioramento;

- d) i piani nazionali destinati ad aumentare il numero di edifici a energia “quasi zero”;
- e) la certificazione energetica degli edifici o delle unità immobiliari;
- f) l’ispezione periodica degli impianti di riscaldamento e condizionamento d’aria negli edifici;
- g) i sistemi di controllo indipendenti per gli attestati di prestazione energetica e i rapporti di ispezione.

Andando nel dettaglio della Direttiva, si specificano ora le disposizioni qui sopra elencate.

Adozione di una metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici

Nell’Articolo 3 la Direttiva afferma che: *“Gli Stati membri applicano una metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici in conformità del quadro generale comune di cui all’allegato I. Tale metodologia è adottata a livello nazionale o regionale.”* Nell’allegato I la Direttiva fornisce la definizione di Prestazione Energetica: *“La prestazione energetica di un edificio è determinata sulla base della quantità di energia, reale o calcolata, consumata annualmente per soddisfare le varie esigenze legate ad un uso normale dell’edificio e corrisponde al fabbisogno energetico per il riscaldamento e il rinfrescamento (energia necessaria per evitare un surriscaldamento) che consente di mantenere la temperatura desiderata dell’edificio e coprire il fabbisogno di acqua calda nel settore domestico.”*

Ai fini della determinazione della metodologia di calcolo si deve tener conto almeno dei seguenti aspetti:

- a) le seguenti caratteristiche termiche effettive dell’edificio, comprese le sue divisioni interne:
 - i) capacità termica;
 - ii) isolamento;
 - iii) riscaldamento passivo;
 - iv) elementi di rinfrescamento;
 - v) ponti termici;
- b) impianto di riscaldamento e di produzione di acqua calda;
- c) impianti di condizionamento d’aria;
- d) ventilazione naturale e meccanica, compresa eventualmente l’ermeticità all’aria;
- e) impianto di illuminazione incorporato (principalmente per il settore non residenziale);
- f) progettazione, posizione e orientamento dell’edificio, compreso il clima esterno;
- g) sistemi solari passivi e protezione solare;
- h) condizioni climatiche interne, incluso il clima degli ambienti interni progettato;
- i) carichi interni.

Il calcolo deve tener conto, se del caso, dei vantaggi insiti nelle seguenti opzioni:

- a) condizioni locali di esposizione al sole, sistemi solari attivi ed altri impianti di generazione di calore ed elettricità a partire da energia da fonti rinnovabili;
- b) sistemi di cogenerazione dell’elettricità;
- c) impianti di teleriscaldamento e telerinfrescamento urbano o collettivo;
- d) illuminazione naturale.

Ai fini del calcolo gli edifici dovrebbero essere classificati adeguatamente secondo le seguenti categorie:

- a) abitazioni monofamiliari di diverso tipo;
- b) condomini (di appartamenti);
- c) uffici;
- d) strutture scolastiche;
- e) ospedali;
- f) alberghi e ristoranti;
- g) impianti sportivi;
- h) esercizi commerciali per la vendita all’ingrosso o al dettaglio;
- i) altri tipi di fabbricati impieganti energia.

Fissazione di requisiti minimi di prestazione energetica

Secondo l'Articolo 4, Comma 1: *“Gli Stati membri adottano le misure necessarie affinché siano fissati i requisiti minimi di prestazione energetica per gli edifici o le unità immobiliari al fine di raggiungere livelli ottimali in funzione dei costi.”*

I requisiti minimi devono essere fissati per gli elementi edilizi che fanno parte dell'involucro dell'edificio e hanno impatto significativo sulla prestazione energetica nel caso venissero sostituiti o rinnovati. Questi parametri devono tener conto delle condizioni di temperatura e di umidità degli ambienti interni allo scopo di evitare eventuali effetti negativi.

La fissazione dei requisiti minimi riguarda gli edifici di nuova costruzione, gli edifici esistenti e gli impianti tecnici per l'edilizia.

- a) **Edifici di nuova costruzione:** dall'Articolo 6, Comma 1: *“Per gli edifici di nuova costruzione gli Stati membri garantiscono che, prima dell'inizio dei lavori di costruzione, sia valutata e tenuta presente la fattibilità tecnica, ambientale ed economica di sistemi alternativi ad alta efficienza come quelli indicati di seguito, se disponibili:*
 - a) *sistemi di fornitura energetica decentralizzati basati su energia da fonti rinnovabili;*
 - b) *cogenerazione;*
 - c) *teleriscaldamento o telerinfrescamento urbano o collettivo, in particolare se basato interamente o parzialmente su energia da fonti rinnovabili;*
 - d) *pompe di calore.”*
- b) **Edifici esistenti:** la Direttiva indica nell'Articolo 7, Comma 1: *“Gli Stati membri adottano le misure necessarie per garantire che la prestazione energetica degli edifici o di loro parti destinati a subire ristrutturazioni importanti sia migliorata al fine di soddisfare i requisiti minimi di prestazione energetica fissati conformemente all'articolo 4 per quanto tecnicamente, funzionalmente ed economicamente fattibile.”* Nella Direttiva, all'Articolo 2, viene fornita la definizione di *“ristrutturazione importante”* come la ristrutturazione di un edificio quando:
 - a) il costo complessivo della ristrutturazione per quanto riguarda l'involucro dell'edificio o i sistemi tecnici per l'edilizia supera il 25 % del valore dell'edificio, escluso il valore del terreno sul quale questo è situato; oppure
 - b) la ristrutturazione riguarda più del 25 % della superficie dell'involucro dell'edificio.L'Articolo 7 continua affermando che *“Gli Stati membri adottano le misure necessarie, inoltre, per garantire che la prestazione energetica degli elementi edilizi che fanno parte dell'involucro dell'edificio e hanno un impatto significativo sulla prestazione energetica dell'involucro dell'edificio destinati ad essere sostituiti o rinnovati soddisfino i requisiti minimi di prestazione energetica per quanto tecnicamente, funzionalmente ed economicamente fattibile.”*
- c) **Impianti tecnici per l'edilizia:** secondo l'Articolo 8, Comma 1: *“Al fine di ottimizzare il consumo energetico dei sistemi tecnici per l'edilizia, gli Stati membri stabiliscono requisiti di impianto relativi al rendimento energetico globale, alla corretta installazione e alle dimensioni, alla regolazione e al controllo adeguati degli impianti tecnici per l'edilizia installati negli edifici esistenti. Gli Stati membri possono altresì applicare tali requisiti agli edifici di nuova costruzione.*
Tali requisiti sono stabiliti per il caso di nuova installazione, sostituzione o miglioramento di sistemi tecnici per l'edilizia e si applicano per quanto tecnicamente, economicamente e funzionalmente fattibile.
Detti requisiti riguardano almeno quanto segue:
 - a) *impianti di riscaldamento;*
 - b) *impianti di produzione di acqua calda;*
 - c) *impianti di condizionamento d'aria;*
 - d) *grandi impianti di ventilazione;**o una combinazione di tali impianti.”*

Edifici a energia quasi zero

Per “Edificio a energia quasi zero” la Direttiva fornisce nell’Articolo 2 la definizione: “*Edificio ad altissima prestazione energetica, determinata conformemente all’allegato I. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l’energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze.*” Per questo tipo di edifici la Direttiva indica nell’Articolo 9 i seguenti punti: “*Gli Stati membri provvedono affinché:*

- a) entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici a energia quasi zero; e*
- b) a partire dal 31 dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi siano edifici a energia quasi zero.*

Gli Stati membri elaborano piani nazionali destinati ad aumentare il numero di edifici a energia quasi zero. Tali piani nazionali possono includere obiettivi differenziati per tipologia edilizia.”

Al Comma 2 dell’Articolo 9, la Direttiva continua affermando che: “*Gli Stati membri procedono inoltre, sulla scorta dell’esempio del settore pubblico, alla definizione di politiche e all’adozione di misure, quali la fissazione di obiettivi, finalizzate a incentivare la trasformazione degli edifici ristrutturati in edifici a energia quasi zero e ne informano la Commissione nei piani nazionali di cui al paragrafo 1.*

I piani nazionali comprendono, tra l’altro, i seguenti elementi:

- a) l’applicazione dettagliata nella pratica, da parte degli Stati membri, della definizione di edifici a energia quasi zero, tenuto conto delle rispettive condizioni nazionali, regionali o locali e con un indicatore numerico del consumo di energia primaria espresso in kWh/m² anno. I fattori di energia primaria usati per la determinazione del consumo di energia primaria possono basarsi sui valori medi nazionali o regionali annuali e tener conto delle pertinenti norme europee;*
- b) obiettivi intermedi di miglioramento della prestazione energetica degli edifici di nuova costruzione entro il 2015;*
- c) informazioni sulle politiche e sulle misure finanziarie o di altro tipo adottate per promuovere gli edifici a energia quasi zero, compresi dettagli relativi ai requisiti e alle misure nazionali concernenti l’uso di energia da fonti rinnovabili negli edifici di nuova costruzione e negli edifici esistenti sottoposti ad una ristrutturazione importante stabiliti nell’ambito dell’articolo 13, paragrafo 4, della direttiva 2009/28/CE e degli articoli 6 e 7 della presente direttiva.”*

Entro il 31 dicembre 2012 e successivamente ogni tre anni, la Commissione Europea fornisce una relazione sui progressi effettuati dagli Stati Membri per aumentare il numero di edifici a energia quasi zero. Sulla base di tale relazione la Commissione elabora un piano di azione per aumentare il numero di tali edifici.

Attestato di prestazione energetica

Per “Attestato di prestazione energetica” si intende, come da Articolo 2 della Direttiva, “*documento riconosciuto da uno Stato membro o da una persona giuridica da esso designata in cui figura il valore risultante dal calcolo della prestazione energetica di un edificio o di un’unità immobiliare effettuato seguendo una metodologia adottata in conformità dell’articolo 3*”.

Gli Articoli 11, 12 e 13 della Direttiva forniscono tutte le indicazioni riguardanti l’adozione, il rilascio e l’affissione dell’Attestato di prestazione energetica.

Articolo 11: “*Gli Stati membri adottano le misure necessarie per l’istituzione di un sistema di certificazione energetica degli edifici. L’attestato di prestazione energetica comprende la prestazione energetica di un edificio e valori di riferimento quali i requisiti minimi di prestazione energetica al*

fine di consentire ai proprietari o locatari dell'edificio o dell'unità immobiliare di valutare e raffrontare la prestazione energetica.” Il certificato ha validità di 10 anni.

L'attestato di prestazione energetica deve essere rilasciato, come indicato nell'Articolo 12:

a) per gli edifici o le unità immobiliari costruiti, venduti o locati ad un nuovo locatario;

b) per gli edifici in cui una metratura utile totale di oltre 500 m² è occupata da enti pubblici e abitualmente frequentata dal pubblico. Il 9 luglio 2015 la soglia di 500 m² è abbassata a 250 m².

L'attestato deve essere affisso in modo visibile nel caso di vendita dell'immobile.

Ispezione periodica degli impianti di riscaldamento e di condizionamento dell'aria

Per quanto riguarda l'ispezione degli impianti di riscaldamento, la Direttiva afferma nell'Articolo 14, Comma 1: *“Gli Stati membri adottano le misure necessarie per prescrivere ispezioni periodiche delle parti accessibili degli impianti utilizzati per il riscaldamento degli edifici dotati di caldaie aventi una potenza nominale utile per il riscaldamento di ambienti superiore a 20 kW, quali il generatore di calore, il sistema di controllo e la pompa o le pompe di circolazione. Tale ispezione include una valutazione del rendimento della caldaia e del suo dimensionamento rispetto al fabbisogno termico dell'edificio. La valutazione del dimensionamento della caldaia non dev'essere ripetuta se nel frattempo non sono state apportate modifiche all'impianto di riscaldamento in questione o con riguardo al fabbisogno termico dell'edificio.”*

La Direttiva prevede per l'ispezione periodica degli impianti di condizionamento dell'aria, secondo l'Articolo 15, Comma 1, che: *“Gli Stati membri stabiliscono le misure necessarie affinché le parti accessibili degli impianti di condizionamento d'aria la cui potenza nominale utile è superiore a 12 kW siano periodicamente ispezionate. L'ispezione comprende una valutazione dell'efficienza dell'impianto di condizionamento d'aria e del suo dimensionamento rispetto al fabbisogno di rinfrescamento dell'edificio. La valutazione del dimensionamento non dev'essere ripetuta se nel frattempo non sono state apportate modifiche a tale impianto di condizionamento d'aria o con riguardo al fabbisogno di rinfrescamento dell'edificio.”*

La seconda Direttiva europea a cui fare riferimento è la 2009/28/CE sulla promozione dell'uso da fonti rinnovabili che va a sostituire le Direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE. Gli Stati Membri devono mettere in vigore le disposizioni legislative, regolamentari e amministrative necessarie per conformarsi alla presente direttiva entro il 5 dicembre 2010. In Italia l'attuazione della direttiva è avvenuta il 3 marzo 2011.

Lo scopo della redazione della Direttiva trova spiegazione nella premessa della stessa: *“Il controllo del consumo di energia europeo e il maggiore ricorso all'energia da fonti rinnovabili, congiuntamente ai risparmi energetici e ad un aumento dell'efficienza energetica, costituiscono parti importanti del pacchetto di misure necessarie per ridurre le emissioni di gas a effetto serra e per rispettare il protocollo di Kyoto della convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici e gli ulteriori impegni assunti a livello comunitario e internazionale per la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra oltre il 2012. Tali fattori hanno un'importante funzione anche nel promuovere la sicurezza degli approvvigionamenti energetici, nel favorire lo sviluppo tecnologico e l'innovazione e nel creare posti di lavoro e sviluppo regionale, specialmente nelle zone rurali ed isolate.”*

La Direttiva richiede agli Stati Membri di definire un “Piano di azione nazionale per le fonti rinnovabili” nel quale indicare gli obiettivi settoriali (elettricità, trasporti, riscaldamento e raffrescamento) di consumo di energia da fonti rinnovabili e l'insieme delle misure (economiche, non economiche, di supporto, di cooperazione nazionale) necessarie per raggiungere tali obiettivi, prevedendo di intervenire sul quadro esistente dei meccanismi di incentivazione per incrementare la quota di energia prodotta rendendo più efficienti gli strumenti di sostegno, in modo da evitare una crescita della produzione e degli oneri di incentivazione, che ricadono sui consumatori finali.

Entro il 2020 l'Italia conta di coprire con le fonti rinnovabili il 17% dei consumi energetici nazionali, in linea con le indicazioni europee (20% per l'energia da fonti rinnovabili del consumo di energia lordo; 10% per l'energia da fonti rinnovabili nei trasporti). In particolare l'Italia vuole raggiungere con le fonti rinnovabili la quota del 6,38% del consumo energetico del settore dei trasporti, del 28,97% per l'elettricità e del 15,83% per il riscaldamento e il raffrescamento.

Un altro obiettivo richiesto dalla Direttiva è la semplificazione delle procedure amministrative, di autorizzazione, certificazione e concessione degli impianti e le connesse infrastrutture della rete di trasmissione e di distribuzione per la produzione di elettricità, di calore o di freddo da fonti energetiche rinnovabili e processo di trasformazione in biocarburanti o altri prodotti energetici le quali devono essere proporzionate e necessarie.

Di interesse per questa trattazione sono i seguenti obiettivi:

- 1) uso da fonti rinnovabili per il riscaldamento e raffrescamento o per usi termici;
- 2) obiettivi temporali in materia di risparmio energetico negli edifici.

Per il primo obiettivo ci sono diversi strumenti operativi a livello nazionale per la promozione delle fonti rinnovabili per usi termici. I principali sono i seguenti:

- detrazioni fiscali del 55% delle spese sostenute per l'installazione di pompe di calore, impianti solare termici, impianti a biomassa;
- obbligo per i nuovi edifici, non ancora pienamente operativo, di copertura di una quota (50%) dei fabbisogni di energia per la produzione di acqua calda sanitaria mediante fonti rinnovabili, nonché di uso di impianti a fonti rinnovabili per la produzione elettrica;
- agevolazione fiscali per gli utenti allacciati alle reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento da fonte geotermica o biomasse;
- meccanismo dei titoli di efficienza energetica, cui possono accedere tecnologie quali gli impianti solari termici, le caldaie a biomassa e le pompe di calore, anche geotermiche;
- assenza di accisa per le biomasse solide alimentanti le caldaie domestiche.

Per i nuovi edifici vengono imposti degli obiettivi temporali per il raggiungimento a regime, nel 2017, della copertura per il 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento con l'utilizzo da fonti rinnovabili. Tale obiettivo, però, sarà raggiunto gradatamente a partire dal 20% dal 31 maggio 2012, del 35% dall'inizio del 2014 e solo dopo del 50%, cioè quando la richiesta del pertinente titolo edilizio viene rilasciata dal 1° gennaio 2017.

2. RIQUALIFICAZIONE DELL'EDIFICIO ESISTENTE

Il lavoro svolto sull'edificio esistente consiste nell'analizzare l'eventuale riqualificazione parziale e totale, riguardante sia la modifica della struttura delle superfici disperdenti sia la sostituzione dell'impianto di generazione di calore e di produzione di acqua calda sanitaria nel primo caso e sostituzione anche dei terminali di impianto nel secondo, con lo scopo di aumentare l'efficienza energetica dell'edificio almeno fino al raggiungimento della classe energetica B. Si è proceduto poi con la progettazione ed il coordinamento delle attività da svolgere definendone le tempistiche tramite il tracciamento del diagramma di Gantt, per poi concludere con un'analisi economica degli interventi fatti, tramite la stesura di un computo metrico estimativo.

2.1 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO

L'edificio in esame è una villetta singola a due piani situata a Piombino Dese (PD), in zona climatica E, di superficie utile $S_u = 137,4 \text{ m}^2$ e volume lordo di $V_l = 467,3 \text{ m}^3$.



In Figura 2.1 e in Figura 2.2 sono riportate rispettivamente la planimetria del piano terra e del primo piano dell'edificio.

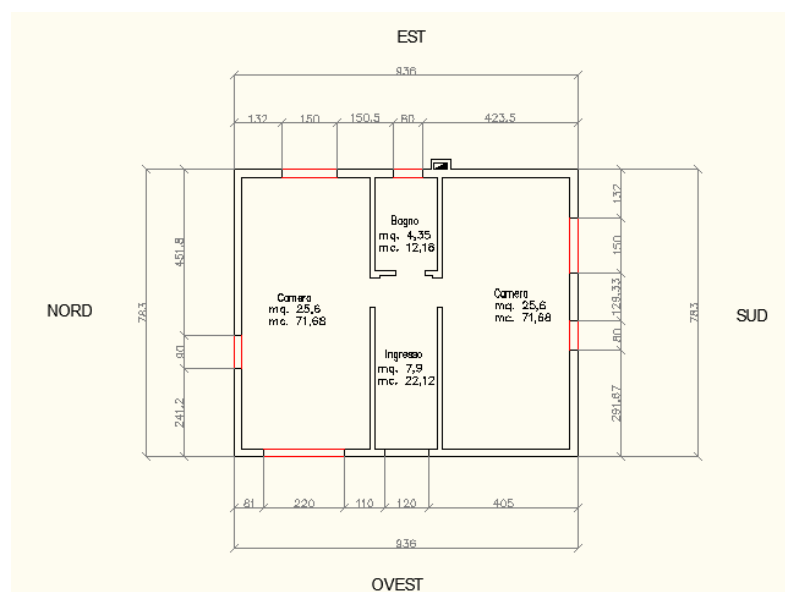


Figura 2.1 Planimetria del piano terra

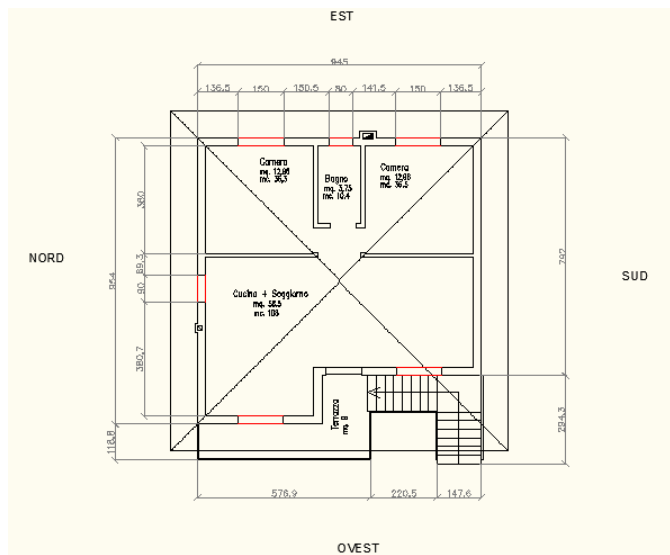


Figura 2.2 Planimetria del primo piano.

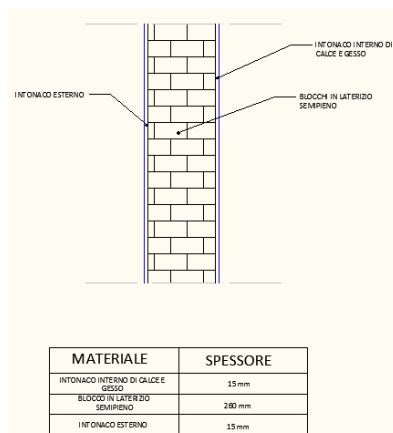
È un edificio costruito negli anni '70 composto da quattro camere da letto con superficie totale di $77,12 \text{ m}^2$, due bagni di superficie pari a $8,08 \text{ m}^2$ e una stanza comune di $38,5 \text{ m}^2$ per la cucina ed il soggiorno. L'altezza dei locali è di $2,8 \text{ m}$.

2.2 ANALISI DELLE CRITICITA'

Inizialmente è stata svolta un'analisi delle strutture disperdenti, dei ponti termici e del sistema di generazione di calore per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria con lo scopo di individuare i punti critici dell'edificio su cui intervenire. Si riportano di seguito le caratteristiche degli elementi disperdenti con le rispettive trasmittanze, lo studio dei ponti termici con la verifica termoigrometrica e i dati sull'impianto di riscaldamento.

2.2.1 STRUTTURE DISPERDENTI OPACHE

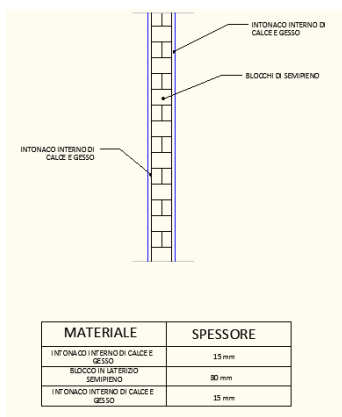
PARETI ESTERNE



Materiali	Conducibilità [W/mK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Capacità termica [kJ/kg K]
Intonaco interno di calce e gesso	0,7	1400	0,021	1,01
Blocchi in laterizio semipieno	0,43	1200	0,61	0,84
Intonaco esterno	0,9	1800	0,0167	0,91
TOTALE			0,8256	

$$U_{\text{tot}} = 1,21 \text{ W/m}^2\text{K}$$

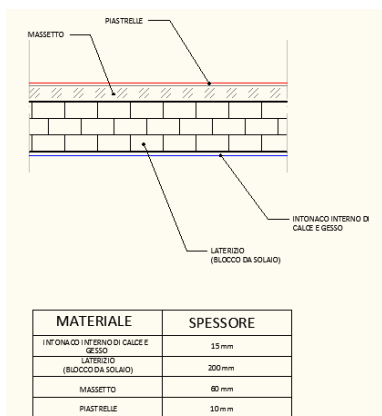
PARETI INTERNE



Materiali	Conducibilità [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Resistenza termica [m ² K/W]	Capacità termica [kJ/kg K]
Intonaco interno di calce e gesso	0,7	1400	0,021	1,01
Blocchi di semipieno	0,21	1200	0,381	0,84
Intonaco interno di calce e gesso	0,7	1400	0,0214	1,01
TOTALE			0,4238	

$$U_{\text{tot}} = 2,34 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

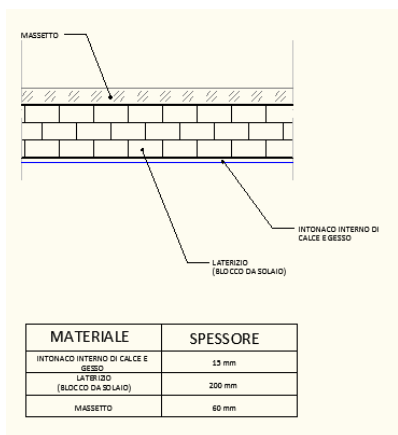
SOLAIO INTERPIANO



Materiali	Conducibilità [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Resistenza termica [m ² K/W]	Capacità termica [kJ/kg K]
Intonaco interno di calce e gesso	0,7	1400	0,0214	1,01
Laterizio (Blocco da solaio)	0,57	1500	0,351	0,84
Massetto	0,47	800	0,1276	0,91
Pavimento in piastrelle	1	2300	0,01	1
TOTALE			0,7956	

$$U_{\text{tot}} = 1,257 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

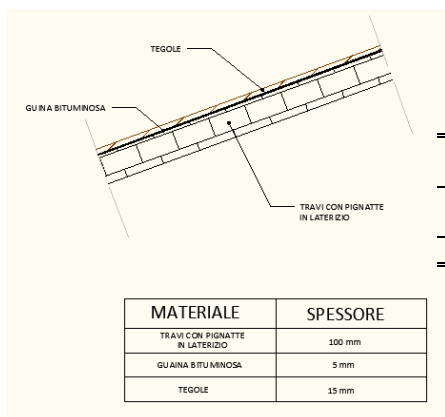
SOLAIO VERSO SOTTOTETTO



Materiali	Conducibilità [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Resistenza termica [m ² K/W]	Capacità termica [kJ/kg K]
Intonaco interno di calce e gesso	0,7	1400	0,0214	1,01
Laterizio (Blocco da solaio)	0,57	1500	0,351	0,84
Massetto	0,47	800	0,1276	0,91
TOTALE			0,8246	

$$U_{\text{tot}} = 1,21 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

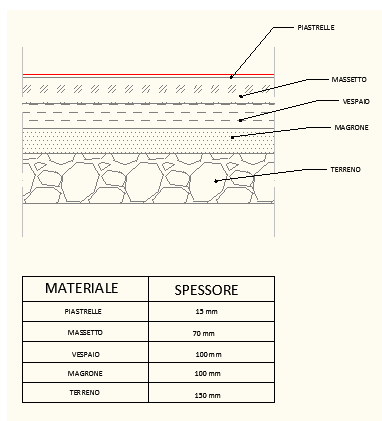
COPERTURA



Materiali	Conducibilità [W/mK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Capacità termica [kJ/kg K]
Travi con pignatte	0,57	1500	0,175	0,84
Guaina bituminosa	0,044	1200	0,1136	1
Tegole	0,99	500	0,01515	1
TOTALE			0,5260	

$$U_{\text{tot}} = 1,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

PAVIMENTO CONTROTERRA



Materiali	Conducibilità [W/mK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Capacità termica [kJ/kg K]
Pavimento in piastrelle	1	2300	0,015	1
Massetto	0,9	1800	0,0778	0,91
Vespaio	0,24	600	0,4167	0,88
Magrone	1	500	0,1	0,88
Terreno	0,7	1500	0,2143	0,88
TOTALE			0,96658	

$$U_{\text{tot}} = 1,035 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

2.2.2 STRUTTURE VETRATE

Per determinare la trasmittanza delle superfici vetrate è stato utilizzato il software di certificazione energetica *Termolog Epix4* il quale calcola U_w introducendo i dati delle dimensioni dell'elemento vetrato e le caratteristiche delle strutture (stratigrafia del vetro, materiale del telaio e dei giunti distanziatori) secondo la norma UNI EN ISO 10077².

Tutti le strutture vetrate disperdenti dell'edificio sono caratterizzate da un telaio in legno e l'elemento vetrato è un vetro singolo di spessore di 5 mm. Si riportano di seguito tutte le finestre e le porte presenti con la relativa trasmittanza.

FINESTRA 90X150

DATI GEOMETRICI

Larghezza	90 cm
Altezza	150 cm
Area del vetro A_g	0,88 m ²
Area del telaio A_f	0,47 m ²

²Vedi Appendice B. Tabella delle normative di riferimento.

Area totale del serramento A_w	1,35 m ²
Perimetro della superficie vetrata L_g	6,68 m

PARAMETRI DEL VETRO E DEL TELAIO

Tipologia vetro	Vetro singolo
Trasmittanza vetro, U_g	5,173 W/m ² K
Coefficiente di trasmissione solare, g	0,85
Emissività, ϵ	0,837
Materiale telaio	Legno
Tipologia di telaio	Legno duro
Spessore, s_f	70 mm
Trasmittanza termica del telaio, U_f	2,099 W/m ² K
Trasmittanza termica del serramento, U_w	4,467 W/m²K

FINESTRA 150X100

DATI GEOMETRICI

Larghezza	150 cm
Altezza	100 cm
Area del vetro A_g	0,99 m ²
Area del telaio A_f	0,51 m ²
Area totale del serramento A_w	1,5 m ²
Perimetro della superficie vetrata L_g	7,4 m

PARAMETRI DEL VETRO E DEL TELAIO

Tipologia vetro	Vetro singolo
Trasmittanza vetro, U_g	5,173 W/m ² K
Coefficiente di trasmissione solare, g	0,85
Emissività, ϵ	0,837
Materiale telaio	Legno
Tipologia di telaio	Legno duro
Spessore, s_f	50 mm
Trasmittanza termica del telaio, U_f	2,363 W/m ² K
Trasmittanza termica del serramento, U_w	4,577 W/m²K

FINESTRA 150X150

DATI GEOMETRICI

Larghezza	150 cm
Altezza	150 cm
Area del vetro A_g	1,58 m ²
Area del telaio A_f	0,67 m ²
Area totale del serramento A_w	2,25 m ²
Perimetro della superficie vetrata L_g	10,4 m

PARAMETRI DEL VETRO E DEL TELAIO

Tipologia vetro	Vetro singolo
Trasmittanza vetro, U_g	5,173 W/m ² K
Coefficiente di trasmissione solare, g	0,85
Emissività, ϵ	0,837
Materiale telaio	Legno
Tipologia di telaio	Legno duro
Spessore, s_f	70 mm
Trasmittanza termica del telaio, U_f	2,099 W/m ² K
Trasmittanza termica del serramento, U_w	4,639 W/m²K

FINESTRA 80X100

DATI GEOMETRICI

Larghezza	80 cm
Altezza	100 cm
Area del vetro A_g	0,47 m ²
Area del telaio A_f	0,33 m ²
Area totale del serramento A_w	0,8 m ²
Perimetro della superficie vetrata L_g	4,48 m

PARAMETRI DEL VETRO E DEL TELAIO

Tipologia vetro	Vetro singolo
Trasmittanza vetro, U_g	5,173 W/m ² K
Coefficiente di trasmissione solare, g	0,85
Emissività, ϵ	0,837
Materiale telaio	Legno
Tipologia di telaio	Legno duro
Spessore, s_f	70 mm
Trasmittanza termica del telaio, U_f	2,099 W/m ² K
Trasmittanza termica del serramento, U_w	4,224 W/m²K

FINESTRA 80X150

DATI GEOMETRICI

Larghezza	80 cm
Altezza	150 cm
Area del vetro A_g	0,75 m ²
Area del telaio A_f	0,45 m ²
Area totale del serramento A_w	1,2 m ²
Perimetro della superficie vetrata L_g	6,48 m

PARAMETRI DEL VETRO E DEL TELAIO

Tipologia vetro	Vetro singolo
Trasmittanza vetro, U_g	5,173 W/m ² K
Coefficiente di trasmissione solare, g	0,85
Emissività, ϵ	0,837
Materiale telaio	Legno
Tipologia di telaio	Legno duro
Spessore, s_f	70 mm
Trasmittanza termica del telaio, U_f	2,099 W/m ² K
Trasmittanza termica del serramento, U_w	4,359 W/m²K

FINESTRA 90X90

DATI GEOMETRICI

Larghezza	90 cm
Altezza	90 cm
Area del vetro A_g	0,55 m ²
Area del telaio A_f	0,26 m ²
Area totale del serramento A_w	0,81 m ²
Perimetro della superficie vetrata L_g	2,96 m

PARAMETRI DEL VETRO E DEL TELAIO

Tipologia vetro	Vetro singolo
Trasmittanza vetro, U_g	5,173 W/m ² K
Coefficiente di trasmissione solare, g	0,85
Emissività, ϵ	0,837
Materiale telaio	Legno
Tipologia di telaio	Legno duro
Spessore, s_f	50 mm
Trasmittanza termica del telaio, U_f	2,363 W/m ² K
Trasmittanza termica del serramento, U_w	4,628 W/m²K

PORTA DI INGRESSO

DATI GEOMETRICI

Larghezza	120 cm
Altezza	250 cm
Area del vetro A_g	2,22 m ²
Area del telaio A_f	0,78 m ²
Area totale del serramento A_w	3 m ²
Perimetro della superficie vetrata L_g	10,76 m

PARAMETRI DEL VETRO E DEL TELAIO

Tipologia vetro	Vetro singolo
Trasmittanza vetro, U_g	5,173 W/m ² K
Coefficiente di trasmissione solare, g	0,85
Emissività, ϵ	0,837
Materiale telaio	Legno
Tipologia di telaio	Legno duro
Spessore, s_f	50 mm
Trasmittanza termica del telaio, U_f	2,363 W/m ² K
Trasmittanza termica del serramento, U_w	4,846 W/m²K

PORTAFINESTRA

DATI GEOMETRICI

Larghezza	150 cm
Altezza	250 cm
Area del vetro A_g	2,43 m ²
Area del telaio A_f	1,32 m ²
Area totale del serramento A_w	3,75 m ²
Perimetro della superficie vetrata L_g	14,72 m

PARAMETRI DEL VETRO E DEL TELAIO

Tipologia vetro	Vetro singolo
Trasmittanza vetro, U_g	5,173 W/m ² K
Coefficiente di trasmissione solare, g	0,85
Emissività, ϵ	0,837
Materiale telaio	Legno
Tipologia di telaio	Legno duro
Spessore, s_f	70 mm
Trasmittanza termica del telaio, U_f	2,099 W/m ² K
Trasmittanza termica del serramento, U_w	4,442 W/m²K

2.2.3 PONTI TERMICI E VERIFICA IGROMETRICA

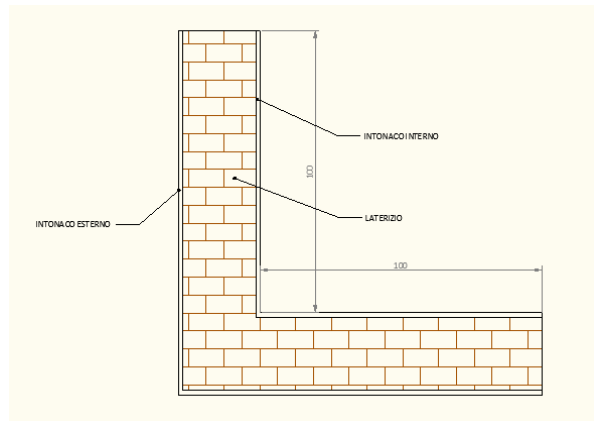
In ambito della riqualificazione energetica di un edificio, uno dei controlli più importanti è quello riguardante i ponti termici, cioè i punti della struttura in cui si verificano delle modifiche della direzione del flusso termico a causa di variazioni nella struttura stessa, ad esempio angoli, terrazze, balconi, tetti, finestre, ecc.. Per questo motivo in quei punti il flusso termico non può essere considerato mono-dimensionale e si verifica un aumento delle dispersioni di calore che riducono la temperatura della superficie interna della parete. Per i ponti termici è necessario calcolare l'entità dell'extra-flusso e la temperatura minima che raggiunge la superficie in modo tale che non si verifichi una condizione favorevole alla formazione di condensa e di conseguenza la nascita di muffe.

Nella pratica, questo controllo viene effettuato tramite l'utilizzo di termocamere ad infrarossi che rilevano la radiazione che emettono le superfici e forniscono le mappe di temperatura. Nei punti in cui ci sono maggiori dispersioni termiche, la termocamera mostrerà un colore diverso dall'intera superficie ad indicare una temperatura inferiore.

La procedura per l'analisi dei ponti termici eseguita nel caso in esame non ha previsto l'utilizzo di termocamera, ma è stata effettuata una simulazione dei ponti termici più critici tramite il software *Mirage* in accordo con la norma UNI EN ISO 14683³. La verifica igrometrica è stata svolta seguendo le indicazioni fornite dalla norma UNI EN ISO 13788⁴.

La prima struttura a cui si è rivolta l'attenzione è l'elemento angolare formato dalle pareti del primo piano rivolte verso Nord e verso Ovest.

Come richiesto da normativa, la porzione su cui effettuare l'analisi deve comprendere l'angolo e una parte di ciascuna parete di lunghezza interna netta di 1 metro oltre la quale l'effetto della variazione del flusso termico è considerato nullo.



Nel software sono stati introdotti i dati riguardanti la geometria dell'elemento angolare, le caratteristiche di scambio termico dei materiali e le condizioni al contorno del sistema in modo tale da poter calcolare i parametri per la valutazione igrometrica. In particolare si fissa la temperatura superficiale interna pari a 274 K e la temperatura superficiale esterna di 273 K; le pareti trasversali, invece, devono essere attraversate da un flusso termico perpendicolare nullo, essendo esse nella condizione di flusso termico mono-

dimensionale. Con questi valori è possibile procedere con la simulazione ottenendo i risultati che seguono.

In primo luogo, viene riportata in Figura 2.3 la termografia della porzione di elemento angolare.

³ Vedi Appendice B. Tabella delle normative di riferimento.

⁴ Vedi Appendice B. Tabella delle normative di riferimento.

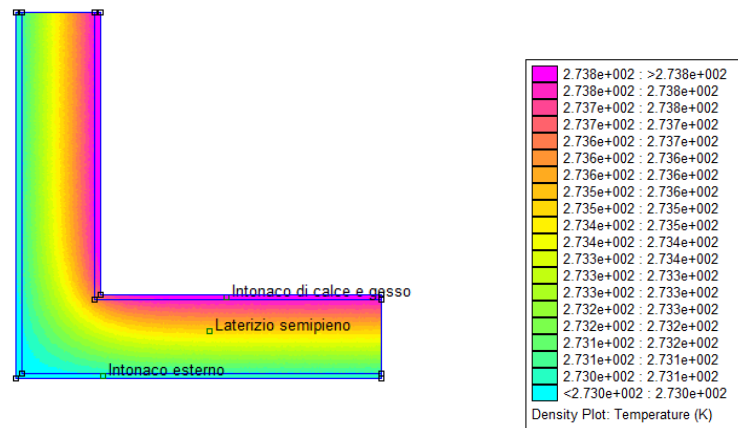


Figura 2.3 Termografia dell'elemento angolare.

Come si può osservare, la temperatura nel punto di incontro interno tra le due pareti tende ad essere inferiore rispetto agli altri punti della parete interna a causa dell'aumento di flusso termico. È quello il punto considerato "critico" perché se la temperatura della superficie risultasse inferiore della temperatura di rugiada del vapore d'acqua presente nell'aria, favorirebbe la formazione di condensa superficiale.

Ai fini della verifica igrometrica è necessario conoscere l'effettiva temperatura minima. Dalla simulazione è possibile ottenere questo dato che può essere ricavato dal grafico rappresentato in Figura 2.4.

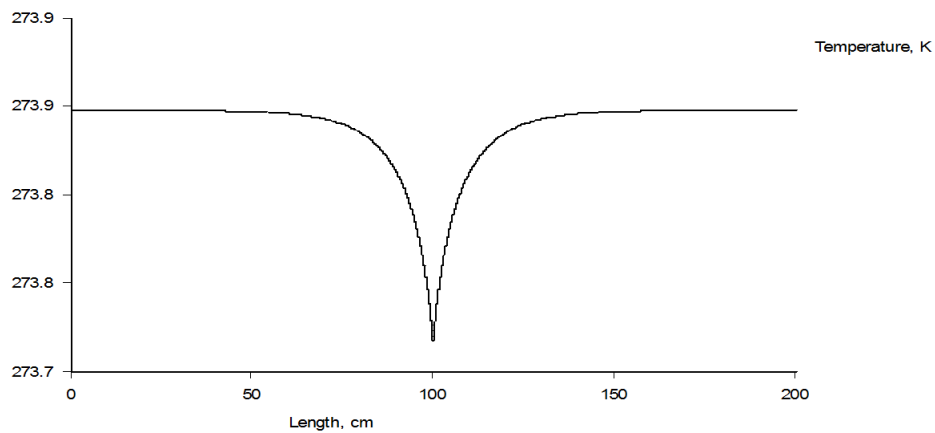


Figura 2.4 Andamento della temperatura superficiale sulla porzione di elemento angolare

La minima temperatura rilevata è di 273,7321 K. Con questo parametro, è possibile calcolare il fattore di temperatura $f_{R,si}$:

$$f_{R,si} = \frac{T_{Si} - T_e}{T_i - T_e} = \frac{273,7321 - 273}{274 - 273} = 0,7321$$

Noto il fattore di temperatura, la verifica da effettuare consiste nel paragonare, mese per mese, la temperatura che si verifica sulla superficie con la temperatura di rugiada del vapore d'acqua presente nell'aria: se quest'ultima risultasse maggiore, c'è rischio di formazione condensa.

Per il calcolo della temperatura di rugiada, bisogna conoscere l'umidità interna dell'ambiente riscaldato e la temperatura esterna per ogni mese dell'anno. Per questi parametri si fa riferimento alla normativa UNI 10349⁵.

I risultati della verifica igrometrica sono riportati in Tabella 1. In rosso sono evidenziate le temperature superficiali interne dei mesi in cui si possono creare le condizioni favorevoli alla formazione di condensa. Nel periodo invernale la struttura risulta a rischio muffe: è necessario effettuare interventi di risanamento e di isolamento delle pareti per diminuire l'extra-flusso che si verifica in quella zona in modo tale che le temperature superficiali non scendano a valori di rischio.

Tabella 1 Verifica igrometrica per ogni mese del periodo di riscaldamento.

Mese	T_{ext} [°C]	P_{ext} [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [80%]	$T_{si,min}$ [°C]	T_{si} [°C]
Ottobre	13,8	1252	251,1	1503,1	1878,875	19,03	18,34
Novembre	8,2	934	477,9	1411,9	1764,875	17,9	16,84
Dicembre	3,6	677	664,2	1341,2	1676,5	16,98	15,61
Gennaio	1,9	591	733,05	1324,05	1655,063	16,75	15,15
Febbraio	4	652	648	1300	1625	16,42	15,71
Marzo	8,4	809	469,8	1278,8	1598,5	16,13	16,89
Aprile	13	1083	283,5	1366,5	1708,125	17,31	18,12

Il secondo ponte termico analizzato è la terrazza presente sulla parete ovest dell'edificio. È riportata in Figura 2.5 la sezione della struttura in esame. Anche in questo caso, per poter definire nullo l'effetto del ponte termico, si considera 1 metro di lunghezza interna netta delle pareti e del solaio interpiano che adducono al terrazzo.

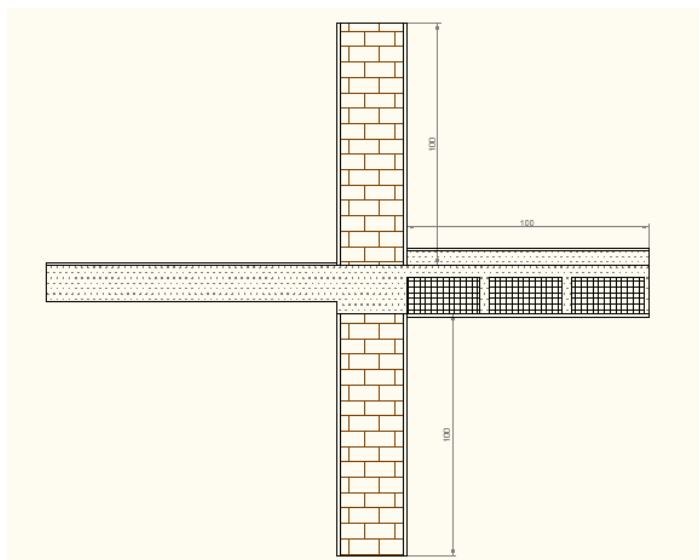


Figura 2.5 Sezione di terrazzo per analisi del ponte termico.

Per studiare la criticità di questa struttura, la procedura è analoga a quella seguita precedentemente. Come si può vedere dalla termografia rappresentata in Figura 2.6, i punti in cui bisogna verificare l'integrità della struttura dal punto di vista della condensa sono l'incrocio tra il solaio interpiano e le pareti del piano terra e del primo piano.

⁵ Vedi Appendice B. Tabella delle normative di riferimento.

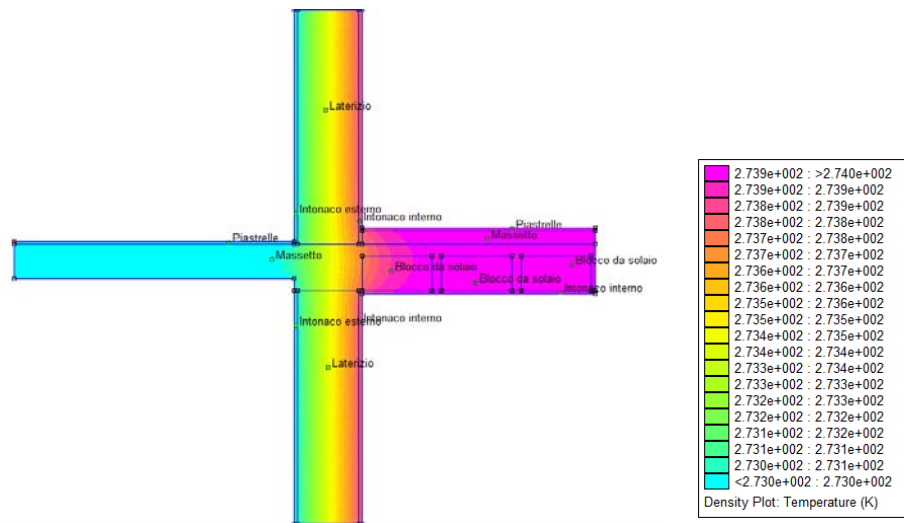


Figura 2.6 Termografia del ponte termico.

La verifica è stata eseguita su entrambi gli angoli ottenendo lo stesso risultato essendo la struttura simmetrica.

Con lo scopo di definire la minima temperatura che raggiungono i punti critici, si è calcolato con il software *Mirage* i valori delle temperature superficiali del profilo interno del ponte termico ottenendo le due curve di Figura 2.7. La minima temperatura raggiunta è pari a 273,83 K, con la quale si ottiene un fattore di temperatura pari a:

$$f_{R_{si}} = \frac{T_{Si} - T_e}{T_i - T_e} = \frac{273,83 - 273}{274 - 273} = 0,83$$

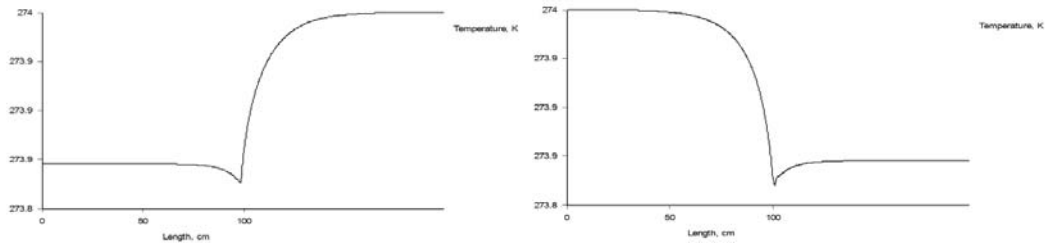


Figura 2.7 Profilo della temperatura interna superficiale del ponte termico.

Procedendo con la verifica igrometrica, si osserva, dai valori ottenuti in Tabella 2, che la struttura risulta salvaguardata dalla formazione di condensa.

Tabella 2 Verifica igrometrica per ogni mese del periodo di riscaldamento.

Mese	T_{ext} [°C]	P_{ext} [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [80%]	$T_{si,min}$ [°C]	T_{si} [°C]
Ottobre	13,8	1252	251,1	1503,1	1878,875	19,03	21,436
Novembre	8,2	934	477,9	1411,9	1764,875	17,9	17,994
Dicembre	3,6	677	664,2	1341,2	1676,5	16,98	17,212
Gennaio	1,9	591	733,05	1324,05	1655,063	16,75	16,923
Febbraio	4	652	648	1300	1625	16,42	17,28
Marzo	8,4	809	469,8	1278,8	1598,5	16,13	18,03
Aprile	13	1083	283,5	1366,5	1708,125	17,31	21,3

2.2.4 SISTEMA DI GENERAZIONE, DISTRIBUZIONE ED EMISSIONE

Il sistema di generazione è costituito da una caldaia a gasolio con bruciatore ad aria soffiata di potenza termica utile pari a 28 kW che produce sia calore per il riscaldamento sia l'acqua calda sanitaria in modo istantaneo. Si rimanda ai dati tecnici della caldaia nell'Appendice A⁶. Il sistema di generazione alimenta un circuito idronico costruito prima dell'entrata in vigore delle legge 373/73 con sistema di emissione composto da radiatori in ghisa installati su parete esterna non isolata. La regolazione è di tipo on-off con termostato ambiente.

2.3 CERTIFICAZIONE ENERGETICA DELL'EDIFICIO ESISTENTE

Una volta rilevate le caratteristiche strutturali ed impiantistiche dell'edificio, si è proceduto alla compilazione della certificazione energetica in modo tale da individuare i consumi dell'edificio scorponando i dati relativi alle dispersioni attraverso l'involucro e le inefficienze del sistema di generazione per quanto riguarda il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria.

Il risultato finale è quello rappresentato dagli indici di prestazione di Figura 2.8. E' possibile consultare l'intero Attestato di Certificazione Energetica nell'Appendice A⁷.

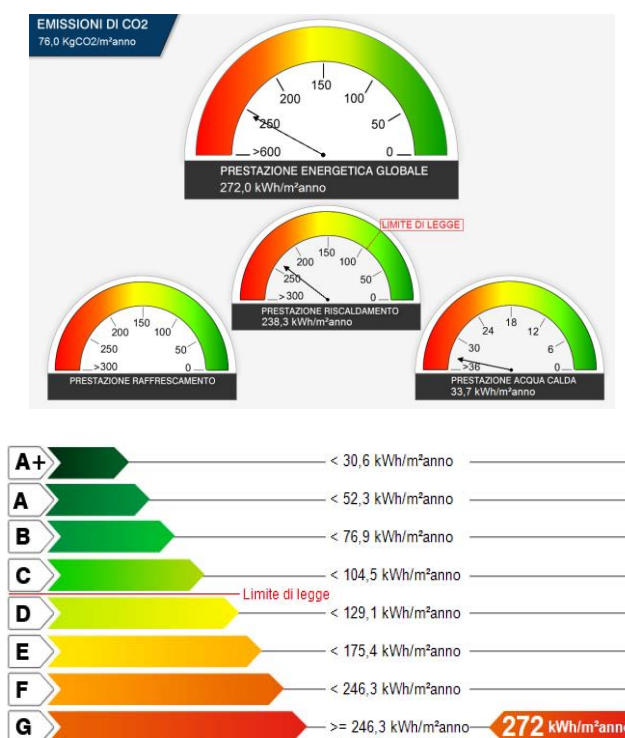


Figura 2.8 Indici di prestazione energetica.

Classe energetica G

Riscaldamento

Indice energia primaria EP_i	238,27 kWh/m ² /anno
Indice involucro EP_{inv}	163,84 kWh/m ² /anno
Rendimento medio stagionale impianto η_g	68,8%

ACS

Indice energia primaria EP_{ACS}	33,68 kWh/m ² /anno
------------------------------------	--------------------------------

⁶ Vedi Scheda Tecnica 1. Sistema di generazione dell'edificio esistente.

⁷ Vedi Scheda Tecnica 2. Attestato di certificazione energetica dell'edificio esistente.

Nella Tabella 3 e nella Figura 2.9 sono evidenziati i valori calcolati dal software di certificazione riguardanti i fabbisogni di energia termica e primaria legati all'involucro, al riscaldamento e alla produzione di acqua calda sanitaria. Sono questi parametri che poi forniscono il risultato finale descritto nella Figura 2.8.

Tabella 3 Fabbisogni di energia termica e primaria.

FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA

Riscaldamento involucro	$Q_{H,nd} =$	22519 kWh	Indice di prestazione	$EP_{i,inv} =$	163,84 kWh/m ² anno
Acqua calda sanitaria	$Q_{h,W} =$	2062,5 kWh	Indice di prestazione	$EP_{W,tot} =$	15,01 kWh/m ² anno
Raffrescamento involucro	$Q_{C,nd} =$	1712,5 kWh	Indice di prestazione	$EP_{e,inv} =$	12,46 kWh/m ² anno

RISCALDAMENTO: fabbisogno di energia primaria e rendimenti

Energia primaria riscaldamento	$Q_{p,H} =$	32750 kWh	Indice di prestazione	$EP_i =$	238,27 kWh/m ² anno
Classe energetica riscaldamento	G		Rendimento globale stagionale	$\eta_{G,H} =$	0,688
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,H,ren} =$	0,00 kWh	Quota rinnovabile	$Q_{R,H} =$	0%
Energia primaria totale	$Q_{p,H,tot} =$	32750 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{i,tot} =$	238,27 kWh/m ² anno

ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogno di energia primaria e rendimenti

Energia primaria ACS	$Q_{p,W} =$	4630,0 kWh	Indice di prestazione	$EP_{ACS} =$	33,68 kWh/m ² anno
Classe energetica ACS	G		Rendimento globale stagionale	$\eta_{G,W} =$	0,445
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,W,ren} =$	0,00 kWh	Quota rinnovabile	$Q_{R,ACS} =$	0%
Energia primaria totale	$Q_{p,W,tot} =$	4630,0 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{ACS,tot} =$	33,68 kWh/m ² anno

FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti

Energia primaria globale	$Q_{p,HW} =$	37380,0 kWh	Indice di prestazione	$EP_{gl} =$	271,9 kWh/m ² anno
Classe energetica globale	G		Rendimento globale stagionale	$\eta_{G,HW} =$	0,658
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,HW,ren} =$	0,00 kWh	Quota rinnovabile	$Q_{R,gl} =$	0%
Energia primaria totale	$Q_{p,HW,tot} =$	37380,0 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{gl,tot} =$	271,9 kWh/m ² anno

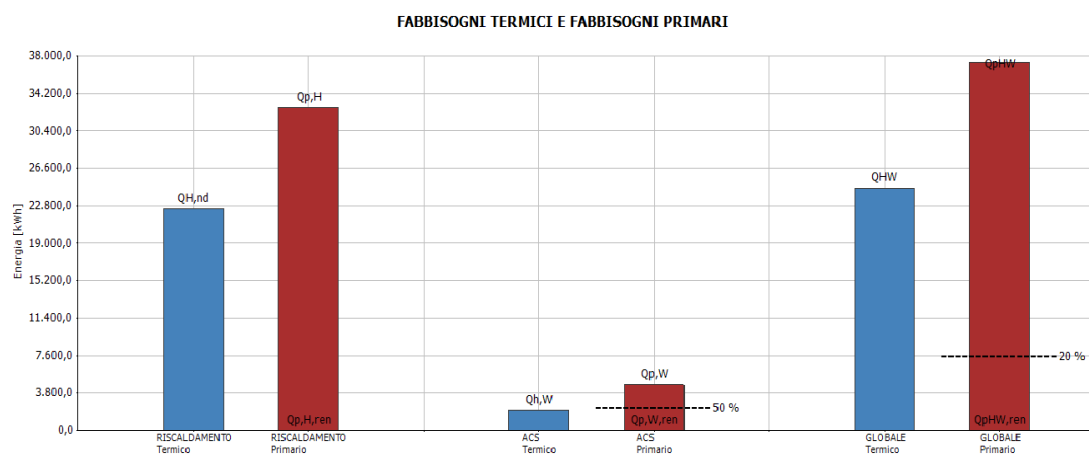


Figura 2.9 Grafico dei fabbisogni termici e dei fabbisogni primari.

Con questi dati in mano è possibile individuare i punti deboli dell'edificio dal punto di vista dell'efficienza energetica in modo tale da poter andare ad intervenire con metodi ad hoc con lo scopo di raggiungere almeno la classe energetica B.

2.4 GLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE

Gli interventi di riqualificazione da effettuare in un vecchio edificio riguardano tutti i punti che, se modificati, influenzano l'efficienza energetica dell'edificio stesso. Le azioni da compiere su tali punti dipendono dal livello di efficienza che si vuole raggiungere e da determinati vincoli imposti sia dal punto di vista tecnico della struttura sia dal punto di vista economico del committente dei lavori.

La scelta degli interventi più adeguati da adottare per i diversi punti critici dell'edificio in esame è frutto dell'obiettivo di raggiungere i requisiti minimi imposti dalla Direttiva 2010/31/UE, come esposto nel Capitolo 1, sia per quanto riguarda gli elementi edilizi che fanno parte dell'involucro dell'edificio e hanno impatto significativo sulla prestazione energetica nel caso venissero sostituiti o rinnovati, sia in ambito della sostituzione degli impianti tecnici per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria.

L'analisi è stata eseguita su due tipi di riqualificazione:

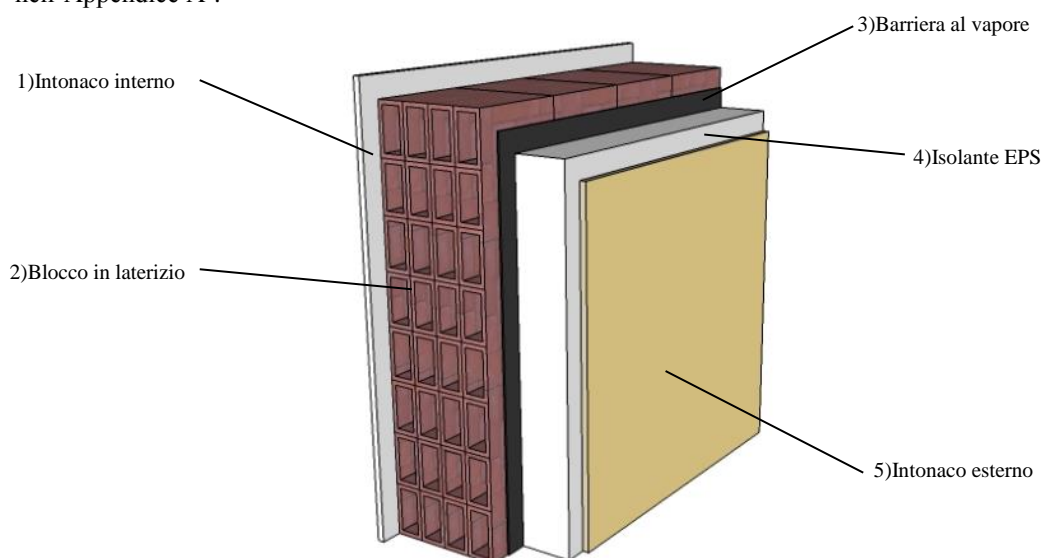
- 1) Riqualificazione parziale: riguarda le strutture disperdenti e la sostituzione del sistema di generazione con mantenimento dei terminali di impianto;
- 2) Riqualificazione totale: riguarda le strutture disperdenti e la sostituzione del sistema di generazione con modifica del sistema di emissione.

L'ordine con cui sono esposti gli interventi segue quello proposto dall'analisi delle criticità del Paragrafo 2.2.

2.4.1 RIQUALIFICAZIONE PARZIALE

INTERVENTI SULLE STRUTTURE OPACHE E VETRATE

Il primo intervento consiste nell'applicazione della barriera a vapore e del cappotto termico sulla parete esterna. L'isolante utilizzato è EPS di spessore di 12 cm di cui è riportata la scheda tecnica nell'Appendice A⁸.



⁸ Vedi Scheda Tecnica 3. Lastra EPS: Elementi per Sistema Cappotto

Materiali	Spessore [m]	Conducibilità [W/mK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Capacità termica [kJ/kg K]
1) Intonaco interno	0,015	0,7	1400	0,0214	1,01
2) Blocchi in laterizio	0,26	0,43	1200	0,60465	0,84
3) Barriera al vapore	0,004	0,05	20	0,08	
4) Isolante EPS	0,120	0,034	20	3,529	1,45
5) Intonaco esterno	0,015	0,9	1800	0,0167	0,91
TOTALE	0,414			4,417	

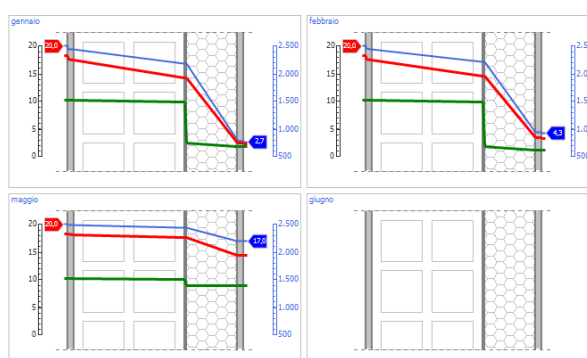
$$U_{\text{tot}} = 0,2264 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

La trasmittanza ottenuta è minore del limite imposto dalla Direttiva per la Zona climatica E che è pari a $0,37 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Inoltre è assente la condensa superficiale ed interstiziale come dimostrano rispettivamente la Tabella 4 e la Figura 2.10.

Tabella 4 Condensa superficiale: fattore di resistenza superficiale.

Mese	T_{ext} [°C]	φ_e [%]	P_{ext} [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	φ_{si} [%]	T_{si} [°C]	T_i [°C]	$f_{R,\text{si}}$
Ottobre	13,9	70	1106	247,05	1377,76	1722,19	15,16	20	0,2068
Novembre	8,1	88	951	481,95	1481,15	1851,43	16,29	20	0,6884
Dicembre	4,2	82	673	639,9	1376,89	1721,11	15,15	20	0,6931
Gennaio	2,7	93	691	700,65	1461,71	1827,14	16,08	20	0,7737
Febbraio	4,3	76	627	635,85	1326,44	1658,04	14,57	20	0,6543
Marzo	8,3	65	708	473,85	1229,24	1536,54	13,4	20	0,4359
Aprile	13,1	66	997	279,45	1304,39	1630,39	14,31	20	0,1758

È verificata la salubrità della struttura: il fattore di resistenza massimo ammissibile affinché non si verifichino condizioni favorevoli alla formazione di condensa è pari a 0,969, il mese più sfavorito è Gennaio per il quale il fattore di resistenza superficiale è comunque inferiore a quello ammissibile.



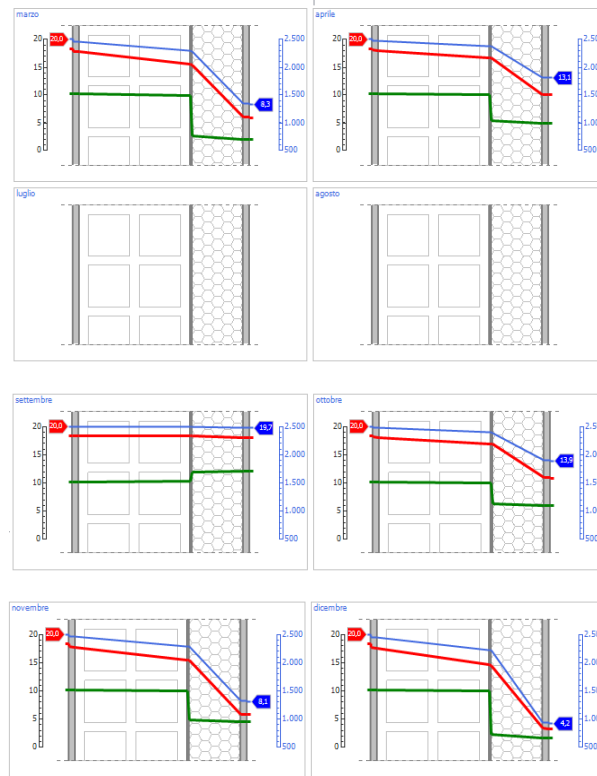


Figura 2.10 Verifica termoigrometrica della struttura: condensa interstiziale.

Per eliminare i ponti termici, è necessario intervenire sulla copertura dell'edificio. A questo proposito sono state scelte le seguenti due soluzioni: considerando il fatto che le altezze dei locali sono di 2,8 metri, sul solaio verso il sottotetto è possibile installare un controsoffitto con 10 cm di lana di roccia che può fungere oltre che da isolante, anche come passaggio dei condotti della ventilazione meccanica controllata, inoltre sul tetto si è applicato 10 cm di EPS, lo stesso utilizzato per le pareti esterne.

In Figura 2.11 e 2.12 sono rappresentate rispettivamente le due soluzioni sopra elencate.

Materiali	Spessore [m]	Conducibilità [W/m K]	Densità [kg/m ³]	Resistenza termica [m ² K/W]	Capacità termica [kJ/kg K]
1) Cartongesso	0,0125	0,21	900	0,05952	1,01
2) Lana di roccia	0,1	0,039	85	2,5641	
3) Laterizio (Blocco da solaio)	0,2	0,5	1500	0,4	0,84
4) Massetto	0,06	0,47	1200	0,1276	0,91
TOTALE	0,3725			3,45810413	

$$U_{\text{tot}} = 0,2892 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

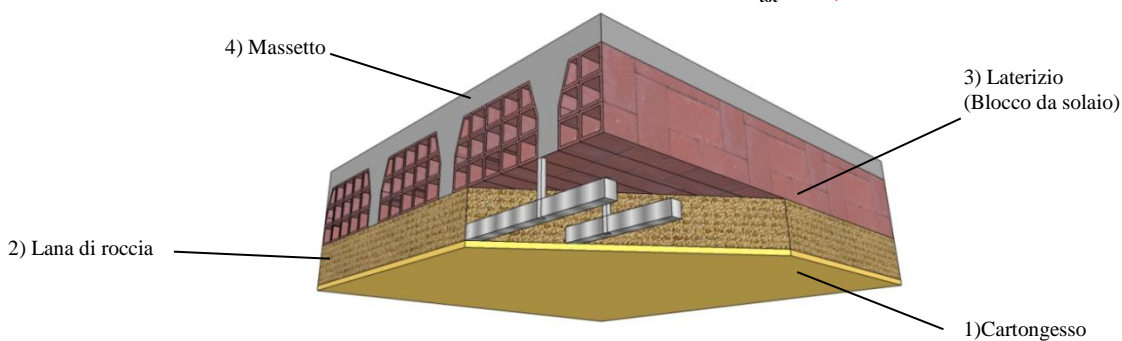


Figura 2.11 Sezione del solaio verso sottotetto

Anche in questo caso la trasmittanza è verificata nei confronti dei requisiti minimi imposti (0,38 W/m²K).

Per quanto riguarda la copertura, è stato previsto un'ulteriore isolante in aggiunta a quello presente nel controsoffitto perché il tetto risultava una struttura molto disperdente e non rientrava nei minimi valori richiesti dalla Direttiva. L'applicazione dell'isolante ha permesso di raggiungere i requisiti avendo questi il valore massimo di 0,32 W/m²K.

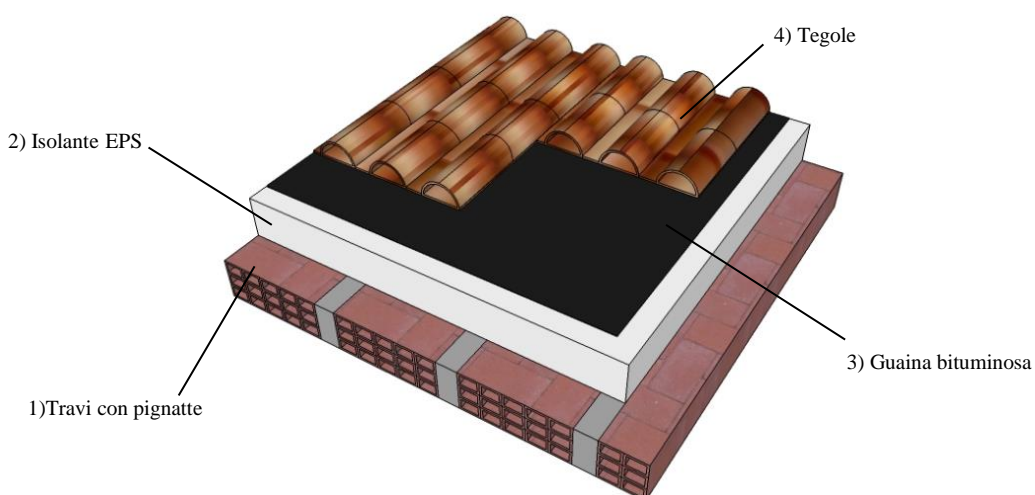


Figura 2.12 Struttura della copertura riqualificata.

Materiali	Spessore [m]	Conducibilità [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Resistenza termica [m ² K/W]	Capacità termica [kJ/kg K]
1) Travi con pignatte	0,1	0,57	1500	0,1754	0,84
2) Isolante EPS	0,05	0,035	20	1,4285	2,1
3) Guaina bituminosa	0,1	0,044	1200	2,2727	1
4) Tegole	0,015	0,99	500	0,0151	1
TOTALE	0,265			4,1137	

$$U_{\text{tot}} = \mathbf{0,2431 \text{ W/m}^2 \text{ K}}$$

L'ultimo intervento previsto riguarda il solaio controterra. In generale, nelle riqualificazioni è difficile che si vada a modificare la struttura del pavimento per il fatto che questa operazione comporta un notevole disagio agli inquilini che devono temporaneamente lasciare l'abitazione oltre che essere un intervento molto costoso. D'altra parte, però, il pavimento risulta una delle strutture maggiormente disperdenti che necessita di essere isolata, inoltre, considerando lo scopo dell'analisi di questo elaborato che è quello di comparare la ristrutturazione dell'edificio esistente con la casa nuova, si è pensato di dover partire dalle stesse condizioni iniziali di pavimento isolato. A questo proposito si sono comunque considerate due situazioni:

- 1) Non viene apportata alcuna modifica alla struttura del pavimento;
- 2) Si interviene sul pavimento smantellando le piastrelle ed il massetto presenti per applicare una lastra di XPS (Polistirene espanso estruso) Styrodur di spessore di 80 mm di cui è riportata la scheda tecnica nell'Appendice A⁹.

Per queste due soluzioni si è poi fatta una valutazione costi/benefici per capire la fattibilità e i vantaggi del secondo intervento rispetto al primo.

⁹ Vedi Scheda Tecnica 4. Lastra di XPS Styrodur.

La scelta dell'isolante è ricaduta sull'XPS Styrodur perché, oltre ad essere un eccellente isolamento termico, è caratterizzato da elevata resistenza alla compressione e ridotto assorbimento d'acqua, parametri fondamentali per l'installazione su pavimenti. In Figura 2.13 è rappresentata la sezione del pavimento modificato.

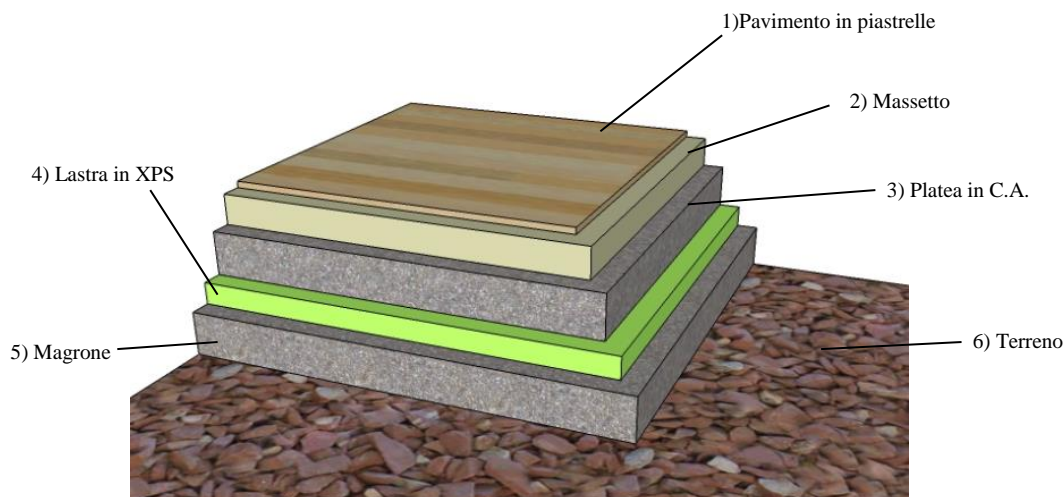


Figura 2.13 Sezione del solaio controterra isolato.

Materiali	Spessore [m]	Conducibilità [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Resistenza termica [m ² K/W]	Capacità termica [kJ/kg K]
1) Pavimento in piastrelle	0,015	1	2300	0,015	1
2) Massetto	0,07	0,9	1800	0,0778	0,91
3) Platea in C.A.	0,1	0,24	600	0,417	0,88
4) Lastra di XPS	0,08	0,035	35	2,2857	
5) Magrone	0,1	1	500	0,1	0,88
6) Terreno	0,15	2		0,075	
TOTALE	0,515			3,09515873	

$$U_{\text{tot}} = \mathbf{0,3231 \text{ W/m}^2 \text{ K}}$$

Anche per la struttura caratterizzante il solaio controterra è verificata la trasmittanza rispetto al valore massimo accettabile per la Zona climatica E che è pari a 0,38 W/m²K.

Tra le strutture disperdenti, bisogna prestare particolare attenzione agli infissi. Le superfici vetrate sono una componente importante di un edificio: nel periodo invernale devono essere in grado di fare entrare la radiazione solare nell'ambiente in modo tale da ottenere un apporto di gratuito di calore riducendo al minimo le dispersioni di calore verso l'esterno, e nel periodo estivo devono schermare l'edificio dalla radiazione che andrebbe a surriscaldare l'ambiente, favorendo, però, l'ingresso della luce naturale garantendo un risparmio nel costo dell'illuminazione artificiale.

Gli infissi oggi in commercio presentano le seguenti caratteristiche:

- 1) Doppio o triplo vetro per aumentare la resistenza termica;
- 2) Intercapedine con gas inerti come Aria, Argon o Krypton che fungono da isolanti;
- 3) Basso valore di emissività del vetro per "intrappolare", nel periodo invernale, il calore proveniente dall'irraggiamento solare nell'ambiente.

Per la riqualificazione si è scelto di utilizzare degli infissi caratterizzati da:

- 1) Doppio vetro 4-16-4, basso emissivo di trasmittanza $U_g=1 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- 2) Nell'intercapedine è presente Argon;
- 3) Il telaio è in legno;
- 4) La trasmittanza dichiarata dal costruttore è di $U_w= 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ per tutte le finestre.

INTERVENTO SUL SISTEMA DI GENERAZIONE DI RISCALDAMENTO E ACQUA CALDA SANITARIA E INSTALLAZIONE DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA.

Come anticipato nella presentazione dell'edificio nel suo stato di fatto, uno dei fattori di inefficienza è l'impianto di generazione di calore per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria che è costituito da una caldaia a gasolio a basamento la quale alimenta un sistema di emissione a radiatori in ghisa. L'intervento previsto per l'impianto di riscaldamento e acqua calda sanitaria nella riqualificazione parziale comporta:

- 1) la sostituzione del generatore di calore con un sistema adeguato alla nuova potenza richiesta dall'edificio;
- 2) il mantenimento dei radiatori in ghisa come sistema di emissione.

Per poter scegliere il tipo di sistema di generazione più adeguato, bisogna definire la taglia dell'impianto tramite il calcolo della potenza termica di progetto necessaria all'edificio per mantenere la temperatura di set-point desiderata. Lavorando nelle condizioni standard di comfort, si è deciso di mantenere 20°C come temperatura di set-point nel periodo invernale.

Per determinare la massima potenza termica di progetto richiesta dall'edificio per la stagione di riscaldamento, bisogna applicare il metodo stazionario che permette il calcolo del fabbisogno termico nelle condizioni peggiori a cui può essere sottoposto l'edificio, cioè alla minima temperatura esterna della località in cui si trova, in assenza di radiazione solare e di carichi interni che costituiscono gli apporti di calore gratuito che favoriscono la riduzione di calore da fornire agli ambienti.

Per applicare il metodo di calcolo stazionario, come prima cosa, è necessario determinare tutte le perdite che si possono verificare tra ambiente interno ed ambiente esterno. Le perdite dell'edificio si possono dividere in due tipi:

- 1) le perdite per trasmissione, H_t ;
- 2) le perdite per ventilazione, H_v .

Il primo tipo sono tutte quelle dispersioni termiche che si possono sviluppare a causa della tendenza del calore a diffondersi da una zona più calda (l'interno dell'edificio) ad una zona più fredda (l'esterno dell'edificio). Le perdite per trasmissione possono essere dirette ed indirette: le prime si verificano attraverso le pareti dell'ambiente che sono a diretto contatto con l'esterno e attraverso le superfici vetrate, mentre le seconde si generano a causa dell'adiacenza ad ambienti non riscaldati o ad ambienti che si trovano ad una temperatura differente.

Le perdite per ventilazione, invece, sono legate al fatto che, per avere un ambiente salubre, è necessario che ci sia ricambio d'aria: l'aria viziata e calda dell'ambiente deve essere espulsa sostituendola con la stessa quantità di aria di rinnovo.

La ventilazione può essere di tipo naturale, quando si provvede manualmente all'apertura delle finestre e delle porte per garantire il ricambio di aria adeguato, oppure di tipo meccanico, quando si utilizzano dei dispositivi meccanici ed automatici che prelevano, attraverso delle bocchette, l'aria esausta dagli ambienti in cui si produce maggiore umidità e vapori (cucina e bagni), e immettono aria nuova negli altri ambienti, come le camere da letto e il soggiorno. Con entrambi i tipi di ventilazione c'è immissione di aria più fredda che deve essere riscaldata dall'impianto di produzione di calore, causando una perdita.

Applicando le norme UNI TS 11300¹⁰, le perdite per trasmissione si determinano con la seguente formula:

$$H_t = H_{t_{ie}} + H_{t_{iue}} + H_{t_g} + H_{t_{ij}} \quad \left[\frac{W}{K} \right];$$

dove

$H_{t_{ie}} = \sum_k S_k U_k + \sum_j \Psi_j l_j$: perdite di trasmissione dirette legate alle dispersioni attraverso le pareti opache e le superfici vetrate tra ambiente riscaldato ed esterno, inclusi i ponti termici;

$H_{t_{iue}} = (\sum_k S_k U_k + \sum_j \Psi_j l_j) \cdot b_u$: perdite di trasmissione indirette attraverso un ambiente adiacente non riscaldato, inclusi i ponti termici;

$H_{t_g} = G_w f_{g1} f_{g2} \sum_k S_k U_{equiv,k}$: perdite di trasmissione indirette attraverso il terreno;

$H_{t_{ij}} = f_{ij} \sum_k S_k U_k$: perdite di trasmissione indirette che si verificano quando l'ambiente è adiacente ad una zona riscaldata ad una temperatura più bassa.

Le perdite di ventilazione, invece, si ottengono con l'equazione che segue:

$$H_v = \rho \cdot c_p \cdot n \cdot \sum_m V_m \quad \left[\frac{W}{K} \right];$$

dove ρ è la densità dell'aria, c_p è il suo calore specifico, n è il ricambio d'aria necessario, espresso in Vol/h, e $\sum_m V_m$ è il totale volume netto degli ambienti a cui applicare la ventilazione.

Note le perdite per trasmissione e ventilazione, per determinare la potenza termica richiesta dall'edificio, bisogna sommarle e poi moltiplicarle per la differenza di temperatura tra l'ambiente interno (20°C) e l'ambiente esterno che si suppone alla minima temperatura della località in cui si trova l'edificio, definita secondo la norma UNI 10349¹¹:

$$q = q_t + q_v = (H_t + H_v) \cdot (t_i - t_{amb}) \quad [W].$$

Seguendo questo procedimento si è potuto eseguire il calcolo della potenza termica richiesta dall'edificio riqualificato sia nel caso in cui si applicasse una ristrutturazione che interessa anche il solaio controterra, sia nel caso in cui quest'ultimo non venga sottoposto ad alcuna modifica.

CASO A: COIBENTAZIONE DI TUTTE LE STRUTTURE OPACHE.

Per semplificare il calcolo, l'edificio è stato suddiviso in tre parti: il piano terra e il primo piano che sono ambienti riscaldati alla stessa temperatura (20°C), ed il sottotetto che è, invece, una zona dell'edificio non riscaldata.

Per ciascuna porzione di edificio sono state definite le superfici disperdenti, come è mostrato nella Tabella 5.

¹⁰ Vedi Appendice B. Tabella delle normative di riferimento.

¹¹ Vedi Appendice B. Tabella delle normative di riferimento.

Tabella 5 Superfici disperdenti per porzione di edificio

<i>PORZIONE DI EDIFICIO</i>	<i>Superficie calpestabile [m²]</i>	<i>Volume netto [m³]</i>	<i>Superficie vetrata [m²]</i>	<i>Superficie opaca [m²]</i>	<i>Superficie verso terreno [m²]</i>	<i>Superficie verso zona non riscaldata [m²]</i>
PIANO TERRA	73,3	205,24	14,24	82,02	73,3	0
PRIMO PIANO	81,32	219,57	16,05	71,73	0	81,32
SOTTOTETTO	126,56	71,73	0	264,4	0	0

Per determinare le perdite di ventilazione si è posto che il volume d'aria di rinnovo sia pari a 0,3 Vol/h, che è un valore standard per i nuovi edifici ben isolati:

<i>PORZIONE DI EDIFICIO</i>	<i>Perdite per ventilazione Hv [W/K]</i>
PIANO TERRA	20,93
PRIMO PIANO	22,39
TOTALE	43,32

Il calcolo delle perdite per trasmissione è stato effettuato applicando la suddivisione dei vari fattori di dispersione sopra elencati e utilizzando i valori noti delle trasmittanze definiti nel Paragrafo 2.4.1:

<i>PORZIONE DI EDIFICIO</i>	<i>Perdite superfici opache</i>	<i>Perdite superfici vetrate</i>	<i>Perdite verso terreno</i>	<i>Perdite verso ambiente non riscaldato</i>	<i>Perdite per trasmissione Ht [W/K]</i>
PIANO TERRA	18,54	17,8	21,99	0	58,33
PRIMO PIANO	16,21	20,1	0	17,87	54,15
TOTALE	34,75	37,9	21,99	17,87	112,48

A questo punto, sono state sommate le perdite di trasmissione e di ventilazione, e poi moltiplicate per la differenza di temperatura tra l'ambiente interno e l'ambiente esterno: per la zona in cui è stato costruito l'edificio, a Piombino Dese, la minima temperatura di progetto è pari a -5°C.

<i>PORZIONE DI EDIFICIO</i>	<i>Perdite totali (Hv+Ht)</i>	<i>Potenza termica</i>
PIANO TERRA	79,26	1981,548
PRIMO PIANO	76,54	1913,611
TOTALE	155,8	<u>3,895 kW</u>

La potenza termica necessaria da fornire all'edificio considerato nel CASO A, per mantenere la temperatura interna di set-point pari a 20°C, è di **3,895 kW**.

Per quanto riguarda il fabbisogno di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria, è stato applicato il metodo fornito dalla norma UNI TS 11300-2¹². Tale metodo si basa sulla determinazione del volume di acqua sanitaria necessario in funzione della superficie calpestabile dell'edificio: è stato utilizzato questo metodo per adeguarsi allo stesso procedimento di calcolo eseguito dal software di certificazione energetica *Termolog Epix4*.

¹² Vedi Appendice B. Tabella delle normative di riferimento.

Secondo la normativa, l'energia termica $Q_{h,w}$ richiesta per riscaldare una quantità di acqua alla temperatura desiderata è:

$$Q_{h,w} = \sum_i \rho \cdot c \cdot V_w \cdot (\theta_{er} - \theta_o) \cdot G \quad [Wh];$$

dove

ρ : densità dell'acqua [kg/m^3];

c : calore specifico dell'acqua pari a 1,162 [$Wh/kg K$];

V_w : volume d'acqua richiesto nel periodo considerato nel calcolo [m^3/G];

θ_{er} : temperatura di erogazione [$^{\circ}C$];

θ_o : temperatura di ingresso dell'acqua fredda sanitaria [$^{\circ}C$];

G : numero di giorni del periodo di calcolo [G].

Per la normativa, la temperatura di erogazione è pari a $40^{\circ}C$, mentre la temperatura dell'acqua fredda è pari a $15^{\circ}C$, generando un salto termico $\Delta\theta=25 K$. Con questi valori di temperatura, la normativa prevede che il volume d'acqua richiesta sia determinata con la seguente equazione:

$$V_w = a \cdot N_u \quad \left[\frac{l}{G} \right];$$

dove

a : fabbisogno giornaliero specifico [$l/G m^2$];

N_u : parametro che dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio; nel caso di un'abitazione ad uso residenziale, questo parametro è indentificato dalla superficie calpestabile [m^2].

Il parametro a si ottiene secondo le formule presenti nel Prospetto 12 della norma sopra citata, riportato qui di seguito.

Valori di a per le abitazioni (l/Gm^2)

Fabbisogni	Calcolo in base al valore di S_u per unità immobiliare [m^2]			Valore medio riferito a $S_u = 80 m^2$
	≤ 50	51-200	>200	
a	1,8	$4,514 \times S_u^{-0,2356}$	1,3	1,6
Fabbisogno equivalente di energia termica utile [$Wh/G m^2$]	52,3	$131,22 \times S_u^{-0,2356}$	37,7	46,7
Fabbisogno equivalente di energia termica utile [$kWh/(m^2 \times anno)$]	19,09	$47,9 \times S_u^{-0,2356}$	13,8	17,05

Nel nostro caso, essendo la superficie calpestabile pari a $137,4 m^2$, il volume di acqua sanitaria richiesta è pari a :

$$V_w = 4,514 \cdot S_u^{-0,2356} \cdot S_u = 194,5 l/G$$

che corrisponde ad un fabbisogno equivalente di energia termica utile pari a $15,02 kWh/m^2$ anno.

In termini di potenza termica necessaria per la produzione istantanea dell'intero fabbisogno di acqua calda sanitaria, si può ottenere il seguente valore:

$$Q_w = m \cdot c_p \cdot \Delta\theta = \frac{194,5 \cdot 4,186 \cdot 25}{3600} = 5,65 kW.$$

In fine, nota la potenza termica richiesta dall'edificio per il riscaldamento e quella necessaria per soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria, è possibile definire la taglia dell'impianto che dovrà generare entrambe le quantità di calore richieste.

CASO B: RIQUALIFICAZIONE SENZA INTERVENTI SUL SOLAIO CONTROTERRA.

Per il secondo caso in esame, il procedimento eseguito è lo stesso.

Rispetto alla condizione precedente, il fabbisogno di potenza termica per la produzione di acqua calda sanitaria è rimasto invariato dato che questo parametro non è influenzato dal maggiore o minore isolamento del pavimento dell'edificio. Ciò che si è modificato è il dato riguardante la potenza termica dell'impianto di riscaldamento perché bisogna aggiungere le maggiori perdite di trasmissione che si verificano dal piano terra attraverso il terreno a causa della mancata presenza dell'isolamento a differenza del CASO A.

Come eseguito precedentemente, l'edificio è stato suddiviso in tre zone con le seguenti caratteristiche dimensionali:

<i>PORZIONE DI EDIFICIO</i>	<i>Superficie calpestabile [m²]</i>	<i>Volume netto [m³]</i>	<i>Superficie vetrata [m²]</i>	<i>Superficie opaca [m²]</i>	<i>Superficie verso terreno [m²]</i>	<i>Superficie verso zona non riscaldata [m²]</i>
PIANO TERRA	73,3	205,24	14,24	82,024	73,3	0
PRIMO PIANO	81,324	219,5748	16,05	71,727	0	81,324
SOTTOTETTO	126,56	71,73	0	264,4	0	0

Noti i valori delle trasmittanze delle strutture disperdenti e posto il numero di ricambi d'aria orari pari a 0,3 Vol/h, si riportano le perdite di trasmissione e di ventilazione ottenute dal calcolo:

<i>PORZIONE DI EDIFICIO</i>	<i>Perdite sup. opache</i>	<i>Perdite sup. vetrate</i>	<i>Perdite verso terreno</i>	<i>Perdite verso ambiente non riscaldata</i>	<i>Perdite per trasmissione Ht [W/K]</i>
PIANO TERRA	18,54	17,8	32,98	0	69,322
PRIMO PIANO	16,21	20,06	0	17,87	54,148
TOTALE	34,75	37,86	32,98	17,87	123,47

<i>PORZIONE DI EDIFICIO</i>	<i>Perdite per ventilazione Hv [W/K]</i>
PIANO TERRA	20,93
PRIMO PIANO	22,39
TOTALE	43,32

È stata, quindi, determinata la potenza termica sommando le perdite per trasmissione e ventilazione, moltiplicandole per il salto termico massimo che si verifica tra ambiente interno ed esterno pari a 20-(-5)=25°C.

La potenza termica necessaria da fornire all'edificio considerato nel CASO B, per mantenere la temperatura interna di set-point pari a 20°C, è di **4,17 kW**.

<i>PORZIONE DI EDIFICIO</i>	<i>Perdite totali (Hv+Ht)</i>	<i>Potenza termica</i>
PIANO TERRA	90,27	2256,42
PRIMO PIANO	76,54	1913,61
TOTALE	166,81	4,17 kW

SCELTA DELL'IMPIANTO DI RISCADALIMENTO E PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA PER IL CASO A E PER IL CASO B.

Dai risultati ottenuti con i calcoli eseguiti sui due differenti casi in esame, la potenza termica richiesta non risulta di molto differente, pertanto la scelta dell'impianto sarà la medesima in entrambe le situazioni.

Le condizioni che hanno vincolato la scelta dell'impianto di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria sono due:

- 1) si vogliono mantenere i radiatori in ghisa, già presenti nell'edificio, come sistema di emissione;
- 2) l'edificio è predisposto all'allacciamento della rete del gas naturale, quindi si vuole sfruttare anche questa fonte di energia.

Il tipo di impianto più adeguato per l'edificio riqualificato, considerando i due vincoli sopra esposti, è un sistema ibrido che, costituito da caldaia a condensazione e da pompa di calore aria/acqua integrati tra loro, sfrutta la possibilità di far intervenire la fonte energetica più performante in un dato momento, garantendo il massimo rendimento di generazione e la massima affidabilità del sistema, in qualsiasi condizione climatica.

Il concetto alla base di sistemi di generazione di questo genere è quello di bivalenza: anziché dimensionare una pompa di calore per la massima potenza termica richiesta dall'edificio, si utilizza una pompa di calore di taglia inferiore che lavora in accoppiamento ad una caldaia a condensazione. In questo modo, la pompa di calore fornisce da sola la potenza richiesta dall'edificio finché non si raggiunge il punto di bivalenza al di sotto del quale la pompa di calore risulta sottodimensionata rispetto ai fabbisogni termici dell'edificio. Da questo momento in poi entra in azione la caldaia che funge da supporto alla pompa di calore. Si definisce, infine, la temperatura di cut-off che è la minima temperatura esterna per cui è conveniente l'utilizzo della pompa di calore rispetto alla caldaia in termini di energia primaria. Per temperature esterne inferiori a quella di cut-off, la pompa di calore viene spenta e la caldaia fornisce tutta la potenza termica necessaria all'edificio garantendo la continuità di esercizio.

Il dispositivo scelto per l'edificio riqualificato è il sistema ibrido integrato ad incasso con pompa di calore monoblocco inverter Duo-Tec CSI-i IN della Baxi Spa. Di seguito si riporta la Scheda Tecnica del sistema completo, mentre nell'Appendice A¹³ vengono indicati anche gli ingombri e lo schema tipo di impianto. Successivamente saranno specificate le caratteristiche di ogni singolo componente principale.

Tabella dati tecnici

Duo-Tec CSI – i IN		
Potenza termica nominale sanitario	kW	24
Potenza termica nominale risc. 80/60°C	kW	20
Potenza termica ridotta risc. 80/60°C	kW	3,4
Rendimento energetico (92/42/CEE)		★★★★
Rendimento medio	%	109,8
Rendimento nominale 80/60°C	%	97,7
Rendimento al 30%	%	107,6

¹³ Vedi Scheda Tecnica 5. Informazioni generali sul sistema ibrido Duo-Tec CSI – i IN

Classe NOx		5
Temperatura minima di funzionamento	°C	-15
Reg. temperatura acqua circuito risc.	°C	20/80
Regolazione temperatura acqua sanitaria	°C	35/60
Capacità bollitore	l	150
Capacità vaso espansione sanitario/pre-carica	l	8/3,5
Portata specifica secondo EN 625	l/min	25
Produzione acqua sanitaria in continuo ΔT 25°C	l/min	13,8
Dimensioni – caldaia	mm	770x470x238
Dimensioni – cassa contenimento sistema	mm	2200x950x350
Pompa di calore PBM –i 6		
Potenza termica nominale	kW	5,8
COP		4,3
Potenza frigorifera nominale	kW	4,45
EER		4,28
Gas refrigerante		R410A
Compressore	n°/tipo	1/Rotativo DC inverter
Alimentazione	V/Ph/Hz	230/1/50
Dimensioni	mm	658x825x300

In un unico involucro compatto, sono presenti i seguenti componenti:

- 1) Un bollitore per l'acqua calda sanitaria da 150 litri in acciaio INOX Aisi 316 L, coibentato con isolamento grafite ad alta densità che riduce del 15% le dispersioni termiche rispetto ad un isolamento standard;
- 2) Sistema di gestione della climatizzazione invernale ed estiva;
- 3) È presente un puffer di compensazione da 20 litri;
- 4) Pompa di calore monoblocco inverter della gamma PBM-i con unità esterna collegata con rete idraulica all'unità interna;
- 5) Caldaia a condensazione Luna Duo-Tec IN HT GA con modulazione 1:7;
- 6) Pompa modulante che garantisce maggiore efficienza, ridotti consumi e minore rumorosità;
- 7) Tecnologia GAC, controllo automatico della combustione, che permette una riduzione dei tempi di installazione perché non è richiesto alcun intervento di regolazione e non è necessaria una regolazione manuale perché la caldaia si auto adatta alla qualità del gas e alla lunghezza del condotto di espulsione dei fumi;
- 8) La regolazione è di tipo climatica con sonda esterna di temperatura;
- 9) La pompa di circolazione è a basso consumo, di classe A ErP Ready.

In Figura 2.14 è indicata la posizione nel dispositivo dei componenti principali sopra elencati.



Figura 2.14 Componenti del sistema ibrido Duo-Tec CSI-i IN

La pompa di calore installata nel Duo-Tec CSI-i IN fa parte della gamma delle pompe di calore monoblocco inverter PBM-i che sono nate per la produzione di acqua calda con temperatura fino a 60°C, adatte ad essere impiegate, appunto, in sistemi ibridi in accostamento a generatori di varia tipologia (caldaie a combustibile fossile, biomasse, termocamini, pannelli solari) o anche da sole.

L'accurato dimensionamento di tutti i componenti e l'evoluto controllore elettronico permettono alla pompa di calore di essere abbinata a sistemi di distribuzione di tipo radiante, fan-coil o radiatori in funzionamento invernale, con limiti operativi particolarmente estesi. Inoltre, possono essere utilizzate anche per la produzione di acqua calda sanitaria durante tutto il periodo dell'anno, così da contribuire efficacemente all'innalzamento del contributo di energia rinnovabile per il fabbisogno degli edifici.

La possibilità di modulare la potenza erogata dal 30% al 130%, grazie al compressore DC inverter a potenza variabile, permette di adeguare il consumo di energia elettrica al reale fabbisogno dell'abitazione.

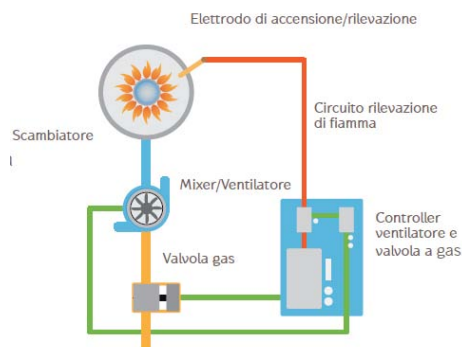
La taglia della pompa di calore installata nel sistema integrato Duo-Tec CSI-i IN, come indicato nella Scheda Tecnica del sistema ibrido sopra riportata, è di 5,8 kW con COP pari a 4,3, ottenuti con una

temperatura dell'aria esterna di 7°C e la temperatura dell'acqua di 35°C. Si rimanda alla Scheda Tecnica nell'Appendice A¹⁴ per la consultazione di tutti i dati specifici della pompa di calore.

Per quanto riguarda la caldaia a condensazione presente nel sistema ibrido Duo-Tec CSI-i IN, essa appartiene alla gamma di caldaie ad incasso Luna Duo-tec HT GA. Questo modello di caldaia è stata progettata per renderla adatta in caso di sostituzione di un vecchio generatore. Le sue dimensioni ridotte ne favoriscono l'installazione o in sistemi ibridi compatti, come quello in esame, sia in luoghi dove la gestione efficiente degli spazi è un obiettivo importante.

Le caratteristiche principali di questo modello di caldaia sono:

- Ampio campo di modulazione 1:7 : maggiore efficienza data da minori accensioni e spegnimenti. La riduzione di continui cicli ON/OFF comporta una significativa riduzione dei consumi (dell'8-10%) e una pari riduzione dell'emissione di inquinanti;
- Adeguamento della potenza prodotta a seconda della potenza dissipata dai locali in modo tale da evitare surriscaldamento/sottoraffreddamento degli ambienti;
- Presenza del GAC (Gas Adaptive Control): è un sistema innovativo che, grazie ad una nuova elettronica di controllo e ad una nuova valvola a gas elettronica, garantisce un controllo automatico della combustione per mantenere costantemente i valori di massima efficienza con i seguenti vantaggi:
 - Non ci sono interventi manuali – ridotte misurazioni, tarature o cambio ugelli;
 - Con questo sistema la caldaia si autoadatta alla qualità del gas e alla lunghezza dei tubi di scarico dei fumi mantenendo costante il rendimento;
 - La caldaia inoltre si autoregola costantemente per mantenere i valori di massima efficienza favorendo una riduzione dei consumi di gas e generando meno inquinamento grazie al continuo controllo delle emissioni.



- Dimensioni compatte: 770x470x238 mm;
- Pompa di circolazione modulante con de-aerazione: la pompa di circolazione può operare alla massima velocità, alla minima velocità o in modalità "automatico". In questo ultimo caso, la velocità (min/max) verrà selezionata affinché il ΔT di mandata/ritorno in riscaldamento rimanga costante a 20°C garantendo così una significativa riduzione dei consumi della pompa e, date le minori sollecitazioni meccaniche (rispetto ad una pompa che funziona sempre alla massima velocità), anche dei costi di manutenzione;
- Temperatura minima di funzionamento pari a -15°C.

Della gamma di caldaie a condensazione Luna Duo-Tec IN HT GA, nel sistema ibrido è presente la caldaia che produce calore sia per il riscaldamento sia per l'acqua calda sanitaria per una potenza

¹⁴ Scheda Tecnica 6. Pompa di calore PBMI-i 6.

massima per il sanitario di 24 kW e di 20 kW per il riscaldamento. Nell'Appendice A¹⁵ sono indicate tutte le informazioni più dettagliate della caldaia in questione.

Note le caratteristiche tecniche dei componenti principali, si analizzano ora i principi di funzionamento nella varie condizioni operative.

RISCALDAMENTO

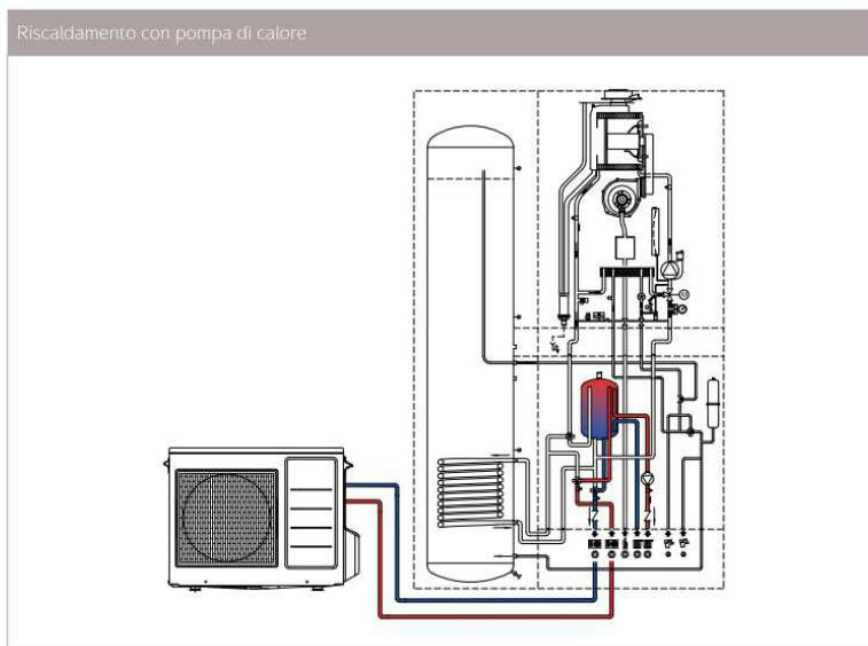


Figura 2.15 Schema di impianto con funzionamento a riscaldamento con sola pompa di calore.

Nello scheda di impianto di Figura 2.15 è rappresentato il funzionamento in regime di riscaldamento con la sola pompa di calore.

Le pompe di calore sono sistemi altamente performanti, catturano l'energia dell'aria esterna e la riversano nell'impianto sotto forma di acqua riscaldata a media temperatura.

Occorre però tener presente le temperature di funzionamento: il limite economico di convenienza nell'utilizzo di una pompa di calore è determinato dalle condizioni climatiche esterne e dalla temperatura di utilizzo.

Grazie al sistema di controllo Think easy CSI-i IN, avviene la verifica sull'effettiva efficienza della pompa di calore e ne determina l'accensione o lo spegnimento.

Per questo motivo la pompa di calore funzionerà in precedenza per l'impianto di riscaldamento il quale dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- Un impianto di riscaldamento a pavimento radiante a bassa temperatura;
- Un impianto di riscaldamento a parete radiante a bassa temperatura;
- Un impianto di riscaldamento a soffitto radiante a bassa temperatura;
- Un impianto di riscaldamento a radiatori a media temperatura;
- Un impianto di riscaldamento a fan-coil a media temperatura.

Nel caso in cui la pompa di calore non lavorasse con valori adeguati di COP e non riesca a soddisfare il fabbisogno di calore dell'impianto, interviene in integrazione la caldaia, come mostrato in Figura 2.16.

¹⁵ Scheda Tecnica 7. Caldaia a condensazione Luna Duo-Tec IN HT GA.

Grazie al puffer di integrazione da 20 litri, i due generatori possono contribuire, senza interferenze, alla richiesta dell'impianto.

Nel caso la pompa di calore abbia un COP inferiore rispetto alle condizioni di convenienza della caldaia, questa verrà spenta e la caldaia soddisferà interamente al fabbisogno di calore dell'edificio.

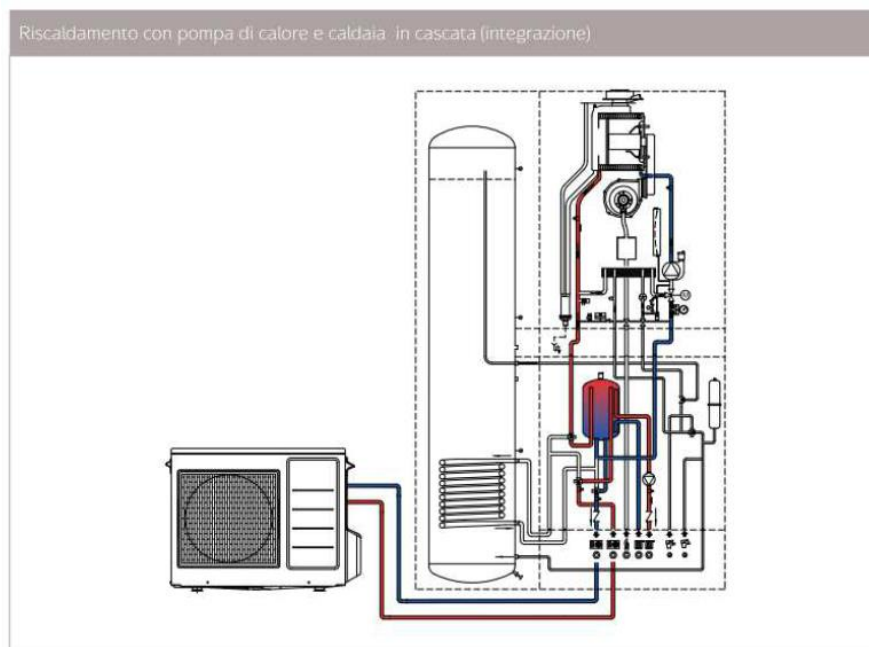


Figura 2.16 Funzionamento pompa di calore con caldaia in integrazione.

PRE-RISCALDAMENTO ACCUMULO SANITARIO

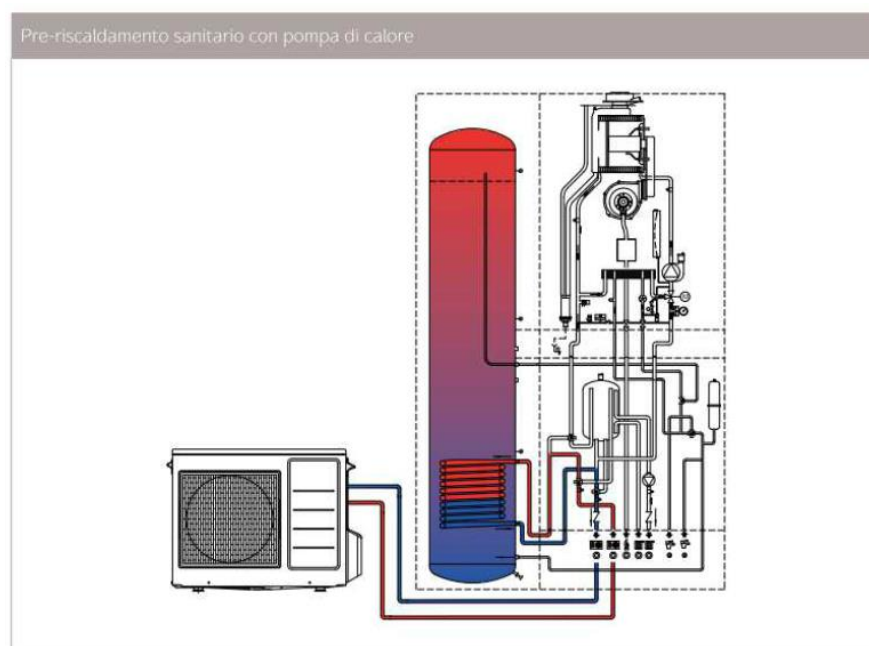


Figura 2.17 Pre-riscaldamento del bollitore con pompa di calore.

La pompa di calore è programmata per eseguire il pre-riscaldamento del bollitore sanitario ad una determinata temperatura: questa funzione permette di evitare inefficienze di rendimento causate dalla richiesta di acqua a temperatura troppo elevata.

La funzione di pre-riscaldamento è programmabile a seconda della tipologia di impianto da abbinare.

Per esempio, abbinando al sistema ibrido un impianto fotovoltaico si possono settare dei parametri e imputare una programmazione in sanitario per far funzionare la pompa di calore alla massima temperatura e sfruttare maggiormente l'energia elettrica quando è prodotta dai pannelli fotovoltaici.

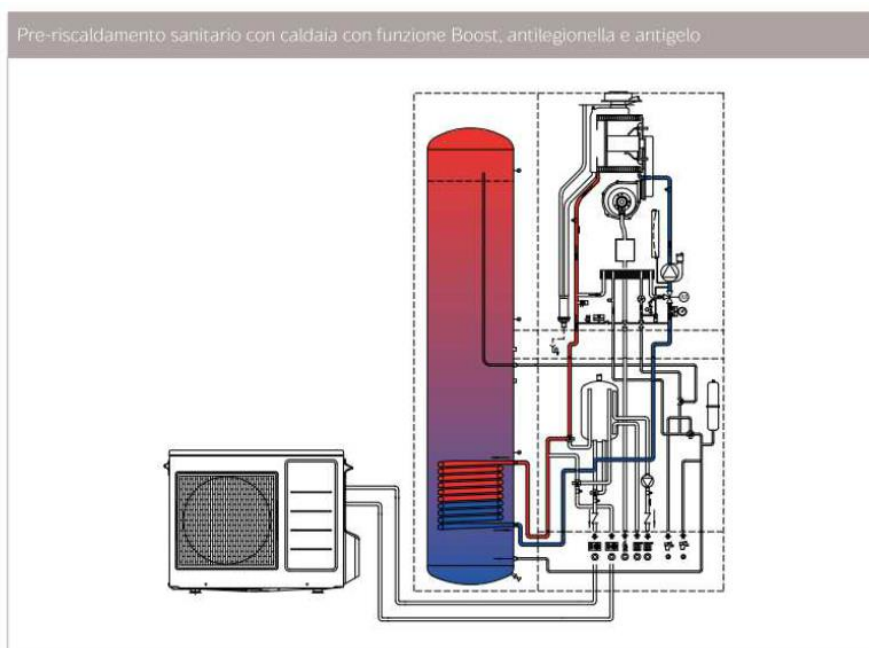


Figura 2.18 Pre-riscaldamento del bollitore con caldaia.

In caso di mancata accensione della pompa di calore causata da condizioni climatiche che non ne permettono un elevato rendimento, il pre-riscaldamento del bollitore viene eseguito dalla caldaia. Il Sistema Think easy incorpora anche la funzione Boost e antilegionella. La funzione Boost interviene solamente su richiesta dell'utente: tramite l'attivazione di apposito parametro si attiva la caldaia per portare in temperatura il bollitore in tempi brevi.

La funzione antilegionella, a causa delle alte temperature richieste (65°C), è eseguita esclusivamente dalla caldaia.

PRELIEVO SANITARIO

Nelle Figure 2.19 e 2.20 sono rappresentati i funzionamenti del sistema ibrido nel caso di prelievo di acqua calda sanitaria rispettivamente senza e con post-riscaldamento in caldaia.

Nel primo caso la temperatura dell'acqua sanitaria si trova già ad un valore adeguato al prelievo delle utenze e quindi non necessita di essere riscaldata ulteriormente dalla caldaia.

Il secondo caso si verifica quando avviene la mancata accensione della pompa di calore causata da condizioni climatiche che non favoriscono elevate prestazioni ed un'adeguata messa in temperatura del bollitore: la caldaia, tramite il suo scambiatore a piastre, riscaldere l'acqua alla temperatura desiderata dall'utente.

Le accensioni e gli spegnimenti ripetuti della caldaia sono evitati grazie all'elevata modulazione della stessa.

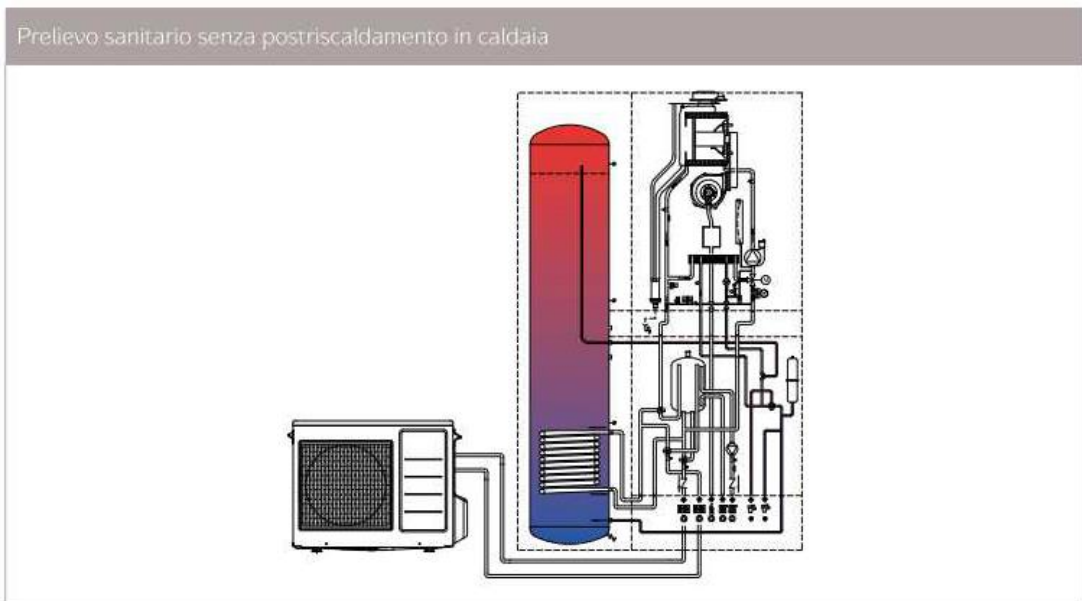


Figura 2.19 Prelievo di ACS senza post-riscaldamento.

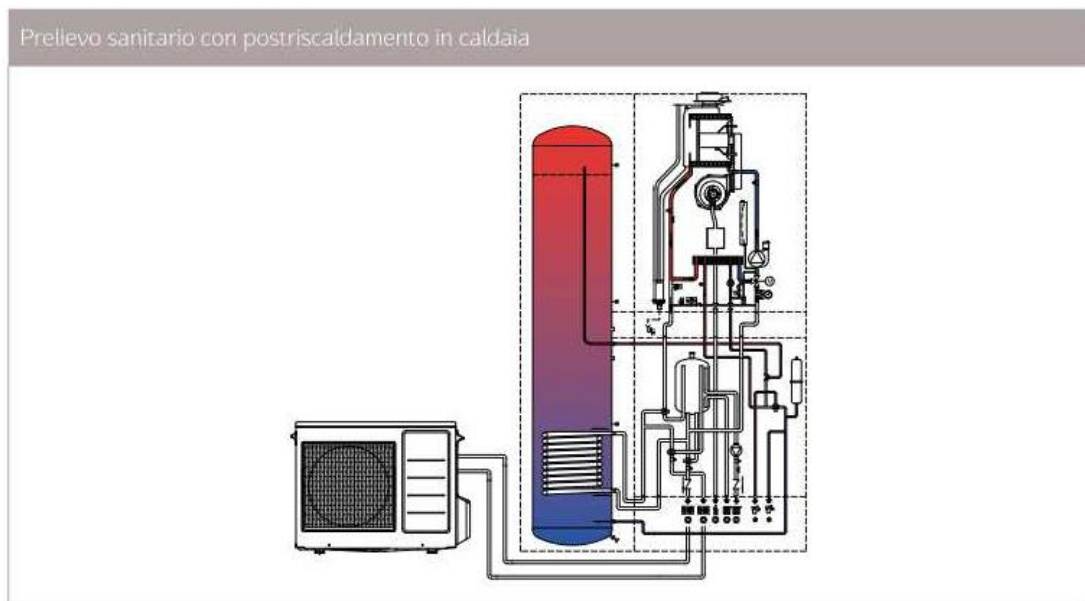


Figura 2.20 Prelievo di ACS con post-riscaldamento.

L'ultima cosa da verificare è la compatibilità di questo impianto con il sistema di emissione presente. I radiatori sono dei terminali di impianto ad alta temperatura. Questa caratteristica non risulta favorevole al funzionamento della pompa di calore la quale dovrebbe lavorare con valori di COP bassi.

Per poter far dialogare i radiatori con un impianto a pompa di calore, si è pensato di applicare una regolazione climatica al sistema, facendo variare la temperatura dell'acqua circolante nei radiatori in funzione della temperatura esterna: minore è la temperatura esterna, minore è il fabbisogno di calore dell'edificio e quindi minore è la temperatura dell'acqua nei radiatori che avranno una minore resa termica.

Si definiscono i dati iniziali:

- 1) $T_i = 20^\circ\text{C}$: temperatura dell'ambiente interno;
- 2) T_m : temperatura di mandata dell'acqua ai radiatori;
- 3) T_r : temperatura di ritorno dell'acqua dai radiatori;
- 4) $\Delta T = T_m - T_r = 15^\circ\text{C}$: differenza di temperatura iniziale tra mandata e ritorno;
- 5) $T_{\text{media}} = (T_m + T_r)/2$: temperatura media dell'acqua nel corpo radiante;
- 6) $\Delta t = T_{\text{media}} - T_i$: salto termico tra il corpo scaldante e l'aria dell'ambiente da riscaldare;
- 7) $n = 1,33$ per i radiatori presenti nell'abitazione;
- 8) $C = 0,615$ costante caratteristica dei radiatori;
- 9) Il numero totale di colonne costituenti i radiatori è 160.

Le ipotesi iniziali semplificative sono le seguenti:

- a) Per poter avere una minore temperatura di mandata, ho ipotizzato l'utilizzo di una regolazione climatica, andando a lavorare sulla temperatura di mandata al radiatore piuttosto che sulla portata;
- b) Ho considerato la potenza erogata dai radiatori proporzionale alla temperatura media dell'acqua;
- c) Il fabbisogno termico dell'ambiente da riscaldare è inversamente proporzionale alla temperatura esterna.

In questo modo, il comportamento dei radiatore è differente a seconda delle temperature esterne:

- Se la temperatura esterna è la minima di progetto (-5°C), il radiatore lavora con la temperatura massima di mandata pari a 70°C e di ritorno di 55°C (dato che ΔT iniziale è di 15°C);
- Se la temperatura esterna è di 20°C , il radiatore non deve scambiare calore con l'ambiente, quindi nel radiatore, paradossalmente, deve scorrere acqua con temperatura di mandata e di ritorno uguali pari a 20°C .

Con questi dati ho tracciato le rette della temperatura di mandata e di ritorno dell'acqua nel radiatore in funzione della temperatura esterna, riportate in Figura 2.21. Ho potuto determinare, infine, la temperatura media dell'acqua nel corpo radiante in funzione della temperatura esterna, dati che si possono consultare in Tabella 6.

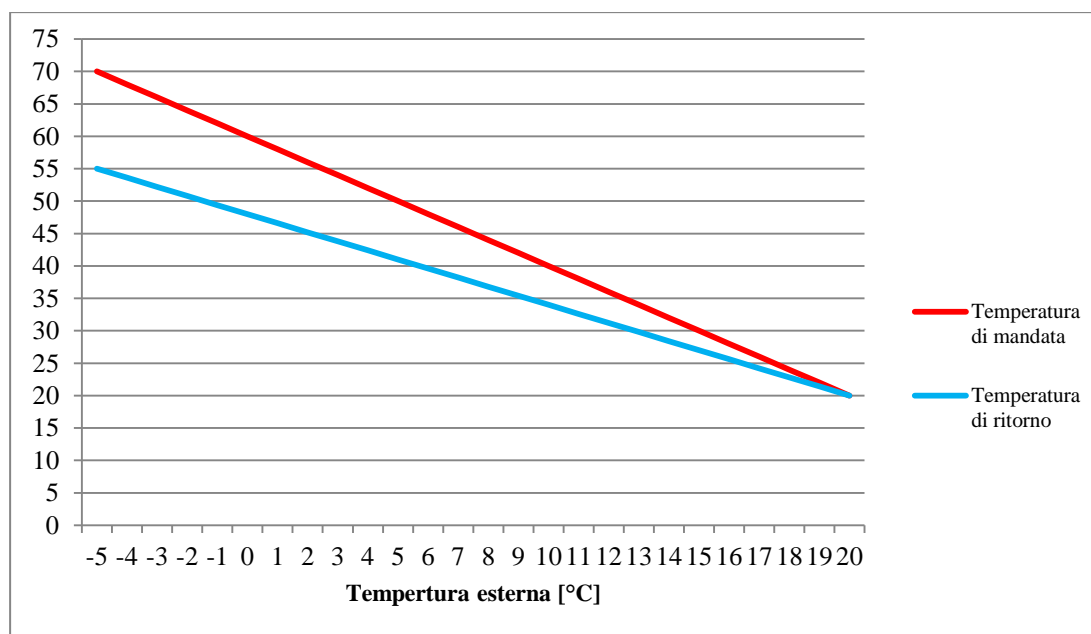


Figura 2.21 Andamento delle temperatura di mandata e di ritorno nei radiatori.

Tabella 6 Temperature nel radiatore.

<i>Temperatura esterna</i>	<i>Temperatura di mandata</i>	<i>Temperatura di ritorno</i>	<i>Temperatura media dell'acqua</i>
-5	70	55	62,5
-4	68	53,6	60,8
-3	66	52,2	59,1
-2	64	50,8	57,4
-1	62	49,4	55,7
0	60	48	54
1	58	46,6	52,3
2	56	45,2	50,6
3	54	43,8	48,9
4	52	42,4	47,2
5	50	41	45,5
6	48	39,6	43,8
7	46	38,2	42,1
8	44	36,8	40,4
9	42	35,4	38,7
10	40	34	37
11	38	32,6	35,3
12	36	31,2	33,6
13	34	29,8	31,9
14	32	28,4	30,2
15	30	27	28,5
16	28	25,6	26,8
17	26	24,2	25,1
18	24	22,8	23,4
19	22	21,4	21,7
20	20	20	20

Con i risultati ottenuti è possibile calcolare la resa termica del radiatore tramite la seguente formula:

$$q_R = C (T_{media} - T_i)^n.$$

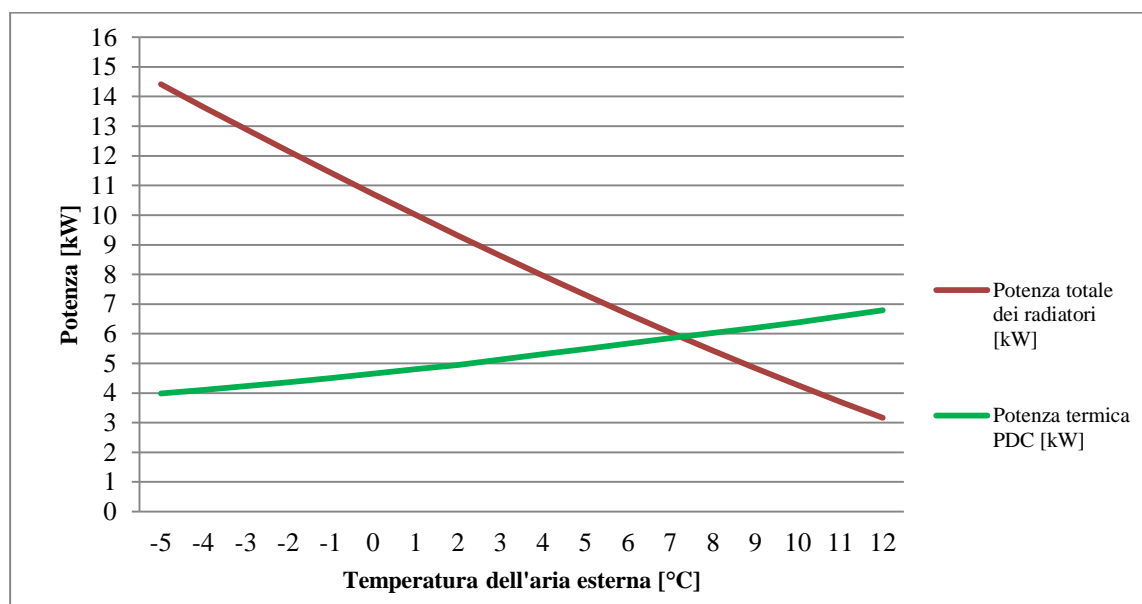
I valori di potenza termica ottenuti, in funzione della temperatura esterna, sono elencati in Tabella 7.

Tabella 7 Resa termica dei radiatori in funzione della temperatura esterna.

<i>Temperatura esterna</i>	<i>Temperatura media dell'acqua</i>	<i>Potenza totale dei radiatori [kW]</i>
-5	62,5	14,41293325
-4	60,8	13,65127185
-3	59,1	12,90001412
-2	57,4	12,15946115
-1	55,7	11,42993672
0	54	10,7117902
1	52,3	10,00539994
2	50,6	9,311177284
3	48,9	8,629571458
4	47,2	7,961075466

5	45,5	7,306233343
6	43,8	6,665649161
7	42,1	6,039998384
8	40,4	5,430042404
9	38,7	4,836647482
10	37	4,260809956
11	35,3	3,703690618
12	33,6	3,166662992

Nota la curva della resa termica dei radiatori e della potenza termica che la pompa di calore presente nell'impianto ibrido scelto produce, è possibile tracciare un grafico in cui è rappresentato il punto di bivalenza del sistema: la temperatura esterna dell'aria per cui la pompa di calore produce una potenza pari a quella richiesta dall'edificio è 7°C.



Affinché la pompa di calore sia conveniente in termini di consumi energetici, si è deciso di impostare la temperatura di cut-off uguale a quella di bivalenza, facendo lavorare in modo alternato i due generatori di calore.

INSTALLAZIONE DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA A DOPPIO FLUSSO CON RECUPERATORE DI CALORE.

Dentro gli edifici a basso consumo energetico, la Ventilazione Meccanica Controllata è l'unico sistema che permette l'aerazione costante di tutti gli ambienti.

La riduzione della dispersione del calore e delle infiltrazioni d'aria implica una diminuzione della qualità dell'aria interna: senza ventilazione le sostanze inquinanti si accumulano causando effetti nocivi alla salute e al comfort nell'abitazione. La ventilazione meccanica controllata garantisce, quindi, un'aria sana in ogni locale e in ogni momento della giornata.

I sistemi di ventilazione meccanica controllata si dividono in due tipi:

- 1) Ventilazione a semplice flusso: l'aria nuova entra direttamente nei locali attraverso ingressi posizionati sopra le finestre degli ambienti come soggiorno, camere da letto, studio, passa sotto le porte e viene estratta dalle bocchette di estrazione situate nei locali di servizio (cucina, bagno, WC, lavanderia...);

- 2) Ventilazione a doppio flusso: è un sistema di ventilazione che assicura l'estrazione dell'aria viziata dai locali tecnici (cucina, bagno, WC, lavanderia,...) e, simultaneamente, assicura l'immissione dell'aria nuova filtrata nei locali di vita (soggiorno, camera, studio,...). Questo sistema è dotato anche di recuperatore di calore che permette di pre-riscaldare l'aria di rinnovo in inverno e di pre-raffrescarla in estate ottenendo un notevole risparmio energetico nei consumi dell'impianto di riscaldamento.

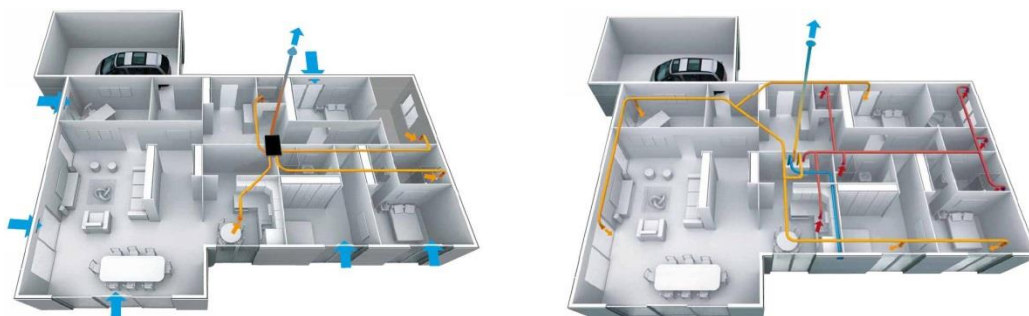


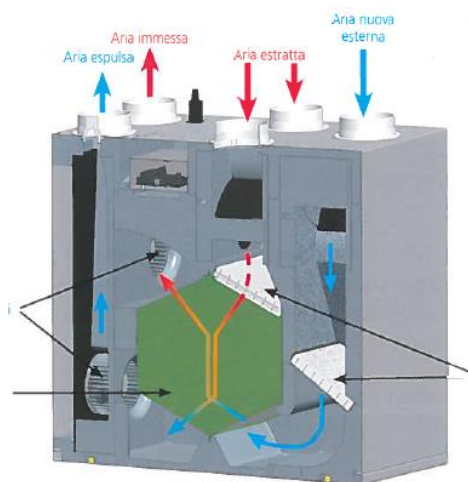
Figura 2.22 Schemi di impianto dei due tipi di sistemi di ventilazione.

In Figura 2.22 sono rappresentati gli schemi dei due tipi di sistemi di ventilazione meccanica controllata: nell'immagine di sinistra è raffigurata la ventilazione a semplice flusso, mentre in quella di destra la ventilazione a doppio flusso con recuperatore di calore.

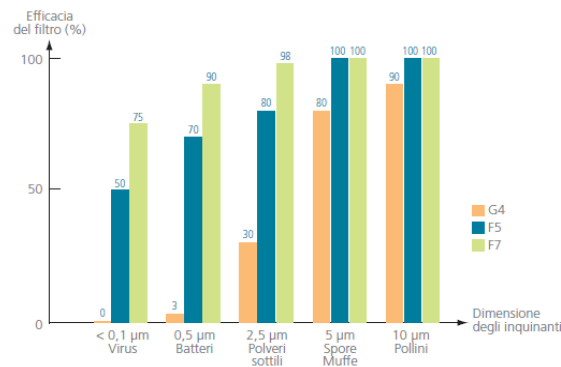
L'impianto di ventilazione scelto per l'edificio riqualificato è il sistema di ventilazione meccanica controllata a doppio flusso con recuperatore di calore Duolix MAX di Atlantic Spa, di cui si rimanda all'Appendice A¹⁶ per la Scheda Tecnica.

Le caratteristiche principali di questo sistema di ventilazione sono:

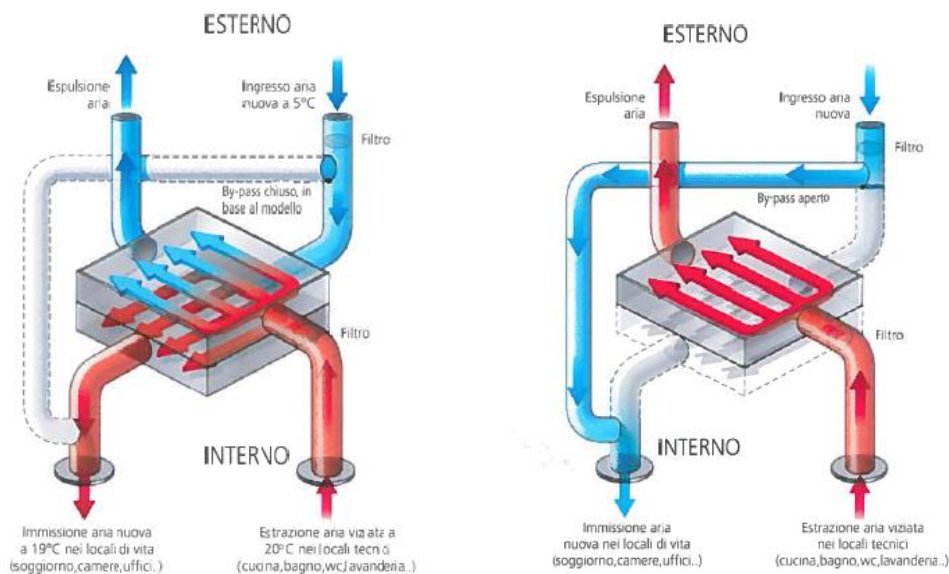
- 1) Buona filtrazione dell'aria. L'aria esterna contiene numerose particelle nocive per la salute. Più del 90% delle particelle contenute nell'aria esterna hanno una dimensione inferiore a 1 μm e derivano da particelle sottili emesse dai veicoli e sistemi di riscaldamento a combustione, virus e batteri. La VMC doppio flusso permette la filtrazione dell'aria nuova immessa preservando la salute e il benessere dell'ambiente interno. Il sistema Duolix MAX possiede filtri piegati ad alta efficienza F7 che sono i più efficaci nei confronti degli inquinanti contenuti nell'aria esterna.



¹⁶ Vedi Scheda Tecnica 8. Sistema di ventilazione Duolix MAX.



- 2) **Comfort e risparmio energetico.** Oltre a garantire una qualità dell'aria ottimale, il sistema Duolix MAX permette un elevato risparmio energetico grazie allo scambiatore di calore ad alta efficienza ($\epsilon = 92\%$): l'aria nuova entra pre-riscaldata in inverno (con una temperatura esterna di 5°C e una temperatura interna di 20°C , l'aria nuova dopo lo scambio viene immessa a 19°C), mentre in estate entra raffreddata (con una temperatura esterna di 30°C e una temperatura interna di 22°C , l'aria nuova dopo lo scambio viene immessa a 23°C). Nel periodo estivo permette anche la funzione by-pass: è possibile effettuare il free-cooling immettendo l'aria fresca notturna direttamente negli ambienti. Nelle immagini sottostanti sono rappresentati, da sinistra, il funzionamento invernale e il funzionamento estivo notturno con la funzione di by-pass.



- 3) **Ventilazione discreta.** Grazie all'eliminazione degli ingressi d'aria sopra le finestre, i locali sono più isolati dai rumori esterni, è stata eliminata la sensazione di corrente d'aria ed è stata migliorata l'estetica degli ambienti.

Il modello scelto permette anche di avere a disposizione un telecomando con un display che fornisce le informazioni di temperatura in entrata e in uscita dello scambiatore, la visualizzazione del risparmio energetico e lo stato del sistema.

Le funzioni del telecomando sono adatte sia all'installatore sia all'utilizzatore grazie a due modalità:

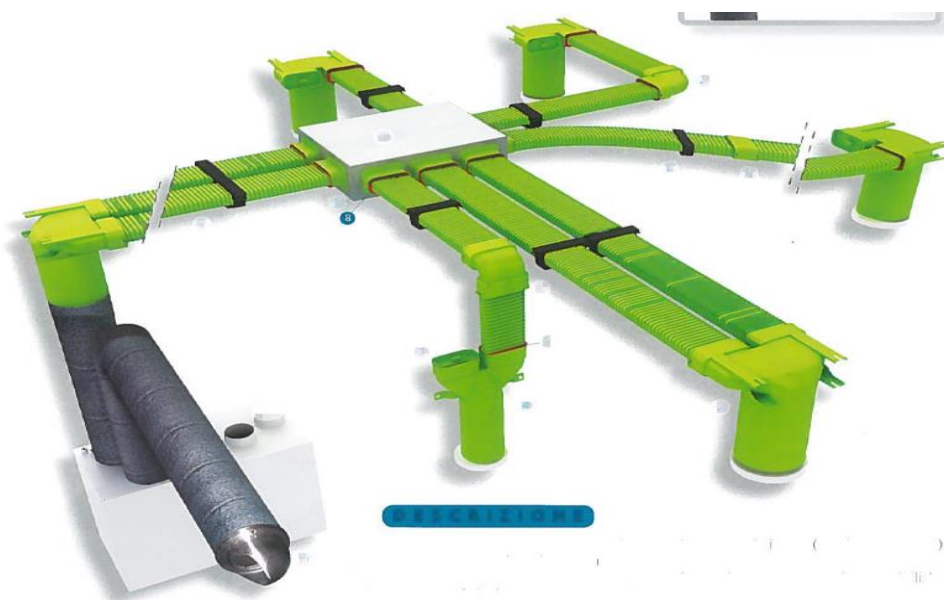
- **MODALITA' INSTALLATORE:** serve per regolare le portate (presenza/assenza/sovraventilazione), regolare un possibile disequilibrio tra aria nuova ed estratta, scegliere il modo di gestione della sovraventilazione (automatico/manuale), impostare le temperature

soglia di by-pass, definire gli ausiliari collegati (ventilatori, pozzi canadesi), realizzare un'autodiagnosi completa e bloccare i parametri;

- MODALITA' UTILIZZATORE: serve per scegliere la modalità di funzionamento, conoscere le temperature reali in entrata e in uscita dello scambiatore e visualizzare il risparmio energetico e l'efficienza del sistema di ventilazione.

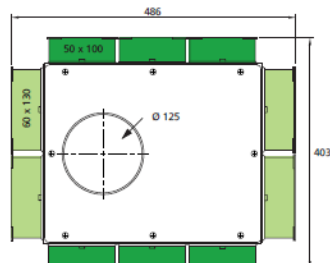
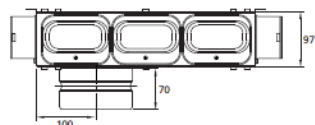
Infine, per quanto riguarda i canali in cui fluisce l'aria, il sistema prevede i canali semirigidi Clip&Go che hanno le seguenti caratteristiche:

- Condotto semirigido: esterno in PEHD, interno liscio in PET con trattamento antistatico e antibatterico;
- Collettore di distribuzione: con attacchi in PP e isolamento acustico (possibilità di montaggio in linea);
- Ultra compatto con spessore inferiore a 10 cm;
- Temperatura massima di esercizio pari a 60°C;
- Possibilità di annegarlo nel massetto.



L'installazione del recuperatore deve essere effettuata in un locale riscaldato ed isolato: nell'edificio riqualificato è stato posizionato nel bagno del primo piano da cui si dipartono i canali dell'aria che vengono alloggiati nel controsoffitto creato per isolare l'ambiente riscaldato del primo piano dal sottotetto. Il controsoffitto ha una profondità di 10 cm: è possibile quindi alloggiare il collettore, di cui si riportano le dimensioni nell'immagine sottostante, e i tubi di dimensione maggiore (modello CSR 60X130) che permettono una maggiore portata d'aria.

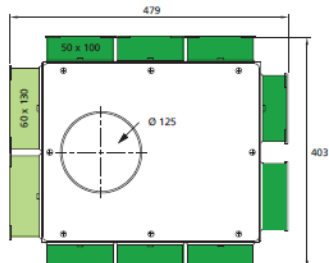
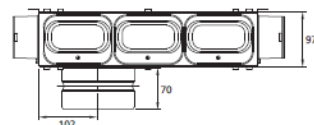
DIMENSIONI COLLETTORE



CD 6 X 100 + 4 X 130

Composizione: 4 attacchi 60 x 130 + 2 tappi
6 attacchi 50 x 100 + 2 tappi

consegnato con: 10 riduttori di portata
2 staffe di fissaggio
1 piastra piena e 1 piastra con attacco da Ø 125

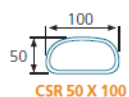


CD 8 X 100 + 2 X 130

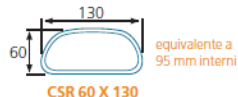
Composizione: 2 attacchi 60 x 130
8 attacchi 50 x 100 + 4 tappi

consegnato con: 10 riduttori di portata
2 staffe di fissaggio
1 piastra piena e 1 piastra con attacco da Ø 125

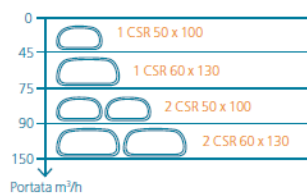
DIMENSIONI CANALI



CSR 50 X 100



CSR 60 X 130



LISTINO

INSTALLAZIONE DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO.

Nel caso di ristrutturazioni importanti come quella in esame, l'installazione di un impianto fotovoltaico per coprire i carichi elettrici dell'edificio, costituiti da illuminazione, elettrodomestici e pompa di calore, risulta necessario per adeguarsi alla Direttiva Europea 28/2009/CE per la quale è richiesta un copertura del 35% del fabbisogno globale dell'edificio con fonti rinnovabili.

Si è deciso di installare un impianto caratterizzato da 6 kW di potenza di picco che riesce a far fronte sia ai consumi tipici di un edificio residenziale (3 kW) sia all'assorbimento elettrico della pompa di calore installata per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria. Inoltre, scegliendo la potenza elettrica massima di 6 kW, non è necessario apportare modifiche all'alimentazione del contatore dei consumi elettrici poiché si rimane nell'ambito del collegamento monofase.

Per poter definire in modo preciso la resa dell'impianto, è stato opportuno decidere:

- 1) La tipologia del pannello;
- 2) La potenza di picco di ciascun pannello;
- 3) I collegamenti tra i pannelli;
- 4) La disposizione dei moduli sulle falde del tetto disponibili più adeguate;
- 5) Il tipo di inverter.

Nel caso dell'edificio in esame, a causa della configurazione del tetto a quattro falde, si è scelto il tipo di pannello fotovoltaico che avesse la maggiore potenza ed efficienza in rapporto alla superficie occupata a scapito di una spesa economica maggiore.

L'impianto ha le seguenti caratteristiche:

- 1) Le falde del tetto disponibili sono quelle rivolte a Sud e a Ovest (quella ad Est è occupata dal camino che crea ombreggiamento);

- 2) L'installazione è di tipo integrata: i moduli vengono ancorati ad una lastra grecata in alluminio come mostrato in Figura 2.3;

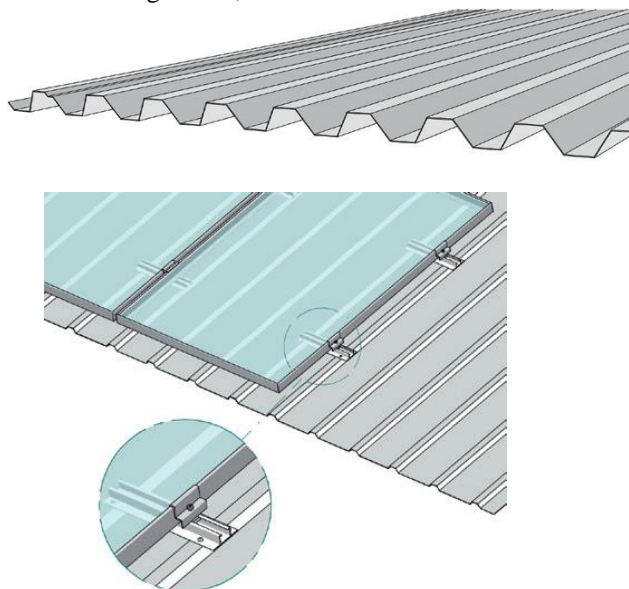


Figura 2.23 Lastra grecata in alluminio con attacchi per moduli fotovoltaici.

- 3) Il pannello scelto è il modello E20-327 della SunPower (la scheda tecnica in Appendice A)¹⁷ con potenza di picco pari a 327 W_p;
- 4) I moduli sono in silicio monocristallino;
- 5) Su ogni falda sono stati installati 9 moduli, per un totale di 18 pannelli che producono una potenza massima di picco pari circa a 6 kW;
- 6) L'inverter scelto, il SUNNY BOY 6000TL, di cui si rimanda ai dati completi nella scheda tecnica nell'Appendice A¹⁸, è in grado di convertire una potenza massima di cortocircuito ($\cos\phi=1$) pari a 6280 W;
- 7) Le dimensioni dei moduli sono quelli rappresentati in Figura 2.24.

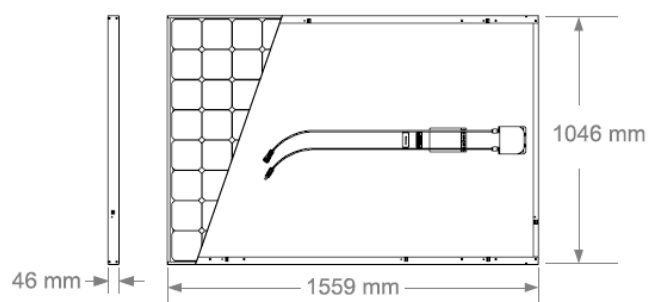


Figura 2.24 Dimensioni dei moduli fotovoltaici E20-327.

Noti la superficie disponibile sulla falda e gli ingombri dei moduli, è stato possibile definire la disposizione più adeguata dell'impianto considerando anche l'estetica dell'edificio.

¹⁷ Vedi Scheda Tecnica 8. Modulo fotovoltaico E20-327 di Sunpower.

¹⁸ Vedi Scheda Tecnica 9. Inverter SUNNY BOY 6000TL.

Nelle Figure 2.25 e 2.26 si riportano rispettivamente la planimetria dell'impianto e la vista tridimensionale.

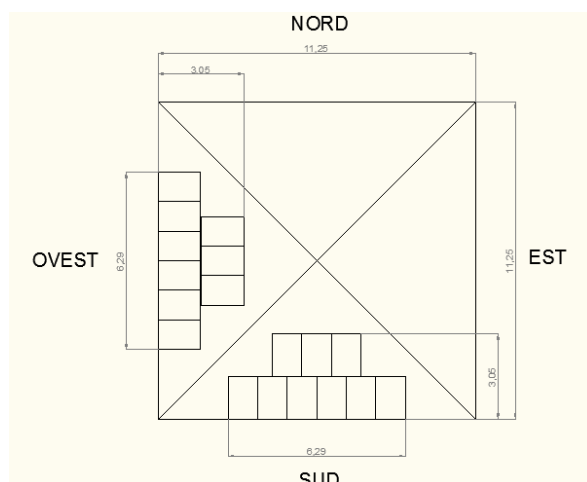


Figura 2.25 Planimetria dell'impianto fotovoltaico.



Figura 2.26 Vista tridimensionale dell'edificio.

RISULTATI OTTENUTI CON LA RIQUALIFICAZIONE PARZIALE.

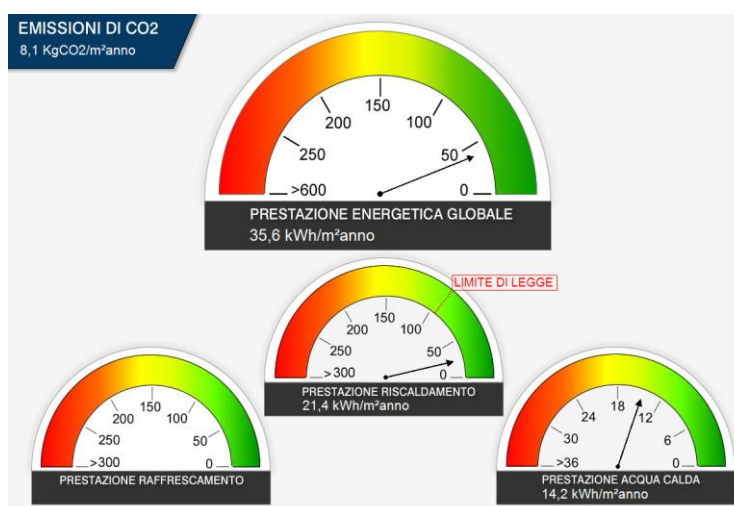
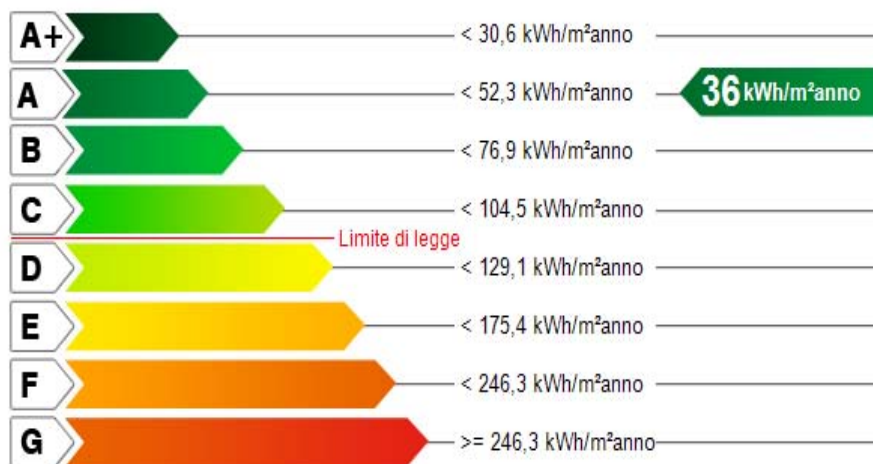
L'obiettivo che era stato posto all'inizio della realizzazione di questo elaborato era quello di raggiungere, tramite la riqualificazione parziale dell'edificio in classe energetica G, almeno la classe energetica B prendendo in considerazione, per ciascuna delle strutture e per gli impianti termici, i requisiti minimi imposti dalla Direttiva 2010/31/UE sulle prestazioni dei componenti.

Per l'edificio riqualificato in esame, però, si è posto il problema della convenienza di intervenire o meno sulla struttura caratterizzante il solaio controterra per applicare l'isolamento: nel CASO A per tutte le strutture si è riuscito ad ottenere una trasmittanza minore del valore minimo accettabile dalla Direttiva, mentre nel CASO B, ovviamente, solo la trasmittanza del pavimento non raggiunge i requisiti imposti.

Tramite la determinazione della classe energetica raggiunta nei due casi è possibile definire, in termini energetici, il beneficio che si può trarre dall'intervento rispetto al mantenimento della struttura originale del pavimento.

CASO A: COIBENTAZIONE DI TUTTE LE STRUTTURE OPACHE.

L'obiettivo energetico posto inizialmente è stato raggiunto e superato: l'edificio riqualificato è in **classe energetica A** con un indice di prestazione globale $E_{p,gl} = 35,56 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$.



Il parametro indicato è il risultato di tre fattori:

- 1) Fabbisogno di energia termica per riscaldamento, acqua calda sanitaria e raffrescamento;
- 2) Fabbisogni di energia primaria e rendimenti per il riscaldamento;
- 3) Fabbisogni di energia primaria e rendimenti per la produzione di acqua calda sanitaria.

In questo studio non si è considerata la situazione di raffrescamento.

In Tabella 8 sono indicati tutti i valori ottenuti dal software di certificazione energetica *Termolog Epix4* suddivisi per i tre fattori sopra elencati. In Tabella 9, invece, ci sono i risultati globali dell'edificio che determinano la classe energetica complessiva.

Tabella 8 Fabbisogni di energia termica e primaria.

FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA				
Riscaldamento involucro	$Q_{H,nd} =$	3594,3 kWh	Indice di prestazione	$EP_{i,inv} =$ 26,15 kWh/m²anno
Acqua calda sanitaria	$Q_{h,w} =$	2062,5 kWh	Indice di prestazione	$EP_{w,ter} =$ 15,01 kWh/m²anno
Raffrescamento involucro	$Q_{C,nd} =$	4847,5 kWh	Indice di prestazione ¹⁹	$EP_{e,inv} =$ 35,27 kWh/m²anno

¹⁹ Il valore limite per l'indice di prestazione per il raffrescamento dell'involucro è pari a 30 kWh/m²anno.

RISCALDAMENTO: fabbisogno di energia primaria e rendimenti

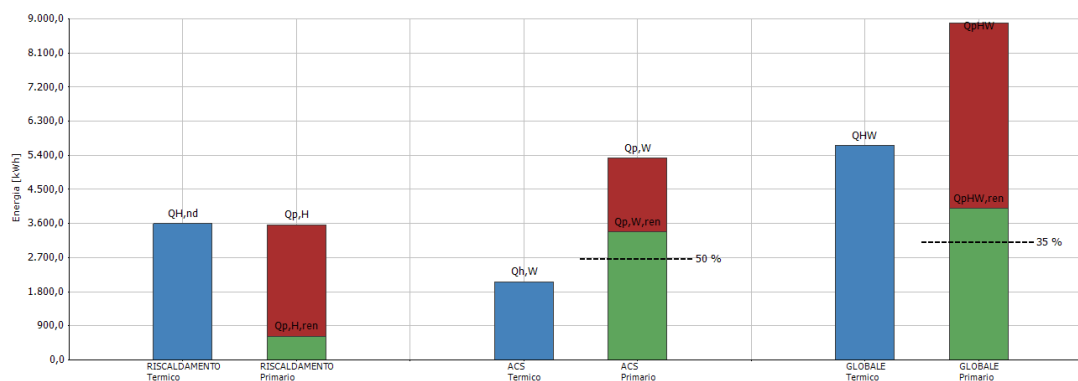
Energia primaria riscaldamento	$Q_{p,H} =$	2942,4 kWh	Indice di prestazione ²⁰	$EP_i =$	21,41 kWh/m ² anno
Classe energetica riscaldamento		A+	Rendimento globale stagionale ²¹	$\eta_{G,H} =$	122,2%
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,H,ren} =$	626,333 kWh	Quota rinnovabile	$Q_{R,H} =$	17,6%
Energia primaria totale	$Q_{p,H,tot} =$	3568,7 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{i,tot} =$	25,96 kWh/m ² anno

ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogno di energia primaria e rendimenti

Energia primaria ACS	$Q_{p,W} =$	1946,0 kWh	Indice di prestazione	$EP_{ACS} =$	14,16 kWh/m ² anno
Classe energetica ACS		C	Rendimento globale stagionale	$\eta_{G,W} =$	106%
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,W,ren} =$	3379,6 kWh	Quota rinnovabile ²²	$Q_{R,ACS} =$	63,5 %
Energia primaria totale	$Q_{p,W,tot} =$	5325,6 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{ACS,tot} =$	38,75 kWh/m ² anno

Tabella 9 Fabbisogno globale di energia primaria.**FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti**

Energia primaria globale	$Q_{p,HW} =$	4888,4 kWh	Indice di prestazione ²³	$EP_{gl} =$	35,56 kWh/m ² anno
Classe energetica globale		A	Rendimento globale stagionale	$\eta_{G,HW} =$	115,7%
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,HW,ren} =$	4006,0 kWh	Quota rinnovabile ²⁴	$Q_{R,gl} =$	45%
Energia primaria totale	$Q_{p,HW,tot} =$	8894,4 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{gl,tot} =$	64,71 kWh/m ² anno

FABBISOGNI TERMICI E FABBISOGNI PRIMARI**CASO B: RIQUALIFICAZIONE SENZA INTERVENTI SUL SOLAIO CONTROTERRA.**

Per quanto riguarda il secondo caso, la **classe energetica** raggiunta è sempre **A**, con un aumento di 4 kWh/m²anno rispetto al CASO A raggiungendo un indice di prestazione globale pari a 40 kWh/m²anno.

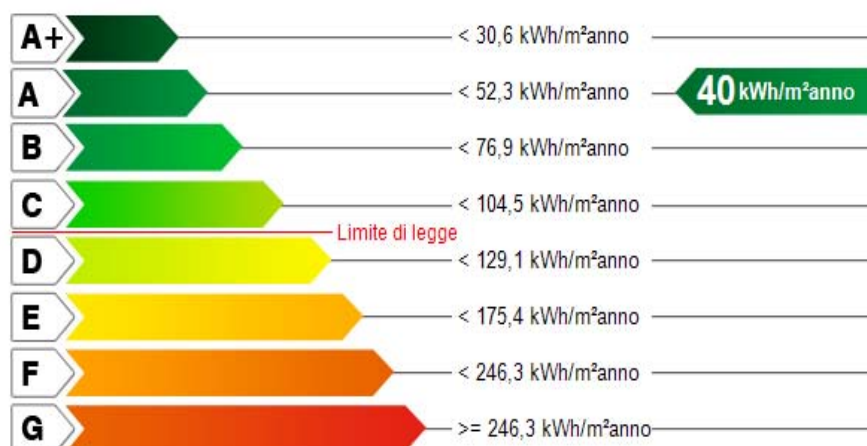
²⁰ Il valore limite per l'indice di prestazione in riscaldamento è pari a 86,51 kWh/m²anno.

²¹ Il rendimento globale limite è 79,3%.

²² Quota minima di rinnovabile pari a 50%.

²³ Il valore limite dell'indice di prestazione globale è pari a 86,51 kWh/m²anno.

²⁴ La quota rinnovabile minima globale è del 35%.



L'aumento è dovuto principalmente al maggiore fabbisogno termico richiesto in regime di riscaldamento dell'involucro a causa delle maggiori perdite che si verificano attraverso il solaio controterra rispetto al caso precedente in cui è isolato.

Nella Tabella 10 sono indicati i fabbisogni di energia termica in regime di riscaldamento, acqua calda sanitaria e raffrescamento (regime non considerato nello studio), seguiti dai valori dei fabbisogni di energia primaria per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria che forniscono, infine, il valore globale.

Tabella 10 Fabbisogni di energia termica e di energia primaria.

FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA

Riscaldamento involucro	$Q_{H,nd} =$	4568,6 kWh	Indice di prestazione	$EP_{i,inv} =$	33,24 kWh/m²anno
Acqua calda sanitaria	$Q_{h,w} =$	2062,5 kWh	Indice di prestazione	$EP_{w,ter} =$	15,01 kWh/m ² anno
Raffrescamento involucro	$Q_{C,nd} =$	4579,6 kWh	Indice di prestazione ²⁵	$EP_{e,inv} =$	33,32 kWh/m ² anno

RISCALDAMENTO: fabbisogno di energia primaria e rendimenti

Energia primaria riscaldamento	$Q_{p,H} =$	36,70,3 kWh	Indice di prestazione ²⁶	$EP_i =$	26,70 kWh/m²anno
Classe energetica riscaldamento		A	Rendimento globale stagionale ²⁷	$\eta_{G,H} =$	124,5%
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,H,ren} =$	296,357 kWh	Quota rinnovabile	$Q_{R,H} =$	7,5 %
Energia primaria totale	$Q_{p,H,tot} =$	3966,6 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{i,tot} =$	28,85 kWh/m ² anno

ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogno di energia primaria e rendimenti

Energia primaria ACS	$Q_{p,w} =$	1805,4 kWh	Indice di prestazione	$EP_{ACS} =$	13,13 kWh/m²anno
Classe energetica ACS		C	Rendimento globale stagionale	$\eta_{G,W} =$	114,2%
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,w,ren} =$	3418,4 kWh	Quota rinnovabile ²⁸	$Q_{R,ACS} =$	65,4 %
Energia primaria totale	$Q_{p,w,tot} =$	5223,8 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{ACS,tot} =$	38,01 kWh/m ² anno

FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti

Energia primaria globale	$Q_{p,HW} =$	5475,7 kWh	Indice di prestazione ²⁹	$EP_{gl} =$	39,84 kWh/m²anno
Classe energetica globale		A	Rendimento globale stagionale	$\eta_{G,HW} =$	121,1%
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,HW,ren} =$	3714,8 kWh	Quota rinnovabile ³⁰	$Q_{R,gl} =$	40,4 %
Energia primaria totale	$Q_{p,HW,tot} =$	9190,5 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{gl,tot} =$	66,85 kWh/m ² anno

²⁵ Il valore limite per l'indice di prestazione per il raffrescamento dell'involucro è pari a 30 kWh/m²anno.

²⁶ Il valore limite per l'indice di prestazione in riscaldamento è pari a 86,51 kWh/m²anno.

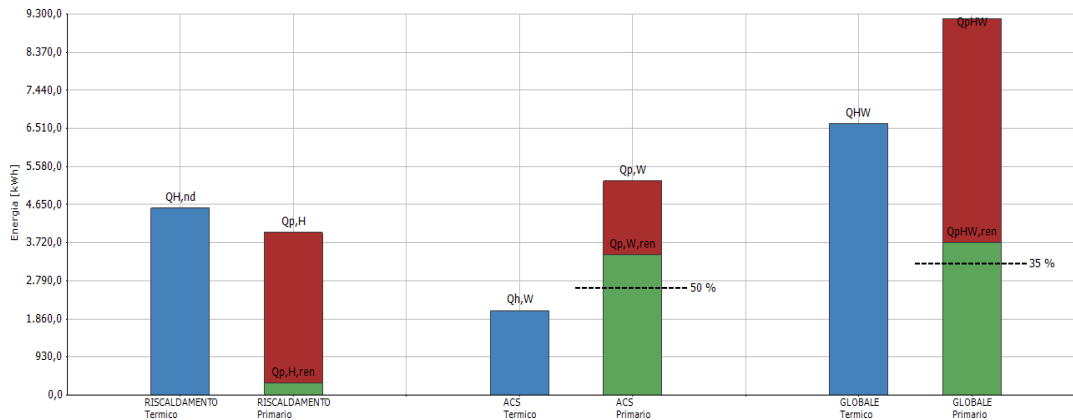
²⁷ Il rendimento globale limite è 79,3%.

²⁸ Quota minima di rinnovabile pari a 50%.

²⁹ Il valore limite dell'indice di prestazione globale è pari a 86,51 kWh/m²anno.

³⁰ La quota rinnovabile minima globale è del 35%.

FABBISOGNI TERMICI E FABBISOGNI PRIMARI



2.4.2 RIQUALIFICAZIONE TOTALE

La riqualificazione totale consiste nella modifica di tutte le componenti dell'edificio che sono causa di inefficienze energetiche.

Nel caso precedente, gli interventi sono stati di tipo conservativo in modo tale da non invadere lo spazio interno dell'edificio, evitando, nel CASO B, la momentanea inabitabilità dell'immobile. Ciò non è consentito durante gli interventi di riqualificazione totale in quanto, la modifica del sistema di emissione, comporta delle attività da svolgere nell'edificio incompatibili con la presenza degli inquilini.

Rispetto alla riqualificazione parziale descritta nel Paragrafo 2.4.1, gli interventi che rimangono invariati sono:

- 1) Interventi sulle strutture disperdenti opache e vetrate, come CASO B;
- 2) Installazione dell'impianto fotovoltaico;
- 3) Installazione del sistema di ventilazione meccanica controllata.

Le differenze tra le modifiche rispetto al caso precedente sono:

- 1) Sostituzione dei terminali di impianto;
- 2) Tipologia di sistema di generazione;
- 3) Installazione di un impianto solare termico per l'ACS.

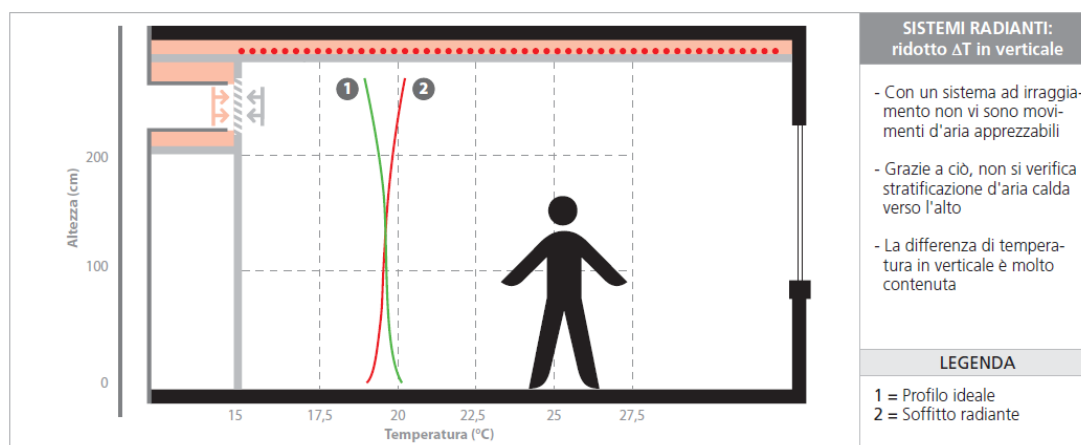
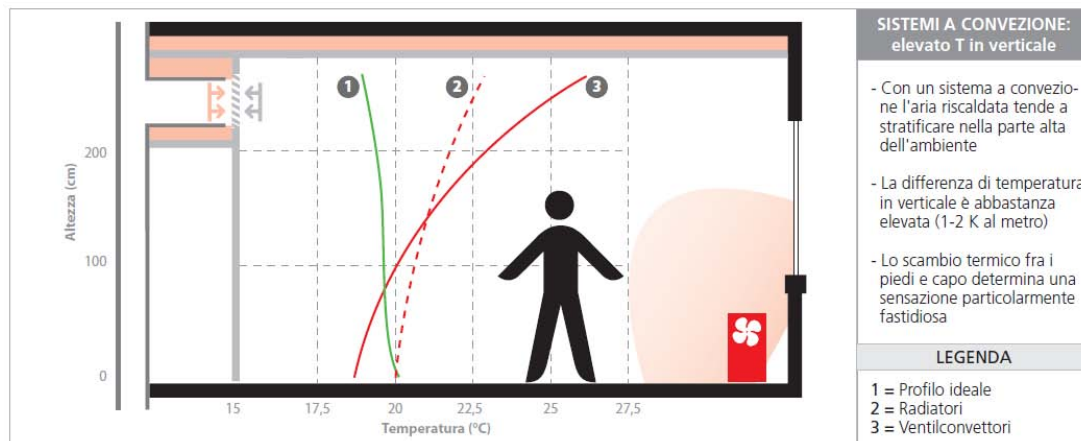
SOSTITUZIONE DEI TERMINALI DI IMPIANTO.

La scelta dei terminali di impianto che devono sostituire i radiatori in ghisa presenti è ricaduta sui pannelli radianti a soffitto per due motivi:

- 1) Per migliorare l'efficienza del sistema di generazione e dell'edificio, è preferibile adottare dei sistemi di emissione a bassa temperatura;
- 2) Nel caso di riqualificazioni, risulta più semplice l'applicazione di sistemi radianti a soffitto rispetto a quelli a pavimento.

L'utilizzo di un sistema di tipo radiante è in grado di assicurare elevate condizioni di comfort grazie ad un sistema di scambio termico più naturale per il corpo umano che elimina le spiacevoli correnti d'aria, la circolazione di polvere e il rumore tipici degli impianti ad aria tradizionali. I sistemi radianti mantengono un benessere omogeneo all'interno del locale minimizzando le differenze di temperatura

sia in senso verticale sia orizzontale. Andando ad agire inoltre sulla temperatura delle superfici, e quindi sulla temperatura operante dell'ambiente, è possibile ottenere la stessa sensazione di benessere mantenendo temperature dell'aria interna più vicine a quella dell'aria esterna rispetto a sistemi tradizionali: ciò permette di conseguire notevoli risparmi energetici.



Ulteriori risparmi si possono ottenere grazie alla possibilità di utilizzare sistemi di produzione dell'energia più efficienti in quanto questo tipo di sistema richiede temperature di mandata decisamente meno estreme rispetto a quelle di sistemi tradizionali di condizionamento.

Il sistema a soffitto radiante in raffrescamento deve essere sempre combinato con un impianto di deumidificazione; se questo è utilizzato anche come sistema di ventilazione meccanica per garantire i ricambi d'aria igienici, si ottiene un ambiente nel quale, oltre al comfort termoigrometrico, è garantita anche un'elevata qualità dell'aria interna.

I pannelli radianti a soffitto sono in genere costituiti da moduli metallici o in cartongesso di varia forma appesi al soffitto: si tratta di pannelli a vista al di sopra (o all'interno) dei quali è installato il tubo. In questo caso si è deciso di installare un controsoffitto di 10 cm consentendo l'utilizzo di pannelli radianti a soffitto modulari.

Quando i pannelli radianti sono usati per il raffrescamento, si parla in questo caso di soffitti freddi, il benessere termico ottimale si ha progettando il sistema in modo da mantenere la temperatura a livello dei piedi lievemente superiore rispetto a quella del livello testa.

I sistemi radianti a parete o a soffitto, per il fatto di essere meno invasivi rispetto ai pannelli radianti a pavimento, anche nei costi, hanno ottime possibilità applicative nell'ambito della riqualificazione energetica degli edifici esistenti. Inoltre la superficie radiante è quasi interamente sfruttabile perché non occupata da arredi o tappeti.

Il problema principale della distribuzione a soffitto è il rischio dell'effetto "testa calda" ovvero la sensazione di elevata temperatura sulla testa rispetto al resto del corpo. Una corretta progettazione del sistema edificio-impianto consente di limitare tale disagio e, contestualmente di poter fruire dei grandi vantaggi della distribuzione a soffitto, uno fra tutti la possibilità di climatizzazione estiva.

DIMENSIONAMENTI IMPIANTO RADIANTE A SOFFITTO.

La progettazione dell'impianto richiede innanzitutto la determinazione del fabbisogno termico dell'edificio nelle condizioni di progetto: questo parametro è già stato determinato nel Paragrafo 2.4.1 per il CASO B.

La potenza termica fornita dell'impianto radiante deve essere equivalente alle dispersioni termiche di progetto per ciascun ambiente.

Data l'integrazione dei pannelli radianti nella struttura dell'edificio, è sempre consigliabile provvedere ad un isolamento supplementare al fine di ridurre al minimo le dispersioni di questi terminali verso l'esterno ed aumentare il loro rendimento di emissione. A tale proposito, oltre all'isolamento proposto dal modulo del pannello radiante a soffitto, si è aggiunto uno strato di lana di roccia tra controsoffitto e solaio in laterizio che funge anche da passaggio dei canali del sistema di ventilazione.

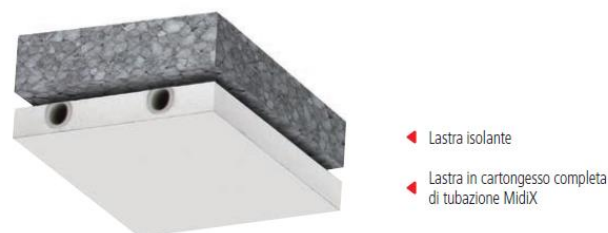
Il carico termico deve essere soddisfatto da un'ideale superficie radiante, determinata in funzione delle condizioni di funzionamento e della resa del sistema di generazione prescelto.

Il primo parametro da fissare è la differenza di temperatura tra mandata e ritorno ΔT , variabile con il regime di funzionamento:

- $\Delta T = 10$ K, massimo valore in regime invernale;
- $\Delta T = 5$ K, massimo valore in regime estivo.

La scelta delle temperature di lavoro dell'impianto deve tener conto delle massime temperature superficiali raggiungibili: 40°C per il sistema a parete, e 29°C per il sistema a soffitto; in regime di raffrescamento, per entrambi i sistemi, la minima temperatura raggiungibile dipende dal punto di condensa oltre che dalle condizioni di benessere.

Il sistema di emissione scelto è il modello Leonardo della Eurotherm Srl. Questo sistema è composto da pannelli in cartongesso modulari con tubazione MidiX già inserita e disposta a serpentina in modo da massimizzare la superficie di scambio tra tubazione e cartongesso. Il pannello in cartongesso è fornito accoppiato ad una lastra isolante in polistirene espanso.



Il diametro e lo spessore del tubo utilizzato (MidiX 10x1,3 mm), l'integrazione del tubo stesso nel cartongesso (aumento della resa dell'8% rispetto al tubo inserito nell'isolante) e la sua particolare geometria a serpentina, permettono di avere un sistema a soffitto dall'alta resa che conferisce all'impianto una bassissima inerzia termica.

I modelli proposti sono due:

- 1) Cartongesso + polistirene espanso sinterizzato con grafite;
- 2) Cartongesso + polistirene espanso.

Quello applicato come sostituzione ai radiatori è il secondo, il quale possiede le caratteristiche riportate nella scheda tecnica in Appendice A³¹.

L'entità della superficie radiante necessaria per ogni locale dell'edificio, in regime invernale, è stata determinata con i seguenti dati:

- 1) Temperatura dell'aria ambiente = 20°C;
- 2) Temperatura di mandata all'impianto = 35°C;
- 3) Temperatura di ritorno all'impianto = 30°C;
- 4) Temperatura superficiale desiderata = 29°C;
- 5) Coeff. di scambio termico per il soffitto = 6,5 W/m²K;
- 6) Superficie del soffitto disponibile per ciascun locale;
- 7) Fabbisogno termico richiesto da ciascun locale.

La curva della resa termica del pannello radiante viene fornita dal costruttore in base alla differenza di temperatura tra la temperatura superficiale del pannello e la temperatura dell'aria interna.

Considerando una temperatura superficiale massima di 29°C, secondo la norma UNI EN 1264³², la resa del pannello scelto è pari a:

$$q = \alpha \cdot (\vartheta_{sup} - \vartheta_i) = 6,5 \cdot (29 - 20) = 58,5 \frac{W}{m^2}$$

A questo punto è stato possibile calcolare la superficie necessaria per fornire la potenza termica richiesta da ciascun locale dell'edificio dividendo il fabbisogno per la resa termica del pannello radiante.

LOCALE EDIFICIO	SUPERFICIE DISPONIBILE [m ²]	FABBISOGNO RICHIESTO [W]	SUPERFICIE DEL PANNELLO [m ²]
CUCINA	19,74	1155	19,74
STANZA 1	6,64	388,8	6,64
STANZA 2	6,64	388,8	6,64
BAGNO 1	1,91	111,9	1,91
STANZA 3	15,32	896	15,32
STANZA 4	15,32	896	15,32
BAGNO 2	2,60	152,25	2,60
INGRESSO	4,73	276,5	4,73

Dato che il produttore fornisce moduli di dimensioni fissate, la superficie di progetto sarà di dimensioni maggiori. Le aree occupate dai moduli sono pari a 2,4 m² e 1,2 m².

LOCALE EDIFICIO	SUPERFICIE DEL PANNELLO DI PROGETTO [m ²]
CUCINA	21,6
STANZA 1	7,2
STANZA 2	7,2
BAGNO 1	2,4
STANZA 3	15,6
STANZA 4	15,6
BAGNO 2	3,6
INGRESSO	4,8

³¹ Scheda Tecnica 10. Sistema a soffitto Leonardo.

³² Vedi Appendice B. Tabella delle normative di riferimento.

SCelta DEL SISTEMA DI GENERAZIONE.

Considerando la presenza di un sistema di emissione a bassa temperatura e l'installazione di un impianto fotovoltaico di potenza pari a 6 kWp, il sistema di generazione più adeguato è la pompa di calore ad assorbimento elettrico che funziona sia per la produzione di acqua calda sanitaria sia per il riscaldamento. Tale scelta comporta l'utilizzo dell'energia elettrica come unico vettore energetico, lasciando al gas naturale la sola funzione di alimentazione dei fornelli per la cottura dei cibi.

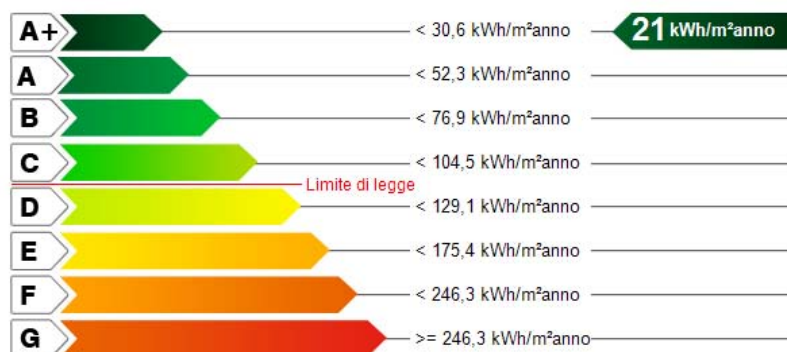
Il modello scelto è la pompa di calore aria/acqua split VITOCAL 200-S, modello AWB 201.B07 della Viessmann Srl accoppiata ad un bollitore da 300 litri della gamma VITOCCELL 100, tipo CVA, utilizzato da accumulo per l'acqua calda sanitaria ad una temperatura di 55°C.

Per la copertura del 50% del fabbisogno di acqua sanitaria con produzione da fonte rinnovabile richiesta dalla Direttiva 2009/28/CE, è necessario installare anche un impianto solare termico composto da due collettori solari piani installati sulla falda EST del tetto, non occupata dai pannelli fotovoltaici, che producono calore per la produzione di acqua calda sanitaria attraverso uno scambiatore a serpentino allocato nel bollitore.

Essendo il sistema di generazione utilizzato composto dagli stessi dispositivi installati nell'edificio prefabbricato in legno, che verrà descritto nel Capitolo 3, si rimanda al Paragrafo 3.5.3 per tutte le informazioni tecniche del sistema.

RISULTATI DELLA RIQUALIFICAZIONE TOTALE.

Grazie a tutti gli interventi di riqualificazione, l'edificio che era in classe energetica G, ora può raggiungere la **classe energetica A+**, con un indice di prestazione globale pari a 21,15 kWh/m²anno.



Il parametro sopra indicato viene determinato dal software di certificazione dalla somma degli indici di prestazione legati ai fabbisogni di energia per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria. Nella Tabella 11 vengono distinti i componenti sopra citati.

Tabella 11 Fabbisogni di energia termica e di energia primaria.

FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA					
Riscaldamento involucro	$Q_{H,nd} =$	4568,6 kWh	Indice di prestazione	$EP_{i,inv} =$	33,24 kWh/m ² anno
Acqua calda sanitaria	$Q_{h,w} =$	2062,5 kWh	Indice di prestazione	$EP_{w,ter} =$	15,01 kWh/m ² anno
Raffrescamento involucro	$Q_{C,nd} =$	4579,6 kWh	Indice di prestazione ³³	$EP_{e,inv} =$	33,32 kWh/m ² anno
RISCALDAMENTO: fabbisogno di energia primaria e rendimenti					
Energia primaria riscaldamento	$Q_{p,H} =$	2079,0 kWh	Indice di prestazione ³⁴	$EP_i =$	15,13 kWh/m ² anno
Classe energetica riscaldamento		A+	Rendimento globale stagionale ³⁵	$\eta_{G,H} =$	2,198

³³ Il valore limite per l'indice di prestazione per il raffrescamento dell'involucro è pari a 30 kWh/m²anno.

³⁴ Il valore limite per l'indice di prestazione in riscaldamento è pari a 86,51 kWh/m²anno.

³⁵ Il rendimento globale limite è 77,8%.

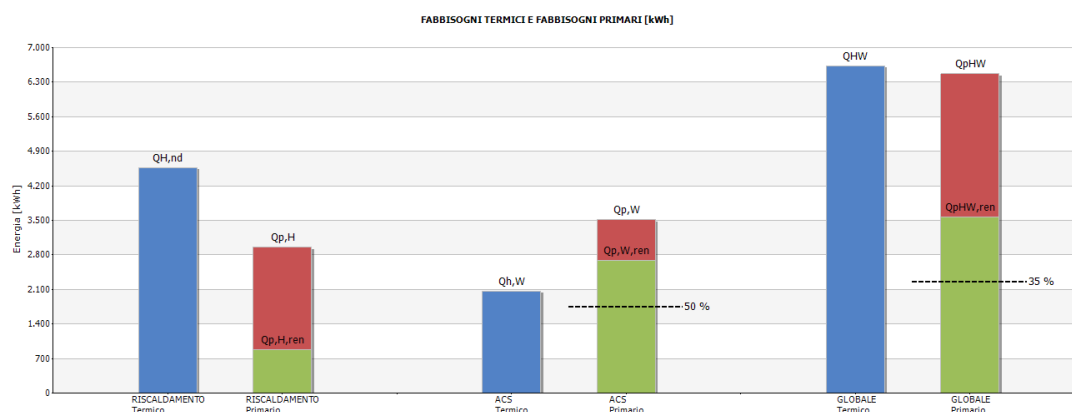
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,H,ren} =$	878,567 kWh	Quota rinnovabile	$Q_{R,H} =$	29,7 %
Energia primaria totale	$Q_{p,H,tot} =$	2957,5 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{i,tot} =$	21,52 kWh/m ² anno

ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogno di energia primaria e rendimenti

Energia primaria ACS	$Q_{p,W} =$	827,5 kWh	Indice di prestazione	$EP_{ACS} =$	6,02 kWh/m ² anno
Classe energetica ACS		A	Rendimento globale stagionale	$\eta_{G,W} =$	2,492
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,W,ren} =$	2688,2 kWh	Quota rinnovabile ³⁶	$Q_{R,ACS} =$	76,5 %
Energia primaria totale	$Q_{p,W,tot} =$	3515,7 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{ACS,tot} =$	25,58 kWh/m ² anno

FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti

Energia primaria globale	$Q_{p,HW} =$	2906,5 kWh	Indice di prestazione ³⁷	$EP_{gl} =$	21,15 kWh/m ² anno
Classe energetica globale		A+	Rendimento globale stagionale	$\eta_{G,HW} =$	2,282
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,HW,ren} =$	3566,7 kWh	Quota rinnovabile ³⁸	$Q_{R,gl} =$	55,1 %
Energia primaria totale	$Q_{p,HW,tot} =$	6473,2 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{gl,tot} =$	47,10 kWh/m ² anno



2.5 PIANIFICAZIONE TEMPORALE DEI LAVORI ATTRAVERSO IL DIAGRAMMA DI GANTT

Uno dei punti fondamentali di confronto tra l'edificio riqualificato e il nuovo edificio prefabbricato in legno è il tempo di realizzazione dei lavori. Per questo motivo si è deciso di evidenziare, tramite il Diagramma di Gantt, le attività necessarie per il raggiungimento dell'obiettivo finale con le relative tempistiche.

Il Diagramma di Gantt, usato principalmente nelle attività di project management, viene costruito partendo da un asse orizzontale a rappresentazione dell'arco temporale totale del progetto, suddiviso in fasi incrementali (ad esempio, giorni, settimane, mesi) e da un asse verticale a rappresentazione delle mansioni o attività che costituiscono il progetto.

Barre orizzontali di lunghezza variabile rappresentano le sequenze, la durata e l'arco temporale di ogni singola attività del progetto (l'insieme di tutte le attività del progetto ne costituisce la Work Breakdown Structure). Queste barre possono sovrapporsi durante il medesimo arco temporale ad indicare la possibilità dello svolgimento in parallelo di alcune delle attività. Man mano che il progetto progredisce, delle barre secondarie, delle frecce o delle barre colorate possono essere aggiunte al diagramma, per indicare le attività sottostanti completate o una porzione completata di queste. Una linea verticale è utilizzata per indicare la data di riferimento.

³⁶ Quota minima di rinnovabile pari a 50%.

³⁷ Il valore limite dell'indice di prestazione globale è pari a 86,51 kWh/m²anno.

³⁸ La quota rinnovabile minima globale è del 35%.

Il Diagramma di Gantt permette dunque la rappresentazione grafica di un calendario di attività, utile al fine di pianificare, coordinare e tracciare specifiche attività in un progetto dando una chiara illustrazione dello stato d'avanzamento del progetto rappresentato; di contro, uno degli aspetti non tenuti in considerazione in questo tipo di diagrammazione è l'interdipendenza delle attività.

In questa analisi è stato redatto il diagramma sia per i due casi di riqualificazione parziale sia per la riqualificazione totale.

In Allegato A sono riportati entrambi i casi in esame nella riqualificazione parziale: il CASO A) include la coibentazione del pavimento del piano terra, mentre il CASO B) prevede di mantenere inalterata la struttura solaio; e il diagramma nel caso di una riqualificazione totale.

2.5.1 RIQUALIFICAZIONE PARZIALE

CASO A: COIBENTAZIONE DI TUTTE LE STRUTTURE OPACHE.

Nella figura in allegato è rappresentata la lista delle attività da svolgere in ordine cronologico per portare a termine tutti gli interventi che si è deciso di effettuare sulla struttura, compreso il solaio controterra, e sulla parte impiantistica per raggiungere l'obiettivo finale di un edificio che risponda ai requisiti minimi imposti dalla Direttiva.

Il tempo di realizzazione degli interventi prefissati ammonta a **60 giorni lavorativi**, circa 3 mesi. Bisogna tener conto che il Diagramma di Gantt redatto in questo studio non considera gli imprevisti che si possono verificare nel corso dei lavori: in genere, durante l'esecuzione di un progetto, il diagramma può subire delle modifiche a seconda degli avvenimenti che possono accadere, venendo in questo modo aggiornato per poter definire con precisione la data di fine dei lavori. È da considerare, pertanto, che la durata ipotizzata nell'analisi sarà sicuramente disattesa con conseguente prolungamento delle tempistiche di circa il 15%.

Sempre nell'ambito dell'organizzazione dei lavori, è stato necessario definire anche il numero di operai per ciascuna attività e la loro qualifica: questo dato è fondamentale in un secondo tempo per il calcolo del computo metrico estimativo. In Tabella 12 sono riportati i dati riguardanti la manodopera per ciascuna attività.

Tabella 12 Manodopera in cantiere per l'intervento di riqualificazione.

ATTIVITA'	NUMERO OPERAI SPECIALIZZATI	NUMERO OPERAI COMUNI	NUMERO TOTALE DI PERSONALE
Delimitazione cantiere	1	4	5
Ponteggi	2	1	3
Montaggio davanzali	2	1	3
Cappotto + barriera al vapore	3	2	5
Rasatura	2	1	3
Infissi	2	1	3
Cartongesso	3	2	5
Impianti idraulici	2	2	4
Demolizione pavimenti	1	2	3
Isolante + massetto	2	1	3
Intonaco e finiture	2	1	3
Smontaggio ponteggi	2	2	4
Pavimenti	2	1	3
Chiusura cantiere	1	3	4

CASO B : RIQUALIFICAZIONE SENZA INTERVENTI SUL SOLAIO CONTROTERRA.

Se non si considera l'intervento di riqualificazione del solaio controterra, che comporta la demolizione del pavimento, la stesura del massetto e l'attesa dell'asciugatura, i tempi dei lavori si riducono da 60 giorni a **44 giorni lavorativi**, risparmiando circa 3 settimane.

È da considerare, in ambito di un'analisi di costi/benefici, cosa può comportare intervenire o no sul solaio controterra oltre che dal punto di vista energetico, analizzando se applicare l'isolante porta ad una riduzione evidente delle dispersioni termiche, sia dal punto di vista economico, tenendo in considerazione anche del discomfort provocato agli inquilini perché si vanno ad effettuare lavori all'interno dell'edificio incompatibili con la presenza degli occupanti nell'edificio.

2.5.2 RIQUALIFICAZIONE TOTALE

Per quanto riguarda la riqualificazione totale, le attività da svolgere risultano più complesse. Rispetto alla situazione precedente, bisogna svolgere anche le seguenti attività:

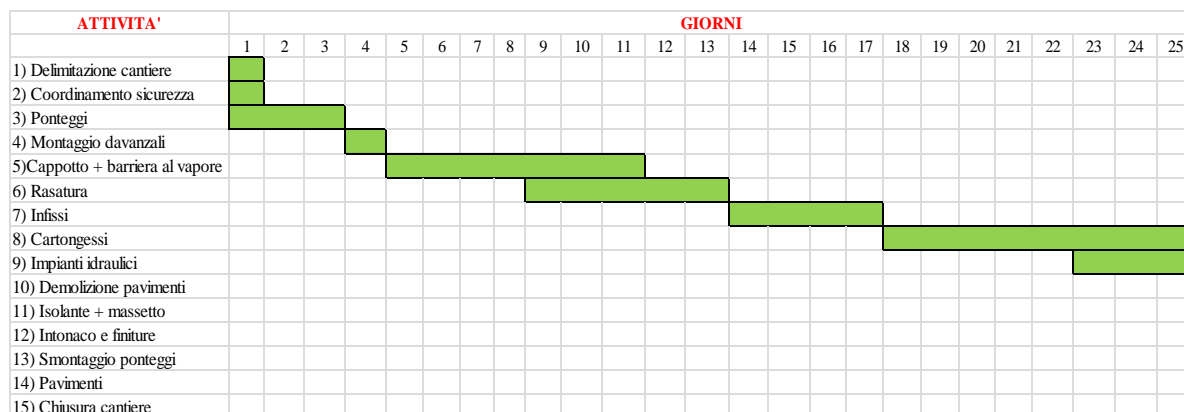
- 1) Rimozione dei vecchi radiatori;
- 2) Chiusura delle nicchie con mattoni per non lasciare la zona vuota sotto i serramenti;
- 3) Installazione dei pannelli radianti a soffitto;
- 4) Rasatura delle nicchie e del soffitto;
- 5) Modifica dell'impianto di illuminazione;
- 6) Modifica del sistema di distribuzione;
- 7) Installazione di termostati in ciascuna camera.

Questo comporta un aumento dei tempi di lavorazione da 44 giorni lavorativi del CASO B della riqualificazione parziale, ai **53 giorni lavorativi** ai quali bisogna in ogni caso applicare un aumento del 20% a causa dei possibili e frequenti imprevisti che si possono verificare quando si fanno ristrutturazioni di questa portata.

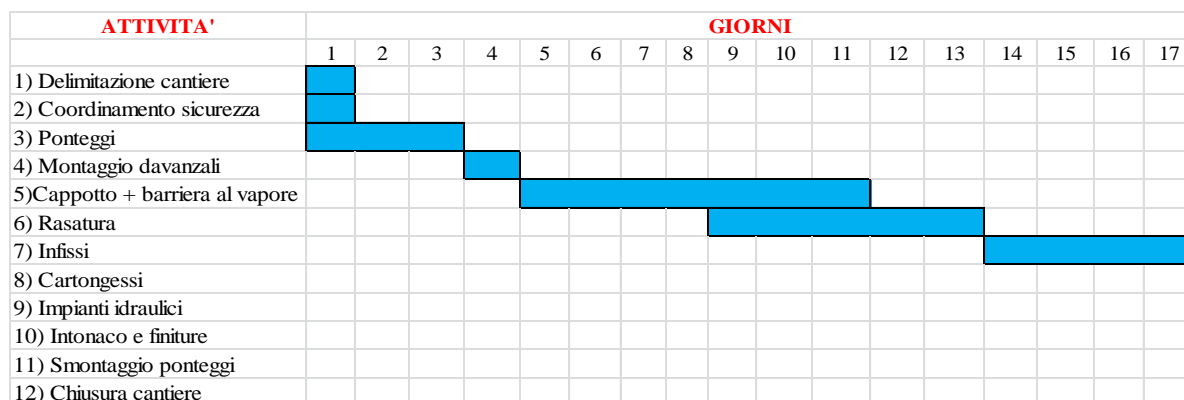
Si veda il diagramma di Gantt per la riqualificazione totale nell'Allegato A.

ALLEGATO A: DIAGRAMMI DI GANTT PER LA RIQUALIFICAZIONE.

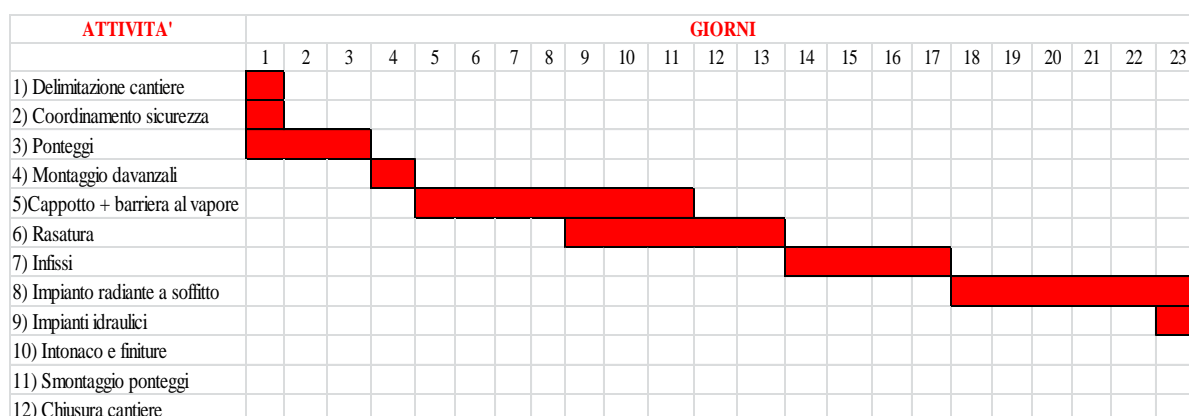
CASO A: COIBENTAZIONE DI TUTTE LE STRUTTURE OPACHE.

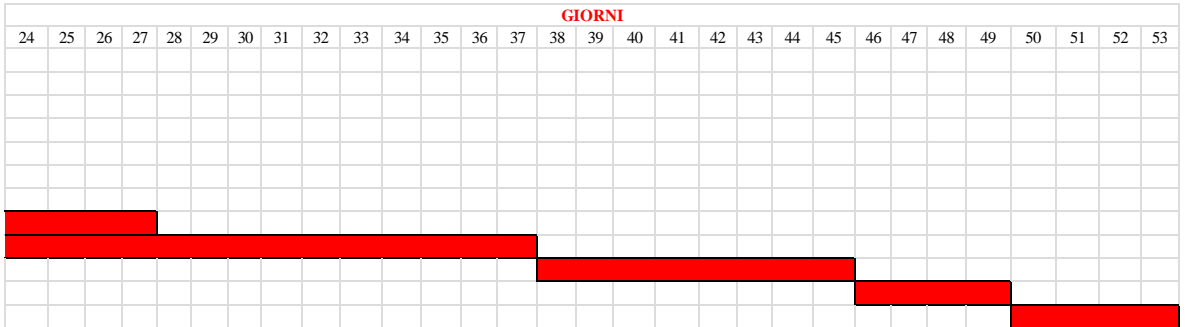
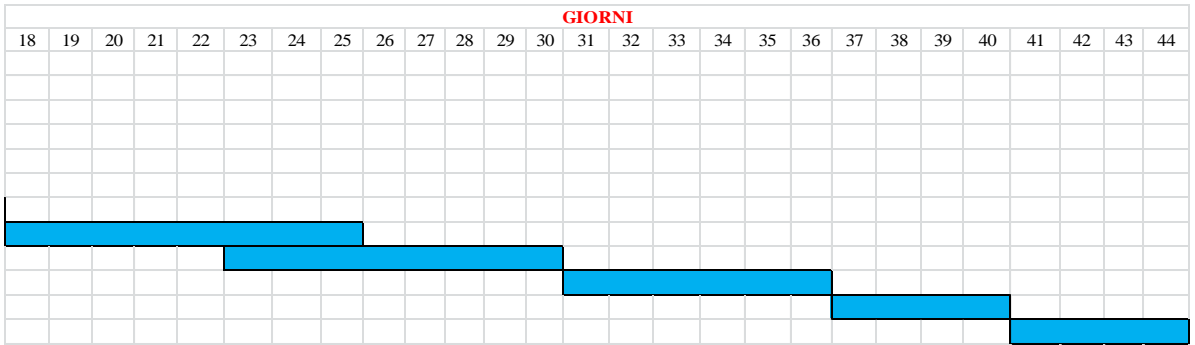
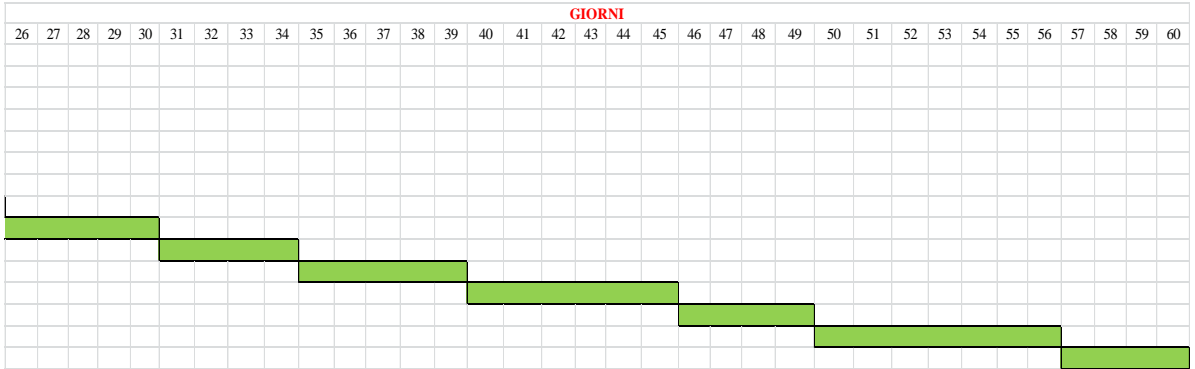


CASO B: RIQUALIFICAZIONE SENZA INTERVENTI AL SOLAIO CONTROTERRA.



CASO C: RIQUALIFICAZIONE TOTALE.





2.6 VALUTAZIONE ECONOMICA CON IL COMPUTO METRICO ESTIMATIVO

Per poter valutare dal punto di vista economico gli interventi svolti sull'edificio, si è fatto uso, per quanto riguarda i lavori legati all'edilizia, del prezziario 2012 della Regione Veneto, mentre per gli impianti termico, di ventilazione e fotovoltaico sono stati richiesti i preventivi ai produttori o ai rivenditori.

Il computo metrico è stato svolto per entrambi i casi studiati nella riqualificazione parziale con risultati da analizzare successivamente per poter valutare la convenienza o meno dell'intervento alla struttura del pavimento con l'applicazione dell'isolante, e per la riqualificazione totale.

2.6.1 RIQUALIFICAZIONE PARZIALE

CASO A: COIBENTAZIONE DI TUTTE LE STRUTTURE OPACHE.

Descrizione	Unità di misura	Quantità	Prezzo	Importo [€]
MATERIALI LAPIDEI				
Lastre rettangolari per uno spessore di 2 cm con dimensioni fino a 1,20x0,60 m o superiori se consentite normalmente dal materiale e con lunghezza non inferiore a 25 cm, con una faccia vista a levigatura media e l'altra grezza di sega, coste fresate a giunto. Le pietre ed i marmi si intendono di ottima qualità, lavori a regola d'arte con irregolarità insite nel materiale, che richiedano sporadici e limitati interventi di stuccatura, graffatura, masticatura ed altri sistemi di consolidamento e rinforzo.				
DAVANZALI IN GRANITO	mq	6,80	108,07	734,88
DEMOLIZIONI – RIMOZIONI				
Demolizioni di manti di copertura compresi pure i sottostanti listelli in legno, i convertitori di compluvio, i canali di gronda e le converse ai camini. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per le necessarie opere provvisorie e di sicurezza, l'abbassamento, lo sgombero del sottotetto, la raccolta differenziata del materiale di risulta, il conferimento con trasporto in discarica autorizzata del materiale di risulta, l'indennità di discarica e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte. La misurazione verrà effettuata sulle falde della copertura.				
RIMOZIONE TEGOLE	mq	128	6,64	849,92
Demolizione parziale o totale di battiscopa perimetrali e pavimenti di qualsiasi tipo, compreso il relativo massetto di sottofondo, per uno spessore complessivo di 100 mm. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per le necessarie opere provvisorie e di sicurezza, l'abbassamento, lo sgombero, la raccolta differenziata del materiale di risulta, il conferimento con trasporto in discarica autorizzata del materiale di risulta, l'indennità di discarica e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.				
DEMOLIZIONE PAVIMENTO	mq	73,30	20,29	1.487,26
VESPAI – MASSETTI				
Fornitura e posa in opera di massetto comune dello spessore di 6 cm per sottofondo di pavimenti, eseguito in malta cementizia dosata a 250 kg di cemento R3.25 per metrocubo di sabbia a granulometria idonea. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per la pulizia e preparazione del fondo, la tiratura a livello, la frettazzatura fine della superficie idonea a ricevere la posa di pavimentazioni da incollarsi e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.				
	mq	73,30	13,94	1.021,80
MASSETTO				
PAVIMENTI FREDDI				
Fornitura e posa in opera, secondo le geometrie correnti nel tipo a scelta della D.L., di pavimento eseguito in piastrelle ceramiche monocottura di prima scelta, estruse, smaltate,				

<p>comunemente denominate klinker, conformi alle norme UNI EN e con grado di resistenza all'abrasione secondo il metodo PEI gruppo IV, di forma quadrata o rettangolare, nel colore ed aspetto a scelta della D.L., posate a giunto aperto di circa 8 mm mediante doppia spalmatura con spatola dentata di collante a base cementizia additivato con lattice resinoso. Il pavimento inoltre dovrà essere in possesso di un coefficiente di attrito conforme a quanto previsto dal DPR 24 luglio 1996, n.503 recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per la pulizia del fondo di appoggio con formazione di giunti elastici di frazionamento in PVC superiori a 20 m2, gli eventuali profili in ottone forato per separazione di pavimenti diversi, la sigillatura degli interstizi eseguita con malta premiscelata per fughe nel colore a scelta della D.L., la successiva pulitura superficiale con idonei detergenti, la risciacquatura assorbendo l'acqua in eccesso con idonei sistemi, il taglio, lo sfrido, la pulizia e l'asporto del materiale di risulta a fine lavoro, la raccolta differenziata del materiale di risulta, il conferimento con trasporto in discarica autorizzata del materiale di risulta, l'indennità di discarica e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.</p>	mq	73,30	46,17	3.384,26
POSA DEL PAVIMENTO DEL PIANO TERRA				
IMPERMEABILIZZAZIONI – ISOLAMENTI				
<p>Barriera la vapore costituita da uno strato di guaina armata con poliestere con giunti sovrapposti di cm 10 di spessore 4 mm, compreso mano di primer.</p>	mq	271,36	14,76	4.005,27
BARRIERA AL VAPORE				
<p>Impermeabilizzazione con uno strato di guaina armata con T.N.T. con giunti sovrapposti di cm 10 di spessore di 4 mm, compreso mano di primer.</p>	mq	128	14,65	1.875,20
GUAINA				
<p>Fornitura e posa in opera di lastra di polistirolo espanso di spessore di cm 6. Lastra di polistirolo di densità 20 kg/mc.</p>	mq	230,4	8,95	1979
CAPPOTTO TETTO				
<p>CAPPOTTO PARETE</p>	mq	542,72	8,59	4.661,96
6.641,10				
<p>Lastra di polistirene estruso autoestinguente a celle chiuse con superfici lisce per formazione di strati coibenti e antiscivolo, in opera su superfici orizzontali sotto il massetto per pendenze costituito da impasto realizzato a q 2.5 di cemento tipo 325 e mc 1 di prodotti autoespansi. Lastra di polistirene di densità kg/mc 30÷35 e di spessore cm 2.</p>	mq	73,3	4,96	363,57
<p>Sovraprezzo alle lastre di polistirene estruso di densità kg/mc 30÷35 per ogni cm di spessore in più.</p>	mq	109,95	2,45	269,38
632,95				
ISOLAMENTO PAVIMENTO				
ISOLAMENTI ACUSTICI				
<p>Fornitura e posa in opera di isolamento acustico su solai formata da pannelli in lana di vetro densità 85 kg/mc rivestiti con carta kraft bitumata. La posa dovrà avvenire a giunti sfalsati e ben accostati. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per la posa in opera di fasce di risvolto lungo le pareti di altezza adeguata i modo da ottenere un pavimento perfettamente galleggiante, il taglio, lo sfrido e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.</p>	mq	407,85	5,55	2.263,57
ISOLAMENTO CONTROSOFFITTO				
INTONACI				
<p>Fornitura e posa in opera di rasatura, sia per interni che per esterni, eseguita a mano a qualunque altezza su pareti verticali, orizzontali o inclinate, sia piane che curve, risultanti lisce da cassero, costituito da premiscelato in polvere a base di cemento ed additivi chimici. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per la formazione degli spigoli sia vivi che smussati, le lesene, i marcapiani, i riquadri</p>				

per vani de porte e finestre, la formazione ed il disfacimento dei piani di lavoro interni, i sollevamenti, il rispetto di eventuali incassature ed attacchi per impianti tecnici, la pulizia e l'asporto del materiale di risulta a fine lavoro, la raccolta differenziata del materiale di risulta, il conferimento con trasporto in discarica autorizzata del materiale di risulta, l'indennità di discarica e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.	mq	271,36	5,34	1.449,06
--	----	--------	------	-----------------

RASATURA DEL CAPPOTTO

	mq	271,36	5,34	1.449,06
--	----	--------	------	-----------------

OPERE DI CARTONGESSO

Fornitura e posa in opera di controsoffitto orizzontale realizzato mediante assemblaggio di singole lastre di gesso rivestito a bordi assottigliati, fissate con viti autopercoranti alla struttura portante, costituita da profili a C incrociati con maglia di dimensioni idonee, pendinature rigide regolabili in altezza, clips di fissaggio e cornici perimetrali. Tutti i profili metallici dovranno essere in acciaio zincato. Il controsoffitto dovrà soddisfare le seguenti caratteristiche tecniche debitamente documentate dall'Appaltatore ed accettate dalla D.L.: spessore della lastra pari a 12,5 mm e classe 1 di reazione al fuoco. È compresa la stuccatura della testa delle viti di fissaggio nonché la stuccatura e la sigillatura dei giunti di accostamento delle lastre eseguita con idoneo stucco previa applicazione di strisce di supporto armate con rete tessile. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri di taglio, lo sfrido anche dovuto ad irregolarità dei vani, la formazione ed il disfacimento dei piani di lavoro interni e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.

	mq	81,57	31,83	2.596,37
--	----	-------	-------	-----------------

CONTROSOFFITTO

TETTI: ORDITURE PORTANTI E

SECONDARIE

Fornitura e posa in opera di tavolato di copertura in legno di abete eseguito con tavole di IV scelta della spessore di 20 mm, accostate e chiodate con tre chiodi alla struttura inferiore in corrispondenza di ogni cantiere. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per il taglio, lo sfrido, la chioderia, il puntuale e scrupoloso rispetto delle normative vigenti in materia antinfortunistica nei cantieri edili e quanto altro per dare il lavoro finito a regola d'arte.

	mq	128	10,02	1.282,56
--	----	-----	-------	-----------------

TAVOLATO PER TETTO

MANTI DI COPERTURA

Fornitura e posa in opera di manto di copertura in tegole curve in laterizio tipo coppo comune, posate con sovrapposizione minima di 10 cm. I coppi dovranno essere resistenti alla rottura, antigelive e conformi alle norme UNI 8626-8635. La posa sarà eseguita a filari regolari, continui, allineati e paralleli secondo il sistema tradizionale si listelli di legno di abete, secondo la linea di massima pendenza della falda, della sezione minima di 5x3 cm e distanziati di un interasse massimo di 15 cm. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per i listelli verticali, i necessari tagli in corrispondenza dei compluvi e del displuvi, i prezzi speciali di completamento quali tegoli di colmo e di displuvio posati a secco e legati con filo di ferro zincato ai listelli sottostanti, i raccordi, i terminali, le cuffie di aerazione poste come indicato dalla D.L., lo sfrido, il puntuale e scrupoloso rispetto delle normative vigenti in materia antinfortunistica nei cantieri edili e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.

	mq	128	34,58	4.426,24
--	----	-----	-------	-----------------

INSTALLAZIONE TEGOLE

SERRAMENTI IN LEGNO

Fornitura e posa in opera di portoncini esterni in legno di Douglas, tipo standard e fuori standard, con intelaiatura perimetrale in legno di abete, battente con spalla, internamente rifinito come le porte ed esternamente rivestito con doghe verticali interrotte da un fascione intermedio orizzontale, immaschiettati, dello spessore finito di mm 20, telaio fino a 70 mm, coprifilo esterni fino a mm 11x30 ed internamente mostre come quelle applicate alle porte, forniti e posti in opera. Sono comprese: tre cerniere anuba di acciaio bronzato da 16 mm; la serratura tipo Yale con 3 chiavi; la

mezza maniglia interna; il pomolo esterno; la verniciatura trasparente al naturale, previa mano di preparazione con prodotti impregnanti contro muffe e funghi della parte esterna; la verniciatura al poliuretano trasparente della parte interna. È inoltre compreso quanto occorre per dare l'opera finita. È esclusa la fornitura e posa in opera del controtelaio.	mq	5,38	570	3.323,10
PORTA DI INGRESSO.	mq	6,00	570	3.420,00
PORTONE DEL GARAGE.				6.743,10
Fornitura e posa in opera di infissi esterni per finestre e porte finestre apribili ad una o più ante, con o senza parti fisse, dello spessore lavorato di mm 55÷57, a 1 battente e 2 battenti completi di guarnizione in gomma predisposti per vetro camera, forniti e posti in opera. Sono compresi: il controtelaio da murare; la necessaria ferramenta di attacco e sostegno cerniere tipo anuba in acciaio bronzato (2 per battente e 3 per porta finestre); la chiusura con cremonese; le maniglie; i ganci e le catenelle in ottone o alluminio anodizzato; fermavetri interni o esterni; la verniciatura ecologica all'acqua eseguita in laboratorio tinto in legno, a due mani, previa mani di preparazione con prodotto impregnante contro muffe e funghi. È inoltre compreso quanto altro occorre per dare l'opera finita.	mq	18,46	227	4.190,42
FINESTRE.				
OPERE DA PITTORE E VERNICIATORE				
Fornitura e posa in opera di idropittura murale lavabile per interno/esterno. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per gli eventuali ponteggi fino ad una altezza massima di 4 m da piano di appoggio, gli oneri per la protezione di arredi impianti fissi o la protezione di pavimenti, la pulitura delle superfici da trattare mediante uso di stracci o scopi netti al fine di togliere i residui asportabili facilmente. È da ritenersi inoltre compreso e compensato l'onere per la stuccatura saltuaria e parziale di superfici, onde eliminare eventuali piccole scalfitture, compresa la carteggiatura delle parti stuccate.	mq	426,23	7,92	3.375,74
PITTURA INTERNA.	mq	271,36	8,26	2.241,43
PITTURA ESTERNA.				5.617,17
ASSISTENZE MURARIE				
Posa in opera di davanzale spessore fino a 6 cm.	m	17,00	26,21	445,57
MONTAGGIO DAVANZALE.				
ORGANIZZAZIONE CANTIERE				
Recinzione provvisoria di aree di cantiere con rete in polietilene ad alta densità di peso non inferiore a 220 gr/mq indeformabile di color arancio brillante a maglie ovoidali, resistenza a trazione non inferiore a 1100 kg/m sostenuta da appositi paletti zincati infissi nel terreno ad una distanza non superiore a m 1,5.	mq	124,76	17,30	2.158,35
DELIMITAZIONE CANTIERE.				
Ponteggio o incastellatura realizzato con elementi a telaio sovrapponibili, valutato per metro quadro di superficie asservita.	mq	271,36	9,60	2.605,06
PONTEGGIO PER PRIMO MESE.	mq/mese	542,72	0,35	189,95
PONTEGGIO PER I MESI SUCCESSIVI.				2.795,01
IMPIANTO FOTOVOLTAICO				
Impianto fotovoltaico ad 5,98 kWp con le seguenti caratteristiche:				
- N.18 moduli Sunpower modello E20-327Wp white (compreso contributo per smaltimento moduli a fine vita);				
- N.1inverter SMA Sunny Boy SB6000TL-21;				
- Test report su inverter;				
- Strutture sostegno per installazione su lamiera grecata (integrato sul tetto) con morsetteria anodizzata near;				
- Installazione impianto FV compreso posa in opera strutture, moduli, inverter, realizzazione connessioni elettriche e opere elettriche necessarie a rendere				

l'impianto perfettamente funzionante ed allacciato alla rete, inclusa fornitura di tutto il materiale elettrico necessario, tiro in quota dei materiali, trasporto e movimentazione in cantiere;				
- Sopralluogo esecutivo in cantiere;				
- Progetto elettrico impianto FV;				
- Pratica ENEL per allaccio alla rete;				
- Pratica GSE per cessione Energia (Scambio sul Posto);				
- Documentazione finale di impianto.				
Sono esclusi tutti gli oneri alla sicurezza.	A corpo	1,00	14.000,00	14.000,00
IMPIANTO TERMICO				
Il prezzo comprende:				
- Smontaggio caldaia esistente;				
- Smaltimento vecchia caldaia;				
- Sistema ibrido Duo-Tec CSI-i IN;				
- Cassa di contenimento;				
- Kit resistenza antigelo;				
- Lavaggio impianto;				
- Canna fumaria;				
- Montaggio canna fumaria;				
- Installazione macchina;				
- Installazione pompa di calore e allaccio all'impianto esistente;				
- Termostati ambiente.	A corpo	1,00	15.410,00	15.410,00
IMPIANTO DI VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA				
Nel prezzo sono compresi:				
- Recuperatore a flusso incrociato Duolix MAX;				
- Presa d'aria esterna e condotto di espulsione;				
- Canali semirigidi Clip&Go in PEHD;				
- Griglie di immissione d'aria;				
- Griglie per il prelievo dell'aria;				
- Collettore di distribuzione;				
- Installazione completa del sistema e messa in funzione.	A corpo	1,00	6.000,00	6.000,00
TOTALE				<u>90.010,06</u>

CASO B : RIQUALIFICAZIONE SENZA INTERVENTI SUL SOLAIO CONTROTERRA.

Descrizione	Unità di misura	Quantità	Prezzo	Importo [€]
MATERIALI LAPIDEI				
Lastre rettangolari per uno spessore di 2 cm con dimensioni fino a 1,20x0,60 m o superiori se consentite normalmente dal materiale e con lunghezza non inferiore a 25 cm, con una faccia vista a levigatura media e l'altra grezza di sega, coste fresate a giunto. Le pietre ed i marmi si intendono di ottima qualità, lavori a regola d'arte con irregolarità insite nel materiale, che richiedano sporadici e limitati interventi di stuccatura, graffatura, masticatura ed altri sistemi di consolidamento e rinforzo.				
DAVANZALI IN GRANITO	mq	6,80	108,07	734,88
DEMOLIZIONI – RIMOZIONI				
Demolizioni di manti di copertura compresi pure i sottostanti listelli in legno, i conversoni di compluvio, i canali di gronda e le converse ai camini. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per le necessarie opere provvisoriale e di sicurezza, l'abbassamento, lo sgombero del sottotetto, la raccolta differenziata del materiale di risulta, il conferimento con trasporto in discarica autorizzata del materiale di risulta, l'indennità di discarica e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte. La misurazione verrà effettuata sulle falde della copertura.				
RIMOZIONE TEGOLE	mq	128	6,64	849,92
IMPERMEABILIZZAZIONI – ISOLAMENTI				
Barriera la vapore costituita da uno strato di guaina armata con poliesteri con giunti sovrapposti di cm 10 di spessore 4 mm, compreso mano di primer.				

BARRIERA AL VAPORE	mq	271,36	14,76	4.005,27
Impermeabilizzazione con uno strato di guaina armata con T.N.T. con giunti sovrapposti di cm 10 di spessore di 4 mm, compreso mano di primer.				
GUAINA	mq	128	14,65	1.875,20
Fornitura e posa in opera di lastra di polistirolo espanso di spessore di cm 6. Lastra di polistirolo di densità 20 kg/mc.				
CAPPOTTO TETTO	mq	230,4	8,95	1979
CAPPOTTO PARETE	mq	542,72	8,59	4.661,96
				6.641,10
ISOLAMENTI ACUSTICI				
Fornitura e posa in opera di isolazione acustica su solai formata da pannelli in lana di vetro densità 85 kg/mc rivestiti con carta kraft bitumata. La posa dovrà avvenire a giunti sfalsati e ben accostati. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per la posa in opera di fasce di risvolto lungo le pareti di altezza adeguata i modo da ottenere un pavimento perfettamente galleggiante, il taglio, lo sfrido e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.				
	mq	407,85	5,55	2.263,57
ISOLAMENTO CONTROSOFFITTO				
INTONACI				
Fornitura e posa in opera di rasatura, sia per interni che per esterni, eseguita a mano a qualunque altezza su pareti verticali, orizzontali o inclinate, sia piane che curve, risultanti lisce da cassero, costituito da premiscelato in polvere a base di cemento ed additivi chimici. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per la formazione degli spigoli sia vivi che smussati, le lesene, i marcapiani, i riquadri per vani de porte e finestre, la formazione ed il disfacimento dei piani di lavoro interni, i sollevamenti, il rispetto di eventuali incassature ed attacchi per impianti tecnici, la pulizia e l'asporto del materiale di risulta a fine lavoro, la raccolta differenziata del materiale di risulta, il conferimento con trasporto in discarica autorizzata del materiale di risulta, l'indennità di discarica e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.				
RASATURA DEL CAPPOTTO	mq	271,36	5,34	1.449,06
OPERE DI CARTONGESSO				
Fornitura e posa in opera di controsoffitto orizzontale realizzato mediante assemblaggio di singole lastre di gesso rivestito a bordi assottigliati, fissate con viti autoperforanti alla struttura portante, costituita da profili a C incrociati con maglia di dimensioni idonee, pendinature rigide regolabili in altezza, clips di fissaggio e cornici perimetrali. Tutti i profili metallici dovranno essere in acciaio zincato. Il controsoffitto dovrà soddisfare le seguenti caratteristiche tecniche debitamente documentate dall'Appaltatore ed accettate dalla D.L.: spessore della lastra pari a 12,5 mm e classe 1 di reazione al fuoco. È compresa la stuccatura della testa delle viti di fissaggio nonché la stuccatura e la sigillatura dei giunti di accostamento delle lastre eseguita con idoneo stucco previa applicazione di strisce di supporto armate con rete tessile. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri di taglio, lo sfrido anche dovuto ad irregolarità dei vani, la formazione ed il disfacimento dei piani di lavoro interni e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.				
CONTROSOFFITTO	mq	81,57	31,83	2.596,37
TETTI: ORDITURE PORTANTI E SECONDARIE				
Fornitura e posa in opera di tavolato di copertura in legno di abete eseguito con tavole di IV scelta della spessore di 20 mm, accostate e chiodate con tre chiodi alla struttura inferiore in corrispondenza di ogni cantiere. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per il taglio, lo sfrido, la chioderia, il puntuale e scrupoloso rispetto delle normative vigenti in materia antinfortunistica nei cantieri edili e quanto altro per dare il lavoro finito a regola d'arte.				

TAVOLATO PER TETTO	mq	128	10,02	1.282,56
MANTI DI COPERTURA				
Fornitura e posa in opera di manto di copertura in tegole curve in laterizio tipo coppo comune, posate con sovrapposizione minima di 10 cm. I coppi dovranno essere resistenti alla rottura, antigelive e conformi alle norme UNI 8626-8635. La posa sarà eseguita a filari regolari, continui, allineati e paralleli secondo il sistema tradizionale si listelli di legno di abete, secondo la linea di massima pendenza della falda, della sezione minima di 5x3 cm e distanziati di un interasse massimo di 15 cm. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per i listelli verticali, i necessari tagli in corrispondenza dei compluvi e del displuvi, i prezzi speciali di completamento quali tegole di colmo e di displuvio posati a secco e legati con filo di ferro zincato ai listelli sottostanti, i raccordi, i terminali, le cuffie di aerazione poste come indicato dalla D.L., lo sfrido, il puntuale e scrupoloso rispetto delle normative vigenti in materia antinfortunistica nei cantieri edili e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.				
INSTALLAZIONE TEGOLE	mq	128	34,58	4.426,24
SERRAMENTI IN LEGNO				
Fornitura e posa in opera di portoncini esterni in legno di Douglas, tipo standard e fuori standard, con intelaiatura perimetrale in legno di abete, battente con spalla, internamente rifinito come le porte ed esternamente rivestito con doghe verticali interrotte da un fascione intermedio orizzontale, immaschiettati, dello spessore finito di mm 20, telaio fino a 70 mm, coprifilo esterni fino a mm 11x30 ed internamente mostre come quelle applicate alle porte, forniti e posti in opera. Sono comprese: tre cerniere anuba di acciaio bronzato da 16 mm; la serratura tipo Yale con 3 chiavi; la mezza maniglia interna; il pomolo esterno; la verniciatura trasparente al naturale, previa mano di preparazione con prodotti impregnanti contro muffe e funghi della parte esterna; la verniciatura al poliuretano trasparente della parte interna. È inoltre compreso quanto occorre per dare l'opera finita. È esclusa la fornitura e posa in opera del controtelaio.				
PORTA DI INGRESSO.	mq	5,38	570	3.323,10
PORTONE DEL GARAGE.	mq	6,00	570	3.420,00
				6.743,10
Fornitura e posa in opera di infissi esterni per finestre e porte finestre apribili ad una o più ante, con o senza parti fisse, dello spessore lavorato di mm 55÷57, a 1 battente e 2 battenti completi di guarnizione in gomma predisposti per vetro camera, forniti e posti in opera. Sono compresi: il controtelaio da murare; la necessaria ferramenta di attacco e sostegno cerniere tipo anuba in acciaio bronzato (2 per battente e 3 per porta finestre); la chiusura con cremonese; le maniglie; i ganci e le catenelle in ottone o alluminio anodizzato; fermavetri interni o esterni; la verniciatura ecologica all'acqua eseguita in laboratorio tinto in legno, a due mani, previa mani di preparazione con prodotto impregnante contro muffe e funghi. È inoltre compreso quanto altro occorre per dare l'opera finita.				
FINESTRE.	mq	18,46	227	4.190,42
OPERE DA PITTORE E VERNICIATORE				
Fornitura e posa in opera di idropittura murale lavabile per interno/esterno. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per gli eventuali ponteggi fino ad una altezza massima di 4 m da piano di appoggio, gli oneri per la protezione di arredi impianti fissi o la protezione di pavimenti, la pulitura delle superfici da trattare mediante uso di stracci o scopi netti al fine di togliere i residui asportabili facilmente. È da ritenersi inoltre compreso e compensato l'onere per la stuccatura saltuaria e parziale di superfici, onde eliminare eventuali piccole scalfitture, compresa la carteggiatura delle parti stuccate.				
PITTURA INTERNA.	mq	426,23	7,92	3.375,74
PITTURA ESTERNA.	mq	271,36	8,26	2.241,43
				5.617,17

ASSISTENZE MURARIE				
Posa in opera di davanzale spessore fino a 6 cm.				
MONTAGGIO DAVANZALE.	m	17,00	26,21	445,57
ORGANIZZAZIONE CANTIERE				
Recinzione provvisoria di aree di cantiere con rete in polietilene ad alta densità di peso non inferiore a 220 gr/mq indeformabile di color arancio brillante a maglie ovoidali, resistenza a trazione non inferiore a 1100 kg/m sostenuta da appositi paletti zincati infissi nel terreno ad una distanza non superiore a m 1,5.				
DELIMITAZIONE CANTIERE.	mq	124,76	17,30	2.158,35
Ponteggio o incastellatura realizzato con elementi a telaio sovrapponibili, valutato per metro quadro di superficie asservita.				
PONTEGGIO PER PRIMO MESE.	mq	271,36	9,60	2.605,06
PONTEGGIO PER I MESI SUCCESSIVI.	mq/mese	271,36	0,35	94,98
				2.700,04
IMPIANTO FOTOVOLTAICO				
Impianto fotovoltaico ad 5,98 kWp con le seguenti caratteristiche:				
<ul style="list-style-type: none"> - N.18 moduli Sunpower modello E20-327Wp white (compreso contributo per smaltimento moduli a fine vita); - N.1inverter SMA Sunny Boy SB6000TL-21; - Test report su inverter; - Strutture sostegno per installazione su lamiera grecata (integrato sul tetto) con morsetteria anodizzata near; - Installazione impianto FV compreso posa in opera strutture, moduli, inverter, realizzazione connessioni elettriche e opere elettriche necessarie a rendere l'impianto perfettamente funzionante ed allacciato alla rete, inclusa fornitura di tutto il materiale elettrico necessario, tiro in quota dei materiali, trasporto e movimentazione in cantiere; - Sopralluogo esecutivo in cantiere; - Progetto elettrico impianto FV; - Pratica ENEL per allaccio alla rete; - Pratica GSE per cessione Energia (Scambio sul Posto); - Documentazione finale di impianto. 				
Sono esclusi tutti gli oneri alla sicurezza.				
	A corpo	1,00	14.000,00	14.000,00
IMPIANTO TERMICO				
Il prezzo comprende:				
<ul style="list-style-type: none"> - Smontaggio caldaia esistente; - Smaltimento vecchia caldaia; - Sistema ibrido Duo-Tec CSI-i IN; - Cassa di contenimento; - Kit resistenza antigelo; - Lavaggio impianto; - Canna fumaria; - Montaggio canna fumaria; - Installazione macchina; - Installazione pompa di calore e allaccio all'impianto esistente; - Termostati ambiente. 				
	A corpo	1,00	15.410,00	15.410,00
IMPIANTO DI VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA				
Nel prezzo sono compresi:				
<ul style="list-style-type: none"> - Recuperatore a flusso incrociato Duolix MAX; - Presa d'aria esterna e condotto di espulsione; - Canali semirigidi Clip&Go in PEHD; - Griglie di immissione d'aria; - Griglie per il prelievo dell'aria; - Collettore di distribuzione; - Installazione completa del sistema e messa in funzione. 				
	A corpo	1,00	6.000,00	6.000,00
TOTALE				<u>83.388,82</u>

2.6.2 RIQUALIFICAZIONE TOTALE

Descrizione	Unità di misura	Quantità	Prezzo	Importo [€]
MATERIALI LAPIDEI				
Lastre rettangolari per uno spessore di 2 cm con dimensioni fino a 1,20x0,60 m o superiori se consentite normalmente dal materiale e con lunghezza non inferiore a 25 cm, con una faccia vista a levigatura media e l'altra grezza di sega, coste fresate a giunto. Le pietre ed i marmi si intendono di ottima qualità, lavori a regola d'arte con irregolarità insite nel materiale, che richiedano sporadici e limitati interventi di stuccatura, graffatura, masticatoria ed altri sistemi di consolidamento e rinforzo.				
DAVANZALI IN GRANITO	mq	6,80	108,07	734,88
DEMOLIZIONI – RIMOZIONI				
Demolizioni di manti di copertura compresi pure i sottostanti listelli in legno, i conversoni di compluvio, i canali di gronda e le converse ai camini. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per le necessarie opere provvisoriale e di sicurezza, l'abbassamento, lo sgombero del sottotetto, la raccolta differenziata del materiale di risulta, il conferimento con trasporto in discarica autorizzata del materiale di risulta, l'indennità di discarica e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte. La misurazione verrà effettuata sulle falde della copertura.				
RIMOZIONE TEGOLE	mq	128	6,64	849,92
IMPERMEABILIZZAZIONI – ISOLAMENTI				
Barriera la vapore costituita da uno strato di guaina armata con poliestere con giunti sovrapposti di cm 10 di spessore 4 mm, compreso mano di primer.				
BARRIERA AL VAPORE	mq	271,36	14,76	4.005,27
Impermeabilizzazione con uno strato di guaina armata con T.N.T. con giunti sovrapposti di cm 10 di spessore di 4 mm, compreso mano di primer.				
GUAINA	mq	128	14,65	1.875,20
Fornitura e posa in opera di lastra di polistirolo espanso di spessore di cm 6. Lastra di polistirolo di densità 20 kg/mc.				
CAPPOTTO TETTO	mq	230,4	8,95	1979
CAPPOTTO PARETE	mq	542,72	8,59	4.661,96
				6.641,10
ISOLAMENTI ACUSTICI				
Fornitura e posa in opera di isolamento acustica su solai formata da pannelli in lana di vetro densità 85 kg/mc rivestiti con carta kraft bitumata. La posa dovrà avvenire a giunti sfalsati e ben accostati. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per la posa in opera di fasce di risvolto lungo le pareti di altezza adeguata i modo da ottenere un pavimento perfettamente galleggiante, il taglio, lo sfrido e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.				
ISOLAMENTO CONTROSOFFITTO	mq	815,7	5,55	4.527,14
INTONACI				
Fornitura e posa in opera di rasatura, sia per interni che per esterni, eseguita a mano a qualunque altezza su pareti verticali, orizzontali o inclinate, sia piane che curve, risultanti lisce da cassero, costituito da premiscelato in polvere a base di cemento ed additivi chimici. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per la formazione degli spigoli sia vivi che smussati, le lesene, i marcapiani, i riquadri per vani de porte e finestre, la formazione ed il disfacimento dei piani di lavoro interni, i sollevamenti, il rispetto di eventuali incassature ed attacchi per impianti tecnici, la pulizia e l'asporto del materiale di risulta a fine lavoro, la raccolta differenziata del materiale di risulta, il				

conferimento con trasporto in discarica autorizzata del materiale di risulta, l'indennità di discarica e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.	mq	271,36	5,34	1.449,06
RASATURA DEL CAPPOTTO				
TERMINALI DI EMISSIONE				
Fornitura di pannelli radianti preformati a soffitto, modello Leonardo passo 10 cm posati secondo disposizione secondo progetto definitivo. Il prezzo comprende:				
- Collettori in ottone;				
- Tubazioni di collegamento tra collettori e moduli;				
- Moduli radianti;				
- Accessori vari per il collegamento dei moduli;				
e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.				
PANNELLI RADIANTI A SOFFITTO	mq	120	90	10.800,00
SCALDA SALVIETTE	A corpo	2,00	200	400,00
				11.200,00
TETTI: ORDITURE PORTANTI E SECONDARIE				
Fornitura e posa in opera di tavolato di copertura in legno di abete eseguito con tavole di IV scelta della spessore di 20 mm, accostate e chiodate con tre chiodi alla struttura inferiore in corrispondenza di ogni cantiere. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per il taglio, lo sfrido, la chioderia, il puntuale e scrupoloso rispetto delle normative vigenti in materia antinfortunistica nei cantieri edili e quanto altro per dare il lavoro finito a regola d'arte.	mq	128	10,02	1.282,56
TAVOLATO PER TETTO				
MANTI DI COPERTURA				
Fornitura e posa in opera di manto di copertura in tegole curve in laterizio tipo coppo comune, posate con sovrapposizione minima di 10 cm. I coppi dovranno essere resistenti alla rottura, antigelive e conformi alle norme UNI 8626-8635. La posa sarà eseguita a filari regolari, continui, allineati e paralleli secondo il sistema tradizionale si listelli di legno di abete, secondo la linea di massima pendenza della falda, della sezione minima di 5x3 cm e distanziati di un interasse massimo di 15 cm. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per i listelli verticali, i necessari tagli in corrispondenza dei compluvi e dei displuvi, i prezzi speciali di completamento quali tegole di colmo e di displuvio posati a secco e legati con filo di ferro zincato ai listelli sottostanti, i raccordi, i terminali, le cuffie di aerazione poste come indicato dalla D.L., lo sfrido, il puntuale e scrupoloso rispetto delle normative vigenti in materia antinfortunistica nei cantieri edili e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.	mq	128	34,58	4.426,24
INSTALLAZIONE TEGOLE				
SERRAMENTI IN LEGNO				
Fornitura e posa in opera di portoncini esterni in legno di Douglas, tipo standard e fuori standard, con intelaiatura perimetrale in legno di abete, battente con spalla, internamente rifinito come le porte ed esternamente rivestito con doghe verticali interrotte da un fascione intermedio orizzontale, immaschiettati, dello spessore finito di mm 20, telaio fino a 70 mm, coprifilo esterni fino a mm 11x30 ed internamente mostre come quelle applicate alle porte, forniti e posti in opera. Sono comprese: tre cerniere anuba di acciaio bronzato da 16 mm; la serratura tipo Yale con 3 chiavi; la mezza maniglia interna; il pomolo esterno; la verniciatura trasparente al naturale, previa mano di preparazione con prodotti impregnanti contro muffe e funghi della parte esterna; la verniciatura al poliuretano trasparente della parte interna. È inoltre compreso quanto occorre per dare l'opera finita. È esclusa la fornitura e posa in opera del controtelaio.	mq	5,38	570	3.323,10
PORTA DI INGRESSO.	mq	6,00	570	3.420,00
PORTONE DEL GARAGE.				6.743,10

Fornitura e posa in opera di infissi esterni per finestre e porte finestre apribili ad una o più ante, con o senza parti fisse, dello spessore lavorato di mm 55-57, a 1 battente e 2 battenti completi di guarnizione in gomma predisposti per vetro camera, forniti e posti in opera. Sono compresi: il controtelaio da murare; la necessaria ferramenta di attacco e sostegno cerniere tipo anuba in acciaio bronzato (2 per battente e 3 per porta finestre); la chiusura con cremonese; le maniglie; i ganci e le catenelle in ottone o alluminio anodizzato; fermavetri interni o esterni; la verniciatura ecologica all'acqua eseguita in laboratorio tinto in legno, a due mani, previa mani di preparazione con prodotto impregnante contro muffe e funghi. È inoltre compreso quanto altro occorre per dare l'opera finita.

FINESTRE.	mq	18,46	350	6.461,00
-----------	----	-------	-----	-----------------

OPERE DA PITTORE E VERNICIATORE

Fornitura e posa in opera di idropittura murale lavabile per interno/esterno. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per gli eventuali ponteggi fino ad una altezza massima di 4 m da piano di appoggio, gli oneri per la protezione di arredi impianti fissi o la protezione di pavimenti, la pulitura delle superfici da trattare mediante uso di stracci o scopi netti al fine di togliere i residui asportabili facilmente. È da ritenersi inoltre compreso e compensato l'onere per la stuccatura saltuaria e parziale di superfici, onde eliminare eventuali piccole scalfitture, compresa la carteggiatura delle parti stuccate.

PITTURA INTERNA.	mq	481,78	7,92	3.815,70
------------------	----	--------	------	----------

PITTURA ESTERNA.	mq	271,36	8,26	2.241,43
------------------	----	--------	------	----------

6.057,13

ASSISTENZE MURARIE

Posa in opera di davanzale spessore fino a 6 cm.

MONTAGGIO DAVANZALE.	m	17,00	26,21	445,57
----------------------	---	-------	-------	---------------

ORGANIZZAZIONE CANTIERE

Recinzione provvisoria di aree di cantiere con rete in polietilene ad alta densità di peso non inferiore a 220 gr/mq indeformabile di color arancio brillante a maglie ovoidali, resistenza a trazione non inferiore a 1100 kg/m sostenuta da appositi paletti zincati infissi nel terreno ad una distanza non superiore a m 1,5.

DELIMITAZIONE CANTIERE.	mq	124,76	17,30	2.158,35
-------------------------	----	--------	-------	-----------------

Ponteggio o incastellatura realizzato con elementi a telaio sovrapponibili, valutato per metro quadro di superficie asservita.

PONTEGGIO PER PRIMO MESE.	mq	271,36	9,60	2.605,06
---------------------------	----	--------	------	----------

PONTEGGIO PER I MESI SUCCESSIVI.	mq/mese	524,77	0,35	189,95
----------------------------------	---------	--------	------	--------

2.795,01

IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Impianto fotovoltaico ad 5,98 kWp con le seguenti caratteristiche:

- N.18 moduli Sunpower modello E20-327Wp white (compreso contributo per smaltimento moduli a fine vita);
- N.1inverter SMA Sunny Boy SB6000TL-21;
- Test report su inverter;
- Strutture sostegno per installazione su lamiera grecata (integrato sul tetto) con morsetteria anodizzata near;
- Installazione impianto FV compreso posa in opera strutture, moduli, inverter, realizzazione connessioni elettriche e opere elettriche necessarie a rendere l'impianto perfettamente funzionante ed allacciato alla rete, inclusa fornitura di tutto il materiale elettrico necessario, tiro in quota dei materiali, trasporto e movimentazione in cantiere;
- Sopralluogo esecutivo in cantiere;
- Progetto elettrico impianto FV;
- Pratica ENEL per allaccio alla rete;
- Pratica GSE per cessione Energia (Scambio sul Posto);

- Documentazione finale di impianto. Sono esclusi tutti gli oneri alla sicurezza.	A corpo	1,00	14.000,00	14.000,00
IMPIANTO TERMICO				
Il prezzo comprende:				
- Pompa di calore per riscaldamento e ACS VITOCAL 200-S, modello AWB 201.B07;				
- Bollitore da 300 litri VITOCCELL 100-V, tipo CVA;				
- Regolazione in temperatura;				
- Materiale di consumo idraulico.	A corpo	1,00	10.000,00	10.000,00
IMPIANTO DI VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA				
Nel prezzo sono compresi:				
- Recuperatore a flusso incrociato Duolix MAX;				
- Presa d'aria esterna e condotto di espulsione;				
- Canali semirigidi Clip&Go in PEHD;				
- Griglie di immissione d'aria;				
- Griglie per il prelievo dell'aria;				
- Collettore di distribuzione;				
- Installazione completa del sistema e messa in funzione.	A corpo	1,00	6.000,00	6.000,00
IMPIANTO SOLARE TERMICO				
Nel prezzo sono compresi:				
- N. 2 collettori solari modello KSF-G25, Pleion;				
- Kit struttura;				
- Installazione dei pannelli;				
- Vaso di espansione da 24 litri;				
- Kit collegamento vaso di espansione;				
- Raccordo di intercettazione;				
- Miscelatore termostatico;				
- Liquido solare antigelo R100 (10 litri);				
- Gruppo circolazione solare;				
- Sonda di temperatura;				
- Controllore solare;				
- Tubi preisolati.	A corpo	1,00	5.500,00	5.500,00
OPERE PER IMPIANTO TERMICO				
Fornitura e posa in opera del materiale necessario per la sostituzione dei terminali di impianto vecchi con i pannelli radianti a soffitto. Il prezzo comprende:				
- Rimozione radiatori;				
- Chiusura nicchie;				
- Montaggio impianto;				
- Modifica sistema di distribuzione;				
- Installazione termostati per ogni camera;				
e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.	A corpo	1,00	25.000,00	25.000,00
TOTALE				<u>121.993,47</u>

2.7 ANALISI DEI RISULTATI

I risultati ottenuti dall'analisi energetica ed economica nei due casi di studio della riqualificazione parziale mostrano le seguenti differenze:

CASO A: COIBENTAZIONE DI TUTTE LE STRUTTURE OPACHE.	CASO B : RIQUALIFICAZIONE SENZA INTERVENTI SUL SOLAIO CONTROTERRA.
Classe energetica A con indice di prestazione globale di 35,56 kWh/m ² anno.	Classe energetica A con indice di prestazione globale di 39,84 kWh/m ² anno.
Tempistiche di intervento previste per 60 giorni lavorativi.	Tempistiche di intervento previste per 44 giorni lavorativi.
Valore economico degli interventi stimato per 90.010,06 €.	Valore economico degli interventi stimato per 83.388,82 €.
L'intervento alla struttura del pavimento rende inaccessibile l'edificio per gli inquilini.	Nessun intervento invasivo per gli inquilini dell'abitazione.

A fronte dei dati sopra elencati, il CASO B risulta la soluzione più conveniente.

La scelta di non intervenire sulla struttura del solaio controterra per ridurre le dissipazioni verso il terreno non ha solo dei vantaggi legati alla riduzione dei tempi legati ai lavori di riqualificazione e all'assenza di discomfort per l'inquilino che non deve lasciare l'abitazione, ma, paragonandolo con il CASO A, presenta un rapporto costo/benefici maggiore. L'intervento al pavimento ha un costo complessivo di 6.526,27 € che comporta una differenza di prestazioni dell'edificio dal CASO A al CASO B di 4,28 kWh/m²anno. Tale esiguo risparmio nei consumi energetici non permette un ritorno dell'investimento in tempi brevi. Pertanto, nel confronto finale con la demolizione del vecchio edificio e la costruzione di un nuovo edificio prefabbricato in legno, si terrà conto solo del CASO B.

Separatamente sarà paragonata la riqualificazione totale con la sostituzione con l'edificio prefabbricato in legno descritto nel Capitolo 3.

3. CASA PREFABBRICATA IN LEGNO COME SOLUZIONE DI SOSTITUZIONE

In alternativa alla riqualificazione energetica dell'edificio esistente, si è studiata la soluzione di demolire l'immobile sostituendolo con una casa prefabbricata in legno di uguali dimensioni che raggiungesse almeno la classe energetica B.

La scelta è ricaduta sulla casa prefabbricata in legno sia per motivi ambientali, date le sue caratteristiche ecosostenibili, sia per una serie di vantaggi, legati al comfort dell'ambiente interno e alla particolarità nella costruzione, che verranno elencati più avanti.

Anche per questo progetto si sono elencate tutte le attività lavorative per ottenere l'obiettivo finale, definendone le tempistiche tramite l'utilizzo del Diagramma di Gantt e valutando in fine il valore economico del progetto da paragonare con il computo metrico estimativo dei lavori di riqualificazione.

3.1 STORIA DELLE CASE PREFABBRICATE IN LEGNO

Il legno è uno dei materiali più antichi del nostro pianeta. La costruzione di case con l'impiego del legno vanta una lunga tradizione. Gli sviluppi degli ultimi decenni e la simbiosi tra legno e tecnologie moderne ha permesso la realizzazione di case dall'alta qualità che soddisfano qualsiasi esigenza.

Per alcuni esperti la storia delle case prefabbricate ha le sue origini nel dodicesimo secolo, quando il modo di costruire era molto simile al sistema attuale. Già allora le singole parti della casa venivano prefabbricate e successivamente portate in cantiere. E' storicamente fondata l'idea del prefabbricato da parte di Leonardo da Vinci, che nel 1494 progettò una casa mobile per il parco della duchessa Isabella Sforza.

Allora come oggi non è la materia prima grezza ad essere trasportata in cantiere, ma le componenti lavorate e già prefabbricate. Inoltre ai nostri giorni, la produzione realizzata con precisione computerizzata in stabilimenti protetti da intemperie garantisce una qualità maggiore e costante.

La prima costruzione in serie avvenne in America, quando nel diciottesimo secolo gli immigrati iniziarono a preparare delle parti prefabbricate per la costruzione più rapida delle loro case. Già nel 1833 un carpentiere inglese, Herbert Mamming, inviò in Australia via nave all'interno di enormi casse dei moduli prefabbricati per la costruzione veloce di case residenziali.

In Austria Wenzel Hartl presentò la prima casa unifamiliare realizzata in prefabbricato in occasione della mostra di caccia del 1910 a Vienna. La casa, denominata "Jagdhaus" (casa di caccia), si trova tuttora nella regione della Bassa Austria.

In Germania, in occasione dell'esposizione mondiale a Stoccarda nel 1927, l'Architetto Walter Gropius, fondatore del movimento "Bauhaus", presentò le sue prime case pronte per il montaggio; poco tempo dopo, insieme all'artista Konrad Wachsmann, Gropius fondò negli Stati Uniti una delle prime fabbriche per la produzione di elementi per la costruzione di case. Konrad Wachsmann aveva già sviluppato nel 1925 in Germania un sistema di prefabbricati. Il suo cliente più famoso fu Albert Einstein.

La crisi economica e la seconda guerra mondiale rallentarono lo sviluppo del prefabbricato in Europa. Ciò nonostante, in Svezia dopo la guerra il 40% di tutte le case unifamiliari erano di tipo prefabbricato.

Come in tanti altri paesi, nel dopoguerra anche in Austria e Germania ci fu un grande bisogno di spazi abitativi. Vennero costruite quindi delle semplici baracche di dimensioni ridotte e con delle pareti con spessore massimo di 10 cm. Queste case provvisorie sostanzialmente furono le "colpevoli" della brutta immagine che ebbero a lungo le case prefabbricate.

Grazie alla continua ricerca, agli innumerevoli studi e alla sperimentazione di nuovi materiali, oggi il prefabbricato gode invece di un ottimo prestigio. Il cambio d'immagine non è dovuto solo alla qualità dei materiali, ma grazie alla versatilità e modularità dei vari modelli è possibile la realizzazione di quasi ogni tipo di progetto.

3.2 VANTAGGI DI UNA CASA PREFABBRICATA IN LEGNO

La domanda che molti si pongono è perché scegliere una casa prefabbricata in legno piuttosto di una in mattoni tradizionale. Questo è un tema di grande attualità soprattutto di fronte al recente terremoto in Emilia Romagna e a quello avvenuto in Abruzzo nel 2009.

Alla domanda hanno risposto non solo coloro che già abitano in edifici di questo genere, ma anche docenti e studenti dell'Università la Sapienza di Roma che, insieme a progettisti e costruttori, si sono confrontati sulle potenzialità di questo materiale e hanno analizzato il comportamento di una costruzione in scala 1:1. Un esperimento da cui emerge che un'abitazione in legno risponde alle nuove necessità della bioarchitettura e garantisce standard abitativi migliori rispetto a quelle tradizionali.

I vantaggi principali di edifici prefabbricati in legno sono i seguenti:

- 1) **Comfort e benessere abitativo:** la qualità dei materiali utilizzati per la realizzazione delle abitazioni e il corretto studio dei dettagli costruttivi diventano elementi di fondamentale importanza se si considera la quantità di tempo trascorsa negli ambienti chiusi. È stato dimostrato che il legno, le fibre di legno o sughero, risultano confortevoli già a temperatura ambiente, a differenza del cemento o della pietra che lo diventano solo a temperature superficiali superiori.
- 2) **Eco-compatibilità:** il legno, in relazione alla sostenibilità, non ha rivali: è rinnovabile, riciclabile, richiede un limitato consumo di energia nelle fasi di produzione e posa, non rilascia emissioni, polveri o fibre nocive durante l'impiego e si smaltisce restituendo l'energia accumulata, se viene utilizzato in processi di termovalorizzazione. Inoltre, il legno è l'unico materiale che necessita solo di acqua, aria e sole per crescere e ogni m³ di questo materiale impiegato in edilizia, corrisponde a quasi una tonnellata di CO₂ stoccata, per tutto il ciclo di vita del manufatto. È infine un materiale che rispetta l'ambiente: per il mantenimento del patrimonio boschivo, la certificazione PEFC (programma per il riconoscimento di schemi di certificazione forestale) garantisce la provenienza del legno da boschi sottoposti a coltivazione sostenibile.
- 3) **Progettazione integrata:** il concetto di progettazione per le case prefabbricate in legno è totalmente differente rispetto alle case tradizionali. L'elaborazione del progetto esecutivo è una delle attività chiave: vengono valutate con estrema attenzione tutte le possibili interazioni dei vari materiali e dei singoli componenti gli uni con gli altri. Esiste una perfetta collaborazione fra tutti i reparti, le maestranze ed i tecnici che procedono alla realizzazione e all'installazione di ogni impianto. Questo metodo di progettazione obbliga alla definizione precisa e dettagliata di tutti i componenti dell'edificio, dalle stratigrafie agli impianti elettrici, diminuendo e quasi annulla le modifiche in cantiere.
- 4) **Velocità di costruzione:** rispetto all'edilizia tradizionale, i tempi sono più che dimezzati. La velocità si traduce in risparmio economico; inoltre, velocizzando la realizzazione, diminuiscono gli oneri finanziari e alcune spese tecniche (ad esempio la direzione dei lavori e i ponteggi).
- 5) **Ottimizzazione degli spazi:** essendo il legno un materiale isolante, è possibile avere pareti di spessore inferiore, consentendo un recupero sino al 25% di superficie calpestabile rispetto ai sistemi classici.
- 6) **Statica e protezione sismica:** il legno ha riacquisito la sua funzione di materiale strutturale grazie alle più recenti normative nazionali ed europee, in materia di calcolo strutturale ed antisismico. La stabilità dimensionale è dovuta a tre aspetti fondamentali: la leggerezza, l'elevata duttilità dei giunti e la capacità dissipativa. Queste tipologie di costruzione sono caratterizzate da un ottimo rapporto tra resistenza e peso proprio in quanto, essendo dotate di una massa inferiore rispetto alle loro equivalenti in muratura, subiscono in modo ridotto gli effetti di un sisma. Inoltre, gli elementi in legno vengono collegati tra loro tramite l'uso di connettori deformabili che, adeguatamente dimensionati, permettono alle strutture di raggiungere un comportamento duttile, ideale per resistere all'azione sismica.

- 7) **Sicurezza in caso di incendio:** le sue qualità fisico-meccaniche si rivelano estremamente interessanti anche in caso di incendio. Pur essendo un materiale combustibile, le strutture in legno presentano una buona resistenza al fuoco, con un comportamento altamente prevedibile e quindi sicuro. Tipicamente, le strutture, dimensionate per i carichi di neve e vento, sono già R30 o R60³⁹. Il sovradimensionamento delle sezioni, l'uso di ferramenta non esposta e di rivestimenti in legno "di sacrificio" senza alcuna aggiunta di prodotti chimici, assicurano una resistenza compresa tra i trenta e i sessanta minuti. Il legno infatti, brucia lentamente perché la carbonizzazione procede dall'esterno verso l'interno della sezione, formando progressivamente uno strato carbonizzato che protegge la parte centrale, senza immissione nell'aria di fumi tossici ed opachi. Per questo motivo, la rottura avviene per riduzione della sezione resistente e non per improvviso decadimento delle sue caratteristiche meccaniche.
- 8) **Alto isolamento termico:** il legno si distingue per le sue caratteristiche di bassa conducibilità termica, elevata inerzia termica e spiccata igroscopicità (la capacità di una sostanza ad assorbire prontamente le molecole d'acqua presenti nell'ambiente), che permettono di generare un effetto positivo sulla qualità dell'aria all'interno di un edificio e sul benessere percepito. Questi elementi contribuiscono a diminuire i consumi per il riscaldamento d'inverno e la climatizzazione d'estate grazie anche alla capacità del materiale di assorbire velocemente e cedere lentamente l'umidità. Il legno, inoltre, è un efficientissimo filtro, con una superficie specifica di oltre 1 m² per ogni cm³ di volume, rendendo più salubre l'aria.
- 9) **Protezione dal rumore:** il legno ha eccellenti proprietà di assorbimento acustico che derivano dalla sua natura fibrosa e dall'elevato coefficiente di smorzamento del materiale stesso. Nelle moderne strutture in legno la protezione dal rumore si realizza principalmente con una precisa combinazione di strati di materiali termoisolanti che, uniti ad un opportuno disaccoppiamento acustico ed un accurato studio dei dettagli di connessione, consentono di rispettare anche i requisiti acustici più severi.
- 10) **Durabilità:** la struttura di una casa in legno rimane protetta dagli agenti atmosferici, pertanto non è soggetta a degrado negli anni, ed è in grado di durare secoli. Il rivestimento esterno può essere sia in legno a vista che con un rivestimento a cappotto termico intonacato. Nel primo caso è probabile che la manutenzione debba essere leggermente superiore a quella richiesta da una casa in muratura, mentre nel secondo le problematiche di manutenzione sono esattamente le stesse di una struttura tradizionale.
- 11) **Costi certi:** la tecnologia delle costruzioni in legno di qualità impone alcune scelte di fondo; una di queste è l'elaborazione di un progetto esecutivo. Le scelte compiute in cantiere sono ridotte al minimo, a tutto vantaggio del risparmio. Tutto questo non accade nell'edilizia tradizionale, nella quale sin dalla fase di progettazione alcune scelte vengono rimandate a cantiere avviato; una scelta compiuta in cantiere non si traduce quasi mai in un risparmio, al contrario diventa quasi impossibile quantificare prima queste lavorazioni. Alla luce di questa considerazione, si comprende il motivo per il quale i preventivi di costruzione in edilizia tradizionale vengono quasi sempre disattesi, anche con differenze nell'ordine del 20/25%.
- 12) **Risparmio energetico:** il legno non ha rivali sul fronte del risparmio energetico. Le caratteristiche intrinseche del materiale, potere termoisolante, inerzia termica e igroscopia, lo rendono un prezioso alleato nel taglio dei costi energetici. Una casa in legno consente infatti un risparmio di almeno il 30% di energia per essere scaldata ma può arrivare anche al 50% o più, fino alla realizzazione di case passive. Inoltre, l'elevata capacità di accumulo termico rende le componenti opache molto più efficienti durante i mesi estivi rispetto ad alternative equivalenti dal punto di vista della coibentazione.

3.3 TECNOLOGIE COSTRUTTIVE

I sistemi costruttivi delle case in legno prefabbricate possono essere divisi in 4 tipi: Platform Frame, X-Lam, a telaio e Blockhaus. Di seguito vengono descritte tutte le tipologie, ma nel progetto in esame si è deciso di utilizzare la tecnologia che si basa sull'utilizzo di pannelli in X-Lam.

³⁹ Con la sigla R si intende la resistenza al fuoco. Il numero che segue indica i minuti minimi di resistenza al fuoco senza crollare.

Platform Frame. È il sistema costruttivo più diffuso al mondo. Il “Platform Frame” è il sistema costruttivo tipico delle case in legno americane ed è l’evoluzione del più noto sistema “Balloon Frame”. La costruzione procede per piani. I telai del primo piano vengono fissati al basamento, dopo di che viene realizzato il primo solaio. A questo punto si procede fissando a esso il telaio del secondo piano e così via. I pannelli, sia interni che esterni e l’isolamento, vengono posti in opera in cantiere.

Le fondazioni sono generalmente realizzate con platea in c.a., oppure con piani interrati composti da setti in c.a..

La struttura in legno, dal piano terra in poi, ha di solito queste caratteristiche: le pareti esterne e quelle interne resistenti a taglio sono costituite da telai in legno lamellare di sezione 60x160 mm, posti verticalmente, collegati al piede e in sommità con opportune piastre metalliche con travi lamellari; questi telai sono poi irrigiditi mediante pannelli in legno OSB (Oriented Strand Board) dello spessore minimo di 18 mm; gli elementi così composti vengono assemblati fra loro in maniera da ottenere il controventamento necessario; l’assemblaggio tra travi lamellari e pannelli è realizzato tramite chiodi o viti.

Le pareti esterne sono poi rivestite esternamente con un cappotto termico e relativo intonaco, mattoni faccia vista, pietre o può avere delle doghe in legno a vista.

Il collegamento fra la struttura in legno e le fondazioni in c.a. viene assicurato mediante opportune barre filettate in acciaio o tasselli a pressione.



Figura 3.1 Esempi di applicazione della tecnica Platform Frame.

I solai di interpiano sono realizzati con travi appoggiate in legno lamellare. In appoggio alle travi viene posto un perlinato di opportuno spessore: nella parte superiore al perlinato vengono realizzati i massetti in calcestruzzo, gli impianti e successivamente qualsiasi tipo di pavimento finale (parquet, ceramica, pavimenti galleggianti, ecc.).

I solai di copertura termoventilati vengono realizzati con un’orditura in legno lamellare con sovrastante perlinato, listello in legno per alloggio isolante, isolante, listello di ventilazione, pannello in legno OSB (Oriented Strand Board), guaina impermeabilizzante e manto finale di copertura in tegole o coppo di laterizio.

Pannelli in X-Lam. Il sistema costruttivo per gli edifici e case in legno X-Lam o Cross-Lam è un sistema a pannelli massicci la cui sperimentazione e commercializzazione inizia nel mercato austriaco e tedesco alla fine degli anni 90. In Italia la diffusione di questo prodotto è avvenuta negli ultimi dieci anni, inizialmente impiegandolo come impalcato per solai di copertura e solai di piano, poi in qualche sporadico caso di costruzione interamente realizzata in legno, un utilizzo più consistente avviene solo a seguito del terremoto dell’Aquila del 2009.

L’X-Lam è un sistema costruttivo costituito da pannelli di legno a strati incrociati ed incollati (minimo 3 strati), di spessore e dimensioni molto variabili le cui caratteristiche geometriche dipendono in generale dalle tecnologie delle aziende produttrici ed anche dal dimensionamento statico. La struttura

del pannello ottenuta mediante incollaggio di tavole incrociate per elevata valenza prestazionale permette una totale stabilità dimensionale conferendo al prodotto una rigidezza che lo rendono adeguato agli impieghi strutturali più spinti. L'incollatura è eseguita in qualità controllata E1 con colle prive di formaldeide. In Figura 3.2 è riportata la sezione di due pannelli in X-Lam con 3 e 5 strati.



Figura 3.2 Sezione di due pannelli in X-Lam.

I pannelli portanti in legno vengono poi rivestiti sia internamente che esternamente per realizzare la parete finita. Internamente, la struttura viene completata con un pannello in cartongesso per consentire uno spazio tecnico per il passaggio degli impianti. Esternamente viene installato un “cappotto” di idoneo spessore dell'isolante a scelta della committenza; la parete è opportunamente protetta attraverso l'installazione di adeguati freni vapore e membrane traspiranti.

Il solaio di interpiano è realizzato con un pannello, di opportuno spessore, oppure con travi lamellari e perlinate, il tutto sempre dimensionato in base al calcolo statico; identica tecnologia viene usata anche per i solai di copertura e le parti in legno possono essere realizzate sia a vista che rivestite con pannelli in cartongesso .

Sopra le strutture portanti in legno dei solai di copertura viene poi realizzato il pacchetto di coibentazione, eventuale ventilazione, il manto di impermeabilizzazione, le lattonerie ed infine il manto finale di copertura.

Le fasi di montaggio di una casa prefabbricata in legno che utilizza la tecnologia X-Lam sono quelle mostrate in Figura 3.3.

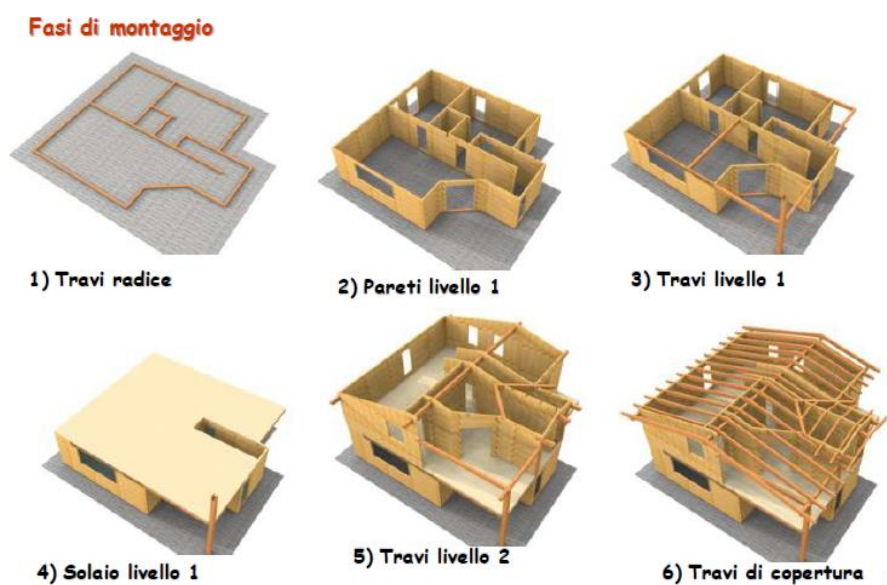


Figura 3.3 Fasi di montaggio di una casa con pannelli in X-Lam.

I pannelli sono segati in produzione con macchine a controllo numerico secondo le indicazioni del progettista e vengono già ricavati i fori per le finestre, le porte, ecc.... Il trasporto in cantiere avviene tramite camion e i pannelli vengono scaricati tramite normale gru di cantiere oppure tramite camion-gru. I pannelli vengono poi posati sulle travi “radice” che collegano la struttura alla platea in c.a.. A questo punto, dopo essere stati rivestiti con una speciale guaina adesiva nella parte inferiore per evitare infiltrazioni, i pannelli vengono fissati al supporto con delle staffe. In questo modo vengono erette tutte le pareti del piano terra.

Per il primo piano, si installano di nuovo le travi “radice” alle quali viene fissato il solaio interpiano. Ora si possono posare anche le pareti portanti. Infine si procede alla posa della copertura iniziando con le travi che servono da sostegno al pacchetto costituente il tetto.

Il comportamento sismico di un edificio in legno realizzato con pannelli X-Lam è quello di una struttura scatolare con diaframmi di piano e pareti collegati mediante elementi meccanici. In questo caso le pareti hanno il compito di assorbire le sollecitazioni verticali ed orizzontali (carichi verticali, sisma e vento). Il collegamento fra la struttura in legno e le fondazioni in c.a. viene assicurato mediante opportune piastre e barre filettate in acciaio o tasselli a pressione.

A causa della sua recente diffusione sul mercato delle strutture in legno, mancano ad oggi esaustivi riferimenti normativi specifici, tanto che il calcolo di tale tipo strutture viene condotto sulla base della letteratura scientifica e di studi a riguardo.



Figura 3.4 Fasi di cantiere di edifici prefabbricati con pannelli in X-Lam.

Strutture a telaio. Un altro sistema costruttivo adottato da molte aziende è il sistema “a telaio” (Timber frame). La struttura della casa è realizzata come un vero e proprio telaio di legno lamellare giuntato a montanti verticali continui che rappresentano la struttura principale della singola parete, dove all’interno viene collocato il materiale isolante, che viene in seguito tamponato con pannelli di legno. La struttura a gabbia portante in travi e pilastri in legno lamellare è tamponata all'esterno con pannelli parete continui tipo sandwich, costituiti da telaio in legno massiccio, strato di isolamento e rivestimento in multistrato di legno, incollati e pressati a caldo; detti pannelli vengono solidamente vincolati alla struttura medesima da pilastro a pilastro, in modo da garantire al sistema parete la necessaria rigidità e controventatura. Il collegamento della struttura portante con il basamento in cemento armato avviene per mezzo di carpenteria metallica (staffe ed angolari) adeguatamente dimensionata. Sull'esterno dei pannelli parete viene applicato in opera il rivestimento di facciata (“cappotto” isolante, rivestimento tipo facciata ventilata, ecc), mentre il lato interno fornisce il supporto per la posa in cantiere delle canalizzazioni delle reti idrauliche ed elettriche mediante la realizzazione di un vano tecnico costituito da una controparete realizzata con doppio pannello di cartongesso.

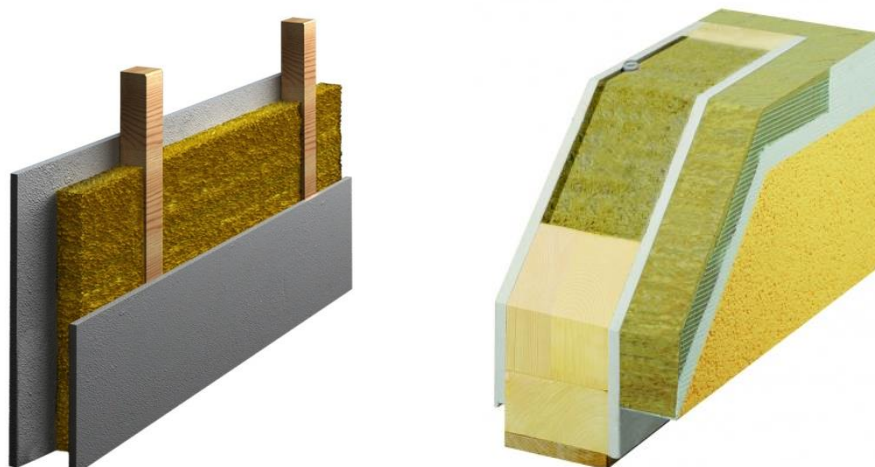


Figura 3.5 Esempi di stratigrafie di pareti con sistema "a telaio".

Il vantaggio delle pareti a telaio è che l'isolante è posto all'interno tra i montanti e questo comporta una riduzione sensibile dello spessore della parete finita e un aumento della superficie utile commerciale delle case prefabbricate in legno.

Il dato sismo-resistente della parete a telaio è eccellente grazie anche alla leggerezza del materiale comparato a una muratura o al cemento armato. Il legno, inteso come materiale strutturale è caratterizzato, inoltre, da alti rapporti tra resistenza e massa volumica, è soggetto a ridotte accelerazioni sismiche e gode anche di un'ottima duttilità di sistema che garantisce la possibilità di dissipazione energetica delle azioni cicliche dovute all'evento sismico.

Il sistema a telaio può essere utilizzato anche a supporto di quello tradizionale, per realizzare ampliamenti di spazi, garage, tettoie e porticati.

Blockhaus. Il sistema di costruzione per edifici e case in legno Blockhaus o Log House è una tipologia costruttiva tipica dell'Europa centro-settentrionale e della zona Alpina.

Sistema costruttivo di tipo massiccio, costituito da tronchi sovrapposti o nei sistemi più moderni da elementi orizzontali di forma tondeggiante, squadrata e con le travi che possono anche essere in bilama, generalmente collegati tra loro tramite viti, formando le pareti portanti. Il giunto d'angolo tra le pareti viene generalmente realizzato mediante un nodo di carpenteria a vista del tipo maschio-femmina o a coda di rondine ed eventualmente rinforzato con barre metalliche o viti.



Figura 3.6 Sistema di costruzione Blockhaus.

Il collegamento tra le pareti in legno e la fondazione in C.A. è realizzato con barre metalliche resinare. Il Blockhaus affida prevalentemente la resistenza alle azioni statiche (carichi verticali e vento) e sismiche quasi esclusivamente al legno (la resistenza alle azioni orizzontali viene garantita dalle maschiature di incrocio e dall'attrito tra i tronchi o le travi sovrapposte) e gli elementi meccanici di collegamento sono utilizzati in misura molto limitata.

La struttura è considerata scarsamente dissipativa, ma è un sistema costruttivo sconsigliato a causa della sua bassa resistenza sismica, e generalmente prevede che le pareti esterne siano in legno a vista.

3.4 LA PROGETTAZIONE DELL'EDIFICIO PREFABBRICATO IN LEGNO

L'edificio prefabbricato in legno, che è stato utilizzato nel confronto, nasce da un progetto che si sta sviluppando nell'azienda in cui sto svolgendo un tirocinio con l'intenzione di entrare nel mercato con un prodotto che negli ultimi anni ha avuto un notevole progresso non solo nelle zone in cui è nato e si è sviluppato, ma anche nella Pianura Padana per la quale la tecnologia da utilizzare è diversa a causa del clima umido che la caratterizza.

L'idea di base è di proporre due edifici che abbiano delle caratteristiche dimensionali standard ai quali è possibile applicare delle modifiche dal punto di vista architettonico a seconda delle esigenze e dei gusti del cliente.

I due edifici hanno superficie calpestabile pari a 80 m² e 120 m². Ovviamente in questo studio si farà riferimento solo al secondo progetto per poter fare il paragone con l'edificio preso in considerazione nella ristrutturazione in modo tale da mantenere inalterate le caratteristiche dimensionali degli spazi che erano presenti nel vecchio immobile.

Considerando le fasi tipiche di *Project Management*, dopo aver vagliato le varie idee del prodotto, si è passati alla pianificazione del progetto procedendo in questo ordine:

- 1) Tramite l'utilizzo di software CAD, è stato disegnato l'edificio definendone le planimetrie, le sezioni e i prospetti;
- 2) Si è intrapreso uno studio dei vari materiali che vengono generalmente utilizzati in edifici di questo genere sia consultando la letteratura sia studiando le proposte di altre aziende costruttrici;
- 3) Si sono definiti i pacchetti delle strutture costituenti l'edificio in legno, come le pareti esterne, i solai interpiano, le pareti divisorie interne, il solaio controterra e la copertura;
- 4) Sono stati scelti i tipi di infissi con caratteristiche energetiche adeguate alle elevate prestazioni dell'edificio;
- 5) Tramite il software di certificazione energetica *Termolog Epix4*, che si basa sul metodo di calcolo quasi stazionario, è stato possibile determinare il fabbisogno energetico dell'edificio per poter dimensionare l'impianto di riscaldamento, con i relativi terminali, e di produzione di acqua calda sanitaria;
- 6) Con i dati sull'impianto di ventilazione meccanica controllata e di riscaldamento, si è potuto determinare la classe energetica dell'edificio prefabbricato in legno per il quale ci si è posti l'obiettivo di raggiungere almeno la classe energetica B.

L'ultima fase fondamentale della pianificazione di un progetto, che comporta anche la decisione dell'azienda di continuare o meno con la produzione e la commercializzazione del prodotto, è rappresentata dalla determinazione dei tempi e dei costi: il primo parametro viene determinato tramite la stesura del Diagramma di Gantt, già spiegato nel Capitolo 2, mentre i costi del progetto si possono prevedere tramite la compilazione di un computo metrico estimativo.

3.5 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO

Come anticipato, tra i due progetti sviluppati in azienda, quello di interesse in questo studio è l'edificio più grande.

Lo stabile è caratterizzato da una superficie utile $S_u=119,6 \text{ m}^2$ e da un volume lordo V_l pari a $395,6 \text{ m}^3$. Come la vecchia casa, sono presenti 4 camere da letto di superficie utile totale pari a 71 m^2 , 2 bagni che ricoprono un'area pari a $8,9 \text{ m}^2$ e una stanza comune di 40 m^2 che funge da cucina e salotto. Il sottotetto dell'edificio è stato adibito a vano tecnico per l'installazione di tutti i componenti dell'impianto per la generazione di calore per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria. L'altezza netta dei locali è pari a $2,7 \text{ m}$.

In Figura 3.7 e 3.8 sono rappresentate rispettivamente le planimetrie del piano terra e del primo piano con il sottotetto.

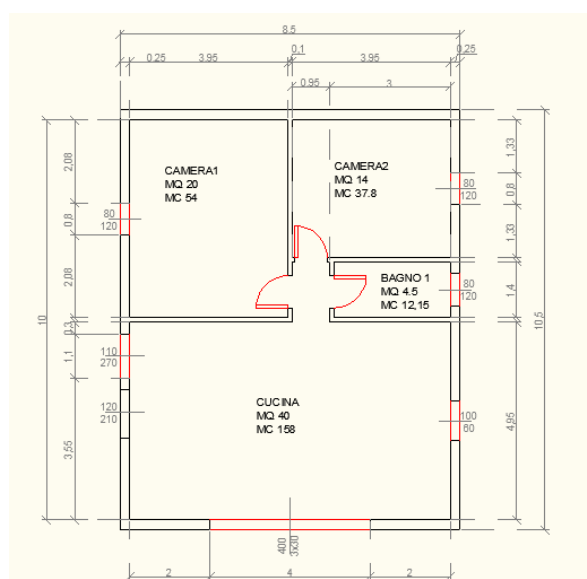


Figura 3.7 Planimetria del piano terra dell'edificio prefabbricato in legno.

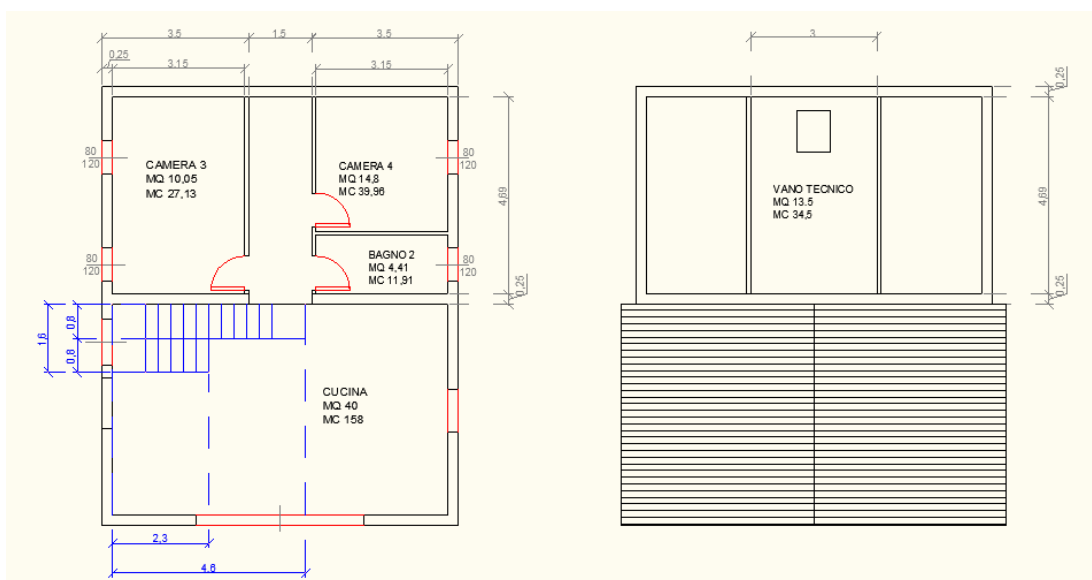


Figura 3.8 Planimetria del primo piano e del sottotetto.

Vengono riportati in Figura 3.9 anche i rendering dell'edificio da varie angolazioni considerando che l'orientamento dell'edificio prevede che le falde del tetto siano rivolte verso Est e verso Ovest.

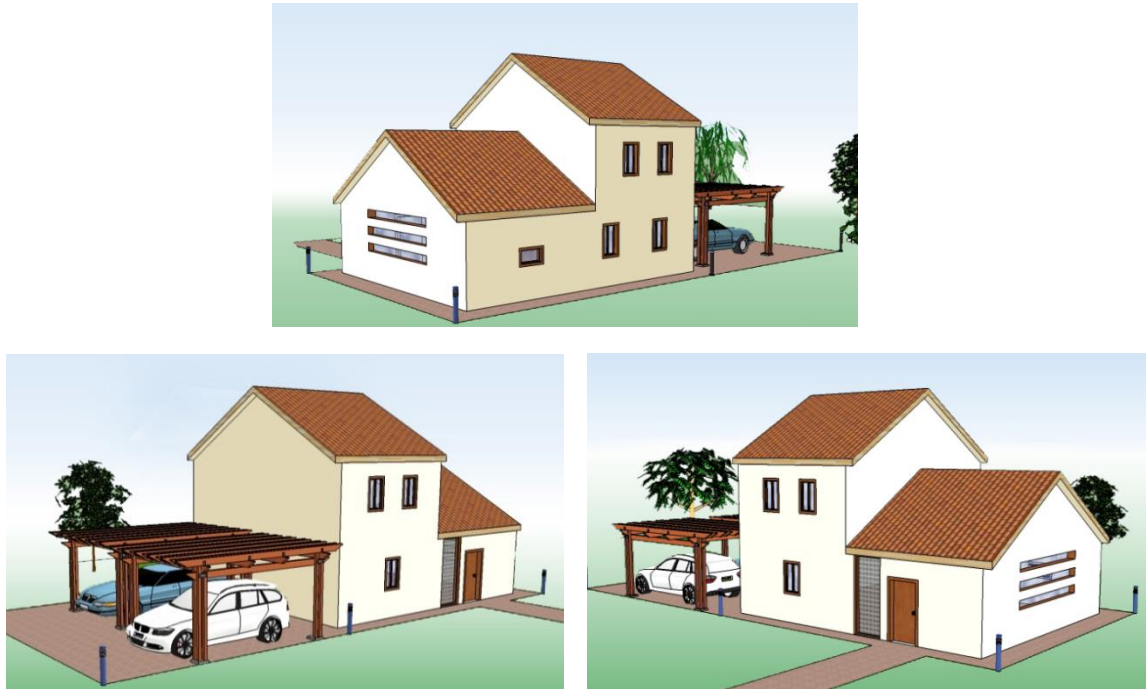
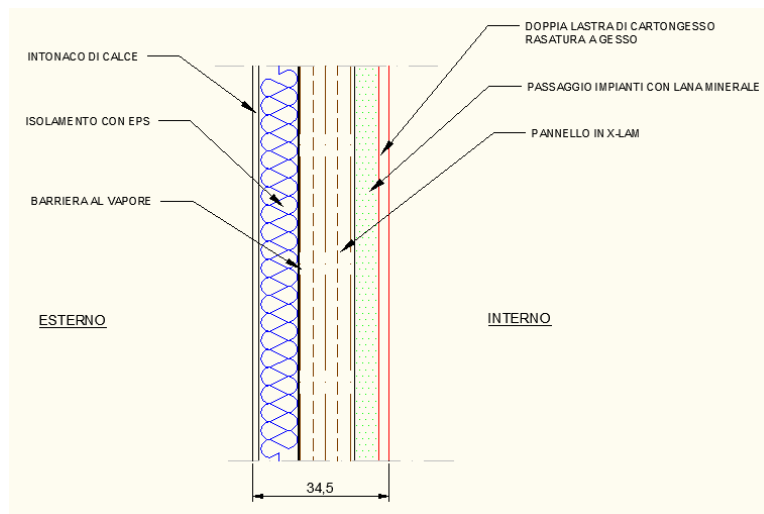


Figura 3.9 Viste da diverse angolazioni dell'edificio nuovo in legno.

3.5.1 STRATIGRAFIE DELLE STRUTTURE OPACHE DISPERDENTI

A seguito dello studio e della ricerca conseguiti sulle strutture tipiche utilizzate negli edifici in legno prefabbricati, si è deciso di progettare la struttura dell'abitazione con le seguenti caratteristiche:

PARETI ESTERNE



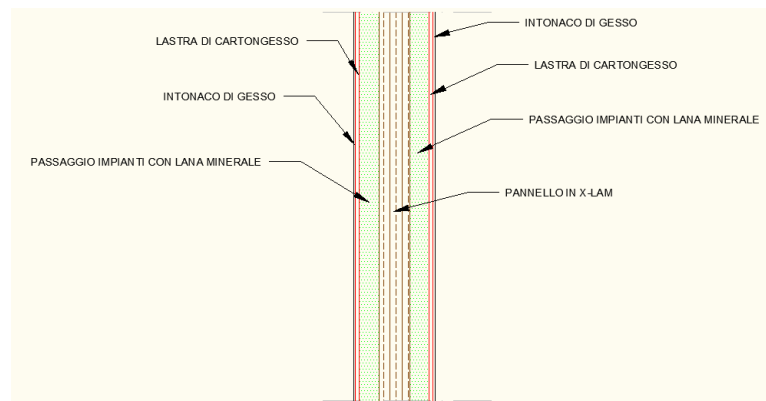
Materiale	Spessore [m]	Conducibilità [W/mK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m² K/W]	Calore specifico [kJ/kg K]
Gesso	0,005	0,35	1200	0,01428	1,09
Cartongesso	0,026	0,21	700	0,1238	1,09
Passaggio impianti (lana minerale)	0,06	0,035	80	1,7143	0,67
Abete rosso X-lam	0,14	0,12	450	1,16667	1,38
Barriera al vapore	0,004	0,05	20	0,08	1
EPS	0,1	0,035	20	2,8571	1,3
Intonaco di calce	0,005	0,9	1800	0,0056	0,84
TOTALE	0,34			4,4124	

$$U_{\text{tot}} = 0,2266 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

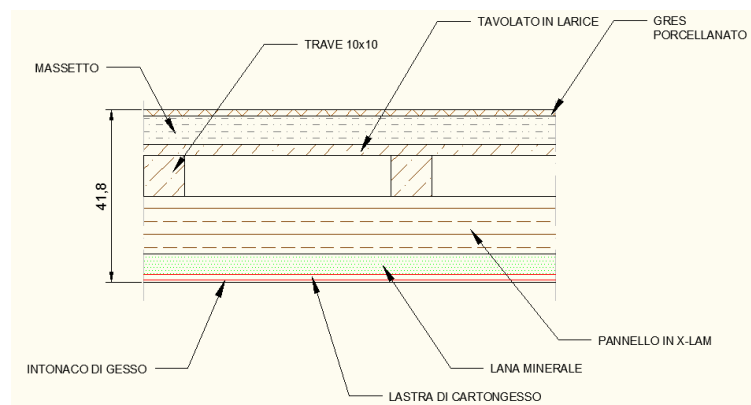
PARETI INTERNE

Materiale	Spessore [m]	Conducibilità [W/mK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m² K/W]	Calore specifico [kJ/kg K]
Gesso	0,005	0,35	1200	0,01428	1,09
Cartongesso	0,01	0,21	740	0,04762	1,09
Lana minerale	0,05	0,035	80	1,4285	0,67
Abete rosso X-lam	0,08	0,18	450	0,44444	1,38
Lana minerale	0,05	0,035	80	1,42857	0,67
Cartongesso	0,01	0,21	740	0,04762	1,09
Gesso	0,005	0,9	1800	0,00556	1,09
TOTALE	0,16			3,66667	

$$U_{\text{tot}} = 0,27273 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$



SOLAIO INTERPIANO



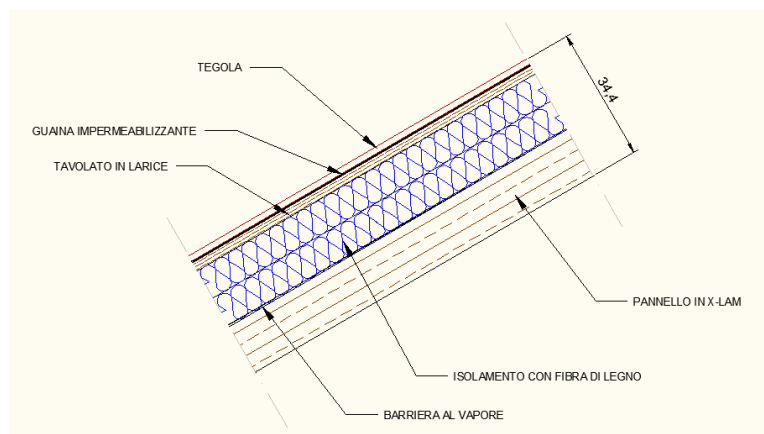
Materiale	Spessore [m]	Conducibilità [W/mK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m² K/W]	Calore specifico [kJ/kg K]
Gres porcellanato	0,01	1,5	500	0,00667	1,3
Massetto	0,7	0,9	1800	0,77	0,91
Tavolato in larice	0,025	0,15	500	0,1667	1,3
Trave 10x10 + Aria	0,1	0,57	1,3	0,174	1
Abete rosso X-lam	0,14	0,12	450	1,1667	1,38
Lana minerale	0,05	0,035	80	1,4285	0,67
Cartongesso	0,0125	0,21	700	0,0595	1,09
Gesso	0,015	0,35	1200	0,04286	1,09
TOTALE	0,3525			3,2949	

$$U_{\text{tot}} = 0,3035 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

COPERTURA

Materiale	Spessore [m]	Conducibilità [W/mK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m² K/W]	Calore specifico [kJ/kg K]
Tegola in laterizio	0,015	0,72	1800	0,0208	0,84
Guaina per impermeabilizzare	0,005	0,044	1200	0,1136	1,47
Tavolato in larice	0,025	0,15	500	0,1667	1,3
Isolamento in fibra di legno	0,16	0,04	100	4	2,1
Barriera al vapore	0,004	0,05	20	0,08	1
Trave in Abete rosso X-lam	0,18	0,15	550	1,2	1,38
TOTALE	0,389			5,803	

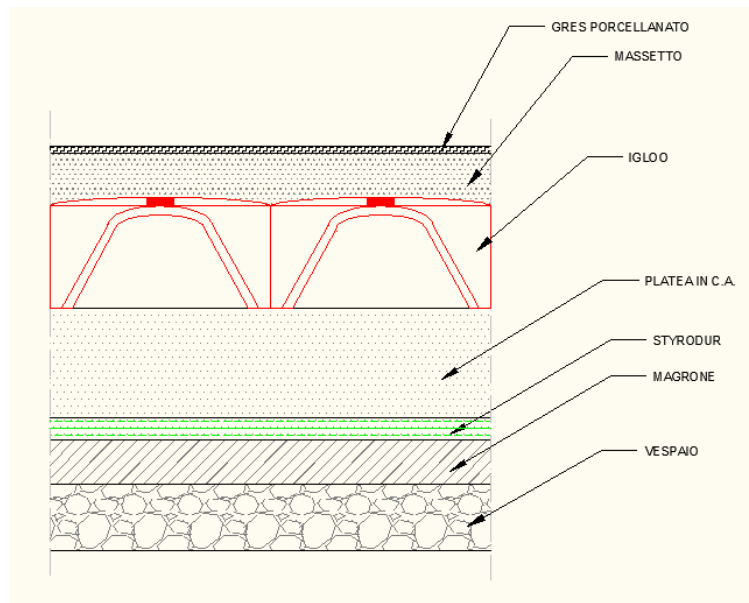
$$U_{\text{tot}} = 0,1723 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$



SOLAIO CONTROTERRA

Materiale	Spessore [m]	Conducibilità [W/mK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m² K/W]	Calore specifico [kJ/kg K]
Grés porcellanato	0,015	1,5	500	0,01	1
Massetto in calcestruzzo	0,1	0,9	1800	0,11	0,91
Igloo (Aria)	0,25	2,778	1,3	0,09	1
Platea in C.A.	0,3	0,24	600	1,25	0,88
Isolamento Styrodur	0,05	0,033	35	1,515	1,45
Magrone	0,1	1	500	0,1	0,88
Vespaio	0,15	1,2	1700	0,125	0,88
TOTALE	0,965			3,3263	

$$U_{\text{tot}} = 0,301 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$



3.5.2 STRUTTURE VETRATE DISPUDENTI

In un edificio con elevate prestazioni energetiche come quello progettato, le componenti vetrate sono molto importanti perché devono essere posizionate in modo tale che la loro presenza sia favorevole al sistema edificio piuttosto che essere sede di forti dispersioni dato l'elevato isolamento delle strutture opache.

Nelle nuove costruzioni, infatti, siano esse edifici tradizionali in mattoni o in legno, la posizione delle strutture vetrate deve avere le seguenti caratteristiche:

- 1) Nel periodo invernale, la superficie dell'edificio esposta a Sud dovrebbe essere occupata da una finestra di ampie dimensioni con lo scopo di sfruttare l'irraggiamento proveniente dal Sole per diminuire il fabbisogno termico degli ambienti richiesti ai terminali; è altresì importante che tale finestra sia opportunamente coperta da aggetti o tettoie in modo tale che, nel periodo estivo, quando il Sole si trova nella posizione più alta, nelle ore più calde della giornata, la vetrata sia protetta dall'irraggiamento solare diretto, permettendo di far entrare la luce naturale del Sole evitando di accendere l'illuminazione artificiale;
- 2) Lo stesso discorso vale per le facciate Est ed Ovest dell'edificio: sulle stanze rivolte ad Est si sfrutta il calore del Sole nelle prime ore del giorno, viceversa per le stanze dell'abitazione rivolte ad Ovest; per queste finestre gli aggetti possono essere meno sporgenti data la minore intensità dell'irraggiamento solare rispetto alla condizione a cui sono esposte le finestre rivolte verso Sud;
- 3) Generalmente si cerca di evitare l'installazione di finestre rivolte verso Nord proprio perché non è possibile ottenere gli obiettivi sopra elencati: in questo caso si favorirebbero le dispersioni termiche del calore verso l'esterno nel periodo invernale.

Per quanto riguarda l'edificio progettato per questo studio, si è previsto di installare finestre che abbiano una trasmittanza termica U_w pari a $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, con telaio in legno e vetro di spessore 4-16-4 basso-emissivo con Argon come gas isolante presente nell'intercapedine.

Nelle Figure 3.10 e 3.11, dove sono riportati rispettivamente i prospetti EST e OVEST, e SUD e NORD dell'edificio: si vuole mettere in evidenza la posizione delle finestre che è stata concepita secondo le indicazioni sopra riportate.

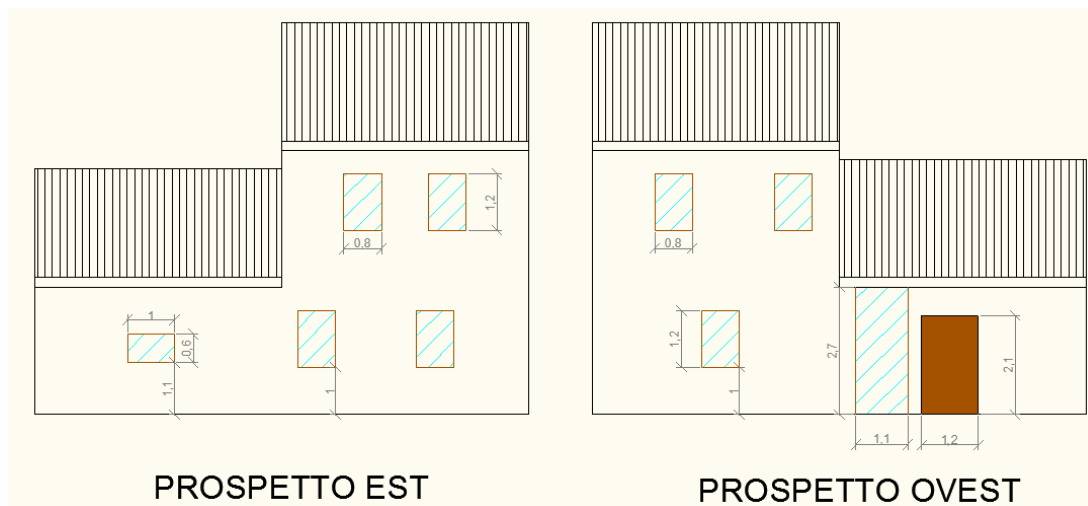


Figura 3.10 Prospetti EST e OVEST dell'edificio prefabbricato in legno.

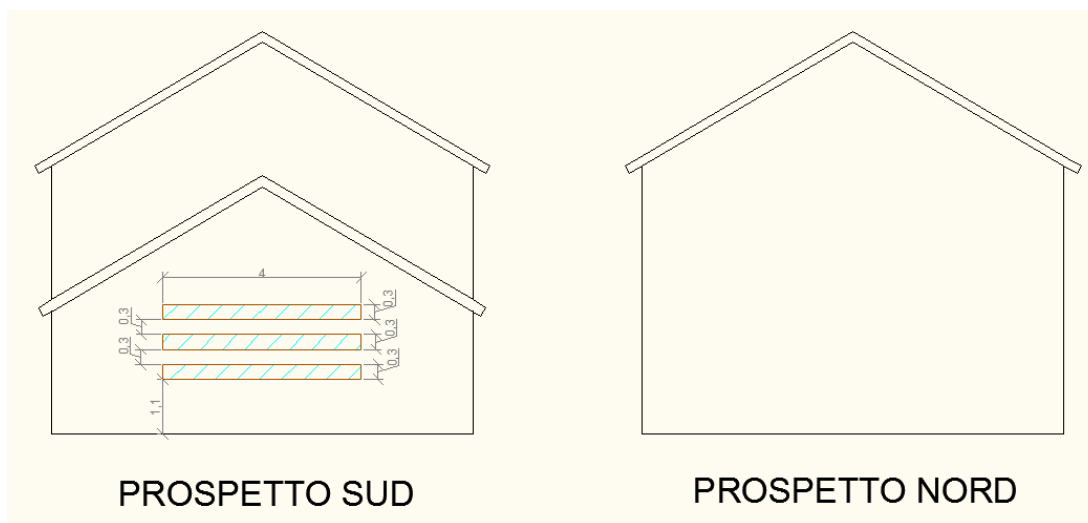


Figura 3.11 Prospetti SUD e NORD dell'edificio prefabbricato in legno.

3.5.3 SCELTA DELL'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO E DI PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA, E DEL SISTEMA DI VENTILAZIONE

Per determinare la tipologia e la taglia dell'impianto di riscaldamento, è necessario procedere al calcolo delle dispersioni termiche e di ventilazione con il metodo stazionario che prevede di analizzare il comportamento dell'edificio nelle condizioni peggiori in cui si può porre: minima temperatura esterna della località in cui si trova e assenza di apporti gratuiti provenienti dalla radiazione solare e dai carichi interni.

Per comodità nel calcolo delle totali dispersioni, si è diviso l'edificio in cinque porzioni con le seguenti dimensioni:

<i>PORZIONE DI EDIFICIO</i>	<i>Superficie calpestabile [m²]</i>	<i>Volume netto [m³]</i>	<i>Superficie vetrata [m²]</i>	<i>Superficie opaca [m²]</i>	<i>Superficie verso terreno [m²]</i>	<i>Superficie verso zona non riscaldata [m²]</i>
ZONA GIORNO	40	158	9,72	49,1	40	0
ZONA NOTTE 1	35,5	95,85	1,92	42,63	35,5	0
ZONA NOTTE 2	35,6	96,12	2,88	46,97	0	35,6
BAGNO 1	4,5	12,15	0,96	3,09	4,5	0
BAGNO 2	4,4	11,88	0,96	7,95	0	4,4

Noti i valori delle trasmittanze delle strutture disperdenti e posto il numero di ricambi d'aria orari pari a 0,3 Vol/h, si riportano le perdite di trasmissione e di ventilazione ottenute dal calcolo:

<i>PORZIONE DI EDIFICIO</i>	<i>Perdite sup.opache</i>	<i>Perdite sup.vetrata</i>	<i>Perdite verso terreno</i>	<i>Perdite verso zona non riscaldata</i>	<i>Perdite totali per trasmissione Ht</i>
ZONA GIORNO	11,29	11,66	10	0	32,95
ZONA NOTTE 1	9,81	2,30	8,875	0	20,98
ZONA NOTTE 2	10,80	3,45	0	7,47	21,73
BAGNO 1	0,711	1,15	1,125	0	2,98
BAGNO 2	1,83	1,15	0	0,92	3,90
TOTALE	34,44	19,71	20	8,39	82,57 W/K

<i>PORZIONE DI EDIFICIO</i>	<i>Perdite per ventilazione Hv</i>
ZONA GIORNO	16,12
ZONA NOTTE 1	9,78
ZONA NOTTE 2	9,80
BAGNO 1	1,24
BAGNO 2	1,21
TOTALE	38,15 W/K

La potenza termica richiesta dall'edificio si calcola sommando i valori delle perdite di trasmissione e di ventilazione, e moltiplicandole per il massimo salto termico tra interno ed esterno dell'edificio pari a 25 K (nelle condizioni invernali, anche per questo progetto, si è deciso di mantenere una temperatura interna di set-point pari a 20°C, mentre la minima temperatura esterna è sempre quella di Piombino Dese, cioè -5°C).

<i>PORZIONE DI EDIFICIO</i>	<i>Perdite totali (Ht+Hv)</i>	<i>Potenza termica [kW]</i>
ZONA GIORNO	49,073	1,23
ZONA NOTTE 1	30,76	0,769
ZONA NOTTE 2	31,54	0,788
BAGNO 1	4,23	0,1057
BAGNO 2	5,12	0,128
TOTALE	120,8	<u>3,02</u>

Dal calcolo effettuato, il risultato ottenuto per la potenza termica richiesta dall'edificio per mantenere la temperatura di set-point desiderata è pari a **3,02 kW**.

L'impianto scelto deve provvedere anche a soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria. Il metodo scelto per la determinazione di questo parametro è lo stesso applicato per l'edificio riqualificato perché si è deciso di seguire il procedimento fornito dalla norma UNI TS 11300-2⁴⁰ utilizzato anche dal software di certificazione energetica *Termolog Epix4*.

Secondo la normativa, l'energia termica $Q_{h,w}$ richiesta per riscaldare una certa quantità di acqua alla temperatura desiderata è:

$$Q_{h,w} = \sum_i \rho \cdot c \cdot V_w \cdot (\theta_{er} - \theta_o) \cdot G \quad [Wh];$$

dove

ρ : densità dell'acqua [kg/m^3];

c : calore specifico dell'acqua pari a 1,162 [$Wh/kg K$];

V_w : volume d'acqua richiesto nel periodo considerato nel calcolo [m^3/G];

θ_{er} : temperatura di erogazione [$^{\circ}C$];

θ_o : temperatura di ingresso dell'acqua fredda sanitaria [$^{\circ}C$];

G : numero di giorni del periodo di calcolo [G].

Per la normativa, la temperatura di erogazione è pari a $40^{\circ}C$, mentre la temperatura dell'acqua fredda dell'acquedotto è pari a $15^{\circ}C$, generando un salto termico $\Delta\theta=25 K$. Con questi valori di temperatura, la normativa prevede che il volume d'acqua richiesta sia determinato con la seguente equazione:

$$V_w = a \cdot N_u \quad \left[\frac{l}{G} \right];$$

dove

a : fabbisogno giornaliero specifico [$l/G m^2$];

N_u : parametro che dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio; nel caso di un'abitazione ad uso residenziale, questo parametro è indentificato dalla superficie calpestabile [m^2].

Il parametro a si ottiene secondo le formule presenti nel Prospetto 12 della norma sopra citata, riportato qui di seguito.

Valori di a per le abitazioni (l/Gm^2)

Fabbisogni	Calcolo in base al valore di S_u per unità immobiliare [m^2]			Valore medio riferito a $S_u = 80 m^2$
	≤ 50	51-200	>200	
a	1,8	$4,514 \times S_u^{-0,2356}$	1,3	1,6
Fabbisogno equivalente di energia termica utile [$Wh/G m^2$]	52,3	$131,22 \times S_u^{-0,2356}$	37,7	46,7
Fabbisogno equivalente di energia termica utile [$kWh/(m^2 \times anno)$]	19,09	$47,9 \times S_u^{-0,2356}$	13,8	17,05

Nel nostro caso, essendo la superficie calpestabile pari a $119,6 m^2$, il volume di acqua sanitaria richiesta è pari a :

$$V_w = 4,514 \cdot S_u^{-0,2356} \cdot S_u = 175 l/G$$

che corrisponde ad un fabbisogno equivalente di energia termica utile pari a $15,02 kWh/m^2$ anno.

In termini di potenza termica necessaria per la produzione istantanea dell'intero fabbisogno di acqua calda sanitaria, si può ottenere il seguente valore:

$$Q_w = m \cdot c_p \cdot \Delta\theta = \frac{175 \cdot 4,186 \cdot 25}{3600} = 5,1 kW.$$

⁴⁰ Vedi Appendice B. Tabella delle normative di riferimento.

Note le potenze termiche necessarie per il riscaldamento dell'edificio e per soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria, è possibile determinare la taglia dell'impianto che deve provvedere ad entrambe le richieste.

SCELTA DELL'IMPIANTO DI GENERAZIONE DI CALORE PER RISCALDAMENTO E ACQUA CALDA SANITARIA.

Per decidere la tipologia di impianto di generazione di calore più adeguato ad alimentare l'edificio prefabbricato in legno, bisogna considerare le seguenti scelte tecniche intraprese:

- 1) Il sistema di emissione è di tipo radiante a pavimento a bassa temperatura;
- 2) Sull'edificio è presente un impianto fotovoltaico di potenza di picco pari a 6 kW.

Per prima cosa si definiscono le caratteristiche dell'impianto radiante a pavimento e dell'impianto fotovoltaico. Il sistema di generazione ottimale sarà quello in grado di soddisfare al meglio queste caratteristiche.

Nella scelta dell'impianto bisogna fare molta attenzione anche al vincolo dello spazio occupato e al peso che il dispositivo di generazione possiede a causa del fatto che il vano tecnico è posizionato nel sottotetto dell'edificio: i solai in legno hanno una resistenza massima di 300 kg/m^2 in accordo con la norma europea EN 14080⁴¹.

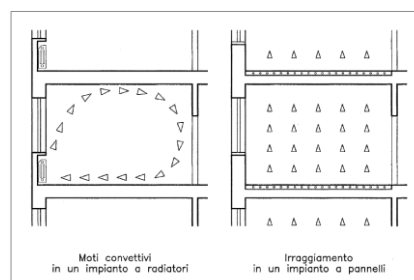
DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO RADIANTE A PAVIMENTO.

Considerando l'elevata efficienza degli edifici prefabbricati in legno, la scelta dei terminali di emissione del calore è ricaduta sui pannelli radianti a pavimento per i seguenti vantaggi che offrono:

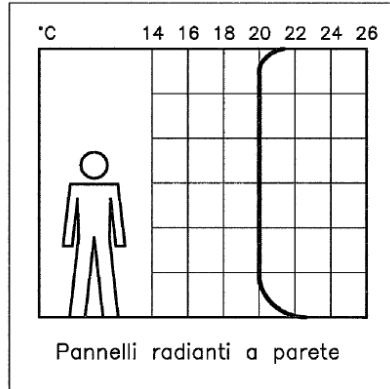
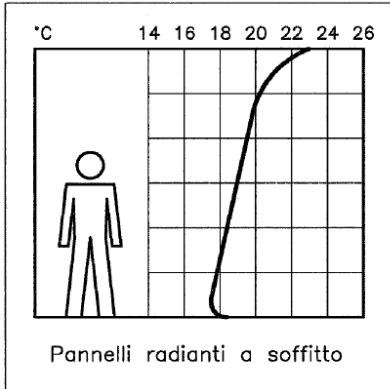
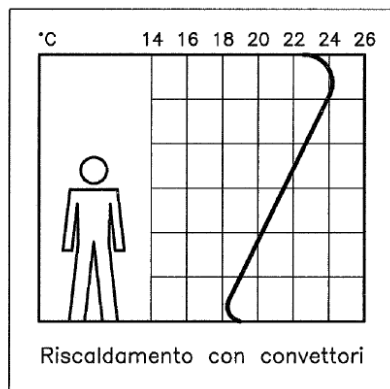
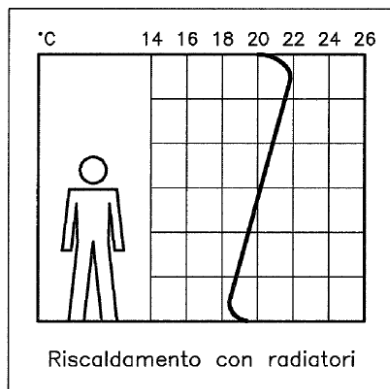
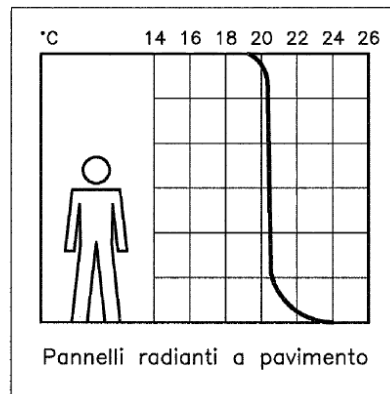
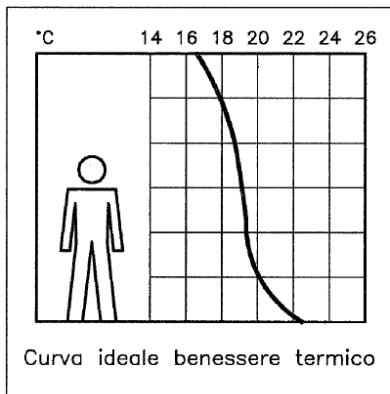
- Benessere termico;
- La qualità dell'aria;
- Le condizioni igieniche;
- L'impatto ambientale,
- Il calore utilizzabile a bassa temperatura;
- Il risparmio energetico.

BENESSERE TERMICO. Per assicurare in un locale una condizione di comfort termico, si devono mantenere zone leggermente più calde a pavimento e leggermente più fredde a soffitto. I terminali di impianto che meglio si prestano a soddisfare questo requisito sono quelli radianti a pavimento per i seguenti motivi:

- 1) La specifica posizione dei pannelli (a pavimento);
- 2) Il fatto che essi cedono prevalentemente calore per irraggiamento, evitando così il formarsi di correnti convettive d'aria calda a soffitto e fredda a pavimento.



⁴¹ Vedi Appendice B. Tabella delle normative di riferimento.



QUALITA' DELL'ARIA. Il riscaldamento a pannelli è in grado di evitare due inconvenienti tipici degli impianti a corpi scaldanti:

- 1) La combustione del pulviscolo atmosferico, che può causare irritazione alla gola e senso di arsura;
- 2) L'elevata circolazione di polvere, che può causare allergie e difficoltà respiratorie.

CONDIZIONI IGIENICHE. Gli impianti a pannelli radianti esercitano un'azione positiva nel mantenimento di buone condizioni igieniche ambientali, in quanto evitano:

- 1) Il formarsi di zone umide a pavimento;
- 2) L'insorgenza di muffe sulle pareti che confinano coi pavimenti caldi.

IMPATTO AMBIENTALE. Nelle costruzioni nuove e negli interventi di recupero con rifacimento dei pavimenti, gli impianti a pannelli radianti sono gli impianti a minor impatto ambientale perché:

- 1) Non pongono limiti di natura estetica. La non visibilità dei pannelli risulta molto importante soprattutto quando si devono climatizzare edifici di rilievo storico o architettonico, dove la presenza di corpi scaldanti può compromettere l'equilibrio delle forme originali;
- 2) Non limitano la libertà di arredo, consentendo così il più razionale utilizzo dello spazio disponibile;
- 3) Non contribuiscono al degrado di intonaci, pavimenti in legno e serramenti, in quanto:
 - non sporcano le pareti di nerofumo,
 - non consentono il formarsi di umidità a pavimento,
 - limitano i casi di condensa interna perché aumentano la temperatura delle pareti interne.

CALORE UTILIZZABILE A BASSA TEMPERATURA. Per merito della loro elevata superficie disperdente, gli impianti a pannelli radianti possono riscaldare con basse temperature del fluido termovettore. Questa caratteristica rende conveniente il loro uso con sorgenti di calore la cui resa (termodinamica ed economica) aumenta al diminuire della temperatura richiesta, come nel caso di:

- Pompe di calore,
- Caldaie a condensazione,
- Pannelli solari,
- Sistemi di recupero di calore,
- Sistemi di teleriscaldamento.

RISPARMIO ENERGETICO. Rispetto ai sistemi di riscaldamento tradizionali, gli impianti a pannelli consentono apprezzabili risparmi energetici per due motivi:

- 1) La maggiore temperatura operante che consente (a parità di temperatura ambiente) risparmi medi variabili dal 5 al 10%;
- 2) Il minor gradiente termico tra pavimento e soffitto che comporta risparmi energetici tanto più elevati quanto maggiore è l'altezza dei locali.

Motivi di risparmio energetico possono considerarsi anche:

- L'uso di basse temperature che riduce le dispersioni lungo le tubazioni;
- Il non surriscaldamento delle pareti poste dietro al radiatore;
- La mancanza di moti convettivi d'aria calda sulle superfici vetrate.

Mediamente gli impianti a pannelli radianti consentono un risparmio energetico variabile dal 10% al 15%.

I limiti e gli svantaggi degli impianti a pannelli radianti sono connessi principalmente a:

- Temperatura superficiale del pavimento;
- Inerzia termica dell'impianto;
- Difficoltà della progettazione.

TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL PAVIMENTO. Per evitare condizioni di malessere fisiologico la temperatura superficiale del pavimento deve essere inferiore a 28-29°C. Tali valori consentono di determinare la potenza termica massima (Q_{max}) cedibile da un pannello.

Se Q_{max} è inferiore della potenza termica richiesta Q , si possono considerare due casi:

- 1) Q_{max} è inferiore a Q solo in pochi locali: in questo caso si può ricorrere a corpi scaldanti di integrazione.
- 2) Q_{max} è inferiore a Q in tutti o nella maggior parte dei locali: conviene adottare impianti di tipo tradizionale.

INERZIA TERMICA E TIPO DI UTILIZZO DELL'IMPIANTO. Gli impianti a pannelli sono caratterizzati dall'aver un'elevata inerzia termica, in quanto, per cedere calore, utilizzano le strutture in cui sono annegati i pannelli stessi.

In ambienti riscaldati con una certa continuità l'inerzia termica di questi impianti non pone alcun problema e consente:

- Un buon adeguamento dell'impianto alle condizioni climatiche esterne,
- Interruzioni o rallentamenti di funzionamento, con tempi di attivazione e disattivazione dell'impianto che vanno normalmente anticipati di due ore.

Per contro in ambienti riscaldati solo per brevi periodi l'inerzia termica degli impianti a pannelli comporta sensibili sfasamenti tra i tempi di avviamenti e quelli di effettivo utilizzo. Pertanto in questi casi conviene ricorrere ad altri sistemi di riscaldamento.

DIFFICOLTA' DELLA PROGETTAZIONE. A differenza di quelli tradizionali a corpi scaldanti, gli impianti a pannelli richiedono:

- Maggior impegno nella determinazione dei parametri di progetto. Infatti, oltre ai parametri necessari per determinare le dispersioni termiche dei locali, la progettazione di impianti a pannelli richiede anche la conoscenza dettagliata di tutti gli elementi costruttivi che riguardano i pavimenti e i solai;
- Calcoli più complessi e laboriosi;
- Minor adattamento a varianti in corso d'opera o ad impianto ultimato perché non è possibile togliere o aggiungere porzioni di pannello come è invece possibile con impianti a radiatori.

Altre caratteristiche importanti degli impianti radianti sono:

- Possibilità di raffrescamento dei locali;
- Costi di realizzazione e di gestione;
- Varie applicazioni.

RAFFRESCAMENTO DEI LOCALI. Gli impianti radianti a pavimento permettono anche il raffrescamento dei locali. Si deve tuttavia considerare che essi presentano in merito due limiti ben precisi:

- 1) La limitata resa frigorifera,
- 2) L'incapacità di deumidificare.

La bassa resa frigorifera dipende dal fatto che negli impianti a pannelli non è possibile abbassare troppo la temperatura del pavimento senza provocare fenomeni di condensa superficiale. Per questo motivo risulta difficile ottenere potenze frigorifere superiori a 40-50 W/m².

L'incapacità di deumidificare dipende invece dalla natura stessa degli impianti a pannelli i cui terminali non possono far condensare ed evacuare parte dell'acqua contenuta nell'aria. Condizioni igrometriche di benessere si possono ottenere solo con l'ausilio di deumidificatori.

COSTI DI REALIZZAZIONE E DI GESTIONE. È difficile stabilire dei dati medi significativi in merito ai costi richiesti per realizzare un impianto radiante a pavimento perché sono molti i fattori da considerare:

- Il tipo di impianto (autonomo o centralizzato),
- Il sistema di regolazione,
- La resistenza termica dei pavimenti,
- Il costo dei materiali isolanti da posizionare sotto l'impianto,
- Il costo e la quantità dei tubi costituente l'impianto.

Si può comunque ritenere che gli impianti radianti a pavimento costino dal 10% al 30% in più rispetto ai sistemi con radiatori e regolazione climatica.

Per quanto riguarda i costi di gestione, gli impianti a pannelli consentono risparmi mediamente variabili dal 10% al 15% rispetto agli impianti tradizionali: consentono di ammortizzare in tempi relativamente brevi il maggiore costo sostenuto per la loro realizzazione.

VARIE APPLICAZIONI. Da soli o integrati con un impianto di trattamento dell'aria, gli impianti radianti possono essere utilizzati per scaldare: case singole e a schiera, condomini, asili, scuole, palestre, piscine, musei, biblioteche, ospedali, alberghi, magazzini e capannoni. Possono essere utilizzati anche per tener sgombri da neve e ghiaccio: parcheggi, rampe di garage, scalinate, piste di aeroporti e campi sportivi.

Per il dimensionamento dell'impianto radiante a pavimento dell'edificio prefabbricato in legno sono state seguite le indicazioni di calcolo fornite dalla norma UNI EN 1264⁴².

I parametri necessari per il calcolo del flusso di calore emesso dal pannello radiante si possono suddividere nei seguenti gruppi:

- 1- Parametri relativi alle condizioni al contorno:
 - temperatura ambiente, t_a (°C),
 - temperatura del locale o del terreno sottostante, t_s (°C).
- 2- Parametri relativi alla configurazione dei pannelli:
 - superficie coperta dal pannello, S (m²),
 - interasse di posa dei tubi, I (m).
- 3- Parametri relativi al tipo di tubo:
 - diametro esterno, D_e (m),
 - diametro interno, D_i (m),
 - conducibilità termica del tubo, λ_t (W/mK).
- 4- Parametri relativi alla struttura contenitiva dei pannelli:
 - resistenza termica del pavimento, R_p (m²K/W),
 - spessore del massetto sopra i tubi, s_m (m),
 - conducibilità termica del massetto, λ_m (W/mK),
 - resistenza termica sotto il pannello, R_s (m²K/W).
- 5- Parametri relativi alla temperatura del fluido termovettore:
 - temperatura di entrata del fluido termovettore, t_e (°C).

Secondo la normativa, il flusso di calore verso l'alto emesso da un pannello può essere calcolato con la formula seguente:

$$Q = S \cdot \Delta t \cdot B \cdot F_p \cdot F_I \cdot F_m \cdot F_D \quad [W]$$

dove:

S : superficie coperta dal pannello [m²];

Δt : media logaritmica fra la temperatura del fluido termovettore e la temperatura ambiente [°C];

B : fattore relativo alle caratteristiche del tubo [W/m²K];

F_p : fattore relativo alla resistenza termica del pavimento (adimensionale);

F_I : fattore relativo all'interasse dei tubi (adimensionale);

F_m : fattore relativo allo spessore del massetto sopra i tubo (adimensionale);

F_D : fattore relativo al diametro esterno del tubo (adimensionale).

MEDIA LOGARITMICA FRA LA TEMPERATURA DEL FLUIDO E LA TEMPERATURA AMBIENTE.

Si calcola con la formula:

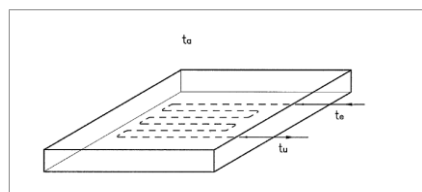
$$\Delta t = \frac{t_e - t_u}{\ln \frac{t_e - t_a}{t_u - t_a}}$$

⁴² Vedi Appendice B. Tabella delle normative di riferimento.

dove:

t_e : temperatura in entrata del fluido scaldante [°C],

t_u : temperatura in uscita del fluido scaldante [°C].



FATTORE RELATIVO ALLE CARATTERISTICHE DEL TUBO.

Si indica con B e si considera $B=B_0=6,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ per tubi si spessore $s_t=0,002\text{m}$ e conduttività termica $\lambda_t=0,35 \text{ W/mK}$.

FATTORE RELATIVO ALLA RESISTENZA TERMICA DEL PAVIMENTO.

Si indica con il simbolo F_p e può essere determinato o con la Tabella 13 o tramite la formula seguente:

$$F_p = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{m0}}{\lambda_{m0}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{m0}}{\lambda_m} + R_p}$$

dove:

$\alpha= 10,8 \text{ W/m}^2\text{K}$,

$s_{m0}= 0,045 \text{ m}$,

$\lambda_{m0}= 1 \text{ W/mK}$.

Tabella 13 Fattori relativi alla resistenza del pavimento.

Conducibilità massetto W/mK	Resistenza termica del pavimento, $\text{m}^2\text{K/W}$			
	0,00	0,05	0,10	0,15
2,0	1,196	0,833	0,640	0,519
1,5	1,122	0,797	0,618	0,505
1,2	1,058	0,764	0,598	0,491
1,0	1,000	0,734	0,579	0,478
0,8	0,924	0,692	0,553	0,460
0,6	0,821	0,632	0,514	0,433

FATTORE RELATIVO ALL'INTERASSE DEI TUBI.

Si indica con il simbolo F_I e si determina con la formula:

$$F_I = A_I^x$$

dove il fattore A_I è determinabile dalla Tabella 14 e il parametro x si ottiene con l'equazione:

$$x = 1 - \frac{I}{0,075}$$

Tabella 14 Valori del fattore A_I .

$R_p= 0,00$	$R_p= 0,05$	$R_p= 0,10$	$R_p= 0,15$
$A_I= 1,230$	$A_I= 1,188$	$A_I= 1,156$	$A_I= 1,134$

FATTORE RELATIVO ALLO SPESSORE DEL MASSETTO SOPRA I TUBI.

È indicato con il simbolo F_m e si calcola dalla formula:

$$F_m = A_m^y$$

dove il fattore A_m si ricava dalla Tabella 15 e il termine y è calcolabile con la formula:

$$y = 100 \cdot (0,045 - s_m)$$

Tabella 15 Valori del fattore A_m .

Interasse m	Resistenza termica del pavimento, m ² K/W			
	0,00	0,05	0,10	0,15
0,050	1,069	1,056	1,043	1,037
0,075	1,066	1,053	1,041	1,035
0,100	1,063	1,050	1,039	1,033
0,150	1,057	1,046	1,035	1,031
0,200	1,051	1,041	1,031	1,027
0,225	1,048	1,038	1,029	1,026
0,300	1,04	1,031	1,024	1,021
0,375	1,03	1,024	1,02	1,016

FATTORE RELATIVO AL DIAMETRO ESTERNO DEI TUBI.

Si indica con il simbolo F_D e si ottiene dalla formula:

$$F_D = A_D^z$$

dove il fattore A_D è determinabile dalla Tabella 16 mentre il termine z si ricava dalla formula:

$$z = 250 \cdot (D_e - 0,020)$$

Tabella 16 Valori del fattore A_D .

Interasse m	Resistenza termica del pavimento, m ² K/W			
	0,00	0,05	0,10	0,15
0,050	1,013	1,013	1,012	1,011
0,075	1,021	1,019	1,016	1,014
0,100	1,029	1,025	1,022	1,018
0,150	1,040	1,034	1,029	1,024
0,200	1,046	1,040	1,035	1,030
0,225	1,049	1,043	1,038	1,033
0,300	1,053	1,049	1,044	1,039
0,375	1,056	1,051	1,046	1,042

Noto il flusso di calore emesso verso l'alto dal pannello Q , è possibile calcolare il flusso totale che esso emette attraverso la formula:

$$Q_t = (t_e - t_u) \cdot G \cdot 1,16 \quad [W];$$

dove G è la portata d'acqua nel pannello, espressa in l/h.

La portata del pannello viene determinata dall'equazione seguente:

$$G = \frac{Q}{(t_e - t_u) \cdot 1,16} \cdot \left[1 + \frac{\frac{1}{\alpha} + R_p + \frac{s_m}{\lambda_m} + \frac{S \cdot (t_a - t_s)}{Q \cdot R_s}}{R_s} \right]$$

ponendo $\alpha=10,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Seguendo il metodo proposto dalla normativa, è stato dimensionato l'impianto radiante a pavimento dell'edificio prefabbricato in legno.

I dati necessari per il calcolo del flusso di calore emesso dal pannello e dalla portata d'acqua che vi circola possono essere suddivisi in due gruppi: il primo gruppo riguarda i parametri in comune fra tutti i locali, mentre altri dati saranno definiti per il singolo locale.

Dati generali:

- Temperatura ambiente: $t_a = 20^\circ\text{C}$,
- Interasse di posa dei tubi: $I = 0,15\text{m}$,
- Diametro esterno: $D_e = 0,017 \text{ m}$,
- Spessore del tubo: $s_t = 0,002 \text{ m}$,
- Diametro interno: $D_i = 0,013 \text{ m}$,
- Conducibilità termica del tubo: $\lambda_t = 0,35 \text{ W/mK}$ (*materiale del tubo: PEX*),
- Resistenza termica del pavimento: $R_p = 0,01 \text{ m}^2\text{K/W}$ (pavimento in grés porcellanato),
- Spessore del massetto sopra i tubi: $s_m = 0,07 \text{ m}$,
- Conducibilità termica del massetto: $\lambda_m = 0,9 \text{ W/mK}$,
- Temperatura in entrata del fluido termovettore: $t_e = 35^\circ\text{C}$,
- Temperatura in uscita del fluido termovettore: $t_u = 30^\circ\text{C}$.

Posto che la superficie occupata dai pannelli radianti S sia pari alla superficie calpestabile del locale, è possibile determinare il flusso di calore verso l'alto emesso dal pannello per ciascun locale, utilizzando la formula sopra indicata:

$$Q = S \cdot \Delta t \cdot B \cdot F_p \cdot F_l \cdot F_m \cdot F_D \quad [W],$$

Con i dati iniziali sopra impostati è possibile calcolare:

- $\Delta t = 12,33 \text{ }^\circ\text{C}$;
- $B = B_0 = 6,7 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- $F_p = 0,763$;
- $F_l = 0,904$;
- $F_m = 0,918$;
- $F_D = 0,979$;

che sono parametri validi per ogni locale. In Tabella 17 sono riportati i risultati ottenuti per il flusso di calore emesso verso l'alto di ciascun pannello installato in ogni locale, nota la superficie occupata dal pannello stesso.

Tabella 17 Flusso di calore emesso verso l'alto dal pannello.

<i>LOCALE DELL'EDIFICIO</i>	<i>Superficie occupata dal pannello [m²]</i>	<i>Flusso di calore emesso verso l'alto dal pannello [W]</i>
ZONA GIORNO	40	2426,49
CAMERA 1	20	1213,25
CAMERA 2	14	849,272
CAMERA 3	10,05	609,65
CAMERA 4	14,8	897,80
BAGNO 1 ⁴³	3,5	212,32
BAGNO 2	3,41	206,86

⁴³ Per ciascun bagno si è tolto 1m² dalla superficie calpestabile supponendo la presenza di una doccia.

Seguendo le indicazioni della normativa, per determinare il flusso termico totale emesso da un pannello radiante bisogna prima calcolare la portata di fluido termovettore circolante nei tubi con la formula già definita precedentemente.

In questo caso bisogna indicare dei dati che sono diversi per i locali del piano terra rispetto a quelli del primo piano:

- la temperatura t_s è pari a quella del terreno del luogo in cui viene edificato l'immobile (13°C per le zone della provincia di Padova) per i primi ed è pari alla temperatura ambiente (20°C) per i secondi;
- la resistenza termica sotto il pannello R_s è uguale a 3,07 m²K/W per i locali del piano terra ed è di 4,53 m²K/W per quelli del primo piano a causa della differente struttura del solaio controterra rispetto a quello interpiano.

Applicando le equazioni sopra descritte e impostando i dati definiti, nella Tabella 18 vengono riportati i risultati del calcolo della portata d'acqua G e quindi del flusso di calore totale emesso dal pannello.

Tabella 18 Portata d'acqua e flusso di calore totale emesso del pannello.

<i>LOCALE DELL'EDIFICIO</i>	<i>Portata circolante nel pannello [l/h]</i>	<i>Flusso di calore totale emesso dal pannello [W]</i>
ZONA GIORNO	458,66	2660,26
CAMERA 1	229,33	1330,13
CAMERA 2	160,53	931,1
CAMERA 3	115,24	668,4
CAMERA 4	169,71	984,29
BAGNO 1	40,13	232,77
BAGNO 2	39,10	226,787

Una volta ottenuti i risultati del flusso di calore emesso verso l'alto e totale del pannello e della portata d'acqua bisogna effettuare le seguenti verifiche:

- 1) temperatura superficiale del pavimento,
- 2) la portata del pannello,
- 3) lunghezza massima dei tubi,
- 4) velocità del fluido circolante,
- 5) la potenza termica richiesta dall'ambiente.

TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL PAVIMENTO.

Si può verificare applicando la seguente formula:

$$t_p = t_a + \left(\frac{q}{8,92} \right)^{\frac{1}{1,1}} \quad [^{\circ}C]$$

dove q è la potenza termica specifica emessa verso l'alto del pannello (W/m²).

Per evitare condizioni di malessere fisiologico, è necessario che la temperatura superficiale a pavimento sia inferiore a:

- 29°C in ambienti dove ci si sofferma in permanenza,
- 33°C in locali bagno, doccia e piscine,
- 35°C in zone perimetrali o in locali dove si accede raramente.

Il rispetto di tali valori comporta precisi limiti alla potenza termica cedibile da un pannello. In particolare (con temperatura ambiente di 20°C) la potenza specifica massima cedibile da un pannello risulta:

- $q_{\max} = 8,92 \cdot (29 - 20)^{1,1} = 100 \text{ W/m}^2$;
- $q_{\max} = 8,92 \cdot (33 - 20)^{1,1} = 150 \text{ W/m}^2$;
- $q_{\max} = 8,92 \cdot (35 - 20)^{1,1} = 175 \text{ W/m}^2$.

Considerando i vincoli imposti, si verifica se l'impianto dimensionato è compatibile. I risultati si possono consultare nella Tabella 19: la temperatura superficiale a pavimento è verificata in tutti i locali.

Tabella 19 Verifica della temperatura superficiale a pavimento.

<i>LOCALE DELL'EDIFICIO</i>	<i>Flusso di calore emesso verso l'alto [W]</i>	<i>Superficie occupata dal pannello [m²]</i>	<i>Flusso termico specifico [W/m²]</i>	<i>Temperatura superficiale a pavimento, t_p [°C]</i>
ZONA GIORNO	2426,491	40	60,66227	25,71304
CAMERA 1	1213,245	20	60,66227	25,71304
CAMERA 2	849,2718	14	60,66227	25,71304
CAMERA 3	609,6558	10,05	60,66227	25,71304
CAMERA 4	897,8016	14,8	60,66227	25,71304
BAGNO 1	212,3179	3,5	60,66227	25,71304
BAGNO 2	206,8583	3,41	60,66227	25,71304

PORTATA DEL PANNELLO.

Considerando che la portata massima di un pannello è mediamente compresa tra:

- 200 ÷ 220 l/h , per tubi con D_i=16mm,
- 120 ÷ 130 l/h , per tubi con D_i=13 mm,

è possibile determinare la massima potenza termica che un pannello può cedere in relazione al suo diametro interno. In particolare, posto il salto termico pari a 5°C, risulta:

- $Q_{\max} = (200 \div 220) \cdot 5 \cdot 1,16 = 1160 \div 1276 \text{ W}$, per tubi di D_i=16mm,
- $Q_{\max} = (120 \div 130) \cdot 5 \cdot 1,16 = 696 \div 754 \text{ W}$, per tubi di D_i=13mm.

In questo modo è possibile capire se un locale richiede uno o più pannelli.

Considerando che il diametro interno del tubo utilizzato nel caso in esame è pari a 13 mm, bisogna verificare i limiti di portata massima per ciascun locale:

- **ZONA GIORNO:** essendo la portata richiesta (G= 458,66 l/h) oltremodo superiore a quella limite, si è deciso di servire il locale con quattro pannelli, ciascuno del quale occupa una superficie di 10 m². Dividendo per quattro il locale, in ogni pannello circola una portata pari a 114,66 l/h producendo la potenza totale di 665,065 W verificando i limiti imposti.
- **CAMERA 1:** avendo una superficie totale di 20 m², anche in questo caso si è deciso di installare due circuiti che occupano un'area di 10 m² con la stessa portata circolante nel singolo pannello del caso precedente.
- **CAMERA 2:** in questo caso, essendo la portata totale di 160,53 l/h, si è divisa la stanza in due porzioni da 7 m² nelle quali circola una portata di 80,27 l/h rispettando a pieno i limiti definiti.

- **CAMERA 3:** la portata d'acqua e il flusso di calore totale massimi sono verificati, quindi in questo locale è presente un solo circuito.
- **CAMERA 4:** per verificare la portata e il flusso termico massimo, la superficie calpestabile è stata divisa in due porzioni da 7,4 m² ciascuna con flusso termico pari a 492,15 W e portata d'acqua di 84,85 l/h.
- **BAGNO 1 E BAGNO 2:** entrambi richiedono un unico circuito perché rispettano i limiti imposti avendo rispettivamente una portata d'acqua richiesta di 40,13 l/h e 39,10 l/h e un flusso termico totale di 232,77 W e 226,79 W.

LUNGHEZZA MASSIMA DEI TUBI.

Non esistono particolari limiti in merito a questa grandezza. Nelle applicazioni civili, è però consigliabile non andare oltre le lunghezze commerciali dei rotoli di tubo (120 ÷ 150 m).

Per determinare a grandi linee la lunghezza del tubo per ciascun circuito si può applicare la seguente formula:

$$L = 100 \cdot \frac{S}{I} \quad [m]$$

dove S è la superficie occupata dal singolo circuito espresso in m², mentre I è l'interasse fra i tubi espresso in cm.

In Tabella 20 sono riportati i risultati delle lunghezze del tubo ottenuti applicando la formula. Si può verificare che la lunghezza massima di tubo di ciascun circuito è inferiore del valore massimo indicato precedentemente.

Tabella 20 Verifica della lunghezza massima del pannello.

<i>LOCALE DELL'EDIFICIO</i>	<i>Interasse [cm]</i>	<i>Superficie occupata dal circuito [m²]</i>	<i>Lunghezza del circuito [m]</i>	<i>Numero di circuiti</i>	<i>Lunghezza totale dei tubi [m]</i>
ZONA GIORNO	15	10	66,6667	4	266,6667
CAMERA 1	15	10	66,6667	2	133,3333
CAMERA 2	15	7	46,6667	2	93,33333
CAMERA 3	15	10,05	67	1	67
CAMERA 4	15	7,4	49,333	2	98,66667
BAGNO 1	15	3,5	23,333	1	23,33333
BAGNO 2	15	3,41	22,733	1	22,73333

VELOCITA' DEL FLUIDO CIRCOLANTE.

È consigliabile non accettare soluzioni con velocità del fluido troppo basse, essenzialmente per due motivi:

- 1) Impedire il ristagno di bolle d'aria,
- 2) Evitare che il flusso del fluido avvenga in regime laminare, dato che le formule di emissione dei pannelli sono valide solo in regime turbolento.

Normalmente sono accettabili velocità superiori a 0,1m/s. La velocità massima accettabile è invece legata alla rumorosità che il passaggio dell'acqua genera ed è di circa 1÷1,5 m/s.

In Tabella 21 sono state riportate le portate del singolo circuito calcolate precedentemente e la sezione di passaggio del tubo considerando un diametro interno di 13 mm. Con questi dati è stata determinata la velocità del fluido: se questa risultava interna all'intervallo di validità, la portata rimaneva invariata, se risultava minore, si imponeva una velocità minima pari a 0,1 m/s e veniva ricalcolata la portata d'acqua necessaria.

Tabella 21 Verifica della velocità del fluido termovettore.

<i>LOCALE DELL'EDIFICIO</i>	<i>Portata d'acqua [l/h]</i>	<i>Portata d'acqua [m³/s]</i>	<i>Sezione di passaggio [m²]</i>	<i>Velocità del fluido [m/s]</i>	<i>Velocità minima accettabile [m/s]</i>	<i>Verificata</i>	<i>Nuova portata [m³/s]</i>	<i>Nuova portata [l/h]</i>
ZONA GIORNO	114,66	3,18 10 ⁻⁵	0,0001325	0,2396	0,1	SI	3,18 10 ⁻⁵	114,66
CAMERA 1	114,66	3,18 10 ⁻⁵	0,0001325	0,2396	0,1	SI	3,18 10 ⁻⁵	114,66
CAMERA 2	80,266	2,22 10 ⁻⁵	0,0001325	0,1678	0,1	SI	2,22 10 ⁻⁵	80,2664
CAMERA 3	115,24	3,19 10 ⁻⁵	0,0001325	0,2408	0,1	SI	3,19 10 ⁻⁵	115,24
CAMERA 4	84,85	2,35 10 ⁻⁵	0,0001325	0,1773	0,1	SI	2,35 10 ⁻⁵	84,85
BAGNO 1	40,13	1,11 10 ⁻⁵	0,0001325	0,0839	0,1	NO	1,33 10 ⁻⁵	47,85
BAGNO 2	39,1	1,08 10 ⁻⁵	0,0001325	0,0817	0,1	NO	1,33 10 ⁻⁵	47,85

POTENZA TERMICA RICHIESTA DALL'AMBIENTE.

L'ultimo importante controllo consiste nel verificare se la potenza termica totale emessa dal pannello è sufficiente per mantenere la temperatura di set-point richiesta dall'ambiente. Affinché questo sia verificato bisogna che il flusso di calore totale emesso dal pannello sia superiore della potenza termica richiesta dai locali. Se così non fosse, è necessario o aggiungere un ulteriore corpo scaldante in ausilio o modificare il tipo di sistema di emissione.

Nella Tabella 22 si può verificare che è sufficiente l'impianto radiante a pavimento per riscaldare l'edificio. In molte applicazioni, come nei bagni, si installa anche un radiatore elettrico di tipo "scalda-salviette" per poter garantire un calore immediato nei periodi di mezza stagione oppure quando l'impianto a pavimento è appena acceso e bisogna aspettare un certo periodo di tempo affinché raggiunga la giusta temperatura.

Tabella 22 Verifica di soddisfacimento del fabbisogno termico dell'edificio.

<i>LOCALE DELL'EDIFICIO</i>	<i>Potenza termica richiesta [kW]</i>	<i>Flusso di calore totale emesso dal pannello [kW]</i>
ZONA GIORNO	1,226	2,66
CAMERA 1	0,4332	1,33
CAMERA 2	0,30324	0,931
CAMERA 3	0,2226075	0,668
CAMERA 4	0,32782	0,984
BAGNO 1	0,106	0,233
BAGNO 2	0,127	0,227

SISTEMA DI REGOLAZIONE.

L'ultimo punto fondamentale della progettazione dell'impianto radiante a pavimento è il sistema di regolazione. I sistemi di regolazione degli impianti a pannelli devono essere in grado di:

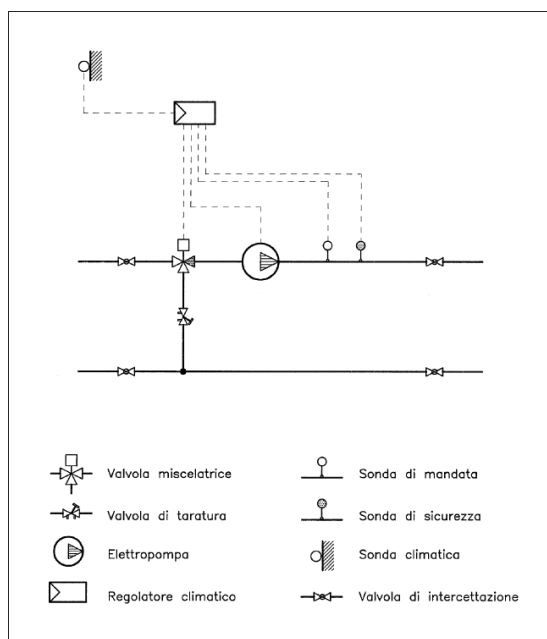
- 1) Consentire la cessione del calore richiesto in modo da ottimizzare il comfort termico e il risparmio energetico,
- 2) Impedire l'invio di fluido troppo caldo ai pannelli, in quanto può causare rotture e fessurazioni dei pavimenti e delle strutture murarie,
- 3) Evitare la condensa dei fumi in caldaia nelle caldaie di tipo tradizionale, per non dar luogo a fenomeni di corrosione che possono compromettere la tenuta della caldaia stessa.

Per ottimizzare la cessione del calore conviene generalmente adottare una regolazione di tipo climatico. Queste regolazioni permettono di minimizzare il calore nelle solette e pertanto consentono di minimizzare anche i tempi richiesti all'impianto per adeguarsi al carico termico richiesto. Si possono convenientemente adottare sia regolazioni climatiche semplici, sia regolazioni integrate con valvole termoelettriche asservite a termostati ambiente.

Per impedire, invece, l'invio di fluido troppo caldo ai pannelli, si deve dotare l'impianto di una sonda di sicurezza in grado, al superamento del limite prestabilito, di mandare in chiusura la valvola di regolazione e fermare l'elettropompa dell'impianto.

Per evitare infine la condensa dei fumi nel caso i pannelli radianti siano accoppiati ad una caldaia di tipo tradizionale, è necessario mantenere la temperatura di ritorno in caldaia superiore di 60°C. A tale scopo si possono adottare pompe anticondensa e valvole motorizzate con dispositivi di precedenza.

La regolazione più adeguata dipende dal tipo di sistema di generazione scelto: per esempio, la regolazione climatica con valvola a tre vie è una regolazione che può essere adottata in impianti dove non sussistono problemi legati alla condensa dei fumi come le pompe di calore e le caldaie a condensazione.



DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO.

Nel caso di edifici nuovi, per garantire la porzione richiesta di fonte rinnovabile per ricoprire il fabbisogno di energia per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria secondo la Direttiva 28/2009/CE, spesso si installano pannelli fotovoltaici con potenza di picco che possa ricoprire la totale richiesta di energia elettrica dell'immobile che comprende, oltre al consumo di elettricità per uso domestico, anche quello per alimentare i sistemi di generazione di potenza termica.

A questo proposito, si è deciso di dotare l'edificio prefabbricato in legno di un impianto fotovoltaico di potenza di picco pari a circa 6 kW_p utilizzando lo stesso modello di pannelli installati nel caso dell'edificio riqualificato del Capitolo 2.

L'edificio in legno ha a disposizione due falde inclinate di 30° rivolte verso Est e verso Ovest che possono ospitare 9 moduli fotovoltaici ciascuna per un totale di 18 pannelli di potenza di picco del singolo modulo pari a 327 W_p, si veda la scheda tecnica nell'Appendice A⁴⁴. Anche in questo caso l'installazione è di tipo integrata posizionando una lastra grecata in alluminio a cui i pannelli vengono ancorati.

Nelle Figure 3.12 e 3.13 sono rappresentati i disegni di progetto dell'impianto rispettivamente considerando la vista dall'alto e i prospetti Est ed Ovest.

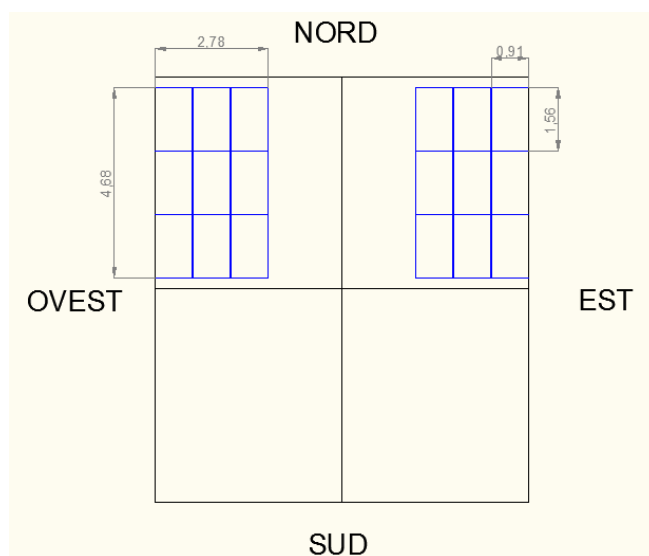


Figura 3.12 Vista dall'alto dell'impianto fotovoltaico.

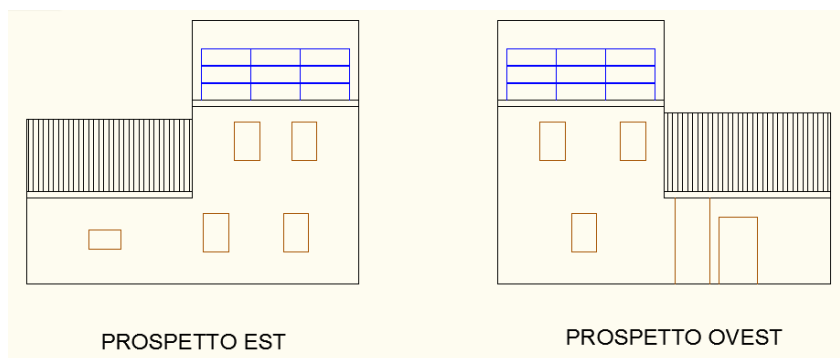


Figura 3.13 Prospetto Est ed Ovest dell'impianto fotovoltaico.

Considerando lo spazio a disposizione sulle falde del tetto, c'è la possibilità di installare un maggior numero di moduli fotovoltaici, ma questo porta il passaggio da un'alimentazione monofase ad una trifase con i relativi oneri economici legati al contatore dell'energia elettrica.

⁴⁴ Vedi Scheda Tecnica 9. Modulo fotovoltaico E20-327 di SunPower.



Figura 3.14 Vista tridimensionale dell'edificio con l'impianto fotovoltaico.

SISTEMA DI GENERAZIONE DI CALORE PER RISCALDAMENTO E PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA.

Il sistema di generazione di calore per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria più adeguato deve valorizzare ed ottimizzare al meglio le caratteristiche impiantistiche che sono state definite in fase di progettazione per l'edificio prefabbricato in legno.

La presenza dell'impianto radiante a pavimento costringe all'utilizzo di sistemi di generazione che lavorino meglio con il fluido termovettore a bassa temperatura; mentre la presenza dell'impianto fotovoltaico comporta la scelta di un generatore che sfrutti al meglio l'energia elettrica gratuita e rinnovabile che viene prodotta.

Il tipo di generatore di calore più congeniale all'utilizzo di entrambe le caratteristiche sono le pompe di calore a compressione di vapore che in questo caso viene utilizzata come unico generatore monovalente.

La pompa di calore aria/acqua scelta fa parte della gamma VITOCAL della Viessmann Srl che sono pompe di calore reversibili split ad azionamento elettrico. In particolare, il modello utilizzato in questo studio è il VITOCAL 200-S di tipo AWB 201.B07 per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria abbinata ad un bollitore della gamma VITOCCELL 100-V, tipo CVA.

DESCRIZIONE DI VITOCAL 200-S.

Il sistema si compone di due elementi principali: un'unità esterna e un modulo idronico interno.

L'unità esterna estrae calore disponibile dall'aria, lo incrementa e lo invia all'unità interna. Questa provvede a riscaldare l'acqua per usi sanitari e per il riscaldamento. Il collegamento tra unità interna ed esterna è realizzato mediante tubazioni contenenti refrigerante: si eliminano così eventuali problemi dovuti al congelamento dell'acqua.

L'unità interna è costituita dalle seguenti componenti:

- 1) Valvola deviatrice a 3 vie "riscaldamento/produzione di acqua calda sanitaria"
- 2) Pompa di circolazione
- 3) Scambiatore di calore istantaneo acqua di riscaldamento

4) Regolazione della pompa di calore di tipo VITOTRONIC 200.
Si veda la posizione dei vari dispositivi elencati nella Figura 3.15.



Figura 3.15 Unità interna della pompa di calore VITOCAL 200-S.

L'unità esterna splittata è costituita da evaporatore (1), ventilatore (2) e compressore (3).



Il compressore installato nell'unità esterna del VITOCAL 200-S è di tipo inverter DC permettendo alla pompa di calore di essere particolarmente performante ai carichi parziali. L'inverter adatta la potenzialità del compressore al fabbisogno termico richiesto, modulando la velocità di funzionamento e mantenendo così la temperatura desiderata.

Mentre il funzionamento modulante evita continui accensioni e spegnimenti del compressore, la presenza dei ventilatori assiali a velocità variabile con possibilità di programmazione di funzionamento notturno garantisce la massima silenziosità.

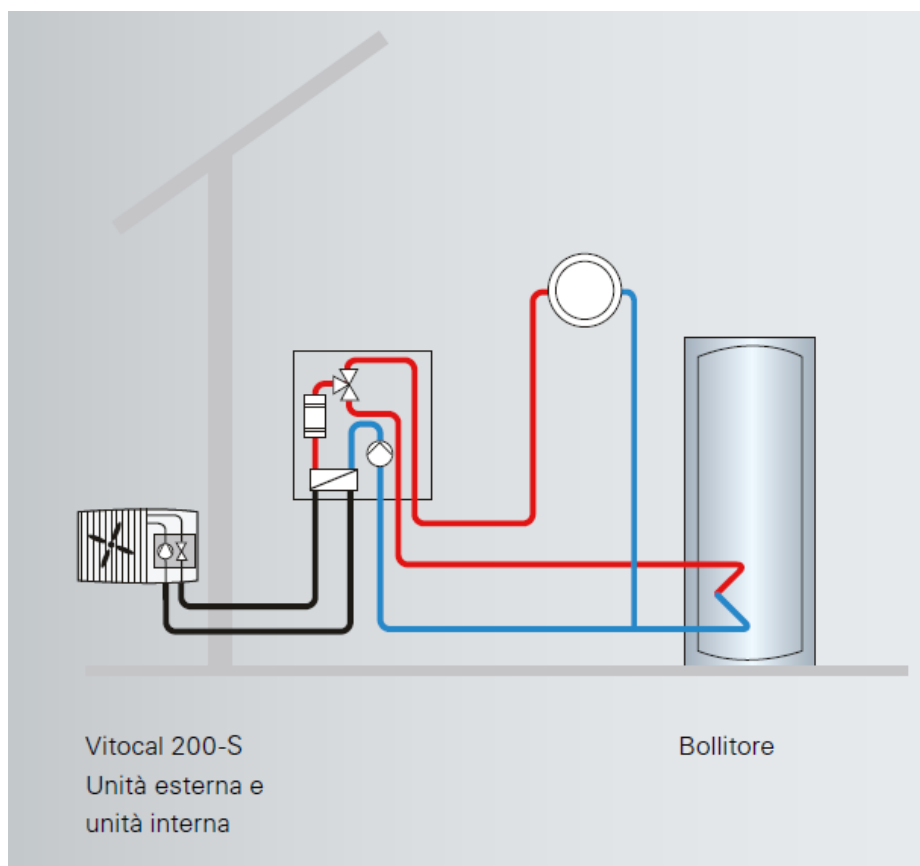
La pompa di calore è ideale per le nuove costruzioni così come per la sostituzione di vecchi impianti essendo, come già visto, adatta ad un efficiente funzionamento bivalente in abbinamento a una

caldaia a condensazione a gas o a altro tipo di generatore ausiliario.

La pompa di calore VITOCAL 200-S è dotata della regolazione climatica VITOTRONIC 200 caratterizzata da una struttura a menù dotata di una molteplicità di funzioni ed è semplice da usare: l'interfaccia grafica permette di gestire e visualizzare i parametri di riscaldamento mediante curve climatiche e impostazione di fasce orarie.

Grazie alle nuove funzionalità integrate, è inoltre possibile impostare su VITOCAL 200-S delle strategie per ottimizzare il consumo della corrente prodotta mediante l'impianto fotovoltaico, "immagazzinabile" dall'unità sotto forma di calore nel bollitore.

La scelta della pompa di calore con bollitore separata è legata al vincolo del peso massimo a cui il solaio può resistere, pari a 300 kg/m²: l'unità interna, da come si può vedere nella scheda tecnica riportata nell'Appendice A⁴⁵, ha un peso massimo di 34 kg, mentre il serbatoio deve avere al massimo una capacità di 200 litri considerando che il suo peso a vuoto è di 97 kg (vedi scheda tecnica nell'Appendice A⁴⁶).



CURVE CARATTERISTICHE DELLA POMPA DI CALORE.

Si indicano in Tabella 23 le caratteristiche termodinamiche e geometriche più importanti della pompa di calore VITOCAL 200-S, modello AWB 201.B07.

Tabella 23 Dati tecnici pompa di calore VITOCAL 200-S, tipo AWB 201.B07.

Prestazioni in riscaldamento (secondo EN 14511 A7/W35 °C, salto termico 5K)		
Potenza nominale	kW	8,39
COP in riscaldamento		4,28
Regolazione di potenza in riscaldamento	kW	1,8 ÷ 9,5
Prestazioni in riscaldamento (secondo EN 14511 A2/W35 °C)		

⁴⁵ Vedi Scheda Tecnica 12. Pompa di calore Vitocal 200-S modello AWB 201.B.07.

⁴⁶ Vedi Scheda Tecnica 13. Bollitore Vitocell 100-V, tipo CVA da 200 litri.

Potenza nominale	kW	5,6
COP in riscaldamento		3,24
Regolazione di potenza in riscaldamento	kW	1,3÷7,7
Temperatura ingresso dell'aria in riscaldamento:		
-massima	°C	35
-minima	°C	-15
Potenza elettrica assorbita	kW	3,6
Dimensioni unità interna		
(profondità x larghezza x altezza)	mm	360x450x905
Dimensioni unità esterna		
Profondità	mm	340
Larghezza	mm	1040
Altezza	mm	865
Peso unità interna	kg	34
Peso unità esterna	kg	66

Considerando le prestazioni della macchina rappresentate dalle curve caratteristiche tracciate in Figura 3.16 che derivano dai dati di Tabella 24, bisogna verificare che la pompa di calore sia in grado di garantire la potenza richiesta dagli ambienti nelle condizioni di progetto (temperatura esterna a -5°C).

Essendo la potenza termica massima richiesta dall'ambiente pari a 3,02 kW in fase di riscaldamento, la pompa di calore, lavorando con la temperatura in mandata pari a 35°C all'impianto radiante a pavimento, riesce a fornire una potenza termica quasi pari a 5 kW.

Per quando riguarda il fabbisogno di acqua calda sanitaria, questa risulta pari a 5,1 kW in condizioni di richiesta istantanea: grazie alla presenza del bollitore da 200 litri di capacità che accumula acqua sanitari a 55°C, la pompa di calore scelta è in grado di produrre il calore necessaria a riscaldare il bollitore anche nelle condizioni di progetto.

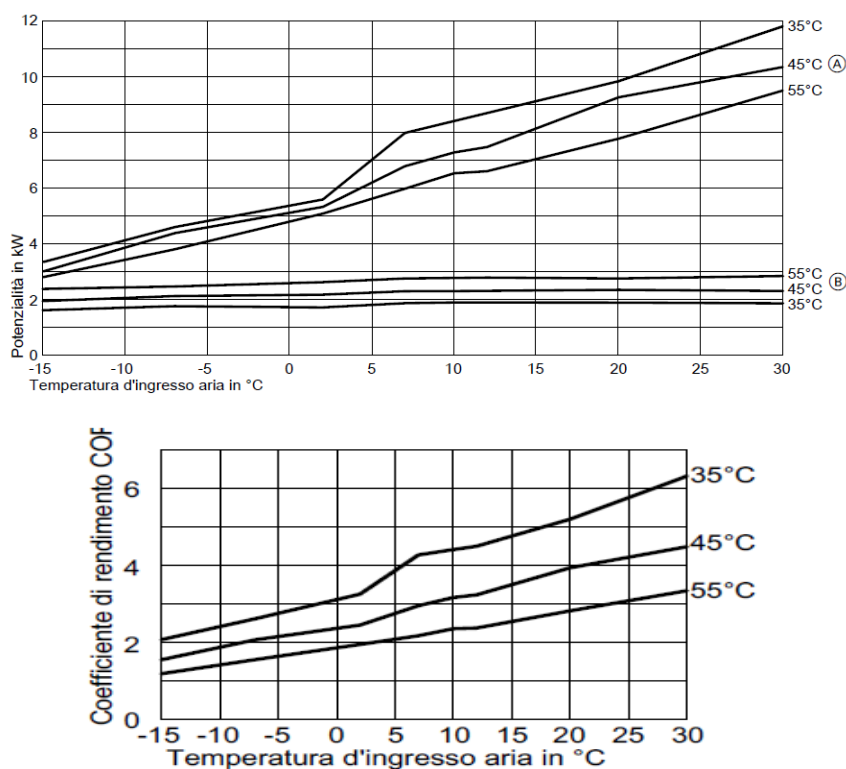


Figura 3.16 Curve caratteristiche della pompa di calore Vitocal 200-S, tipo AWB 201.B07.

Tabella 24 Dati delle prestazioni della pompa di calore a diverse temperature di mandata dell'acqua.

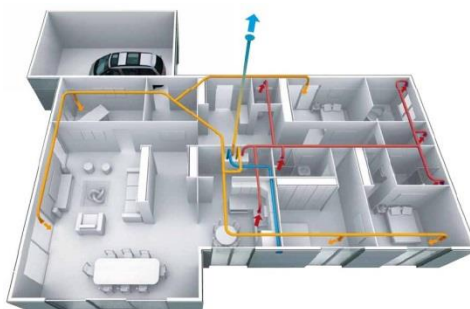
Funzionamento	W A	°C °C	35							
			-15	-7	2	7	10	12	20	30
Potenzialità	kW		3,40	4,60	5,60	8,38	8,50	8,70	9,90	11,80
Potenza elettrica assorbita	kW		1,63	1,77	1,73	1,96	1,91	1,90	1,90	1,88
COP			2,06	2,60	3,24	4,35	4,48	4,69	5,19	6,31

Funzionamento	W A	°C °C	45							
			-15	-7	2	7	10	12	20	30
Potenzialità	kW		3,00	4,40	5,30	6,80	7,30	7,50	9,30	10,40
Potenza elettrica assorbita	kW		1,96	2,14	2,19	2,31	2,32	2,33	2,36	2,32
COP			1,54	2,05	2,44	2,94	3,15	3,22	3,93	4,47

Funzionamento	W A	°C °C	55							
			-15	-7	2	7	10	12	20	30
Potenzialità	kW		2,80	3,80	5,10	6,00	6,50	6,60	7,80	9,50
Potenza elettrica assorbita	kW		2,40	2,48	2,64	2,77	2,79	2,80	2,77	2,86
COP			1,17	1,53	1,93	2,16	2,34	2,36	2,81	3,33

SISTEMA DI VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA.

Per quanto riguarda la gestione della qualità dell'aria interna di edifici con elevate prestazioni energetiche come quello in esame, essa è affidata ad un sistema di ventilazione meccanica controllata. Come è stato detto nel Capitolo 2, la ventilazione meccanica controllata può essere a semplice flusso, quando avviene solamente il prelievo dell'aria viziata da parte di opportune canalizzazioni, mentre l'aria di rinnovo entra da griglie poste in prossimità delle finestre e delle porte; oppure a doppio flusso con recupero di calore, con la quale si preleva aria viziata dagli ambienti dove si produce maggiore umidità e vapori, come la cucina e i bagni, e si immette aria di rinnovo negli altri locali opportunamente filtrata da eventuali microbi e polveri esterne e riscaldata grazie alla presenza del recuperatore di calore a flussi incrociati che permette di far avvenire lo scambio termico tra l'aria interna a 20°C e l'aria esterna più fredda. Questo riduce le perdite di calore per ventilazione ed è quindi necessaria una minore potenza termica di riscaldamento.



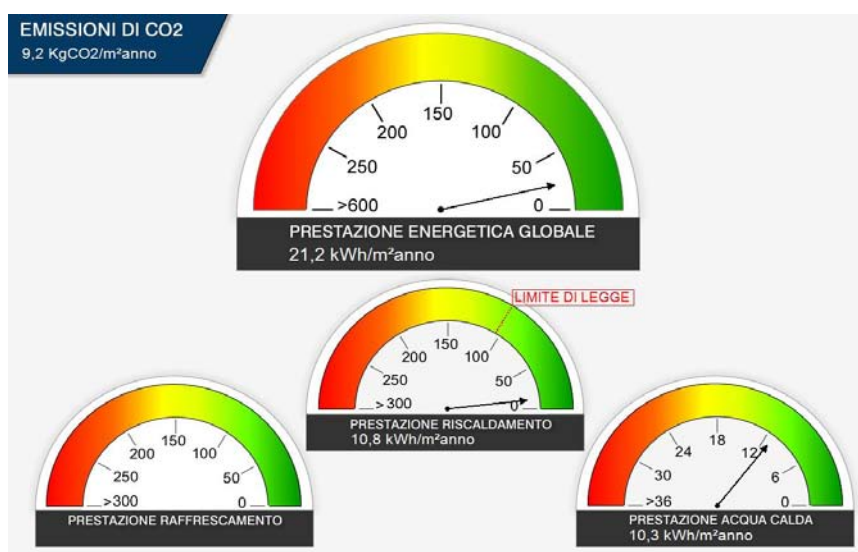
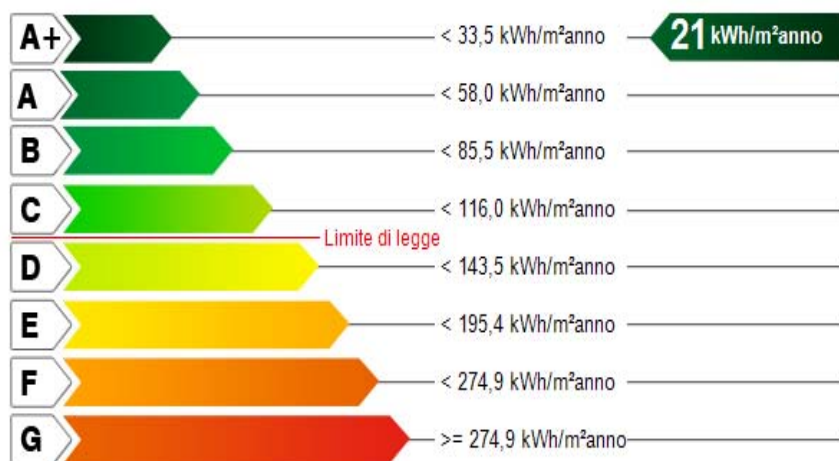
Il sistema di ventilazione meccanica controllata installato nell'edificio prefabbricato in legno è lo stesso dell'edificio riqualificato (si rimanda alla spiegazione del funzionamento nel Paragrafo 2.4.1 del Capitolo 2) in modo tale da avere le stesse prestazioni per entrambi i casi: è il modello Duolix MAX di Atlantic di cui si presentano i dati tecnici in Appendice A⁴⁷.

⁴⁷ Vedi Scheda Tecnica 8. Sistema di ventilazione Duolix MAX.

3.6 RISULTATI DELLA CERTIFICAZIONE ENERGETICA PER L'EDIFICIO PREFABBRICATO IN LEGNO.

La conclusione del lavoro di progettazione dell'edificio in legno prefabbricato è la determinazione della sua classe di prestazione energetica.

Il risultato raggiunto, introducendo nel software di certificazione energetica *Termolog Epix4* i dati delle strutture disperdenti e degli impianti sopra descritti, è un edificio di **classe energetica A+**, con un indice di prestazione globale $E_{p,gl}= 21,15 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$.



Il parametro indicato deriva dalla combinazione dei dati riguardanti il fabbisogno di energia per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria. Questi valori sono riportati nella Tabella 25. In Tabella 26 sono invece indicati i risultati globali dell'edificio.

Tabella 25 Fabbisogni di energia termica e primaria.

FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA

Riscaldamento involucro	$Q_{H,nd} =$	2344,7 kWh	Indice di prestazione	$EP_{i,inv} =$	19,60 kWh/m ² anno
Acqua calda sanitaria	$Q_{h,w} =$	1854,5 kWh	Indice di prestazione	$EP_{w,ter} =$	15,51 kWh/m ² anno
Raffrescamento involucro	$Q_{C,nd} =$	3363,7 kWh	Indice di prestazione ⁴⁸	$EP_{e,inv} =$	28,12 kWh/m ² anno

⁴⁸ Il valore limite per l'indice di prestazione per il raffrescamento dell'involucro è pari a 30 kWh/m²anno.

RISCALDAMENTO: fabbisogno di energia primaria e rendimenti

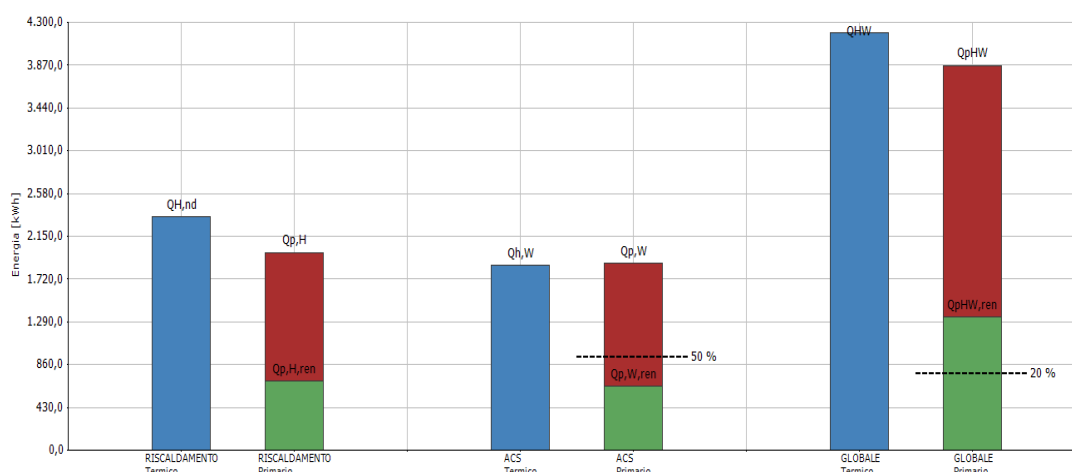
Energia primaria riscaldamento	$Q_{p,H} =$	1249,9 kWh	Indice di prestazione ⁴⁹	$EP_i =$	10,83 kWh/m²anno
Classe energetica riscaldamento		A+	Rendimento globale stagionale ⁵⁰	$\eta_{G,H} =$	181,1%
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,H,ren} =$	693,295 kWh	Quota rinnovabile	$Q_{R,H} =$	34,9%
Energia primaria totale	$Q_{p,H,tot} =$	1988,4 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{i,tot} =$	16,63 kWh/m ² anno

ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogno di energia primaria e rendimenti

Energia primaria ACS	$Q_{p,W} =$	1235,2 kWh	Indice di prestazione	$EP_{ACS} =$	10,33 kWh/m²anno
Classe energetica ACS		B	Rendimento globale stagionale	$\eta_{G,W} =$	150,1%
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,W,ren} =$	643,29 kWh	Quota rinnovabile ⁵¹	$Q_{R,ACS} =$	34,2%
Energia primaria totale	$Q_{p,W,tot} =$	1878,4 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{ACS,tot} =$	15,71 kWh/m ² anno

Tabella 26 Fabbisogno globale di energia primaria.**FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti**

Energia primaria globale	$Q_{p,HW} =$	2530,1 kWh	Indice di prestazione ⁵²	$EP_{gl} =$	21,15 kWh/m²anno
Classe energetica globale		A+	Rendimento globale stagionale	$\eta_{G,HW} =$	166%
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,HW,ren} =$	1336,7 kWh	Quota rinnovabile ⁵³	$Q_{R,gl} =$	34,6%
Energia primaria totale	$Q_{p,HW,tot} =$	3866,8 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{gl,tot} =$	32,22 kWh/m ² anno

FABBISOGNI TERMICI E FABBISOGNI PRIMARI**Figura 3.17 Fabbisogni termici e fabbisogni primari.**

Dalla Figura 3.17 e dai dati di Tabella 25 si può vedere che, avendo un dispositivo di generazione di calore che produce acqua calda sia per il riscaldamento sia per il sanitario in modo combinato, la percentuale di energia rinnovabile prodotta sia dalla pompa di calore sia dall'impianto fotovoltaico installato sul tetto dell'edificio si ripartisce nei due fabbisogni di energia termica: questo provoca il non raggiungimento della minima quota di energia rinnovabile, imposta dalla Direttiva 2009/28/CE, per la produzione di acqua calda sanitaria.

⁴⁹ Il valore limite per l'indice di prestazione in riscaldamento è pari a 97,97 kWh/m²anno.

⁵⁰ Il rendimento globale limite è 77,8%.

⁵¹ Quota minima di rinnovabile pari a 50%.

⁵² Il valore limite dell'indice di prestazione globale è pari a 86,51 kWh/m²anno.

⁵³ La quota rinnovabile minima globale è del 20%.

La soluzione a questo problema è stato quello di disporre anche di un impianto solare termico per l'integrazione alla sola produzione di acqua calda sanitaria accoppiato al sistema costituito dalla pompa di calore grazie al bollitore già installato per l'accumulo di acqua sanitaria.

L'impianto è costituito da 2 collettori piani vetrati della Pleion, modello KSF-G25, ciascuno di superficie captante pari a 2,21 m², installati sulla falda Ovest con inclinazione pari a 30°. Si veda la Scheda Tecnica nell'Appendice A⁵⁴.

Inserendo questi parametri nel software di certificazione energetica Termolog Epix4, si può vedere che tutti i limiti imposti dalla Direttiva sono verificati, raggiungendo, grazie alla presenza dei collettori solari, una copertura del fabbisogno di acqua calda sanitaria con fonte rinnovabile pari a 60,3%.

RISCALDAMENTO: fabbisogno di energia primaria e rendimenti

Energia primaria riscaldamento	$Q_{p,H} =$	1302,6 kWh	Indice di prestazione ⁵⁵	$EP_I =$	10,89 kWh/m²anno
Classe energetica riscaldamento		A+	Rendimento globale stagionale ⁵⁶	$\eta_{G,H} =$	180%
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,H,ren} =$	724,034 kWh	Quota rinnovabile	$Q_{R,H} =$	35,7%
Energia primaria totale	$Q_{p,H,tot} =$	2026,6 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{I,tot} =$	16,94 kWh/m ² anno

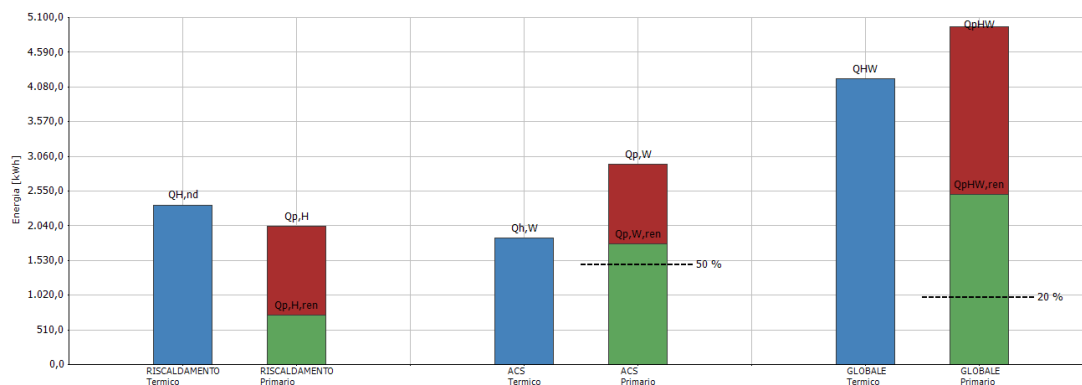
ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogno di energia primaria e rendimenti

Energia primaria ACS	$Q_{p,W} =$	1167,9 kWh	Indice di prestazione	$EP_{ACS} =$	9,76 kWh/m²anno
Classe energetica ACS		B	Rendimento globale stagionale	$\eta_{G,W} =$	158,8%
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,W,ren} =$	1774,3 kWh	Quota rinnovabile ⁵⁷	$Q_{R,ACS} =$	60,3 %
Energia primaria totale	$Q_{p,W,tot} =$	2942,2 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{ACS,tot} =$	24,60 kWh/m ² anno

FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti

Energia primaria globale	$Q_{p,H,W} =$	2470,5 kWh	Indice di prestazione ⁵⁸	$EP_{gl} =$	20,66 kWh/m²anno
Classe energetica globale		A+	Rendimento globale stagionale	$\eta_{G,H,W} =$	170 %
Energia primaria rinnovabile	$Q_{p,H,W,ren} =$	2498,3 kWh	Quota rinnovabile ⁵⁹	$Q_{R,gl} =$	50,3%
Energia primaria totale	$Q_{p,H,W,tot} =$	4968,8 kWh	Indice di prestazione totale	$EP_{gl,tot} =$	41,55 kWh/m ² anno

FABBISOGNI TERMICI E FABBISOGNI PRIMARI



⁵⁴ Vedi Scheda Tecnica 14. Collettore piano vetrato KSF-G25 della Pleion.

⁵⁵ Il valore limite per l'indice di prestazione in riscaldamento è pari a 97,97 kWh/m²anno.

⁵⁶ Il rendimento globale limite è 77,8%.

⁵⁷ Quota minima di rinnovabile pari a 50%.

⁵⁸ Il valore limite dell'indice di prestazione globale è pari a 86,51 kWh/m²anno.

⁵⁹ La quota rinnovabile minima globale è del 20%.

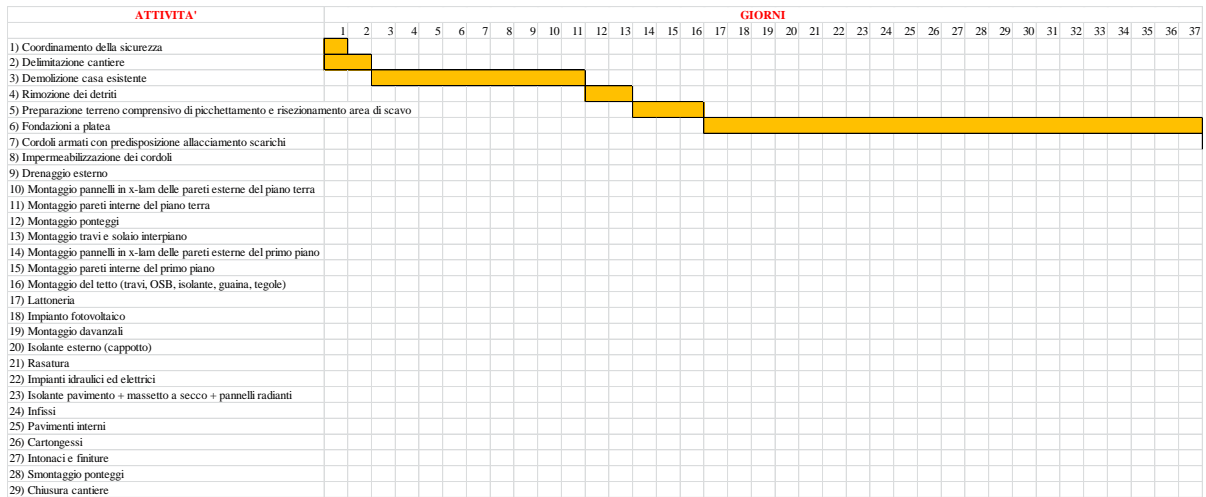
3.7 PIANIFICAZIONE TEMPORALE DEI LAVORI ATTRAVERSO IL DIAGRAMMA DI GANTT

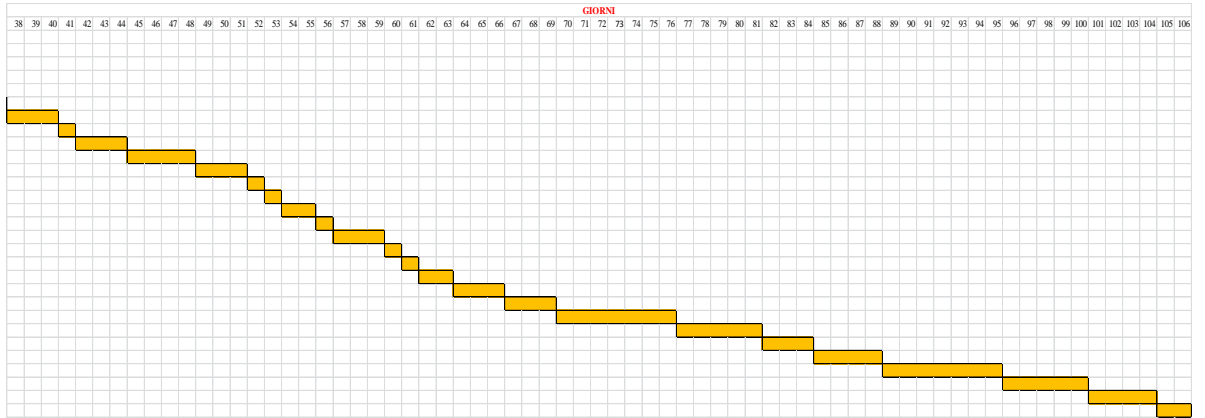
Uno dei vantaggi maggiori delle case prefabbricate in legno rispetto alle case tradizionali in muratura è la celerità delle tempistiche di costruzione: in generale la durata dei lavori si stima attorno ai 5 mesi. Inoltre gli imprevisti che si possono verificare durante la costruzione sono ridotti al minimo grazie alla progettazione particolarizzata che viene eseguita prima dell'inizio dei lavori. Questo permette anche una definizione precisa del costo dell'abitazione in fase di preventivazione perché non sono possibili modifiche importanti in corso d'opera.

Anche per l'edificio prefabbricato in legno è stato costruito il Diagramma di Gantt, fondamentale strumento per la definizione delle tempistiche di realizzazione del progetto.

Il risultato ottenuto dal diagramma prevede una durata dei lavori pari a **106 giorni lavorativi**, circa 5 mesi, per la consegna della casa compresa di rifiniture interne ed impianti termici ed elettrici. In Allegato B è tracciato il Diagramma di Gantt in cui sono specificate le attività da svolgere con i relativi giorni necessari per adempierle.

ALLEGATO B: DIAGRAMMA DI GANTT PER L'EDIFICIO NUOVO.





3.8 VALUTAZIONE ECONOMICA TRAMITE STESURA DEL COMPUTO METRICO ESTIMATIVO

Per poter fare un confronto economico con l'edificio ristrutturato, si è compilato il computo metrico estimativo anche per l'edificio prefabbricato in legno utilizzando il software della Regione Veneto "COP 30" il quale fa riferimento al prezzario regionale 2012. Per quanto riguarda gli impianti per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria, l'impianto fotovoltaico, l'impianto termico solare e il sistema di ventilazione meccanica controllata, sono stati richiesti i preventivi.

Descrizione	Unità di misura	Quantità	Prezzo	Importo [€]
EDILIZIA PREFABBRICATA				
Fornitura e posa in opera di pareti esterne e divisori grandi interni con pannelli CLT da 138 mm (5 Strati) forniti con guaina bituminosa contro risalita capillare dell'umidità posta tra il muretto della platea ed il pannello. Angolari tipo WHT per ancoraggio pannelli al muretto della platea, nastro biadesivo butilico rinforzato con rete in poliestere per fissaggio pannelli sulle giunte, nastro sigillante per chiusura giunte esterne ed interne tra i pannelli profilo fonoisolante anticalpestio posto tra un pannello e l'altro dell'altezza dei solai in pannelli, angolari per fissaggio pannelli del solaio con le pareti portanti della struttura e relativa ferramenta di fissaggio della struttura e tutto ciò che è necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.				
PARETI ESTERNE ED INTERNE IN X-LAM	mq	285,84	138,00	39.445,92
Solaio esterno realizzato con pannello CLT da 138 mm (5 strati), barriera a vapore DS22PP Riwega da 55 gr/mq, stiferite da 8+8. Compreso di tutto quanto è necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.				
COPERTURA VANO TECNICO	mq	52,00	182,00	9.464,00
Fornitura e posa in opera di solaio interno composto da pannelli in CLT da 138 mm (5 strati). Compreso tutto quanto necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.				
SOLAIO INTERPIANO	mq	85,00	126,00	10.710,00
Fornitura e posa in opera di copertura realizzata con travatura a vista in abete lamellare a norma UNI EN 14080 classe C24, colmo sezione 14x88, terzere, banchine, correntini e battute per porte, comprensive di perline in abete da 20 mm a norma UNI EN 14915, barriera a vapore USB microforate tipo Riwega, isolante in fibre di legno ad alta densità da 150 kg/mc da 8+8, morali in abete di contenimento isolante e relativo giro d'aria, tavolato in abete grezzo da 25 mm, guaina traspirante USB classic tipo Riwega. Le travature e le perline sono comprensive di una mano di pregnante neutro o tinta a scelta. Nel prezzo sono comprensivi tutto quanto necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.				
TETTO A VISTA	mq	52,00	182,00	9.464,00
Scala interna costituita da cosciali portanti in legno di abete e della sola pedata eseguita in legno di larice comprensiva di pianerottolo trattata con una mano di pregnante neutro e finitura a vernice per pavimenti. Compreso tutto quanto necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.				
SCALA INTERNA	A corpo	1,00	6.000,00	6.000,0
MATERIALI LAPIDEI				
Lastre rettangolari per uno spessore di 2 cm con dimensioni fino a 1,20x0,60 ml o superiori se consentite normalmente dal materiale e con lunghezza non inferiore a 25 cm, con una faccia vista a levigatura media e l'altra grezza di sega, coste fresate a giunto. Le pietre ed i marmi si intendono di ottima qualità, lavorati a regola d'arte con irregolarità insite nel materiale, che richiedano sporadici e limitati interventi				

di stuccatura, graffatura, masticatura ed altri sistemi di consolidamento e rinforzo. DAVANZALI	mq	5,20	108,07	561,96
SCAVI				
Scavo a sezione aperta eseguito con mezzi meccanici fino a qualsiasi profondità in terreno di qualsiasi natura e consistenza, esclusa la roccia, compreso eventuali demolizioni di vecchie murature e trovanti di dimensioni non superiori a mc 0.50, lo spianamento e la configurazione del fondo, anche se a gradoni, l'eventuale profilatura di pareti, scarpate e cigli, il paleggio ad uno o più sbracci, il tiro in alto, il trasporto del materiale di risulta a riempimento o in rilevato fino alla distanza media di m 100 e la sua sistemazione nei siti di deposito, oppure il trasporto fino al sito di carico sui mezzi di trasporto entro gli stessi limiti di distanza.	mc	25,50	3,78	96,39
SCAVO PER FONDAZIONE				
REINTERRI				
Fornitura e stesa di ghiaione di fiume lavato per riempimenti e drenaggi, escluso l'onere della compattazione. GHIAIONE DI BASE	mc	13,13	26,36	346,11
DEMOLIZIONI – RIMOZIONI				
Demolizione completa di fabbricati eseguita con mezzi meccanici, fino al piano di campagna, compreso il carico su automezzo, escluso eventuali opere provvisorie o di puntellazione e il trasporto del materiale di risulta alle pubbliche discariche. DEMOLIZIONE EDIFICIO	mc/vpp	642,99	13,01	8.365,30
TRASPORTI E CONFERIMENTI IN DISCARICA				
Trasporto con qualunque mezzo a discarica del materiale di risulta, anche se bagnato, fino a una distanza di km 10, compreso il carico o lo scarico, lo spianamento e l'eventuale configurazione del materiale scaricato. TRASPORTO IN DISCARICA DEL MATERIALE DI RISULTA	mc	274,34	3,35	919,04
CALCESTRUZZI – ACCIAIO – CASSERI				
Fornitura e posa in opera di conglomerato cementizio, classe di lavorabilità S3 (semifluida), classe di esposizione XC1, C 25/30, rapporto max e/c 0,6, confezionato a macchina per opere statiche di elevazione di spessore fino a 25 cm di qualsiasi forma ed a qualsiasi piano, come murature, parti di manufatti, opere di getto in genere, compreso il ferro tondino d'armatura FeB44K ad aderenza migliorata controllato in stabilimento e sagomato nelle quantità previste dai calcoli statici, redatti a cura e spese dell'Amm.ne appaltante, per un quantitativo massimo fino a 65 kg/m ³ . Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per la formazione ed il disfacimento dei piani di lavoro interni, la formazione ed il disfacimento delle casseforme rettilinee di contenimento dei getti, la vibrazione meccanica, la formazione di smussi, incassature, fori, lesene e marcapiani e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte. PLATEA IN C.A.	mc	42,00	405,48	17.030,16
VESPAI – MASSETTI				
Fornitura e posa in opera di massetto a rapido essiccamento dello spessore di 6 cm per sottofondo di pavimenti, eseguito con idoneo legante idraulico dosata a minimo 350 kg/mc di sabbia a granulometria idonea. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per la pulizia e preparazione del fondo, la tiratura a livello, la frettazzatura fine della superficie idonea a ricevere la posa di pavimentazioni da incollarsi e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte. MASSETTO PER PAVIMENTO	mq	120,00	33,51	4.021,20
PAVIMENTI FREDDI				
Fornitura e posa in opera, secondo le geometrie correnti nel tipo a scelta della D.L., di pavimento eseguito in piastrelle ceramiche monocottura di prima scelta, estruse, smaltate,				

comunemente denominate klinker, conformi alle norme UNI EN e con grado di resistenza all'abrasione secondo il metodo PEI gruppo IV, di forma quadrata o rettangolare, nel colore ed aspetto a scelta della D.L., posate a giunto aperto di circa 8 mm mediante doppia spalmatura con spatola dentata di collante a base cementizia additivato con lattice resinoso. Il pavimento inoltre dovrà essere in possesso di un coefficiente di attrito conforme a quanto previsto dal DPR 24 luglio 1996, n.503 recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per la pulizia del fondo di appoggio con detergenti caustici, la fornitura e posa del collante, la formazione di giunti elastici di frazionamento in PVC formanti riquadri da 4.00x4.00 m e comunque non superiori a 20.00 m², gli eventuali profili in ottone forato per separazione di pavimenti diversi, la sigillatura degli interstizi eseguita con malta premiscelata per fughe nel colore a scelta della D.L., la successiva pulitura superficiale con idonei detergenti, la risciacquatura assorbendo l'acqua in eccesso con idonei sistemi, il taglio, lo sfrido, la pulizia e l'asporto del materiale di risulta a fine lavoro, la raccolta differenziata del materiale di risulta, il conferimento con trasporto in discarica autorizzata del materiale di risulta, l'indennità di discarica e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.	mq	120,00	46,17	5.540,40
PAVIMENTI INTERNI				
IMPERMEABILIZZAZIONI – ISOLAMENTI				
Impermeabilizzazione con uno strato di guaina armata con T.N.T. con giunti sovrapposti di cm 10 di spessore mm 4, compreso mano di primer.	mq	38,00	14,65	556,70
IMPERMEABILIZZAZIONE CORDOLI				
Fornitura e posa in opera di lastra di polistirolo espanso di spessore cm 10 di densità 20 kg/mc.	mq	228,77	16,00	3.660,32
ISOLANTE ESTERNO				
Lastra di polistirene estruso autoestinguente a celle chiuse con superfici lisce per formazione di strati coibenti e antiacustici, in opera su superfici orizzontali sotto il massetto per pendenze costituito da impasto realizzato a q 2.5 di cemento tipo 325 e mc 1 di prodotti autoespansi (massetto compensato a parte).	mq	80	19,66	1.572,80
ISOLAMENTO PAVIMENTO				
INTONACI				
Fornitura e posa in opera di rasatura, sia per interni che per esterni, eseguita a mano a qualunque altezza su pareti verticali, orizzontali o inclinate, sia piane che curve, risultanti liscie da cassero, costituito da premiscelato in polvere a base di cemento ed additivi chimici. Nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per la formazione degli spigoli sia vivi che smussati, le lesene, i marcapiani, i riquadri per vani di porte e finestre, la formazione ed il disfacimento dei piani di lavoro interni, i sollevamenti, il rispetto di eventuali incassature ed attacchi per impianti tecnici, la pulizia e l'asporto del materiale di risulta a fine lavoro, la raccolta differenziata del materiale di risulta, il conferimento con trasporto in discarica autorizzata del materiale di risulta, l'indennità di discarica e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte.	mq	228,77	5,34	1.221,63
RASATURA				
SERRAMENTI IN LEGNO				
Fornitura e posa in opera di portoncini esterni in legno di Douglas, tipo standard e fuori standard, con intelaiatura perimetrale in legno di Abete, battente con spalla, internamente rifinito come le porte ed esternamente rivestiti con doghe verticali interrotte da un fascione intermedio orizzontale, immaschiettati, dello spessore finito di mm 20, telaio fino a mm 70, coprifilo esterni fino a mm 11x30 ed internamente mostre come quelle applicate alle porte, forniti				

e posti in opera. Sono comprese: tre cerniere anuba di acciaio bronzato da mm 16; la serrature tipo Yale con 3 chiavi; la mezza maniglia interna; il pomolo esterno; la verniciatura trasparente al naturale, previa mano di preparazione con prodotti impregnanti contro muffe e funghi della parte esterna; la verniciatura al poliuretano trasparente della parte interna. E' inoltre compreso quanto altro occorre per dare l'opera finita.				
PORTONCINO DI INGRESSO	mq	2,52	490,00	1.234,80
Fornitura e posa in opera di infissi esterni per finestre e porte finestre apribili ad una o più ante, con o senza parti fisse, dello spessore lavorato di mm 55-57, a 1 battente e 2 battenti completi di guarnizione in gomma predisposti per vetro camera, forniti e posti in opera. Sono compresi: il controtelaio da murare; la necessaria ferramenta di attacco e sostegno cerniere tipo anuba in acciaio bronzato (2 per battente e 3 per portafinestra); la chiusura con cremonese; le maniglie; i ganci e le catenelle in ottone o alluminio anodizzato; fermavetri interni o esterni; la verniciatura ecologica all'acqua eseguita in laboratorio tinto legno, a due mani, previa mano di preparazione con prodotto impregnante contro muffe e funghi. E' inoltre compreso quanto altro occorre per dare l'opera finita.				
INFISSI	mq	10,92	227,00	2.478,84
ASSISTENZA MURARIE				
Posa in opera di davanzale di spessore fino a 6cm.	m	5,20	26,21	136,29
MONTAGGIO SOGLIE				
OPERE VARIE (SCARICHI E TUBAZIONI)				
Fornitura e posa in opera di canaletta drenante in cls comprensiva di fornitura di materiale di riempimento drenante, comprensivo di allaccio a rete drenate principale ed eventuali pezzi speciali quali curve, griglie ed ogni altro onere per dare il lavoro a perfetta regola d'arte.				
DRENAGGI	m	38,00	70,00	2.660,00
ORGANIZZAZIONE CANTIERE				
Recinzione provvisoria di aree di cantiere con rete in polietilene ad alta densità di peso non inferiore a 220 gr/m ² indeformabile di color arancio brillante a maglie ovoidali, resistenza a trazione non inferiore a 1100 kg/m sostenuta da appositi paletti zincati infissi nel terreno ad una distanza non superiore a m 1,5.				
DELIMITAZIONE CANTIERE	mq	156,00	17,30	2.698,80
Ponteggio o incastellatura realizzato con elementi a telaio sovrapponibili, valutato per mq di superficie asservita.	mq	207,60	9,60	1.992,96
PONTEGGIO PER PRIMO MESE	mq/mese	415,20	0,35	145,32
PONTEGGIO PER OGNI MESE SUCCESSIVO				2.138,28
IMPIANTO FOTOVOLTAICO				
Impianto fotovoltaico ad 5,98 kWp con le seguenti caratteristiche:				
- N.18 moduli Sunpower modello E20-327Wp white (compreso contributo per smaltimento moduli a fine vita);				
- N.1inverter SMA Sunny Boy SB6000TL-21;				
- Test report su inverter;				
- Strutture sostegno per installazione su lamiera grecata (integrato sul tetto) con morsetteria anodizzata near;				
- Installazione impianto FV compreso posa in opera strutture, moduli, inverter, realizzazione connessioni elettriche e opere elettriche necessarie a rendere l'impianto perfettamente funzionante ed allacciato alla rete, inclusa fornitura di tutto il materiale elettrico necessario, tiro in quota dei materiali, trasporto e movimentazione in cantiere;				
- Sopralluogo esecutivo in cantiere;				
- Progetto elettrico impianto FV;				
- Pratica ENEL per allaccio alla rete;				
- Pratica GSE per cessione Energia (Scambio sul Posto);				

- Documentazione finale di impianto. Sono esclusi tutti gli oneri alla sicurezza.	A corpo	1,00	14.000,00	14.000,00
IMPIANTO DI VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA				
Nel prezzo sono compresi:				
- Recuperatore a flusso incrociato Duolix MAX;				
- Presa d'aria esterna e condotto di espulsione;				
- Canali semirigidi Clip&Go in PEHD;				
- Griglie di immissione d'aria;				
- Griglie per il prelievo dell'aria;				
- Collettore di distribuzione;				
Installazione completa del sistema e messa in funzione	A corpo	1,00	6.000,00	6.000,00
IMPIANTO TERMICO				
Il prezzo comprende:				
- Pompa di calore per riscaldamento e ACS VITOCAL 200-S, modello AWB 201.B07;				
- Bollitore da 200 litri VITOCCELL 100-V, tipo CVA;				
- Regolazione in temperatura;				
- Materiale di consumo idraulico.	A corpo	1,00	7.350,00	7.350,00
TERMINALI DI EMISSIONE				
Fornitura e posa in opera di impianto radiante a pavimento. Nel prezzo sono inclusi il pannello isolante a lastra rigida, tubo trasduttore in estruso reticolato specifico per impianti radianti (protezione alla corrosione con barriera ossigeno) di diametro interno di 13mm, striscia di dilatazione perimetrale in polietilene espanso, gruppo di miscelazione ad alta portata per impianto radiante ad alta resa termica secondo UNI EN 1264, valvola assiale a 2 vie antivibrazione, by-pass tarabile per bilanciamento impianto, collettori modulari Ø2" interno 43 mm poliarilamide vergine con fibra di vetro, blu e rosso resistenti a 82°C ed ogni altro onere per dare il lavoro a perfetta regola d'arte.				
IMPIANTO RADIANTE A PAVIMENTO	mq	106,00	50,00	5.300,00
SCALDASALVIETTE ELETTRICI	A corpo	2,00	200,00	400,00
				5.700,00
IMPIANTO SOLARE TERMICO				
Nel prezzo sono compresi:				
- N. 2 collettori solari modello KSF-G25, Pleion;				
- Kit struttura;				
- Installazione dei pannelli;				
- Vaso di espansione da 24 litri;				
- Kit collegamento vaso di espansione;				
- Raccordo di intercettazione;				
- Miscelatore termostatico;				
- Liquido solare antigelo R100 (10 litri);				
- Gruppo circolazione solare;				
- Sonda di temperatura;				
- Controllore solare;				
- Tubi preisolati.	A corpo	1,00	5.254,00	5.254,00
TOTALE				<u>169.022,94</u>

4. CONFRONTO DEI RISULTATI

Il confronto finale dei risultati ottenuti dalla scelta di riqualificare parzialmente o totalmente un vecchio edificio o di demolirlo per sostituirlo con una nuova casa prefabbricata in legno ha lo scopo di capire, a fronte di un certo investimento economico, quali siano i benefici energetici ed economici che si possono trarre dalle due soluzioni, considerando sia le eventuali detrazioni o agevolazioni fiscali sia il costo della bolletta energetica che l'utenza dovrà affrontare.

Si ricorda che il paragone verrà eseguito tra il CASO B della riqualificazione energetica parziale, studiata nel Capitolo 2, e la casa prefabbricata in legno descritta nel Capitolo 3; e tra il caso di riqualificazione totale e l'edificio in legno.

4.1 CONFRONTO ENERGETICO

La differenza tra i due edifici dal punto di vista energetico è legata ai vincoli di fattibilità che si possono incontrare nella ristrutturazione.

La demolizione di un edificio poco efficiente con lo scopo di sostituirlo con un edificio prefabbricato in legno di elevate prestazioni energetiche e caratteristiche ecosostenibili, come quello progettato in occasione di questa analisi, permette di ottenere i seguenti vantaggi:

- Progettando da zero l'edificio è possibile scegliere senza alcun vincolo i sistemi più innovativi e più efficienti presenti nel mercato, sia per quanto riguarda i materiali sia per quanto riguarda gli impianti, potendo così raggiungere la classe energetica maggiore;
- Per edifici prefabbricati in legno con tecnologia X-Lam, possiamo considerare circa nulle le dispersioni legate ai ponti termici grazie all'elevata omogeneità della struttura, oltre all'elevato isolamento ottenuto con spessori delle pareti opache minori rispetto all'edilizia tradizionale;
- Gli impianti di generazione di calore per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria sono sistemi ad elevata efficienza che lavorano a bassa temperatura potendo installare terminali di emissione come i pannelli radianti a pavimento;
- Le emissioni di CO₂ si sono ridotte a 9,2 kg_{CO2}/m²anno rispetto ai 76 kg_{CO2}/m²anno del vecchio edificio;

oltre ai vantaggi già citati nel Capitolo 3 legati al comfort e al benessere abitativo che può fornire un edificio prefabbricato in legno.

Per quanto riguarda la riqualificazione parziale dell'edificio, si sono riscontrati dei vincoli di fattibilità importanti che comportano un limite al raggiungimento della classe energetica massima: nel Capitolo 2, infatti, si è visto che nonostante si volesse migliorare la trasmittanza di tutte le strutture disperdenti, l'intervento al solaio controterra portava ad un leggero miglioramento delle prestazioni a fronte di un investimento economico non trascurabile. Inoltre, per poter mantenere i terminali di emissione presenti, si è costretti a lavorare, nonostante un miglioramento del sistema di regolazione che segue la logica climatica, ad una temperatura maggiore rispetto ai sistemi di emissione a pannelli radianti a pavimento utilizzati nell'edificio in legno, costringendo all'installazione di un impianto di generazione, come la caldaia a condensazione in integrazione alla pompa di calore, che operi ad alta temperatura per i mesi in cui è richiesta maggiore potenza termica. Questo comporta avere un indice di prestazione globale $E_{p,gl}$ che risulta il doppio rispetto al caso di sostituzione con un edificio prefabbricato in legno, come si può vedere dalla Figura 4.1, ripresa dalla certificazione energetica della casa parzialmente riqualificata a sinistra e nuova a destra. L'influenza di questo parametro è legato alla differenza tra le bollette per la spesa energetica che deve far fronte l'utente nelle due soluzioni.

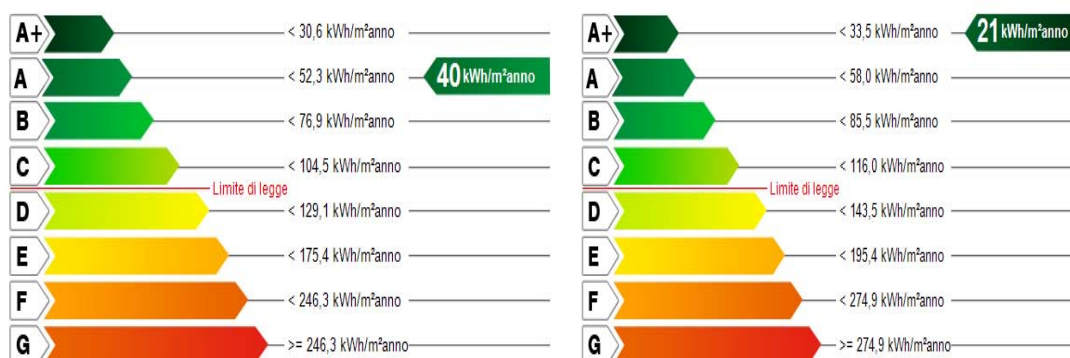


Figura 4.1 Indice di prestazione globale della casa riqualificata e della casa nuova.

Nel caso della riqualificazione totale, invece, si è visto che eliminando i vincoli imposti nella riqualificazione parziale, la quale tende a conservare il più possibile alcune caratteristiche dell'edificio e ad evitare disagio agli inquilini per quanto riguarda l'abitabilità, è possibile effettuare degli interventi, come cambiare i vecchi terminali di impianto in sistemi radianti a bassa temperatura che permettono, quindi, l'installazione di un sistema di generazione più efficiente, per poter raggiungere lo stesso livello di efficienza energetica dell'edificio prefabbricato in legno. Infatti, dalla certificazione energetica si può vedere che l'indice di prestazione globale risulta il medesimo per l'edificio riqualificato totalmente e l'edificio prefabbricato in legno.

4.2 CONFRONTO DELLA DURATA DEI LAVORI

Analizzando la programmazione delle attività con le relative tempistiche per il loro svolgimento, ottenuta tramite la stesura del Diagramma di Gantt sia per gli interventi di riqualificazione sia per la costruzione del nuovo edificio, è possibile effettuare le seguenti considerazioni:

- La durata dei lavori prevista per la riqualificazione parziale dell'edificio considerata nel CASO B è di 44 giorni lavorativi, ma nel caso di ristrutturazioni, la probabilità di imprevisti è molto elevata perché in cantiere è possibile riscontrare delle anomalie, come ad esempio una scarsa qualità dei tubi di distribuzione del sistema di riscaldamento e acqua calda sanitaria o un problema di verifica statica della struttura, che non erano state valutate in fase di progettazione: per questo motivo, in via cautelativa, si può considerare un aumento del 15% della durata dei lavori, cioè 1 settimana in più;
- Per la riqualificazione totale, gli imprevisti possono essere di entità maggiore rispetto al caso precedente, quindi, se la durata dei lavori è prevista per 53 giorni lavorativi, la percentuale cautelativa aumenta fino al +20% e si prevede un aumento di 2 settimane di lavoro;
- La particolarità degli edifici prefabbricati in legno è che il progetto esecutivo consiste in una descrizione altamente particolarizzata in cui viene specificato, prima dell'inizio dei lavori, ogni componente, compresi gli arredi interni, che costituisce l'abitazione. Questo metodo di progettazione, che obbliga alla definizione precisa e dettagliata di tutti gli elementi dell'edificio, dalle stratigrafie agli impianti elettrici, diminuisce e quasi annulla le modifiche in cantiere. Pertanto la durata dei lavori indicata dal Diagramma di Gantt nel Capitolo 3, 106 giorni lavorativi, può essere considerata attendibile.

4.3 CONFRONTO ECONOMICO

In questa fase dell'analisi è stato effettuato un paragone dal punto di vista economico fra le due soluzioni di miglioramento energetico dell'edificio e la nuova casa prefabbricata in legno tenendo in considerazione l'investimento iniziale calcolato attraverso il computo metrico estimativo, gli eventuali incentivi e il risparmio nella bolletta energetica rispetto alla condizione iniziale di edificio in classe energetica G.

4.3.1 AGEVOLAZIONI E DETRAZIONI FISCALI

Per prima cosa è dovere specificare che gli importi riportati nel computo metrico estimativo nei Paragrafi 2.6 e 3.8, rispettivamente per l'edificio riqualificato e per l'edificio prefabbricato in legno, non sono compresi della tassazione perché i due tipi di interventi sono soggetti ad agevolazioni fiscali differenti.

L'agevolazione fiscale consiste in detrazioni dall'Irpef o dall'Ires ed è concessa quando si eseguono interventi che aumentano il livello di efficienza energetica degli edifici esistenti. In particolare, le detrazioni sono riconosciute se le spese sono state sostenute per:

- La riduzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento
- Il miglioramento termico dell'edificio (coibentazioni – pavimenti – finestre)
- L'installazione di pannelli solari
- La sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale.

Le detrazioni, da ripartire in dieci rate annuali di pari importo, sono riconosciute nelle seguenti misure:

- **55%** delle spese sostenute fino al 5 giugno 2013
- **65%** delle spese sostenute dal 6 giugno 2013 al 31 dicembre 2014 per interventi sulle singole unità immobiliari
- **50%** delle spese sostenute dal 1° gennaio 2015 al 31 dicembre 2015 per interventi sulle singole unità immobiliari.

Dal 1° gennaio 2016 l'agevolazione sarà invece sostituita con la detrazione fiscale prevista per le spese di ristrutturazione edilizia.

Come tutte le detrazioni di imposta, l'agevolazione è ammessa entro il limite che trova capienza nell'imposta annua derivante dalla dichiarazione dei redditi. In sostanza, la somma eventualmente eccedente non può essere chiesta a rimborso.

DETRAZIONE MASSIMA PER TIPOLOGIA DI INTERVENTO

Tipo di intervento	Detrazione massima
Riqualificazione energetica di edifici esistenti	100.000 euro
Involucro su edifici esistenti (per esempio, pareti, finestre)	60.000 euro
Installazione di pannelli solari	60.000 euro
Sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale	30.000 euro

Condizione indispensabile per fruire della detrazione è che gli interventi siano eseguiti su unità immobiliari e su edifici esistenti, di qualunque categoria catastale, anche se rurali, compresi quelli strumentali.

Non sono agevolabili, quindi, le spese effettuate in corso di costruzione dell'immobile. L'esclusione degli edifici di nuova costruzione, peraltro, risulta coerente con la normativa di settore adottata a livello comunitario in base alla quale tutti i nuovi edifici sono assoggettati a prescrizioni minime della prestazione energetica in funzione delle locali condizioni climatiche e della tipologia.

Le cessioni di beni e le prestazioni di servizi poste in essere per la realizzazione degli interventi di riqualificazione energetica degli edifici sono soggette all'imposta sul valore aggiunto in base alle aliquote previste per gli interventi di recupero del patrimonio immobiliare. In particolare, per le prestazioni di servizi relativi a interventi di manutenzione – ordinaria e straordinaria – realizzati su immobili residenziali, è previsto un regime agevolato con applicazione dell'Iva ridotta al 10%.

L'edificio vecchio in classe energetica G sottoposto a riqualificazione energetica può accedere all'agevolazione sull'imposta sul valore aggiunto del 10% e può favorire della detrazione fiscale del 65% sopra citata. Per questi interventi il valore massimo della detrazione fiscale è di 100.000 euro.

Rientrano in questa tipologia i lavori che permettono il raggiungimento di un indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale non superiore ai valori definiti dal decreto del Ministro dello Sviluppo economico dell'11 marzo 2008.

Non è stato stabilito quali opere o impianti occorre realizzare per raggiungere le prestazioni energetiche richieste. L'intervento, infatti, è definito in funzione del risultato che lo stesso deve conseguire in termini di riduzione del fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale dell'intero fabbricato. Pertanto, la categoria degli "interventi di riqualificazione" ammessi al beneficio fiscale include qualsiasi intervento, o insieme sistematico di interventi, che incida sulla prestazione energetica dell'edificio, realizzando la maggiore efficienza energetica richiesta dalla norma.

Gli indici che misurano il risparmio energetico sono elaborati in funzione della categoria in cui l'edificio è classificato (residenziale o altri edifici), della zona climatica in cui è situato e del rapporto di forma che lo stesso presenta.

Per quanto riguarda l'acquisto della prima casa, è dovuta l'Iva al 4% ,cioè con un'aliquota più bassa rispetto a quella normalmente applicata alla cessione di immobili, che è pari al 10%. Le agevolazioni per l'acquisto sono applicabili anche nel caso di costruzione della prima casa, o di ricostruzione, se l'immobile originario è demolito.

I requisiti oggettivi per godere dell'IVA agevolata al 4% sono i seguenti:

1. Immobile non di lusso
2. Novità del beneficio dell'agevolazione *Prima Casa*

Per fruire dell'IVA agevolata al 4% per l'acquisto della prima casa è necessario che la casa di abitazione, oggetto di acquisto, non presenti caratteristiche di lusso, secondo i criteri indicati nel Decreto 2 agosto 1969 (per esempio, la presenza di una piscina di almeno 80 mq di superficie o campi da tennis con sottofondo drenato di superficie non inferiore a 650 mq).

Inoltre, per beneficiare dell'aliquota Iva ridotta al 4% per l'acquisto della prima casa, occorre dichiarare di "... non essere titolare, neppure per quote, anche in regime di comunione legale su tutto il territorio nazionale dei diritti di proprietà, usufrutto, uso, abitazione e nuda proprietà su altra casa di abitazione acquistata dallo stesso soggetto o dal coniuge con le agevolazioni di cui al presente articolo ...". La dichiarazione va resa con riferimento a tutti gli immobili acquisiti con il beneficio dell'Iva agevolata *Prima Casa*.

L'edificio prefabbricato in legno in esame può essere quindi soggetto ad agevolazione fiscale con Iva al 4%.

Riassumendo:

- La casa riqualificata in modo parziale è soggetta ad Iva agevolata al 10 % e può usufruire delle detrazioni fiscali del 65% poiché il costo di intervento compreso delle imposte, esclusa la quota legata alla progettazione, è pari a **91.727,70 €** e rientra nel limite massimo della detrazione;
- La casa riqualificata in modo totale è anch'essa soggetta ad Iva agevolata al 10% e può usufruire delle detrazioni fiscali del 65%, con un costo totale dell'intervento di **134.192,82 €**;
- La nuova casa prefabbricata in legno può sfruttare il regime di Iva agevolata del 4%, con un costo totale dell'intervento, esclusa la quota legata alla progettazione, pari a **175.783,86 €**.

4.3.2 RISPARMIO SULLA BOLLETTA

Per indentificare il vero risparmio che si ottiene dai due tipi di intervento, è necessario paragonare la bolletta dell'edificio attuale, con l'eventuale bolletta che l'utente dovrà pagare per l'energia elettrica e termica per il sistema di generazione di calore e per gli usi domestici.

Per poter calcolare il valore della bolletta, il software di certificazione energetica *Termolog Epix4* fornisce una tabella dei consumi energetici dell'edificio specificandone il vettore energetico, i fattori di conversione in energia primaria e l'eventuale contributo dell'energia da fonte rinnovabile. Noti i consumi di energia termica e di energia elettrica è possibile determinare i costi totali della bolletta energetica.

Il programma mette a disposizione le seguenti informazioni:

- 1) L'energia prodotta da fonti rinnovabili on site, Q_{os} ;
- 2) L'energia prodotta da fonti rinnovabili on site convertita in energia primaria, $Q_{p,os}$;
- 3) Il fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria, $f_{p,el}$;
- 4) L'energia consegnata dal vettore energetico i-esimo off site, $Q_{del,i}$;
- 5) L'energia primaria non rinnovabile del vettore i-esimo, $Q_{p,nren,i}$;
- 6) Il fattore di conversione in energia primaria per la quota rinnovabile del vettore i-esimo, $f_{p,ren,i}$;
- 7) L'energia primaria totale (rinnovabile e non rinnovabile), $Q_{p,i}$;
- 8) Il fattore di conversione energia primaria, f_p ;
- 9) Il fabbisogno di energia elettrica fornita dalla rete, Q_{el} ;
- 10) L'energia elettrica richiesta convertita in energia primaria, $Q_{p,el}$;
- 11) Il fattore di conversione in energia primaria per la quota non rinnovabile del vettore i-esimo, $f_{p,nren,i}$;
- 12) L'energia primaria non rinnovabile, $Q_{p,nren,i}$;
- 13) L'energia primaria rinnovabile, $Q_{p,ren,i}$;
- 14) La frazione percentuale della quota rinnovabile di energia primaria, QR.

Per ciascun caso in esame sono riportate le tabelle riguardanti i valori relativi ai consumi dell'edificio divisi in:

- Energia primaria non rinnovabile;
- Quota rinnovabile per la climatizzazione invernale;
- Quota rinnovabile per la produzione di acqua calda sanitaria;
- Quota rinnovabile dell'energia primaria globale.

L'ultima tabella fornisce i dati su cui sono basati i calcoli della bolletta energetica.

SITUAZIONE INIZIALE.

L'edificio da riqualificare è inizialmente caratterizzato dai seguenti contributi energetici:

Nome fonte energetica o contributo richiesto	Servizio	Tipologia di generazione	Vettore energetico principale
Generatore Riscaldamento	Riscaldamento	Generatore a gas o combustibile fossile	Gasolio
Generatore ACS	ACS	Generatore a gas o combustibile fossile	Gasolio
Energia elettrica per ausiliari riscaldamento (emissione e distribuzione)	Riscaldamento	Alimentazione elettrica	Energia elettrica da rete
Energia elettrica per ausiliari ACS (distribuzione)	ACS	Alimentazione elettrica	Energia elettrica da rete

Non essendoci alcun impianto a fonte rinnovabile, la frazione percentuale della quota rinnovabile di energia primaria, QR, è nulla e tutta l'energia termica è fornita dal generatore di calore alimentato a gasolio, mentre l'energia elettrica è interamente acquistata dalla rete.

Nella Tabella 27 sono riportati i valori dell'energia primaria non rinnovabile, sia proveniente da energia termica sia proveniente da energia elettrica, assorbita dall'edificio per il riscaldamento, la produzione dell'acqua calda sanitaria e per tutti gli ausiliari del generatore che funzionano ad energia elettrica. Successivamente sono indicati il valore globale dell'energia primaria e la quota di essa che deriva da fonte rinnovabile.

Tabella 27 Energia primaria non rinnovabile.

Nome fonte energetica o contributo richiesto	ON SITE			OFF SITE						Primario non rinnov.
	Q _{os} [MJ]	f _p	Q _{p,os} [MJ]	Elettrico			Altre fonti			
				Q _{el} [MJ]	f _{p,el}	Q _{p,el} [MJ]	Q _{del,i} [MJ]	f _{p,nren,i}	Q _{p,nren,i} [MJ]	Q _{p,nren} [MJ]
Generatore Riscaldamento				818,90	2,18	1.785,20	113.230,75	1,00	113.230,75	115.015,95
Generatore ACS				31,26	2,18	68,14	9.724,85	1,00	9.724,85	9.793,00
Energia elettrica per ausiliari riscaldamento				1.581,12	2,18	3.446,84				3.446,84
Energia elettrica per ausiliari ACS				3.153,60	2,18	6.874,85				6.874,85
TOTALE	-	-	0,00	-	-	12.175,04	-	-	122.955,60	135.130,64

Per quanto riguarda l'energia primaria globale necessaria all'edificio per le funzioni di climatizzazione invernale e l'acqua calda sanitaria, i valori sono riassunti nella Tabella 28.

Tabella 28 Quota rinnovabile dell'energia primaria globale.

Vettore energetico	Fonte	Primario rinnovabile			Primario non rinnovabile		Primario totale	
		Q _{del,i} [MJ]	f _{p,nren,i}	Q _{p,nren,i} [MJ]	f _{p,nren,i}	Q _{p,nren,i} [MJ]	Q _{p,i} [MJ]	QR [%]
Gas naturale	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Gasolio	Off site	122.955,60	0,00	0,00	1,00	122.955,60	122.955,60	0,0
Olio combustibile	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
GPL	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Biomasse	Off site	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica dalla rete	Off site	5.584,88	0,00	0,00	2,18	12.175,04	12.175,04	0,0
Energia termica da rete	Off site	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,0
Energia captata da irradiazione solare	On site	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia termica prelevata dall'ambiente	On site	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da FV	Esportata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da cogenerazione	Esportata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
TOTALE		-	-	0,00	-	135.130,64	135.130,64	0,00

Da questi valori è possibile calcolare la bolletta riferita ai consumi di gasolio per il riscaldamento e ai consumi di energia elettrica dovuti sia all'utilizzo domestico sia agli ausiliari del sistema di generazione.

CONSUMO DI GASOLIO PER IL RISCALDAMENTO.

Dalla Tabella 28, il dato da considerare per i consumi annuali di gasolio per il riscaldamento è l'energia fornita dal vettore energetico "Gasolio" pari a $Q_{del,i} = 122.955,60 \text{ MJ} = 34.154,33 \text{ kWh}$.

Energia termica fornita dal gasolio:	34.154,33 kWh/anno
Calore specifico del gasolio da riscaldamento:	12,33 kWh/kg
Densità del gasolio:	0,835 kg/litro
Quantità di gasolio consumata:	3.317,39 litri
Prezzo del gasolio da riscaldamento:	1,4 €/litro ⁶⁰
Bolletta del gasolio:	4.644,34 €/anno

CONSUMO DI ENERGIA ELETTRICA.

Per il calcolo della bolletta dell'energia elettrica, l'edificio è un'utenza residenziale con potenza impegnata pari a 3 kW con un consumo di energia annuale standard pari a 3.000 kWh/anno.

Consultando la Scheda di Confrontabilità dell'Enel, allegata nell'Appendice A⁶¹, e supponendo che il cliente abbia un profilo di consumo tipo del 33,4% in fascia F1 e del 66,6% in fascia F2 e F3, il prezzo della bolletta dell'energia elettrica, secondo il servizio di maggiore tutela, è pari a **911,59 €/anno**.

VALORE DELLA BOLLETTA ENERGETICA FINALE.

In totale l'utente della casa da ristrutturare deve pagare una bolletta energetica di **5.555,93 €/anno**.

RIQUALIFICAZIONE PARZIALE SECONDO IL CASO B.

L'edificio riqualificato in modo parziale è stato dotato di un sistema di generazione ibrido composto da una caldaia a condensazione alimentata da gas naturale e da una pompa di calore a compressione di vapore che lavorano in alternanza in funzione della temperatura esterna dell'aria in modo tale da favorire il funzionamento della pompa di calore solo quando è energeticamente più conveniente rispetto alla caldaia. Per ridurre i costi dell'energia elettrica assorbita dalla pompa di calore e dai consumi elettrici domestici, è stato installato un impianto fotovoltaico di potenza pari a 6 kW.

Nome fonte energetica o contributo richiesto	Servizio	Tipologia di generazione	Vettore energetico principale
Generatore Riscaldamento+ACS	Riscaldamento+ACS	Pompa di calore a compressione di vapore	Energia elettrica
Generatore Riscaldamento+ACS	Riscaldamento+ACS	Generatore a gas o combustibile fossile	Metano
Energia elettrica per ausiliari riscaldamento (emissione e distribuzione)	Riscaldamento	Alimentazione elettrica	Energia elettrica da rete
Energia elettrica per ausiliari ACS (distribuzione)	ACS	Alimentazione elettrica	Energia elettrica da rete
Energia elettrica on site	Produzione energia elettrica	Solare fotovoltaico	Energia captata da irradiazione solare
Energia elettrica esportata da fotovoltaico	Produzione energia elettrica	Solare fotovoltaico	Energia elettrica sovrapprodotta

Il calcolo della bolletta energetica totale è il risultato della componente della bolletta del metano e della bolletta dell'energia elettrica dalla quale si detrae la componente legata alla tariffa dello

⁶⁰ Prezzo medio del gasolio per il riscaldamento fornito dal sito del Ministero dello Sviluppo Economico.

⁶¹ Scheda Tecnica 15. Scheda di Confrontabilità Enel.

“Scambio sul posto” dovuta alla sovrapproduzione di energia elettrica dell’impianto fotovoltaico rispetto alla componente auto-consumata.

Nelle tabelle sottostanti, ricavate dal software di certificazione *Termolog Epix4*, sono riportati i valori dell’energia primaria non rinnovabile, la quota rinnovabile per la climatizzazione invernale, la quota rinnovabile per la produzione di acqua calda sanitaria e infine la quota rinnovabile dell’energia primaria globale.

Nome fonte energetica o contributo richiesto	ON SITE			OFF SITE						Primario non rinnov.
	Q _{os} [MJ]	f _p	Q _{p,os} [MJ]	Elettrico			Altre fonti			
				Q _{el} [MJ]	f _{p,el}	Q _{p,el} [MJ]	Q _{del,i} [MJ]	f _{p,nren,i}	Q _{p,nren,i} [MJ]	
Pompa di calore	8.941,94	1,00	8.941,94	3.265,16	2,174	7.098,46				7.098,46
Caldaia a condensazione				177,31	2,174	385,47	17.913,8	1,00	17.913,8	18.299,24
Energia elettrica per ausiliari riscaldamento				0,00	2,174	0,00				0,00
Energia elettrica per ausiliari ACS				0,00	2,174	0,00				0,00
Energia elettrica on site	2.615,08	2,174	5.685,19							-5.685,19
Energia elettrica esportata da fotovoltaico	16.329	0,00	0,00							0,00
TOTALE	-	-	14.627,1	-	-	7.438,93	-	-	17.913,8	19.712,51

La presenza dell’impianto fotovoltaico permette all’edificio riqualificato di raggiungere gli obiettivi richiesti dalla Direttiva europea 2009/28/CE della quota minima di energia rinnovabile per coprire i consumi energetici per la produzione di acqua calda sanitaria e i consumi globali di energia primaria dell’edificio. Le Tabelle 29, 30 e 31, rispettivamente, si riferiscono alla quota di energia rinnovabile per la climatizzazione invernale, per la produzione di ACS e dell’energia primaria globale.

Tabella 29 Quota rinnovabile per la climatizzazione invernale.

Vettore energetico	Fonte	Primario rinnovabile			Primario non rinnovabile		Primario totale	
		Q _{del,i} [MJ]	f _{p,ren,i}	Q _{p,ren,i} [MJ]	f _{p,nren,i}	Q _{p,nren,i} [MJ]	Q _{p,i} [MJ]	QR [%]
Gas naturale	Off site	13.213,21	0,00	0,00	1,00	13.213,21	13.213,21	0,0
Gasolio	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Olio combustibile	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
GPL	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Biomasse	Off site	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica dalla rete	Off site	0,00	0,00	0,00	2,18	0,00	0,00	0,0
Energia termica da rete (teleriscaldamento)	Off site	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,0
Energia captata da irradiazione solare	On site	1.066,89	1,00	1.066,89	0,00	0,00	1.066,89	100,0
Energia termica prelevata dall’ambiente	On site	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da FV	Esportata	1.668,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da cogenerazione	Esportata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
TOTALE		-	-	1.066,89	-	13.213,21	14.280,10	7,47%

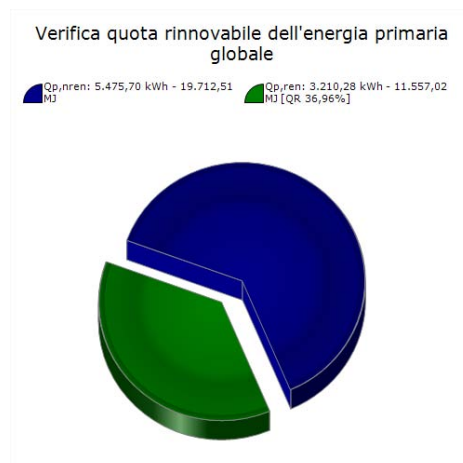
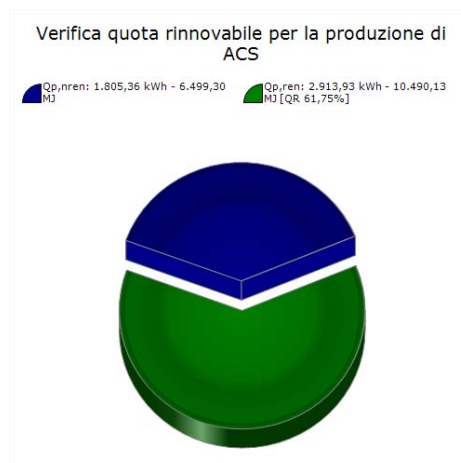
Tabella 30 Quota rinnovabile per la produzione di acqua calda sanitaria.

Vettore energetico	Fonte	Primario rinnovabile			Primario non rinnovabile		Primario totale	
		Q _{del,i} [MJ]	f _{p,ren,i}	Q _{p,ren,i} [MJ]	f _{p,nren,i}	Q _{p,nren,i} [MJ]	Q _{p,i} [MJ]	QR [%]
Gas naturale	Off site	4.700,55	0,00	0,00	1,00	4.700,55	4.700,55	0,0
Gasolio	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Olio combustibile	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
GPL	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Biomasse	Off site	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica da rete	Off site	827,39	0,00	0,00	2,18	1.798,74	1.798,74	0,0
Energia termica da rete (teleriscaldamento)	Off site	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,0
Energia captata da irradiazione solare	On site	1.548,20	1,00	1.548,20	0,00	0,00	1.548,20	100,0
Energia termica prelevata dall'ambiente	On site	8.941,94	1,00	8.941,94	0,00	0,00	8.941,94	100,0
Energia elettrica sovrapprodotta da FV	Esportata	14.660,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da cogenerazione	Esportata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
TOTALE		-	-	10.490,13	-	6.499,30	16.989,43	61,75%

Tabella 31 Quota rinnovabile dell'energia primaria globale.

Vettore energetico	Fonte	Primario rinnovabile			Primario non rinnovabile		Primario totale	
		Q _{del,i} [MJ]	f _{p,ren,i}	Q _{p,ren,i} [MJ]	f _{p,nren,i}	Q _{p,nren,i} [MJ]	Q _{p,i} [MJ]	QR [%]
Gas naturale	Off site	17.913,76	0,00	0,00	1,00	17.913,76	17.913,76	0,0
Gasolio	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Olio combustibile	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
GPL	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Biomasse	Off site	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica da rete	Off site	827,39	0,00	0,00	2,18	1.798,74	1.798,74	0,0
Energia termica da rete (teleriscaldamento)	Off site	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,0
Energia captata da irradiazione solare	On site	2.615,08	1,00	2.615,08	0,00	0,00	2.615,08	100,0
Energia termica prelevata dall'ambiente	On site	8.941,94	1,00	8.941,94	0,00	0,00	8.941,94	100,0
Energia elettrica sovrapprodotta da FV	Esportata	16.328,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da cogenerazione	Esportata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
TOTALE		-	-	11.557,02	-	19.712,51	31.269,53	36,96%

Dalle Tabelle 30 e 31 è possibile verificare che i requisiti minimi di quota rinnovabile per la produzione di acqua calda sanitaria e nell'ambito dell'energia primaria globale sono rispettati essendo questi pari al 50% per l'ACS e pari al 35% per l'energia primaria globale.



CONSUMI DI GAS NATURALE.

Per la determinazione dei consumi di gas naturali derivanti dalla caldaia a condensazione, si fa riferimento ai dati forniti dalla Tabella 31.

Il parametro da utilizzare è l'energia fornita dal vettore energetico "Gas naturale" pari a 17.913,76 MJ che è già stato depurato della componente indicata come energia termica prelevata dall'ambiente che si riferisce all'energia rinnovabile termica prodotta dalla pompa di calore che rappresenta un risparmio nel consumo di gas naturale. È considerata rinnovabile grazie alla presenza dell'impianto fotovoltaico.

Energia termica fornita dal metano:	4.976,04 kWh/anno
Calore specifico del metano:	9,6 kWh/m ³
Quantità di metano consumata dall'impianto:	518,34 m ³ /anno
Quantità di metano per cucinare:	100 m ³ /anno
Costo del gas:	0,92 €/m ³
Fisso del servizio:	70 €/anno
Bolletta del gas:	638,87 €/anno

CONSUMO ENERGIA ELETTRICA.

Anche per questo caso, si ipotizza che i consumi di energia elettrica per uso domestico siano pari a 3.000 kWh/anno. Per i consumi dovuti all'impianto di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, si fa riferimento sempre ai dati presenti nella Tabella 31.

Consumo energia elettrica per uso domestico:	3.000 kWh/anno
Consumo energia elettrica impianto:	956,24 kWh/anno ⁶²
Consumo energia elettrica totale:	3.956,24 kWh/anno
Energia elettrica auto-consumata dal fotovoltaico:	
POMPA DI CALORE	726,41 kWh/anno
CONSUMI DOMESTICI	750 kWh/anno ⁶³
Totale energia elettrica auto-consumata:	1476,41 kWh/anno
Energia elettrica acquistata dalla rete:	2.479,83 kWh/anno
Bolletta energia elettrica senza "Scambio sul posto":	694,94 €/anno

⁶² Questo dato deriva dalla somma dell'energia elettrica da rete e dell'energia captata da irradiazione solare.

⁶³ In via cautelativa, si è stimato il 25% dei consumi elettrici domestici.

Il valore della bolletta è stato ricavato dalla Scheda di Confrontabilità dell'Enel per clienti con potenza impegnata superiore ai 4,5 kW e con profilo tipo di consumo di 33,4% in fascia F1 e 66,6% in fascia F2 e F3.

SCAMBIO SUL POSTO.

L'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico durante il giorno può essere utilizzata in due modi:

- 1) **Autoconsumo**, ovvero l'energia consumata nel momento stesso della sua produzione. In questo caso il momento di produzione dell'energia coincide con la richiesta di corrente da parte dei dispositivi presenti nell'abitazione, nell'ufficio, nell'azienda su cui è presente l'impianto FV;
- 2) **Immissione in rete**: nel caso in cui non ci sia richiesta di energia quando l'impianto fotovoltaico sta producendo, l'energia in eccesso viene ceduta al gestore di rete rendendola così disponibile per altri utenti.

L'energia prodotta, ma non consumata non è persa, ma ha un valore che viene ripagato. Lo "Scambio sul posto" è il meccanismo di compensazione economica (regolato dal GSE) tra il valore dell'energia acquistata dalla rete e il valore di quella prodotta ed immessa in rete e non auto-consumata.

Lo scambio tra energia immessa e energia prelevata non è alla pari. Il valore economico dell'energia ceduta alla rete viene definito sulla base di una formula matematica che dipende da fattori quali la zona di mercato, la fascia oraria di vendita o immissione, ecc. In poche parole, l'energia che viene acquistata dal fornitore ha un determinato valore economico, mentre l'energia che viene immessa in rete ne ha uno inferiore. Ma la cosa importante è che viene comunque riconosciuto un valore all'energia non auto-consumata, ma immessa in rete.

L'utente pagherà tutte le bollette per il totale dell'energia prelevata e riceverà dal GSE un contributo in conto scambio (CS) sotto forma di liquidazione delle eccedenze o di sconto sulla bolletta. Per il calcolo del contributo dello "Scambio sul posto", bisogna conoscere l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico e l'energia elettrica auto-consumata. Da questi due parametri è possibile calcolare l'energia in eccesso immessa in rete: di questa solo la parte consumata dall'utente sarà valorizzata maggiormente rispetto a quella in eccesso venduta alla rete.

Energia prodotta dall'impianto fotovoltaico:	6.600 kWh/anno
Energia auto-consumata:	1.476,41 kWh/anno
Energia immessa in rete:	5.123,59 kWh/anno

Dell'energia immessa in rete e non auto-consumata, l'utente ne consuma 2.479,83 kWh/anno che, secondo la tariffa dello "Scambio sul posto", viene valorizzata a 0,14 €/kWh, mentre la restante energia elettrica immessa in rete dall'impianto fotovoltaico, ma non usufruita dall'utente viene valorizzata a 0,08 €/kWh.

Valore iniziale della bolletta dell'energia elettrica:	2.479,83 kWh/anno	+ 694,94 €/anno
Energia immessa in rete valorizzata a 0,14 €/kWh:	2.479,83 kWh/anno	- 347,176 €/anno
Energia immessa in rete valorizzata a 0,08 €/kWh:	2.643,76 kWh/anno	- 211,5 €/anno
Fisso del servizio "Scambio sul posto":		+ 36 €/anno
Valore finale bolletta dell'energia elettrica:		172,26 €/anno

VALORE DELLA BOLLETTA ENERGETICA FINALE.

L'utente della casa riqualificata secondo il CASO B dovrà affrontare una spesa della bolletta energetica totale pari a **811,13 €/anno**.

RIQUALIFICAZIONE TOTALE.

L'edificio riqualificato in modo totale è invece alimentato da un solo vettore energetico per la generazione di calore: l'energia elettrica. Rimane invece invariata la parte relativa ai consumi di gas naturale per la cucina.

I contributi energetici sono infatti forniti da:

Nome fonte energetica o contributo richiesto	Servizio	Tipologia di generazione	Vettore energetico principale
Pompa di calore VITOCAL 200-S	Riscaldamento+ACS	Pompa di calore a compressione di vapore	Energia elettrica
Energia elettrica per ausiliari riscaldamento (emissione e distribuzione)	Riscaldamento	Alimentazione elettrica	Energia elettrica da rete
Energia elettrica per ausiliari ACS (distribuzione)	ACS	Alimentazione elettrica	Energia elettrica da rete
Energia termica on site per ACS	ACS	Solare termico	Energia captata da irradiazione solare
Energia elettrica on site	Produzione energia elettrica	Solare fotovoltaico	Energia captata da irradiazione solare
Energia elettrica esportata da fotovoltaico	Produzione energia elettrica	Solare fotovoltaico	Energia elettrica sovrapprodotta

Per la determinazione della bolletta energetica finale, bisogna calcolare i totali consumi elettrici e applicarvi la quota da detrarre legata alla tariffa dello “Scambio sul posto” e aggiungere i consumi di gas naturale legati alla cucina.

Per prima cosa bisogna riportare le tabelle legate ai parametri riguardanti l'energia primaria non rinnovabile consumata dall'edificio, la quota rinnovabile per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria e la quota relativa ai consumi globali di energia primaria.

La Tabella 32 indica i valori di energia primaria non rinnovabile consumata dal sistema di generazione.

Tabella 32 Energia primaria non rinnovabile.

Nome fonte energetica o contributo richiesto	ON SITE			OFF SITE						Primario non rinnov. [MJ]
	Q _{os} [MJ]	f _p	Q _{p,os} [MJ]	Elettrico			Altre fonti			
				Q _{el} [MJ]	f _{p,el}	Q _{p,el} [MJ]	Q _{d,el,i} [MJ]	f _{p,nren,i}	Q _{p,nren,i} [MJ]	
Pompa di calore	0,00	1,00	0,00	8.513,15	2,174	18.507,6				18.507,6
Energia elettrica per ausiliari riscaldamento				0,00	2,174	0,00				0,00
Energia elettrica per ausiliari ACS				0,00	2,174	0,00				0,00
Energia termica on site per ACS	9.140,19	1,00	9.140,19							
Energia elettrica on site	3.700,23	2,174	8.044,30							-8.044,30
Energia elettrica esportata da fotovoltaico	16.414,8	0,00	0,00							0,00
TOTALE	-	-	17.184,5	-	-	18.507,6	-	-	0,00	10.463,30

Le Tabelle 33, 34 e 35 rappresentano la quota di energia rinnovabile che l'impianto fotovoltaico e solare termico producono per la produzione di riscaldamento, ACS e in ambito dell'energia termica globale, per poter verificare se essa rispetta il requisito della Direttiva 2009/28/CE.

Tabella 33 Quota rinnovabile per la climatizzazione invernale.

Vettore energetico	Fonte	Primario rinnovabile			Primario non rinnovabile		Primario totale	
		Q _{del,i} [MJ]	f _{p,ren,i}	Q _{p,ren,i} [MJ]	f _{p,nren,i}	Q _{p,nren,i} [MJ]	Q _{p,i} [MJ]	QR [%]
Gas naturale	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Gasolio	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Olio combustibile	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
GPL	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Biomasse	Off site	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica dalla rete	Off site	3.442,63	0,00	0,00	2,174	7.484,27	7.484,27	0,0
Energia termica da rete (teleriscaldamento)	Off site	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,0
Energia captata da irradiazione solare	On site	3.162,84	1,00	3.162,84	0,00	0,00	3.162,84	100,0
Energia termica prelevata dall'ambiente	On site	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da FV	Esportata	603,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da cogenerazione	Esportata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
TOTALE		-	-	3.162,84	-	7.484,27	10.647,11	29,71%

Tabella 34 Quota rinnovabile per la produzione di acqua calda sanitaria.

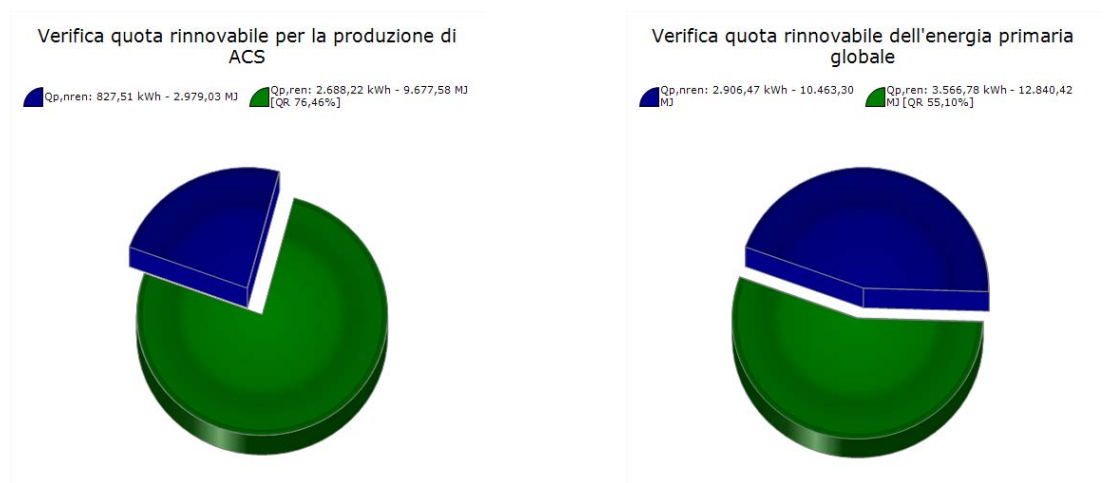
Vettore energetico	Fonte	Primario rinnovabile			Primario non rinnovabile		Primario totale	
		Q _{del,i} [MJ]	f _{p,ren,i}	Q _{p,ren,i} [MJ]	f _{p,nren,i}	Q _{p,nren,i} [MJ]	Q _{p,i} [MJ]	QR [%]
Gas naturale	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Gasolio	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Olio combustibile	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
GPL	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Biomasse	Off site	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica da rete	Off site	1.370,30	0,00	0,00	2,174	2.979,03	2.979,03	0,0
Energia termica da rete (teleriscaldamento)	Off site	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,0
Energia captata da irradiazione solare	On site	9.677,58	1,00	9.677,58	0,00	0,00	9.677,58	100,0
Energia termica prelevata dall'ambiente	On site	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da FV	Esportata	15.811,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da cogenerazione	Esportata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
TOTALE		-	-	9.677,58	-	2.979,03	12.656,60	76,46%

Infine la Tabella 35 indica complessivamente i consumi dell'impianto di generazione ed indica quanta energia consumata proviene da fonte rinnovabile.

Tabella 35 Quota rinnovabile dell'energia primaria globale.

Vettore energetico	Fonte	Primario rinnovabile			Primario non rinnovabile		Primario totale	
		Q _{del,i} [MJ]	f _{p,ren,i}	Q _{p,ren,i} [MJ]	f _{p,nren,i}	Q _{p,nren,i} [MJ]	Q _{p,i} [MJ]	QR [%]
Gas naturale	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Gasolio	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Olio combustibile	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
GPL	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Biomasse	Off site	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica da rete	Off site	4.812,92	0,00	0,00	2,174	10.463,30	10.463,30	0,0
Energia termica da rete (teleriscaldamento)	Off site	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,0
Energia captata da irradiazione solare	On site	12.840,42	1,00	12.840,42	0,00	0,00	12.840,42	100,0
Energia termica prelevata dall'ambiente	On site	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
Energia elettrica sovrapprodotta da FV	Esportata	16.414,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da cogenerazione	Esportata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
TOTALE		-	-	12.840,42	-	10.463,30	23.303,71	55,10%

Si può notare dalle Tabelle 34 e 35 che la quota minima di produzione da fonte rinnovabile per l'acqua calda sanitaria e per i consumi globali è rispettata per entrambi i casi.



CONSUMI DI ENERGIA ELETTRICA.

I consumi per uso domestico sono sempre stimati pari a 3.000 kWh/anno, mentre per i consumi elettrici legati alla generazione di calore bisogna fare riferimento ai dati in Tabella 35.

Consumo energia elettrica per uso domestico:	3.000 kWh/anno
Consumo energia elettrica impianto:	4.903,71 kWh/anno ⁶⁴
Consumo energia elettrica totale:	7.903,71 kWh/anno
Energia elettrica auto-consumata dal fotovoltaico:	
POMPA DI CALORE	3.566,78 kWh/anno
CONSUMI DOMESTICI	750 kWh/anno ⁶⁵

⁶⁴ Questo dato deriva dalla somma dell'energia elettrica da rete e dell'energia captata da irradiazione solare.

Totale energia elettrica auto-consumata:	4.316,78 kWh/anno
Energia elettrica acquistata dalla rete:	3.586,93 kWh/anno
Bolletta energia elettrica senza “Scambio sul posto”:	859,76 €/anno

Il valore della bolletta è stato ricavato dalla Scheda di Confrontabilità dell’Enel per clienti con potenza impegnata superiore ai 4,5 kW e con profilo tipo di consumo di 33,4% in fascia F1 e 66,6% in fascia F2 e F3.

SCAMBIO SUL POSTO.

Si è, dunque, applicata la tariffa “Scambio sul posto” per poter acquistare e vendere la parte di energia elettrica non auto-consumata dall’edificio al prezzo di valorizzazione indicato dal GSE.

Seguendo lo stesso procedimento del caso precedente per il calcolo della bolletta dell’energia elettrica, si ottengono i seguenti risultati:

Energia prodotta dall’impianto fotovoltaico:	6.600 kWh/anno
Energia auto-consumata:	4.316,78 kWh/anno
Energia immessa in rete:	2.283,22 kWh/anno

Essendo che l’energia elettrica da acquistare, pari a 3.586,93 kWh/anno, è maggiore dell’energia elettrica immessa in rete dall’impianto fotovoltaico perché in eccesso, tutta l’energia immessa nella rete è valorizzata a 0,14 €/kWh.

Valore iniziale della bolletta dell’energia elettrica:	3.586,93 kWh/anno	+ 859,76 €/anno
Energia immessa in rete valorizzata a 0,14 €/kWh:	2.283,22 kWh/anno	- 319,65 €/anno
Energia immessa in rete valorizzata a 0,08 €/kWh:	0 kWh/anno	- 0 €/anno
Fisso del servizio “Scambio sul posto”:		+ 36 €/anno
Valore finale bolletta dell’energia elettrica:		576,11 €/anno

CONSUMO DI GAS NATURALE.

La bolletta energetica che si sta analizzando comprende tutti i consumi dell’edificio, compreso quelli di gas naturale per il piano cottura. Si è scelto di mantenere la cucina a gas per evitare di dover acquistare anche un nuovo piano cottura ad induzione. Generalmente si stima un consumo di gas annuo per cucinare pari a 100 m³/anno.

Quantità di metano per cucinare:	100 m ³ /anno
Costo del gas:	0,92 €/m ³
Fisso del servizio:	70 €/anno
Bolletta del gas:	162 €/anno

VALORE DELLA BOLLETTA ENERGETICA FINALE.

L’utente, nel caso di riqualificazione totale, avrà una spesa di energia pari a **783,11 €/anno**.

EDIFICIO NUOVO PREFABBRICATO IN LEGNO.

L’edificio prefabbricato in legno è invece ad alimentazione totalmente elettrica:

- il sistema di generazione di calore è una pompa di calore a compressione di vapore a funzionamento monovalente,

⁶⁵ In via cautelativa, si è stimato il 25% dei consumi elettrici domestici.

- è stata ipotizzata l'assenza del collegamento alla rete del metano, quindi anche i consumi legati alla cucina sono elettrici,
- è stato installato un impianto fotovoltaico di potenza di picco pari a 6 kW per ridurre i costi della bolletta sfruttando anche le tariffe dello scambio sul posto,
- è stato installato un impianto solare termico che riduce ulteriormente l'assorbimento elettrico della pompa di calore per la produzione di acqua calda sanitaria.

Nome fonte energetica o contributo richiesto	Servizio	Tipologia di generazione	Vettore energetico principale
Pompa di calore VITOCAL 200-S	Riscaldamento+ACS	Pompa di calore a compressione di vapore	Energia elettrica
Energia elettrica per ausiliari riscaldamento (emissione e distribuzione)	Riscaldamento	Alimentazione elettrica	Energia elettrica da rete
Energia elettrica per ausiliari ACS (distribuzione)	ACS	Alimentazione elettrica	Energia elettrica da rete
Energia termica on site per ACS	ACS	Solare termico	Energia captata da irradiazione solare
Energia elettrica on site	Produzione energia elettrica	Solare fotovoltaico	Energia captata da irradiazione solare
Energia elettrica esportata da fotovoltaico	Produzione energia elettrica	Solare fotovoltaico	Energia elettrica sovrapprodotta

Essendo i consumi legati solo all'energia elettrica, la bolletta energetica sarà determinata dal valore della bolletta iniziale depurata dalla tariffa dello "Scambio sul posto".

La Tabella 36 indica i valori relativi all'energia primaria non rinnovabile che il sistema di generazione consuma per la produzione di acqua calda per il riscaldamento e per la funzione sanitaria.

Tabella 36 Energia primaria non rinnovabile.

Nome fonte energetica o contributo richiesto	ON SITE			OFF SITE						Primario non rinnov.
				Elettrico			Altre fonti			
	Q_{os} [MJ]	f_p	$Q_{p,os}$ [MJ]	Q_{el} [MJ]	$f_{p,el}$	$Q_{p,el}$ [MJ]	$Q_{del,i}$ [MJ]	$f_{p,nren,i}$	$Q_{p,nren,i}$ [MJ]	
Pompa di calore	0,00	1,00	0,00	7.395,29	2,174	16.077,4				16.077,4
Energia elettrica per ausiliari riscaldamento				0,00	2,174	0,00				0,00
Energia elettrica per ausiliari ACS				0,00	2,174	0,00				0,00
Energia termica on site per ACS	5.689,84	1,00	5.689,84							
Energia elettrica on site	3.304,38	2,174	7.183,72							-7.183,73
Energia elettrica esportata da fotovoltaico	14.734,1	0,00	0,00							0,00
TOTALE	-	-	12.873,6	-	-	16.077,4	-	-	0,00	8.893,64

Un parametro importante da verificare è se la produzione da fonte rinnovabile sia sufficiente a coprire la minima quota richiesta dalla Direttiva europea, per quanto riguarda gli edifici nuovi, nella produzione di acqua calda sanitaria e nel totale fabbisogno energetico di energia primaria globale dell'edificio.

Nelle tabelle seguenti sono indicate le percentuali di quota rinnovabile per la climatizzazione invernale, la produzione di ACS e l'energia globale primaria.

Tabella 37 Quota rinnovabile per la climatizzazione invernale.

Vettore energetico	Fonte	Primario rinnovabile			Primario non rinnovabile		Primario totale	
		Q _{del,i} [MJ]	f _{p,ren,i}	Q _{p,ren,i} [MJ]	f _{p,nren,i}	Q _{p,nren,i} [MJ]	Q _{p,i} [MJ]	QR [%]
Gas naturale	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Gasolio	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Olio combustibile	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
GPL	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Biomasse	Off site	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica dalla rete	Off site	2.156,97	0,00	0,00	2,174	4.689,26	4.689,26	0,0
Energia termica da rete (teleriscaldamento)	Off site	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,0
Energia captata da irradiazione solare	On site	2.606,52	1,00	2.606,52	0,00	0,00	2.606,52	100,0
Energia termica prelevata dall'ambiente	On site	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da FV	Esportata	885,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da cogenerazione	Esportata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
TOTALE		-	-	2.606,52	-	4.689,26	7.295,79	35,73%

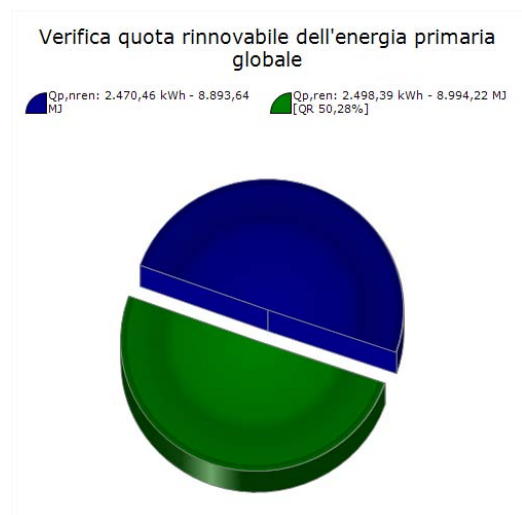
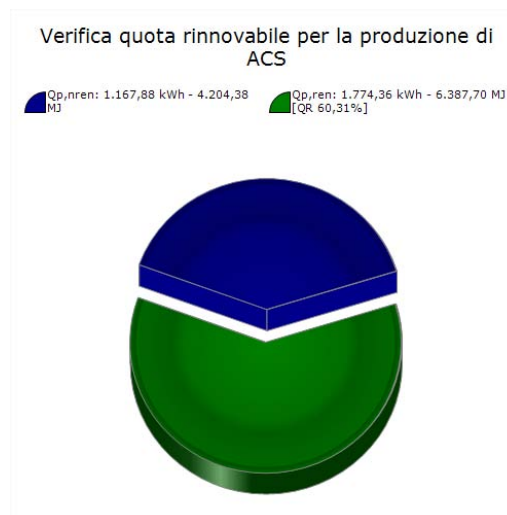
Tabella 38 Quota rinnovabile per la produzione di acqua calda sanitaria.

Vettore energetico	Fonte	Primario rinnovabile			Primario non rinnovabile		Primario totale	
		Q _{del,i} [MJ]	f _{p,ren,i}	Q _{p,ren,i} [MJ]	f _{p,nren,i}	Q _{p,nren,i} [MJ]	Q _{p,i} [MJ]	QR [%]
Gas naturale	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Gasolio	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Olio combustibile	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
GPL	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Biomasse	Off site	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica da rete	Off site	1.933,94	0,00	0,00	2,174	4.204,38	4.204,38	0,0
Energia termica da rete (teleriscaldamento)	Off site	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,0
Energia captata da irradiazione solare	On site	6.387,70	1,00	6.387,70	0,00	0,00	6.387,70	100,0
Energia termica prelevata dall'ambiente	On site	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da FV	Esportata	13.848,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da cogenerazione	Esportata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
TOTALE		-	-	6.387,70	-	4.204,38	10.592,08	60,31%

Tabella 39 Quota rinnovabile dell'energia primaria globale.

Vettore energetico	Fonte	Primario rinnovabile			Primario non rinnovabile		Primario totale	
		Q _{del,i} [MJ]	f _{p,ren,i}	Q _{p,ren,i} [MJ]	f _{p,nren,i}	Q _{p,nren,i} [MJ]	Q _{p,i} [MJ]	QR [%]
Gas naturale	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Gasolio	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Olio combustibile	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
GPL	Off site	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0
Biomasse	Off site	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica da rete	Off site	4.090,91	0,00	0,00	2,174	8.893,64	8.893,64	0,0
Energia termica da rete (teleriscaldamento)	Off site	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,0
Energia captata da irradiazione solare	On site	8.994,22	1,00	8.994,22	0,00	0,00	8.994,22	100,0
Energia termica prelevata dall'ambiente	On site	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
Energia elettrica sovrapprodotta da FV	Esportata	14.734,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Energia elettrica sovrapprodotta da cogenerazione	Esportata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
TOTALE		-	-	8.994,22	-	8.893,64	17.887,86	50,28%

I limiti imposti dalla normativa prevedono che il fabbisogno di acqua calda sanitaria sia coperto per il 50% da fonte rinnovabile, mentre globalmente i consumi di energia primaria possono essere coperti dal 20% di energia rinnovabile. Considerando le quote calcolate nelle Tabelle 38 e 39, i vincoli sono ampiamente rispettati.



CONSUMI DI ENERGIA ELETTRICA.

Per il calcolo della bolletta dell'energia elettrica si è ipotizzato un consumo di elettricità per uso domestico pari a 3.000 kWh/anno, come negli altri casi, mentre il consumo di elettricità dovuto agli impianti si ricava dalla Tabella 39.

Consumo energia elettrica per uso domestico:	3.000 kWh/anno
Consumo energia elettrica impianto:	3.634,76 kWh/anno ⁶⁶
Consumo energia elettrica totale:	6.634,76 kWh/anno
Energia elettrica auto-consumata dal fotovoltaico:	
POMPA DI CALORE	2.498,39 kWh/anno
CONSUMI DOMESTICI	750 kWh/anno ⁶⁷
Totale energia elettrica auto-consumata:	3.248,39 kWh/anno
Energia elettrica acquistata dalla rete:	3.386,37 kWh/anno
Bolletta energia elettrica senza “Scambio sul posto”:	783,11 €/anno

Il valore della bolletta è stato ricavato dalla Scheda di Confrontabilità dell’Enel per clienti con potenza impegnata superiore ai 4,5 kW e con profilo tipo di consumo di 33,4% in fascia F1 e 66,6% in fascia F2 e F3.

SCAMBIO SUL POSTO.

Anche in questo caso, si è applicata la tariffa “Scambio sul posto” per poter acquistare e vendere la parte di energia elettrica non auto-consumata dall’edificio al prezzo di valorizzazione indicato dal GSE.

Seguendo lo stesso procedimento del caso precedente per il calcolo della bolletta dell’energia elettrica, si ottengono i seguenti risultati:

Energia prodotta dall’impianto fotovoltaico:	6.600 kWh/anno
Energia auto-consumata:	3.248,39 kWh/anno
Energia immessa in rete:	3.351,61 kWh/anno

Essendo che l’energia elettrica da acquistare, pari a 3.386,37 kWh/anno, è maggiore dell’energia elettrica immessa in rete dall’impianto fotovoltaico perché in eccesso, tutta l’energia immessa nella rete è valorizzata a 0,14 €/kWh.

Valore iniziale della bolletta dell’energia elettrica:	3.386,37 kWh/anno	+ 783,11 €/anno
Energia immessa in rete valorizzata a 0,14 €/kWh:	3.361,61 kWh/anno	- 469,23 €/anno
Energia immessa in rete valorizzata a 0,08 €/kWh:	0 kWh/anno	- 0 €/anno
Fisso del servizio “Scambio sul posto”:		+ 36 €/anno
Valore finale bolletta dell’energia elettrica:		349,88 €/anno

VALORE DELLA BOLLETTA ENERGETICA FINALE.

L’unico tipo di energia consumata dall’edificio prefabbricato in legno è l’energia elettrica, quindi la bolletta energetica totale è uguale al valore della bolletta dell’energia elettrica, che è pari a **349,88 €/anno**.

4.3.3 ANALISI DELL’INVESTIMENTO

Lo scopo di riqualificare un edificio vecchio o sostituirlo con un edificio con elevata efficienza energetica è quello di poterne ricavare un risparmio nei costi di gestione dell’energia.

Nel paragrafo precedente, è stato dimostrato l’effettivo risparmio in bolletta che si ottiene dai due tipi di interventi:

⁶⁶ Questo dato deriva dalla somma dell’energia elettrica da rete e dell’energia captata da irradiazione solare.

⁶⁷ In via cautelativa, si è stimato il 25% dei consumi elettrici domestici.

- Nel caso di riqualificazione parziale dell'edificio vecchio senza interventi al solaio controterra, il costo della bolletta si è abbassato da 5.555,93 €/anno a 811,13 €/anno, con un risparmio annuo di **4.744,80 €/anno**;
- Nel caso di riqualificazione totale dell'edificio vecchio, si ottiene un risparmio in bolletta pari a **4.772,82 €/anno**;
- Nel caso si volesse sostituire l'edificio vecchio con una casa prefabbricata in legno, la bolletta scende fino a 349,88 €/anno con un risparmio di **5.206,05 €** ogni anno.

È possibile ora eseguire una valutazione dell'investimento delle tre soluzioni conoscendo il costo degli interventi, le eventuali detrazioni fiscali e il risparmio nel costo della bolletta.

La valutazione degli investimenti (o analisi degli investimenti) è quell'attività di pianificazione economico-finanziaria che viene effettuata per verificare l'impatto che un determinato progetto di investimento ha, in termini di redditività, sulla struttura adottante (azienda, ramo d'azienda, ente, progetto, privato, ecc.), dove per progetto d'investimento si intende un qualsiasi insieme di attività – produttive o finanziarie – in cui l'azienda o il privato cittadino impegna disponibilità liquide o capitali (costo dell'investimento) con l'obiettivo di conseguire, in contropartita, un flusso di benefici futuri complessivamente superiori ai costi iniziali sostenuti ovvero ottenere un guadagno netto dopo un tempo determinato (*payback period*).

I metodi di valutazione degli investimenti usualmente utilizzati sono:

- 1) Flusso di cassa attualizzato: attualizzazione dei flussi monetari differenziali associati al progetto d'investimento attraverso l'utilizzo di un tasso di attualizzazione di riferimento. La somma algebrica delle entrate ed uscite attualizzate rappresenta il Valore Attuale Netto - VAN del progetto (in inglese Net present value - NPV).
- 2) Tasso interno di rendimento (TIR): individuazione del tasso di attualizzazione che azzerava algebricamente le entrate ed uscite associate al progetto e confronto del tasso individuato con un tasso di confronto (benchmark).
- 3) Tempo di ritorno (Pay Back Period): calcolo del numero di anni necessario per compensare l'investimento attraverso flussi positivi. In pratica è la prima scadenza in cui si verifica un'inversione di segno nei saldi di cassa.

Il metodo utilizzato in questa analisi è il “Pay Back Period” con il quale è possibile determinare il numero di anni necessario per recuperare l'investimento iniziale secondo la formula:

$$PB = \frac{\text{Flusso di cassa iniziale per investimento}}{\text{Entrate medie annue}} \quad [\text{anni}].$$

Secondo tale criterio un investimento è tanto più preferibile quanto minore risulti il periodo di ritorno. Tale metodo però ha dei limiti perché non prende in considerazione l'andamento dei flussi di cassa dopo il recupero dell'esborso iniziale.

Il metodo del Pay Back Period è conveniente da applicare nel caso di riqualificazioni perché l'obiettivo è principalmente quello di capire in quanto tempo l'investimento viene recuperato grazie al notevole risparmio in bolletta che si ottiene con l'insieme di interventi effettuati.

Nel caso di nuovo edificio, il tempo di ritorno dell'investimento non è un parametro fondamentale perché in genere l'investimento in una nuova abitazione non ha lo scopo di poter ottenere un

guadagno dall'acquisto, ma di poter usufruire della maggiore valutazione che l'immobile può avere nel tempo rispetto ad un vecchio edificio riqualificato.

Pertanto, il confronto economico sarà effettuato tra:

- 1) I due tipi di riqualificazione, per comprendere l'effettivo vantaggio economico, oltre che energetico, di quella totale rispetto a quella parziale;
- 2) Le riqualificazioni e il nuovo edificio in legno.

CONFRONTO 1

TEMPO DI RITORNO PER LA RIQUALIFICAZIONE PARZIALE SECONDO IL CASO B.

I dati necessari per la determinazione del tempo di ritorno dell'investimento sono:

- 1) Costo dell'investimento iniziale: 91.727,70 €;
- 2) Frazione della detrazione fiscale del 65% da recuperare in 10 anni: 5.962,30 €/anno;
- 3) Risparmio in bolletta: 4.744,80 €/anno.

Il numero di anni necessari per recuperare l'investimento sono:

$$PB = \frac{91.727,70}{5.962,30 + 4.744,80} = \mathbf{8,57 \text{ anni.}}$$

TEMPO DI RITORNO PER LA RIQUALIFICAZIONE TOTALE.

Per il calcolo del tempo di ritorno dell'investimento sono necessari i seguenti dati:

- 1) Costo dell'investimento iniziale: 134.192,82 €;
- 2) Frazione della detrazione fiscale del 65% da recuperare in 10 anni: 8.722,53€;
- 3) Risparmio in bolletta: 4.817,82 €.

Il periodo di tempo necessario per ritornare dell'investimento è pari a:

$$PB = \frac{134.192,82}{8.722,53 + 4.817,82} = \mathbf{9,91 \text{ anni.}}$$

CONFRONTO 2

Per poter paragonare le riqualificazioni e l'edificio nuovo prefabbricato in legno, bisogna capire se il maggiore flusso di cassa in uscita iniziale del secondo caso, conseguito per poter ottenere una maggiore efficienza energetica, sia giustificato dal maggiore risparmio energetico nei consumi e quindi nel costo della bolletta.

Non si può affermare che economicamente sia più conveniente la nuova casa perché:

- nel caso di una riqualificazione parziale si riesce a raggiungere degli ottimi livelli di efficienza energetica con un investimento iniziale che risulta circa la metà rispetto a quello previsto per l'edificio prefabbricato in legno;
- nel caso di riqualificazione totale, il livello di efficienza energetica raggiunta è il medesimo della casa prefabbricata in legno, con un investimento inferiore aiutato anche dalle detrazioni fiscali.

5. CONCLUSIONI

La scelta tra la soluzione più comune di riqualificare un vecchio edificio e la sua sostituzione con una nuova abitazione prefabbricata in legno si basa su due principi:

- La valutazione dell'efficienza energetica;
- La valutazione dell'investimento economico.

Riguardo al primo punto, già nel Capitolo 4, si è affermato che la riqualificazione parziale di un edificio è limitata da vincoli di fattibilità degli interventi che comportano il mancato raggiungimento della massima classe di efficienza energetica, mentre l'edificio nuovo può essere progettato sin dall'inizio con le migliori tecnologie e i migliori materiali senza alcun vincolo. Solo con una riqualificazione totale è possibile raggiungere il livello di efficienza energetica dell'edificio in legno, ma se con la riqualificazione parziale si possono scegliere degli interventi che permettono agli inquilini di continuare ad abitare l'edificio, sia con la riqualificazione totale sia con la sostituzione con un nuovo edificio gli occupanti devono abbandonare l'abitazione per tutta la durata dei lavori.

Parlando in termini di energia primaria, l'edificio prefabbricato in legno si posiziona in modo favorevole sul mercato come abitazione NZEB, *Nearly Zero Energy Building*, condizione necessaria per tutte le nuove costruzioni dal 2020 e per tutti quegli edifici che vengono modificati in modo sostanziale.

Dal punto di vista dell'investimento economico, si può affermare che, nel caso della riqualificazione, le detrazioni fiscali sono di grande aiuto per diminuire l'impatto che questo ha sul privato: si è visto nel Capitolo 4 che i tempi di ritorno degli investimenti sono di molto differenti facendo preferire le soluzioni di riqualificazione, per la quale il PB è di massimo 10 anni, rispetto alla seconda che prevede un tempo di ritorno di molto maggiore.

È altresì vero che l'investimento richiesto dall'edificio prefabbricato in legno non risulta di molto maggiore rispetto alla condizione di riqualificazione totale, a parità di prestazioni energetiche: la scelta di acquistare un nuovo edificio prefabbricato in legno fornisce i vantaggi di poter scegliere, senza alcun vincolo, materiali nuovi ed ecosostenibili, soluzioni impiantistiche non dipendenti dalla struttura presente ed ovviamente di poter scegliere la nuova configurazione della casa secondo i canoni del momento.

APPENDICE A. SCHEDE TECNICHE

SCHEDE TECNICA 1. SISTEMA DI GENERAZIONE DELL'EDIFICIO ESISTENTE.

DESCRIZIONE	<i>Prontacqua 24 BIS</i>			<i>Prontacqua 28 BIS</i>			
	G20	G30	G31	G20	G30	G31	
Combustibile							
Categoria apparecchio	II2H3+			II2H3+			
Tipo apparecchio	C12,C22,C32,C42			C12,C22,C32,C42			
Potenza termica focolare	26,3			31			kW
Potenza termica utile	23,7			28			kW
Potenza termica focolare ridotta (riscaldamento)	11,2			11,9			kW
Potenza termica utile ridotta (riscaldamento)	9,3			9,9			kW
Potenza termica focolare ridotta (sanitario)	9,8			10,5			kW
Potenza termica utile ridotta (sanitario)	8,1			8,7			kW
Rendimento utile a Pn	90			90,32			%
Rendimento utile al 30% di Pn	85,1			85,2			%
Perdita al mantello a bruciatore acceso(potenza massima)	2,5			2,7			%
Perdita al mantello a bruciatore spento	0,8			0,8			%
Temperatura fumi (ΔT) potenza massima/minima	112/107	140/110	132/96	119/89	135/100	128/84	°C
Prevalenza residua (con condotto coassiale 0,85m)	0,2			0,2			Mbar
Portata massica fumi potenza massima	0,019	0,018	0,017	0,019	0,022	0,020	kg/sec
Portata massica fumi potenza minima	0,024	0,019	0,021	0,024	0,021	0,021	kg/sec
Eccesso d'aria (λ) potenza massima	2,13	2,58	2,01	1,81	2,15	2,01	m ³ /m ³
Eccesso d'aria (λ) potenza minima	11,7	5,28	5,96	6,16	5,49	6,52	m ³ /m ³
CO ₂ al massimo/minimo	5,5/1,8	6,6/2,65	6,8/2,3	6,45/1,9	6,5/2,55	6,8/2,1	%
CO S.A. al massimo/minimo inferiore a	80/150	80/150	80/150	60/150	90/150	90/150	ppm
NO _x S.A. al massimo/minimo inferiore a	130/100	160/120	160/120	120/100	150/120	150/120	ppm
Classe NO _x	2			2			
Valore ponderato (secondo EN 483)	89			91			ppm
Pressione massima di esercizio riscaldamento	3			3			Bar
Temperatura massima ammessa	90			90			°C
Campo di selezione temperatura acqua calda ($\pm 3^\circ\text{C}$)	45-85			45-85			°C
Contenuto acqua caldaia	0,6			0,75			l
Alimentazione elettrica	230 ~ 50			230 ~ 50			Volt - Hz
Potenza elettrica assorbita massima	125			125			W
Grado di protezione elettrica	X4D			X4D			IP
Volume vaso di espansione	8			8			l
Pre carica vaso di espansione	1			1			bar

DESCRIZIONE BOLLITORE	<i>Prontacqua 24 BIS</i>	<i>Prontacqua 28 BIS</i>	
Tipo bollitore	Smaltato	Smaltato	
Descrizione bollitore	Verticale	Verticale	
Disposizione scambiatore	Verticale	Verticale	
Contenuto acqua sanitario	60	60	l
Contenuto acqua serpentino	2,8	3,38	l
Superficie di scambio	0,72	0,86	m ²
Campo di selezione temperatura acqua sanitaria	40-60	40-60	°C
Limitatore portata	8	10	l/min
Massimo ΔT raggiungibile con prelievo continuo	38,6	39,1	°C
Prelievo in 10' con accumulo a 48°C	80	100	l
Tempo di ripristino $\Delta T=35^\circ\text{C}$	12	7,1	min
Pressione massima esercizio bollitore	8	8	bar

SCHEMA TECNICA 2. ATTESTATO DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA DELL'EDIFICIO ESISTENTE.

ATTESTATO DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA	
<i>Denominato attestato di prestazione energetica ai sensi della Legge 90/2013.</i>	
Edifici residenziali	

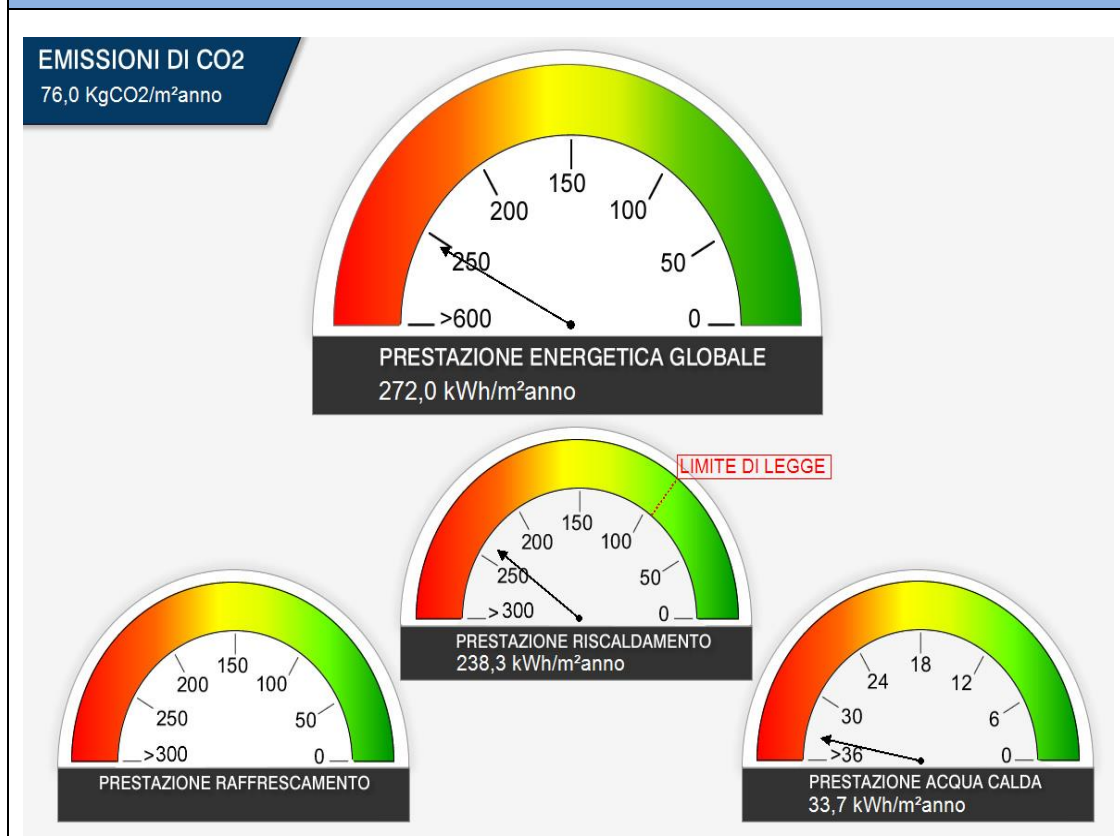
1. Informazioni generali

Codice certificato		Validità:	28/11/2023
Riferimenti catastali	Foglio: Particella: Subalterno:		
Indirizzo edificio	Via Ostiglia- 35017 Piombino Dese PD		
Nuova costruzione: <input type="checkbox"/>	Passaggio di proprietà: <input type="checkbox"/>	Riqualificazione energetica:	<input checked="" type="checkbox"/> X
Proprietà		Telefono	
Indirizzo		e-mail	

2. Classe energetica globale dell'edificio

Edificio di classe: G

3. Grafico delle prestazioni energetiche globali e parziali



4. Qualità dell'involucro (raffrescamento)

	II		
--	----	--	--

5. Metodologie di calcolo adottate

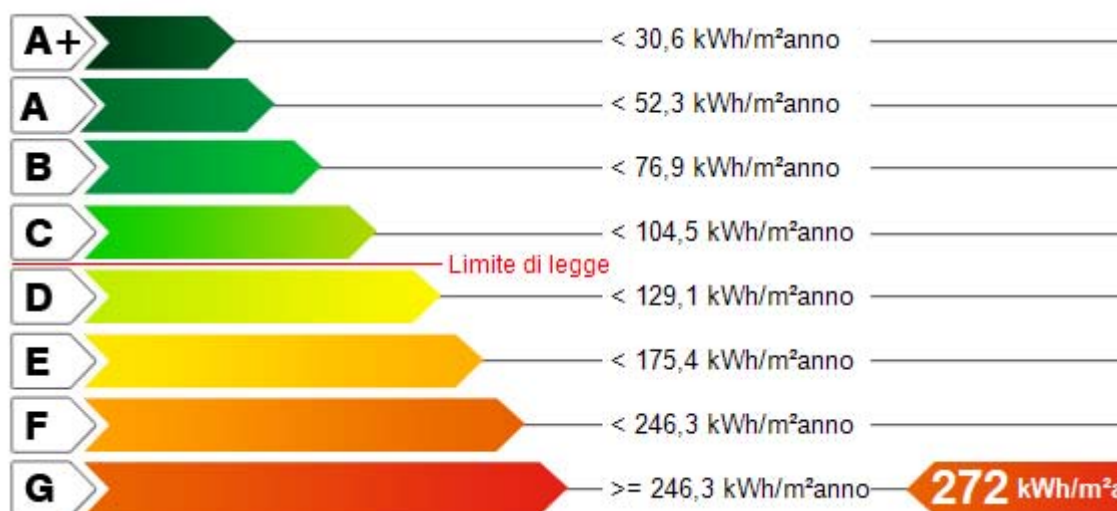
Il calcolo degli indici di prestazione e dei fabbisogni di energia è stato eseguito secondo le norme tecniche italiane e comunitarie attualmente in vigore, con particolare riferimenti alla normativa UNI TS 11300, parti 1 e 2. I valori del presente documento sono stati calcolati con riferimento al 'Metodo di calcolo da rilievo sull'edificio.' (paragrafo 5.2 punto 1 delle Linee Guida).

6. Raccomandazioni

Interventi	Prestazione energetica (classe a valle del singolo intervento)	Tempo di ritorno (anni)

7. Classificazione energetica globale dell'edificio

Servizi energetici inclusi nella classificazione		
Riscaldamento	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffrescamento <input type="checkbox"/>
		Acqua calda sanitaria <input checked="" type="checkbox"/>



Riferimento legislativo: 104,51 kWh/m²anno

8. Dati prestazioni energetiche parziali


8.1 RAFFRESCAMENTO		8.2 RISCALDAMENTO	
Indice energia primaria EP_e		Indice energia primaria EP_i	238,27 kWh/m²anno
Indice energia primaria limite EP_e limite		Indice energia primaria limite EP_i limite	86,51 kWh/m²anno
Indice involucro EP_e involucro	12,46 kWh/m²anno	Indice involucro EP_i involucro	163,84 kWh/m²anno
Rendimento impianto		Rendimento medio stagionale impianto η_G	68,8 %
Fonti rinnovabili		Fonti rinnovabili	0,0 %
8.3 ACQUA CALDA SANITARIA			
Indice energia primaria EP_{ACS}	33,68 kWh/m²anno		
Produzione da fonte rinnovabile	0,0 %		

9. Note

--

10. Edificio

Indirizzo	Via Ostiglia – 35017 Piombino Dese (PD)
Tipologia edilizia	Villetta singola
Tipologia costruttiva	Edificio a due piani
Destinazione d'uso	E.1(1). - residenza e assimilabili: abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo

Anno di costruzione	1970	<p style="text-align: center;">Foto dell'edificio</p> 
Superficie disperdente S	357,5 m ²	
Volume lordo riscaldato V	467,3 m ³	
Rapporto S/V	0,77	
Superficie utile S _u	137,4 m ²	
Zona climatica / GG	E / 2421	
Numero di appartamenti	1	

11. Impianti

Servizio	Anno installazione	P _n o E _{prod.}	Tipologia	Combustibile
Riscaldamento	1970	28,00 kW	Generatore a gas o combustibile fossile	Gasolio
Acqua calda sanitaria	1970	28,00 kW	Generatore a gas o combustibile fossile	Gasolio

12. Progettazione

Progettista architettonico	Progettista impianti
Indirizzo	Indirizzo
Telefono	Telefono
e-mail	e-mail

13. Costruzione

Costruttore	Direttore dei lavori
Indirizzo	Indirizzo
Telefono	Telefono
e-mail	e-mail

14. Soggetto certificatore

Ente/organismo
pubblico

Tecnico abilitato

Organismo/società

Energy manager

Nome e Cognome / Denominazione			
Indirizzo		Titolo	
Telefono		Ordine	
e-mail		Iscrizione	

Dichiarazione di indipendenza	Il sottoscritto , in conformità con quanto riportato alla lettera b del comma 3 dell'articolo 2 dell'allegato III del DLgs 115/2008, dichiara l'assenza di conflitto di interessi, ovvero il non coinvolgimento diretto o indiretto con i produttori dei materiali e dei componenti in esso incorporati, nonché rispetto ai vantaggi che possano derivarne al richiedente.
Informazioni aggiuntive	

15. Sopralluoghi

1) -
2) -
3) -
4) -

16. Dati di ingresso

Progetto energetico

Rilievo sull'edificio

Provenienza e responsabilità	-
------------------------------	---

17. Software

Denominazione	TERMOLOG EpiX 4
Produttore	Logical Soft - Via Garibaldi, 253 - 20832 Desio MB

Dichiarazione di rispondenza e garanzia di scostamento massimo dei risultati conseguiti inferiore al +/- 5% rispetto ai valori della metodologia di calcolo di riferimento nazionale
Il software in oggetto è conforme alle UNI TS 11300, ai sensi del D.P.R. n. 59 del 2/4/2009 e del D.Lgs. 115/2008 comma 1, allegato III, punto 4. La conformità del software alle UNI TS 11300 parti 1 e 2 è attestata dal Certificato n. 009, rilasciato a Logical Soft s.r.l. dal Comitato Termotecnico Italiano in data 27 gennaio 2010. La conformità alla UNI TS 11300 parte 4 è attestata dal Certificato n. 028, rilasciato a Logical Soft s.r.l. dal Comitato Termotecnico Italiano in data 26 luglio 2012. Entrambi i certificati di conformità sono scaricabili dal sito www.logical.it .

Data
emissione

Firma

Ai sensi dell'art. 15 c. 1 del D.Lgs. 192/2005 come modificato dall'art. 12 del D.L. 63/2013 (ora Legge 90/2013), il presente Attestato di Prestazione Energetica è reso, dal sottoscritto, in forma di dichiarazione sostitutiva di atto notorio ai sensi dell'art. 47 del D.P.R. 445/2000.

Si allega copia fotostatica del documento d'identità.

Firma

SCHEDA TECNICA 3. LASTRA EPS: ELEMENTI PER SISTEMA CAPPOTTO.



LASTRA EPS

Elementi per Sistema Cappotto



Lastra per isolamento termico in EPS

Composizione

La Lastra per isolamento termico in Polistirene Espanso Sinterizzato è prodotta con materie prime di elevata qualità, e ricavata per taglio a filo caldo da blocchi preventivamente stagionati.

Caratteristiche Tecniche

Lunghezza	1.000 mm
Larghezza	500 mm
Spessore	30-300 mm
Benestare Tecnico Europeo ETA 07/0280 (ETAG004)	

Esistono diverse tipologie di Lastre in EPS, la cui classificazione secondo la norma EN 13163 prevede che le caratteristiche vengano dichiarate sotto forma di codici di designazione, che riportano a specifici limiti superiori o inferiori.

Caratteristiche tecniche

Caratteristiche	Codice di designazione	Unità di misura	EPS 80	EPS 100	EPS 120
Resistenza a compressione al 10% della deformazione	CS (10)	KPa	≥80	≥100	≥120
Lunghezza	L	mm	L2 (±2)	L2 (±2)	L2 (±2)
Larghezza	W	mm	W2 (±2)	W2 (±2)	W2 (±2)
Spessore	T	mm	T1 (±2)	T1 (±2)	T1 (±2)
Planarità	P	mm	P4 (±5)	P4 (±5)	P4 (±5)
Ortogonalità	S	mm/m	S2 (±2)	S2 (±2)	S2 (±2)
Conducibilità termica dichiarata	λ_D	W/m·K	0,037	0,036	0,034
Massa volumica	-	Kg/m ³	15(±6%)	18(±6%)	20(±10%)
Permeabilità al vapore in campo secco	δ_a	Kg/m·s·Pa	$3,6 \cdot 10^{-12}$	$2,5 \cdot 10^{-12}$	$2,5 \cdot 10^{-12}$
Permeabilità al vapore in campo umido	δ_u	Kg/m·s·Pa	$9 \cdot 10^{-12}$	$6 \cdot 10^{-12}$	$6 \cdot 10^{-12}$
Capacità termica specifica	C_S	J/Kg·K	1450	1450	1450
Stabilità dimensionale	DS	%	DS(N)2	DS(N)2	DS(N)2
Reazione al fuoco	-	-	Classe E	Classe E	Classe E



LA STRA EPS

Elementi per Sistema Cappotto



Resistenza termica

Le Lastre per isolamento termico in EPS possono avere diversi valori di resistenza termica a seconda dello spessore del pannello.

Resistenza termica R_D ($m^2 \cdot K/W$)

Spessore pannello (mm)	EPS 80	EPS 100	EPS 120
30	0,8	0,8	0,9
40	1,1	1,1	1,2
50	1,4	1,4	1,5
60	1,6	1,7	1,8
80	2,2	2,2	2,4
100	2,7	2,8	2,9
120	3,2	3,3	3,5
140	3,8	3,9	4,1
160	4,3	4,4	4,7
180	4,9	5,0	5,3
200	5,4	5,5	5,9
220	5,9	6,1	6,5
240	6,5	6,7	7,0

Impiego

Le Lastre per isolamento termico in EPS vengono utilizzate per la posa di sistemi a cappotto sulle pareti esterne di edifici di nuova costruzione, o in interventi di restauro di edifici esistenti.

Il tipo di lastra e lo spessore da utilizzare vengono scelti in base alle esigenze di isolamento termico, e comunque in osservanza alla legislazione vigente D. LGS. n°192/2005 e D. LGS. n°311/2007.

Preparazione del fondo

Il supporto deve essere libero da polvere, sporco, ecc. Eventuali tracce di oli, grassi, cere, ecc. devono essere preventivamente rimosse. Verificare la planarità del supporto, ed eventualmente asportare le sporgenze superiori ad 1 cm. Le parti in calcestruzzo fortemente ammalorate devono essere bonificate con speciali malte da ripristino.

Rimuovere la presenza di eventuali pitture parzialmente scrostate, rivestimenti privi di aderenza, superfici smaltate o vetrose, eventualmente per idrosabbatura.

Lavorazione

Il fissaggio delle lastre avviene utilizzando i collanti Fassa A 50, A 96 o AL 88, applicando il collante per esteso o lungo il perimetro e punti centrali, avendo cura che questo non debordi dalla lastra dopo la posa della stessa.

Successivamente viene effettuato il fissaggio meccanico mediante tasselli in polipropilene, idonei al supporto su cui devono essere applicati. La penetrazione dei tasselli nel paramento murario deve corrispondere alla profondità di ancoraggio del tassello stesso.

La rasatura delle lastre si realizza sempre con i prodotti Fassa A 50, A 96, o AL 88, rinforzati con la rete di armatura in fibra di vetro alcali-resistente da $160 g/m^2$ certificata ETAG 004.

Il rivestimento a spessore RSR 421, RX 561, RTA 549 o R 336, preceduto dal relativo fissativo, completa l'applicazione dei pannelli isolanti.



LASTRA EPS

Elementi per Sistema Cappotto



Per le modalità di applicazione dettagliate, è necessario comunque attenersi alle indicazioni del Manuale di Posa Fassa del Sistema Cappotto.

Avvertenze

- La posa in opera dovrà essere effettuata a temperature comprese tra +5°C e +35°C.
- Evitare l'esposizione dei pannelli da applicare agli agenti atmosferici, avendo cura di stoccare le lastre imballate in un luogo coperto, asciutto, ben ventilato e lontano dalla luce o da altre sorgenti di calore.
- Le superfici dei pannelli devono essere pulite ed integre: togliere l'imballo delle lastre solo al momento della posa.
- Evitare l'incollaggio per soli punti.
- Evitare l'applicazione di lastre danneggiate, deteriorate, sporche, ecc.
- Durante la posa, proteggere le lastre isolanti da eventuali infiltrazioni d'acqua dovute alla pioggia.
- Evitare l'applicazione di Lastre isolanti in EPS a contatto con il terreno.

Fornitura

- Le Lastre per isolamento termico in EPS sono fornite in imballi di polietilene.
- Inoltre, a richiesta possono essere introdotte le seguenti varianti di formato:
 - Lastra battentata: assicura un accostamento ottimale tra i pannelli;
 - Lastra zigrinata: ad aderenza migliorata;
 - Lastra forata: miglior permeabilità media al vapore del pannello;
 - Lastra svasata: caratterizzata da modanature con profilo a triangolo o trapezio.

Qualità

Le Lastre per isolamento termico in EPS sono classificate e marcate secondo la norma europea EN 13163, e sottoposte ad un accurato controllo presso i nostri Stabilimenti.

SCHEDA TECNICA 4. LASTRA DI XPS STYRODUR.

Dati tecnici Styrodur® C											
Proprietà	Unità di misura	Codifica secondo EN 13164	2500 C	2500 CNL	2800 C	2800 CS	3035 CS	3035 CN	4000 CS	5000 CS	Norma
Finitura perimetrale											
Superficie			liscia	liscia	gofrata	gofrata	liscia	liscia	liscia	liscia	
Lunghezza x larghezza	mm		1250 x 600	2850 x 615 ¹⁾	1250 x 600	1265 x 615	1265 x 615	2515 x 615 ¹⁾	1265 x 615	1265 x 615	
Conduktività termica λ_D [W/(m·K)]			λ_D	λ_D	λ_D	λ_D	λ_D	λ_D	λ_D	λ_D	UNI EN 13164
Resistenza termica R_D [m²·K/W]			R_D	R_D	R_D	R_D	R_D	R_D	R_D	R_D	
Spessori											
20 mm			0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	
30 mm			0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	
40 mm			0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	
50 mm			0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	
60 mm			0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	
80 mm			0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	
100 mm			0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	
120 mm			0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	
140 mm			0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	
160 mm			0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	
180 mm			0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	
200 mm			0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	
Resistenza a compressione con schiacciamento del 10% ²⁾	(kPa)	CS(10,Y)	200	200	200 (20-60 mm) 300 (80-200 mm)	250	300	250	500	700	UNI EN 826
Resistenza a compressione dopo 50 anni con schiacciamento \leq 2% ²⁾	(kPa)	CC (2/1,5/50)	80	80	80 (20-60 mm) 100 (80-200 mm)	100	130	100	180	250	UNI EN 1606
Certificazioni di resistenza a compressione sotto fondazioni ³⁾	$\sigma_{cons.}$		-	-	-	-	130 ³⁾	-	180	250	DIBt Z-23.34-1325
	f_{od}		-	-	-	-	185 ³⁾	-	255	355	
Aderenza al calcestruzzo	kPa	TR 200	-	-	> 200	> 200	-	-	-	-	UNI EN 1607
Resistenza al taglio	kPa	SS	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300	UNI EN 12090
Modulo elastico a compressione (kPa)	Breve termine E	CM	10.000	10.000	15.000	15.000	20.000	15.000	30.000	40.000	UNI EN 826
	Lungo termine E ₅₀		-	-	-	-	5.000	-	10.000	14.000	
Stabilità dim. 70°C 90% um. rel.	%	DS(TH)	\leq 5%	\leq 5%	\leq 5%	\leq 5%	\leq 5%	\leq 5%	\leq 5%	\leq 5%	UNI EN 1604
Comportamento alla deformazione: carico 40 kPa; 70°C	%	DLT(2)5	\leq 5%	\leq 5%	\leq 5%	\leq 5%	\leq 5%	\leq 5%	\leq 5%	\leq 5%	UNI EN 1605
Coeff. di dilatazione termica lineare:	Longitudinale		0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	DIN 53752
	Trasversale		0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	
Reazione al fuoco	Materiale da costruzione classe		B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	DIN 4102
	Classe		E	E	E	E	E	E	E	E	UNI EN 13501-1
Assorbimento d'acqua per immersione	Vol.-%	WL(T)0,7	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	UNI EN 12087
Assorbimento di umidità per diffusione e condensazione	Vol.-%	WD(V)3	< 3	< 3	-	-	< 3	< 3	< 3	< 3	UNI EN 12088
		WD(V)5	-	-	< 5	< 5	-	-	-	-	
Resistenza alla diff. del vapore acqueo (in funzione dello spessore)		MU	200 - 100	150 - 100	200 - 80	150 - 80	150 - 50	150 - 100	150 - 80	150 - 100	UNI EN 12086
Comportamento al gelo (300 alternanze gelo/disgelo)	Vol.-%	FT2	\leq 1	\leq 1	\leq 1	\leq 1	\leq 1	\leq 1	\leq 1	\leq 1	UNI EN 12091
Temperatura limite di utilizzo	°C		75	75	75	75	75	75	75	75	UNI EN 14706
Media celle chiuse	%	CV	95	95	95	95	95	95	95	95	ISO 4590

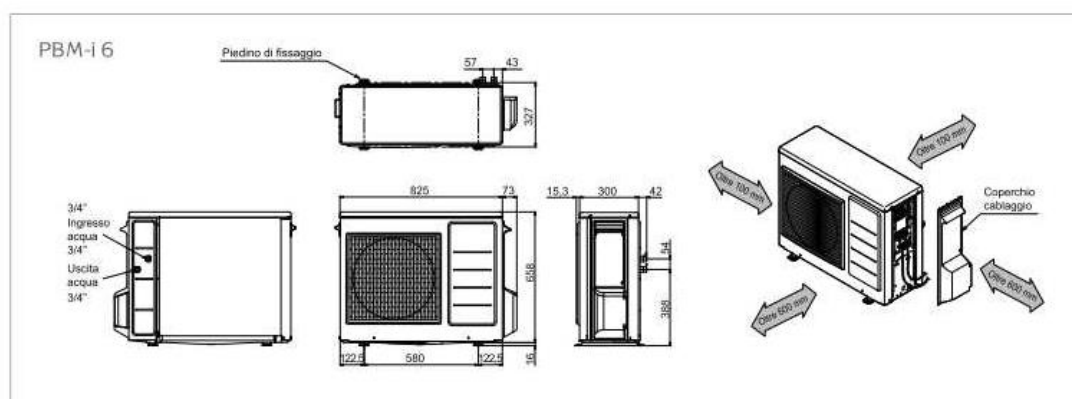
¹⁾ Spessori 30 e 40 mm: 2510 x 610 mm ²⁾ 100 kPa = 10 N/cm² = 10 to/m² ³⁾ Per posa multistrato: 140 kPa ⁴⁾ Per spessori 30 e 40 mm: 2850 x 610 mm

SCHEDA TECNICA 5. INFORMAZIONI GENERALI SUL SISTEMA IBRIDO Duo-Tec CSI – i IN.

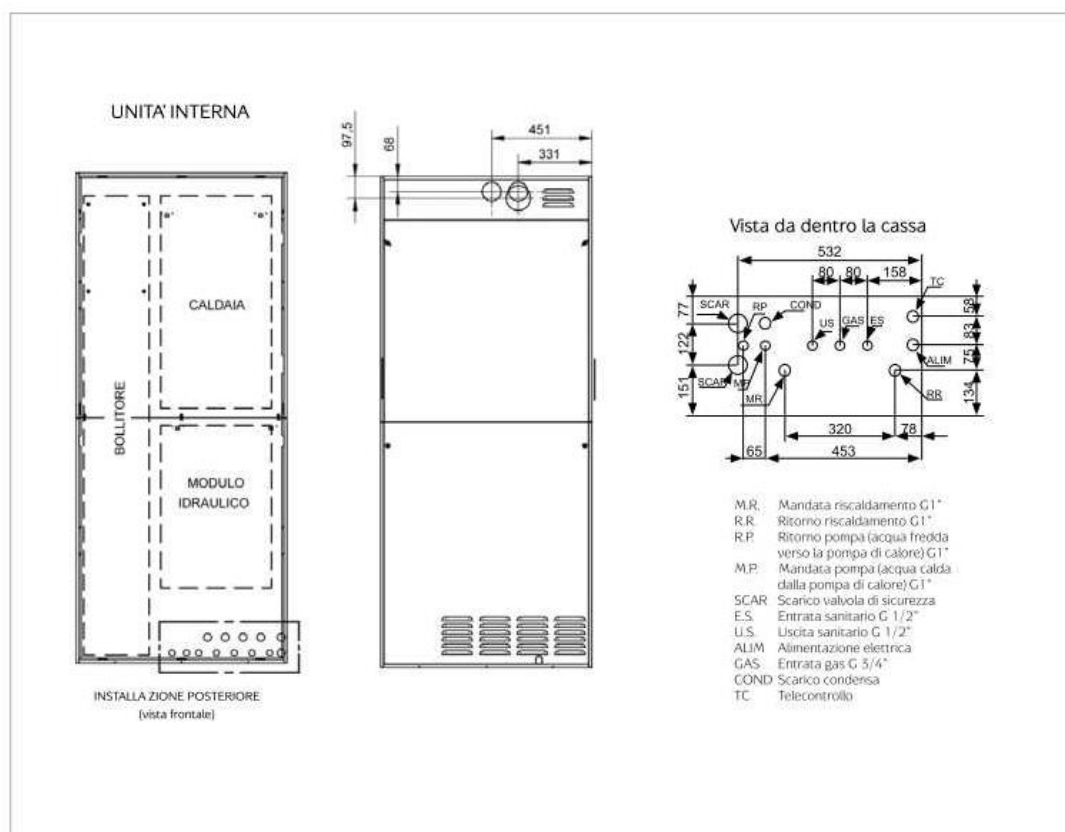
Tabella dati tecnici

Duo-Tec CSI – i IN		
Potenza termica nominale sanitario	kW	24
Potenza termica nominale risc. 80/60°C	kW	20
Potenza termica ridotta risc. 80/60°C	kW	3,4
Rendimento energetico (92/42/CEE)		★★★★
Rendimento medio	%	109,8
Rendimento nominale 80/60°C	%	97,7
Rendimento al 30%	%	107,6
Classe NOx		5
Temperatura minima di funzionamento	°C	-15
Reg. temperatura acqua circuito risc.	°C	20/80
Regolazione temperatura acqua sanitaria	°C	35/60
Capacità bollitore	l	150
Capacità vaso espansione sanitario/pre-carica	l	8/3,5
Portata specifica secondo EN 625	l/min	25
Produzione acqua sanitaria in continuo ΔT 25°C	l/min	13,8
Dimensioni – caldaia	mm	770x470x238
Dimensioni – cassa contenimento sistema	mm	2200x950x350
Pompa di calore PBM –i 6		
Potenza termica nominale	kW	5,8
COP		4,3
Potenza frigorifera nominale	kW	4,45
EER		4,28
Gas refrigerante		R410A
Compressore	n°/tipo	1/Rotativo DC inverter
Alimentazione	V/Ph/Hz	230/1/50
Dimensioni	mm	658x825x300

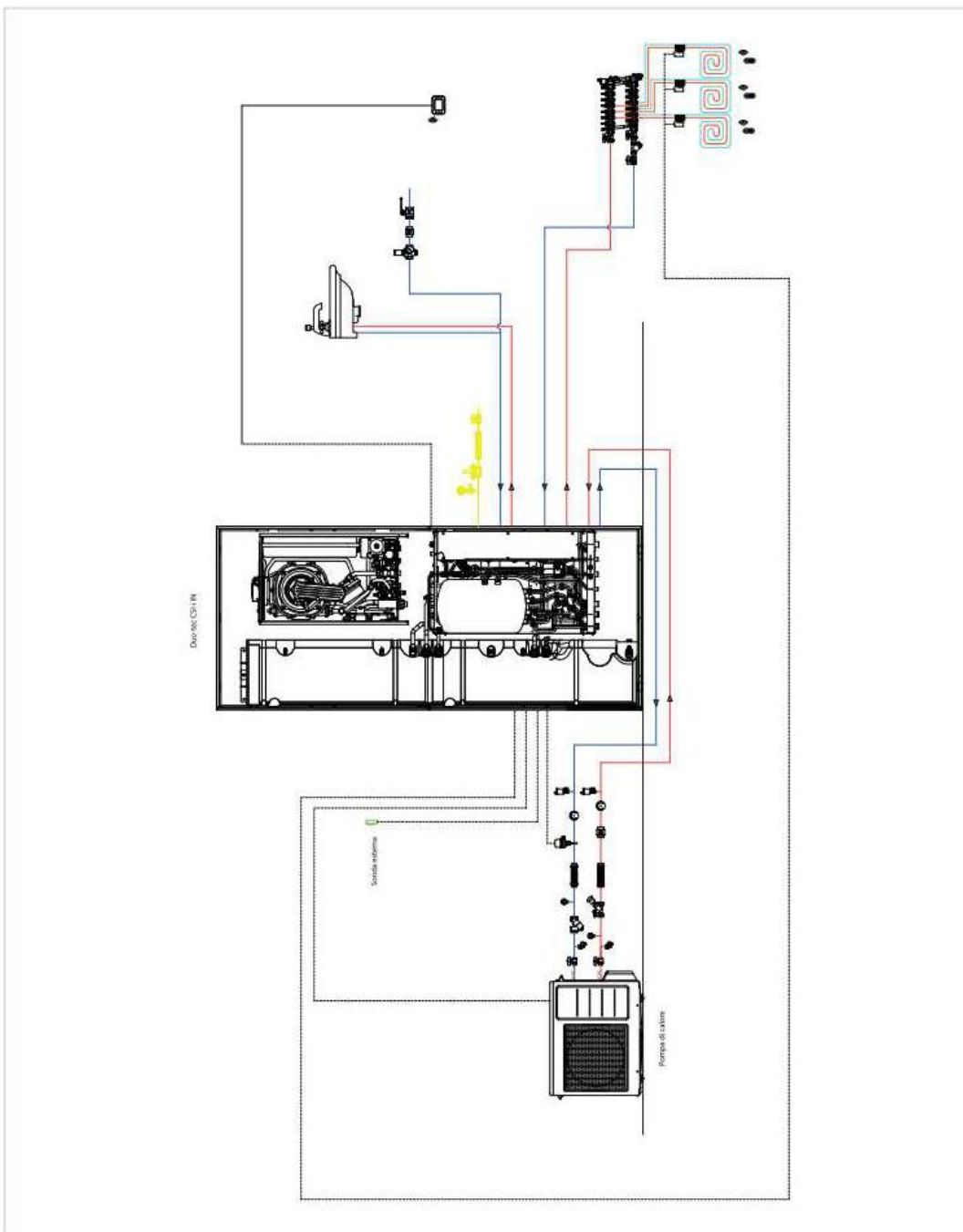
Dimensionali e spazi di rispetto unità esterna



Dimensionali



Schema impianto



SCHEMA TECNICA 6. POMPA DI CALORE PBM-i 6.

Tabella dati tecnici

Riscaldamento			
Potenza termica nominale	1	kW	5,8
COP	1		4,3
Portata acqua scambiatore	1	m ³ /h	1,01
Potenza termica	2	kW	5,3
COP	2		3,05
Portata acqua scambiatore	2	m ³ /h	0,91
Raffrescamento			
Potenza frigorifera nominale	3	kW	4,45
EER	3		4,28
SEER			4,00
Portata acqua scambiatore	3	m ³ /h	0,76
Potenza frigorifera	4	kW	3,70
EER	4		2,89
SEER			4,00
Portata acqua scambiatore	4	m ³ /h	0,64
Circuito frigorifero			
Numero compressori			1
Tipo compressore			Rotativo DC inverter
Modulazione compressore		%	30-130
Gas refrigerante			R410A
Carica refrigerante		kg	1,05
Numero ventilatori elicoidali			1
Portata aria totale		m ³ /h	3600
Potenza assorbita totale		kW	0,07
Circuito idraulico			
Portata acqua	1	m ³ /h	1,01
Prevalenza utile pompa	1	kPa	55,9
Portata acqua	3	m ³ /h	0,76
Prevalenza utile pompa	3	kPa	73,5
Tipo pompa			1 velocità
Potenza assorbita pompa		kW	0,13
Contenuto acqua minimo impianto		l	26
Vaso di espansione		l	-
Valvola di sicurezza		bar	3
Connessioni idrauliche			¾"
Filtro acqua a maglia metallica			1" ¼
Diametro tubazione flussostato			¾"
Dati elettrici			
Alimentazione		V/Ph/Hz	230/1/50
Potenza massima assorbita		kW	2,48
Corrente massima assorbita		A	10,9
Corrente di spunto		A	0,8
Dati sonori			
Potenza sonora	5	dB(A)	60

Pressione sonora	6	dB(A)	46
Dimensioni e pesi unità esterna			
Lunghezza	7	mm	825
Profondità	7	mm	300
Altezza	7	mm	675
Peso a vuoto in funzionamento	7	kg	51
Dimensioni e pesi modulo interno			
Lunghezza	7	mm	411
Profondità	7	mm	75
Altezza	7	mm	333
Peso in funzionamento	7	kg	5,3
Limiti di funzionamento in riscaldamento			
Temperatura aria esterna min/max	8	°C	-20/+43
Temperatura acqua prodotta min/max	8	°C	+23/+60
Limiti di funzionamento in raffrescamento			
Temperatura aria esterna min/max	8	°C	+21/+43
Temperatura acqua prodotta min/max	8	°C	-7/+22

- 1- Temperatura aria esterna 7°C- 87% UR, temperatura acqua 30/35°C
- 2- Temperatura aria esterna 7°C-87% UR, temperatura acqua 40/45°C
- 3- Temperatura aria esterna 35°C, temperatura acqua 23/18°C
- 4- Temperatura aria esterna 35°C, temperatura acqua 12/7°C
- 5- Potenza sonora sulla base di misure effettuate secondo il programma di certificazione Eurovent
- 6- Pressione sonora media, a 1 metro di distanza, in campo libero su superficie riflettente; valore non vincolante, ottenuto dal livello di potenza sonora
- 7- Configurazione standard, a vuoto, imballo chiuso
- 8- ΔT acqua min/max: 5/10°C – Pressione circuito idraulico min/max: 1/3 bar – Percentuale di glicole max: 40%

SCHEDA TECNICA 7. CALDAIA A CONDENSAZIONE Luna Duo-Tec HT GA.

		Riscaldamento e produzione ACS
Potenza termica nominale sanitario	kW	24,7
Potenza termica nominale riscaldamento	kW	20,6
Potenza termica nominale sanitario	kW	24
Potenza termica nominale risc. 80/60°C	kW	20
Potenza termica nominale risc. 50/30°C	kW	21,8
Potenza termica ridotta risc. 80/60°C	kW	3,4
Potenza termica ridotta risc. 50/30°C	kW	3,7
Rendimento energetico (93/42/CEE) ★★★★★		
Rendimento medio (DIN 4702-T8)	%	109,8
Rendimento nominale 80/60°C	%	97,7
Rendimento nominale 50/30°C	%	105,8
Rendimento al 30%	%	107,6
Classe NO _x (EN 483)		5
Temperatura minima di funzionamento	°C	-15
Capacità vaso di espansione/pre-carica	l/bar	8/0,8
Reg. temperatura acqua circuito risc.	°C	25-80
Regolazione temperatura acqua sanitaria	°C	35-60
Produzione acqua sanitaria ΔT 25°C	l/min	13,8
Portata minima acqua sanitaria		
Portata minima acqua sanitaria	l/min	2
Pressione minima circuito sanitario		
Pressione minima circuito sanitario	bar	0,15
Pressione massima acqua circuito risc.		
Pressione massima acqua circuito risc.	bar	3
Pressione massima circuito sanitario		
Pressione massima circuito sanitario	bar	8
Lunghezza massima tubo scarico-aspirazione concentrico Ø 60/100		
Lunghezza massima tubo scarico-aspirazione concentrico Ø 60/100	m	10
Lunghezza massima tubo scarico-aspirazione sdoppiato Ø 80		
Lunghezza massima tubo scarico-aspirazione sdoppiato Ø 80	m	80
Portata massica fumi max		
Portata massica fumi max	kg/s	0,012
Portata massica fumi min		
Portata massica fumi min	kg/s	0,002
Temperatura massima fumi		
Temperatura massima fumi	°C	80
Dimensioni (hxlxp) – con cassa		
Dimensioni (hxlxp) – con cassa	mm	1170x600x240
Dimensioni (hxlxp) – caldaia		
Dimensioni (hxlxp) – caldaia	mm	770x470x238
Peso netto		
Peso netto	kg	32,5
Tipo di gas		
Tipo di gas		Met./GPL
Potenza elettrica		
Potenza elettrica	W	102
Grado di protezione		
Grado di protezione		IPX5D



Scheda Tecnica Duolix MAX

Centrale VMC doppio flusso ad altissimo rendimento Atlantic Duolix MAX

Centrale doppio flusso con recupero di calore di altissima efficienza per il pre-riscaldamento dell'aria di rinnovo immessa nell'abitazione grazie al calore dell'aria viziata estratta dai locali ad alto inquinamento dell'aria come la cucina ed i bagni.

In complemento alla funzione primaria di recupero di calore, il Duolix MAX dispone anche di funzioni rivoluzionarie come il funzionamento automatico del By-Pass dello scambiatore.

Questo controllo avanzato permette sia un raffreddamento estivo con un'efficacia fuori del comune durante le notti d'estate, con oltre al By-Pass, un aumento automatico delle portate d'aria per un'efficienza ed un confort eccezionale, sia un riscaldamento a mezza stagione in caso di temperature esterne uguale o superiore alla temperatura di consegna, sempre in modalità automatica e regolazione continua.



Il nostro sistema è comprensivo di due filtri F7 finissimi, in grado di impedire alle più sottili polveri, ai pollini e fino a certi tipi di batteri e virus di entrare nella vostra abitazione.

Il rinnovo continuo, con l'apporto di un'aria straordinariamente sana aumenterà la sensazione di benessere dentro la propria abitazione e determinerà un beneficio oltre che per l'uomo anche per la struttura architettonica tenendo lontana l'umidità.

Installazione centrale

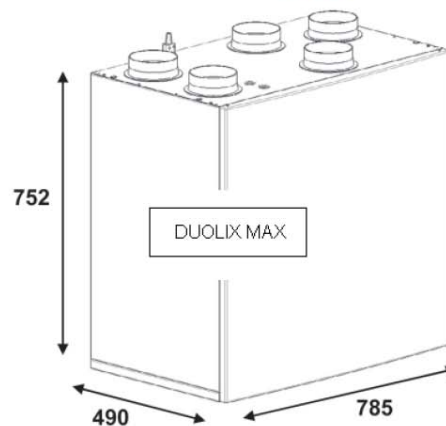
La centrale dovrà essere posizionata verticalmente in un locale riscaldato o isolato. L'accesso agevolato alla centrale permetterà una manutenzione semplice e veloce del prodotto, così come un controllo del corretto funzionamento.

La centrale è equipaggiata per un'installazione a parete, a terra o sospesa per agevolare la sua installazione.

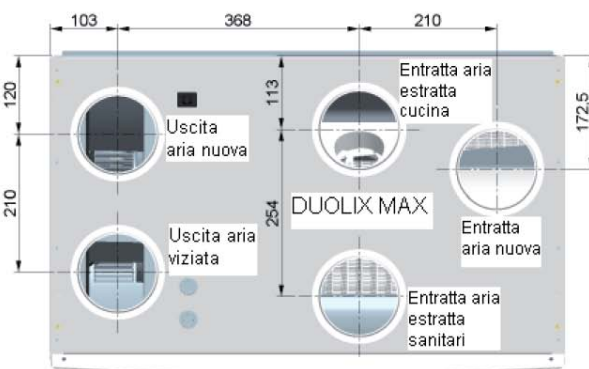
La centrale richiede una normalissima alimentazione elettrica, ed assorbe una potenza massima di solo 200 Watts per il suo funzionamento nelle peggiori condizioni.



DIMENSIONI DUOLIX MAX	
Lunghezza	785 mm
Profondità	490 mm
Altezza	752 mm
Dimetro attacchi	125 mm
Spazio libero minimo necessario fronte macchina	500 mm
Spazio libero minimo necessario collegamenti sopra la macchina	300 mm



Il Duolix MAX presenta n°5 attacchi per il collegamento alle reti di distribuzione. Un vantaggio del Duolix MAX è la presenza di un attacco specifico per la cucina. Questo oltre a un controllo avanzatissimo permette di proporre una modalità di funzionamento molto interessante per tutte le abitazioni: la modalità cucina, che permette un aumento notevole della portata di estrazione in cucina per 30minuti.



Grazie al suo controllo completo e facile d'uso, il Duolix MAX propone altre funzioni come la funzione BOOST di sovra-ventilazione generale dell'abitazione, attivata su richiesta o in automatica, quando il sistema ne riconosce il bisogno o l'interesse per esempio per il funzionamento del By-Pass. Una modalità assenza permette al contrario di diminuire la portata quando non c'è nessuno nell'abitazione, e tramite accessori può essere disattivata in automatica dal sistema, appena rilevata una presenza.



Installazione distribuzione

La rete di distribuzione per una centrale ad altissimo rendimento come il Duolix MAX richiede un'installazione e progettazione accurata, eliminando perdite di carico, assicurando una tenuta ottimizzata ed escludendo perdite di calore.

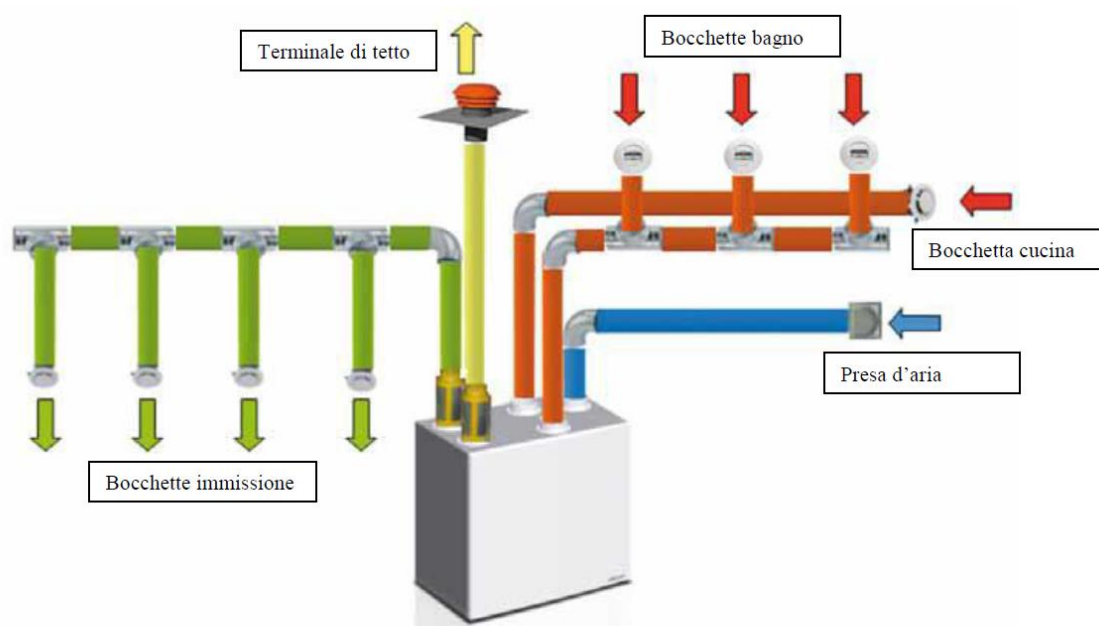
Per soddisfare a questi bisogni, proponiamo una gamma di canali per la distribuzione ramificata di tipo plastico semi-rigido compatto sanificato e tutti gli accessori necessari.

Il Duolix Max grazie alla sua altissima prevalenza di oltre 300 Pascal può essere collegato ad una rete di distribuzione sia lineare sia ramificata, nel rispetto delle condizioni indicate qui sopra.

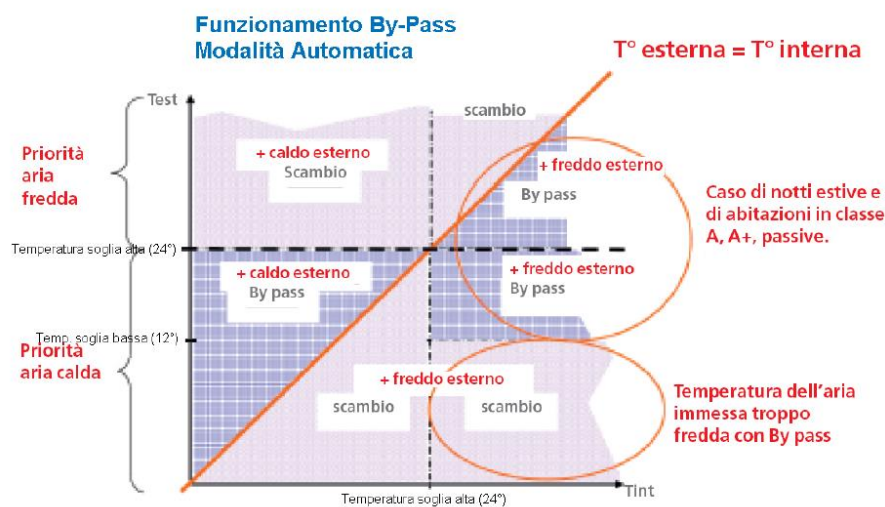
In caso di installazione fuori del volume riscaldato, un isolamento dei tubi e raccordi con 50mm di lana sarà necessaria, per assicurare l'assenza di perdite di calore prima dello scambiatore

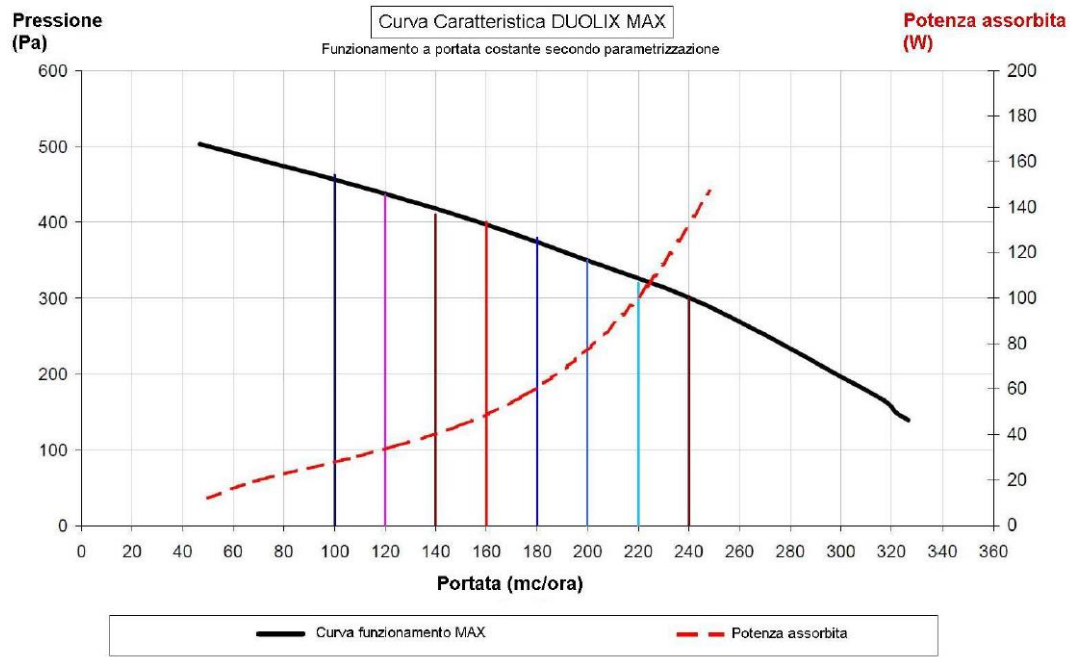
L'estrazione dell'aria viziata viene fatta dalle bocchette installate nella cucina, nei bagni, nella lavanderia o negli altri locali tecnici con acqua.

L'immissione dell'aria nuova viene fatta dalle bocchette installate nel soggiorno, nelle camere o studio. Le bocchette di immissione devono essere installate vicino alle finestre.



Dati Tecnici	
Recuperatore	Alta efficienza 92%
Potenza assorbita massima	2 x 100 Watts
By-Pass scambiatore	Totale, automatico
Numero motori	2
Tipo motori	Basso consumo inverter a corrente continua e controllo elettronico
Commando remoto	Senza Fili Radio
Alimentazione elettrica	230 V AC
Diametro tubo condense	19 mm
Peso	45 kg
Costruzione	Pannelli in acciaio galvanizzato, verniciato, colore bianco
PORTATA	
Portata aria minima	90 mc/ora
Portata aria massima	300 mc/ora
FILTRAZIONE	
Aria nuova	Filtro F7
Aria ripresa	Filtro F7
FUNZIONI	
Funzioni di serie	By-Pass totale dello scambiatore automatico, Funzione BOOST per sovra-ventilazione, Modalità cucina (aumento per 30 minuti dell'estrazione in cucina), Modalità assenza (diminuzione portate in caso di assenza), Gestione di un ausiliare (esempio: pozzo canadese, registro,...)





SCHEDA TECNICA 9. MODULO FOTOVOLTAICO E20-327 DI SUNPOWER.

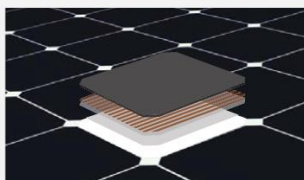
SUNPOWER

MORE ENERGY. FOR LIFE™

MODULI FOTOVOLTAICI SERIE E



- **20,4% di efficienza**
Ideali per ottimizzare la superficie disponibile sul vostro tetto o aumentare la dimensione dell'impianto in futuro.
- **Alte prestazioni**
Prestazioni eccellenti in condizioni reali, come in presenza di elevate temperature, nuvolosità o basso irraggiamento.^{1,2,3}
- **Valore riconosciuto**
Ogni casa trae vantaggio dalle caratteristiche, dal valore e dal rendimento dei moduli della serie E, poichè ideati per tetti residenziali.



Celle solari Maxeon®: radicalmente migliori.
Progettate per elevati rendimenti, costruite per durare.

Progettati per la tranquillità dei clienti
Sono progettati per fornire energia in modo affidabile e sicuro per tutta la durata di vita dell'impianto.⁴

Costruiti per durare
La cella solare SunPower® Maxeon è l'unica cella costruita su una solida base in rame. È resistente alla corrosione e alle possibili rotture che degradano le celle dei moduli convenzionali.¹

1° classificata nel test di durata di Fraunhofer.¹⁰
100% di potenza mantenuta nel test di durata PVDI completo Atlas 25*.¹¹

ALTE PRESTAZIONI & ECCELLENTE DURABILITÀ



MODULO E20 - 327



ELEVATA EFFICIENZA⁶

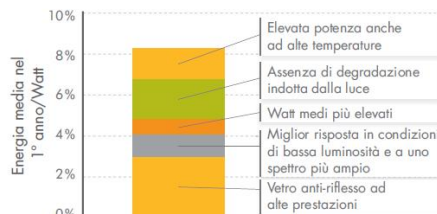
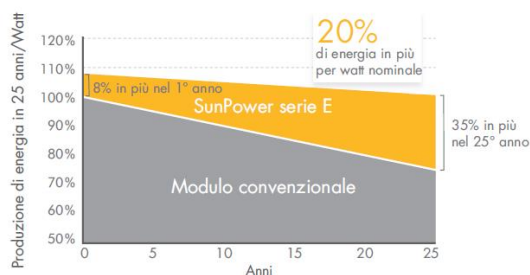
Più energia per metro quadrato

I moduli residenziali serie E convertono una maggiore quantità di luce solare in elettricità, producendo il 36% di energia in più per modulo¹ e il 60% di energia in più per metro quadrato in 25 anni.^{3,4}

ELEVATA PRODUZIONE ENERGETICA⁷

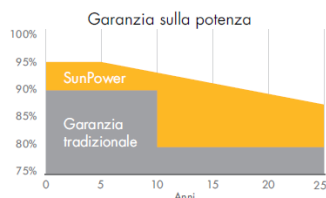
Più energia per watt nominale

Nel primo anno il loro elevato rendimento produce il 7-9% di energia in più per watt nominale.³ Tale vantaggio aumenta con il tempo, arrivando a produrre il 20% di energia in più nei primi 25 anni.⁴

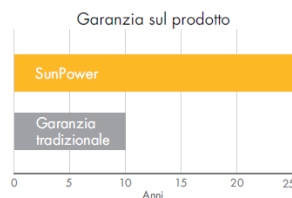


sunpowercorp.it

SUNPOWER OFFRE LA MIGLIORE GARANZIA COMBINATA SU POTENZA E PRODOTTO



Maggiore potenza garantita: 95% per i primi 5 anni, -0,4%/anno fino al 25 anno.⁸



Copertura di 25 anni combinata su potenza e difetti di prodotto che include i costi di sostituzione del modulo.⁹

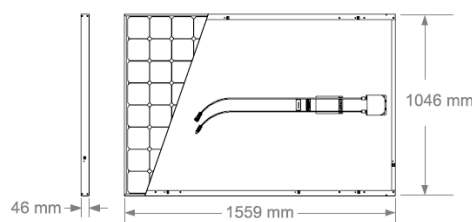
DATI ELETTRICI		
	E20-327	E19-320
Potenza nominale ¹² (P _{nom})	327 W	320 W
Tolleranza di potenza	+5/-0%	+5/-0%
Efficienza media del modulo ¹³	20,4%	19,8%
Tensione al punto di massima potenza (V _{mpp})	54,7 V	54,7 V
Corrente al punto di massima potenza (I _{mpp})	5,98 A	5,86 A
Tensione a circuito aperto (V _{oc})	64,9 V	64,8 V
Corrente di cortocircuito (I _{sc})	6,46 A	6,24 A
Tensione massima del sistema	1000 V IEC & 600 V UL	
Corrente massima del fusibile	20 A	
Coeff. temp. potenza	-0,38% / °C	
Coeff. temp. tensione	-176,6 mV / °C	
Coeff. temp. corrente	3,5 mA / °C	

CONDIZIONI OPERATIVE E DATI MECCANICI	
Temperatura	- 40°C to +85°C
Carico massimo	Vento: 2400 Pa, 245 kg/m ² fronte e retro Neve: 5400 Pa, 550 kg/m ² fronte
Resistenza all'impatto	Grandine del diametro di 25 mm a una velocità di 23 m/s
Aspetto	Classe A
Celle solari	96 celle monocristalline Maxison di II generazione
Vetro	Vetro temperato ad alta trasmissione
Scatola di giunzione	IP-65
Connettori	MC4
Telaio	Nero anodizzato classe 1, massima classificazione AAMA
Peso	18,6 kg

RIFERIMENTI:

- Tutti i confronti sono effettuati tra SPR-E20-327 e un modulo convenzionale tipico: 240 W, circa 1,6 m², 15% di efficienza.
- PVEvolution Labs "SunPower Shading Study", feb 2013.
- Soltamente l'7-9% di energia in più per watt, BEW/DNV Engineering, "SunPower Yield Report", gen 2013, con calcolo del coefficiente di temperatura da CFV Solar Test Lab Report #12063, gen 2013;
- 0,25%/anno di degradazione per SunPower rispetto a 1,0%/anno per i moduli convenzionali. Campeau, Z. et al. "SunPower Module Degradation Rate", SunPower white paper, feb 2013; Jordan, Dirk "SunPower Test Report", NREL, ott 2012.
- "SunPower Module 40-Year Useful Life", SunPower white paper, feb 2013. La vita utile è di 99 moduli su 100 in funzione a più del 70% della potenza nominale.
- Sui 2600 moduli classificati da Photon International, feb 2012
- L'8% di energia in più rispetto alla media delle prime 10 aziende produttrici di moduli testate nel 2012 (151 moduli, 102 aziende), Photon International, marzo 2013.
- In confronto ai primi 15 produttori. SunPower Warranty Review, feb 2013.
- Potrebbero essere applicate delle esclusioni. Consultare la garanzia per ulteriori informazioni.
- La serie E come la serie X, 5 degli 8 principali produttori di moduli sono stati testati da Fraunhofer ISE, "PV Module Durability Initiative Public Report", feb 2013.
- Rispetto al modulo di controllo non sottoposto a stress. Sono state testate sia la serie X sia la serie E, Atlas 25+ Durability test report, feb 2013.
- Condizioni di prova standard (irradianza 1000 W/m², AM 1,5, 25 °C)
- In base alla media dei valori di potenza misurati durante la produzione.

TEST E CERTIFICAZIONI	
Test standard	IEC 61215, IEC 61730, UL 1703
Test di qualità	ISO 9001:2008, ISO 14001:2004
Conformità EHS	RoHS, OHSAS 18001:2007, senza piombo, PV Cycle
Test dell'ammoniaca	IEC 62716
Test di resistenza all'acqua salata	IEC 61701 (livello massimo superato)
Test PID	Assenza di degradazione indotta dalla tensione: 1000 V ¹⁰
Catalogazioni disponibili	TUV, MCS, UL, JET, KEMCO, CSA, CEC, FSEC



Consultare il sito <http://www.sunpowercorp.com/facts> per ulteriori informazioni.

Per ulteriori informazioni, consultare la scheda tecnica dettagliata: www.sunpowercorp.it/datosheets. Prima di usare il prodotto, leggere attentamente le istruzioni relative all'installazione e alla sicurezza.

©Aprile 2013 SunPower Corporation. Tutti i diritti riservati. SUNPOWER, MAXEON, MORE ENERGY. FOR LIFE. e SIGNATURE sono marchi o marchi registrati di SunPower Corporation. I dati contenuti nella presente scheda tecnica possono essere soggetti a modifiche senza preavviso.

sunpowercorp.it
Documento 505613 Rev. A /A4_IT

SCHEDA TECNICA 10. INVERTER SUNNY BOY 6000TL.



SUNNY BOY 6000TL



Efficiente

- Grado di rendimento massimo del 97 %
- Tecnologia Multi-String per tutte le classi di potenza
- Risparmio grazie all'impiego di un minor numero di stringhe in parallelo
- Gestione dell'ombreggiamento con la tecnologia OptiTrac Global Peak

Adattabile

- Tensione d'ingresso CC massima di 750 V
- Funzioni integrate di gestione di rete e controllo della potenza reattiva

Semplice

- Montaggio a parete semplificato
- Sistema di connessione CC SUNCLIX
- Maggiore rapidità di collegamento, senza l'impiego di attrezzi

Comunicativo

- Facile da configurare per ogni Paese
- Tecnologia Bluetooth® di serie
- Pronto per il monitoraggio da remoto

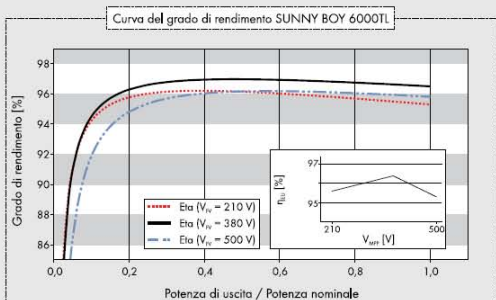
SUNNY BOY 6000TL

L'inverter più venduto al mondo. Oggi nella versione da 6 kW.

Continua ad essere il migliore: il nuovo Sunny Boy senza trasformatore è la soluzione ideale per impianti da 6 kW, anche in condizioni di ombreggiamento parziale grazie alla bassa tensione di avviamento.

La nuova versione del Sunny Boy offre un'ulteriore serie di vantaggi: massima libertà di progettazione, rendimento più elevato e pratico utilizzo. L'alta tensione CC di 750 V e il doppio inseguitore MPPT consentono un risparmio di costi, grazie all'utilizzo di un minor numero di stringhe in parallelo.

Inoltre la presenza di funzioni integrate per la gestione di rete rende questi dispositivi pronti per la comunicazione bidirezionale con la rete elettrica.



Accessori



Interfaccia RS485
DM-485CB-10



Interfaccia
Speedwire-Webconnect
SWDM-10

Dati tecnici	Sunny Boy 6000TL
Ingresso (CC)	
Potenza CC max. (@ cos $\phi=1$)	6280 W
Tensione di ingresso max.	750 V
Range di tensione MPP / Tensione di ingresso nominale	210 V - 500 V / 380 V
Tensione di ingresso min. / Tensione di ingresso di avviamento	125 V / 150 V
Corrente di ingresso max. ingresso A / ingresso B	15 A / 15 A
Corrente di ingresso max. per stringa ingresso A / ingresso B	15 A / 15 A
Numero di ingressi MPP indipendenti / Stringhe per ingresso MPP	2 / A;2; B:2
Uscita (CA)	
Potenza nominale (@230 V, 50 Hz)	6000 W
Potenza apparente CA max.	6000 VA
Tensione nominale CA / Range	220 V, 230 V, 240 V / 180 V - 280 V
Frequenza di rete CA / Range	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz... +5 Hz
Frequenza di rete nominale / Tensione di rete nominale	50 Hz / 230 V
Corrente di uscita max.	26,1 A
Fattore per potenza nominale	1
Fattore di sfasamento impostabile	0,8 sovraeccitato...0,8 sottoeccitato
Fasi di alimentazione / Fasi di allacciamento	1 / 1
Grado di rendimento	
Grado di rendimento max. / Grado di rendimento europ.	97 % / 96,4 %
Dispositivi di protezione	
Punto di disinserimento lato ingresso	-
Monitoraggio della dispersione verso terra / monitoraggio della rete	● / ●
Protezione contro l'inversione della polarità C / resistenza ai cortocircuiti CA / separazione galvanica	● / ● / -
Unità di monitoraggio correnti di guasto sensibile a tutti i tipi di corrente	●
Classe di protezione (secondo IEC 62103)/categoria di sovratensione (secondo IEC 60664-1)	I / III
Dati generali	
Dimensioni (L x A x P)	490 / 488 / 185 mm [19,3 / 19,2 / 7,3 inch]
Peso	27 kg [59,5 lb]
Range di temperature di funzionamento	-25 °C ... +60 °C [-13 °F ... +140 °F]
Rumorosità, valore tipico	29 dB(A)
Autoconsumo (notte)	1 W
Topologia	Senza trasformatore
Principio di raffreddamento	Opticool
Classe di protezione (secondo IEC 60529)	IP65
Classe climatica (conf. alla norma IEC 60721-3-4)	4K4H
Valore massimo ammissibile per l'umidità relativa (non condensante)	100 %
Dotazione	
Collegamento CC / Collegamento CA	SUNCLIX / Morsetto a molla
Display	Grafico
Interfaccia: RS485 / Bluetooth / Speedwire - Webconnect	○ / ● / ○
Relè multifunzione / Power Control Module	● / -
Garanzia (5 / 10 / 15 / 20 / 25 anni)	● / ○ / ○ / ○ / ○
Certificati e omologazioni (ulteriori su richiesta)	CEI 0-21
Protocollo di comunicazione con la rete IEC 61850 GOOSE	●
● Datazione di serie ○ opzionale - non disponibile, dati in condizioni nominali	
Nota: dati tecnici non definitivi senza garanzia	
Denominazione del tipo	SB 6000TL-21

SUNCLIX è un marchio registrato di SMA Solar Technology AG. Il presente documento è un documento di proprietà intellettuale di SMA Solar Technology AG. Il presente documento è un documento di proprietà intellettuale di SMA Solar Technology AG. Il presente documento è un documento di proprietà intellettuale di SMA Solar Technology AG. Il presente documento è un documento di proprietà intellettuale di SMA Solar Technology AG. Il presente documento è un documento di proprietà intellettuale di SMA Solar Technology AG. Il presente documento è un documento di proprietà intellettuale di SMA Solar Technology AG. Il presente documento è un documento di proprietà intellettuale di SMA Solar Technology AG.

SCHEMA TECNICA 11. SISTEMA A SOFFITTO LEONARDO.

eurotherm[®]
radiant comfort systems

Sistema a soffitto

Leonardo



Isolante	λ_D [W/mK]	Spessori [mm]	Tubo [mm]	Interasse [cm]
cartongesso + polistirene EPS sinterizzato con grafite	0,030	15+35	10x1,3	5,5
cartongesso + polistirene EPS	0,034	15+35	10x1,3	10

Leonardo passo 10



pannello EPS	prodotto secondo UNI EN 13163	
	caratteristiche tecniche	norma
conducibilità termica dichiarata λ_D	0,034 W/m · K	EN 12667
reazione al fuoco	Euroclasse E (solo isolante Euroclasse E)	EN 13501-1
resistenza alla compressione al 10% di deformazione	150 kPa	EN 826

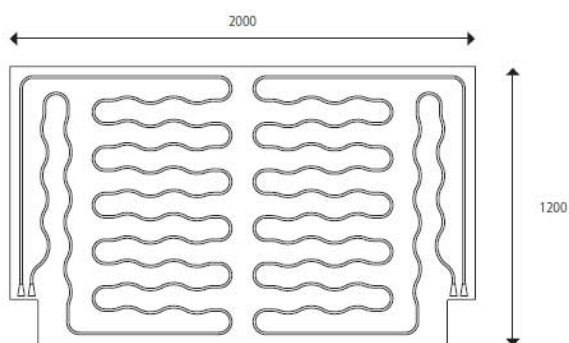
Sistema a soffitto

Leonardo

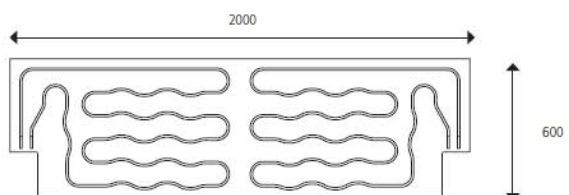
eurotherm
radiant comfort systems



Leonardo passo 10



pannello in cartongesso + polistirene EPS
interasse 10 cm - 1200x2000x 50 mm
completo di tubazione MidiX da 10x1,3 mm e di barra MidiX 20x2 mm

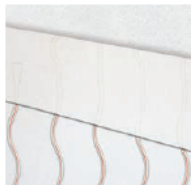


pannello in cartongesso + polistirene EPS
interasse 10 cm - 600x2000x 50 mm
completo di tubazione MidiX da 10x1,3 mm e di barra MidiX 20x2 mm

Peso d'esercizio	14,6 Kg/m ²
Contenuto d'acqua	0,45 l/m ²
Superficie attiva	2,4 / 1,2 m ²
Potenza specifica utile massima in raffreddamento (14° C di mandata e salto termico 3 K)	34 W/m ²
Potenza specifica utile massima in riscaldamento (temperatura superficiale 29 °C)	58 W/m ²
Salto termico consigliato per la temperatura	3 K
Portata per anello (per salto 3 K e potenza massima in raffreddamento)	12,5 l/h
Resistenza la fuoco	REI=0

Sistema a soffitto

Leonardo



Leonardo passo 10

eurotherm
radiant comfort systems

WSP_{Lab}

Rese in riscaldamento e raffrescamento certificate secondo
EN 14037-5 - EN 14240



Fabbisogno termico specifico	30 W/m ²	40 W/m ²	50 W/m ²	60 W/m ²	70 W/m ²	80 W/m ²
------------------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

W/m ²	<p>20°C temperatura ambiente 3 K salto termico conseguente al funzionamento in raffrescamento del soffitto radiante Leonardo</p>
------------------	--

Temperatura di mandata in base a UNI EN 1264-3:2009; curve di resa determinate sperimentalmente dal laboratorio WSP_{Lab} secondo EN 14037-5

32	35	39	42	45	49
----	----	----	----	----	----

x = valori corrispondenti a potenze specifiche superiori alla massima indicata da UNI EN 1264-4:2009

t. sup.	6,5 W/m ² K alfa soffitto caldo secondo UNI EN 1264-5:2009
---------	---

Temperatura media superficiale al soffitto [°C]

25	26	28	29	31	32
----	----	----	----	----	----

W/m ²	20°C temperatura dell'intercapedine d'aria che si crea tra il controsoffitto e il solaio soprastante
------------------	--

W/m² persi determinati a partire dalle prestazioni termiche evidenziate sperimentalmente con le prove secondo EN 14037-5

3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,2
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Rendimento di emissione

0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
------	------	------	------	------	------

Temperatura di mandata	14°C (51%*)	15°C (56%*)	16°C (60%*)	17°C (64%*)	18°C (68%*)	19°C (71%*)
------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

* secondo UNI EN 1264-3 la temperatura di mandata non deve essere inferiore a 1K sotto al valore di temperatura di rugiada calcolato sulle condizioni ambiente se è presente un sistema di deumidificazione. (ad esempio: con 26°C ambiente e umidità relativa di 51% la temperatura di rugiada è pari a 15°C; la temperatura di mandata può essere 14°C ma non inferiore)

W/m ²	<p>26°C temperatura ambiente 3,0 K salto termico</p>
------------------	--

W/m² resi in raffrescamento determinati dalle curve di resa ottenute con le prove sperimentalmente secondo EN 14240

-34	-31	-28	-25	-21	-18
-----	-----	-----	-----	-----	-----

t. sup.	10,8 W/m ² K alfa soffitto freddo secondo UNI EN 1264-5:2009
---------	---

Temperatura media superficiale alla parete

22,8	23,1	23,4	23,7	24,0	24,3
------	------	------	------	------	------

SCHEDA TECNICA 12. POMPA DI CALORE VITOCAL 200-S MODELLO AWB 201.B07.

Dati tecnici

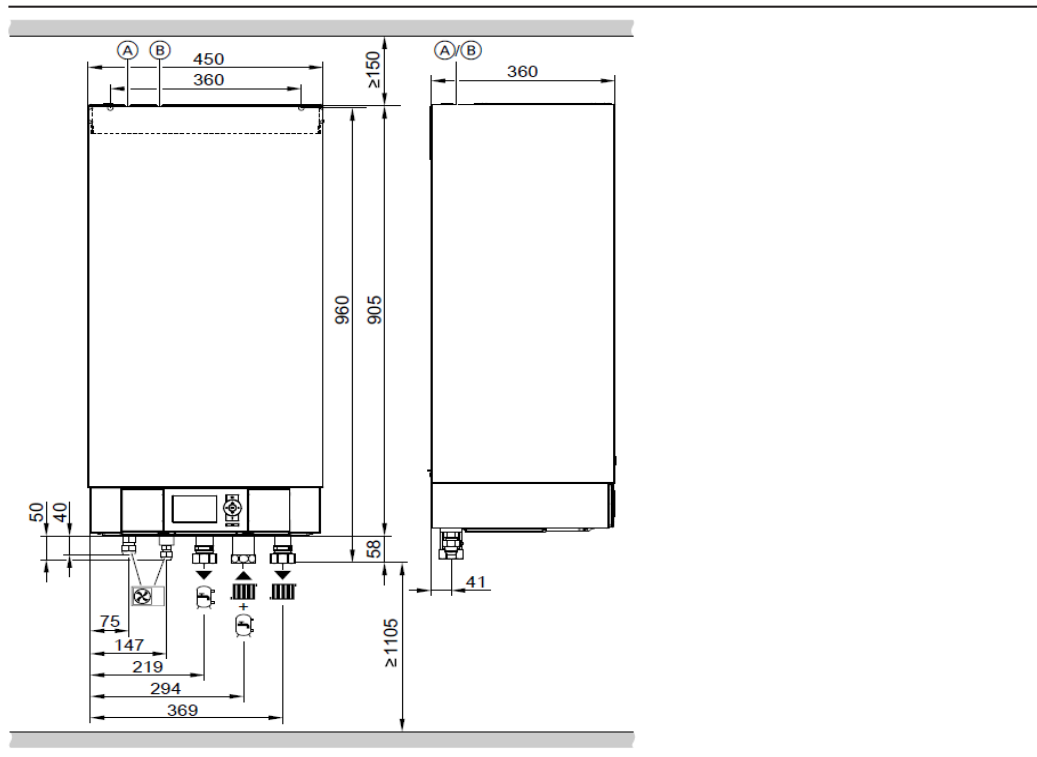
Apparecchi da 230 V

Tipo AWB/AWB-AC	201.B04	201.B07	201.B10	201.B13
Dati di resa riscaldamento secondo EN 14511 (A2/W35 °C)				
Potenzialità utile kW	3,0	5,6	7,7	10,6
Frequenza compressore Hz	60	65	55	75
Numero di giri ventilatore giri/min	870	650	650	650
Potenza elettrica assorbita kW	0,91	1,73	2,20	3,25
Coefficiente di rendimento ϵ (COP) con riscaldamento	3,30	3,24	3,50	3,26
Regolazione della potenza kW	1,1 - 3,8	1,3 - 7,7	4,4 - 9,9	5,0 - 11,9
Dati di resa riscaldamento secondo EN 14511 (A7/W35 °C, salto termico 5 K)				
Potenzialità utile kW	4,5	8,39	10,9	14,6
Frequenza compressore Hz	60	65	55	75
Numero di giri ventilatore giri/min	870	650	650	650
Portata volumetrica dell'aria m ³ /h	2090	3600	4210	4210
Potenza elettrica assorbita kW	0,97	1,96	2,36	3,40
Coefficiente di rendimento ϵ (COP) con riscaldamento	4,64	4,28	4,62	4,29
Dati di resa raffreddamento secondo EN 14511 (A35/W7 °C, salto termico 5 K)				
Potenzialità nominale di raffreddamento kW	3,2	6,2	7,4	9,1
Frequenza compressore Hz	60	65	55	70
Numero di giri ventilatore giri/min	870	650	650	650
Potenza elettrica assorbita kW	1,08	2,40	2,69	3,64
Coefficiente di rendimento EER con programma di raffreddamento	2,96	2,58	2,75	2,50
Regolazione della potenza kW	1,2 - 3,8	1,6 - 8,0	2,4 - 8,5	2,4 - 10,0
Dati di resa raffreddamento secondo EN 14511 (A35/W18 °C, salto termico 5 K)				
Potenzialità nominale di raffreddamento kW	4,2	8,8	10,0	12,6
Frequenza compressore Hz	60	65	55	70
Numero di giri ventilatore giri/min	870	650	650	650
Potenza elettrica assorbita kW	1,13	2,63	2,80	4,20
Coefficiente di rendimento EER con programma di raffreddamento	3,72	3,35	3,57	3,00
Temperatura ingresso dell'aria				
Programma di raffreddamento (tipo AWB-AC)				
- min. °C	15	15	15	15
- max. °C	45	45	45	45
Riscaldamento				
- min. °C	-15	-15	-15	-15
- max. °C	35	35	35	35
Acqua di riscaldamento				
con salto termico pari a 10 K				
Contenuto (senza vaso di espansione) l	2,2	2,2	3,2	3,2
Portata volumetrica min. (da rispettare sempre) l/h	600	820	1200	1380
Perdita max. di carico esterna (RHF) con portata volumetrica min. mbar	590	540	440	380
Temperatura max. di mandata kPa	59	54	44	38
Temperatura max. di mandata °C	55	55	55	55
Valori elettrici unità esterna				
- Tensione nominale compressore				
1/N/PE 230 V/50 Hz				
- Corrente nominale max. compressore A	13,5	15,7	19,6	26,5
- Corrente di avviamento compressore A	10,5	15	10	10
- Corrente di avviamento compressore con rotore bloccato A	20	25	25	32
- Corrente d'inserzione (caricamento dei condensatori DC) A	45	< 35	30	30
- Fusibile di protezione A	20	20	20	32
- Tipo di protezione IP	24	24	24	24

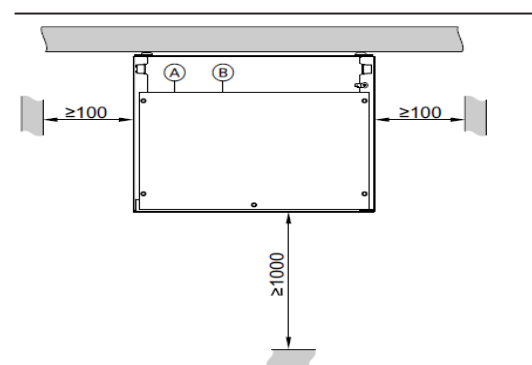
Tipo AWB/AWB-AC	201.B04	201.B07	201.B10	201.B13
Valori elettrici unità interna				
Regolazione della pompa di calore/gruppo elettronico			1/N/PE 230 V/50 Hz	
– Tensione nominale regolazione/gruppo elettronico			1 x B16A	
– Fusibile di protezione allacciamento rete			T 6,3 A/250 V	
– Fusibile di protezione interno				
Scambiatore istantaneo acqua di riscaldamento				
Tipo AWB-AC			1/N/PE 230 V/50 Hz	
– Tensione nominale			3/N/PE 400 V/50 Hz	
			8,8	
– Potenzialità kW			3 x B16A	
– Fusibile di protezione allacciamento rete				
Potenza elettrica assorbita				
– Ventilatore (max.) W	65	70	130	130
– Unità esterna (max.) kW	3,0	3,6	5,8	5,8
– Pompa secondaria (PWM) W	3 - 50	3 - 50	3 - 70	3 - 70
– Regolazione/gruppo elettronico unità esterna (max.) W	150	150	150	150
– Regolazione/gruppo elettronico unità interna (max.) W	5	5	5	5
– Potenza max. regolazione/gruppo elettronico W	1000	1000	1000	1000
Circuito frigorifero				
Refrigerante	R410A	R410A	R410A	R410A
Volume di riempimento kg	1,2	2,15	2,95	2,95
Quantità da rabboccare con lunghezze tubazioni comprese tra > 12 m e ≤ 30 m g/m	20	60	60	60
Compressore (ermetico) Tipo	rotativo	rotativo	Scroll	Scroll
Pressione max. d'esercizio				
– Lato alta pressione bar	43	43	43	43
– Lato alta pressione MPa	4,3	4,3	4,3	4,3
– Lato bassa pressione bar	43	43	43	43
– Lato bassa pressione MPa	4,3	4,3	4,3	4,3
Dimensioni d'ingombro unità esterna				
Lunghezza totale mm	869	1040	900	900
Larghezza totale mm	290	340	340	340
Altezza totale mm	610	865	1255	1255
Dimensioni d'ingombro unità interna				
Lunghezza totale mm	450	450	450	450
Larghezza totale mm	360	360	360	360
Altezza totale mm	905	905	905	905
Peso complessivo				
Unità esterna kg	43	66	110	110
Unità interna tipo AWB kg	34	34	37	37
Unità interna tipo AWB-AC kg	38	38	42	42
Pressione max. d'esercizio lato secondario				
bar	3	3	3	3
MPa	0,3	0,3	0,3	0,3
Attacchi^{*f}				
Mandata riscaldamento G	1¼	1¼	1¼	1¼
Ritorno riscaldamento e ritorno bollitore G	1¼	1¼	1¼	1¼
Mandata bollitore G	1¼	1¼	1¼	1¼
Tubazione dell'acqua di condensa (unità esterna) mm	16 x 1	16 x 1	16 x 1	16 x 1
Tubazione liquidi				
– Tubo Ø mm	6 x 1	10 x 1	10 x 1	10 x 1
– Unità interna UNF	⅝	⅝	⅝	⅝
– Unità esterna UNF	⅞	⅝	⅝	⅝
Tubazione gas caldo				
– Tubo Ø mm	12 x 1	16 x 1	16 x 1	16 x 1
– Unità interna UNF	⅞	⅞	⅞	⅞
– Unità esterna UNF	¾	⅞	⅞	⅞
Lunghezza max. tubazioni per gas liquido e per gas caldo m	20	30	30	30
Potenza sonora dell'unità esterna alla potenzialità utile (misurazione in base a EN 12102/EN ISO 9614-2)				
Spettro di potenza sonora ponderato				
– A A7 °C (±3 K)/W35 °C (±5 K) dB(A)	60	62	62	63

Dimensioni d'ingombro

Unità interna



- (A) Foro di passaggio dei cavi < 42 V
 (B) Foro di passaggio dei cavi 400 V~/230 V-, > 42 V



- (A) Foro di passaggio dei cavi < 42 V
 (B) Foro di passaggio dei cavi 400 V~/230 V-, > 42 V

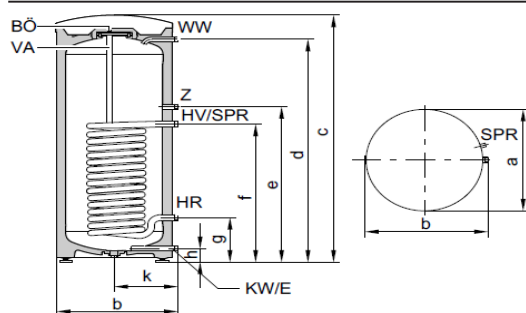
Attacchi idraulici

Simbolo	Significato	Allacciamento
	Tubazioni del refrigerante da/verso unità esterna: – Tubazione liquidi	Ø tubo di allacciamento 10 mm Filetto UNF 5/8 Per il tipo AWB-AC 201.B04 è necessaria una riduzione da 10 a 6 mm a valle dell'attacco dell'unità interna (riduzione da 5/8 a 7/16 fornita in dotazione).
	– Tubazione gas caldo	16 mm 3/4 Per il tipo AWB-AC 201.B04 è necessaria una riduzione da 16 a 12 mm a valle dell'attacco dell'unità interna (riduzione da 5/8 a 3/4 fornita in dotazione).
	Mandata bollitore (lato riscaldamento)	G 1 1/4
	Ritorno riscaldamento e ritorno bollitore	G 1 1/4
	Mandata riscaldamento	G 1 1/4

SCHEDA TECNICA 13. BOLLITORE VITOCCELL 100-V, TIPO CVA DA 200 LITRI.

Capacità bollitore		I	160	200	300	500	750	1000
Nr. di registrazione DIN			9W242/11-13 MC/E					
Resa continua per produzione d'acqua calda sanitaria da 10 a 45 °C e temperatura di mandata riscaldamento di ... alla portata acqua di riscaldamento sotto indicata	90 °C	kW	40	40	53	70	123	136
		l/h	982	982	1302	1720	3022	3341
	80 °C	kW	32	32	44	58	99	111
		l/h	786	786	1081	1425	2432	2725
	70 °C	kW	25	25	33	45	75	86
		l/h	614	614	811	1106	1843	2113
	60 °C	kW	17	17	23	32	53	59
		l/h	417	417	565	786	1302	1450
	50 °C	kW	9	9	18	24	28	33
		l/h	221	221	442	589	688	810
Resa continua per produzione d'acqua calda sanitaria da 10 a 60 °C e temperatura di mandata riscaldamento di ... alla portata acqua di riscaldamento sotto indicata	90 °C	kW	36	36	45	53	102	121
		l/h	619	619	774	911	1754	2081
	80 °C	kW	28	28	34	44	77	91
		l/h	482	482	584	756	1324	1565
	70 °C	kW	19	19	23	33	53	61
		l/h	327	327	395	567	912	1050
Portata acqua di riscaldamento per le rese continue indicate		m ³ /h	3,0	3,0	3,0	3,0	5,0	5,0
Dispersioni per mantenimento in funzione q_{es} per una temp. differenziale di 45 K (valori rilevati come da DIN 4753-8).		kWh/24 h	1,50	1,70	2,20	2,50	3,50	3,90
Dimensioni d'ingombro								
Lunghezza (∅)								
– Con isolamento termico	a	mm	581	581	633	859	960	1060
– senza isolamento termico		mm	—	—	—	650	750	850
Larghezza								
– con isolamento termico	b	mm	608	608	705	923	1045	1145
– senza isolamento termico		mm	—	—	—	837	947	1047
Altezza								
– con isolamento termico	c	mm	1189	1409	1746	1948	2106	2166
– senza isolamento termico		mm	—	—	—	1844	2005	2060
Diagonale								
– con isolamento termico		mm	1260	1460	1792	—	—	—
– senza isolamento termico		mm	—	—	—	1860	2050	2100
Altezza di montaggio		mm	—	—	—	2045	2190	2250
Peso incluso l'isolamento termico		kg	86	97	151	181	295	367
Contenuto acqua riscaldamento		l	5,5	5,5	10,0	12,5	24,5	26,8
Superficie di scambio termico		m ²	1,0	1,0	1,5	1,9	3,7	4,0
Attacchi (filetto maschio)								
Mandata e ritorno riscaldamento	R		1	1	1	1	1¼	1¼
Acqua fredda, acqua calda	R		¾	¾	1	1¼	1¼	1¼
Ricircolo	R		¾	¾	1	1	1¼	1¼

160 e 200 litri di capacità



BO Apertura d'ispezione e pulizia
E Scarico
HR Ritorno riscaldamento
HV Mandata riscaldamento
KW Acqua fredda

SPR Sensore temperatura della regolazione temperatura bollitore o regolatore di temperatura
VA Anodo protettivo di magnesio
WW Acqua calda
Z Ricircolo

Capacità bollitore		I	160	200
Lunghezza (∅)	a	mm	581	581
Larghezza	b	mm	608	608
Altezza	c	mm	1189	1409
	d	mm	1050	1270
	e	mm	884	884
	f	mm	634	634
	g	mm	249	249
	h	mm	72	72
	k	mm	317	317

SCHEDA TECNICA 14. COLLETTORE PIANO VETRATO KSF-G25 DELLA PLEION.

1113
1081
100
190
47
20
110

2356
123
110

Connezzione idraulica con battuta piana 3/4" F

Pozzetto Portasonda

Targhetta dati

Connezzione idraulica con battuta piana 3/4" M

Pozzetto Portasonda

Targhetta dati

PLEION
Passion and innovation make the difference

OGGETTO:
Scheda tecnica collettore solare piano KSF-G25.

REFERIMENTO:

COMMITTENTE:

SCHEMA:

DATA: 10-08-2011

REVISIONE:

DISEGNATO:

A. C.

CONTROLLATO:

F. G.

DATI TECNICI

Collettore solare piano, a vasca Pleion KSF-G25. Collettore solare ad alto rendimento, capace di trasformare in maniera efficace la radiazione solare in calore. È costituito da un involucro in alluminio, con telaio perimetrale costituito da profili che gli conferiscono rigidità e robustezza. Assorbitore ad ampia superficie, in alluminio, rivestito sottovuoto con ETA Plus alluminae selettivo, saldato al laser. Circuito termico in rame a doppia serpentina con attuatori formati a filettare. Copertura in vetro temprato, altamente trasparente e resistente. Isolamento interno in lana di roccia. Installazione su qualsiasi tipo di superficie piana o inclinata con specifici staffeggi dedicati. Disponibile in versioni in verticale ed in orizzontale. Collegabili in serie fino a 6 collettori.

DIMENSIONI (lunghezza x larghezza x profondità)	[mm]	posizione (vedi foto)
SUPERFICIE LORDA	[m ²]	2,85
SUPERFICIE APERTURA	[m ²]	2,29
SUPERFICIE ASSORBENTE	[m ²]	2,21
PERO A VUOTO	[kg]	43
CONTENUTO DI LIQUIDO	[l]	1,50
PRESSIONE MASSIMA DI ESERCIZIO	[bar]	10
ISOLAMENTO LANA MINERALE	[mm]	50
RENDIMENTO	[%]	76,4
C.OEFF. DI TRASMISSIONE a1	[W/m ² K]	3,381
C.OEFF. DI TRASMISSIONE a2	[W/m ² K]	0,017
C.OEFF. ASSORBIMENTO	[%]	96
C.OEFF. EMISSIONE	[%]	5
C.OEFF. TRASMISSIONE	[%]	90,2
CONNESSIONI IDRAULICHE COLLETTORE	[Ø]	22
SPESSORE VETRO	[mm]	3,2
MASSIMA TEMPERATURA DI STAGNAZIONE	[°C]	254
INCLINAZIONE MINIMA	[°]	15
INCLINAZIONE MASSIMA	[°]	70



L'ENERGIA CHE TI ASCOLTA.

Centrali Fotovoltaiche 8000-81100 Firenze

Enel Energia – Mercato libero dell'energia

Scheda di confrontabilità per clienti finali domestici di energia elettrica

La scheda di confrontabilità dei compensatori per clienti finali domestici... prevede l'indicazione del Cuneo a preventivo della spesa annua escluse le imposte ed è suddivisa in tre riquadri distinti.

1. I prezzi dei riquadri sono relativi ai clienti con potenza impegnata pari a 2 kW e sono differenziati per clienti con contratto per abitazione di residenza e clienti con contratto per abitazione non di residenza.

In ciascuno dei tre riquadri sono riportate le seguenti grandezze:

Consumo annuo (kWh)

Consumo medio annuo (kWh)

Costo annuo (€)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

Costo medio annuo (€/kWh)

APPENDICE B. TABELLA DELLE NORMATIVE DI RIFERIMENTO

NUMERO NORMATIVA	TITOLO
UNI/TS 11300	<p>“Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”;</p> <p>“Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria”;</p> <p>“Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva”;</p> <p>“Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria”</p>
UNI EN ISO 14683	“Ponti termici in edilizia. Coefficiente di trasmissione termica lineica. Metodi semplificati e valori di riferimento ”
UNI EN ISO 10077	“Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti. Calcolo della trasmittanza termica”
UNI EN ISO 13788	“Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia. Temperatura superficiale interna per evitare l’umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale.”
UNI 10351	“Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore”
UNI 10355	“Murature e solai. Valori della resistenza termico e metodo di calcolo”
UNI 11035	<p>“Legno strutturale. Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica.</p> <p>Parte 1: Terminologia e misurazione delle caratteristiche”</p> <p>“Legno strutturale. Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica.</p> <p>Parte 2: Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza meccanica e valori caratteristici per tipi di legname strutturale”</p>
UNI EN 14080	“Strutture di legno. Legno lamellare incollato e legno massiccio incollato. Requisiti”
UNI EN 14081 - 1	“Strutture di legno. Legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza”
UNI EN 13164	“Isolanti termici per edilizia. Prodotti di polistirene espanso estruso (XPS) ottenuti in fabbrica”
UNI EN ISO 10456	“Materiali e prodotti per edilizia. Proprietà igrometriche. Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto”
UNI EN ISO 13790	“Prestazione energetica degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento”
UNI 10349	“Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici”
UNI EN 1264	<p>“Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture”</p> <p>Parte 2: Riscaldamento a pavimento: metodi per la determinazione della potenza termica mediante metodi di calcolo e prove</p>

BIBLIOGRAFIA

Enea – Ministero dello Sviluppo Economico, www.acs.enea.it.

Fassa Bortolo, www.fassabortolo.com.

BASF – The Chemical Company, www.basf.de.

KA – Kakonstrukt, <http://www.kakonstrukt.it/x-lam/anti-incendio-x-lam.html>.

Associazione Nazionale Italiana Case Prefabbricate in Legno , *Storia della casa prefabbricata in legno*, <http://www.lignius.it/>.

Ilenia CARLESIMO, *Antisismica e...dieci motivi per scegliere una casa in legno*, 21 maggio 2012, <http://design.repubblica.it/> .

NORDHAUS, *Perché scegliere una casa in legno?*, <http://www.nordhaus.it/>.

Dorica Legnami, *Sistemi costruttivi* , <http://doricalegnami.it/>.

Atlantic – sistemi di ventilazione, www.atlantic-comfort.it.

Mario DONINELLI, *Gli impianti a pannelli radianti*, in “Quaderni Caleffi”, n.4.

Enel Energia, *Scheda di confrontabilità di marzo-aprile*, <http://www.enelenergia.it/mercato/libero/it-IT/casa/offerte/elight>.

Agenzia delle entrate, *Le agevolazioni fiscali per il risparmio energetico*, aggiornamento dicembre 2013, <http://www.agenziaentrate.gov.it/>.

Ministero dello Sviluppo Economico, <http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it/>.

Michele DE CARLI, *Appunti di lezione di Energetica degli Edifici*, Padova, 2012-2013.

Arturo LORENZONI, *Appunti di lezione di Economia dell'Energia*, Padova, 2012-2013.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare tutti coloro che mi hanno aiutato nella stesura della tesi con suggerimenti, critiche ed osservazioni: a loro va la mia gratitudine.

Ringrazio anzitutto il Prof. Michele De Carli e il Dott. Andrea Sacchetto per il loro supporto e la loro guida fondamentale e preziosa.

Proseguo con tutti i miei colleghi di lavoro che hanno speso il proprio tempo per darmi una mano a risolvere i problemi e ad incoraggiarmi.

Ringrazio infine le persone che moralmente mi hanno supportato e sopportato in questo viaggio scolastico che dopo molti anni si conclude. Grazie ai miei genitori Giovanni e Laura e ai miei fratelli Gianluca e Maddalena. Grazie a Nicola che con la sua vicinanza riesce sempre a tranquillizzarmi e a rendermi felice nei momenti di maggiore preoccupazione. Grazie a Veronica e grazie a tutti i miei amici e amiche per le serate spensierate. Non dimentico ovviamente i miei compagni di studio, di corriera e di esami e li ringrazio per le grandi risate e l'aiuto reciproco. In particolare grazie ad Alessandro per la grande amicizia che è nata negli ultimi due anni.