



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

A.a. 2021/2022

Sessione di Laurea Dicembre 2022

Riqualificazione energetica di un edificio non residenziale

Intervento di efficientamento energetico e implementazione di un sistema
di building automation

Relatori:

Prof. Marco Carlo Masoero

Candidati:

Marco Spanò 278247

Ai miei nonni.

Sommario

<i>Indice delle figure</i>	5
<i>Indice delle tabelle</i>	7
1 - Introduzione	10
2 - Contesto normativo europeo e italiano	11
3 - Norma UNI EN 15232	14
3.1 - Classi di efficienza	14
3.2 - Metodologia di calcolo	16
3.2.1 - Metodo Dettagliato	17
3.2.2 - Metodo dei Fattori BAC	18
4 - Caso Studio	21
4.1 - Descrizione dell'edificio	21
4.1.1 - Parametri climatici della località	23
4.2 - Involucro Opaco	24
4.3 - Involucro Trasparente	26
4.4 - Impianto di Riscaldamento	27
4.5 - Impianto di Illuminazione	29
5 - Modello Termolog	30
5.1 - Zone Termiche	30
5.2 - Risultati di calcolo	34
6 - Calibrazione del modello	37
7 - Interventi di efficientamento energetico	40
7.1 - Riqualificazione del solaio di copertura	40
7.2 - Sostituzione del generatore di calore	43
7.3 - Sostituzione delle lampade a fluorescenza con lampade LED	45
7.4 - Risultati di calcolo post-interventi	48
8 - Implementazione del sistema di automazione	49
8.1 - Determinazione del nuovo indicatore di prestazione energetica	54

<i>9 - Analisi economica</i>	57
<i>10 - Conclusioni</i>	63
<i>APPENDICE A</i>	67
<i>APPENDICE B</i>	74
<i>APPENDICE C</i>	87
<i>APPENDICE D</i>	94
<i>Ringraziamenti</i>	97
<i>Bibliografia e sitografia</i>	98

Indice delle figure

Figura 1. Classi BAC [Efficienza Energetica, Guida Schneider Electric 2017]	15
Figura 2. Metodologie di calcolo secondo norma UNI 15232 Efficienza Energetica, Guida Schneider Electric 2017]	16
Figura 3. Relazioni tra i sistemi energetici dell'edificio e i fattori di efficienza BAC [Efficienza Energetica, Guida Schneider Electric 2017]]	18
Figura 4. Utilizzo dei fattori BAC per il calcolo dell'energia consumata [Efficienza Energetica, Guida Schneider Electric 2017]]	19
Figura 5. Vista dall'alto del fabbricato [Google Maps].....	22
Figura 6. Uffici municipio e ingresso Polizia Municipale, facciata sud-est (2019).....	22
Figura 7. Valori mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna (UNI 10349)	24
Figura 8. Involucro opaco dell'edificio	24
Figura 9. Esempio di finestra (Ufficio Piano Terra)	26
Figura 10. Caldaia a basamento RIELLO 3900.265	27
Figura 11. Circuito di distribuzione	28
Figura 12. Ventilconvettore presente nell'edificio	28
Figura 13. Corpo illuminante a fluorescenza (Ingresso).....	29
Figura 14. Pianta del piano primo	32
Figura 15. Pianta del piano terra	32
Figura 16. Vista 3D del modello (SUD)	32
Figura 17. Vista 3D del modello (NORD)	33
Figura 18. Prospetto SUD	33
Figura 19. Prospetto NORD.....	33
Figura 20. Prospetto OVEST	33
Figura 21. Prospetto EST	33
Figura 22. Classificazione Energetica dell'edificio.....	34
Figura 23. Andamento mensile del fabbisogno termico in uscita dal generatore	35
Figura 24. Strato di amianto presente nell'attuale solaio di copertura	41

Figura 25. Stratigrafia del solaio in seguito a intervento di isolamento	42
Figura 26. Proprietà termofisiche dei componenti del solaio di copertura	42
Figura 27. Confronto del fabbisogno in uscita dalla centrale termica	44
Figura 28. Confronto sul quantitativo di gasolio necessario.....	45
Figura 29. Classe energetica dell'edificio post efficientamento.....	48
Figura 30. Confronto degli indici di prestazione energetica pre e post efficientamento	48
Figura 28. Funzioni di controllo dell' emissione [Norma UNI 15232]	50
Figura 29. Funzioni di controllo delle pompe di distribuzione [Norma UNI 15232]	51
Figura 30. Funzioni di controllo della generazione e/o distribuzione [Norma UNI 15232].	51
Figura 31. Funzioni di controllo della generazione [Norma UNI 15232]	52
Figura 32. Funzioni di controllo dell'illuminazione [Norma UNI 15232]	53
Figura 33. Fattori BAC per il riscaldamento [Norma UNI 15232].....	54
Figura 34. Fattori BAC per l'illuminazione [Norma UNI 15232]	54
Figura 35. Determinazione della prestazione energetica in relazione all'edificio di riferimento.....	56
Figura 36. Flussi di cassa cumulati nei 30 anni	62
Figura 37. Confronto della classe energetica ANTE e POST riqualificazione.....	63
Figura 38. Confronto delle emissioni di CO2	65

Indice delle tabelle

Tabella 1. Dati climatici della località	21
Tabella 2. Dati geometrici dell'edificio	22
Tabella 3. Dati climatici mensili standard di riferimento	23
Tabella 4. Dettagli dei componenti di involucro opaco	25
Tabella 5. Dettagli dei componenti di involucro trasparente	26
Tabella 6. Dettagli delle pompe di distribuzione	27
Tabella 7. Dettagli dei corpi illuminanti dell'edificio	29
Tabella 8. Zone termiche	31
Tabella 9. Dati geometrici dei locali presenti nel modello	31
Tabella 10. Indici di prestazione energetica dei servizi di riscaldamento e illuminazione...	34
Tabella 11. Dettagli di generazione relativi all'impianto di riscaldamento	35
Tabella 12. Fabbisogni totali di energia elettrica	36
Tabella 13. Lista dei consumi energetici per riscaldamento reali e modellizzati relativi al 2014.....	39
Tabella 14. Determinazione degli indici MBE e RMSE.....	39
Tabella 15. Proprietà termofisiche del polistirene espando EFYOS XPS SL	41
Tabella 16. Confronto del fabbisogno termico per trasmissione dell'involucro	43
Tabella 17. Fabbisogni di energia termica in uscita dalla caldaia a condensazione	43
Tabella 18. Confronto tra fabbisogni di energia termica in ingresso e in uscita dalla caldaia a condensazione	44
Tabella 19. KG di gasolio necessari al sistema nei due casi.....	45
Tabella 20. Descrizione delle apparecchiature illuminanti post intervento	46
Tabella 21. Analisi dei risultati post intervento di relamping.....	47
Tabella 22. Funzioni di controllo richieste per ottenere la classe B	49
Tabella 23. Costo dell'energia	59
Tabella 24. Costi degli scenari analizzati pre e post intervento	60
Tabella 25. Flussi di cassa dell'analisi economica	60
Tabella 26. Risultati dell'analisi economica.....	62

Tabella 27. Confronto degli indici principali nei tre casi	64
Tabella 28. Confronto del consumo di combustibile nei tre casi analizzati	64
Tabella 29. Emissioni di CO2 nei tre casi.....	65

Abstract

Lo scopo del seguente lavoro di tesi consiste nella valutazione del risparmio energetico, mediante determinazione di attestati di prestazione energetica (APE), conseguibile in un edificio non residenziale, a valle di interventi di riqualificazione energetica e implementazione di un sistema di automazione e controllo.

L'analisi riguarda gli impianti di riscaldamento e illuminazione e la procedura di lavoro segue la seguente successione:

- Analisi dello stato di fatto dell'edificio mediante modellazione con software di modellazione energetica Termolog
- Calibrazione del modello realizzato mediante confronto tra consumi reali e consumi calcolati per la valutazione dell'accuratezza del modello
- Determinazione dei fabbisogni e prestazioni energetiche dello stato di fatto
- Interventi di riqualificazione energetica sul fabbricato e sull'impianto
- Implementazione di un sistema di building automation
- Applicazione della normativa UNI EN 15232 per la determinazione della nuova prestazione energetica
- Analisi di fattibilità tecnico-economica

Tale analisi ha messo in evidenza un risparmio energetico ed economico relativo ai consumi energetici, riducendo sostanzialmente le emissioni di gas serra in atmosfera.

1 - Introduzione

Il cambiamento climatico rappresenta uno dei maggiori problemi che la società odierna abbia mai affrontato. L'aumento delle temperature globali media, che hanno trovato il loro picco massimo nell'ultimo decennio, è la causa di numerose catastrofi ambientali come innalzamento del livello medio delle acque, desertificazione e inondazioni ed eventi metereologici estremi.

Il principale artefice del cambiamento climatico è l'attività umana che, con l'enorme accrescere del processo di sviluppo tecnologico iniziato a valle della Rivoluzione Industriale, ha contribuito ad un aumento abnorme delle quantità di gas serra in atmosfera.

L'attuale situazione geopolitica ha portato anche ad un'ulteriore necessità di una sensibilizzazione sul consumo di combustibile per il riscaldamento; l'agenzia internazionale (IEA) e la commissione europea hanno diffuso alcuni consigli affinché i cittadini riducano il proprio consumo di energia.

In Italia, il consumo di energia per riscaldamento copre quasi un terzo dei consumi finali totali di energia, contribuendo per un quinto alla produzione di CO₂ nel territorio nazionale.

A tale scopo, il presente elaborato tende ad evidenziare i vantaggi degli interventi di riqualificazione energetica in un edificio non residenziale. In particolare, si tende ad evidenziare l'incidenza dovuta all'installazione di un sistema di building automation.

2 - Contesto normativo europeo e italiano

Negli ultimi anni, l'Unione Europea ha determinato una serie di politiche atte a ridurre le emissioni di nette di gas serra di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990.

Tali obiettivi vengono descritti nel *Regolamento UE 2021/1119 del Parlamento Europeo e del Consiglio* del 30 giugno 2021 che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e che modifica il regolamento (CE) n. 401/2009 e il regolamento (UE) 2018/1999 («Normativa europea sul clima»). Inoltre, per l'attuazione degli impegni necessari a soddisfare l'*Accordo di Parigi*, sono stati definiti gli obiettivi per la materia di Energia e Clima per il periodo 2021-2030, mediante il pacchetto legislativo "Energia pulita per tutti gli europei".

Il precedentemente citato *Regolamento 2018/1999/UE del Parlamento europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2018* fornisce istituti e procedure per conseguire gli obiettivi dell'Unione per il 2030 in materia di energia e di clima.

Il Regolamento delinea le seguenti cinque "dimensioni"- assi fondamentali - dell'Unione dell'energia:

- sicurezza energetica;
- mercato interno dell'energia;
- efficienza energetica;
- decarbonizzazione;
- ricerca, innovazione e competitività.

Il *Regolamento 2018/842/UE* fissa i livelli vincolanti delle riduzioni delle emissioni di ciascuno Stato membro al 2030. Per l'Italia, il livello fissato al 2030 è del -33% rispetto al livello nazionale 2005.

2 - Contesto normativo europeo e italiano

La *Direttiva 2018/2001/UE* sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili (RED II), della quale si dirà per esteso infra, che fissa al 2030 una quota obiettivo dell'UE di energia da FER sul consumo finale lordo almeno pari al 32%.

La Direttiva è stata recepita dal D.Lgs. 8 novembre 2021 n. 199.

Il "Pacchetto FIT for 55%" si propone di intervenire per rendere più ambizioso l'obiettivo UE di consumo di energia da FER, portandolo dal 32% al 40%.

La *Direttiva 2018/2002/UE* sull'efficienza energetica che modifica la *Direttiva 2012/27/UE* e fissa un obiettivo di riduzione dei consumi di energia primaria dell'Unione pari ad almeno il 32,5% al 2030 rispetto allo scenario 2007, al cui raggiungimento tutti gli SM devono concorrere.

La direttiva è stata recepita nell'ordinamento nazionale con il D.Lgs. 14 luglio 2020, n. 73.

La *Direttiva 2018/844/UE* che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica (Direttiva EPBD - Energy Performance of Buildings Directive).

La direttiva è stata recepita nell'ordinamento nazionale con il D.Lgs. 10 giugno 2020, n. 48. Con tale direttiva si vuole garantire un parco immobiliare ad alta efficienza e decarbonizzato entro il 2050.

Vengono di seguito elencate le normative tecniche di riferimento utilizzate per i calcoli e le analisi del presente elaborato.

- a) Raccomandazione CTI 14/2013 “Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione dell’energia primaria e della prestazione energetica EP per la classificazione dell’edificio”, o normativa UNI equivalente e successive norme tecniche che ne conseguono;
- b) UNI/TS 11300 – 1 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1:

2 - Contesto normativo europeo e italiano

Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale;

c) UNI/TS 11300 – 2 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2:
Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, la ventilazione e l'illuminazione;

d) UNI/TS 11300 – 3 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 3:
Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva;

e) UNI/TS 11300 – 4 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 4:
Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione acqua calda sanitaria;

f) UNI EN 15193 - Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione.

Il metodo di calcolo di progetto è applicabile a tutte le tipologie edilizie, sia per gli edifici nuovi che per quelli esistenti, indipendentemente dalla loro dimensione.

h) UNI EN 15232 - Prestazione energetica degli edifici – Parte 1: Impatto dell'automazione, del controllo e della gestione tecnica degli edifici

3 - Norma UNI EN 15232

Il presente capitolo descrive la norma europea UNI EN 15232. Le informazioni elencate di seguito sono state redatte seguendo le indicazioni presenti sulla normativa stessa e mediante la guida “Efficienza Energetica - impatto dell’automazione sulle prestazioni energetiche degli edifici”, pubblicata dalla Schneider Electric nel 2017.

Tale norma, “Prestazione energetica degli edifici – Parte 1: Impatto dell’automazione, del controllo e della gestione tecnica degli edifici”, pubblicata nell’ Ottobre del 2017, specifica, una lista strutturata delle funzioni di controllo, automazione e gestione tecnica degli edifici che contribuiscono alla prestazione energetica degli stessi, un metodo per definire i requisiti minimi o ogni altra specifica riguardante le funzioni di controllo, automazione e gestione tecnica degli edifici che contribuiscono all’efficienza energetica di un edificio, un metodo semplificato per arrivare ad una prima stima dell’impatto delle suddette funzioni su edifici e profili d’uso rappresentativi e i metodi dettagliati per valutare l’impatto di queste funzioni su un determinato edificio.

La normativa è stata recepita a livello nazionale dal DL 63/2013 ed è integrata con il DM 26/06/2015, il quale introduce l’obbligatorietà di sistemi di automazione e controllo avanzati all’interno di edifici.

3.1 - Classi di efficienza

La normativa definisce quattro diverse classi di efficienza “BAC” per classificare i sistemi di automazione degli edifici, in ambito residenziale e non residenziale:

- Classe D: Un BAC classificato in classe D include qualsiasi impianto tradizione privo di automazione e controllo. Per tale motivo viene descritto come “NON ENERGY EFFICIENT”.

3 - Norma UNI EN 15232

- Classe C: Un BAC di classe C è il riferimento utilizzato nella normativa (categorizzato come “STANDARD”) e include gli impianti dotati di sistemi di automazione tradizionali, dotati di bus di comunicazione.
- Classe B: Un BAC di classe B (“ADVANCED”) include impianti con sistema di automazione e controllo avanzato, dotati di funzioni di gestione degli impianti tecnici dell’edificio (TBM).
- Classe A: Rappresenta il maggior livello di automazione e controllo ottenibile. Un sistema BAC categorizzato in tale classe permette di ottenere alte prestazioni energetiche (“HIGH ENERGY PERFORMANCE”) garantendo alti livelli di precisione nel controllo dell’impianto.



Figura 1. Classi BAC [Efficienza Energetica, Guida Schneider Electric 2017]

La classe C è considerata la classe di riferimento in quanto rappresenta il minimo livello tecnologico ottenibile in presenza di un sistema di automazione e controllo.

Nonostante ciò, occorre considerare che allo stato attuale, la maggior parte dei sistemi installati in edifici esistenti rientra in classe D.

3.2 - Metodologia di calcolo

Sono previste due diverse tipologie di calcolo per la determinazione dell'impatto sulle prestazioni energetiche dell'edificio a seguito dell'implementazione del sistema di automazione e controllo.

Il metodo dettagliato è un metodo che determina in dettaglio l'impatto delle funzioni implementate nelle prestazioni dell'edificio. Il metodo è applicabile quando sono note tutte le informazioni sui sistemi presenti nell'edificio e tale metodo definisce le norme da utilizzare la definizione dell'impatto sulla prestazione energetica ottenuto.

Il metodo dei fattori BAC è un metodo semplificato, basato su un metodo tabellare e permette una stima approssimativa ma comunque abbastanza realistica dell'impatto dei sistemi implementati in base alle quattro classi di efficienza.

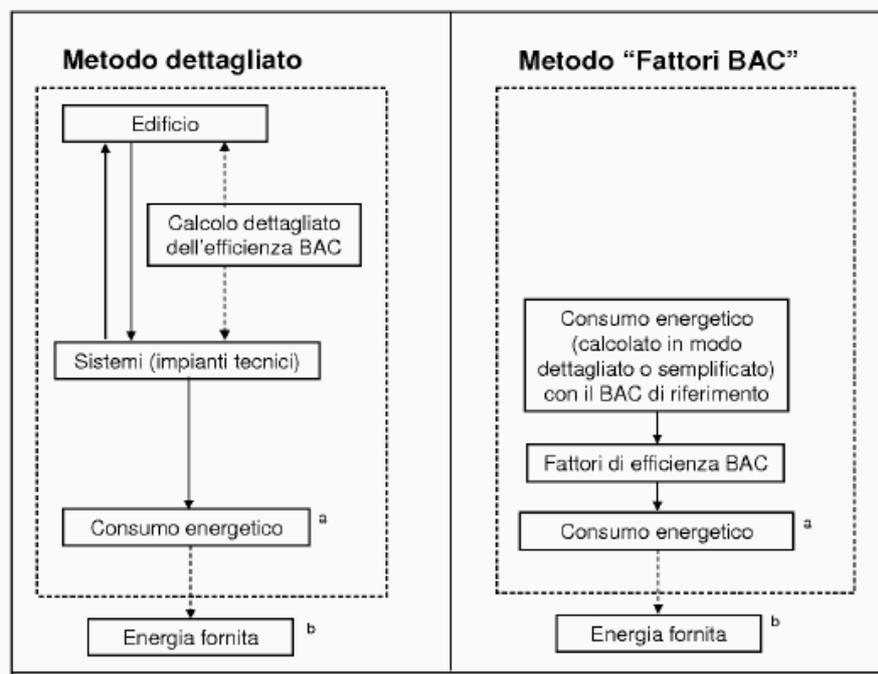


Figura 2. Metodologie di calcolo secondo norma UNI 15232 Efficienza Energetica, Guida Schneider Electric 2017]

3.2.1 - Metodo Dettagliato

Il metodo dettagliato, come descritto precedentemente, permette di calcolare con un alto livello di accuratezza gli impatti del sistema di automazione e controllo sulla prestazione energetica degli edifici.

La norma fornisce una tabella che richiama la normativa di riferimento da seguire per ogni diversa funzione di controllo, nella quale sono presenti le specifiche tecniche per la trattazione dei sistemi BAC e TBM. Nel caso in cui le normative indicate non descrivano esattamente come trattare tali sistemi, la descrizione viene fornita dalla norma UNI EN 15232.

Il metodo dettagliato prevede cinque diversi tipi di approccio:

- Metodo diretto: calcolo mediante metodo di simulazione dettagliato che permette di calcolare direttamente l'impatto delle varie funzioni.
- Metodo basato sulla modalità operativa: si utilizzano diverse modalità operative per ogni singolo sistema, calcolando in sequenza il consumo di ogni modalità operativa, ottenendo il consumo di ogni applicazione sommando i diversi consumi.
- Metodo basato sul tempo di funzionamento: viene utilizzato un coefficiente caratteristico, determinato come rapporto tra la durata dell'azione di controllo e la durata dell'intervallo di tempo considerato, che caratterizza la funzione da determinare nel calcolo. Questo metodo viene utilizzato solo se il sistema di controllo influisce direttamente nel tempo di funzionamento dei dispositivi.
- Metodo basato sulla temperatura di stanza: questo metodo è utilizzabile se il sistema di controllo influisce sulla temperatura di stanza.
- Metodo del coefficiente di correzione: il metodo viene utilizzato quando il sistema agisce su diversi fattori e prevede la determinazione di un coefficiente di correzione ricavato dai parametri rilevanti dell'edificio

3 - Norma UNI EN 15232

3.2.2 - Metodo dei Fattori BAC

Il metodo dei Fattori BAC prevede la determinazione di fattori moltiplicativi che permettono di determinare il consumo energetico finale a valle dell'applicazione di un sistema BAC nell'impianto tecnico di un edificio.

Tali fattori moltiplicativi vanno ad incidere sul consumo energetico, ovvero il fabbisogno energetico dell'edificio, le perdite termiche totali e l'energia elettrica ausiliaria al funzionamento degli impianti tecnici.

La norma distingue due diversi gruppi di fattori e li identifica in funzione del loro campo di applicazione: residenziale e non residenziale.

I fattori di efficienza BACS definiti per i due campi di applicazione sono:

- $f_{BACS,h}$: fattore BAC correlato all'energia termica per il riscaldamento
- $f_{BACS,c}$: fattore BAC correlato all'energia termica per il raffrescamento
- $f_{BACS,dhw}$: fattore BAC correlato all'energia termica per acqua calda sanitaria
- $f_{BACS,el}$: fattore BAC correlato all'energia elettrica per la ventilazione, l'illuminazione ed i dispositivi ausiliari.

Consumo energetico		Fabbisogno energetico ¹		Perdite di sistema ²	Energia ausiliaria ³	fattore BACS
Riscaldamento	=	Q_{NH}	+	$Q_{H,loss}$		$f_{BACS,h}$
			+		$W_{h,aux}$	$f_{BACS,el}$
Raffrescamento	=	Q_{NC}	+	$Q_{C,loss}$		$f_{BACS,c}$
			+		$W_{c,aux}$	$f_{BACS,el}$
Ventilazione	=				$W_{v,aux}$	$f_{BACS,el}$
Illuminazione ⁴	=				W_L	$f_{BACS,el}$
Acqua calda sanitaria	=	Q_{DHW}				$f_{BACS,DHW}$

1: Fabbisogno energetico per riscaldamento e raffrescamento, calcolato secondo la EN ISO 13790.

2: Le perdite energetiche di un sistema di riscaldamento devono essere stimate utilizzando le norme della serie EN 15316 per le diverse aree di processo, mentre le perdite di un sistema di raffrescamento devono essere stimate utilizzando la EN 15255.

3: L'energia ausiliaria richiesta dai sistemi deve essere calcolata utilizzando, rispettivamente, le norme della serie EN 15316 (sistemi di riscaldamento), EN 15241 (sistemi di ventilazione) ed EN 15193 (sistemi di illuminazione).

4: L'impatto del controllo di illuminazione dovrebbe essere valutato separatamente secondo la EN 15193.

Figura 3. Relazioni tra i sistemi energetici dell'edificio e i fattori di efficienza BAC [Efficienza Energetica, Guida Schneider Electric 2017]

3 - Norma UNI EN 15232

In figura 3 sono mostrate le relazioni tra i sistemi energetici dell'edificio e i fattori BAC; l'impatto di ogni sistema di automazione è controllo va dunque riferito al fattore BAC appropriato.

– Sistema di riscaldamento	$Q_{H,Tot,BAC} = (Q_{H,nd,B} + Q_{H,sys}) \times \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}}$ $W_{H,aux,BAC} = W_{H,aux} \times \frac{f_{BAC,el}}{f_{BAC,el,ref}}$
– Sistemi di raffrescamento	$Q_{C,Tot,BAC} = (Q_{C,nd,B} + Q_{C,sys}) \times \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}}$ $W_{C,aux,BAC} = W_{C,aux} \times \frac{f_{BAC,el}}{f_{BAC,el,ref}}$
– Sistema di ventilazione	$W_{V,aux,BAC} = W_{V,aux} \times \frac{f_{BAC,el}}{f_{BAC,el,ref}}$
– Sistema di illuminazione	$W_{L,BAC} = W_L \times \frac{f_{BAC,el}}{f_{BAC,el,ref}}$

Dove:

$Q_{H,Tot,BAC}$	è l'energia totale per il riscaldamento, riferita a una classe di efficienza BAC;
$Q_{H,nd,B}$, $Q_{H,sys}$	rappresentano, rispettivamente, il fabbisogno di energia per il riscaldamento dell'edificio e le perdite energetiche del sistema di riscaldamento;
$Q_{C,Tot,BAC}$	è l'energia totale per il raffrescamento, riferita a una classe di efficienza BAC;
$Q_{C,nd,B}$, $Q_{C,sys}$	rappresentano, rispettivamente, il fabbisogno di energia per il raffrescamento dell'edificio e le perdite energetiche del sistema di raffrescamento;
$W_{H,aux}$, $W_{C,aux}$	indicano l'energia elettrica ausiliaria rispettivamente per i sistemi di riscaldamento e i sistemi di raffrescamento;
$W_{H,aux,BAC}$, $W_{C,aux,BAC}$	indicano l'energia elettrica ausiliaria rispettivamente per i sistemi di riscaldamento e i sistemi di raffrescamento, riferite ad una classe di efficienza BAC;
$W_{V,aux}$, W_L	indicano, rispettivamente, l'energia elettrica ausiliaria per i sistemi di ventilazione e l'energia elettrica per l'illuminazione;
$W_{V,aux,BAC}$, $W_{L,BAC}$	indicano, rispettivamente, l'energia elettrica ausiliaria per i sistemi di ventilazione e l'energia elettrica per l'illuminazione, riferite ad una classe di efficienza BAC;
$f_{BACS,h,ref}$, $f_{BACS,c,ref}$, $f_{BAC,el,ref}$	sono, rispettivamente, i fattori di efficienza BAC per l'energia termica e per l'energia elettrica riferiti alla classe BAC scelta come riferimento.
$f_{BAC,h}$, $f_{BAC,c}$, $f_{BAC,el}$	sono, rispettivamente, i fattori di efficienza BAC per l'energia termica e per l'energia elettrica, riferiti ad una classe di efficienza BAC;

Figura 4. Utilizzo dei fattori BAC per il calcolo dell'energia consumata [Efficienza Energetica, Guida Schneider Electric 2017]

3 - Norma UNI EN 15232

In figura 4 sono mostrate le relazioni tra i fattori BAC e i consumi di energia finale; tali fattori dunque, se è noto il consumo di energia, permettono di valutare il risparmio in termini assoluti, determinando il kWh annuali consumati dal sistema edificio-impianto nei due diversi casi.

Tali valori possono essere utilizzati per la determinazione dei nuovi indicatori di prestazione energetica degli edifici.

Per effettuare tale procedura è necessario che non sia stato considerato l'effetto delle funzioni di controllo nel calcolo dell'indice di prestazione energetica.

Tale processo di classificazione sarà effettuato nel capitolo 8 della presente tesi.

4 - Caso Studio

4 - Caso Studio

4.1 - Descrizione dell'edificio

Il caso studio riguarda l'implementazione di un sistema di automazione e controllo al fine di ridurre i consumi energetici nella sede municipale del comune ligure di Borghetto Santo Spirito – 17052 Via Ticino 1, situato in provincia di Savona (SV). Il fabbricato, edificio costruito circa nel 1970, è costituito da due piani fuori terra. Il piano terra dell'edificio è caratterizzato dalla sede della polizia municipale, uffici comunali, un locale Bar e un centro anziani.

Il piano primo è totalmente dedicato agli uffici comunali.

L'edificio è indipendente e non confinante con altri edifici, mentre è circondato da condomini adibiti ad uso residenziale.

Tabella 1. Dati climatici della località

DATI CLIMATICI DELLA LOCALITA'	
Località	Borghetto Santo Spirito
Provincia	Savona
Altitudine s.l.m	2 m
Latitudine	44° 6' NORD
Longitudine	8° 14' EST
Zona Climatica	C
Stazione di rilevazione	Capo Vado Ligure
Località di riferimento	Savona

Seguendo la classificazione imposta dal DPR 412/93, in funzione delle diverse tipologie di attività presenti all'interno dell'edificio, classifichiamo il nostro fabbricato come:

- E.2 Edifici adibiti ad uffici e assimilabili
- E.4 (1) Edifici adibiti ad attività ricreative, associazioni e simili
- E.4 (3) Edifici adibiti ad attività ricreative

4 - Caso Studio

Tabella 2. Dati geometrici dell'edificio

DATI GEOMETRICI DELL'EDIFICIO	
Volume Lordo Riscaldato (V)	10954 m ³
Superficie delimitante il volume (S)	4221 m ²
Rapporto di forma S/V	0,38
Superficie utile energetica dell'edificio	2643 m ²

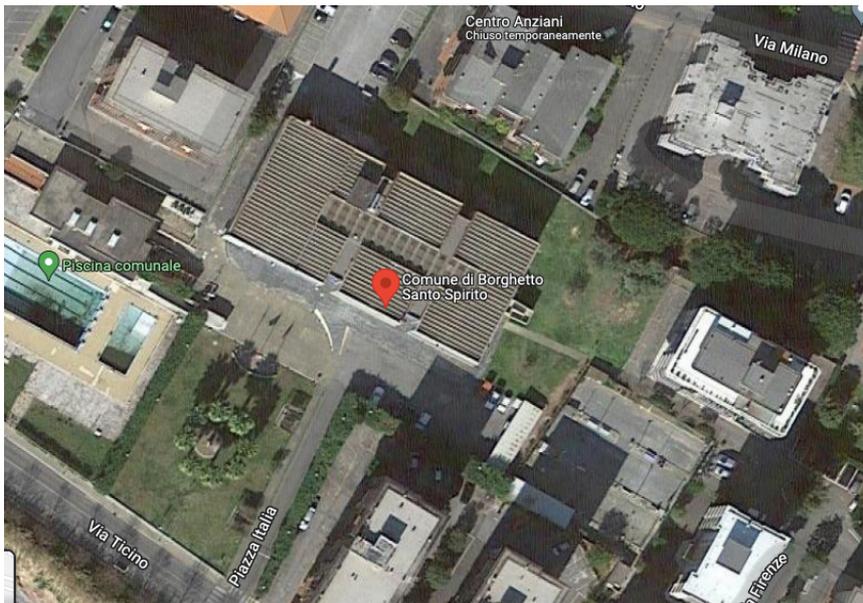


Figura 5. Vista dall'alto del fabbricato [Google Maps]



Figura 6. Uffici municipio e ingresso Polizia Municipale, facciata sud-est (2019)

4 - Caso Studio

4.1.1 - Parametri climatici della località

Il DPR 412/93, ovvero il “Regolamento recante norme per la progettazione, l’installazione, l’esercizio e la manutenzione degli impianti termici ai fini del contenimento dei consumi di energia” ci fornisce i dati climatici da utilizzare nel caso studio in oggetto.

I valori si ricavano dall’Allegato A di tale regolamento. Tali valori sono stati utilizzati anche nella Diagnosi Energetica redatta nel 2019.

La località di riferimento per i dati climatici è Savona, a cui corrispondono 1481 GG (Gradi Giorno), una zona climatica C e un periodo di riscaldamento convenzionale dal 15 Novembre al 31 Marzo, per un totale di 137 giorni.

In tabella 3 sono sintetizzati i dati climatici mensili standard utilizzati per il calcolo, ricavati da normativa tecnica UNI 10349.

Tabella 3. Dati climatici mensili standard di riferimento

	Te [°C]	Hbh [MJ/m2]	Hdh [MJ/m2]	Pe [Pa]	$\Delta\theta$ [°C]
Gennaio	10,4	0,7	2,8	890,7	5,7
Febbraio	11,7	0,6	5	897,9	6,4
Marzo	12,9	0,5	7,6	1038,6	6,6
Aprile	15,6	0,4	10,6	1285,9	7,1
Maggio	19,2	0,4	11,3	1531,2	7,1
Giugno	22,7	0,3	13,8	1896,8	7,7
Luglio	23,6	0,3	16,5	1830,3	7,9
Agoato	23,6	0,4	13,3	1958	8,8
Settembre	21,3	0,6	11	14808,6	7,1
Ottobre	17,4	0,7	7,8	1171,7	6,6
Novembre	12,8	0,8	4,3	847,7	6,1
Dicembre	6,3	0,9	3,2	544,2	5,8

4 - Caso Studio

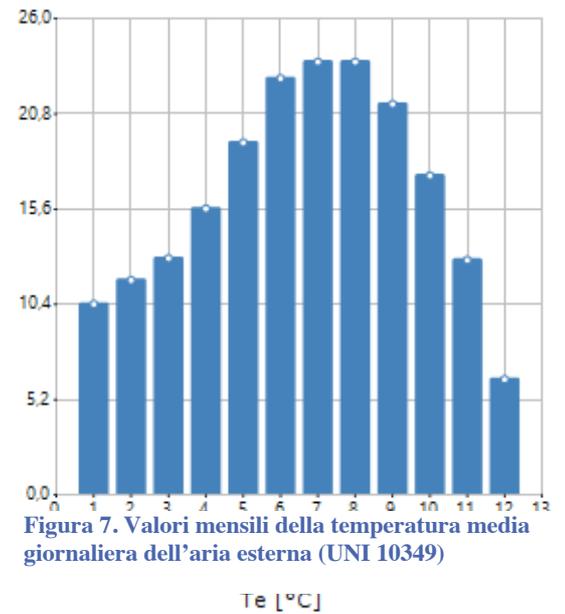
Te: Valore mensile della temperatura media giornaliera dell'aria esterna

Hbh: Irradiazione solare giornaliera media mensile diretta su piano orizzontale

Hdh: Irradiazione solare giornaliera media mensile diffusa su piano orizzontale

Pe: Valore medio mensile della pressione parziale del vapor d'acqua dell'aria esterna

$\Delta\theta$: Escursione media giornaliera della temperatura esterna



4.2 - Involucro Opaco

La costruzione dell'edificio è avvenuta nei primi anni del 1970 e non è presente alcuna documentazione tecnica in grado di attestare le caratteristiche degli elementi opachi.

Per la determinazione delle stratigrafie dell'involucro sarebbe necessario effettuare operazioni invasive di carotaggio.

Non essendo oggetto del nostro caso studio, esse vengono supposte facendo riferimento alle tipologie costruttive presenti all'interno dell'Abaco UNI/TR 11552, considerando quanto possibile rilevare in sito e analogie con edifici simili per utilizzo, tipologia, zona termica e costruiti nello stesso periodo storico.



Figura 8. Involucro opaco dell'edificio

4 - Caso Studio

Le chiusure verticali verso l'esterno sono costituite da murature in blocchi forati di calcestruzzo (M1), le chiusure verticali verso locali non climatizzati sono costituiti da Muratura in Laterizio Semipieno (M2).

Sono presenti tre diversi tipo di chiusure orizzontali: un solaio contro-terra in calcestruzzo (P1) come chiusura orizzontale verso il terreno e un solaio in calcestruzzo (P2) come chiusura orizzontale verso locali non climatizzati, ovvero l'angolo nord-ovest a primo piano posto sopra la centrale termica del fabbricato.

La chiusura orizzontale di copertura è costituita da un solaio in calcestruzzo con strato impermeabilizzante di bitume e amianto in lastre.

I dettagli dell'involucro opaco sono sintetizzati in tabella 4:

Tabella 4. Dettagli dei componenti di involucro opaco

Cod	Descrizione	Spessore [mm]	Massa Superficiale [kg/m ²]	Trasmittanza termica periodica [W/m ² K]	Sfasamento [h]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
M1	Parete Esterna	340	484	0,239	0	1,236
M2	Parete Interna	340	364	0,197	0	0,9
P1	Pavimento controterra	545	966	0	0	1,202
P2	Solaio interpiano	285	530	0	0	1,91
S1	Copertura	535	992	0,055	-15,053	1,162

4 - Caso Studio

4.3 - Involucro Trasparente

L'edificio presenta numerose tipologie di componenti finestrati. Sono costituiti da un telaio in metallo e la maggior parte di loro presenta un doppio vetro non basso-emissivo con intercapedine d'aria che varia tra i 4 e gli 11 mm. Sono tutti serramenti a due ante apribili e i componenti finestrati nel piano terra sono caratterizzati dalla presenza di un sopra-luce. I dettagli di ogni singolo serramento sono presenti in allegato, mentre la tabella 5 riepiloga in breve le varie tipologie. I serramenti presenti al piano primo (F1 e F2) sono caratterizzati dalla presenza di chiusure oscuranti esterne in metallo. Nessuna delle tipologie individuate è dotata di cassonetti e chiusure avvolgibili, né nicchie sottofinestra. I dettagli geometrici e termo-fisici dei componenti finestrati sono sintetizzati in tabella 5.



Figura 9. Esempio di finestra (Ufficio Piano Terra)

Tabella 5. Dettagli dei componenti di involucro trasparente

Descrizione	Tipologia vetro	Telaio	Altezza [cm]	Larghezza [cm]	Trasmittanza del vetro [W/m ² K]	Trasmittanza del serramento [W/m ² K]	Area del vetro [m ²]	Perimetro del vetro [m]
F1	Doppio	Metallo	200	255	2,906	3,464	4,465	12,3
F2	Doppio	Metallo	180	250	2,906	3,493	3,91	11,4
F3	Doppio	Metallo	177	96	3,076	3,747	1,443	6,8
F4	Doppio	Metallo	70	96	3,076	4,21	0,502	4,66
F5	Doppio	Metallo	70	232	3,4	4,835	1,01	6,04
F6	Doppio	Metallo	180	256	3,4	4,545	3,24	17,64
P1	Doppio	Metallo	277	243	3,076	4,311	4,722	21,56
P2	Doppio	Metallo	270	250	3,076	4,517	4,4	25,2
P3	Singolo	Metallo	300	342	5,913	6,222	7,34	32,28
P4	Singolo	Metallo	280	270	5,913	6,225	5,39	23,5
P5	Doppio	Metallo	270	140	3,076	4,457	2,53	15,7
L1	Doppio	Metallo	115	489	3,267	3,625	5,147	11,76

4 - Caso Studio

4.4 - Impianto di Riscaldamento

L'impianto di riscaldamento dell'edificio è costituito da una caldaia a Basamento Riello 3900.265, installata nel 1998. Tale caldaia offre una potenza utile di 191,9 KW ed è alimentata a gasolio.



Figura 10. Caldaia a basamento RIELLO 3900.265

Viene utilizzata per le sole esigenze di riscaldamento dei locali.

Il generatore di calore è attivo per circa 10 ore al giorno, 7 giorni a settimane. Ed è installato in centrale termica.

La distribuzione ai terminali è garantita da due pompe di circolazione, una per ogni piano dell'edificio.

L'orario di accensione delle pompe è comandato da una centralina di controllo installata in centrale termica.

Tabella 6. Dettagli delle pompe di distribuzione

	Potenza [W]	Ore di funzionamento giornaliera	Giorni di Funzionamento
Pompa Piano Terra	535	10	dal Lunedì alle Domenica
Pompa Piano Primo	898	10	dal Lunedì al Venerdì

4 - Caso Studio

Il circuito relativo al primo piano infatti, essendo dedicato completamente alle sedi degli uffici comunali, risulta spento nel fine settimana.

La regolazione dei circuiti avviene mediante sonda climatica esterna. Entrambi i circuiti di distribuzione sono infatti dotati di valvola miscelatrice a tre vie gestite direttamente dalla sonda climatica.

La temperatura di set-point in ambiente è fissata a 20-21°C.



Figura 11. Circuito di distribuzione



Figura 12. Ventilconvettore presente nell'edificio

I terminali di emissione dell'edificio sono dei ventilconvettori ad acqua, dotati ognuno di un proprio termostato a bordo, per tutti i locali ad eccezione dei servizi igienici, equipaggiati con dei radiatori in ghisa.

4 - Caso Studio

4.5 - Impianto di Illuminazione

L'impianto di illuminazione è costituito da corpi illuminanti a fluorescenza. Non sono presenti sistemi di controllo on/off centralizzati né sistemi di regolazione del carico luminoso.

Il valore totale di potenza installata relativa ai corpi illuminanti è pari a 3852 W.

L'impianto di illuminazione segue il profilo di utilizzo dei diversi locali.



Figura 13. Corpo illuminante a fluorescenza (Ingresso)

Tabella 7. Dettagli dei corpi illuminanti dell'edificio

ZONA	LOCALE	LAMPADE	ORE DI UTILIZZO ANNUALI
1	1.1 Municipio PT - Ingresso	2x11	2210
1	1.2 Municipio PT - Corridoio	2x36, 1x 150, 1x11	2210
1	1.3 Municipio PT Uffici Sud	2x58, 2x36	2210
1	1.4 Municipio PT - Uffici Nord	2x58, 2x36	2210
1	1. 5 Municipio PT - Uffici Nord	2x58, 2x36	2210
1	1.6 Municipio PT Servizi	1x11,2x18	2210
1	1. 7 Municipio PT - Vano Scale Nord	-	
1	1.8 Municipio PT - Vano Scale SUD	-	
2	2.1 Municipio P1 - Sala Consiglio	1x11,1x18,2x36	2210
2	2.2 Municipio P1 - Corridoio Sud	2x36, 1x 150, 1x11	2210
2	2.3 Municipio P1 - Uffici Sud	2x58, 2x36	2210
2	2.4 Municipio P1 - Uffici Sud	2x58, 2x36	2210
2	2.5 Municipio P1 - Servizi		
2	2.6 Municipio P1 - Uffici Ovest	2x58, 2x36	2210
2	2.7 Municipio P1 - Uffici Nord	2x58, 2x36	2210
2	2.8 Municipio P1 - Corridoio Nord	2x36, 1x 150, 1x11	2210
2	2.9 Municipio P1 - Vano scale Sud	-	
2	2.10 Municipio P1 - Vano Scale Nord	-	
2	2.11 Municipio P1 - Corridoio Centrale	2x36, 1x 150, 1x11	2210
2	2.12 Municipio P1 - Corridoio Sud Ovest	2x36, 1x 150, 1x11	2210
2	2.13 Municipio P1 - Vano Scale Nord	-	
3	3.1 Centro Anziani - Salone	2x58	2184
3	3.2 Centro Anziani - Servizi	1x27	2184
4	4.1 Polizia Ingresso	2x58	4368
4	4.2 Polizia Uffici	2x36, 1x 150, 1x11	4368
4	4.3 Polizia Corridoio	2x36, 1x 150, 1x11	4368

5 - Modello Termolog

4	4.4 Polizia Servizi	1x11,2x18	4368
4	4.5 Polizia Celle	1x37	4368
4	4.6 Polizia Uffici	2x36, 1x 150, 1x11	4368
5	5.1 - Bar	2x58	2210

5 - Modello Termolog

Termolog è un software sviluppato dalla casa Logical Soft utilizzato per la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici mediante un metodo di calcolo standardizzato, come previsto dalle specifiche tecniche della normativa UNI TS 11300.

Il software permette l'inserimento di dati sia in maniera tabellare che grafica e presenta numerosi moduli, tra cui il modulo Progettista e il modulo Diagnosi.

Inserendo le informazioni relative alla località, la tipologia di intervento, i dati costruttivi e tipologici dei componenti edilizi ed impiantistici, Termolog determina le dispersioni termiche, i consumi energetici e i fabbisogni di energia del sistema.

5.1 - Zone Termiche

I criteri utili per la scelta delle zone termiche dell'edificio sono elencati nello standard ISO 52016-1:2017, e le regole più rilevanti sono elencate di seguito:

- Destinazione d'uso della zona
- Design thermal condition of the space
- Tutti le zone adiacenti allo stessa destinazione d'uso sono raggruppati all'interno della stessa zona termica
- Una zona termica è divisa in modo tale che una zona termica contiene solo spazi che condividono la stessa combinazione di servizi rilevanti

Il set-point di temperatura di ogni zona termica è stato estrapolato dai dati reali forniti dalla sede locale.

5 - Modello Termolog

L'analisi ha portato alla determinazione delle seguenti zone termiche:

Tabella 8. Zone termiche

ZONA	NOME ZONA TERMICA	SET POINT DI TEMPERATURA INTERNA [°C]
1	Municipio Piano Terra	20
2	Municipio Piano Primo	20
3	Centro Anziani	20
4	Polizia Municipale	20
5	Bar	20

I vari locali del modello con rispettivi dati geometrici sono elencati in tabella 9.

Tabella 9. Dati geometrici dei locali presenti nel modello

ZONA	LOCALE	SUP UTILE [m ²]	H NETTA [m]	SUP LORDA [m ²]	H LORDA [m]
1	1.1 Municipio PT - Ingresso	59,48	2,85	65,69	3,59
1	1.2 Municipio PT - Corridoio	160,34	2,85	177,07	3,59
1	1.3 Municipio PT Uffici Sud	225,09	2,86	248,58	3,59
1	1.4 Municipio PT - Uffici Nord	63,88	2,86	70,55	3,59
1	1.5 Municipio PT - Uffici Nord	131,04	2,86	144,72	3,59
1	1.6 Municipio PT Servizi	24,22	2,86	26,75	3,59
1	1.7 Municipio PT - Vano Scale Nord	23,9	2,85	26,39	3,59
1	1.8 Municipio PT - Vano Scale SUD	22,77	2,86	25,15	3,59
2	2.1 Municipio P1 - Sala Consiglio	218,31	3,15	239,86	3,93
2	2.2 Municipio P1 - Corridoio Sud	36,3	3,16	39,88	3,93
2	2.3 Municipio P1 - Uffici Sud	93,81	3,16	103,07	3,93
2	2.4 Municipio P1 - Uffici Sud	90,26	3,16	99,17	3,93
2	2.5 Municipio P1 - Servizi	11,86	3,16	13,03	3,93
2	2.6 Municipio P1 - Uffici Ovest	390,5	3,15	429,05	3,93
2	2.7 Municipio P1 - Uffici Nord	113,71	3,15	124,93	3,93
2	2.8 Municipio P1 - Corridoio Nord	38,37	3,15	42,16	3,93
2	2.9 Municipio P1 - Vano scale Sud	22,78	3,15	25,16	3,59
2	2.10 Municipio P1 - Vano Scale Nord	7,13	3,15	7,87	3,59
2	2.11 Municipio P1 - Corridoio Centrale	160,77	3,15	176,64	3,93
2	2.12 Municipio P1 - Corridoio Sud Ovest	137,18	3,16	150,72	3,93
2	2.13 Municipio P1 - Vano Scale Nord	15,71	3,15	17,26	3,93
3	3.1 Centro Anziani - Salone	180,59	2,85	199,13	3,56
3	3.2 Centro Anziani - Servizi	17,62	2,86	19,43	3,56
4	4.1 Polizia Ingresso	21,89	2,86	24,52	3,57
4	4.2 Polizia Uffici	69,63	2,86	77,98	3,57
4	4.3 Polizia Corridoio	146,82	2,86	164,43	3,57
4	4.4 Polizia Servizi	13,79	2,85	15,44	3,57
4	4.5 Polizia Celle	43,63	2,86	48,86	3,57
4	4.6 Polizia Uffici	45,71	2,85	51,19	3,57
5	5.1 - Bar	56,08	2,85	66,49	3,57

5 - Modello Termolog

Avendo definito le zone termiche e i locali, si è proceduto con la definizione del modello 3D dell'edificio a valle dell'inserimento dei componenti di involucro opaco e trasparente elencati nel paragrafo precedente.

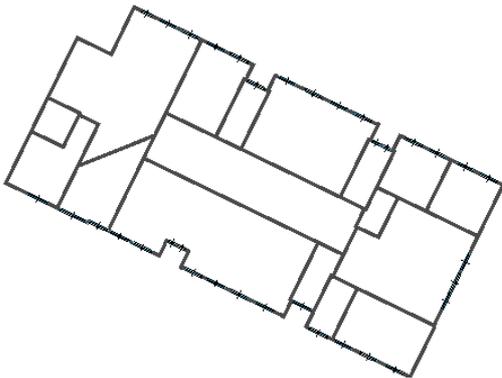


Figura 15. Pianta del piano terra

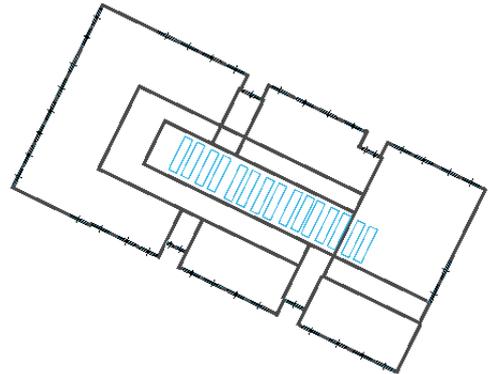


Figura 14. Pianta del piano primo

Vengono di seguito elencate le viste tridimensionali e i prospetti del modello realizzato.

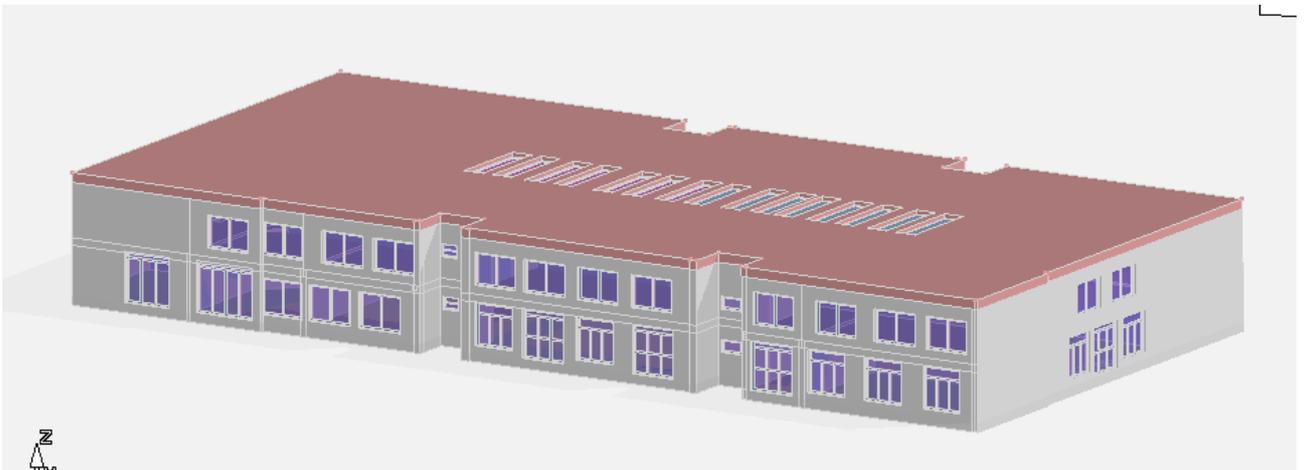


Figura 16. Vista 3D del modello (SUD)

5 - Modello Termolog

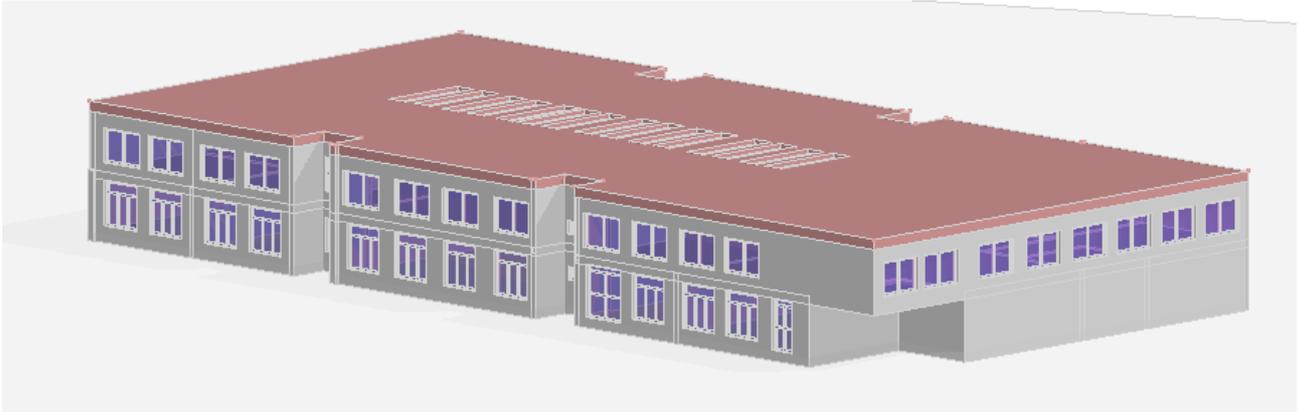


Figura 17. Vista 3D del modello (NORD)

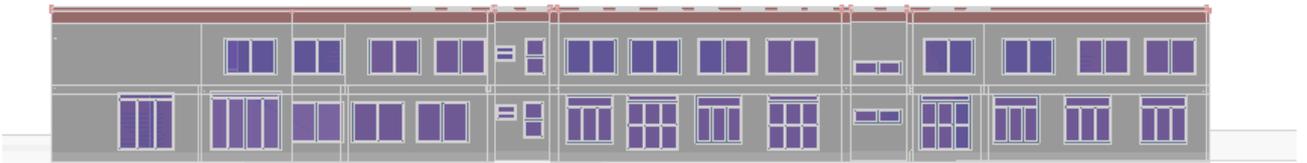


Figura 18. Prospetto SUD

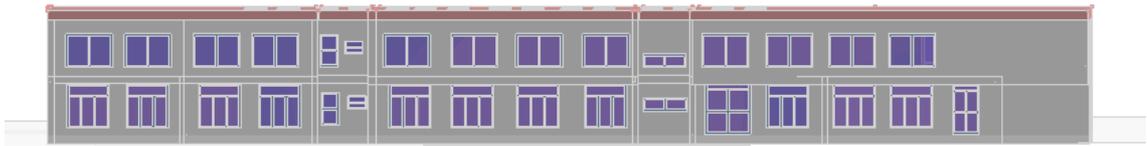


Figura 19. Prospetto NORD



Figura 21. Prospetto EST

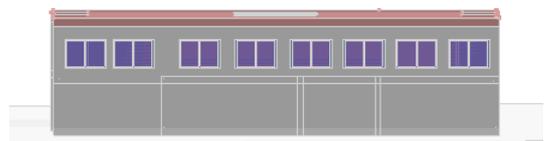


Figura 20. Prospetto OVEST

5 - Modello Termolog

5.2 - Risultati di calcolo

I risultati di calcolo dell'edificio permettono di determinare la classe energetica del fabbricato. Il fabbricato risulta essere stimato in classe D, secondo la classificazione prevista dal D.M. 26/05/2015 – Linee guida classificazione energetica che vede la presenza di un $EP_{gl,nren}$ pari a 96,81 kWh/m²*anno.

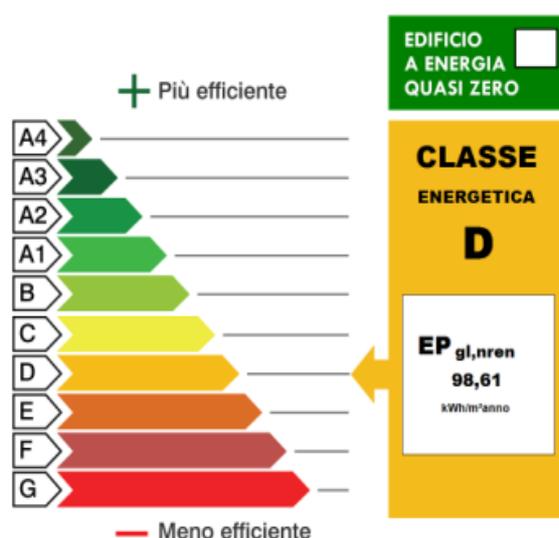


Figura 22. Classificazione Energetica dell'edificio

Vengono elencati di seguito i valori relativi agli indici di prestazione energetica totali, non rinnovabile e rinnovabile relativi al servizio di riscaldamento e illuminazione.

Tabella 10. Indici di prestazione energetica dei servizi di riscaldamento e illuminazione

Servizio	EP, _{ren}	EP, _{nren}	EP, _{tot}
Riscaldamento	0,2	83,44	83,63
Illuminazione	3,66	15,17	18,82
Totale	3,85	98,61	102,46

5 - Modello Termolog

Si denota immediatamente una quota quasi nulla di energia rinnovabile utilizzata per il riscaldamento. Ciò è dovuto alla presenza di un generatore di calore piuttosto obsoleto, che utilizza gasolio come combustibile e che non presenta alcuna quota rinnovabile.

La quota rinnovabile dell'illuminazione è relativa all'energia elettrica acquistata dalla rete nazionale.

La tabella 11 mostra i valori di fabbisogni di energia termica in ingresso ed in uscita al generatore di calore (Figura 23).

Tabella 11. Dettagli di generazione relativi all'impianto di riscaldamento

Caldiaia a basamento Riello 3900,165	Um	GEN	FEB	MAR	NOV	DIC	TOTALI
Qgn,out	kWh	41.634,61	29.615,14	22.092,95	19.060,45	64.992,22	177.395,37
FC,gn	-	0,26	0,21	0,14	0,23	0,41	-
Ql,gn	kWh	5.145,85	3.660,30	2.730,59	2.355,79	8.032,75	21.925,27
Qgn,in	kWh	46.780,44	33.275,44	24.823,54	21.416,23	73.024,97	199.320,63
Qaux,gn	kWh	134,95	95,99	71,61	61,78	210,66	574,99
η,gn	-	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89

Fabbisogno in uscita dalla centrale Piano Terra [H]

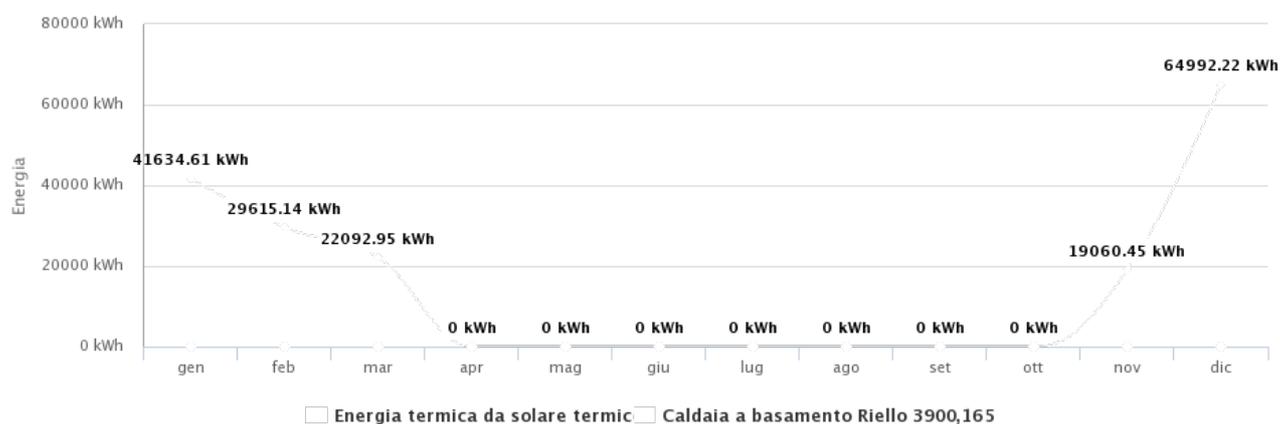


Figura 23. Andamento mensile del fabbisogno termico in uscita dal generatore

5 - Modello Termolog

La tabella 12 mette in evidenza i fabbisogni totali di energia elettrica: i valori relativi al riscaldamento (H) sono dovuti alle quote dei dispositivi ausiliari di regolazione, distribuzione ed emissione.

Si mette in evidenza l'alto consumo dei corpi illuminanti presenti nel fabbricato e l'incidenza dei 6 W/m² di energia parassita prevista da normativa per i sistemi di emergenza e controllo.

Tabella 12. Fabbisogni totali di energia elettrica

Fabbisogni totali di energia elettrica														
Servizio	Um	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOT
H	kWh	324,99	248,39	214,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	154,00	457,32	1.399,31
L	kWh	1.745,60	1.577,64	1.745,60	1.690,86	1.745,60	1.690,86	1.745,60	1.745,60	1.690,86	1.745,60	1.690,86	1.745,60	20.560,27

In seguito a tali risultati, si denota che l'implementazione di un sistema di automazione e controllo non risulterebbe efficiente a livello energetico ed economico per i sistemi di riscaldamento e illuminazione che presentano apparecchiature vetuste, che comportano un alto consumo energetico, Saranno dunque previsti interventi di efficientamento energetico allo scopo di ridurre i fabbisogni e i consumi del fabbricato relativamente ai servizi di riscaldamento e illuminazione.

Gli interventi proposti sono:

- Rifacimento del solaio di copertura
- Sostituzione del generatore di calore con caldaia a condensazione
- Sostituzione di apparecchi a fluorescenza con apparecchiature LED

6 - Calibrazione del modello

La procedura di calibrazione viene effettuata per verificare se la realizzazione del modello mediante software risulta accurata rispetto agli effettivi consumi dell'edificio reale.

La calibrazione è definita dalle guideline ASHRAE 14 come “processo di riduzione dell'incertezza di un modello confrontando il risultato previsto dal modello sotto uno specifico set di condizioni sui dati attuali misurati.”

Tale processo definisce le procedure per identificare i parametri utili alla determinazione di un accettabile livello di accuratezza e di incertezza del modello. Gli indici statistici utilizzati nella procedura di calibrazione sono l'indice MBE e l'indice CV(RMSE).

Il Monthly mean bias error index (MBE) è un errore percentuale che determina quanto la previsione di energia utilizzata nel modello corrisponde ai valori misurati su base mensile o annuale:

$$MBE \% = \frac{\sum_{periodo} (S - M)_{intervallo}}{\sum_{periodo} M_{intervallo}} * 100$$

dove S rappresenta il consumo di energia del modello e M rappresenta il consumo di energia effettivo.

Tale indice può essere affetto da errori di offset, a causa dei valori positivi di S e M in differenti intervalli di tempo che riducono l'indice MBE.

L'indice RMSE è un errore percentuale e rappresenta la radice quadrata della media degli errori al quadrato.

Tale indice amplifica l'impatto dei valori anomali, e dunque un valore inferiore indica un modello più accurato.

6 - Calibrazione del modello

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(S - M)^2_{intervallo}}{n_{intervallo}}}$$

Dove n rappresenta il numero di intervallo di tempo nel periodo considerato, che nel caso sono pari a 5.

Il coefficiente dell'RMSE ci permette di determinare quanto i valori previsti dal modello sono accurati rispetto ai valori reali.

$$CV(RMSE) = \frac{RMSE}{\frac{M_{tot}}{n}} * 100$$

Dove M_{tot} indica la somma dei consumi reali dell'edificio.

Considerando un time-step di calcolo mensile, una calibrazione accettabile si ottiene se l'MBE è compreso tra valori pari al -5% e il 5%, mentre il CV(RMSE) è minore del 15%.

Per la procedura di calibrazione sono stati utilizzati consumi di gasolio relativi all'anno 2014, a seguito di fornitura delle bollette da parte del comune di Borghetto Santo Spirito.

I consumi di gasolio forniti in litri sono stati riportati in kWh considerando una densità di 0,835 kg/l e un potere calorifico inferiore pari a 11,87 kWh/kg.

I valori di temperatura esterna dell'anno 2014 sono stati ricavati dal Database Meteo Arpa Liguria, stazione di rilevamento Castellari-Pietra Ligure, ovvero la stazione climatica più vicina della quale sono disponibili dati di temperatura media mensile nel periodo considerato.

Tali valori di temperatura esterna sono stati inseriti all'interno del modello di calcolo e sono stati estrapolati i consumi di gasolio in kWh dell'edificio con la temperatura corretta.

6 - Calibrazione del modello

Tabella 13. Lista dei consumi energetici per riscaldamento reali e modellizzati relativi al 2014

	Bollette 2014 [litri gasolio]	Consumi 2014 reali [kWh]	Te 2014 [°C]	Consumi 2014 modello [kWh]
Gennaio	4190	49735,3	9,2	41382,00
Febbraio	3882	46079,34	9,7	27586,00
Marzo	3119	37022,53	12,5	27534,00
Novembre	3550	42138,5	14,1	36174,00
Dicembre	3174	37675,38	11,3	73024,00

Definiti i valori da utilizzare nella calibrazione, si procede alla determinazione dell'MBE e del CV(RMSE).

Tabella 14. Determinazione degli indici MBE e RMSE

Mese	Consumi Modello-Reale	MBE	(M-R)²	RMSE
Gennaio	-8353,30	-16,80	69777620,89	2953,34
Febbraio	-18493,34	-40,13	342003624,36	6538,38
Marzo	-9488,53	-25,63	90032201,56	3354,70
Novembre	-5964,50	-14,15	35575260,25	2108,77
Dicembre	35348,62	93,82	1249524935,90	12497,62
TOTALE	-6951,05	-3,27	48317096,10	2457,5673

CV(RMSE)
9,24

I valori di MBE e CV(RMSE) rientrano nel range definito dall'Ashrae Guideline 14-2014.

Il processo di calibrazione è concluso e si ritiene che il modello costruito sia in grado di rispecchiare fedelmente i consumi effettivi dell'edificio.

7 - Interventi di efficientamento energetico

7 - Interventi di efficientamento energetico

In seguito alla verifica dell'accuratezza del modello mediante calibrazione, si procede con la realizzazione degli interventi di riqualificazione sopra proposti.

Tali interventi saranno inseriti nel modello termo-energetico allo scopo di valutare le effettive migliorie ottenute in termini di fabbisogno e consumo energetico. Per ogni intervento proposto saranno verificati i principali risultati di interesse e confrontati con lo stato di fatto; infine si procederà alla determinazione della nuova classe energetica dell'immobile considerando tutti gli interventi nel complesso.

7.1 - Riqualificazione del solaio di copertura

In un qualsiasi fabbricato, il solaio di copertura è l'elemento che presenta la maggior dispersione termica specifica per unità superficie. Essendo la struttura maggiormente esposta alla radiazione solare e alle escursioni termiche, che portano un forte stress termo-igrometrico, un intervento di riqualificazione su questo elemento migliora, oltre ai fabbisogni di riscaldamento dell'edificio, anche una migliore prestazione estiva e una maggiore durabilità dell'intero edificio in ambito strutturale.

Il solaio attuale presenta un classico solaio in laterocemento coperto da uno strato impermeabilizzante di bitume. La superficie esterna presenta lastre di amianto dallo spessore di 15 cm, materiale che, invecchiando, si deteriora in polveri sottili che possono essere inalate.

7 - Interventi di efficientamento energetico



Figura 24. Strato di amianto presente nell'attuale solaio di copertura

L'intervento di riqualificazione prevede la rimozione dello strato di amianto e la posa in opera di 12 cm di polistirene espanso estruso sulla superficie esterna, cui sarà posto uno strato di protezione in ghiaia di 4 cm.

Il polistirene espanso estruso utilizzato per l'isolamento è costituito da lastre di EFYOS XPS SL e possiede i seguenti dati tecnici:

Tabella 15. Proprietà termofisiche del polistirene espanso EFYOS XPS SL

Spessore	Conduttività	Massa superficiale	Resistenza al vapore	Calore specifico	Resistenza
[mm]	[W/m ² K]	[kg/m ²]	[-]	[J/kgK]	[m ² K/W]
120	0,035	35	150	1450	0,06

La scheda tecnica del prodotto viene riportata in appendice D.

La stratigrafia del nuovo solaio è mostrata in figura 22 e figura 23:

7 - Interventi di efficientamento energetico

S1

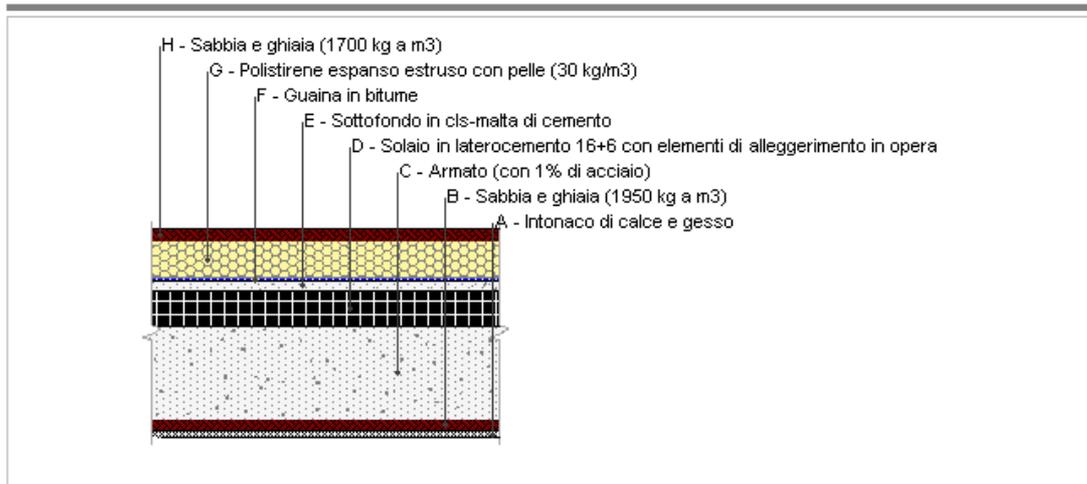


Figura 25. Stratigrafia del solaio in seguito a intervento di isolamento

Stratigrafia

	Strato	Spessore s mm	Conduttività λ W/(mK)	Resistenza R m ² K/W	Densità ρ Kg/m ³	Capacità C kJ/(kgK)
	Adduttanza interna (flusso verticale ascendente)	-	-	0,100	-	-
A	Intonaco di calce e gesso	20,0	0,700	0,029	1.400	0,84
B	Sabbia e ghiaia (1950 kg a m3)	40,0	2,000	0,020	1.700	1,05
C	Armato (con 1% di acciaio)	300,0	2,300	0,130	2.300	1,00
D	Solaio in laterocemento 16+6 con elementi di alleggerimento in opera	120,0	0,743	0,162	1.800	1,00
E	Sottofondo in cls-malta di cemento	30,0	1,400	0,021	2.000	1,00
F	Guaina in bitume	10,0	0,170	0,059	1.200	0,92
G	Polistirene espanso estruso con pelle (30 kg/m3)	120,0	0,036	3,333	30	1,34
H	Sabbia e ghiaia (1700 kg a m3)	40,0	2,000	0,020	1.700	0,91
	Adduttanza esterna (flusso verticale ascendente)	-	-	0,040	-	-
	TOTALE	680,0		3,914		

Figura 26. Proprietà termofisiche dei componenti del solaio di copertura

L'intervento di riqualificazione ha portato ad una riduzione pari al 20,47% del fabbisogno termico per trasmissione dell'involucro $Q_{h,tr}$ come evidenziato nella tabella 16, che mette in evidenza la differenza tra lo stato di fatto e la situazione di post-retrofit nelle diverse zone termiche dell'edificio.

Risulta evidente il contributo dell'intervento per la zona termica 2 "Municipio P1" in quanto la zona comprende l'intero primo piano dell'edificio mentre l'apporto alla zona termica 1 "Municipio PT" è causata dai locali "Vano Scale"

7 - Interventi di efficientamento energetico

Tabella 16. Confronto del fabbisogno termico per trasmissione dell'involucro

	Municipio PT	Bar	Municipio P1	Centro Anziani	Polizia Municipale	Totale
QH,tr,SDF	45016,72	8822,06	126627,7	34425,89	25035,3	239927,6
QH,tr,post	43782,26	8822,06	78743,76	34425,89	25035,3	190809,3
Confronto	-2,74%	0,00%	-37,81%	0,00%	0,00%	-20,47%

7.2 - Sostituzione del generatore di calore

L'intervento di riqualificazione prevede la sostituzione dell'attuale caldaia a basamento a gasolio con una caldaia a condensazione di nuova generazione dalla potenza di 201 KW. Il nuovo generatore di calore sarà utilizzato solamente per le esigenze di riscaldamento dell'edificio.

La scheda tecnica della caldaia è riportata in appendice C.

Tale scelta è incentrata sulla riduzione dei consumi di combustibile e conseguente aumento delle prestazioni energetiche dell'edificio.

A differenza di una caldaia tradizionale, la caldaia a condensazione permette il recupero dell'energia termica dei gas combusti evacuati dalla canna fumaria, che vengono convogliati all'interno di uno scambiatore di calore allo scopo di aumentare l'efficienza del generatore.

L'efficienza del nuovo sistema di generazione è pari al 101%.

I fabbisogni di energia termica del nuovo sistema di generazione sono riportati in tabella 17.

Tabella 17. Fabbisogni di energia termica in uscita dalla caldaia a condensazione

	Um	GEN	FEB	MAR	NOV	DIC	TOTALI
Qgn,out	kWh	30.179,47	20.671,31	14.648,16	13.401,51	48.856,50	127.756,96
FC,gn	-	0,20	0,15	0,10	0,17	0,33	-
Ql,gn	kWh	933,39	639,32	453,04	414,48	1.511,03	3.951,25

7 - Interventi di efficientamento energetico

Qgn,in	kWh	31.112,86	21.310,63	15.101,20	13.815,98	50.367,53	131.708,20
Qaux,gn	kWh	101,23	69,34	49,13	44,95	163,88	428,53
η ,gn		0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97

Confrontando i valori con la situazione pre-retrofit, si evidenzia un risparmio del fabbisogno in uscita dal generatore di calore pari al 28%, come è visibile in tabella 18.

Tabella 18. Confronto tra fabbisogni di energia termica in ingresso e in uscita dalla caldaia a condensazione

	Qgn,in,SDF	Qgn,in,POST	Qgn,out,SDF	Qgn,out,POST
	kWh	kWh	kWh	kWh
GENNAIO	46.780,44	31.112,86	41.634,61	30.179,47
FEBBRAIO	33.275,44	21.310,63	29.615,14	20.671,31
MARZO	24.823,54	15.101,20	22.092,95	14.648,16
NOVEMBRE	21.416,23	13.815,98	19.060,45	13.401,51
DICEMBRE	73.024,97	50.367,53	64.992,22	48.856,50
TOTALE	199.320,63	131.708,20	177.395,37	127.756,96
CONFRONTO	-33,92%		-27,98%	

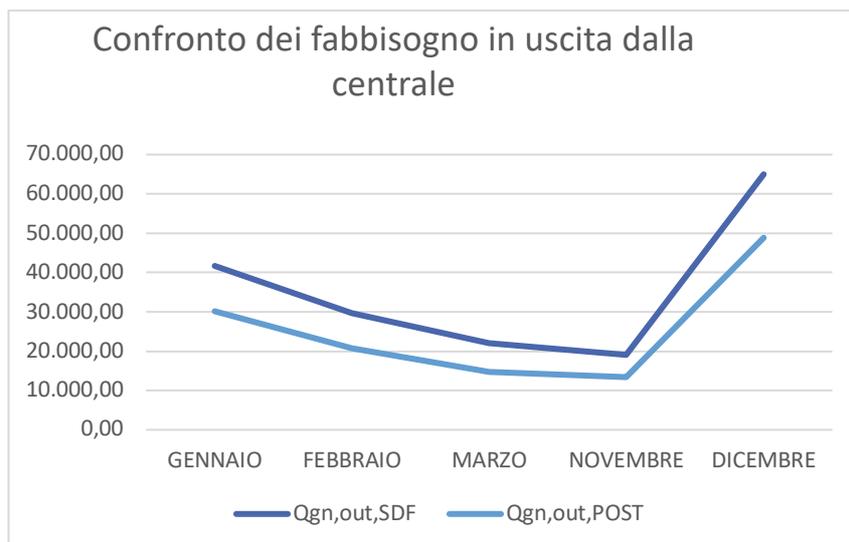


Figura 27. Confronto del fabbisogno in uscita dalla centrale termica

7 - Interventi di efficientamento energetico

I risultati portano dunque ad un notevole risparmio di combustibile in ingresso alla caldaia. Rispetto allo stato di fatto, si risparmia un quantitativo di gasolio pari al 34%, facendo così diminuire il quantitativo di gasolio annuo da acquistare da 16792 kg a 11096 kg, come mostrato nelle tabelle seguenti.

Tabella 19. KG di gasolio necessari al sistema nei due casi

	KG DI GASOLIO	
	SDF	POST
GENNAIO	3941,0651	2621,134
FEBBRAIO	2803,32307	1795,3354
MARZO	2091,2835	1272,2157
NOVEMBRE	1804,2319	1163,9413
DICEMBRE	6152,06183	4243,2625
TOTALE	16791,9654	11095,889

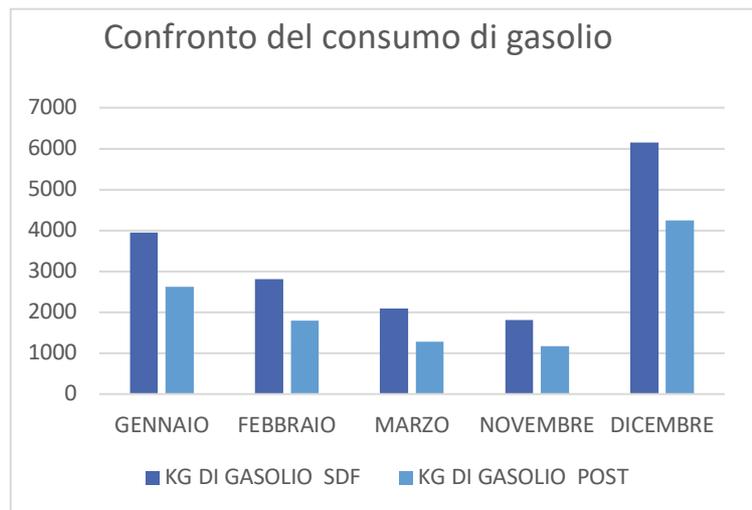


Figura 28. Confronto sul quantitativo di gasolio necessario

i

7.3 - Sostituzione delle lampade a fluorescenza con lampade LED

L'impianto di illuminazione esistente è costituito da corpi illuminanti con lampade a fluorescenza corrispondenti ad una potenza elettrica installata pari a 3,85 KW.

Il modello di calcolo ha evidenziato come tale impianto determina un consumo annuo di 20560,27 kWh.

Si è scelto di sostituire le lampade a fluorescenza attualmente installate con delle lampade a LED. Tale intervento, rispetto allo stato di fatto, consentirebbe:

- Alto risparmio energetico a parità di lux generati

7 - Interventi di efficientamento energetico

- Alta efficienza costante durante tutto il ciclo di vita
- Fascio di luce direzionabile, che riduce la quota di luce dispersa
- Vita utile maggiore di quasi 10 volte rispetto alle lampade a fluorescenza (>50000 h)
- Sostanziale riduzione di manutenzione durante l'intero ciclo di vita.
- Riduzione del carico termico estivo da smaltire dovuto all'assenza di emissione di calore.

Per tale intervento sono state scelte apparecchiature LED con potenza pari al 66% delle attuali lampade a fluorescenza installate. Tale scelta permette di mantenere la stessa efficienza luminosa diminuendo la potenza installata in quanto i LED scelti presentano un'efficienza luminosa di 150 lumen/W rispetto ai 100 lumen/W delle lampade a fluorescenza presenti nello stato di fatto.

La potenza installata a seguito dell'intervento di riduce dunque a 2,54 KW.

La tabella seguente mostra la potenza delle lampade installate nei diversi locali dell'edificio.

Tabella 20. Descrizione delle apparecchiature illuminanti post intervento

ZONA	LOCALE	LAMPADE	ORE UTILIZZO ANNUALI	DI
1	1.1 Municipio PT - Ingresso	2x8	2210	
1	1.2 Municipio PT - Corridoio	2x24, 1x 100, 1x8	2210	
1	1.3 Municipio PT Uffici Sud	2x36, 2x24	2210	
1	1.4 Municipio PT - Uffici Nord	2x36, 2x24	2210	
1	1. 5 Municipio PT - Uffici Nord	2x36, 2x24	2210	
1	1.6 Municipio PT Servizi	1x8,2x12	2210	
1	1. 7 Municipio PT - Vano Scale Nord	-		
1	1.8 Municipio PT - Vano Scale SUD	-		
2	2.1 Municipio P1 - Sala Consiglio	1x8,1x12,2x24	2210	
2	2.2 Municipio P1 - Corridoio Sud	2x24, 1x 100, 1x8	2210	
2	2.3 Municipio P1 - Uffici Sud	2x36, 2x24	2210	
2	2.4 Municipio P1 - Uffici Sud	2x36, 2x24	2210	
2	2.5 Municipio P1 - Servizi			
2	2.6 Municipio P1 - Uffici Ovest	2x36, 2x24	2210	
2	2.7 Municipio P1 - Uffici Nord	2x36, 2x24	2210	
2	2.8 Municipio P1 - Corridoio Nord	2x24, 1x 100, 1x8	2210	
2	2.9 Municipio P1 - Vano scale Sud	-		
2	2.10 Municipio P1 - Vano Scale Nord	-		

7 - Interventi di efficientamento energetico

2	2.11 Municipio P1 - Corridoio Centrale	2x24, 1x 100, 1x8	2210
2	2.12 Municipio P1 - Corridoio Sud Ovest	2x24, 1x 100, 1x8	2210
2	2.13 Municipio P1 - Vano Scale Nord	-	
3	3.1 Centro Anziani - Salone	2x36	2184
3	3.2 Centro Anziani - Servizi	1x18	2184
4	4.1 Polizia Ingresso	2x36	4368
4	4.2 Polizia Uffici	2x24, 1x 100, 1x8	4368
4	4.3 Polizia Corridoio	2x24, 1x 100, 1x8	4368
4	4.4 Polizia Servizi	1x8,2x12	4368
4	4.5 Polizia Celle	1x37	4368
4	4.6 Polizia Uffici	2x24, 1x 100, 1x8	4368
5	5.1 - Bar	2x26	2210

Tabella 21. Analisi dei risultati post intervento di relamping

	Stato di Fatto	Intervento	Confronto
Qp,L,nren [kWh]	40092,5	36052,9	10,08%
Qp,L,ren [kWh]	9663,3	8689,7	10,08%
Qp,L,tot[kWh]	49755,9	44742,6	10,08%
EPL,nren [kWh/m ²]	15,17	13,64	10,09%
EPL,ren [kWh/m ²]	3,66	3,29	10,11%
EPL,tot[kWh/m ²]	18,82	16,93	10,04%
Consumo di energia elettrica [kWh]	4701,25	2629,44	44,07%

Analizzando i risultati, si evince come l'intervento di sostituzione non abbia influenzato particolarmente l'energia primaria per l'illuminazione e il rispettivo indice di prestazione.

Tale scempenso è dovuto alla quota di energia elettrica parassita per servizi ausiliari (1 kWh/m² anno) e di controllo (5 kWh/m² anno), impostata pari a 6 kWh/m² anno come previsto dal valore di riferimento indicato nella normativa tecnica UNI EN 15193-2008.

Analizzando i consumi relativi alla sola illuminazione interna, e dunque escludendo la quota parassita dall'analisi, si ottiene un risparmio complessivo annuale del 44% di energia elettrica.

A tale risparmio, si aggiungono i vantaggi relativi alle minori spese manutentive e maggior vita utile delle lampade installate.

7 - Interventi di efficientamento energetico

7.4 - Risultati di calcolo post-interventi

A valle degli interventi di riqualificazione energetica, le modifiche proposte sono state inserite nel modello energetico di calcolo e si determinano i nuovi fabbisogni energetici e prestazioni energetiche dell'edificio per esaminare i risultati che saranno utilizzati nell'implementazione del sistema di automazione.

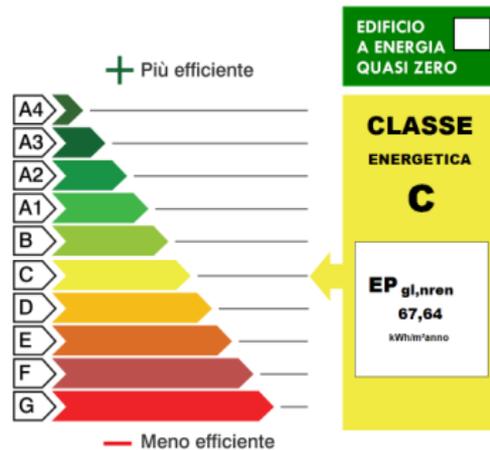


Figura 29. Classe energetica dell'edificio post efficientamento

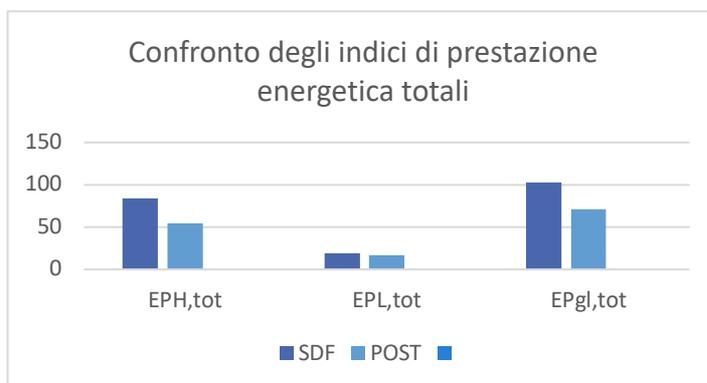


Figura 30. Confronto degli indici di prestazione energetica pre e post efficientamento

La classe energetica del fabbricato è migliorata passando dalla classe D alla classe C, come visibile in figura 29.

Gli indici di prestazione energetica totale per riscaldamento e illuminazione sono diminuiti rispettivamente del 34% e del 10%.

L'indice di prestazione energetica totale EP_{gl,tot} è diminuito del 29

8 - Implementazione del sistema di automazione

8 - Implementazione del sistema di automazione

Lo stato di fatto del nostro edificio presenta un sistema di automazione di Classe D, ovvero “non energeticamente efficiente”.

Secondo quanto previsto dalla norma UNI EN 15232, per raggiungere un livello superiore di classe del sistema, tutte le funzioni implementate devono appartenere a tale classe. Seguendo le indicazioni del DM Requisiti Minimi 06/2015, per edifici non residenziali il minimo livello di automazione da conseguire è la classe B “ADVANCED”.

Il progetto verte ad implementare un sistema di controllo nell’impianto di riscaldamento e nell’impianto di illuminazione.

Per portare il nostro sistema dalla classe D alla classe B, devono essere attuate le seguenti modifiche impiantistiche.

Tabella 22. Funzioni di controllo richieste per ottenere la classe B

Riscaldamento	
Controlli	Funzioni
Controllo di emissione	Controllo per locale con comunicazione
Controllo di distribuzione	Controllo basato sulla domanda
Controllo di distribuzione delle pompe	Controllo Multi-Stage
Controllo intermittente di distribuzione ed emissione	Controllo automatico con partenza/arresto ottimizzato
Controllo di generazione (combustione)	Controllo a temperatura variabile dipendente dal carico
Controllo di generazione (unità esterna)	Controllo multi stage del generatore di calore
Illuminazione	
Controlli	Funzioni
Controllo dell'occupazione	Rilevamento automatico dell'occupazione
Controllo dell'illuminazione	Dimmeraggio automatico in base all'illuminazione esterna

8 - Implementazione del sistema di automazione

Una descrizione sintetica degli impianti di controllo da realizzare è elencata di seguito:

- *Controllo di emissione per locale con comunicazione*

1.1	Emission control									
	The control function is applied to the heat emitter (radiators, underfloor heating, fan-coil unit, indoor unit) at room level; for type 1 one function can control several rooms									
0	No automatic control	x					x			
1	Central automatic control	x					x			
2	Individual room control	x	x				x	x		
3	Individual room control with communication	x	x	x	x ^a		x	x	x	x ^a
4	Individual room control with communication and occupancy detection (not applied to slow reacting heating emission systems, e.g. floor heating)	x	x	x	x		x	x	x	x

Figura 31. Funzioni di controllo dell' emissione [Norma UNI 15232]

Tale controllo permette al sistema di adeguarsi alle condizioni di utilizzo del locale mediante un regolatore elettronico in grado di agire sulla valvola di miscelazione del terminale. Una sonda di temperatura misura la temperatura in ambiente e invia il valore tramite comunicazione seriale al regolatore elettronico.

Il regolatore elettronico agisce sulla valvola di miscelazione per regolare la temperatura di emissione del ventilconvettore.

8 - Implementazione del sistema di automazione

- *Controllo delle pompe di distribuzione mediante controllo a velocità variabile e prevalenza costante*

1.4	Control of distribution pumps in networks									
	The controlled pumps can be installed at different levels in the network									
0	No automatic control	x					x			
1	On off control	x	x				x	x		
2	Multi-Stage control	x	x	x			x	x	x	
3	Variable speed pump control (pump unit (internal) estimations)	x	x	x	x		x	x	x	x
4	Variable speed pump control (external demand signal)	x	x	x	x		x	x	x	x

Figura 32. Funzioni di controllo delle pompe di distribuzione [Norma UNI 15232]

Questo tipo di controllo permette di ridurre i consumi in caso di carico parziale. La pompa a velocità variabile varia la portata in funzione del carico termico rilevato in ambiente mentre un inverter mantiene costante la prevalenza della pompa. Si riducono i consumi di energia elettrica ausiliaria.

- *Controllo intermittente della generazione e/o distribuzione mediante controllo automatico con partenza/arresto ottimizzato*

1.5	Intermittent control of emission and/or distribution									
	One controller can control different rooms/zones having same occupancy patterns									
0	No automatic control	x					x			
1	Automatic control with fixed time program	x	x				x	x		
2	Automatic control with optimum start/stop	x	x	x			x	x	x	
3	Automatic control with demand evaluation	x	x	x	x		x	x	x	x

Figura 33. Funzioni di controllo della generazione e/o distribuzione [Norma UNI 15232]

Si effettua un'ottimizzazione all'avvio del generatore di calore anticipando l'orario di accensione facendo in modo che si raggiunga la temperatura di comfort per l'orario impostato. L'impostazione si effettua considerando i

8 - Implementazione del sistema di automazione

parametri dell'edificio (inerzia termica, tipologia di isolamento), dell'impianto di emissione e del tipo di controllo. L'arresto viene effettuato, sempre in funzione delle caratteristiche fisiche dell'involucro, anticipando l'orario di spegnimento facendo in modo che la temperatura nel locale non sia minore di un determinato valore di set-point entro l'orario di fine utilizzo.

- *Controllo di generazione con temperatura variabile in dipendenza dal carico*

Vengono installati dei regolatori elettronici in ogni ambiente in grado di inviare un segnale per far variare la temperatura dell'acqua in funzione della temperatura ambiente misurata. Questi regolatori ambiente sono collegati al regolatore di caldaia per predisporre la temperatura del fluido termovettore. Questo controllo permette di ridurre le perdite nella rete di distribuzione.

1.6	Heat generator control (combustion and district heating)									
0	Constant temperature control	x					x			
1	Variable temperature control depending on outside temperature	x	x				x	x		
2	Variable temperature control depending on the load	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Figura 34. Funzioni di controllo della generazione [Norma UNI 15232]

8 - Implementazione del sistema di automazione

- *Controllo automatico luce diurna e controllo di presenza*

5	Lighting control									
5.1	Occupancy control									
	0	Manual on/off switch	x	x			x			
	1	Manual on/off switch + additional sweeping extinction signal	x	x	x		x	x		
	2	Automatic detection (auto on)	x	x	x	x	x	x	x	
	3	Automatic detection (manual on)	x	x	x	x	x	x	x	x
5.2	Light level/Daylight control									
	0	Manual (central)	x				x	x		
	1	Manual (per room/zone)	x	x			x	x		
	2	Automatic switching	x	x	x		x	x	x	
	3	Automatic dimming	x	x	x	x	x	x	x	x

Figura 35. Funzioni di controllo dell'illuminazione [Norma UNI 15232]

Riguardo l'impianto di illuminazione, si deve predisporre un sistema di controllo in grado di accendere automaticamente l'illuminazione se viene rilevata presenza nell'ambiente. Successivamente un rilevatore di presenza e luce esterna dotato di comunicazione seriale interviene sull'attuatore presente riducendo la luminosità in funzione dell'illuminazione esterna e spegnendo automaticamente il sistema dopo un ritardo impostato a seguito dell'ultima rilevazione di presenza .

8 - Implementazione del sistema di automazione

8.1 - Determinazione del nuovo indicatore di prestazione energetica

Note le funzioni da implementare nel sistema per ottenere il passaggio dalla classe D alla classe B, si procede alla determinazione del nuovo indice di prestazione energetica.

Si identificano i fattori BACS di nostro interesse secondo la normativa, che identifica diversi fattori anche in funzione della destinazione d'uso dell'edificio.

Non-residential building types	Overall BAC efficiency factors f_{BACH} and f_{BACC}							
	D		C Reference		B		A	
	Non energy efficient		Standard		Advanced		High energy performance	
	f_{BACH}	f_{BACC}	f_{BACH}	f_{BACC}	f_{BACH}	f_{BACC}	f_{BACH}	f_{BACC}
Offices	1,44	1,57	1	1	0,79	0,80	0,70	0,57
Lecture hall	1,22	1,32	1	1	0,73	0,94	0,3 ^a	0,64
Education buildings (schools)	1,20	-	1	1	0,88	-	0,80	-
Hospital	1,31	-	1	1	0,91	-	0,86	-
Hotels	1,17	1,76	1	1	0,85	0,79	0,61	0,76
Restaurants	1,21	1,39	1	1	0,76	0,94	0,69	0,6
Wholesale and retail trade service buildings	1,56	1,59	1	1	0,71	0,85	0,46 ^a	0,55
Other types - sport facilities - storage - industrial buildings - etc.			1	1				

^a These values highly depend on heating/cooling demand for ventilation.

Figura 36. Fattori BAC per il riscaldamento [Norma UNI 15232]

Non-residential building types	Overall BAC efficiency factors							
	D		C Reference		B		A	
	Non energy efficient		Standard		Advanced		High energy performance	
	$f_{BAC,eLL}$	$f_{BAC,eAux}$	$f_{BAC,eLL}$	$f_{BAC,eAux}$	$f_{BAC,eLL}$	$f_{BAC,eAux}$	$f_{BAC,eLL}$	$f_{BAC,eAux}$
Offices	1,1	1,15	1	1	0,85	0,86	0,72	0,72
Lecture hall	1,1	1,11	1	1	0,88	0,88	0,76	0,78
Education buildings (schools)	1,1	1,12	1	1	0,88	0,87	0,76	0,74
Hospital	1,2	1,1	1	1	1	0,98	1	0,96
Hotels	1,1	1,12	1	1	0,88	0,89	0,76	0,78
Restaurants	1,1	1,09	1	1	1	0,96	1	0,92
Wholesale and retail trade service buildings	1,1	1,13	1	1	1	0,95	1	0,91
Other types - sport facilities - storage - industrial buildings - etc.	-	-	1	1	-	-	-	-

Figura 37. Fattori BAC per l'illuminazione [Norma UNI 15232]

8 - Implementazione del sistema di automazione

I fattori di nostro interesse sono dunque:

- Riscaldamento, classe B - $f_{BAC,H,B} = 0,79$
- Riscaldamento, classe D - $f_{BAC,H,D} = 1,44$
- Illuminazione, classe B - $f_{BAC,el,B} = 0,85$
- Illuminazione, classe D - $f_{BAC,el,D} = 1,1$

Questi valori saranno utilizzati per la procedura di calcolo illustrata nel capitolo 7.3 della norma tecnica e nel capitolo 3.2.2 del presente lavoro di tesi.

Estrapolando i valori di Fabbisogno di energia per riscaldamento e perdite energetiche del sistema di riscaldamento ed energia elettrica per illuminazione, si determinano i nuovi valori corretti in funzione dei relativi fattori BAC.

Riscaldamento	
$Q_{H,nd}$	121422
$Q_{H,g,in}$	131708
$Q_{H,loss}$	10286
$f_{BAC,H,B}$	0,79
$f_{BAC,H,D}$	1,44
$Q_{H,tot,BAC}$	72256,47

Illuminazione	
W_L	18488,66
$f_{BAC,el,B}$	0,85
$f_{BAC,el,D}$	1,1
$W_{L,BAC}$	14286,69

Per la classificazione energetica si fa riferimento al calcolo dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio di riferimento.

Il valore viene calcolato secondo le direttive presenti nella normativa UNI TS 11300 e tiene conto dei fattori di conversione f_p in energia primaria:

- Il gasolio non produce alcuna quota rinnovabile e presenta un fattore di conversione di energia non rinnovabile pari a 1,07

8 - Implementazione del sistema di automazione

- L'energia elettrica è fornita da rete, presenta un fattore di conversione totale pari a 2,42 con quota non rinnovabile pari a 1,95 e quota rinnovabile pari a 0,47

Non essendo presenti sistemi di raffrescamento e ventilazione meccanica controllata, si procede con la determinazione dell'indice:

$$E_{p,gl,nren} = Q_{h,tot,BAC} * f_{p,nren,gasolio} + W_{l,BAC} * f_{p,nren,el} = 105173,15 \text{ kWh}$$

Per ricavare l'EP_{gl,nren}, si divide tale valore per la superficie utile riscaldata del fabbricato, pari a 2643,17 m².

$$EP_{gl,nren} = \frac{E_{p,gl,nren}}{S_{ut,risc}} = 38,07 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Per definire la classe energetica dell'edificio, confrontiamo il valore appena ricavato con l'indice di prestazione non rinnovabile dell'edificio di riferimento pari a 53,51 kWh/m² e determiniamo il rapporto tra i due valori.

$$\frac{E_{p,gl,nren}}{E_{p,gl,nren,rif}} = 0,743$$



Figura 38. Determinazione della prestazione energetica in relazione all'edificio di riferimento

Secondo la scala di classificazione del decreto 162/2015, il nostro edificio si colloca in classe A2.

9 - Analisi economica

Lo scopo dell'analisi di fattibilità tecnico-economica consiste nella verifica della convenienza economica del progetto. Di seguito saranno confrontate le spese di investimento e si valuterà il beneficio monetario delle azioni di riqualificazione intraprese durante l'arco di vita stimato del progetto. L'analisi economica segue un procedimento conforme a quanto descritto da normativa tecnica UNI EN 15459-1:2018.

L'analisi prevede la determinazione di due importanti fattori atti a valutare la fattibilità economica del progetto descritto; tali indicatori sono il VAN (Valore Attuale Netto) e il TIR (Tasso Interno di Ritorno).

Il VAN è il valore attuale dei flussi di cassa operativi che il progetto genera; tali flussi sono calcolati al netto degli investimenti previsti ed attualizzati al costo del capitale. Ci permette di definire il valore reale dello studio oggetto di analisi.

$$VAN = \sum_{t=0}^N \frac{FCO_t}{(1 + WACC)^t}$$

Il TIR è il è definito come quello specifico tasso di attualizzazione per cui il VAN di un progetto risulta pari a zero ed esprime il tasso di rendimento reale del progetto.

$$\sum_{t=0}^N \frac{FCO_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Un valore positivo del VAN implica investimenti efficaci dal punto di vista dei costi; un valore positivo del TIR è sinonimo di un progetto positivo per la crescita.

9 - Analisi economica

L'analisi includerà lo scenario complessivo dell'intervento; i costi di investimento sono determinati considerando tutti i componenti necessari per la realizzazione delle soluzioni proposte, inclusi i costi di installazione che vengono stimati pari al 10% del costo di investimento.

Il rifacimento del solaio di copertura prevede la rimozione dello strato di amianto presente, la fornitura e posa in opera del materiale isolante, la fornitura, preparazione e posa in opera dello strato di posa superficiale e i costi di progettazione e sicurezza.

La sostituzione del generatore di calore prevede la rimozione della caldaia, la fornitura e installazione della nuova caldaia, la sistemazione in centrale, interventi sulla canna fumaria, la modifica dei vari circuiti di distribuzione e del circuito elettrico.

La sostituzione delle lampade a fluorescenza con apparecchiature LED prevede la fornitura e installazione delle lampade LED, i costi per la progettazione e la sicurezza.

La realizzazione del sistema di automazione e controllo comprende la fornitura, posa in opera e installazione dei cavi BUS utili per la comunicazione seriale, i regolatori elettronici, gli attuatori, le pompe a velocità variabile, le valvole elettroniche per i terminali di emissione, inverter, i sensori di presenza e di illuminazione esterna, la posa in opera del materiale, i costi di installazione e progettazione.

Tali costi sono stati determinati in seguito alla realizzazione di ricerche di mercato, analisi di studi bibliografici e mediante l'utilizzo del prezzario regionale Regione Liguria 2022.

9 - Analisi economica

I costi di investimento complessivi dei quattro interventi di efficientamento sono:

- Sostituzione Generatore di calore: 14430 €
- Rifacimento del solaio di copertura: 42078 €
- Sostituzione Apparecchiature illuminanti: 9692 €
- Realizzazione di un sistema di Building Automation: 64600 €

Per un costo di investimento totale pari a 143880 €, incluso dei costi di installazione.

La tabella seguente mostra i costi dell'energia nel caso pre e post efficientamento.

Per la determinazione dei costi sono stati utilizzati valori di costo unitario:

- 1,8 €/litro per l'acquisto di gasolio da combustione [*Ministero della Transizione Ecologica, ottobre 2022*]
- 0,5 €/kWh per l'energia elettrica [*ARERA*]

Tabella 23. Costo dell'energia

	Stato di Fatto	Intervento
En. Elettrica da rete [kWh/anno]	20560,00	14790,00
Costo annuo en. elettrica [€/anno]	10280,00	7395,00
Consumo Gasolio [litri/anno]	20108,98	7290,22
Costo annuo gasolio [€/anno]	36196,17	13122,39
Costo totale dell'energia	46476,17	20517,39

Si considera una durata di vita dell'impianto pari a 30 anni, un tasso di interesse pari al 4% e un tasso di crescita del costo dell'energia pari al 2,5%.

Vengono di seguito elencati i costi di esercizio, di investimento, di manutenzione e gestione per tutta la durata del calcolo nei 30 anni considerati:

9 - Analisi economica

Tabella 24. Costi degli scenari analizzati pre e post intervento

Stato di fatto				Riqualficazione		
Anno	Esercizio	Man+Gest.	Totale	Esercizio	Inv.+Man.+Gest	Totale
0	0,00	0,00	0,00	0,00	143800,00	143800,00
1	46476,17	500,00	46976,17	13122,39	800,00	13922,39
2	44904,51	483,09	45387,60	12678,64	772,95	13451,58
3	43386,00	466,76	43852,76	12249,89	746,81	12996,70
4	41918,84	450,97	42369,81	11835,64	721,55	12557,20
5	40501,30	435,72	40937,02	11435,40	697,15	12132,56
6	39131,69	420,99	39552,67	11048,70	673,58	11722,28
7	37808,39	406,75	38215,14	10675,07	650,80	11325,87
8	36529,85	393,00	36922,84	10314,08	628,79	10942,87
9	35294,54	379,71	35674,24	9965,29	607,53	10572,82
10	34101,00	366,87	34467,87	9628,30	586,98	10215,29
11	32947,83	354,46	33302,29	9302,71	2567,14	11869,84
12	31833,65	342,47	32176,12	8988,12	547,96	9536,08
13	30757,15	330,89	31088,04	8684,18	529,43	9213,60
14	29717,05	319,70	30036,76	8390,51	511,52	8902,03
15	28712,13	5308,89	34021,02	8106,77	2494,23	10601,00
16	27741,19	298,45	28039,63	7832,63	477,51	8310,14
17	26803,08	288,35	27091,43	7567,76	461,36	8029,12
18	25896,70	278,60	26175,30	7311,84	445,76	7757,61
19	25020,96	269,18	25290,14	7064,58	430,69	7495,27
20	24174,84	260,08	24434,92	6825,68	2416,12	9241,81
21	23357,34	251,28	23608,62	6594,86	402,05	6996,92
22	22567,47	242,79	22810,26	6371,85	388,46	6760,31
23	21804,32	234,58	22038,90	6156,38	375,32	6531,70
24	21066,98	226,64	21293,62	5948,19	362,63	6310,82
25	20354,57	218,98	20573,55	5747,04	2350,37	8097,41
26	19666,25	211,57	19877,82	5552,70	338,52	5891,22
27	19001,21	204,42	19205,63	5364,93	327,07	5692,00
28	18358,66	197,51	18556,16	5183,50	316,01	5499,51
29	17737,83	190,83	17928,66	5008,22	305,32	5313,54
30	17138,00	184,37	17322,38	4838,86	295,00	5133,85

Tabella 25. Flussi di cassa dell'analisi economica

Flusso di Cassa	Flusso di cassa cumulato
-143800,00	-143800,00
31936,02	-111863,98
29812,62	-82051,37

9 - Analisi economica

27830,40	-54220,97
25979,97	-28241,00
24252,58	-3988,42
22640,04	18651,63
21134,72	39786,35
19729,49	59515,84
18417,69	77933,53
17193,11	95126,65
14680,06	109806,71
14982,80	124789,51
13986,61	138776,12
13056,65	151832,77
13979,19	165811,96
11378,11	177190,07
10621,59	187811,66
9915,37	197727,03
9256,10	206983,14
7635,54	214618,68
8066,16	222684,83
7529,85	230214,68
7029,19	237243,87
6561,83	243805,70
5279,24	249084,94
5718,25	254803,19
5338,05	260141,24
4983,13	265124,37
4651,80	269776,17
4342,51	274118,67

Analizzando i flussi di classe, si nota che il tempo di ritorno dell'investimento è pari a 5,2 anni; il progetto risulta essere appetibile economicamente in quanto il tempo di ritorno è relativamente breve rapportato ad investimenti simili.

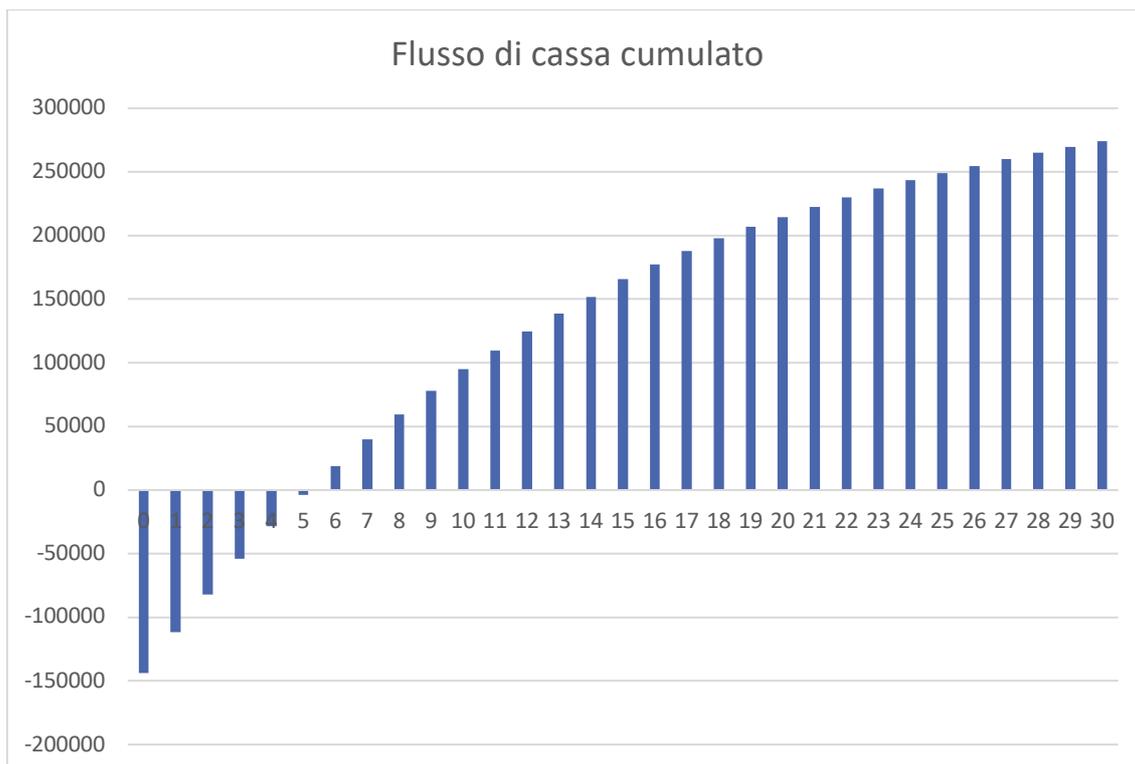


Figura 39. Flussi di cassa cumulati nei 30 anni

Vengono di seguito mostrati i risultati dell'analisi economica: dati i valori positivi di VAN e TIR, in seguito alle considerazioni di cui sopra, l'analisi tecnico-economica ha fornito dei risultati voluti dimostrando la convenienza economica degli interventi proposti nel presente lavoro di tesi.

Tabella 26. Risultati dell'analisi economica

Tempo di ritorno dell'investimento [anni]	5,2
VAN [€]	274119
TIR	15%

10 - Conclusioni

10 - Conclusioni

Il lavoro di tesi svolto si è incentrato sulla riqualificazione energetica di una sede municipale con sede a Borghetto Santo Spirito (SV).

Sono state analizzate le prestazioni energetiche dell'edificio allo stato di fatto e a seguito degli interventi di riqualificazione e building automation proposti.

Inizialmente sono stati raccolti i dati necessari alla realizzazione del modello mediante il software di modellazione Termolog e sono stati identificati i punti con maggiore criticità sul quale si è ritenuto necessario intervenire per migliorare la prestazione del fabbricato in termini di fabbisogno energetico.

In seguito sono stati proposti interventi di riqualificazione sull'edificio e sull'impianto, mediante rifacimento del solaio di copertura, sostituzione del generatore di calore e sostituzione delle obsolete apparecchiature; infine sono stati analizzati i vantaggi relativi all'installazione di un sistema di automazione e controllo al fine di raggiungere gli obiettivi minimi previsti dal DM 26/6/2015.

Il calcolo della classe energetica ha evidenziato un miglioramento delle prestazioni energetiche dell'immobile passando dalla classe D alla classe A2.

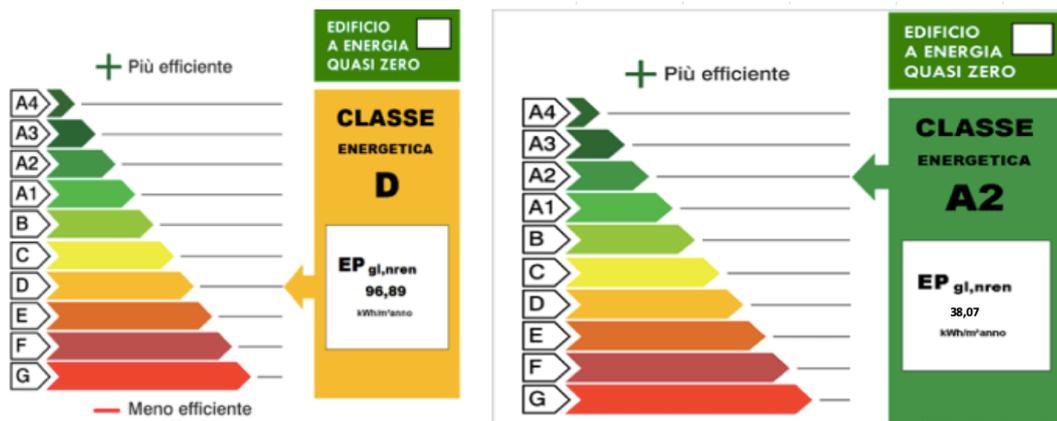


Figura 40. Confronto della classe energetica ANTE e POST riqualificazione

10 - Conclusioni

Tabella 27. Confronto degli indici principali nei tre casi

	Stato di Fatto	Efficientamento	Efficientamento + BACS	Variazione
QP [kWh]	266669,42	187902,96	106240,75	28,06%
E _{pgl,ren} [kWh/m ²]	96,99	67,64	38,07	60,75%
E _{P,gl,ren} [kWh/m ²]	3,90	3,45	2,13	45,51%
E _{ph,nd} [kWh/m ²]	63,50	45,94	31,90	49,76%
Q _{h,nd} [kWh]	167837,80	121421,50	84320,49	49,76%
E _{PL,tot} [kWh/m ²]	18,82	16,93	13,55	28,03%
Q _{p,l,tot} [kWh]	49755,90	44742,60	35794,09	28,06%

I risultati visibili in tabella mettono in evidenza i principali miglioramenti dell'edificio; il fabbisogno di energia primaria totale è diminuito del 28%, sono stati diminuiti gli indici di prestazione energetica globale non rinnovabile e rinnovabile, rispettivamente del 61% e 45%.

Si evidenzia l'incremento della quota relativa alla produzione rinnovabile che passa dal 3,86% dello stato di fatto al 5,29% nel caso finale.

Sono diminuiti i fabbisogni di energia termica per riscaldamento del 50% mentre i fabbisogni di energia primaria per l'illuminazione sono scesi del 28%.

Tabella 28. Confronto del consumo di combustibile nei tre casi analizzati

Kg di Gasolio	Gennaio	Febbraio	Marzo	Novembre	Dicembre	Totale
Stato di Fatto	3941,07	2803,32	2091,28	1804,23	6152,06	16791,97
Caldaia a Condensazione	2621,13	1795,34	1272,22	1163,94	4243,26	11095,89
Caldaia a Condensazione + BACS	1437,98	984,94	697,95	638,55	2327,90	6087,33
Riduzione percentuale	63,51%	64,87%	66,63%	64,61%	62,16%	63,75%

La tabella 28 mostra il risparmio sull'acquisto di combustibile per il riscaldamento, pari al 63%, comportando un vantaggio notevole anche considerando l'attuale situazione geopolitica mondiale.

In tabella 29 si vuole demarcare la sostanziale riduzione delle emissioni di anidride carbonica nell'atmosfera terrestre.

10 - Conclusioni

Per la determinazione dei valori sono stati utilizzati i coefficienti di conversione di anidride carbonica forniti nel rapporto ISPRA 2020.

Tali valori sono pari a 240,3 g di CO₂ emessa per ogni kWh di energia termica relativamente al consumo di gasolio e 245 g di CO₂ emessa per ogni kWh di energia elettrica prelevata dalla rete.

Tabella 29. Emissioni di CO₂ nei tre casi

		Stato di Fatto	Efficientamento	Efficientamento + BACS	Variazione
Energia termica al generatore	[kWh]	177395,370	127756,950	70088,880	60,49%
Emissioni CO ₂ da termico	[tonnCO ₂]	42,628	30,700	16,842	60,49%
Energia elettrica da rete	[kWh]	20560,000	18488,660	14790,000	28,06%
Emissioni CO ₂ da elettrico	[tonnCO ₂]	5,037	4,530	3,624	28,06%
Emissioni Totali	[tonnCO₂]	47,665	35,230	20,466	57,06%

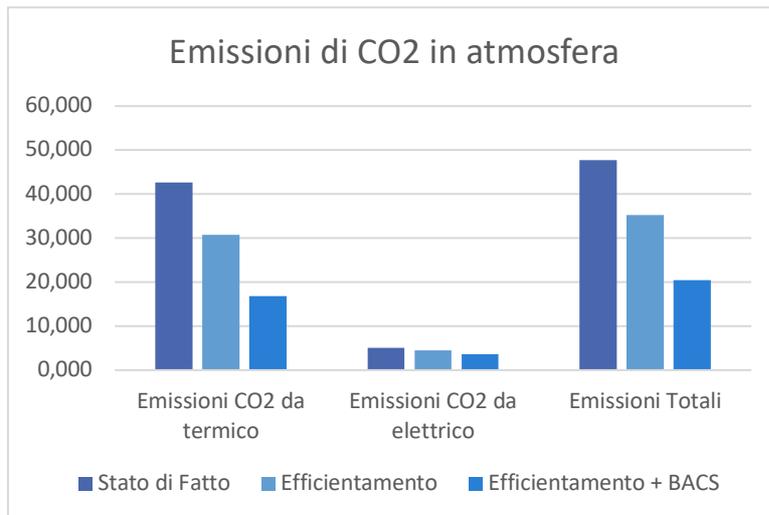


Figura 41. Confronto delle emissioni di CO₂

La quantità di CO₂ non emessa in atmosfera a valle degli interventi proposti è pari a 27,1 tonnellate di CO₂, che corrispondono a una riduzione del 57% rispetto allo stato di fatto dell'edificio.

Anche in questo ambito l'impatto degli interventi risulta efficiente; l'edificio,

emettendo quasi due terzi di gas serra in meno rispetto alla condizione iniziale, comporta un notevole vantaggio in termini ambientali.

L'analisi svolta evidenzia i vantaggi degli interventi di riqualificazione proposti; in un ottica globale dove il risparmio energetico sarà sempre un argomento predominante nelle discussioni future riguardo le azioni da adottare per limitare il

10 - Conclusioni

cambiamento climatico, il caso studio analizzato evidenzia come si possa migliorare il patrimonio edilizio intervenendo sui punti più critici dell'edificio e implementando sistemi che, oltre a garantire un risparmio energetico in funzione del loro stesso compito, sensibilizzano l'utente finale ad uno sviluppo sostenibile che risulta ormai necessario per salvaguardare l'ambiente e il nostro futuro.

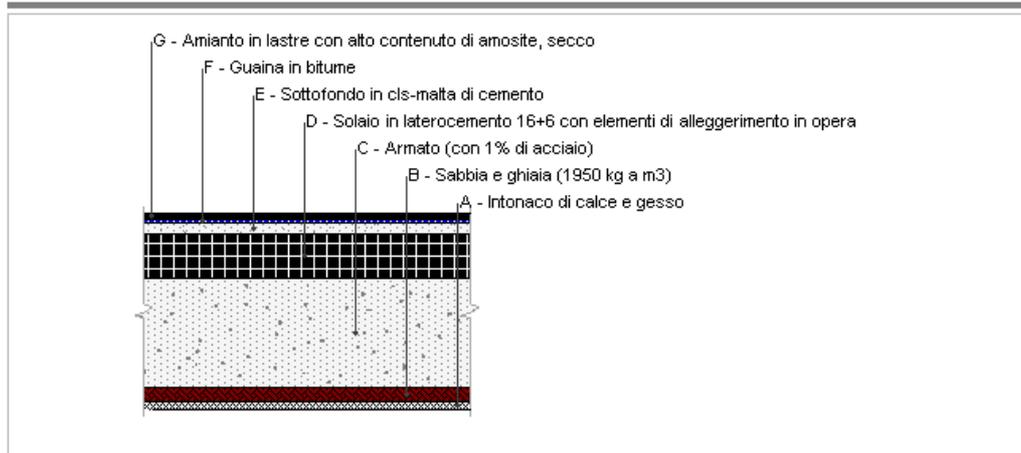
APPENDICE A

APPENDICE A

STRATIGRAFIE INVOLUCRO OPACO

SOLAIO S1

S1



Spessore	535,0 mm	Trasmittanza	1,162 W/m ² K
Resistenza	0,861 m ² K/W	Massa superf.	1,048 kg/m ²
Tipologia	Copertura		
Descrizione			

APPENDICE A

Mese	θ_i	φ_i	θ_e	φ_e	n
gennaio	20,0 °C	- %	10,4 °C	70,7 %	0,5 1/h
febbraio	20,0 °C	- %	11,7 °C	65,3 %	0,5 1/h
marzo	20,0 °C	- %	12,9 °C	69,8 %	0,5 1/h
aprile	20,0 °C	- %	15,6 °C	72,6 %	0,5 1/h
maggio	20,0 °C	- %	19,2 °C	68,9 %	0,5 1/h
giugno	20,0 °C	- %	22,7 °C	68,8 %	0,5 1/h
luglio	20,0 °C	- %	23,6 °C	62,9 %	0,5 1/h
agosto	20,0 °C	- %	23,6 °C	67,3 %	0,5 1/h
settembre	20,0 °C	- %	21,3 °C	55,6 %	0,5 1/h
ottobre	20,0 °C	- %	17,4 °C	59,0 %	0,5 1/h
novembre	20,0 °C	- %	12,8 °C	57,4 %	0,5 1/h
dicembre	20,0 °C	- %	6,3 °C	57,0 %	0,5 1/h

Condizione	θ_i	p_i	θ_e	p_e
INVERNALE	20,00 °C	1.519,00 Pa	6,30 °C	544,20 Pa
ESTIVA	20,00 °C	1.892,40 Pa	23,60 °C	1.830,30 Pa

θ_i : temperatura interna
 φ_i : umidità relativa interna
 θ_e : temperatura esterna
 φ_e : umidità relativa esterna
n: numero di ricambi d'aria
 p_i : pressione interna
 p_e : pressione esterna

X	La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale ΔP è pari a 534,371 Pa.
	La struttura è soggetta a fenomeni di condensa. La quantità stagionale di vapore condensato è pari a 0,000 kg/m ² (rievaporabile durante il periodo estivo).
X	La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale ΔP è pari a 534,371 Pa.

Verifica di formazione di muffe superficiali

Condizioni al contorno e dati climatici

Mese	θ_e	P_e	ΔP	P_i	θ_i	φ_i
novembre	12,8 °C	847,71 Pa	355,6 Pa	1203,31 Pa	20 °C	57 %
dicembre	6,3 °C	544,24 Pa	586,35 Pa	1130,59 Pa	20 °C	57 %
gennaio	10,4 °C	890,65 Pa	440,8 Pa	1331,45 Pa	20 °C	71 %
febbraio	11,7 °C	897,88 Pa	394,65 Pa	1292,53 Pa	20 °C	65 %
marzo	12,9 °C	1038,62 Pa	352,05 Pa	1390,67 Pa	20 °C	70 %

Calcolo del fattore di rischio

Mese	$\theta_{si-critica}$	fRsi-amm
novembre	13,07 °C	0,0379
dicembre	12,12 °C	0,4251
gennaio	14,63 °C	0,4407
febbraio	14,17 °C	0,2979
marzo	15,31 °C	0,339

θ_e : temperatura esterna
 P_e : pressione esterna
 ΔP : variazione di pressione
 P_i : pressione interna
 θ_i : temperatura interna
 φ_i : umidità relativa interna
 $\theta_{si-critica}$: temperatura superficiale critica
fRsi amm: fattore di resistenza superficiale ammissibile

APPENDICE A

Riepilogo dei risultati

Metodo di calcolo umidità relativa ambiente interno: classi di concentrazione

Fattore di resistenza superficiale fRsi: 0,4407 (mese di Gennaio)

Pressione di vapore e pressione di saturazione

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Interno-Add	1.331,5	1.292,5	1.390,7	1.542,1	1.659,6	1.900,9	1.802,5	1.930,2	1.462,5	1.364,0	1.203,3	1.130,6
	2.337,0	2.337,0	2.337,0	2.337,0	2.337,0	2.337,0	2.337,0	2.337,0	2.337,0	2.337,0	2.337,0	2.337,0
Add-A	1.331,1	1.292,2	1.390,4	1.541,9	1.659,5	1.900,9	1.802,5	1.930,2	1.462,4	1.363,9	1.203,0	1.130,1
	1.980,5	2.025,8	2.068,4	2.167,2	2.305,2	2.446,8	2.484,4	2.484,4	2.389,3	2.235,3	2.064,9	1.843,5
A-B	1.327,8	1.289,2	1.387,7	1.540,0	1.658,5	1.900,9	1.802,7	1.930,4	1.462,0	1.362,4	1.200,3	1.125,7
	1.956,9	2.005,0	2.050,2	2.155,4	2.303,0	2.454,8	2.495,3	2.495,3	2.393,1	2.228,1	2.046,4	1.811,8
B-C	1.262,8	1.231,1	1.335,8	1.502,2	1.639,6	1.900,3	1.806,8	1.934,5	1.454,1	1.334,1	1.147,9	1.039,3
	1.808,6	1.873,4	1.935,0	2.080,1	2.288,3	2.508,0	2.567,3	2.567,3	2.418,0	2.182,0	1.929,8	1.617,0
C-D	1.260,8	1.229,3	1.334,2	1.501,1	1.639,0	1.900,3	1.807,0	1.934,6	1.453,8	1.333,2	1.146,3	1.036,6
	1.638,8	1.721,0	1.800,2	1.990,0	2.270,2	2.575,1	2.659,1	2.659,1	2.449,1	2.126,0	1.793,5	1.401,4
D-E	1.260,8	1.229,3	1.334,2	1.501,1	1.639,0	1.900,3	1.807,0	1.934,6	1.453,8	1.333,2	1.146,3	1.036,6
	1.617,3	1.701,7	1.782,9	1.978,3	2.267,8	2.584,1	2.671,5	2.671,5	2.453,3	2.118,7	1.776,0	1.374,8
E-F	890,7	897,9	1.038,6	1.285,9	1.531,2	1.896,8	1.830,3	1.958,0	1.408,6	1.171,7	847,7	544,2
	1.559,7	1.649,5	1.736,3	1.946,5	2.261,2	2.609,1	2.705,7	2.705,7	2.464,7	2.098,7	1.728,9	1.304,0
F-G	890,7	897,9	1.038,6	1.285,9	1.531,2	1.896,8	1.830,3	1.958,0	1.408,6	1.171,7	847,7	544,2
	1.292,9	1.404,4	1.514,8	1.791,2	2.228,1	2.739,5	2.886,5	2.886,5	2.523,8	1.999,2	1.505,3	990,5
G-Add	890,7	897,9	1.038,6	1.285,9	1.531,2	1.896,8	1.830,3	1.958,0	1.408,6	1.171,7	847,7	544,2
	1.260,6	1.374,3	1.487,2	1.771,4	2.223,7	2.757,3	2.911,3	2.911,3	2.531,8	1.986,3	1.477,5	954,2

Temperature

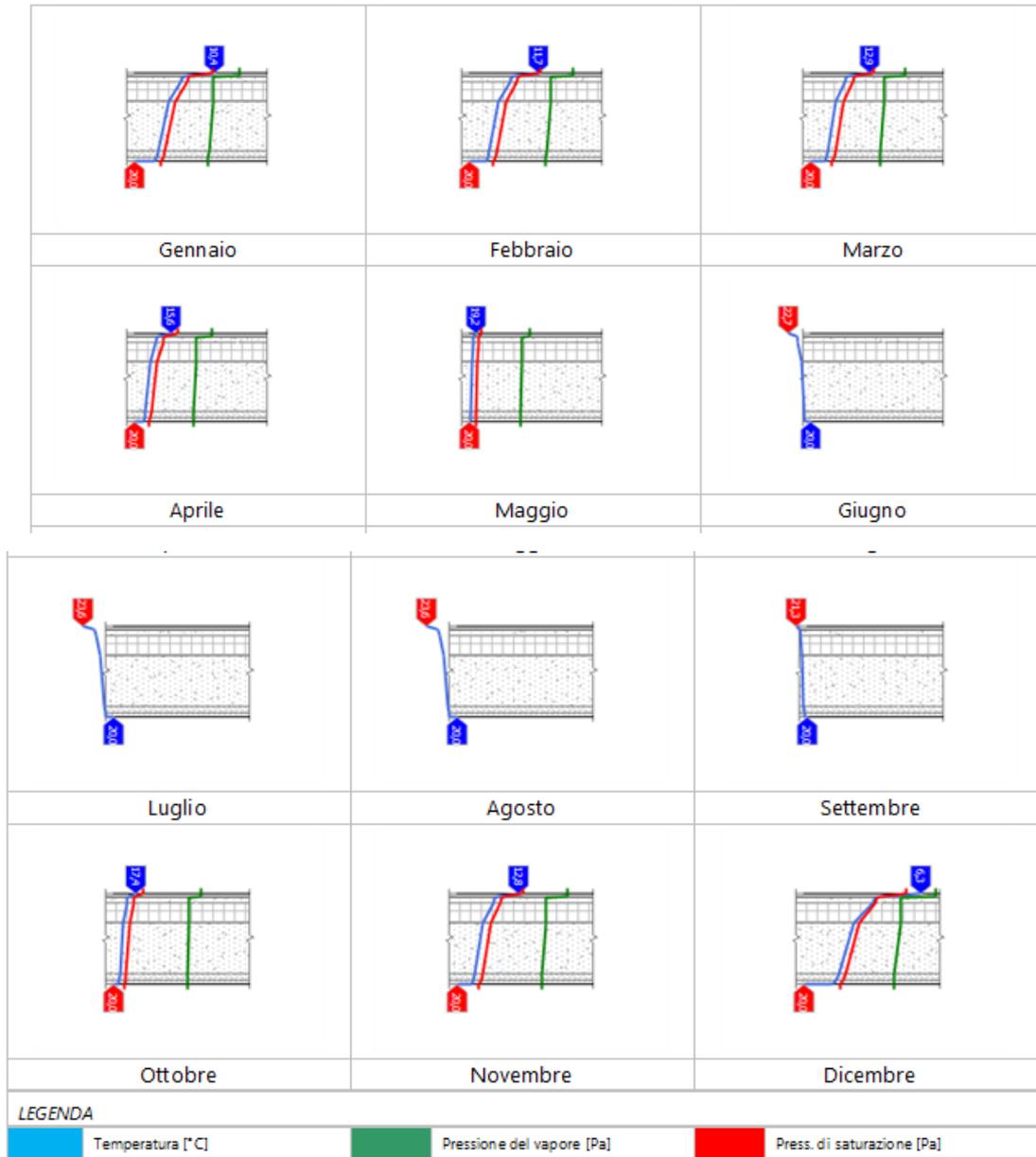
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Interno-Add	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Add-A	17,6	17,9	18,2	18,9	19,8	20,7	20,9	20,9	20,3	19,4	18,2	16,6
A-B	17,4	17,7	18,0	18,8	19,8	20,7	21,0	21,0	20,4	19,3	18,0	16,2
B-C	17,2	17,5	17,9	18,7	19,8	20,8	21,1	21,1	20,4	19,2	17,9	16,0
C-D	15,9	16,5	17,0	18,1	19,7	21,1	21,5	21,5	20,6	18,9	16,9	14,2
D-E	14,4	15,2	15,9	17,4	19,5	21,6	22,1	22,1	20,8	18,5	15,8	12,0
E-F	14,2	15,0	15,7	17,3	19,5	21,6	22,2	22,2	20,8	18,4	15,6	11,7
F-G	13,6	14,5	15,3	17,1	19,5	21,8	22,4	22,4	20,9	18,3	15,2	10,9
G-Add	10,8	12,0	13,2	15,8	19,2	22,6	23,5	23,5	21,2	17,5	13,1	6,8
Add-Esterno	10,4	11,7	12,9	15,6	19,2	22,7	23,6	23,6	21,3	17,4	12,8	6,3

Verifica formazione di condensa interstiziale

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Interf. A/B												
Gc [Kg/m²]	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ma [Kg/m²]	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Interf. B/C												
Gc [Kg/m²]	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ma [Kg/m²]	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Interf. C/D												
Gc [Kg/m²]	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ma [Kg/m²]	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Interf. D/E												
Gc [Kg/m²]	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ma [Kg/m²]	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Interf. E/F												
Gc [Kg/m²]	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ma [Kg/m²]												

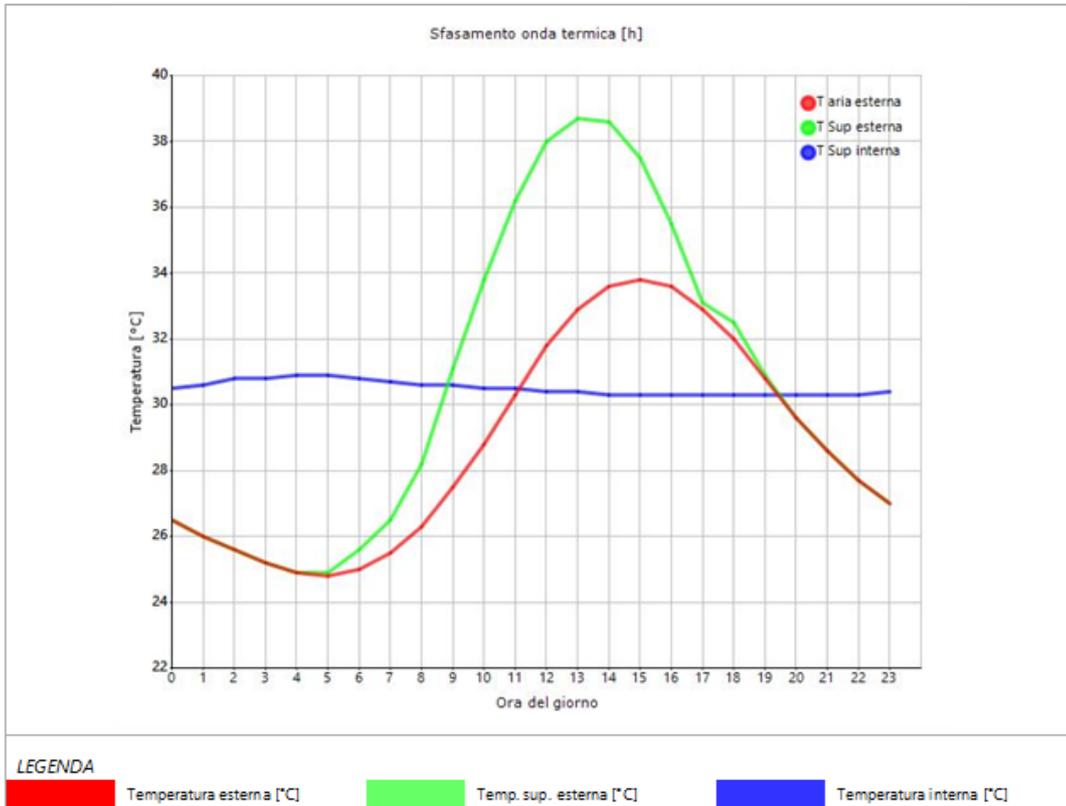
APPENDICE A

DIAGRAMMI DI PRESSIONE E TEMPERATURA



APPENDICE A

DIAGRAMMA DI SFASAMENTO DELL'ONDA TERMICA



APPENDICE A

MURO M1

Muro M1

Dati della struttura

Tipologia	340 mm	Disposizione	
Disperde verso	Esterno	Spessore	340 mm
Trasmittanza	1,22 W/(m ² K)	Capacità termica	
Resistenza	0,82 (m ² K)/W	Trasmittanza termica periodica	
Valore ricavato da	UNITR 11552:2014. Strutture con stratigrafia. Capacità termica stimata.		
Descrizione			

MURO M2

Muro M2

Dati della struttura

Tipologia	340 mm	Disposizione	
Disperde verso	Locale interno alla zona	Spessore	340 mm
Trasmittanza	0,90 W/(m ² K)	Capacità termica	
Resistenza	1,11 (m ² K)/W	Trasmittanza termica periodica	
Valore ricavato da			
Descrizione			

PAVIMENTO P1

P1

Dati della struttura

Tipologia	545 mm	Disposizione	
Disperde verso	Terreno	Spessore	545 mm
Trasmittanza	1,19 W/(m ² K)	Capacità termica	
Resistenza	0,84 (m ² K)/W	Trasmittanza termica periodica	
Valore ricavato da	UNITR 11552:2014. Strutture con stratigrafia. Yie calcolato con fattore di attenuazione di 0.5. Capacità termica stimata.		
Descrizione			

PAVIMENTO P2

P2

Dati della struttura

Tipologia	285 mm	Disposizione	
Disperde verso	Zona non riscaldata	Spessore	285 mm
Trasmittanza	1,91 W/(m ² K)	Capacità termica	
Resistenza	0,52 (m ² K)/W	Trasmittanza termica periodica	
Valore ricavato da	UNITR 11552:2014. Strutture con stratigrafia. Yie calcolato con fattore di attenuazione di 0.5. Capacità termica stimata.		
Descrizione			

APPENDICE A

P2 verso ext

Dati della struttura

Tipologia	285 mm	Disposizione	
Disperde verso	Esterno	Spessore	285 mm
Trasmittanza	1,91 W/(m ² K)	Capacità termica	
Resistenza	0,52 (m ² K)/W	Trasmittanza termica periodica	
Valore ricavato da	UNITR 11552:2014. Strutture con stratigrafia. Yie calcolato con fattore di attenuazione di 0.5.		
Descrizione	Capacità termica stimata.		

P2 verso int

Dati della struttura

Tipologia	285 mm	Disposizione	
Disperde verso	Locale interno alla zona	Spessore	285 mm
Trasmittanza	1,91 W/(m ² K)	Capacità termica	
Resistenza	0,52 (m ² K)/W	Trasmittanza termica periodica	
Valore ricavato da	UNITR 11552:2014. Strutture con stratigrafia. Yie calcolato con fattore di attenuazione di 0.5.		
Descrizione	Capacità termica stimata.		

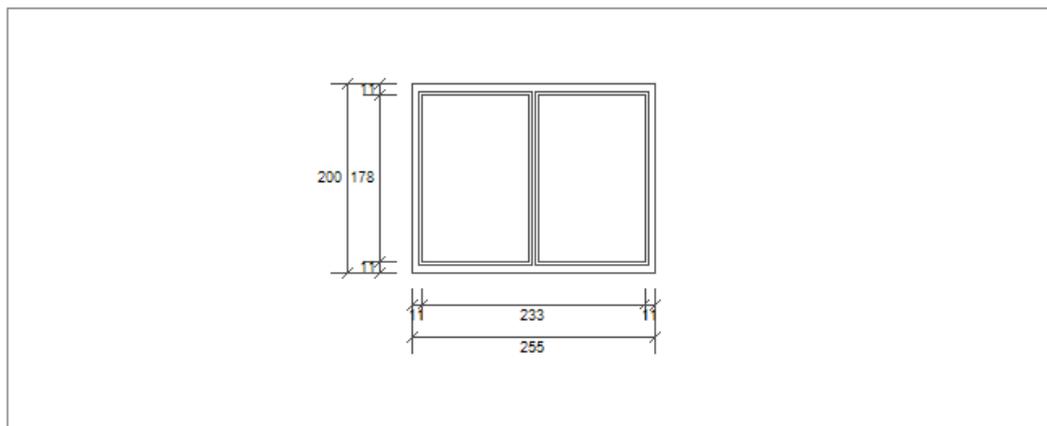
APPENDICE B

APPENDICE B

DETTAGLI COMPONENTI FINESTRATI

FINESTRA F1

F1



Larghezza	L	255 cm
Altezza	H	200 cm
Area del vetro	Ag	3,969 m ²
Area del telaio	Af	1,131 m ²
Area totale del serramento	Aw	5,100 m ²
Perimetro del vetro	p	11,580 m
Trasmittanza	Uw	3,056 W/(m ² K)
Trasmittanza corretta	Uw,corr	2,660 W/(m ² K)

Vetro

Tipologia	tipo	Doppio vetro normale
Trasmittanza	Ug	1,874 W/(m ² K)
Coeff di trasmissione solare	ggl	0,750
Emissività	ε	0,837

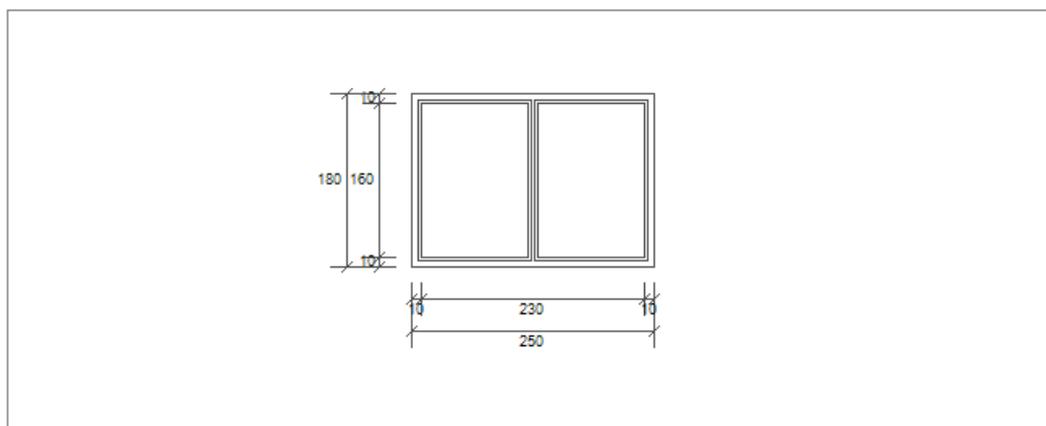
Telaio

Materiale		Metallo
Spessore	sf	0 mm
Tipologia	tipo	Senza taglio termico
Distanziatore	dist	Metallo
Trasmittanza	Uf	7,000 W/(m ² K)
Ponte termico tra vetro e telaio	ψfg	0,020 W/(mK)

APPENDICE B

FINESTRA F2

F2



Larghezza	L	250 cm
Altezza	H	180 cm
Area del vetro	Ag	3,520 m ²
Area del telaio	Af	0,980 m ²
Area totale del serramento	Aw	4,500 m ²
Perimetro del vetro	p	10,800 m
Trasmittanza	Uw	3,038 W/(m ² K)
Trasmittanza corretta	Uw,corr	2,647 W/(m ² K)

Vetro

Tipologia	tipo	Doppio vetro normale
Trasmittanza	Ug	1,874 W/(m ² K)
Coeff di trasmissione solare	ggl	0,750
Emissività	ε	0,837

Telaio

Materiale		Poliuretano
Spessore	sf	0 mm
Tipologia	tipo	Con anima di metallo
Distanziatore	dist	Metallo
Trasmittanza	Uf	7,000 W/(m ² K)
Ponte termico tra vetro e telaio	ψfg	0,020 W/(mK)

APPENDICE B

Chiusura oscurante

Tipo chiusura Alluminio
Permeabilità Bassa permeabilità all'aria
Resistenza termica aggiuntiva dovuta alla chiusura ΔR 0,090 m²K/W

Permeabilità all'aria

Classe permeabilità all'aria del serramento secondo UNI 1026 (MIN 1-MAX 4) Non dichiarato

La classe di permeabilità all'aria è indicata per i serramenti in funzione dei dati dichiarati dal produttore.

Strutture associate al serramento

Strutture opache e ponti termici	Area [m ²] o lunghezza [m]	Trasmittanza W/(m ² K) o W/(mK)
Assenti	-	-

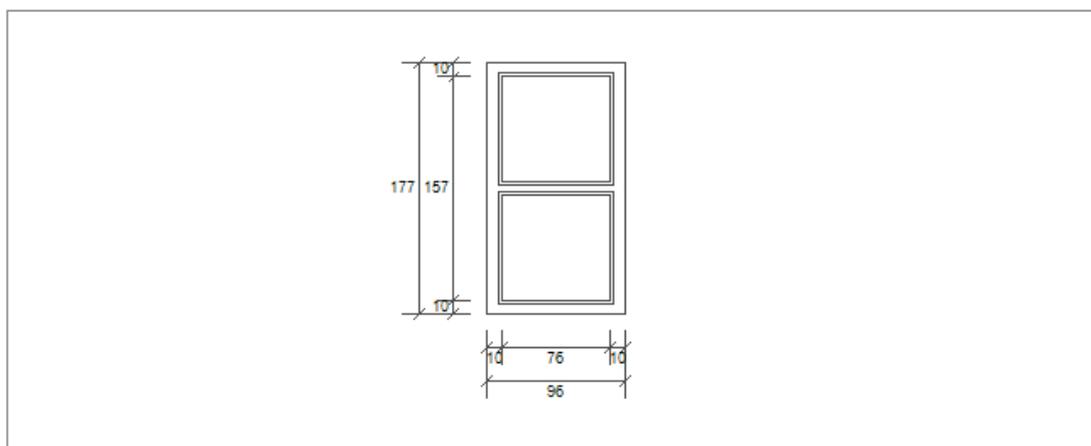
Verifica di trasmittanza - Limiti relativi alla Normativa Nazionale Legge 90

Comune Borghetto Santo Spirito
Zona climatica C
Trasmittanza 3,038 W/m²K
Trasmittanza limite 2,000 W/m²K
Esito della verifica NO

APPENDICE B

FINESTRA F3

F3



Larghezza	L	96 cm
Altezza	H	177 cm
Area del vetro	Ag	1,117 m ²
Area del telaio	Af	0,582 m ²
Area totale del serramento	Aw	1,699 m ²
Perimetro del vetro	p	5,980 m
Trasmittanza	Uw	3,727 W/(m ² K)
Trasmittanza corretta	Uw,corr	3,727 W/(m ² K)

Vetro

Tipologia	tipo	Doppio vetro normale
Trasmittanza	Ug	3,043 W/(m ² K)
Coeff di trasmissione solare	ggl	0,750
Emissività	ε	0,837

Telaio

Materiale		Metallo
Spessore	sf	0 mm
Tipologia	tipo	Senza taglio termico
Distanziatore	dist	Metallo
Trasmittanza	Uf	7,000 W/(m ² K)
Ponte termico tra vetro e telaio	ψfg	0,020 W/(mK)

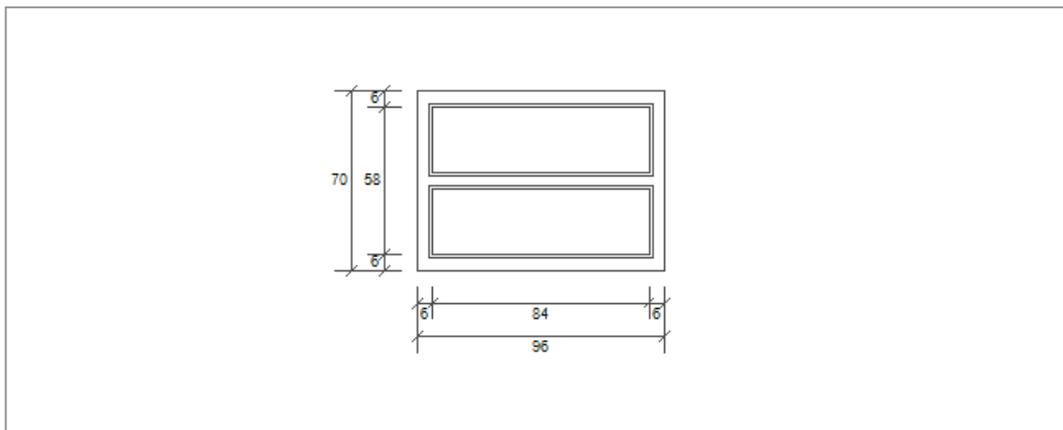
Verifica di trasmittanza - Limiti relativi alla Normativa Nazionale Legge 90

Comune	Borghetto Santo Spirito
Zona climatica	C
Trasmittanza	3,727 W/m ² K
Trasmittanza limite	2,000 W/m ² K
Esito della verifica	NO

APPENDICE B

FINESTRA F4

F4



Larghezza	L	96 cm
Altezza	H	70 cm
Area del vetro	Ag	0,437 m ²
Area del telaio	Af	0,235 m ²
Area totale del serramento	Aw	0,672 m ²
Perimetro del vetro	p	4,400 m
Trasmittanza	Uw	4,159 W/(m ² K)
Trasmittanza corretta	Uw,corr	4,159 W/(m ² K)

Vetro

Tipologia	tipo	Doppio vetro normale
Trasmittanza	Ug	3,043 W/(m ² K)
Coeff di trasmissione solare	ggl	0,750
Emissività	ε	0,837

Telaio

Materiale		Metallo
Spessore	sf	0 mm
Tipologia	tipo	Senza taglio termico
Distanziatore	dist	Metallo
Trasmittanza	Uf	7,000 W/(m ² K)
Ponte termico tra vetro e telaio	ψfg	0,060 W/(mK)

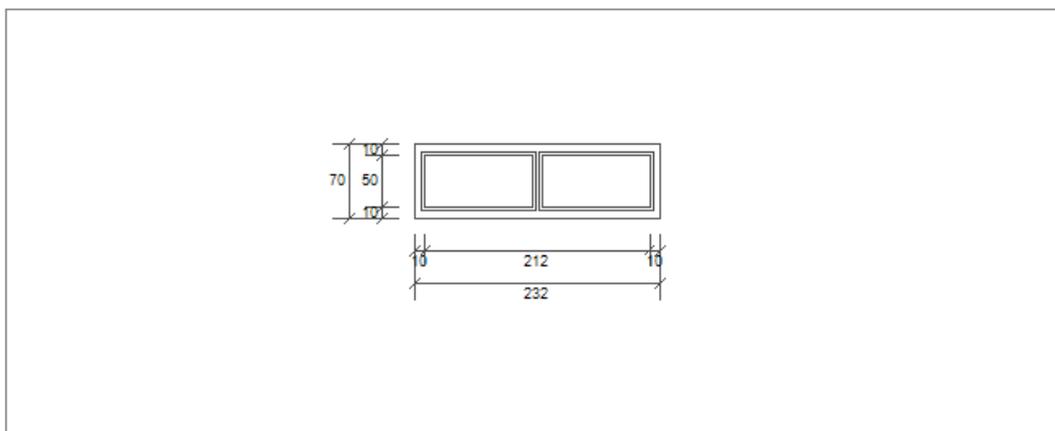
Verifica di trasmittanza - Limiti relativi alla Normativa Nazionale Legge 90

Comune	Borghetto Santo Spirito
Zona climatica	C
Trasmittanza	4,159 W/m ² K
Trasmittanza limite	2,000 W/m ² K
Esito della verifica	NO

APPENDICE B

FINESTRA F5

F5



Larghezza	L	232 cm
Altezza	H	70 cm
Area del vetro	Ag	1,010 m ²
Area del telaio	Af	0,614 m ²
Area totale del serramento	Aw	1,624 m ²
Perimetro del vetro	p	6,040 m
Trasmittanza	Uw	4,924 W/(m ² K)
Trasmittanza corretta	Uw,corr	4,924 W/(m ² K)

Vetro

Tipologia	tipo	Doppio vetro normale
Trasmittanza	Ug	3,276 W/(m ² K)
Coeff di trasmissione solare	ggl	0,750
Emissività	ε	0,837

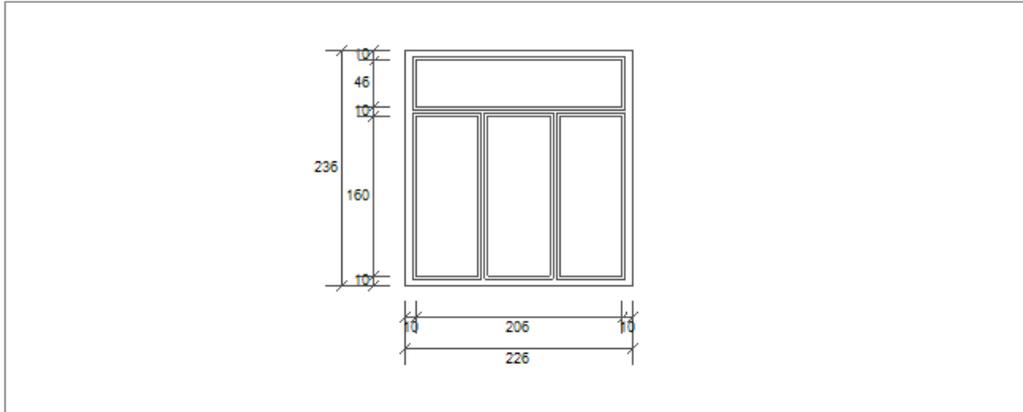
Telaio

Materiale		Metallo
Spessore	sf	0 mm
Tipologia	tipo	Senza taglio termico
Distanziatore	dist	Metallo
Trasmittanza	Uf	7,000 W/(m ² K)
Ponte termico tra vetro e telaio	ψfg	0,020 W/(mK)

APPENDICE B

FINESTRA F6

F6



Larghezza	L	226 cm
Altezza	H	180 cm
Area del vetro	Ag	3,924 m ²
Area del telaio	Af	1,410 m ²
Area totale del serramento	Aw	5,334 m ²
Perimetro del vetro	p	18,360 m
Trasmittanza	Uw	3,400 W/(m ² K)
Trasmittanza corretta	Uw,corr	3,400 W/(m ² K)

Vetro

Tipologia	tipo	Doppio vetro normale
Trasmittanza	Ug	3,276 W/(m ² K)
Coeff di trasmissione solare	ggl	0,750
Emissività	ε	0,837

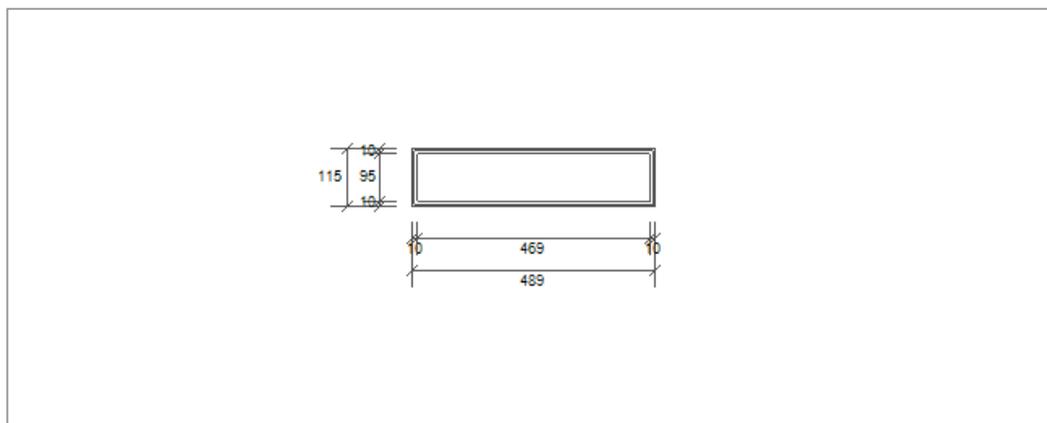
Telaio

Materiale		Metallo
Spessore	sf	0 mm
Tipologia	tipo	Senza taglio termico
Distanziatore	dist	Metallo
Trasmittanza	Uf	7,000 W/(m ² K)
Ponte termico tra vetro e telaio	ψfg	0,020 W/(mK)

APPENDICE B

LUCERNARIO L1

L1



Larghezza	L	489 cm
Altezza	H	115 cm
Area del vetro	Ag	4,455 m ²
Area del telaio	Af	1,168 m ²
Area totale del serramento	Aw	5,623 m ²
Perimetro del vetro	p	11,280 m
Trasmittanza	Uw	3,625 W/(m ² K)
Trasmittanza corretta	Uw,corr	3,625 W/(m ² K)

Vetro

Tipologia	tipo	Doppio vetro normale
Trasmittanza	Ug	3,276 W/(m ² K)
Coeff di trasmissione solare	ggl	0,750
Emissività	ε	0,837

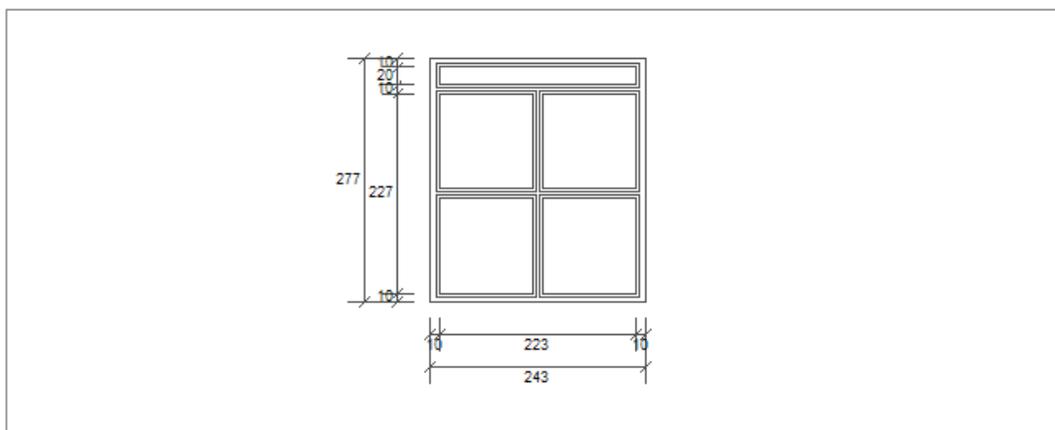
Telaio

Materiale		Metallo
Spessore	sf	0 mm
Tipologia	tipo	Senza taglio termico
Distanziatore	dist	Metallo
Trasmittanza	Uf	7,000 W/(m ² K)
Ponte termico tra vetro e telaio	ψfg	0,060 W/(mK)

APPENDICE B

PORTAFINESTRA P1

P1



Larghezza	L	243 cm
Altezza	H	247 cm
Area del vetro	Ag	5,068 m ²
Area del telaio	Af	1,663 m ²
Area totale del serramento	Aw	6,731 m ²
Perimetro del vetro	p	22,060 m
Trasmittanza	Uw	4,086 W/(m ² K)
Trasmittanza corretta	Uw,corr	4,086 W/(m ² K)

Vetro

Tipologia	tipo	Doppio vetro normale
Trasmittanza	Ug	3,043 W/(m ² K)
Coeff di trasmissione solare	ggI	0,750
Emissività	ε	0,837

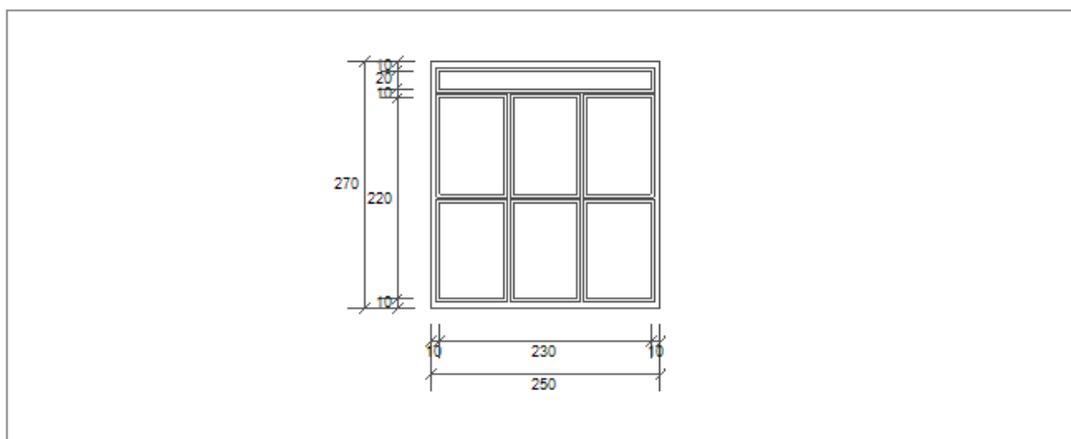
Telaio

Materiale		Metallo
Spessore	sf	0 mm
Tipologia	tipo	Senza taglio termico
Distanziatore	dist	Metallo
Trasmittanza	Uf	7,000 W/(m ² K)
Ponte termico tra vetro e telaio	ψfg	0,020 W/(mK)

APPENDICE B

PORTAFINESTRA P2

P2



Larghezza	L	250 cm
Altezza	H	240 cm
Area del vetro	Ag	4,870 m ²
Area del telaio	Af	1,880 m ²
Area totale del serramento	Aw	6,750 m ²
Perimetro del vetro	p	26,000 m
Trasmittanza	Uw	4,487 W/(m ² K)
Trasmittanza corretta	Uw,corr	4,487 W/(m ² K)

Vetro

Tipologia	tipo	Doppio vetro normale
Trasmittanza	Ug	3,043 W/(m ² K)
Coeff di trasmissione solare	ggl	0,750
Emissività	ε	0,837

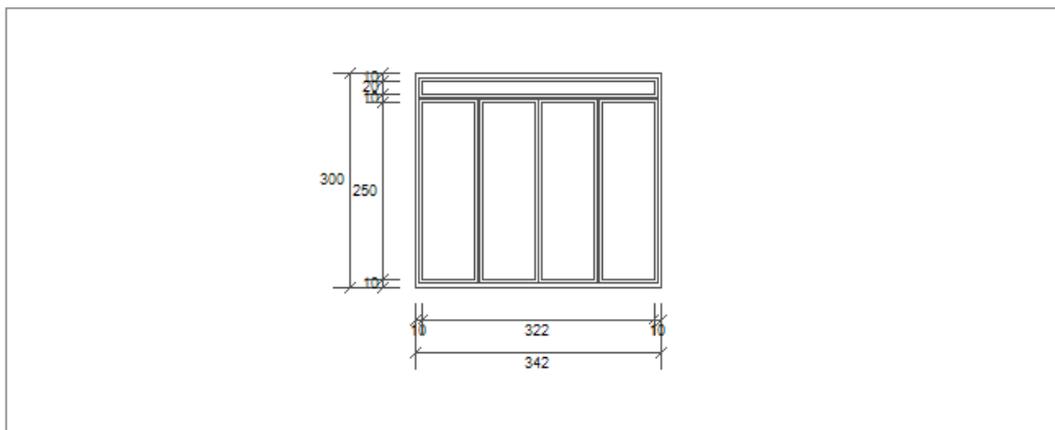
Telaio

Materiale		Metallo
Spessore	sf	0 mm
Tipologia	tipo	Senza taglio termico
Distanziatore	dist	Metallo
Trasmittanza	Uf	7,000 W/(m ² K)
Ponte termico tra vetro e telaio	ψfg	0,060 W/(mK)

APPENDICE B

PORTAFINESTRA P3

P3



Larghezza	L	342 cm
Altezza	H	270 cm
Area del vetro	Ag	7,944 m ²
Area del telaio	Af	2,316 m ²
Area totale del serramento	Aw	10,260 m ²
Perimetro del vetro	p	32,680 m
Trasmittanza	Uw	6,220 W/(m ² K)
Trasmittanza corretta	Uw,corr	6,220 W/(m ² K)

Vetro

Tipologia	tipo	Vetro singolo
Trasmittanza	Ug	5,554 W/(m ² K)
Coeff di trasmissione solare	ggl	0,850
Emissività	ε	0,837

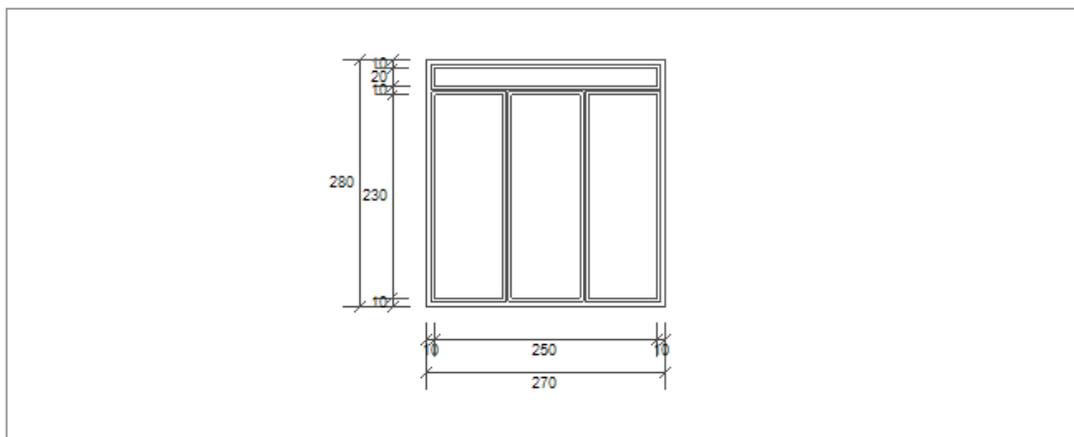
Telaio

Materiale		Metallo
Spessore	sf	0 mm
Tipologia	tipo	Senza taglio termico
Distanziatore	dist	Metallo
Trasmittanza	Uf	7,000 W/(m ² K)
Ponte termico tra vetro e telaio	ψfg	0,000 W/(mK)

APPENDICE B

PORTAFINESTRA P4

P4



Larghezza	L	270 cm
Altezza	H	250 cm
Area del vetro	Ag	5,790 m ²
Area del telaio	Af	1,770 m ²
Area totale del serramento	Aw	7,560 m ²
Perimetro del vetro	p	23,800 m
Trasmittanza	Uw	6,220 W/(m ² K)
Trasmittanza corretta	Uw,corr	6,220 W/(m ² K)

Vetro

Tipologia	tipo	Vetro singolo
Trasmittanza	Ug	5,554 W/(m ² K)
Coeff di trasmissione solare	ggI	0,850
Emissività	ε	0,837

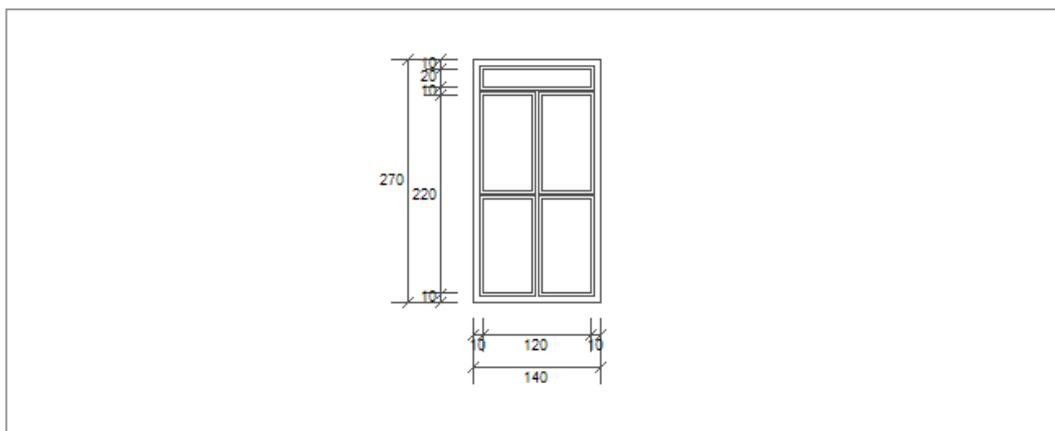
Telaio

Materiale		Metallo
Spessore	sf	0 mm
Tipologia	tipo	Senza taglio termico
Distanziatore	dist	Metallo
Trasmittanza	Uf	7,000 W/(m ² K)
Ponte termico tra vetro e telaio	ψfg	0,000 W/(mK)

APPENDICE B

PORTAFINESTRA P5

P5



Larghezza	L	140 cm
Altezza	H	240 cm
Area del vetro	Ag	2,550 m ²
Area del telaio	Af	1,230 m ²
Area totale del serramento	Aw	3,780 m ²
Perimetro del vetro	p	15,600 m
Trasmittanza	Uw	4,578 W/(m ² K)
Trasmittanza corretta	Uw,corr	4,578 W/(m ² K)

Vetro

Tipologia	tipo	Doppio vetro normale
Trasmittanza	Ug	3,043 W/(m ² K)
Coeff di trasmissione solare	ggl	0,750
Emissività	ε	0,837

Telaio

Materiale		Metallo
Spessore	sf	0 mm
Tipologia	tipo	Senza taglio termico
Distanziatore	dist	Metallo
Trasmittanza	Uf	7,000 W/(m ² K)
Ponte termico tra vetro e telaio	ψfg	0,060 W/(mK)

APPENDICE C

APPENDICE C

SCHEMA TECNICA DELLA CALDAIA A CONDENSAZIONE VITOCAL 300-T

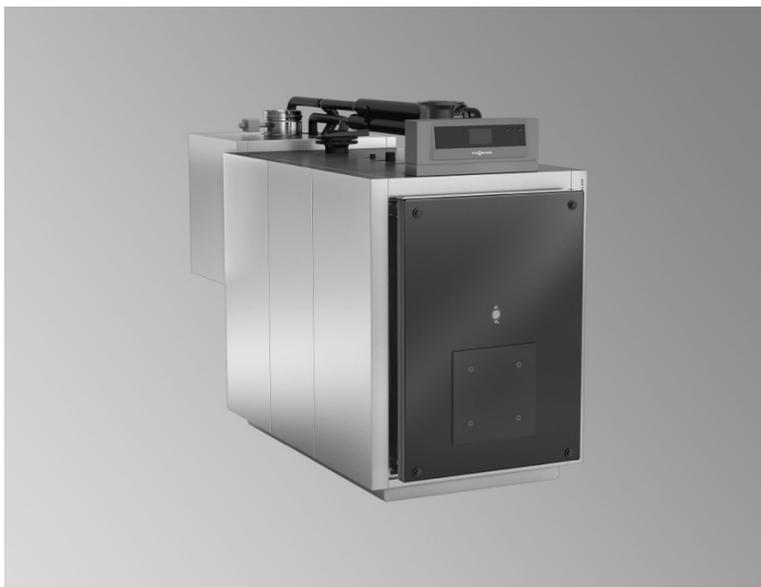
VIESSMANN

VITORADIAL 300-T

Caldaia a condensazione
Da 101 fino a 335 kW

Foglio dati tecnici

Articoli e prezzi: vedi listino prezzi



VITORADIAL 300-T Tipo VR3

Caldaia a bassa temperatura con scambiatore di calore a
gasolio/gas a condensazione

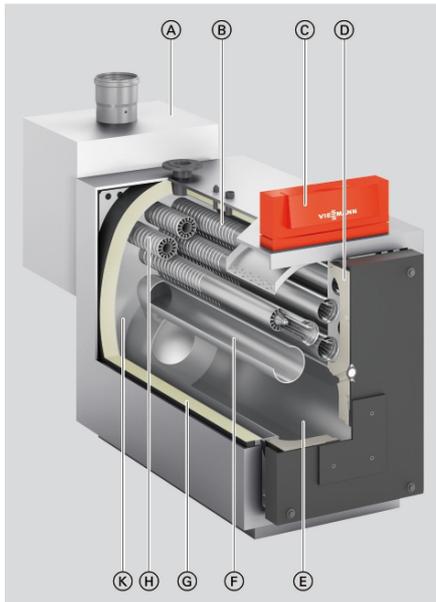
Caldaia a tre giri di fumo con superfici di scambio termico
convettivo a più strati e scambiatore di calore Inox-Radial a
serpentina inserito a valle in acciaio inossidabile

5798456 IT 4/2022

APPENDICE C

Vantaggi

- Caldaia a gasolio a condensazione con bruciatore a gasolio ad aria soffiata di ELCO oppure Weishaupt
- Rendimento stagionale per funzionamento a gasolio: 97% (H_g)
- Scambiatore di calore Inox-Radial per la condensazione dei gas combusti, già predisposto per la caldaia compatta
- Completa di raccordi per lo scambiatore di calore e di pompa, già predisposta per la potenzialità della caldaia.
- I lunghi tempi di funzionamento del bruciatore e i minori inserimenti dovuti all'elevato contenuto d'acqua consentono un'ulteriore salvaguardia dell'ambiente.
- Funzionamento sicuro ed economico dell'impianto di riscaldamento grazie alla regolazione digitale Vitotronic con possibilità di scambio dati
- Dispositivo di messa a regime integrato Them-Control per integrazione idraulica semplificata – è possibile rinunciare sia alla pompa di miscelazione che al dispositivo per l'aumento della temperatura del ritorno.
- Struttura compatta per una facilità di trasporto e altezze ridotte – importante in caso di rammodernamento
- Regolazione Vitotronic di facile utilizzo con touch-screen a colori
- Interfaccia LAN integrata per la comunicazione via Internet e WLAN integrato per l'interfaccia di assistenza.
- Funzionamento sicuro ed economico dell'impianto di riscaldamento grazie al sistema di regolazione Vitotronic, con possibilità di scambio dati, che in abbinamento al Vitogate 300 (accessorio) consente l'integrazione nei sistemi di telegestione.



- (A) Scambiatore di calore Inox-Radial a serpentina
- (B) Elevata sicurezza d'esercizio e lunga durata grazie alla superficie di scambio termico convettivo a più strati
- (C) Regolazione Vitotronic con touch-screen a colori
- (D) Isolamento termico della portina caldaia
- (E) Camera di combustione (primo condotto fumi)
- (F) Secondo giro fumi
- (G) Isolamento termico altamente efficace
- (H) Terzo giro fumi
- (K) Le ampie intercapedini lato acqua e l'elevato contenuto d'acqua garantiscono una buona circolazione interna naturale e un'integrazione idraulica semplificata.

APPENDICE C

Dati tecnici

Dati tecnici

Potenzialità utile									
$P_{cond}: T_v/T_R = 50/30 \text{ °C}$	kW	101	129	157	201	263	335	425	545
$P_n: T_v/T_R = 80/60 \text{ °C}$	kW	94	120	146	188	245	313	407	522
Potenzialità al focalare per riscaldamento	kW	97	124	151	194	254	323	420	538
Marchio CE		CE-2456BU104							
Temperatura max. di esercizio	°C	95							
Temperatura max. di mandata (= temperatura di sicurezza)	°C	110							
Pressione max. d'esercizio	bar	4							
	kPa	400							
Perdita di carico lato fumi	mbar	0,55	0,8	1,2	1,8	2,4	2,75	3,8	5,8
	Pa	55	80	120	180	240	275	380	580
Dimensioni d'ingombro corpo caldaia									
Lunghezza (misura q) ^{*1}	mm	1215	1420	1405	1600	1820	1820	1875	2020
Larghezza (misura d)	mm	575	575	650	650	730	730	865	865
Altezza (con attacchi) (misura w1)	mm	1370	1370	1405	1405	1510	1510	1690	1690
Dimensioni d'ingombro totali									
Lunghezza totale (misura t)	mm	1300	1500	1485	1680	1905	1905	1945	2090
Lunghezza totale con scambiatore di calore (misura v)	mm	1730	1930	1920	2240	2460	2460	2475	2620
Larghezza totale (misura e)	mm	755	755	825	825	905	905	1040	1040
Altezza totale (misura m1)	mm	1460	1460	1480	1480	1580	1580	—	—
Altezza totale (misura w1)	mm	—	—	—	—	—	—	1690	1690
Altezza per lavori di assistenza (regolazione) (misura a)	mm	1485	1485	1520	1520	1630	1630	1795	1795
Altezza									
– Piedini antivibranti	mm	28	28	28	28	28	—	—	—
– Supporti antivibranti (sotto carico)	mm	—	—	—	—	—	37	37	37
Basamento									
Lunghezza	mm	1000	1200	1200	1400	1650	1650	1650	1800
Larghezza	mm	760	760	830	830	900	900	1040	1040
Diametro camera di combustione	mm	380	380	400	400	480	480	570	570
Lunghezza camera di combustione	mm	800	1000	1000	1200	1400	1400	1400	1550
Peso corpo caldaia	kg	370	405	460	520	700	800	950	1015
Peso complessivo	kg	480	515	580	650	835	935	1190	1305
Caldaia con isolamento termico e regolazione circuito di caldaia									
Contenuto acqua di caldaia	litri	185	225	265	310	490	450	600	650
Attacchi caldaia									
Mandata e ritorno caldaia	PN 6 DN	65	65	65	65	65	80	100	100
Attacco di sicurezza (valvola di sicurezza) (filetto maschio)	R	1¼	1¼	1¼	1¼	1½	1½	2	2
Scarico (filetto maschio)	R	1¼	1¼	1¼	1¼	1¼	1¼	1¼	1¼
Gas di scarico^{*2}									
Temperatura (con una temperatura del ritorno di 30 °C)									
– alla potenzialità utile	°C	35	40	45	40	40	45	55	55
– a carico ridotto	°C	30	35	40	35	35	40	37	41
Temperatura (con una temperatura del ritorno di 60 °C)	°C	60	60	65	60	70	70	75	80
Portata gas di scarico									
– con gas metano	kg/h	1,5225 x potenzialità in kW							
– con gasolio EL	kg/h	1,5 x potenzialità in kW							
Attacco scarico fumi	Ømm	200							
Rendimento stagionale	%	97 (H _s)							
(per il funzionamento a gasolio)									
Con temperatura dell'impianto di riscaldamento 75/60 °C									
Dispersioni per mantenimento in funzione q _{B,70}	%	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8

*1 Portina caldaia smontata.

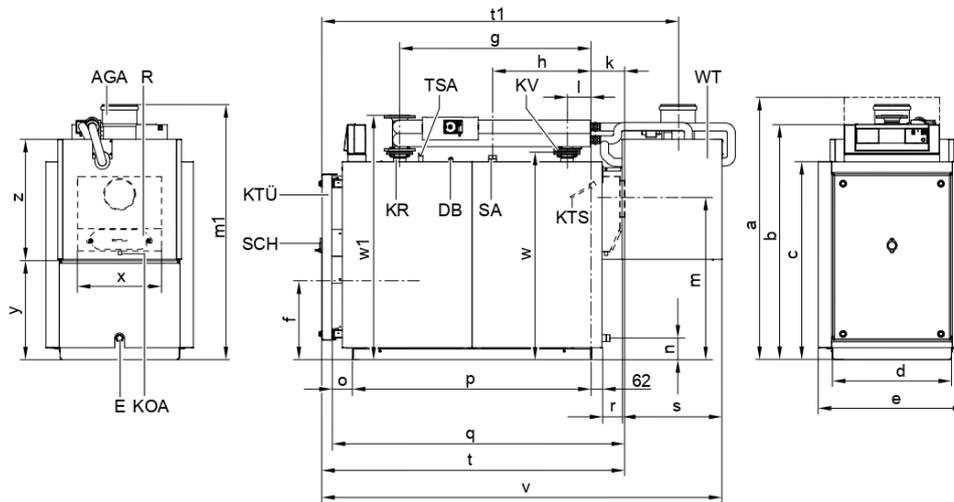
*2 Valori orientativi per il dimensionamento del sistema di scarico fumi secondo la EN 13384 riferiti al 13,2% di CO₂ per gasolio EL e al 10% di CO₂ per gas metano.

Temperature fumi come valori lordi riferiti ad una temperatura aria di combustione di 20 °C.

I dati del carico ridotto si riferiscono al 60 % della potenzialità utile. Con un carico ridotto differente (a seconda del modo di funzionamento) la portata gas di scarico va calcolata di conseguenza.

APPENDICE C

Dati tecnici (continua)



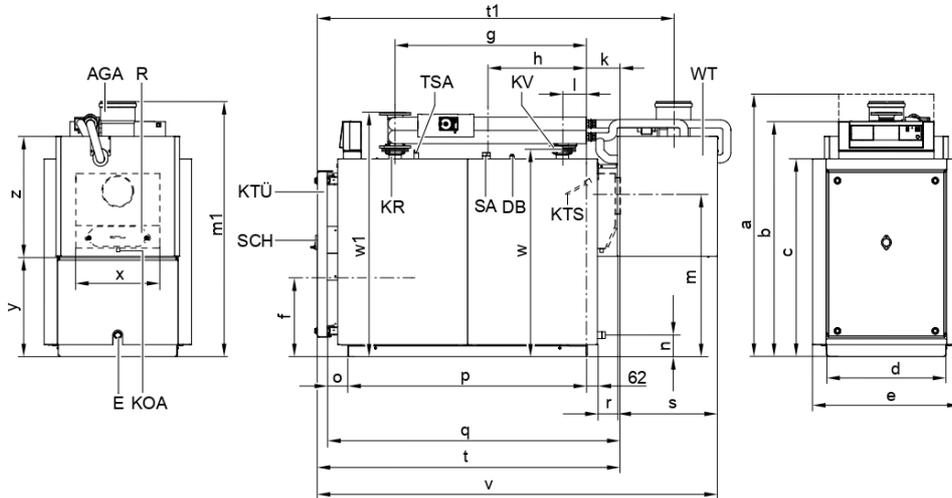
101 - 201 kW

AGA Condotto gas di scarico (l'attacco caldaia è un accessorio)
 DB Manicotto R ½ (filetto maschio) per pressostato di massima
 E Scarico
 KOA Scarico condensa R ½ (filetto maschio)
 KR Ritorno caldaia
 KTS Sensore temperatura di caldaia (sfalsato sul disegno)
 KTÜ Portina caldaia

KV Mandata caldaia
 R Apertura per la pulizia
 SA Attacco di sicurezza (valvola di sicurezza)
 SCH Spia fiamma
 TSA Guaina ad immersione per sensore temperatura Therm-Control
 WT Scambiatore di calore

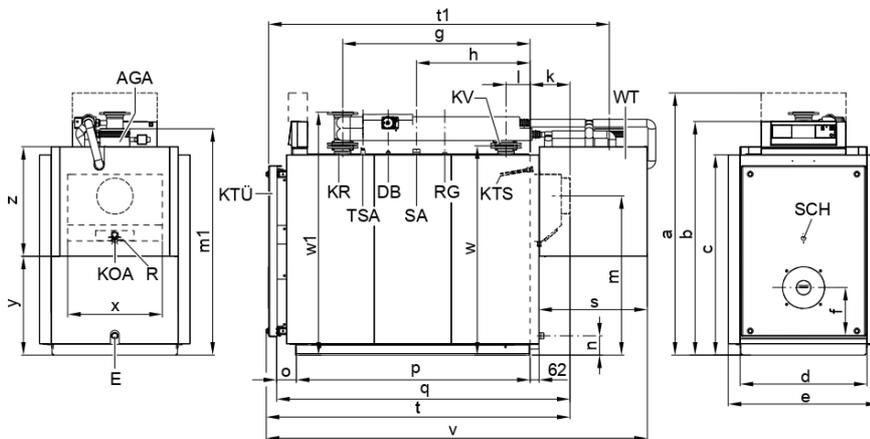
APPENDICE C

Dati tecnici (continua)



263 - 335 kW

AGA	Condotto gas di scarico (fattacco caldaia è un accessorio)	KV	Mandata caldaia
DB	Manicotto Rp 1/2 (filetto maschio) per pressostato di massima	R	Apertura per la pulizia
E	Scarico	SA	Attacco di sicurezza (valvola di sicurezza)
KOA	Scarico condensa R 1/2 (filetto maschio)	SCH	Spia fiamma
KR	Ritorno caldaia	TSA	Guaina ad immersione per sensore temperatura Therm-Control
KTS	Sensore temperatura di caldaia (sfalsato sul disegno)	WT	Scambiatore di calore
KTÜ	Portina caldaia		



425 e 545 kW

AGA	Condotto gas di scarico (fattacco caldaia è un accessorio)	KR	Ritorno caldaia
DB	Manicotto Rp 1/2 (filetto maschio) per pressostato di massima	KTS	Sensore temperatura caldaia Rp 3/4 (filetto femmina, sfalsato sul disegno)
E	Scarico R 1/4 (filetto maschio)	KTÜ	Portina caldaia
KOA	Scarico condensa R 1/2 (filetto maschio)		

5798456

VITORADIAL 300-T

VIEBMANN 5

APPENDICE C

Dati tecnici (continua)

KV	Mandata caldaia	SCH	Spia fiamma
R	Apertura per pulizia	TSA	Guaina ad immersione per sensore temperatura Therm-Control
RG	Manicotto Rp ½ (filetto femmina) per ulteriori dispositivi di regolazione	WT	Scambiatore di calore
SA	Attacco di sicurezza (valvola di sicurezza) R 2 (filetto maschio)		

Tabella misure

Potenzialità utile	kW	101	129	157	201	263	335	425	545
a	mm	1485	1485	1520	1520	1630	1630	1795	1795
b	mm	1315	1315	1350	1350	1460	1460	1625	1625
c	mm	1085	1085	1115	1115	1225	1225	1395	1395
d	mm	575	575	650	650	730	730	865	865
e	mm	755	755	825	825	905	905	1040	1040
f	mm	440	440	440	440	420	420	470	470
g	mm	620	825	810	1010	1180	1180	1940	2140
h	mm	320	395	325	425	610	610	1145	1290
k	mm	220	220	220	220	220	220	275	275
l	mm	165	165	150	150	155	155	165	165
m	mm	860	860	885	885	960	960	1110	1110
m1	mm	1460	1460	1480	1480	1580	1580	1575	1575
n	mm	200	200	190	190	135	135	130	130
o	mm	110	110	110	110	130	130	130	130
p (lunghezza listelli di basamento)	mm	880	1085	1070	1270	1470	1470	1470	1615
q	mm	1215	1420	1405	1600	1820	1820	1875	2020
r	mm	175	175	175	175	175	175	—	—
s	mm	440	440	440	565	565	565	745	745
t (dimensioni d'introduzione)	mm	1300	1500	1485	1680	1905	1905	1945	2090
t1	mm	1530	1735	1700	1960	2185	2185	2205	2350
u	mm	1700	1905	1910	2110	2330	2330	—	—
v	mm	1730	1930	1920	2240	2460	2460	2475	2620
w	mm	1145	1145	1180	1180	1285	1285	1455	1455
w1	mm	1370	1370	1405	1405	1510	1510	1690	1690
x	mm	615	615	675	685	765	765	875	875
y	mm	530	530	565	565	620	620	685	685
z	mm	705	705	705	705	740	740	760	760

Nel caso si incontrino difficoltà per l'introduzione nel locale d'installazione è possibile smontare la portina caldaia.

Misura f: Tener conto dell'altezza d'ingombro del bruciatore.

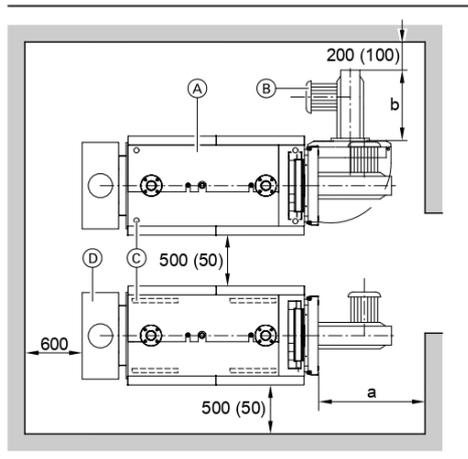
Misura q: Con la portina caldaia smontata

APPENDICE C

Dati tecnici (continua)

Installazione

Distanze minime



- (A) Caldaia
- (B) Bruciatore
- (C) Piedini antivibranti (101 - 263 kW) o supporti antivibranti (335 - 545 kW)
- (D) Scambiatore di calore

Per garantire un montaggio e una manutenzione semplici, attenersi alle misure indicate. In caso di locali di dimensioni ridotte attenersi soltanto alle distanze minime (misure tra parentesi). Allo stato di fornitura, la portina caldaia è incernierata a sinistra. Invertendo i perni della cerniera, la portina può essere incernierata a destra.

Potenzialità utile	kW	101	129	157	201	263	335
a	mm	800	950		1100		1300
b	mm	Lunghezza d'ingombro del bruciatore					

Misura a: Lunghezza consigliata per l'estrazione dei turbolatori.

Avvertenze per l'installazione

- Evitare l'inquinamento atmosferico dovuto ad idrocarburi alogeni, ad es. quelli contenuti negli spray, nelle vernici, nei detersivi e solventi.
- Evitare un'elevata ricaduta di polveri
- Evitare un alto grado di umidità dell'aria
- Fare in modo che il locale sia protetto dal gelo e ben aerato

In caso contrario non si escludono guasti e danni all'impianto. L'installazione della caldaia in locali in cui l'aria può essere contaminata dalla presenza di **idrocarburi alogeni** è possibile solo se vengono presi provvedimenti tali da garantire che l'aria di combustione sia priva di queste sostanze.

Montaggio del bruciatore

Caldaia fino a 129 kW:

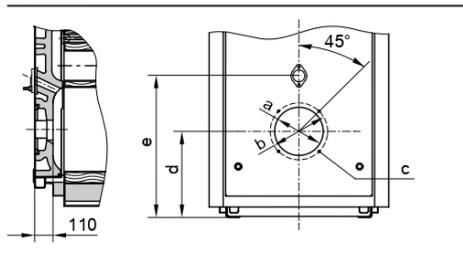
l'interasse dei fori di fissaggio del bruciatore, i fori stessi e il foro della testa bruciatore sono conformi alla EN 226.

Caldaie a partire da 157 kW:

l'interasse dei fori di fissaggio del bruciatore, i fori stessi e il foro della testa bruciatore sono conformi alla tabella seguente.

Il bruciatore può essere montato direttamente sulla portina orientabile della caldaia. Se le dimensioni d'ingombro del bruciatore sono diverse dalle dimensioni della tabella seguente, è necessario montare la piastra bruciatore compresa nella fornitura.

A richiesta la foratura della piastra bruciatore può essere predisposta in fabbrica (con sovrapprezzo). In questo caso indicare sull'ordine i dati relativi al tipo e al modello del bruciatore. Il boccaglio bruciatore deve sporgere dall'isolamento termico della portina caldaia.



Potenzialità utile	kW	101	129	157	201	263	335
a	Ø mm	135	240	240	240	240	240
b	Ø mm	170	270	270	270	270	270

5798456

VITORADIAL 300-T

VIESSMANN 7

APPENDICE D

APPENDICE D

SCHEMA TECNICA DEL POLISTIRENE EFYOS XPS



Lastre isolanti ad alte prestazioni conformi ai CAM

EFYOS XPS

IL POLISTIRENE ESTRUSO



DATI TECNICI

CARATTERISTICHE TECNICHE	XPS SL	XPS CR	XPS CW XPS CW2	XPS 500	XPS 700	XPS WF	XPS MULTI 20	UNITÀ	NORMA
Finitura superficiale	Liscia con pelle	Liscia con pelle	Liscia con pelle	Liscia con pelle	Liscia con pelle	Ruvida waferata	Ruvida senza pelle	-	-
Conducibilità termica λ_D	≤ 60 mm	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	W/mK	EN 12667
	80 - 100 mm	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	-		
	≥ 120 mm	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	-		
Resistenza alla compressione al 10% di deformaz. max	CS(10V)300	CS(10V)300	CS(10V)250	CS(10V)500	CS(10V)700	CS(10V)300	CS(10V)250	kPa	EN 826
Creep - carico di compressione per sollecitazioni continue (2% di defor. max a 50 anni)	CC (2/1,5/50) 130*	CC (2/1,5/50) 130*	-	CC (2/1,5/50) 180	CC (2/1,5/50) 250	-	-	KPa	EN 1606
Assorbimento d'acqua a lungo periodo per immersione totale	WL(T)0,7	WL(T)0,7	WL(T)0,7	WL(T)0,7	WL(T)0,7	WL(T)0,7	-	Vol%	EN 12087
Assorbimento d'acqua a lungo periodo per diffusione	WD(V)3	WD(V)3	WD(V)3	WD(V)3	WD(V)3	WD(V)3	-	Vol%	EN 12088
Stabilità dimensionale (70°C, 90% u.r.)	DS(70,90)	DS(70,90)	DS(70,90)	DS(70,90)	DS(70,90)	DS(70,90)	-	Classe	EN 1604
Deformazione in specifiche condizioni di carico e temperatura	DLT(2)5	DLT(2)5	DLT(2)5	DLT(2)5	DLT(2)5	DLT(2)5	-	Classe	EN 1605
Resistenza alla diffusione μ del vapore	150	150	150	150	150	150	150	-	EN 12086
Resistenza al gelo-disgelo	FTCD1	FTCD1	-	FTCD1	FTCD1	-	-	Vol%	EN 12091
Reazione al fuoco	E	E	E	E	E	E	E	Euro classe	EN 13501-1
Calore specifico	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	J/kgK (a 20°C)	EN 10456

Lunghezza	1250 (±8)	1250 (±8)	CW: 2500 CW2: 2900 (±10)	1250 (±8)	1250 (±8)	1250 (±8)	1250 (±8)	mm	EN 822
Larghezza	600 (±3)	600 (±3)	600 (±3)	600 (±3)	600 (±3)	600 (±3)	600 (±3)	mm	EN 822
Spessori	30 ÷ 40 (±2) 50 ÷ 160 (±3)	30 ÷ 40 (±2) 50 ÷ 160 (±3)	30 ÷ 40 (±2) 50 ÷ 160 (±3)	40 (±2) 50 ÷ 300 (±3)	50 ÷ 300 (±3)	30 ÷ 40 (±2) 50 ÷ 300 (±3)	20 (±2)	mm	EN 823
Sagomatura bordi			CW: x4 CW2: x2 			WF I WF L 		-	-

Spessore [mm]	20	30	40	50	60	70	80	100	120	140	160	180	200	240	260	280	300
Resistenza termica - R_D [(m ² ·K)/W]	0,06	0,90	1,20	1,50	1,80	2,25	2,85	3,35	3,90	4,45	5,00	5,55	6,10	6,65	7,20	7,75	8,30

*per spessori ≥ 50 mm - ▲ XPS CW2: finitura ad incastro dei soli bordi longitudinali

PRODOTTI

XPS SL

Dimensioni (mm)	Spessore mm	Numero lastre/pacco	m ² /pallet	m ² /pacco
1250 x 600 (0,75 m ²)	30	14	126	10,50
	40	10	90	7,50
	50	8	72	6,00
	60	7	63	5,25
	80	5	45	3,75
	100	4	36	3,00
	120 / 140	3	31,5	2,25
	160	2	24	1,50
	180	2	21	1,50
	200 / 220	2	18	1,50
	240 / 260	1	15 / 13,5	0,75
	280 / 300	1	13,5 / 12	0,75



Sagomatura bordi



XPS CR

Dimensioni mm	Spessore mm	Numero lastre/pacco	m ² /palet	m ² /pacco
1250 x 600 (0,75 m ²)	20 *	20	180	15,00
	30	14	126	10,50
	40	10	90	7,50
	50	8	72	6,00
	60	7	63	5,25
	80	5	45	3,75
	100	4	36	3,00
	120 / 140	3	31,5	2,25
	160	2	24	1,50
	180	2	21	1,50
	200 / 220	2	18	1,50
	240 / 260	1	15 / 13,5	0,75
	280 / 300	1	13,5 / 12	0,75



Sagomatura bordi



* pannello ruvido senza pelle di estrusione

XPS CW

Dimensioni mm	Spessore mm	Numero lastre/pacco	m ² /pallet	m ² /pacco	
2500 x 600 (1,50 m ²)	30	14	252-292,32	21,00-24,36	
	40	10	180-208,8	15,00-17,40	
	50	8	144-167,04	12,00-13,92	
	60	7	126-146,16	10,50-12,18	
	2900 x 600 (1,74 m ²)	80	5	90-104,4	7,50-8,70
		100	4	72-83,52	6,00-6,96
		120	3	63-73,08	4,50-5,22
		140	3	54-62,6	4,50-5,22



Sagomatura bordi



▲ sagomatura ad incastro dei soli bordi longitudinali

Ringraziamenti

Ringraziamenti

Giunti al termine di questo percorso, risulta doveroso ringraziare tutti coloro che hanno contribuito al raggiungimento di un traguardo così importante.

Ringrazio innanzitutto il prof. Masoero, per avermi seguito nella stesura dell'elaborato di tesi ed aver mostrato una disponibilità non comune.

Ringrazio l'ing. Simonato e l'ing. Cardone della Ferplant s.r.l., per avermi dato l'opportunità di svolgere il lavoro ed avermi fornito i dettagli necessari sull'edificio oggetto di analisi.

Ringrazio i miei genitori Giovanna e Giovanni, mia sorella Simona e mio fratello Sandro per avermi supportato sempre e comunque in questi anni.

Ringrazio i miei nipotini Flavio e Matteo, per riempirmi il cuore di gioia e spronarmi a lavorare duramente per farli vivere in un futuro migliore.

Ringrazio Naike, che si sta rivelando sempre più fondamentale per me e che ha ricoperto in ruolo importante in quest'ultimo periodo del percorso.

Ringrazio tutti i miei amici che mi sono stati accanto in questi anni ed hanno dimostrato di essere sempre presenti anche nei momenti peggiori.

Antonio, Giuseppe, Calogero, Francesco, Lorenzo, Lillo, Lillo, Alessio, Gabriele, Christian, Salvatore, Filippo, Filippo: grazie a tutti.

Ringrazio i miei amici che ho conosciuto nel mio percorso universitario:

Samuele, Giacomo, Pietro, Ettore, Mario, Andrea, Andrea, Francesco, Ivan, Mickhael, Andrea, Umberto, Davide, Mariasilvia, Lorenzo, Alberto e Stefano.

Grazie per aver reso questo percorso molto più leggero.

Ringrazio Salvatore, con cui ho iniziato questo percorso e che mi ha mostrato un diverso approccio alla vita.

Infine, vorrei ringraziare i miei nonni Matteo e Santa a cui è dedicata la presente tesi di laurea. E' grazie a loro se ho intrapreso il percorso di studi al Politecnico di Torino.

Ogni mio obiettivo e traguardo sono dedicati a loro. Spero siate fieri di me.

Ad maiora semper

Marco Spanò

Bibliografia e sitografia

- <https://ambientepub.regione.liguria.it/SiraQualMeteo/script/PubAccessoDatiMeteo.asp>
- Efficienza Energetica - impatto dell automazione sulle prestazioni energetiche degli edifici, [Schneider Electric, 2017]
https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=White+Paper&p_File_Name=Efficienza-Energetica_guida-2016.pdf&p_Doc_Ref=LEESGTF007FI&_ga=2.162615932.1555829040.1668998372-238001677.1668998372
- <https://webthesis.biblio.polito.it/secure/23198/1/tesi.pdf>
- <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/it/sheet/69/efficienza-energetica>
- https://etd.adm.unipi.it/theses/available/etd-06202019-121751/unrestricted/TESI_ROMANO_LEANDRO.pdf
- <https://www.energiaenergetica.enea.it/vi-segnaliamo/statistiche-energetiche-eurostat-pubblicata-l-edizione-2021.html>
- <https://webthesis.biblio.polito.it/secure/9254/1/tesi.pdf>
- <https://www impiantialivelli.it/home-building-automation-quanto-risparmio/>
- https://www.isprambiente.gov.it/files2020/pubblicazioni/rapporti/Rapporto317_2020.pdf
- CEN/TC 247 n°665, “Formal Vote draft for work item 00247046 (prEN15232) for CEN/TC247
- <https://www.cloudfinance.it/>
- <https://dgsaie.mise.gov.it/prezzi-mensili-carburanti?pid=3>
- https://dgsaie.mise.gov.it/pub/sen/relazioni/relazione_annuale_situazione_energetica_nazionale_dati_2021.pdf

Bibliografia e sitografia

- https://www.voltimum.it/sites/www.voltimum.it/files/fields/attachment_file/it/others/P/2010110889469482.pdf
- https://www.isprambiente.gov.it/files2017/pubblicazioni/rapporto/R_257_17.pdf
- <https://webthesis.biblio.polito.it/9976/1/tesi.pdf>
- <https://webthesis.biblio.polito.it/24227/>
- <http://www.energiaenergetica.enea.it>
- https://www.casaclima.com/italia/norme-tecniche/ar_33070_automazione-degli-edifici-vigore-norma-uni-en.html
- <https://www.pmstudiotecnico.it/uni-15232-la-guida-alla-prestazione-energetica-negli-edifici/>
- <http://store.uni.com>
- <http://www.enea.it/it>
- <https://dgsaie.mise.gov.it>