



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

---

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

Impianti e Sistemi di Controllo

**Valutazione dell'impatto dei sistemi di controllo negli edifici  
residenziali**  
**Evaluation of the impact of control systems in residential buildings**

Relatore:  
*Prof. Costanzo Di Perna*

Tesi di Laurea di:  
*Michele Vecchiarelli*

Anno accademico: 2022/23

## ***Sommario***

<b>0. Introduzione</b> .....	3
<b>1. Stato dell'arte</b> .....	4
1.1 Normativa Europea .....	4
1.2 Normativa Italiana .....	8
<b>2. UNI EN ISO 52120-1</b> .....	11
<b>3 Analisi del caso di studio</b> .....	17
3.1 Inquadramento generale .....	17
3.2 Inquadramento dell'impianto .....	20
<b>4. Termo</b> .....	23
4.1 Analisi con Termo .....	24
4.1.1 Dati generali .....	24
4.1.2 Modellazione architettonica .....	26
4.1.2.1 Componenti opachi .....	26
4.1.2.2 Componenti trasparenti .....	30
4.1.3 Modellazione impianto .....	31
4.1.4 Modellazione edificio .....	32
4.1.4.1 Zone termiche riscaldate .....	32
4.1.4.1 Zone termiche non calcolate .....	35
4.1.4 Risultati Termo .....	40
<b>5. TRNSYS</b> .....	40
5.1 TRNBuild .....	41
5.1.1 Modellazione in TRNBuild .....	41
5.2 Simulation Studio .....	54
5.1 Modellazione Simulation Studio .....	54
5.1.1 Convalidazione Modello .....	55
5.1.2 Modellazione dell'impianto e dei sistemi di controlli .....	60

5.1.3 Definizione dei casi di studio.....	60
5.1.3.1 Scenario 1: Classe di efficienza energetica C .....	62
5.1.3.2 Scenario 2: Classe di efficienza energetica B .....	81
5.1.3.3 Scenario 3: Classe di efficienza energetica A .....	89
<b>6. Elaborazione risultati.....</b>	<b>95</b>
6.1 UNI EN ISO 52120-1 Metodo dei fattori BAC .....	95
6.1 Simulazione scenari Simulation Studio .....	98
<b>7. Conclusioni.....</b>	<b>102</b>
<b>8. Indice delle figure.....</b>	<b>106</b>
<b>8. Indice delle tabelle.....</b>	<b>108</b>
<b>9. Bibliografia e Sitografia .....</b>	<b>109</b>

## **0. Introduzione**

In Europa il settore edilizio ha superato quello industriale e dei trasporti in termini di consumo energetico ed emissioni di gas serra, in quanto è protagonista del 40% del consumo energetico e del 36% dei gas serra. Anche in Italia il settore edilizio gode di tale primato in quanto risulta responsabile di oltre il 44% dei consumi energetici. Proprio per questo motivo le direttive sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD) prevedono politiche volte ad ottimizzare la prestazione energetica degli edifici, tramite l'implementazione di soluzioni tecnologiche alle strutture che perseguono tale scopo. Una di queste soluzioni è proprio l'oggetto di lavoro di questa tesi e sono i cosiddetti "Building Automation Control System" (BACS) e "Technical Home and Building Management" (TBM), il cui scopo è adattare il funzionamento dei sistemi tecnici per l'edilizia in base al comportamento reale degli utenti e alle condizioni ambientali esterne. Un ruolo fondamentale per il perseguimento di tali obiettivi è stata svolta dalla norma UNI EN ISO 52120-1. Tale norma fornisce l'elenco delle funzioni BACS, il metodo per individuare le classi di efficienza BACS e il metodo dettagliato e quello semplificato per valutare l'effetto dei sistemi di regolazione e controllo, sulla prestazione energetica dell'edificio.

L'obiettivo di tale lavoro di tesi, svolto presso il DIISM (Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienza Matematiche) dell'Università Politecnica delle Marche, sarà quindi quello di valutare il "Metodo dei fattori BACS" riportato nella norma UNI EN ISO 52120-1 e la sua eventuale divergenza da un caso reale, al fine di valutare l'impatto di tali tecnologie sulla prestazione energetica degli edifici. Il tutto verrà eseguito mediante un software di simulazione dinamica TRNSYS (TRaNsient System Simulation tool), prendendo in esame un intero edificio residenziale degli anni '50 sito a Milano, a differenza della norma in quanto questa fornisce i fattori BACS da un'analisi svolta considerando una singola stanza standardizzata; mentre in riferimento al software di simulazione utilizzato dalla norma è il medesimo.

## **1. Stato dell'arte**

In questo capitolo si analizza e ripercorre l'evoluzione temporale del quadro normativo europeo e del quadro normativo italiano che ha portato alle attuali prescrizioni circa l'installazione delle funzionalità BACS, al fine di evidenziarne i requisiti.

### **1.1 Normativa Europea**

L'Europa ha implementato un solido quadro normativo per promuovere il risparmio energetico ed ha iniziato ad occuparsi dell'efficienza energetica nell'edilizia nel lontano 1993, con l'introduzione della direttiva 1993/76/CE, comunemente nota come SAVE, mirata a limitare le emissioni di biossido di carbonio. Tuttavia, solo a partire dal 2002 sono state promulgate una serie di leggi comunitarie più dettagliate (EPBD I - II - III ed EED) che hanno stabilito obblighi e requisiti prestazionali, facilitando la certificazione energetica degli edifici e la promozione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica.

Queste misure hanno innescato un cambiamento significativo nell'approccio alla progettazione edilizia, favorendo il recupero e la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente e spingendo verso edifici a basso consumo energetico alimentati da fonti pulite come fotovoltaico, geotermico, eolico, idroelettrico e biomasse.

L'Europa ha attuato la principale spinta all'innovazione energetica e ambientale in edilizia. Dal 2002, infatti attraverso misure sempre più sofisticate, si è delineata una prospettiva di cambiamento nel settore edilizio, risultando strategicamente importante per affrontare i cambiamenti climatici e ridurre i costi energetici. Questo cambiamento è stato considerato cruciale per la riqualificazione urbana.

I vistosi cambiamenti climatici, riconosciuti a livello internazionale con l'adozione del Protocollo di Kyoto nel 1997, sono stati fondamentali per affrontare i problemi legati alla riduzione di emissioni di gas serra nei paesi industrializzati, spingendo anche l'Europa ad introdurre direttive mirate a promuovere l'efficienza energetica nel settore edilizio.

La Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici si può considerare l'inizio di un processo che ha sensibilizzato anche l'Italia sull'importanza di migliorare gli standard del settore edilizio e sul suo potenziale contributo alla riduzione delle emissioni dannose per il clima.

Il primo intervento dell'Europa sul rendimento energetico degli edifici può essere considerato la **Direttiva sugli Edifici ad Alte Prestazioni Energetiche 2002/91/CE (EPBD I)**, tale da rappresentare il fulcro nelle politiche europee volte a migliorare l'efficienza energetica degli edifici.

Questa direttiva ha introdotto diverse misure chiave per ridurre il consumo energetico degli edifici e le relative emissioni di gas serra.

L'aspetto più importante è stato l'istituzione di requisiti minimi di efficienza energetica per gli edifici di nuova costruzione e per le grandi ristrutturazioni degli edifici esistenti. Questi requisiti erano estremamente dettagliati e comprendevano norme sull'isolamento termico, l'efficienza dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento, nonché l'efficienza dell'illuminazione. Ciò significa che gli edifici dovevano essere progettati e costruiti per ridurre al minimo il consumo energetico, contribuendo così a ridurre l'impatto ambientale e a risparmiare risorse.

La direttiva promuove anche l'adozione di sistemi di certificazione energetica degli edifici, che forniscono informazioni dettagliate sulla prestazione energetica di un edificio e che dovevano essere resi disponibili agli acquirenti o agli inquilini. Questo strumento permetteva alle persone di prendere decisioni sulla base di informazione relative all'efficienza energetica di un edificio al momento dell'acquisto o dell'affitto, promuovendo così l'attenzione nel campo dell'efficienza energetica.

Un altro aspetto che la direttiva riconosce è l'importanza di garantire l'efficienza degli impianti di climatizzazione negli edifici, infatti introdusse l'obbligo di ispezioni periodiche degli impianti che avevano una potenza nominale superiore a 12 kW, volte a garantire che gli impianti fossero efficienti e ben mantenuti, contribuendo all'obiettivo di una maggiore efficienza energetica e a un funzionamento ottimale.

La direttiva inoltre promuove l'uso di tecnologie a basso consumo energetico negli edifici stessi considerati come i sistemi di riscaldamento e raffreddamento a pompa di calore, illuminazione a LED e finestre ad alte prestazioni energetiche, quindi tecnologie avanzate aventi il potenziale per ridurre significativamente il consumo energetico degli edifici e migliorare il loro rendimento energetico complessivo.

Infine la direttiva riconosceva il settore edilizio come protagonista responsabile del 40% del consumo energetico finale nell'Unione Europea ed essendo un settore in costante evoluzione il consumo era destinato a crescere. Per cui l'introduzione e adozione di misure atte a migliorare l'efficienza energetica in questo settore erano di rilevante importanza in maniera tale da conseguire gli obiettivi sulla sostenibilità ambientale.

Quindi la Direttiva sugli Edifici ad Alte Prestazioni Energetiche (2002/91/CE) ha introdotto un quadro normativo dettagliato e completo con l'obiettivo di migliorare l'efficienza energetica e quindi ridurre il consumo energetico insieme alle emissioni di gas serra associate agli edifici nell'Unione Europea. Inoltre con l'introduzione di tale Direttiva 2002/91/CE il Comitato Europeo di Normazione (CEN) è stato incaricato per l'elaborazione di opportune norme di calcolo e così nel luglio 2007 è nata

la norma EN15232:2007 “Prestazione energetica degli edifici- Incidenza dell’automazione, della regolazione e della gestione tecnica degli edifici” che ha permesso di valutare effettivamente l’influenza di sistemi di controllo ed automazione sull’efficienza energetica degli edifici. Successivamente tale norma è stata aggiornata nel febbraio 2012 con la versione EN15232:2012.

La Direttiva sugli Edifici ad Alte Prestazioni Energetiche (2002/91/CE) successivamente è stata modificata e aggiornata per migliorare ulteriormente l'efficienza energetica degli edifici nell'Unione Europea. Le modifiche e le direttive successive più importanti includono:

- **Direttiva 2010/31/UE (EPBD II)**, conosciuta come "Direttiva sull'Efficienza Energetica degli Edifici (recast)," adottata nel 2010 ed entrata in vigore nel 2012, ha modificato e integrato la Direttiva 2002/91/CE per rafforzare gli obiettivi di efficienza energetica degli edifici in Europa. Le principali modifiche hanno incluso:
  - l'introduzione di requisiti minimi di efficienza energetica per gli edifici, nonché l'istituzione di sistemi di certificazione energetica degli edifici.
  - differenziazione del calcolo della prestazione energetica a seconda della categoria di edificio.
  - per gli edifici di nuova costruzione viene data notevole importanza a tecnologie quali sistemi di fornitura energetica decentrati basati su fonti rinnovabili (cogenerazione, teleriscaldamento o teleraffrescamento, pompe di calore).
  - la direttiva stabilisce che a partire dal 1° gennaio 2021 tutti gli edifici di nuova costruzione siano “edifici a energia quasi zero” (NZEB), in cui il fabbisogno energetico deve essere talmente basso, o nullo, da poter essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili.
  
- **Direttiva 2012/27/UE**: Questa direttiva è stata adottata nel 2012 ed è conosciuta come la "Direttiva sull'Efficienza Energetica." Anche se non è una modifica diretta della Direttiva 2002/91/CE, può essere considerata strettamente correlata ad essa in quanto incentiva l'efficienza energetica in generale, compresa quella degli edifici. Infatti è caratterizzata da un quadro comune volto a garantire il raggiungimento dell’obiettivo relativo al miglioramento dell’efficienza energetica del 20% entro il 2020, fissando anche obiettivi indicativi a livello nazionale ed in Italia, tale direttiva è stata recepita con il **DL 102/14**.

- **Direttiva 2018/844/UE (EPBD III):** Questa direttiva è stata adottata nel 2018 ed è la più recente revisione della Direttiva 2010/31/UE (EPBD II). Quindi aggiorna la precedente normativa e la direttiva 2012/27/UE tramite:
  - Incentivazione alla ristrutturazione energetica degli edifici esistenti e l'uso delle tecnologie informatiche e intelligenti (ICT) per garantire agli edifici di operare e consumare in maniera quanto più efficiente,
  - incoraggiamento all'uso di sistemi di automazione per il controllo degli impianti,
  - sostiene la crescita delle infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici,
  - introduzione di un indicatore di "prontezza" alle tecnologie smart negli edifici, insieme alla valutazione delle prestazioni energetiche,
  - in merito alla mobilità elettrica, stabilisce requisiti per le nuove costruzioni e ristrutturazioni che includono l'installazione di punti di ricarica o la loro predisposizione.
  - il quale stabilisce le basi legislative per l'attuazione degli obiettivi energetici e climatici europei entro il 2030.

A seguito dell'emanazione della terza edizione della EPBD III (Direttiva 2018/844/UE, nel marzo del 2022 anche la normativa che riguarda i sistemi di automazione e controllo degli edifici a livello europeo è stata nuovamente modificata, con la pubblicazione del nuovo standard EN ISO 52120. Tale standard è diventato norma UNI in Italia il 4 novembre dello stesso anno, andando a sostituire la versione del 2017 della UNI EN 15232, che risulta ad oggi ritirata.

Questa nuova versione della normativa europea è stata implementata secondo le nuove tecnologie disponibili. Per questo motivo contiene più specifiche sui BACS in particolare contiene due funzioni aggiuntive di automazione sugli impianti idronici, ovvero il bilanciamento dinamico delle reti, sia per il riscaldamento che per il raffrescamento. La novità introdotta dalla norma EN ISO 52120 è lo Smart Readiness Indicatore (SRI), che esprime l'intelligenza di un edificio con un indice basandosi sulla:

- la capacità di mantenere l'efficienza energetica e il funzionamento dell'edificio mediante l'adattamento del consumo energetico,
- la capacità di adattare la propria modalità di funzionamento in risposta alle esigenze dell'occupante,
- la flessibilità della domanda di energia elettrica complessiva di un edificio.

## **1.2 Normativa Italiana**

L'Italia rispetto all'Europa, in realtà, aveva anticipato le direttive rivolte all'efficientamento energetico imposte a partire dal 1993 già anni prima. Infatti nel 1976, con la Legge 373/76, denominata "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici", aveva introdotto criteri sull'isolamento termico degli edifici e sulla progettazione degli impianti termici. Successivamente, nel 1991, è stata emanata la Legge 10/91, che ha regolamentato ed in parte continua a farlo, le modalità progettuali e la gestione del sistema edificio/impianto con la quale l'Italia gettava le basi per la politica energetica nazionale presentando come soluzione il risparmio e l'uso razionale dell'energia e lo sviluppo e la diffusione delle fonti energetiche rinnovabili. Con questa legge e le successive modifiche ed integrazioni, in particolare con il D.P.R. 26 agosto 1993 n.412 introducendo la suddivisione in zone climatiche del territorio in base ai gradi giorno a cui vengono abbinate informazioni sulla durata della stagione di riscaldamento, sulle ore giornaliere di accensione degli impianti e sulle temperature massime per gli ambienti riscaldati. Inoltre viene introdotta una classificazione degli edifici in base alla destinazione d'uso.

Con il Decreto Legislativo 192/2005, l'Italia poi ha iniziato a seguire la normativa europea, adattando i contenuti della **Direttiva sugli Edifici ad Alte Prestazioni Energetiche (2002/91/CE)**, alle specifiche esigenze nazionali. Le richieste imposte dalla normativa rappresentarono un cambiamento radicale per l'Italia, e il recepimento nazionale della Direttiva attraverso il **Decreto Legislativo 192/2005** rappresenta una svolta fondamentale nell'approccio alla progettazione di sistemi energetici legati all'edilizia edile rispetto alle procedure tradizionali precedenti a questi decreto. La Direttiva impone ai paesi membri lo sviluppo e metodi di calcolo per la certificazione energetica degli edifici uniformi e trasparenti con l'obiettivo di mettere al centro del mercato immobiliare il rendimento energetico. Per seguire la Direttiva europea, quindi il D.Lgs 192/05 "stabilisce i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica, contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra posti dal protocollo di Kyoto, promuovere la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico".

Le principali disposizioni di questo decreto includono:

- Metodologia di calcolo energetico: La legge stabilisce una metodologia dettagliata per il calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici, fornendo i riferimenti normativi necessari. Tale calcolo tiene conto del consumo energetico effettivo o previsto per soddisfare le diverse esigenze legate all'utilizzo standard degli edifici.

- Requisiti minimi di prestazione energetica: Il decreto stabilisce criteri per l'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche per gli edifici e i relativi impianti, garantendo che essi rispettino determinati standard energetici.
- Certificazione energetica: Introduce normative dettagliate per la certificazione energetica degli edifici, compresa l'obbligo di redigere l'Attestato di Certificazione Energetica e l'Attestato di Qualificazione Energetica. Inoltre, introduce il concetto di diagnosi energetica per valutare le prestazioni energetiche degli edifici.
- Ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione: Specifica che le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione spettano al conduttore dell'impianto, che può essere il proprietario o un terzo responsabile. Questo assicura che gli impianti siano efficienti e ben mantenuti.
- Qualificazione degli esperti: Il decreto stabilisce criteri per la qualificazione e l'indipendenza degli esperti incaricati della certificazione energetica e delle ispezioni degli impianti.
- Raccolta di informazioni: Il decreto promuove la raccolta di dati e informazioni, oltre a ricerche e studi necessari per orientare la politica energetica nel settore edilizio.
- Promozione dell'uso razionale dell'energia: L'iniziativa promuove l'uso razionale dell'energia attraverso campagne di informazione e sensibilizzazione degli utenti finali, la formazione e l'aggiornamento degli operatori del settore.

In sintesi, il Decreto Legislativo 192/05 è uno strumento legislativo molto importante mirato a migliorare l'efficienza energetica nel settore edilizio italiano, in maniera tale da garantire un contributo al raggiungimento degli obiettivi ambientali e a promuovere contemporaneamente la sostenibilità energetica.

La **Legge 90/2013** rappresenta il passo successivo all'efficienza energetica nell'edilizia in Italia tramite nell'adozione della Direttiva 2010/31/UE (EPBD II) seguente alla Direttiva 2002/91/CE (EPBD I). Questa legge introduce modifiche e integrazioni significative al Decreto Legislativo 192/2005, il cui recepimento iniziale era stato regolamentato dal **Decreto Legislativo 63/2013**. Le disposizioni della Legge 90/2013, inoltre, sono state affinate e rese operative attraverso vari decreti attuativi.

Un aspetto molto importante introdotto dalla Legge 90/2013 è la definizione di "edificio a energia quasi zero" (NZEB) caratterizzati da standard energetici molto ambiziosi che gli edifici devono soddisfare per essere considerati quasi a zero consumo energetico, così da seguire gli obiettivi comunitari in materia di edifici a energia quasi zero.

La Legge 90/2013 stabilisce anche nuovi criteri per l'aggiornamento e la programmazione degli standard prestazionali degli edifici, tra i quali sono inclusi requisiti sia per l'involucro edilizio che per

gli impianti, comprese le fonti di energia rinnovabile in modo da allineare l'Italia agli obiettivi fissati a livello europeo per promuovere gli edifici a energia quasi zero.

In sintesi, la Legge 90/2013 completa e arricchisce il quadro normativo in Italia in risposta alla Direttiva 2010/31/UE, intensificando gli sforzi per migliorare l'efficienza energetica nell'edilizia e promuovere la realizzazione di edifici a energia quasi zero nel Paese.

Inoltre, grazie al D. Lgs 63/13 nasce l'Attestato di Prestazione Energetica o APE. Nel calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio, oltre a climatizzazione invernale, estiva e produzione dell'acqua calda sanitaria, sono ora considerati anche la ventilazione, l'illuminazione (per il terziario) e l'energia richiesta da eventuali impianti ascensori o scale mobili.

Il 26 giugno 2015 sono stati introdotti tre importanti decreti che completano il quadro normativo nazionale in termini di efficienza energetica degli edifici, definendo il campo di applicazione della legge 90/2013, completando quindi l'attuazione della Direttiva 31/2010/UE iniziato con il Dlgs. 63/13 convertito con tale legge. Questi tre decreti sono:

- DM 26/06/2015 – Requisiti prestazionali minimi, che definisce i requisiti prestazionali minimi degli edifici, imponendo l'obbligo di progettazione degli edificio secondo i dettami della EN15232;
- DM 26/06/2015 – Linee Guida APE (certificazione energetica), che definisce la certificazione energetica degli edifici;
- DM 26/06/2015 – Relazione Tecnica, che definisce le modalità di elaborazione delle relazioni tecniche di progetto.

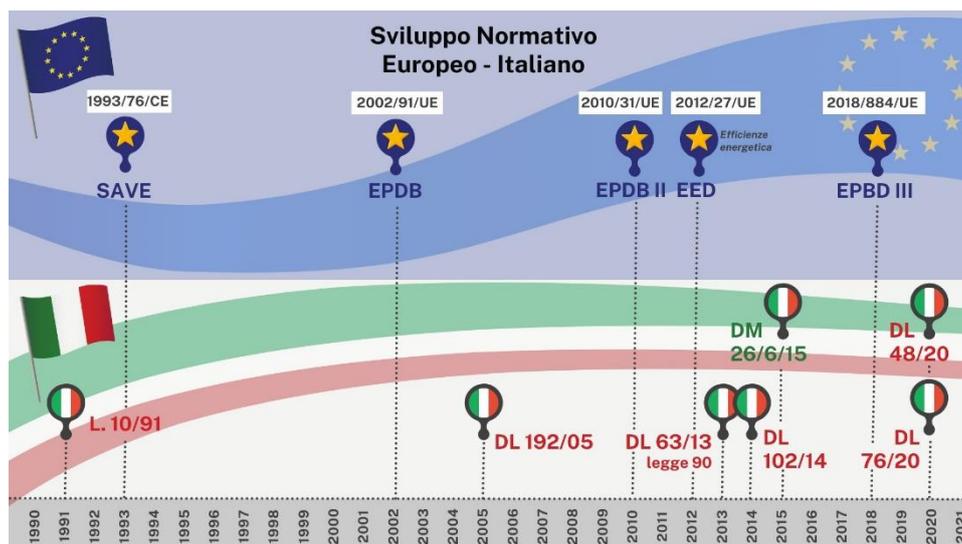
Successivamente la **Direttiva 2018/844/UE (EPBD III)** è stata attuata dal **D. Lgs 48/2020** e dal **D.Lgs 76/2020**.

// **D. Lgs 48/2020** definisce:

- i criteri per la formulazione di una strategia a lungo termine per la riqualificazione del patrimonio edilizio;
- introduce significative novità per l'Attestato di Prestazione Energetica (APE);
- ridefinisce la definizione di impianto termico;
- esclude dalla sua applicazione gli edifici dichiarati inagibili o pericolanti;
- impone la necessità di integrare infrastrutture per la ricarica dei veicoli elettrici negli edifici; promuovendo così la mobilità elettrica.

Per quanto riguarda il **D.Lgs 76/2020**, esso contiene disposizioni che hanno l'obiettivo di migliorare l'efficienza energetica e allo stesso tempo contribuire al risparmio energetico a livello nazionale, seguendo quindi anche gli obiettivi energetico-climatici comunitari a lungo termine legati decarbonizzazione dell'economia da qui al 2050, e adottati dall'Italia con il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC).

A seguito dell'emanazione della terza edizione della EPBD III, come detto anche la EN15232 è stata aggiornata e sostituita tramite la pubblicazione nel dicembre 2021 della ISO 52120, definendo i metodi di calcolo e di verifica per stimare i risparmi ottenibili utilizzando i sistemi di gestione e controllo automatico degli impianti in funzione proprio del loro grado di implementazione definendo anche per essi delle classi (A, B, C, D) correlate al risultato ottenibile, entrata poi in vigore nel marzo 2022. Tale standard è diventato norma UNI il 4 novembre dello stesso anno.



*Figura 1 Inquadramento normativo*

## **2. UNI EN ISO 52120-1**

Di seguito in questo capitolo verrà fatta un'analisi approfondita della norma UNI EN ISO 52120-1, che si occupa appunto del contributo dei sistemi di automazione, controllo e gestione per le prestazioni energetiche e il comfort degli edifici. Questa norma è stata pubblicata nel marzo 2022 e ha sostituito la precedente norma EN 15232-1 del 2017: Impatto dell'automazione degli edifici, dei controlli e della gestione degli edifici.

Lo standard UNI EN ISO 52120 definisce i sistemi di automazione e controllo degli edifici (BACS) come un sistema che comprende tutti i prodotti, software e servizi di ingegneria per controlli automatici (compresi gli interblocchi), monitoraggio, ottimizzazione, funzionamento, intervento umano e gestione per ottenere energia funzionamento efficiente, economico e sicuro dei servizi dell'edificio.

Pertanto, i BACS sono tutti i sistemi di controllo degli edifici, sistemi di gestione degli edifici e sistemi di gestione dell'energia degli edifici che rispettano i requisiti della norma ISO 16484, che spiega come questi sistemi devono essere progettati e implementati in un edificio.

La norma UNI EN ISO 52120 è suddivisa in quattro parti principali:

- prima parte: contiene un elenco delle funzioni di automazione e controllo degli edifici e delle funzioni tecniche di gestione degli edifici che impattano la prestazione energetica degli edifici, classificate secondo le discipline edilizie;
- seconda parte: contiene un elenco delle classi di efficienza BACS, individuando i requisiti minimi che un edificio deve avere per raggiungere diversi livelli di automazione e controllo;
- terza parte: definisce un metodo basato sui fattori per una prima valutazione dell'impatto delle funzioni BACS su un edificio, usato per una stima approssimativa dell'impatto dell'automazione, del controllo e della gestione degli edifici sulla prestazione energetica di un edificio sulla base di una data prestazione energetica (un consumo misurato o una domanda calcolata) correlata ad una certa classificazione di efficienza BAC dell'edificio,
- quarta parte: definisce cinque metodi di calcolo dettagliati per valutare l'effetto delle funzioni BACS su un edificio, per un'analisi precisa delle prestazioni energetiche di un edificio utilizzabile nel caso in cui siano disponibili informazioni dettagliate sull'edificio, sui sistemi HVAC e in particolare sul tipo di funzioni di automazione, controllo e gestione che possono essere applicate in un metodo di calcolo EPB.

La norma EN ISO 52120 descrive le funzioni di Building Automation and Control (BAC) e Technical Building Management (TBM) che contribuiscono alla prestazione energetica di un edificio. I BACS sono descritti come prodotti, software e servizi di ingegneria per controlli automatici, monitoraggio e ottimizzazione, che consentono il controllo delle funzioni che influiscono l'efficienza energetica. Le funzioni possono essere riscaldamento, raffreddamento, ventilazione, condizionamento dell'aria, acqua calda sanitaria, apparecchi di illuminazione schermature solari. Per

ridurre i consumi energetici e le emissioni di CO<sub>2</sub> ma contemporaneamente garantendo il comfort termico all'interno dell'ambiente, i BACS sono in grado di adattarsi alle reali abitudini degli utenti dell'edificio.

Per TBM invece si intendono i processi e i servizi legati al funzionamento e alla gestione degli edifici e dei sistemi tecnici di costruzione attraverso le interrelazioni tra le diverse discipline e mestieri, capaci di fornire informazioni sulla manutenzione, funzionamento, servizio e gestione dell'edificio, in particolare sulla gestione energetica dell'edificio per migliorare le sue prestazioni energetiche.

I BAC e TBM possono essere combinati a seconda delle esigenze per raggiungere un livello ottimale di automazione e controllo degli impianti installati in un edificio. È possibile avere un sistema semplice o complesso a seconda delle funzionalità BACS E TBM installate, di cui un elenco è riportato nella Tabella A.1 nell'Appendice A.

Lo standard definisce quattro diverse classi di efficienza BACS a seconda del livello di funzioni implementate.

Il livello da raggiungere dipende dal fatto che l'edificio sia residenziale o meno. Le classi di efficienza BACS sono:

- classe D: livello “non efficiente”, il livello più basso. comprende gli impianti tecnici tradizionali e privi di automazione e controllo, non efficienti dal punto di vista energetico;
- classe C: livello “standard”. È il livello minimo di controllo e automazione che un edificio deve avere secondo la norma UNI EN ISO 52120. La tabella A.2 nell'Appendice A descrive il livello minimo di ciascuna funzione per poter essere classificato come edificio di classe C, corrisponde agli impianti dotati di sistemi di automazione e controllo degli edifici (BACS) “tradizionali”, eventualmente dotati di BUS di comunicazione, comunque a livelli prestazionali minimi rispetto alle loro reali potenzialità;
- classe B: livello “avanzato”. comprende gli impianti dotati di un sistema di automazione e controllo (BACS) avanzato e dotati anche di alcune funzioni di gestione degli impianti tecnici di edificio (TBM) specifiche per una gestione centralizzata e coordinata dei singoli impianti. “I dispositivi di controllo delle stanze devono essere in grado di comunicare con il sistema di automazione dell'edificio”.
- classe A: livello “ad alta prestazione energetica”. Corrisponde a sistemi BAC e TBM “ad alte prestazioni energetiche” cioè con livelli di precisione e completezza del controllo automatico tali da

garantire elevate prestazioni energetiche all'impianto. "I dispositivi di controllo delle stanze devono essere in grado di gestire impianti HVAC tenendo conto di diversi fattori (ad esempio, valori prestabiliti basati sulla rilevazione dell'occupazione, sulla qualità dell'aria ecc.) ed includere funzioni aggiuntive integrate per le relazioni multidisciplinari tra HVAC e vari servizi dell'edificio (ad esempio, elettricità, illuminazione, schermatura solare ecc.)"

Con l'obiettivo di aumentare l'efficienza energetica del patrimonio edilizio, la norma richiede che la classe di efficienza BACS minima sia almeno la classe C per i nuovi edifici e per gli edifici sottoposti a ristrutturazioni importanti, a meno che non siano richiesti requisiti aggiuntivi da parte delle autorità pubbliche.

La classe di efficienza BACS viene determinata esaminando le funzioni che contribuiscono in modo significativo all'efficienza energetica, per essere tali si considerano solo le funzioni che hanno un impatto sui consumi energetici superiore al 5% dell'energia totale utilizzata dall'edificio.

La tabella 6 della norma UNI EN ISO 52120-1 fornisce il livello di implementazione che ciascuna funzione deve avere per raggiungere le diverse classi di efficienza BACS.

Come detto la norma prevede due metodi per valutare l'impatto delle funzioni BACS:

- Metodo dei fattori BACS
- Metodo Dettagliato

Il metodo dei fattori BACS semplifica il calcolo dell'impatto che le funzioni BACS hanno sull'efficienza energetica degli edifici e viene utilizzato generalmente nella fase preliminare della progettazione.

Permette di stimare in modo semplice e su base statistica (definita a partire da un campione rappresentativo di edifici e sotto determinate condizioni, l'impatto dell'applicazione dei sistemi BACS e TBM sull'ammontare di consumo energetico degli impianti tecnici degli edifici in un arco temporale stabilito. L'ammontare di consumo energetico include:

- energia termica e per gli ausiliari in ingresso al sistema di riscaldamento, calcolata secondo la EN 15316;
- energia termica e per gli ausiliari in ingresso al sistema di raffrescamento, calcolata secondo la EN 15255;

- energia termica in ingresso all'impianto dell'acqua calda sanitaria, calcolata secondo la EN 15316;
- energia elettrica in ingresso al sistema di ventilazione, calcolata secondo la EN 15241;
- energia elettrica in ingresso al sistema di illuminazione, calcolata secondo la EN 15193.

L'impatto di ciascuna funzione viene calcolato su un anno e tramite questo metodo si fa riferimento al consumo di energia termica ed elettrica di classe C, al quale poi applicare un fattore correttivo in base alla reale classe BACS dell'edificio per calcolare l'energia termica ed elettrica necessaria alla classe definita.

I fattori correttivi determinati dalla norma EN ISO 52120 sono riepilogati nelle Tabelle A.3, A.4 e A.5 dell'Appendice A. Le tabelle forniscono valori diversi a seconda della destinazione d'uso dell'edificio e della classe di efficienza BACS. Tali valori sono 1 per la classe di riferimento C, tra 1 e 1,5 per la classe D, tra 1 e 0,3 per le classi B e A. Inoltre, i fattori utilizzati per la classe B sono sempre maggiori di quelli utilizzati per la classe A, come si può vedere dalle Tabelle A.3, A.4 e A.5.

Poiché i fattori utilizzati per la classe D sono maggiori di uno, i consumi di energia termica ed elettrica della classe D saranno superiori a quelli della classe di riferimento invece i fattori utilizzati per le classi B e A sono inferiori a uno, quindi i valori di consumi di energia termica ed elettrica di tali classi saranno inferiori a quelli della classe di riferimento.

In accordo con le ipotesi e le condizioni limite riportate nel paragrafo 6.1, gli impatti dei sistemi BACS e TBM (passando da una classe di efficienza all'altra) sono stati quantificati attraverso due set di fattori BACS, per applicazioni in ambito residenziale e non-residenziale:

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

Il consumo energetico termico ed elettrico di riferimento di un edificio può essere calcolato con qualsiasi algoritmo dedicato, come standard EPB, standard ISO, legislazione nazionale o locale. In ogni caso, la procedura di calcolo scelta per la stima del consumo energetico utilizzato in input al metodo dei fattori BACS varrà per lo specifico edificio, il suo utilizzo e le sue specifiche condizioni climatiche legate all'ubicazione, inoltre i fattori BACS saranno indipendenti dalla procedura scelta.

## **Calcolo dettagliato del contributo BACS alla prestazione energetica di edifici**

Per quanto riguarda invece il calcolo dettagliato la norma EN ISO 52120-1 identifica cinque diversi metodi per valutare analiticamente il contributo del BAC e del TBM nella prestazione energetica di un edificio.

I calcoli di questi metodi dettagliati possono essere effettuati:

- annualmente;
- stagionalmente;
- mensilmente;
- ogni ora.

Inoltre, per tenere conto del reale funzionamento dell'edificio, è possibile applicare il metodo di calcolo dinamico per la valutazione della prestazione energetica dell'edificio.

I cinque diversi approcci per valutare l'impatto delle funzioni BACS sono:

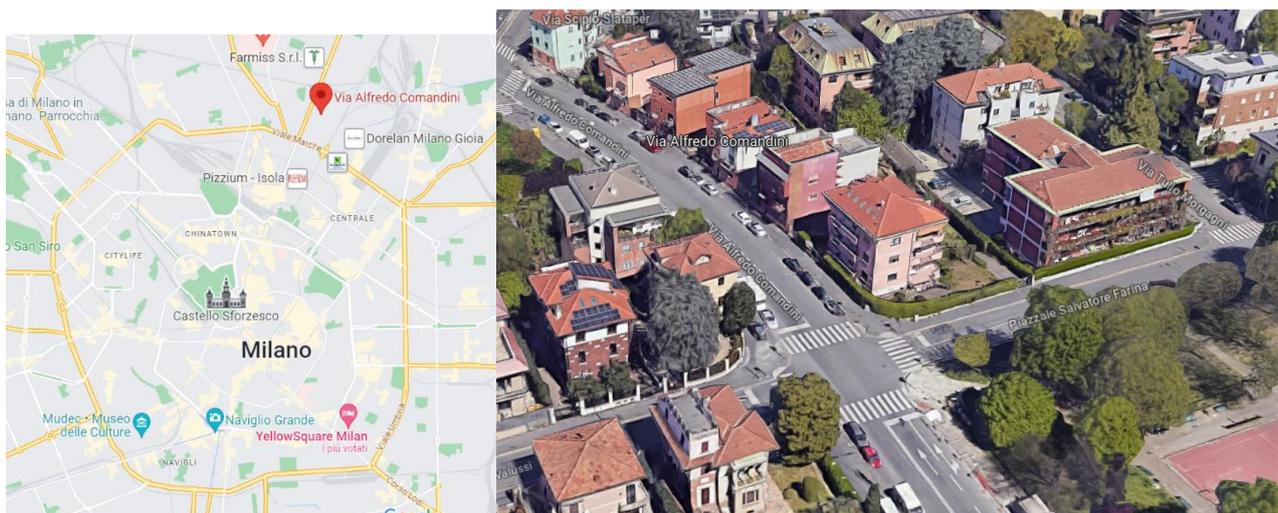
- Metodo diretto: il calcolo delle prestazioni energetiche si basa su un metodo di simulazione dettagliato o un metodo di simulazione oraria basato sulla norma EN ISO 52016-1 [18]. Questo metodo permette di calcolare direttamente l'impatto di varie funzioni.
- Metodo basato sulla modalità operativa: considera le diverse modalità operative per ogni singolo sistema. L'impatto del controllo automatico sul consumo energetico prevede di calcolare in sequenza il consumo energetico per ogni modalità operativa, ottenendo il totale per somma di ogni modalità operativa.
- Metodo basato sul tempo di funzionamento: utilizzabile quando il sistema di controllo ha un impatto diretto sul tempo di funzionamento di uno dei dispositivi. L'impatto del sistema di controllo è valutato attraverso un coefficiente caratteristico che caratterizza la funzione considerata. Tale coefficiente è calcolato come rapporto fra la durata dell'azione di controllo dei dispositivi e la durata dell'intervallo di tempo considerato.
- Metodo basato sulla temperatura di stanza: utilizzabile quando il sistema di controllo ha un impatto diretto sulla temperatura della stanza. Ad esempio, tiene conto degli impatti dovuti al controllo delle emissioni del riscaldamento e del raffreddamento o dovuti ai controllori ambientali.

- Metodo del coefficiente di correzione: utilizzabile quando il sistema di controllo agisce in modo combinato su diversi fattori come ad esempio: tempi di funzionamento, set point di temperatura, ecc. Il coefficiente di correzione è determinato, mediante alcune simulazioni, a partire da parametri rilevanti come: tipo di edificio, tipo di sistema, profilo dell'utente; clima ecc.

### **3 Analisi del caso di studio**

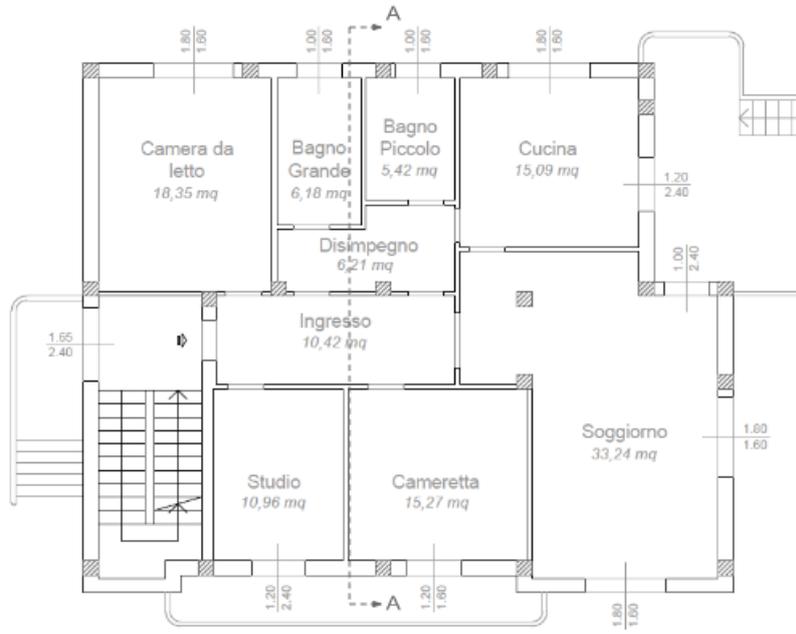
#### **3.1 Inquadramento generale**

Per il seguente lavoro di tesi l'oggetto di studio è un edificio di metà anni '50 ad uso residenziale, situato in un quartiere residenziale non molto distante dal centro di Milano, in Via A. Comandini . Più precisamente parliamo di un condominio composto da tre unità immobiliari ciascuna di circa 127 mq, un sottotetto non abitabile con ripostigli riservati agli occupanti dei piani sottostanti e un piano seminterrato adibito a garage depositi e centrale termica accessibile sia internamente dal vano scala del condominio, che esternamente passando dalla corte.

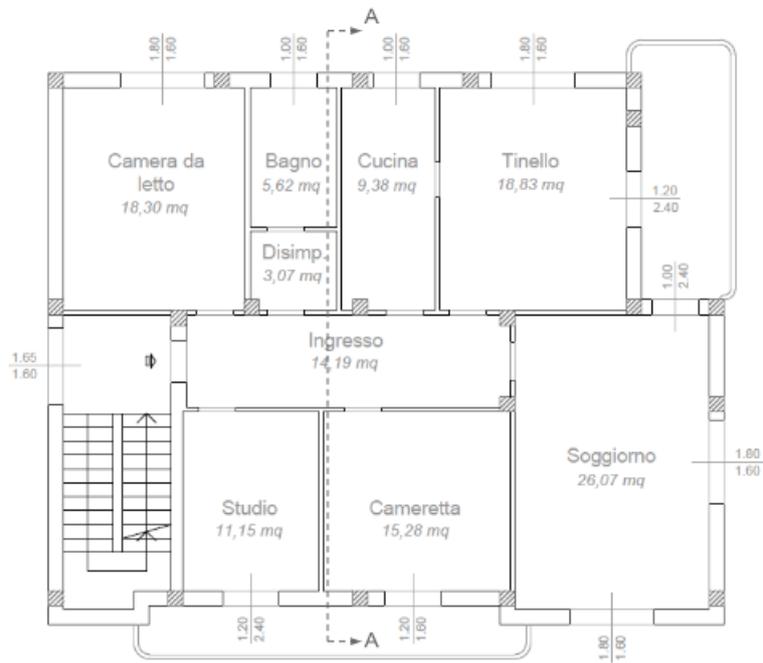


**Figura 2** Individuazione oggetto di studio

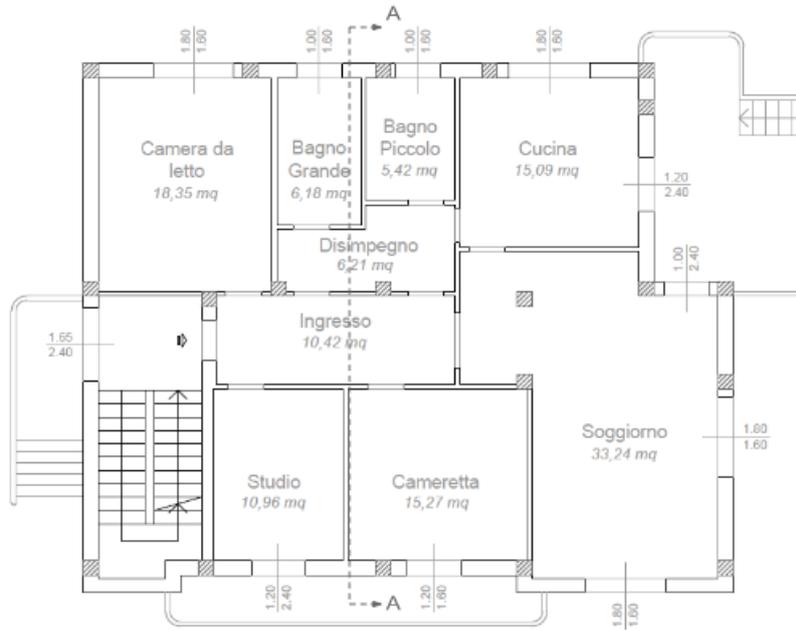
Le tre unità immobiliari risultano essere molto simili dal punto di vista architettonico, le uniche differenze riguardano la destinazione d'uso e la relativa distribuzione interna dei vani dell'appartamento al piano primo rispetto agli altri due e le altezze di interpiano che risultano essere leggermente diverse tra le tre unità, infatti per il piano rialzato l'altezza è di 3,15m mentre per i piani primo e secondo è di 2,95m, l'altra differenza è legata alla destinazione d'uso e ai metri quadri dei vani del piano primo rispetto agli altri due, come è possibile vedere dalle Figure 1,2,3,4.



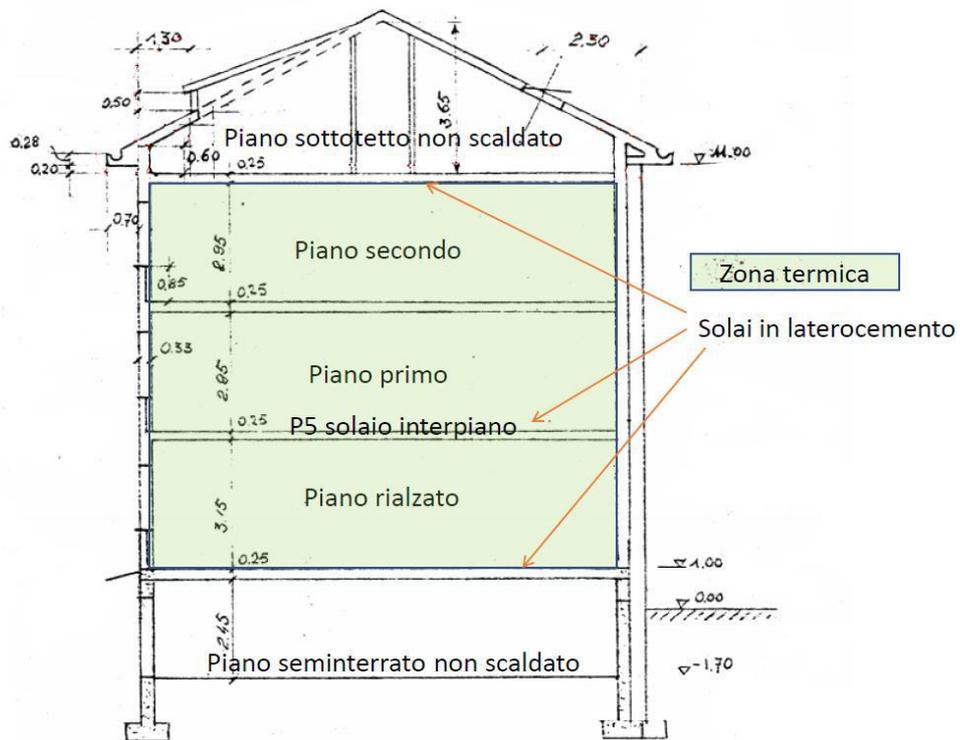
**Figura 3** *Pianta Piano Rialzato*



**Figura 4** *Pianta Piano Primo*



**Figura 5** Pianta Piano Secondo



**Figura 6** Sezione A-A

Dato che si sta valutando il comportamento dell'edificio al variare delle condizioni ambientali, sono stati indicati nella tabella seguente anche i principali dati climatici della zona in cui si trova l'edificio oggetto di studio:

<b>Dati</b>	<b>Valore</b>
Zona Climatica	E
Temperatura esterna di progetto [°C]	-5
Gradi giorno (D.P.R 412/93)	2404
Periodo di riscaldamento [gg]	181

*Tabella 1 Dati climatici Milano*

### **3.2 Inquadramento dell'impianto**

L'edificio caso di studio presenta una centrale termica localizzata come detto nel cantinato seminterrato. L'impianto termico per il riscaldamento invernale è quindi centralizzato ed è costituito da un circuito primario e secondario.

- Il circuito primario in tubi di acciaio da 2" coibentati ed è costituito da:
  - una caldaia murale a condensazione Buderus Logamax plus-GB 162 70, solo riscaldamento, installabile singolarmente o con sistema a cascata. versione a metano convertibile a GPL (propano) avente una potenza termica nominale di 62,6 kW e una temperatura massima d'esercizio di 95°C;
  - uno scambiatore di calore a piastre 16 bar che separa il circuito primario dal secondario,
  - un vaso d'espansione da 24 litri;
  - una pompa di circolazione ad alta efficienza a bocchettoni regolata elettronicamente Wilo Strato Paro 25 1/8.
- Il circuito secondario che parte dalla centrale termica in tubi di acciaio da 2" e 1/4" coibentati nel cantinato e una di acciaio di 1/4" e 3/8" non coibentati per la distribuzione verticale e orizzontale ai piani ed è costituito da:
  - un'altra pompa di circolazione ad alta efficienza a bocchettoni regolata elettronicamente Wilo Strato 30 1/10;
  - un vaso di espansione da 80 litri;
  - un defangatore;
  - un addolcitore;

- un contatore.

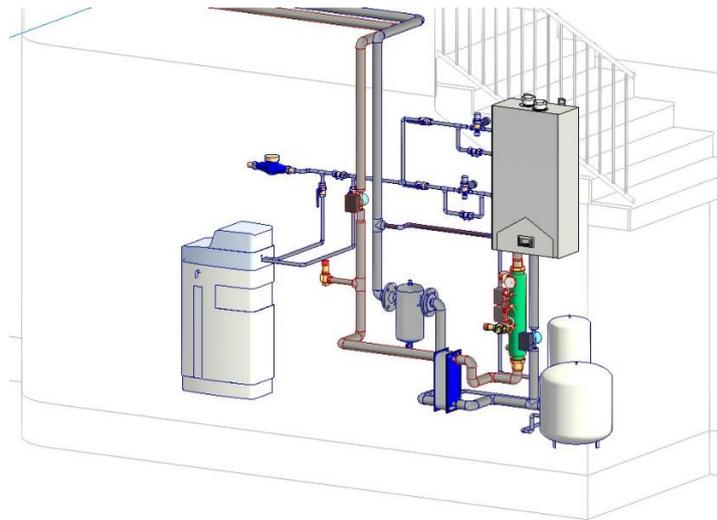
Per una maggiore comprensione dell'impianto di seguito vengono riportate delle documentazioni fotografiche e una serie di elaborati realizzati con il software Revit, da cui si può vedere una rappresentazione tridimensionale della centrale termica e una rappresentazione del sistema di distribuzione ai vari piani.



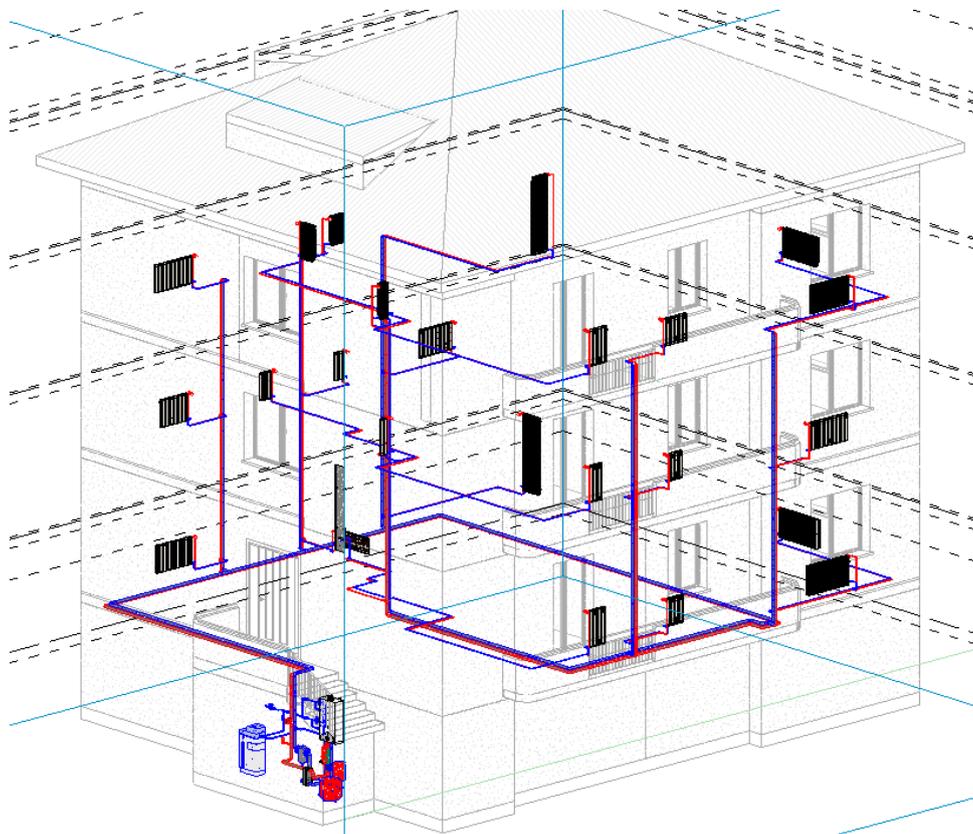
*Figura 7 Centrale termica*



*Figura 8 Mandata-Ritorno circuito secondario centrale termica*



*Figura 9 Modello centrale termica Revit*



*Figura 10 Modello impianto di riscaldamento Revit*

## 4. Termo

Note le informazioni architettoniche e impiantistiche dell'edificio (piante, prospetti, sezioni, schema dell'impianto termico ecc..) il primo passo fatto è stato quello di valutare le prestazioni energetiche dello stesso inserendo tali dati nell'interfaccia del primo software utilizzato per tale valutazione ovvero Namirial Termo.

Grazie a questo software è stato possibile ottenere il fabbisogno di energia per il riscaldamento dell'intero edificio, per il quale è garantita la condizione di comfort durante la stagione di riscaldamento che va dal 15 ottobre al 15 di aprile. Questo dato a stato poi utilizzato per la convalidazione del modello dell'edificio in TRNSYS alle medesime condizioni al contorno, così da procedere con gli sviluppi successivi.

Il software termotecnica Namirial Termo è aggiornato al DM 26/06/2015 (DM requisiti minimi) e alle nuove linee guida nazionali e calcola l'indice di prestazione energetica (EPgl) dell'edificio secondo le nuove UNI/TS 11300. Il software è anche conforme alla la UNI/TS 11300 parte 3 per il calcolo dei fabbisogni di energia primaria per la climatizzazione estiva e alla UNI/TS 11300 parte 4 per il calcolo delle prestazioni dell'edificio con l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.

L'interfaccia di questo software è molto schematica e di facile interpretazione, come è possibile vedere dall'immagine sottostante.

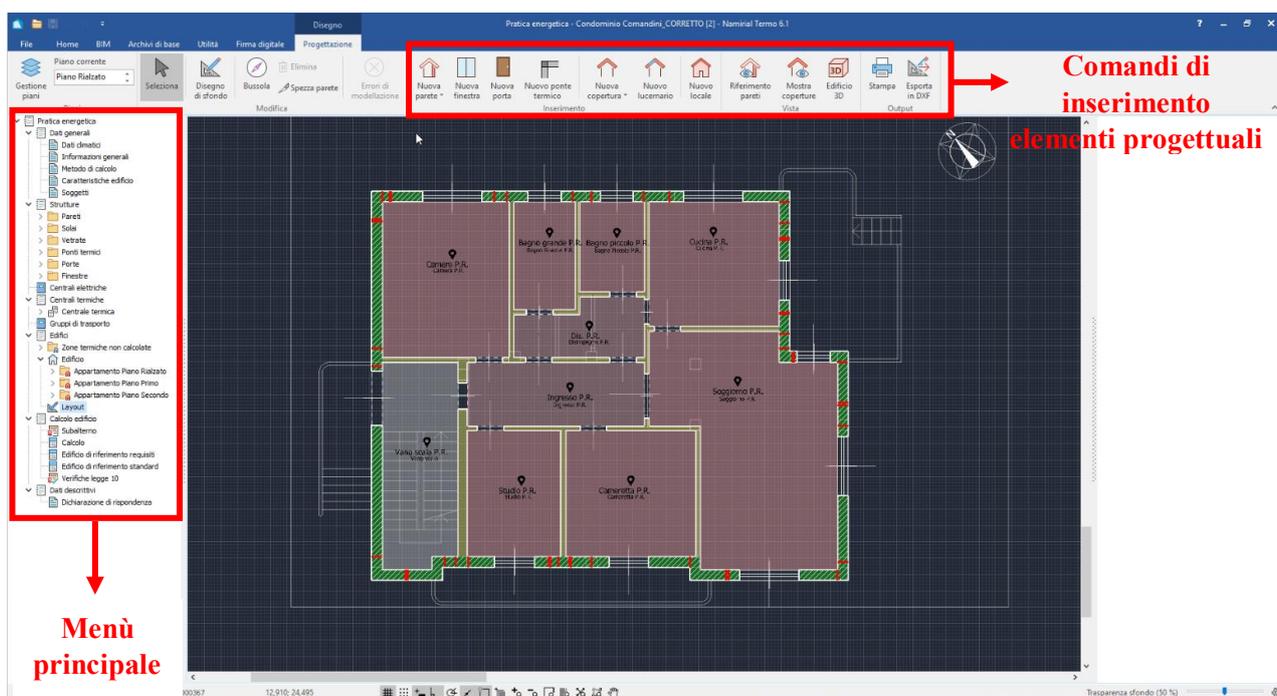


Figura 11 Interfaccia software Namirial Termo

Sono presenti diverse schede come dati generali, strutture, centrali elettriche, centrali termiche, edifici, ecc. All'interno di ognuna ci delle sezioni che vanno compilate.

Una volta completato la compilazione delle varie schede e realizzato il modello con opportuni strumenti di disegno, è stato eseguito il calcolo e quindi la stampa della relazione di calcolo per ottenere il fabbisogno di energia per il riscaldamento. Di seguito sono stati riportati i passaggi salienti utili alla la modellazione dell'edificio, che sono stati eseguiti.

#### 4.1 Analisi con Termo

Per ricavare la relazione di calcolo e quindi il fabbisogno di energia per il riscaldamento è stato necessario compilare le varie schede come dati generali, strutture, centrali termiche ed edifici dell'interfaccia Termo.

##### 4.1.1 Dati generali

Il primo passo è stato quello di compilare la scheda "Dati generali"

Nella sezione "Dati climatici" è stata selezionata la località di Milano dall'archivio dei comuni italiani inserendo di conseguenza i dati climatici caratteristici nel software

The screenshot displays the 'Dati climatici Termo' interface with the following data:

- Dati località:** Comune: Milano; Provincia: MI; Codice ISTAT: 015146; Codice catastale: F205; Regione: Lombardia; Altitudine: 122 m; Latitudine: 45°27'00".00; Longitudine: 09°11'00".00; Gradi giorno: 2.404 °C; Zona climatica: E; Zona di vento: 1.
- Temperatura esterna di progetto:** Invernale: -5,0 °C; Estiva: 31,9 °C.
- Umidità relativa interna:** Invernale: 50,0 %; Estiva: 50,0 %.
- Zona geografica:** Italia Settentrionale Transpadana.
- Province di riferimento:** Milano, Pavia.
- Giorni di riscaldamento:** 183.
- Coefficiente di schermatura dal vento:** Sito riparato (centro città).
- Conduktività terreno:** 2,0 W/mK.
- Irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione:** 269,7 W/m².

**Figura 12** Dati climatici Termo

Nella sezione "Informazioni generali" è stata inserita la via dove è localizzato l'edificio il tipo di verifica quindi Legge 10 e la destinazione d'uso dell'edificio ovvero E.1 (1) edificio adibito a residenza con carattere continuo.

Progetto per la realizzazione di	<input type="text"/>	
Comune	<input type="text" value="Milano"/>	Provincia <input type="text" value="MI"/>
Indirizzo	<input type="text" value="Via Alfredo Comandini"/>	
Civico	<input type="text" value="4"/>	CAP <input type="text" value="20100"/>
Tipo verifica		
<input checked="" type="checkbox"/> Legge 10 <input type="checkbox"/> Detrazioni fiscali		
Tipo calcolo		
<input type="checkbox"/> Diagnosi energetica		
Titolo abilitativo		
<input type="text" value="Richiesta Permesso di Costruire"/>		n° <input type="text"/>
Data	<input type="text" value="20/02/2023"/>	
Classificazione edificio	<input type="text" value="E.1 (1)"/>	Temperatura di progetto invernale <input type="text" value="20,0"/> °C
		Temperatura di progetto estiva <input type="text" value="26,0"/> °C

**Figura 13** Informazioni generali Termo

L'ultima sezione compilata di questa scheda è "Metodo di calcolo" in cui è stata inserita la normativa di riferimento di riferimento cioè Nazionale D.lgs 192/2005 e UNI-TS 11300, il tipo di intervento ovvero riqualificazione energetica e di impianto ovvero nuovo impianto o ristrutturazione di impianti termici in edifici esistenti, il metodo di calcolo dello scambio termico con il terreno cioè UNI EN ISO 13370 e infine la modalità di inserimento dei dati cioè tramite cad.

Normativa di calcolo / verifica	
Data di applicazione verifiche	<input type="text" value="06/02/2023"/>
Normativa	<input type="text" value="Nazionale - D.Lgs 192/2005 - UNI/TS 11300"/>
<input type="checkbox"/> Attiva metodo dinamico orario	
Tipo di intervento	
Edificio	<input type="text" value="Riqualificazione energetica"/>
Impianto	<input type="text" value="Nuova installazione o ristrutturazione di impianti termici in edifici esistenti"/>
<input type="checkbox"/> Prevede l'isolamento termico dall'interno o in intercapedine	
Metodo di calcolo	
Scambi terreno	<input type="text" value="Analitico - UNI EN ISO 13370"/>
Capacità termica	<input type="text" value="Analitico - UNI EN ISO 13786"/>
Carichi estivi	<input type="text" value="Nessuno"/>
Modalità di inserimento dati	<input type="text" value="Inserimento dati tramite CAD"/>
<input type="checkbox"/> Usa livello medio del terreno	
Modalità di input superfici disperdenti	<input type="text" value="Superfici esterne"/>

**Figura 14** Metodo di calcolo Termo

#### 4.1.2 Modellazione architettonica

Prima di modellare l'edificio per via grafica nella scheda "Edificio" sezione "Layout" è stato necessario inserire i componenti opachi e trasparenti quali tamponature, divisori, solai, copertura e serramenti dell'edificio nella scheda "Strutture" andando a compilare i campi richiesti, facendo fede ai dati dell'edificio.

##### 4.1.2.1 Componenti opachi

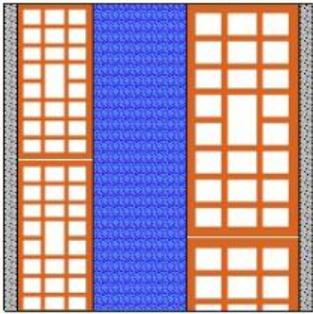
I primi componenti inseriti sono quelli opachi che di seguito verranno riportate in elenco:

##### *Tamponatura esterna 33 cm*

Tipologia  ⓘ

Parametri termici noti

Descrizione (dall'interno verso l'esterno)	R [m <sup>2</sup> K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,130	
Malta di calce o di calce e cemento	0,017	1,5
Mattoni forati (800 kg/m <sup>3</sup> ) spessore 80	0,200	8,0
Intercapedine d'aria	0,183	10,0
Mattoni forati (800 kg/m <sup>3</sup> ) spessore 120	0,310	12,0
Malta di calce o di calce e cemento	0,017	1,5
Resistenza superficiale esterna	0,040	
<b>Totale:</b>	<b>0,896</b>	<b>33,0</b>



Escludi dalle verifiche

Trasmittanza  W/m<sup>2</sup>K ⓘ

Massa superficiale  kg/m<sup>2</sup>

Trasmittanza periodica  W/m<sup>2</sup>K

Trasmittanza periodica limite  W/m<sup>2</sup>K

Sfasamento  h

Smorzamento

Capacità termica interna  kJ/m<sup>2</sup>K

Caratteristiche del materiale isolante

Inserimento

Trasmittanza ante operam

**Figura 15** Tamponatura esterna 33cm Termo

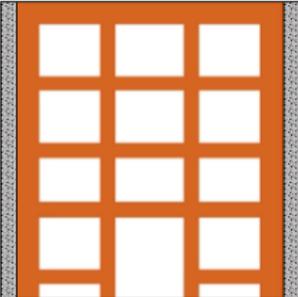
*Parete divisoria 28 cm (vano scala)*

Tipologia **Parete interna** ⓘ

Parametri termici noti

📄 🗑️ ⬆️ ⬇️ 🖨️ Stampa scheda Verifica termoigrometrica

Descrizione (dall'interno verso l'esterno)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,130	
Malta di calce o di calce e cemento	0,017	1,5
Mattoni forati (800 kg/m³) spessore 250	0,890	25,0
Malta di calce o di calce e cemento	0,017	1,5
Resistenza superficiale esterna	0,130	
<b>Totale: 1,183 28,0</b>		



Trasmissione  W/m²K ⓘ

Massa superficiale  kg/m²

Trasmissione periodica  W/m²K Trasmissione periodica limite  W/m²K

Sfasamento  h

Smorzamento

Capacità termica interna  kJ/m²K

Escludi dalle verifiche

Caratteristiche del materiale isolante  
Inserimento **Nessuno** ▾

Trasmissione ante operam  W/m²K

**Figura 16 Parete divisoria 28cm (vano scala) Termo**

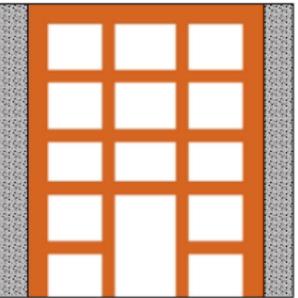
*Parete divisoria 15 cm*

Tipologia **Parete interna** ⓘ

Parametri termici noti

📄 🗑️ ⬆️ ⬇️ 🖨️ Stampa scheda Verifica termoigrometrica

Descrizione (dall'interno verso l'esterno)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,130	
Malta di calce o di calce e cemento	0,017	1,5
Mattoni forati (800 kg/m³) spessore 120	0,310	12,0
Malta di calce o di calce e cemento	0,017	1,5
Resistenza superficiale esterna	0,130	
<b>Totale: 0,603 15,0</b>		



Trasmissione  W/m²K ⓘ

Massa superficiale  kg/m²

Trasmissione periodica  W/m²K Trasmissione periodica limite  W/m²K

Sfasamento  h

Smorzamento

Capacità termica interna  kJ/m²K

Escludi dalle verifiche

Caratteristiche del materiale isolante  
Inserimento **Nessuno** ▾

Trasmissione ante operam  W/m²K

**Figura 17 Parete divisoria 15cm Termo**

## Solaio controterra

Tipologia **Basamento**

Parametri termici noti

Stampa scheda Verifica termoisometrica

Descrizione (dall'alto verso il basso)	R [m <sup>2</sup> K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,170	
Malta di cemento	0,014	2,0
Massetto in calcestruzzo ordinario (1700 kg/m <sup>3</sup> )	0,047	5,0
Calcestruzzo armato (con 1% di acciaio)	0,043	10,0
Argilla espansa in granuli da 3 a 25 mm applicata contro il terreno	2,222	20,0
Resistenza superficiale esterna	0,040	
<b>Totale:</b>	<b>2,537</b>	<b>37,0</b>

Trasmittanza **0,394** W/m<sup>2</sup>K

Massa superficiale **371,00** kg/m<sup>2</sup>

Trasmittanza periodica **0,051** W/m<sup>2</sup>K Trasmittanza periodica limite **---** W/m<sup>2</sup>K

Sfasamento **11,64** h

Smorzamento **0,130**

Capacità termica interna **62,802** kJ/m<sup>2</sup>K

Escludi dalle verifiche

Caratteristiche del materiale isolante  
Inserimento **Nessuno**

Trasmittanza ante operam  W/m<sup>2</sup>K

Figura 18 Solaio controterra Termo

## Solaio piano rialzato

Tipologia **Solaio interno (flusso discendente)**

Parametri termici noti

Stampa scheda Verifica termoisometrica

Descrizione (dall'alto verso il basso)	R [m <sup>2</sup> K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,170	
Piastrelle in ceramica / porcellana	0,008	1,0
Massetto in calcestruzzo ordinario (1700 kg/m <sup>3</sup> )	0,075	8,0
Soletta (blocchi in laterizio + travetti in ds) sp. 16 cm, densità 900	0,286	16,0
Malta di calce o di calce e cemento	0,011	1,0
Resistenza superficiale esterna	0,170	
<b>Totale:</b>	<b>0,721</b>	<b>26,0</b>

Trasmittanza **1,388** W/m<sup>2</sup>K

Massa superficiale **303,00** kg/m<sup>2</sup>

Trasmittanza periodica **0,431** W/m<sup>2</sup>K Trasmittanza periodica limite **---** W/m<sup>2</sup>K

Sfasamento **8,39** h

Smorzamento **0,311**

Capacità termica interna **64,423** kJ/m<sup>2</sup>K

Escludi dalle verifiche

Caratteristiche del materiale isolante  
Inserimento **Nessuno**

Trasmittanza ante operam  W/m<sup>2</sup>K

Figura 19 Solaio piano rialzato Termo

## Solaio piano primo e secondo

Tipologia **Solaio interno (flusso indefinito)**

Parametri termici noti

Stampa scheda Verifica termoigrometrica

Descrizione (dall'alto verso il basso)	R [m <sup>2</sup> K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,130	
Piastrelle in ceramica / porcellana	0,008	1,0
Massetto in calcestruzzo ordinario (1700 kg/m <sup>3</sup> )	0,075	8,0
Soletta (blocchi in laterizio + travetti in cls) sp. 16 cm, densità 900	0,286	16,0
Malta di calce o di calce e cemento	0,011	1,0
Resistenza superficiale esterna	0,130	
<b>Totale:</b>	<b>0,641</b>	<b>26,0</b>

Trasmissione **1,561** W/m<sup>2</sup>K

Massa superficiale **303,00** kg/m<sup>2</sup>

Trasmissione periodica **0,588** W/m<sup>2</sup>K

Sfasamento **7,91** h

Smorzamento **0,376**

Capacità termica interna **77,511** kJ/m<sup>2</sup>K

Trasmissione periodica limite --- W/m<sup>2</sup>K

Caratteristiche del materiale isolante  
Inserimento **Nessuno**

Trasmissione ante operam

Escludi dalle verifiche

Figura 20 Solaio piano primo e piano secondo Termo

## Solaio sottotetto

Tipologia **Solaio interno (flusso indefinito)**

Parametri termici noti

Stampa scheda Verifica termoigrometrica

Descrizione (dall'alto verso il basso)	R [m <sup>2</sup> K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,130	
Piastrelle in ceramica / porcellana	0,008	1,0
Massetto in calcestruzzo ordinario (1700 kg/m <sup>3</sup> )	0,075	8,0
Soletta (blocchi in laterizio + travetti in cls) sp. 16 cm, densità 900	0,286	16,0
Malta di calce o di calce e cemento	0,011	1,0
Resistenza superficiale esterna	0,130	
<b>Totale:</b>	<b>0,641</b>	<b>26,0</b>

Trasmissione **1,561** W/m<sup>2</sup>K

Massa superficiale **303,00** kg/m<sup>2</sup>

Trasmissione periodica **0,588** W/m<sup>2</sup>K

Sfasamento **7,91** h

Smorzamento **0,376**

Capacità termica interna **77,511** kJ/m<sup>2</sup>K

Trasmissione periodica limite --- W/m<sup>2</sup>K

Caratteristiche del materiale isolante  
Inserimento **Nessuno**

Trasmissione ante operam

Escludi dalle verifiche

Figura 21 Solaio sottotetto Termo

#### 4.1.2.2 Componenti trasparenti

Una volta realizzati i componenti opachi sono state inserite nella scheda “Finestre” i serramenti che sono presenti. Le tipologie di serramenti sono essenzialmente due:

- serramenti triplo vetro con telaio in PVC/Alluminio al piano rialzato;
- serramenti doppio vetro con telaio in alluminio al piano primo e secondo.

L’inserimento dei dati relativi ai serramenti è avvenuto tramite la scheda opportunamente dedicata nel software Namirial Termo che risulta essere di questo tipo:

**Figura 22 Scheda finestre Termo**

Di seguito viene riportata una tabella con tutte le tipologie di finestre inserite e le loro principali caratteristiche

<b>Caratteristiche tecniche</b>	<b>Ag</b> [m <sup>2</sup> ]	<b>Af</b> [m <sup>2</sup> ]	<b>Ug</b> [W/m <sup>2</sup> K]	<b>Uf</b> [W/m <sup>2</sup> K]	<b>Uw</b> [W/m <sup>2</sup> K]
180x160 cm doppio vetro	2,13	0,75	3,10	2,80	3,26

180x160 cm triplo vetro	2,13	0,75	0,60	1,10	0,97
100x160 cm doppio vetro	0,98	0,62	3,10	2,80	3,34
100x160 cm triplo vetro	0,98	0,62	0,60	1,10	1,15
120x240 cm doppio vetro	1,97	0,91	3,10	2,80	3,30
120x240 cm triplo vetro	1,97	0,91	0,60	1,10	1,06
100X240 cm doppio vetro	1,52	0,88	3,10	2,80	3,33
100x240 cm triplo vetro	1,52	0,88	0,60	1,10	1,13
120X160 cm doppio vetro	1,27	0,65	3,10	2,80	3,31
120x160 cm triplo vetro	1,27	0,65	0,60	1,10	1,08

**Tabella 2** *Caratteristiche serramenti*

Legenda:

Ag = Area del vetro

Af = Area del telaio

Ug = Trasmittanza termica dell'elemento vetrato

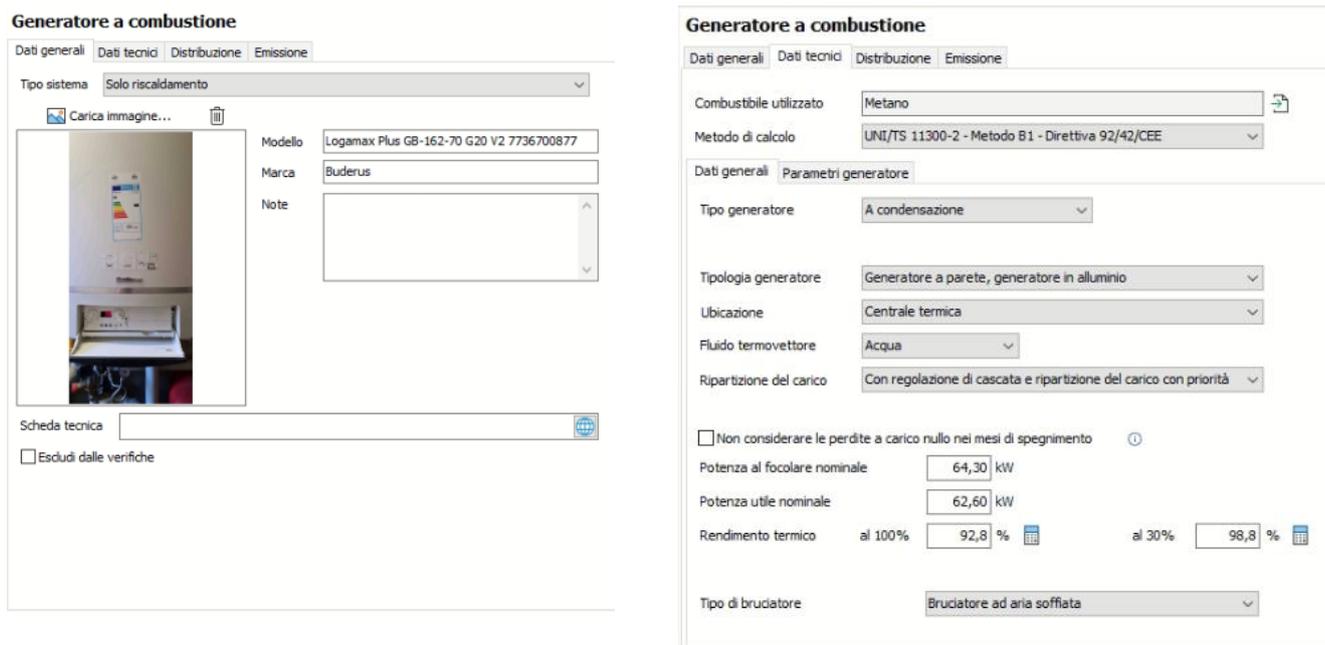
Uf = Trasmittanza termica del telaio

Uw = Trasmittanza termica totale del serramento

#### 4.1.3 Modellazione impianto

Completato l'inserimento delle strutture e dei serramenti, il passaggio successivo è stato quello relativo alla modellazione della centrale termica e dell'impianto andando a compilare la scheda "Centrale Termica".

Dopo quindi una breve descrizione dell'impianto nel software Termo è stato aggiunto il generatore di calore con i relativi dati tecnici presi dalla scheda tecnica della caldaia effettivamente installata ovvero la Buderus Logamax Plus-GB 162 70



**Figura 23** Centrale termica Termo

#### 4.1.4 Modellazione edificio

L'ultimo passaggio prima della modellazione grafica e dell'ottenimento della relazione di calcolo, è la compilazione della scheda "Edifici" dove si creano le zone termiche considerate all'interno dell'edificio.

##### 4.1.4.1 Zone termiche riscaldate

Nella sezione "Edificio" della scheda in trattazione sono dapprima stati definiti i "Subalterni" considerati corrispondenti a ciascun piano che costituisce l'edificio, in quanto in ogni piano è possibile trovare una sola unità immobiliare. Quindi i "Subalterni" saranno:

- Appartamento Piano Rialzato;
- Appartamento Piano Primo;
- Appartamento Piano Secondo;

Successivamente all'interno dei Subalterni sono date definite le zone termiche corrispondenti ad ogni vano. Quindi per ogni zona termica sono stati inseriti i dati richiesti, come fatto nel esempio riportato di seguito, per la camera al piano rialzato:

- Involucro

Involucro **Ventilazione** Impianto Riscaldamento Centrali elettriche Gruppi di trasporto

Classificazione zona termica **E.1 (1)** Temperatura di progetto invernale **20,0** °C  
 Temperatura di progetto estiva **26,0** °C

Produzione acqua calda sanitaria

Fattore di ripresa del riscaldamento **11** W/m<sup>2</sup>

Volume lordo riscaldato **78,125** m<sup>3</sup>

Superficie disperdente lorda **63,733** m<sup>2</sup>

Rapporto S/V **0,816** 1/m

Superficie utile **18,348** m<sup>2</sup>

**Figura 24** Involucro camera piano rialzato Termo

- Ventilazione

Involucro **Ventilazione** Impianto Riscaldamento Centrali elettriche Gruppi di trasporto

Tipo di ventilazione **Naturale**

Ventilazione di riferimento

Efficienza convenzionale **0,800**

Coefficiente correttivo per impianti misti **1,000**

Assegna portata minima di progetto a tutti i locali della zona termica

**Figura 25** Ventilazione camera piano rialzato Termo

- Impianto

Involucro   Ventilazione   **Impianto**   Riscaldamento   Centrali elettriche   Gruppi di trasporto

Impianto di riscaldamento assente

Impianto acqua calda sanitaria assente

Impianto di raffrescamento assente

Sistemi di recupero del calore dai reflui di scarico delle docce

Sistemi di recupero del calore dai reflui di scarico delle docce

Building automation

Esiste impianto di controllo e automazione       Escludi dalle verifiche

Servizi interessati

Riscaldamento

Classe di efficienza    Classe C     

*Figura 26 Impianto camera Piano Rialzato Termo*

- Riscaldamento

*Figura 27 Riscaldamento camera piano rialzato Termo*

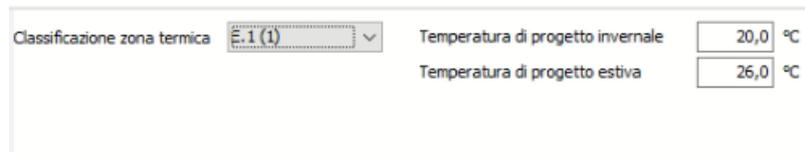
#### 4.1.4.1 Zone termiche non calcolate

Per quanto riguarda le zone termiche non calcolate, queste sono state divise in due categorie come richiesto dal software zona termica e zona non riscaldata.

Con zone termiche abbiamo considerato i locali che non sono riscaldati ma che appartengono ai “Subalterni” precedentemente definiti, che sono quindi:

- Disimpegno piano rialzato;
- Disimpegno piano primo;
- Disimpegno piano secondo;
- Ingresso PR.

Per ciascuno dei locali è stata definita la destinazione d'uso cioè E.1 (1) ovvero edificio adibito a residenza a carattere continuativo, impostando quindi la temperatura di progetto invernale a 20°C e la temperatura di progetto estiva a 26°C, come fatto nel esempio di seguito per il disimpegno al piano rialzato.



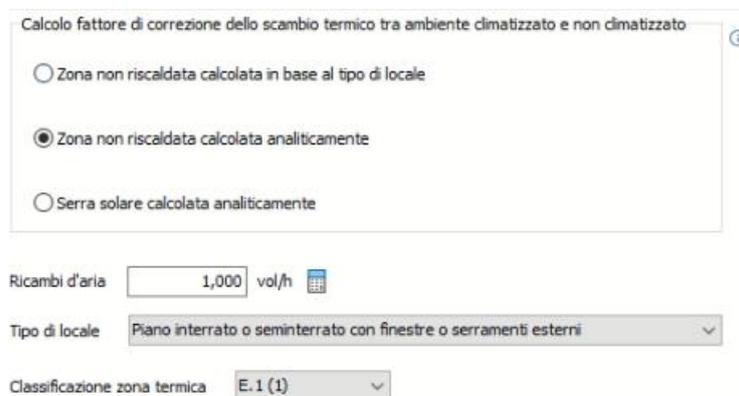
The screenshot shows a software interface for defining thermal zone parameters. It includes a dropdown menu for 'Classificazione zona termica' set to 'E.1 (1)', and two input fields for 'Temperatura di progetto invernale' (20,0 °C) and 'Temperatura di progetto estiva' (26,0 °C).

**Figura 28** Zona termica non calcolata

Mentre come zone non riscaldate sono state individuati i seguenti locali:

- Cantinato, dove tutti i locali sono stati ipotizzati con un'unica zona termica,
- Vano Scala;
- Sottotetto, dove tutti i locali sono stati ipotizzati con un'unica zona termica.

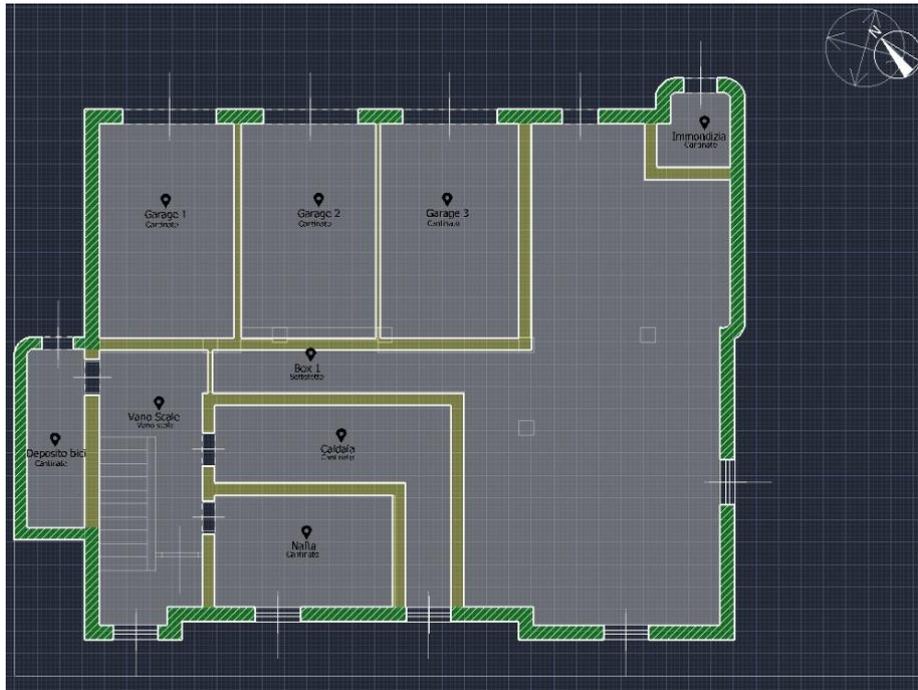
Andando a compilare poi i campi relativi a tale zone non riscaldate definendo i ricambi d'aria paria a 1 vol/h, il tipo di locale e la classificazione della zona termica ovvero E.1(1) cioè edificio adibito a residenza a carattere continuativo, come fatto nell'esempio di seguito per il cantinato.



The screenshot shows a software interface for calculating the correction factor for heat exchange between a conditioned and non-conditioned environment. It includes three radio button options: 'Zona non riscaldata calcolata in base al tipo di locale', 'Zona non riscaldata calcolata analiticamente' (selected), and 'Serra solare calcolata analiticamente'. Below these are input fields for 'Ricambi d'aria' (1,000 vol/h), 'Tipo di locale' (Piano interrato o seminterrato con finestre o serramenti esterni), and 'Classificazione zona termica' (E.1 (1)).

**Figura 29** Zona non riscaldata

Inseriti i dati per ciascuna zona termica riscaldata e non riscaldata, è stato realizzato il modello 3d dell'edificio per via grafica, previa definizione delle altezze di piano di ogni "Subalterno" e importazione delle planimetrie nel formato CAD.



*Figura 30 Layout cantinato Termo*



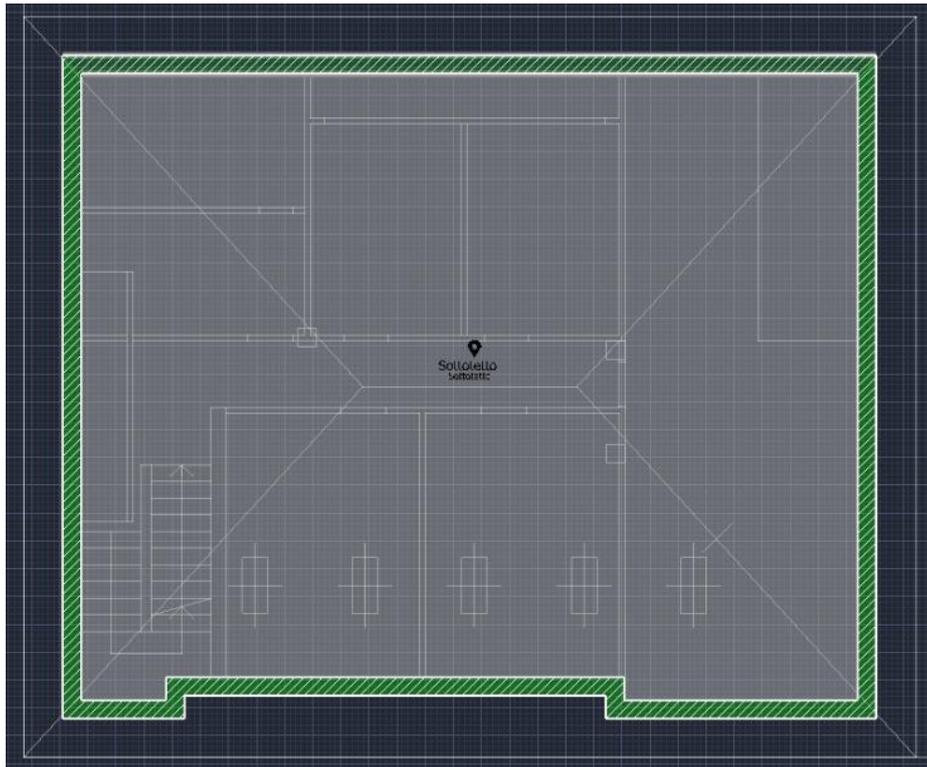
*Figura 31 Layout piano rialzato*



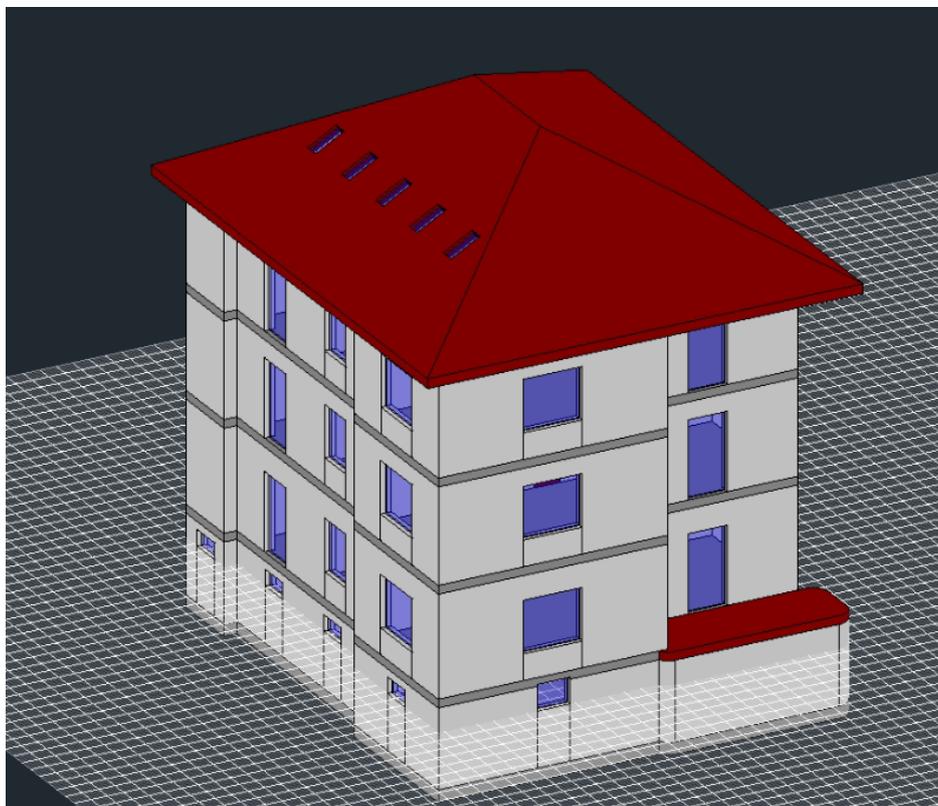
*Figura 32 Layout piano primo*



*Figura 33 Layout piano secondo*



*Figura 34 Sottotetto Termo*



*Figura 35 Modello 3D Termo*

#### 4.1.4 Risultati Termo

Completato il modello è stato possibile eseguire il calcolo e quindi stampare la relazione di calcolo i cui risultati saranno confrontati con quelli ottenuti da TRNSYS.

In particolare il dato da porre in evidenza è il fabbisogno di energia per il riscaldamento come detto che è pari a 48350,28 kWh per l'intero edificio.

### 5. TRNSYS

Con l'obiettivo di convalidare i risultati ottenuti con il metodo previsto dalla normativa UNI EN ISO 52120 (BAC factors), sono state svolte delle simulazioni attraverso il software TRNSYS (TRaNsient System Simulation tool), un programma di simulazione energetica dinamica degli edifici. TRNSYS risulta essere un'interfaccia completa ed estensibile di simulazioni dinamiche di sistemi che comprende anche edifici multi-zona, spesso utilizzato da ingegneri e ricercatori per convalidare appunto nuovi concetti energetici. Questo software è tra quelli che permettono di prevedere i consumi energetici degli impianti connessi agli edifici in un esteso periodo di tempo, generalmente annuale.

TRNSYS permette di implementare un modello dinamico considerando tutti i fenomeni fisici al del tempo, a differenza dei modelli stazionari realizzabili con i software più classici in cui ciò non è possibile. I fenomeni fisici che ad esempio possono essere realizzati con un modello dinamico di questo tipo, realizzabile con TRNSYS sono ad esempio, l'irraggiamento negli ambienti, le ombreggiature esterne, i guadagni gratuiti di calore interni; inoltre permette anche le implementazioni quali strategie di controllo ai sistemi modellati, il comportamento degli occupanti, cercando quindi di emulare al meglio la realtà. Il modello che si otterrà con TRNSYS quindi non sarà altro che una rappresentazione matematica del comportamento termo-fisico di ogni elemento dell'edificio, nonostante tutto il modello può non riflettere a pieno il comportamento reale dell'edificio o sistema modellato in quanto si baserà su una serie di ipotesi fondamentali che possono portare a risultati non molto accurati.

Se si vuol simulare un sistema edificio impianto le interfacce principali di TRNSYS da utilizzare, come nel nostro caso, sono due:

- TRNBuild;
- Simulation Studio.

## **5.1 TRNBuild**

L'interfaccia TRNBuild permette di definire le proprietà e le caratteristiche dell'edificio necessarie per simulare il comportamento termico della struttura nella sua interezza, tra le quali ci possono essere le stratigrafie delle pareti e dei solai e il loro orientamento, le tipologie di serramenti, le schedulazioni delle strategie di climatizzazione, i guadagni termici. Per realizzare il modello vengono definite tutte le zone termiche dell'edificio e successivamente selezionate le variabili che si desidera disporre in ingresso ed in uscita, in modo tale da stabilire le correlazioni necessarie con il modello nell'ambiente Simulation Studio. Per garantire tale correlazione il TRNBuild legge ed elabora un file che descrive l'edificio e genera tre file che vengono utilizzati dal Type 56 ovvero uno dei componenti di Simulation Studio, che verrà spiegato in seguito, il primo file (\*.INF) è un file di informazioni che descrive gli input e output necessari al Type56, gli altri due invece vengono usati dal Type56 di cui uno contiene la descrizione della struttura (\*.BLD) e l'altro contiene i coefficienti delle funzioni di trasferimento per ciascuna parete (\*.TRN). Quest'ultimo aspetto è molto importante per il software TRNSYS, in quanto per la modellazione dell'apparecchiatura per il riscaldamento, il raffreddamento, l'umidificazione e la deumidificazione, esistono due modi. Il primo modo è quello semplificato dove le apparecchiature sono definite direttamente nell'interfaccia del TRNBuild, mentre il secondo metodo prevede una modellazione più dettagliata delle apparecchiature dove i componenti per modellarle sono separati dal TRNBuild e in questo caso le uscite delle zone del Type 56 possono essere utilizzate come ingressi ai modelli di apparecchiature, schematizzati con opportuni componenti dell'interfaccia TRNSYS, che a loro volta producono ingressi di riscaldamento alle zone presenti nel Type 56.

### **5.1.1 Modellazione in TRNBuild**

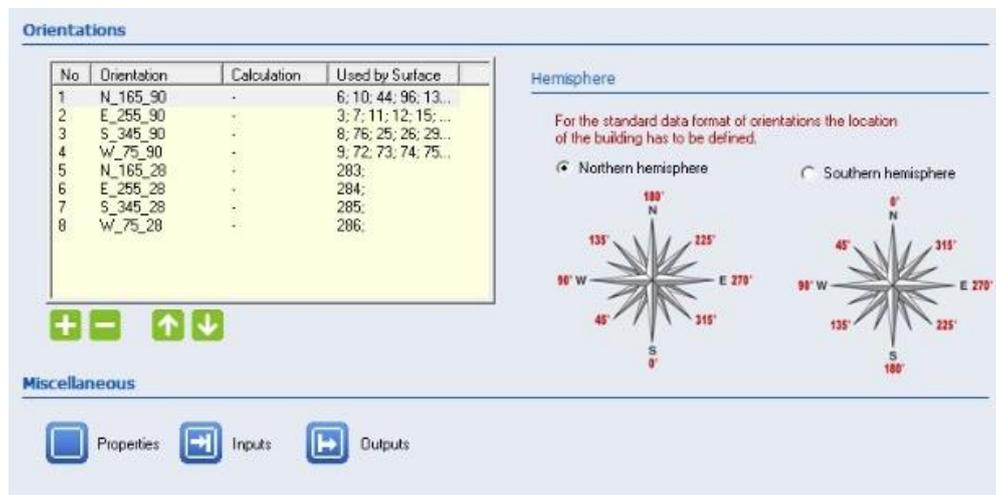
All'interno dell'ambiente TRNBuild, come già anticipato, viene effettuata la modellazione dell'edificio in tutte le sue parti, che nel caso in esame ha previsto la compilazione delle sezioni di seguito definite:

- **Orientamento**

Viene selezionato l'emisfero (nord/sud) in cui è localizzato l'oggetto di studio utilizzato per calcolare correttamente gli angoli di azimut di orientamento delle superfici. Successivamente vengono impostati gli angoli di azimuth cioè di orientamento e d'inclinazione sull'orizzontale delle superfici dell'edificio, che nel caso in esame sono:

Direzione	Denominazione	Azimuth	Inclinazione
-	-	[°C]	[°C]
Nord	N_165_90	165	90
Est	E_255_90	255	90
Sud	S_345_90	345	90
Ovest	W_75_90	75	90
Falda Nord	N_165_28	165	28
Falda Est	E_255_28	255	28
Falda Sud	S_345_28	345	28
Falda Ovest	W_75_28	75	28

*Tabella 3 Orientamenti TRNBuild*



*Figura 36 Finestra orientamento TRNBuild*

- **Proprietà**

Sono stati impostati i parametri necessari ai fini del calcolo nella seguente schermata relativa alle proprietà lasciando i valori di default di TRNBuild

Properties

**General**

density of air:  kg / m<sup>3</sup>

specific heat of air:  kJ / kg K

pressure of air:  Pa

heat of vaporization of water:  kJ / kg

Stefan Boltzmann Constant:  kJ / h m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>

approx. average surface temp.:  K

**Parameters for internal calculation of heat transfer coef**

constant heated floor, if (T<sub>surf</sub>floor-T<sub>air</sub>floor) > 0:  kJ / m<sup>2</sup> K

exponent heated floor, if (T<sub>surf</sub>floor-T<sub>air</sub>floor) > 0:  -

constant chilled floor, if (T<sub>surf</sub>floor-T<sub>air</sub>floor) < 0:  kJ / m<sup>2</sup> K

exponent chilled floor, if (T<sub>surf</sub>floor-T<sub>air</sub>floor) < 0:  -

constant heated ceiling, if (T<sub>surf</sub>ceiling-T<sub>air</sub>ceiling) > 0:  kJ / m<sup>2</sup> K

exponent heated ceiling, if (T<sub>surf</sub>ceiling-T<sub>air</sub>ceiling) > 0:  -

constant chilled ceiling, if (T<sub>surf</sub>ceiling-T<sub>air</sub>ceiling) < 0:  kJ / m<sup>2</sup> K

exponent chilled ceiling, if (T<sub>surf</sub>ceiling-T<sub>air</sub>ceiling) < 0:  -

constant vertical surface:  kJ / m<sup>2</sup> K

exponent vertical surface:  -

**Figura 37** Proprietà TRNBuild

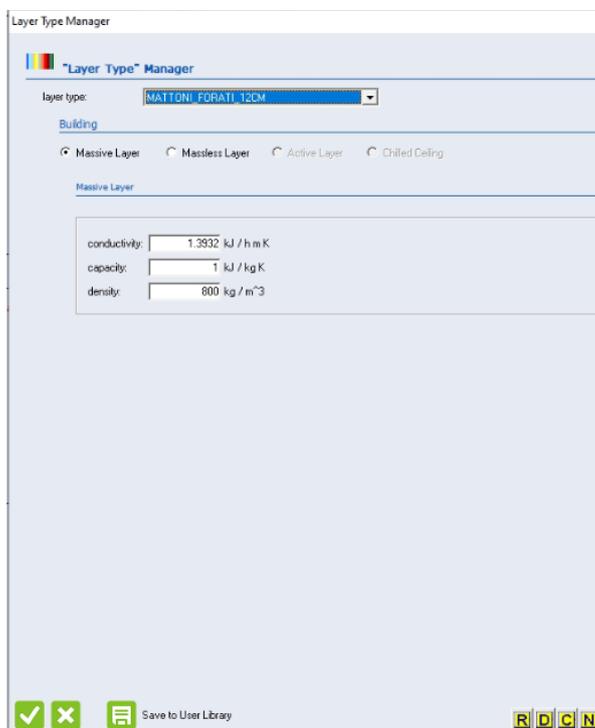
• **Materiali e Strutture opache**

Prima di inserire le stratigrafie delle strutture opache presenti nell’edificio in esame si sono definiti i materiali impiegati per la realizzazione degli strati che le compongono., Nella scheda “Layer Type Manager” all’interno del TRNBuild, quindi è stato dapprima definito se lo strato interessato fosse uno “Strato con massa” oppure uno “Strato senza massa” e successivamente definite le loro proprietà. Di seguito viene riportata una tabella dei materiali che compongono le strutture con le relative proprietà richieste dall’interfaccia TRNBuild tra le quali:

- Conduttività,  $\lambda$ , [kJ/hmK];
- Calore specifico,  $C_p$ , [kJ/kgK];
- Densità,  $\rho$ , [kg/m<sup>3</sup>].

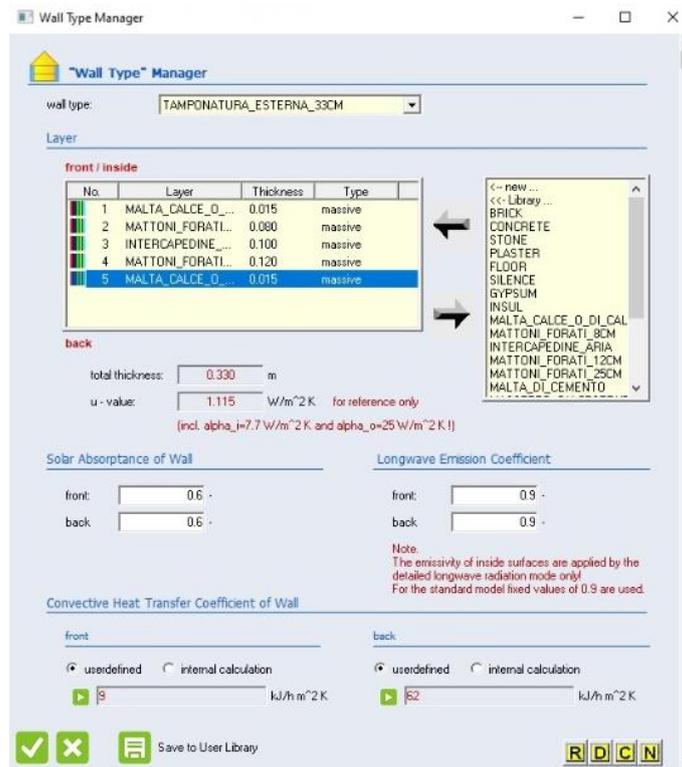
Nome	$\rho$	$\lambda$	$C_p$
-	Kg/m <sup>3</sup>	kJ/(h m K)	kJ/(kg K)
Argilla espansa in granuli	280	0.324	0.92
Malta di calce o di calce e cemento	1800	3.24	1
Massetto in cls ordinario	1700	3.816	1
Intercapedine d’aria	1	1.9656	1.004
Mattoni forati 8 cm	800	1.44	1
Mattoni forati 12 cm	800	1.3932	1

Mattoni forati 25 cm	800	1.008	1
Piastrelle ceramica/porcellana	2300	4.68	0.841



**Figura 38** Materiali TRNBuild

Inseriti i materiali si passa alla sezione successiva indicata come “Wall Type Manager”, dove vengono composte le stratigrafie degli elementi opachi della struttura, come solai di base, di interpiano, di copertura, le tamponature esterne e le pareti divisorie interne. Oltre che definire i vari layer che compongono la singola stratigrafia, sono stati definiti anche i valori dei coefficienti di scambio termico convettivo  $h_c$ .



**Figura 39** Stratigrafie TRNBuild

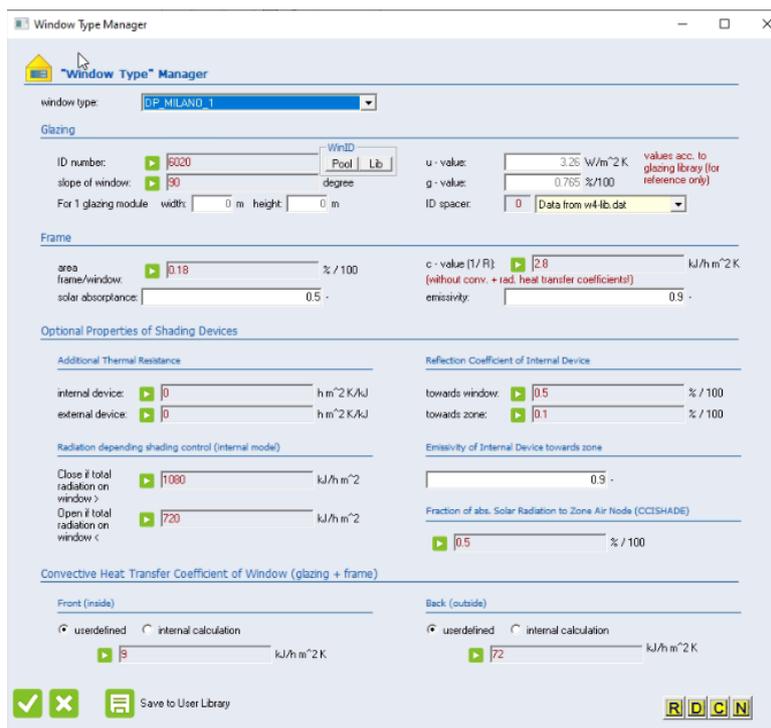
• **Strutture trasparenti**

Per quanto riguarda i serramenti è stato necessario l’ausilio di un ulteriore software ovvero WINDOW 7.8 dove sono stati creati i serramenti presenti nell’edificio e successivamente importati all’interno del TRNBuild, tramite il file di output “DOE2” del software utilizzato, che ha permesso un’estensione dei dati della libreria Program Window predefinita nel TRNBuild.

Nel nostro caso di studio sono presenti due tipologie di serramenti:

- doppio vetro e telaio in alluminio,
- triplo vetro e telaio in PVC.

Per la creazione dei serramenti e conseguente integrazione alla libreria standard del TRNBuild, è stata seguita un’opportuna procedura riportata nel manuale “Add New Window in Type 56” fornito dalla Tess Library, che spiega appunto come ottenere il report dal software WINDOW 7.8 riferito a ciascun serramento, contenente le sue principali caratteristiche e successivamente vi è anche riportato come inserire il report nella libreria del TRNBuild.

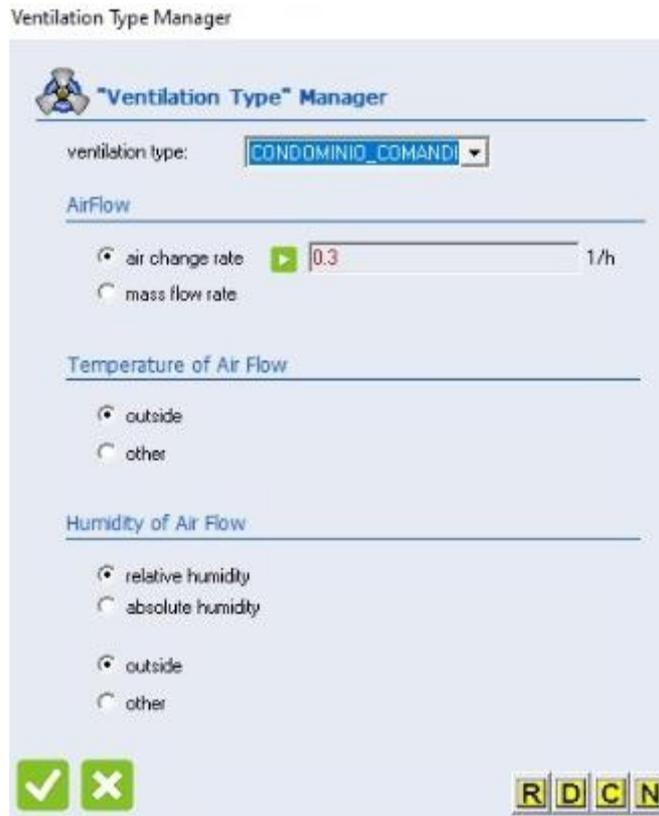


*Figura 40 Infissi TRNBuild*

- **Ventilazione**

Dalla normativa UNI TS 11300-1 si è determinato il tasso di ricambio d'aria come il prodotto tra il tasso di ricambio d'aria minimo e un fattore correttivo che rappresenta la frazione di tempo in cui si attua il flusso d'aria e che tiene conto dell'effettivo profilo di utilizzo e delle infiltrazioni che si hanno quando non si opera l'areazione.

Per ciascuna zona è stato quindi assunto il tasso di ricambio d'aria minimo della normativa per le abitazioni civili (come nel caso in esame) di 0,5 vol/h e un fattore correttivo pari a 0,6 dal prospetto E.2 della stessa norma. Il tasso derivato da tale calcolo, pari a 0,3 vol/h, è stato poi inserito all'interno dell'apposita scheda "Ventilation Type Manager" del TRNBuild con la voce "CONDOMINIO\_COMANDINI".



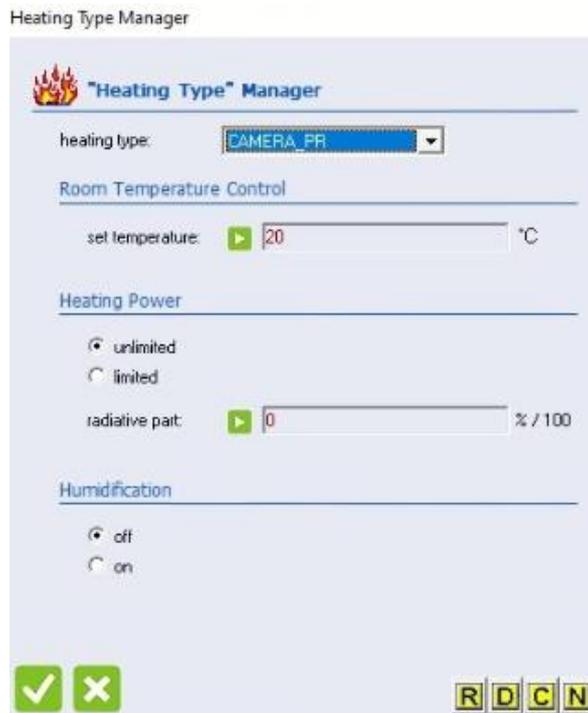
*Figura 41 Ventilazione TRNBuild*

- **Riscaldamento**

In merito al riscaldamento possiamo dire che in questo lavoro di tesi è stato impostato nell'opportuna scheda nel TRNBuild in due modi diversi.

Per una fase iniziale di convalidazione del modello TRNSYS, come anticipato nel capitolo precedente, utile per valutare la corrispondenza dei risultati del modello realizzato con quelli ottenuti dal modello Termo; nella scheda relativa al riscaldamento, "Heating Type Manager", è stato impostato un set point della temperatura dell'aria di ogni locale pari a 20°C ed una potenza dell'impianto infinita, con l'obiettivo di eseguire una valutazione energetica delle singole zone, valutando il calore sensibile scambiato per trasmissione, ottenibile assegnando a ciascuna di esse l'opportuno output (QSENS), definito come tale.

Mentre per le valutazioni successive con i relativi interventi, basati sull'integrazione di sistemi di controllo nell'impianto, invece si è utilizzata l'altra interfaccia di TRNSYS, Simulation Studio e nella scheda dedicata del TRNBuild, il riscaldamento è stato impostato su "off".



**Figura 42** Riscaldamento TRNBuild

- **Apporti interni**

Per la determinazione degli apporti termici interni si è svolta una valutazione di progetto adattata all'utenza facendo riferimento agli apporti interni derivanti da sorgenti come occupanti e apparecchiature presenti all'interno di locali di edifici ad uso residenziale, utilizzando i valori medi riportati nel seguente prospetto.

**Profili temporali degli apporti termici da occupanti ed apparecchiature (edifici residenziali)**

Giorni	Ore	Soggiorno e cucina W/m <sup>2</sup>	Altre aree climatizzate (es. stanza da letto) W/m <sup>2</sup>
Lunedì - Venerdì	07.00 - 17.00	8,0	1,0
	17.00 - 23.00	20,0	1,0
	23.00 - 07.00	2,0	6,0
	Media	9,0	2,67
Sabato - Domenica	07.00 - 17.00	8,0	2,0
	17.00 - 23.00	20,0	4,0
	23.00 - 07.00	2,0	6,0
	Media	9,0	3,83
Media		9,0	3,0

**Tabella 4** Profili temporali apporti termici

È stato considerato un valore pari a 9 W/m<sup>2</sup> per i locali Soggiorno e Cucina, mentre per tutti gli altri locali è stato considerato un valore pari a 3 W/m<sup>2</sup>. Tali parametri sono stati moltiplicati poi per la superficie di ogni locale, ottenendo i seguenti risultati:

Piano Rialzato	Superficie	Apporti	Apporti
	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[kJ/hm <sup>2</sup> ]
Camera	22,02	66,06	237,816
Bagno Grande	7,41	22,23	80,028
Bagno Piccolo	6,78	20,34	73,224
Cucina	17,91	161,19	580,284
Soggiorno	36,35	327,15	1177,74
Cameretta	17,44	52,32	188,352
Studio	13,04	39,12	140,832
Disimpegno	6,86	20,58	74,088
Ingresso	11,04	33,12	119,232

Piano Primo	Superficie	Apporti	Apporti
	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[kJ/hm <sup>2</sup> ]
Camera	22,08	66,24	238,464
Bagno	6,76	20,28	73,008
Cucina	10,83	97,47	350,892
Tinello	22,40	201,6	725,76
Soggiorno	31,35	282,15	1015,74
Cameretta	17,23	51,69	186,084
Studio	13,55	40,65	146,34
Disimpegno	3,55	10,65	38,34
Ingresso	15,34	46,02	165,672

Piano Secondo	Superficie	Apporti	Apporti
	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[kJ/hm <sup>2</sup> ]
Camera	22,08	66,24	238,464
Bagno Grande	7,39	22,17	79,812
Bagno Piccolo	6,63	19,89	71,604
Cucina	18,27	164,43	591,948
Soggiorno	38,85	349,65	1258,74
Cameretta	17,23	51,69	186,084
Studio	13,77	41,31	148,716
Disimpegno	7,17	21,51	77,436
Ingresso	11,97	35,91	129,276

I risultati ottenuti sono stati successivamente inseriti nell'apposita scheda del TRNBuild denominata "Gain Type Manager" facendo attenzione di suddividere la componente radiativa (60%) da quella convettiva (40%) per ognuno di essi.



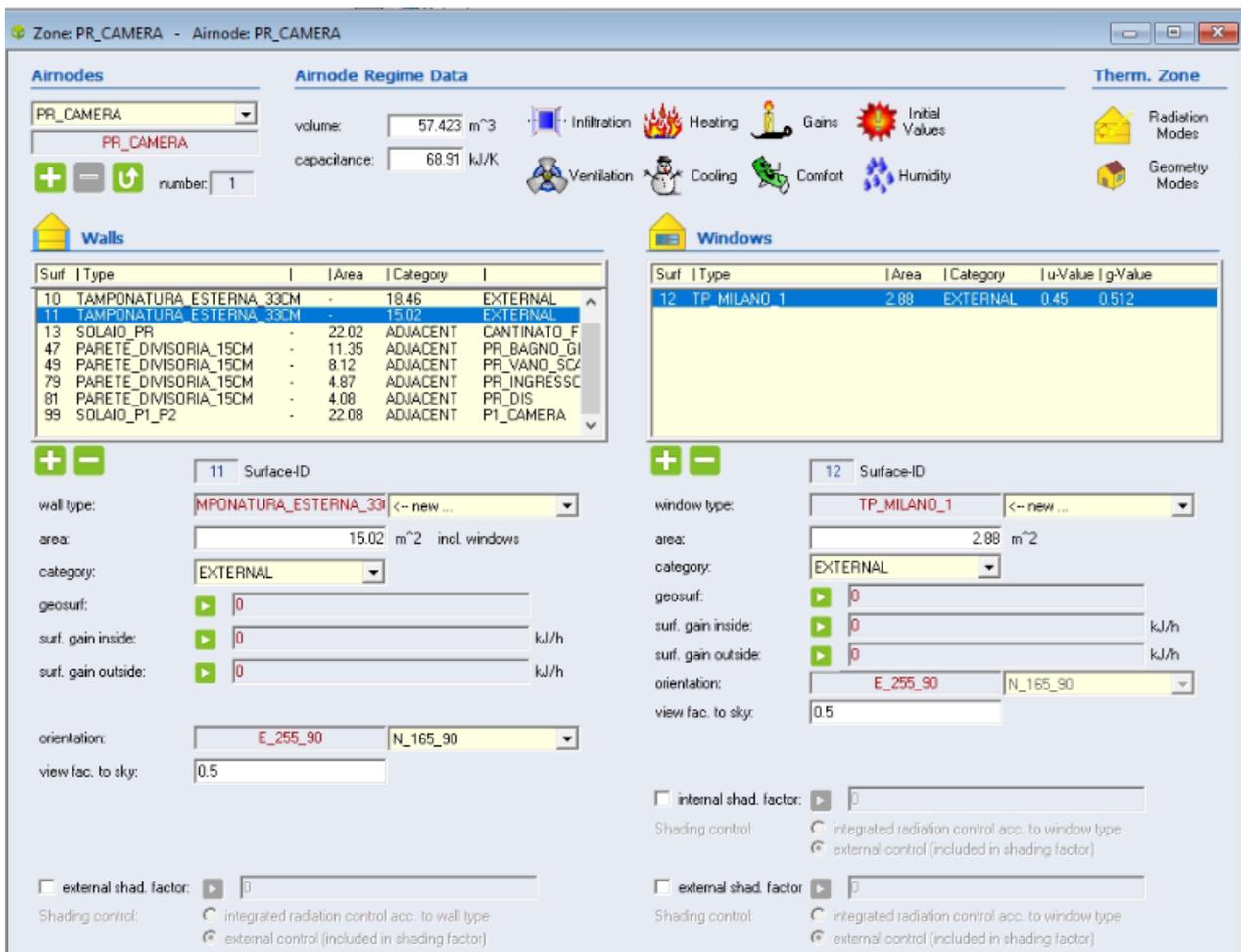
*Figura 43 Apporti termici interni TRNBuild*

- **Zone termiche**

A questo punto sono state create le zone termiche nell'apposita scheda, per via tabellare inserendo le informazioni che la descrivono. Innanzitutto c'è da dire che in questo lavoro di tesi, ogni locale, di ogni unità immobiliare è stato considerata come una zona che può essere riscaldata o non riscaldata.

I dati inseriti che descrivono ciascuna zona possono essere divisi in quattro parti principali:

- Dati relativi alla zona in esame:
  - Denominazione della zona;
  - Volume d'aria all'interno della zona;
  - Calore specifico dell'aria all'interno della zona;
- Strutture opache della zona come pareti e solai di cui vengono indicati la categoria (boundary, adjacent, external), la superficie l'orientamento;
- Strutture trasparenti della zona;
- Dati sulle apparecchiature quali riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, sugli apporti interni da persone e apparecchiature, sulle condizioni di comfort, definite precedentemente.



*Figura 44 Zona TRNBuild*

### • **Input**

Per la modellazione dell'edificio e dell'impianto sono stati creati degli input.

In merito all'edificio gli input creati sono:

- T\_CNT\_BOTTOM;
- T\_CNT\_BACK\_S;
- T\_CNT\_LEFT\_W;
- T\_CNT\_FRONT\_N;

i quali permettono di considerare la temperatura del terreno a contatto con le strutture opache che delimitano il cantinato (CNT), tramite i collegamenti con il Type 1244 di Simulation Studio. Questo aspetto però verrà analizzato nel capitolo successivo.

In merito all'impianto gli input creati sono:

- RAD\_CAMERA\_PR;
- RAD\_CAMERA\_P1;
- RAD\_CAMERA\_P2;
- RAD\_BAGNO\_PICCOLO\_PR;
- RAD\_BAGNO\_PICCOLO\_P2;
- RAD\_CUCINA\_PR;
- RAD\_CUCINA\_P1;
- RAD\_CUCINA\_P2;
- RAD\_TINELLO\_P1;
- RAD\_SOGGIORNO\_PR;
- RAD\_SOGGIORNO\_P1;
- RAD\_SOGGIORNO\_P2;
- RAD\_CAMERETTA\_PR;
- RAD\_CAMERETTA\_P1;
- RAD\_CAMERETTA\_P2;
- RAD\_BAGNO\_GRANDE\_PR;
- RAD\_BAGNO\_GRANDE\_P2;
- RAD\_BAGNO\_P1;
- RAD\_STUDIO\_PR;
- RAD\_STUDIO\_P1;
- RAD\_STUDIO\_P2;
- RAD\_INGRESSO\_P1;
- RAD\_INGRESSO\_P2.

I quali permettono di considerare la potenza termica trasferita dai radiatori ai locali in cui sono presenti, tramite i collegamenti con il Type 1231 di Simulation Studio. Anche questo aspetto verrà analizzato nel capitolo successivo.

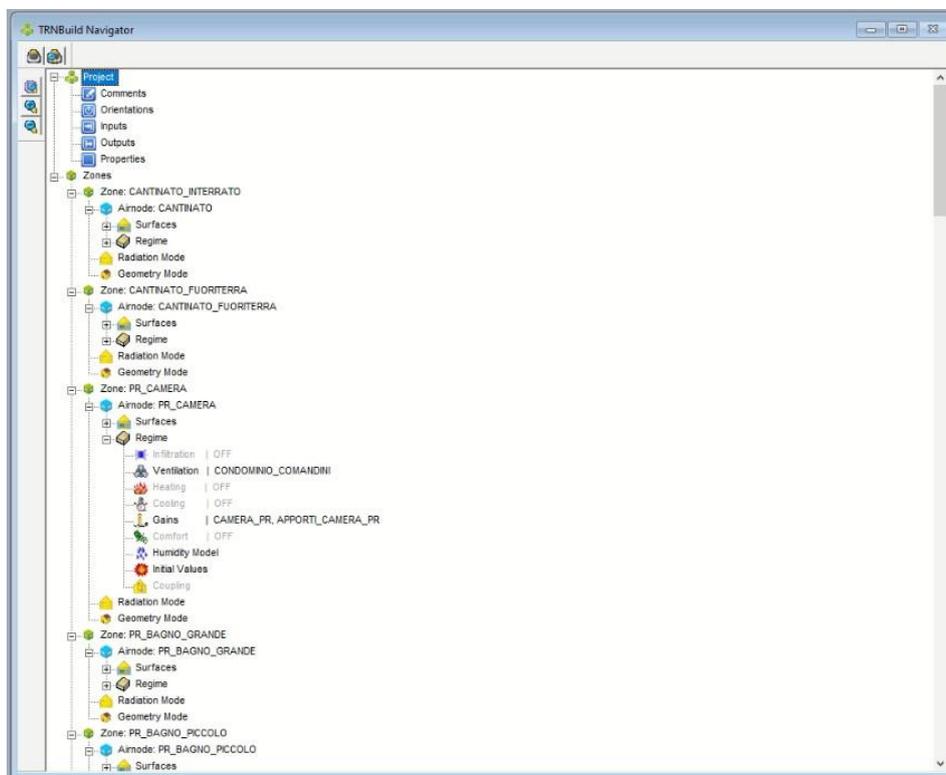
#### • **Output**

In quest'ultima sezione è presente una lista in cui è possibile scegliere le variabili necessarie per il calcolo. In particolare Al fine dello scopo di questo lavoro sono stati selezionati i seguenti output:

- TAIR: temperatura dell'aria della zona termica [°C];

- QSENS: energia sensibile richiesta dalla zona termica [kJ/h];
- QGCONV: guadagno interno convettivo della zona termica [kJ/h];
- QVENT: guadagno di energia sensibile per ventilazione della zona termica [kJ/h];
- QSGL: radiazione solare assorbita su tutti i vetri della finestra [kJ/h];
- QSISH: radiazione solare assorbita dal dispositivo di ombreggiatura interno della finestra [kJ/h];
- QSOFR: radiazione solare assorbita all'esterno del telaio della finestra esterna [kJ/h].

Una volta determinate tutte quante le sezioni che costituiscono quello che è l'ambiente TRNBuild si è completata la creazione del Type 56 – Multi-Zone Building, che come già detto, rappresenta l'intera struttura nell'altro ambiente di TRNSYS, Simulation Studio; qui si andrà poi ad inserire l'impianto di riscaldamento presente nell'edificio e successivamente, attraverso una serie di simulazioni, si valuterà il funzionamento. Infine una volta accertato che l'impianto svolga correttamente il suo compito verranno implementati una serie di sistemi di controllo e regolazione in modo da soddisfare le classi di efficienza energetica della norma UNI EN ISO 52120-1 in base al quale si calcoleranno i fattori BACS.



*Figura 45 Navigator TRNBuild*

## **5.2 Simulation Studio**

Questa è l'interfaccia principale di TRNSYS nella quale si hanno a disposizione una serie di componenti denominati Types, caricati da librerie interne al programma, che possono essere inserite per trascinamento nel foglio per creare il modello che interessa simulare. Un Type può essere un componente fisico dell'impianto (una pompa, una tubazione, un radiatore, etc.), un lettore di dati meteo, un controllore, un "plotter" che permette di ottenere un file testo contenente dati utilizzabili in altri programmi di calcolo e quant'altro che viene identificato da un numero e da un'immagine. Ogni Type è descritto inoltre da un modello matematico riportato nelle apposite "Mathematical Reference" del componente stesso.

Il Type scelto prima di essere utilizzato, deve essere configurato nel proprio proforma dove sono raccolte le variabili impiegate dal componente, quali:

- le unità di misura delle variabili in ingresso (input), in uscita (output) e delle costanti di calcolo (parameters);
- il valore numerico delle costanti di calcolo, che resteranno invariate per tutto il periodo di simulazione;
- i valori iniziali degli input e degli output, che il simulatore applicherà in fase di avvio di ogni nuovo ciclo di simulazione per condurre correttamente il modello.

Nella stessa interfaccia tramite la scheda "Control Card" viene scelto l'intervallo temporale (cioè inizio e fine simulazione) e il time-step (passo di simulazione). Al termine del settaggio dei dati e connessi graficamente i Type di interesse secondo la logica di funzionamento che si intende riprodurre è possibile avviare la simulazione.

## **5.1 Modellazione Simulation Studio**

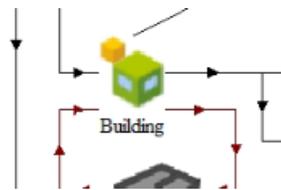
Nel caso in esame l'interfaccia Simulation Studio è stata utilizzata per:

- simulazioni utili ai fini di ottenere il fabbisogno energetico netto dell'edificio, così da validare il modello confrontando i risultati ottenuti con quelli di Termo
- simulazioni utili per valutare il risparmio ottenibile implementando i diversi sistemi di controllo all'impianto di riscaldamento, considerando i diversi passaggi di classe dell'impianto di gestione e controllo individuati dalla norma UNI EN ISO 52120-1.

### 5.1.1 Convalidazione Modello

Nelle simulazioni per il calcolo del fabbisogno energetico netto dell'edificio i Types che sono stati inseriti e collegati sono i seguenti:

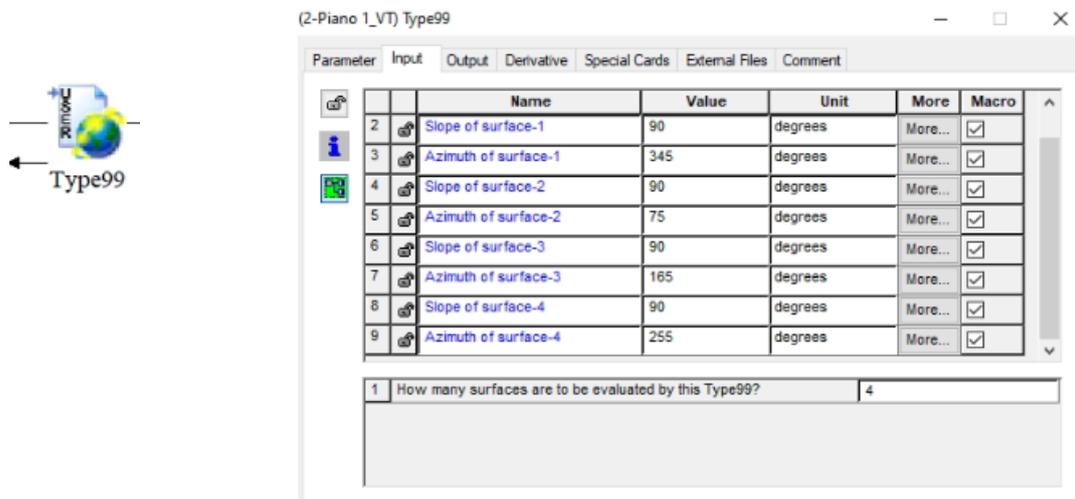
- *Type 56 (Building)*, che permette di richiamare e quindi far comunicare il modello costruito in TRNBuild dell'edificio con l'interfaccia Simulation Studio mediante gli input e gli output settati all'interno del modello. Ricordando che in questo caso al modello in TRNBuild per la valutazione dello scambio termico per trasmissione, nell'opportuna sezione, il riscaldamento è stato attivato impostando un set point di 20°C ed una potenza dell'impianto infinita;



**Figura 46** Type56 Simulation Studio

- *Type 99*, che ha come scopo principale di leggere i dati meteorologici a intervalli di tempo regolari derivanti o da un apposito file standard come il TMY2 usato dalla National Solar Radiation Data Base (USA) ma che possono anche essere generati tramite programmi dedicati come Meteonorm, oppure tramite un file specificato dall'utente realizzato secondo una particolare sintassi. In particolare il file climatico offre i valori orari della temperatura dell'aria esterna dell'umidità relativa e della radiazione diretta e diffusa. Per il caso in esame il file meteo è stato realizzato seguendo la sintassi richiesta da Simulation Studio, nel manuale "04-MathematicalReference" e ci ha permesso di definire le condizioni climatiche del sito dove sorge l'edificio, quindi Milano. L'impostazione del Type è stato fatto come di seguito:
  - nella scheda "Parameter" in particolare per il secondo parametro è stato dato un valore pari 5 cinque che corrisponde al modello di cielo di Perez del 99 utilizzato per calcolare la radiazione diffusa su superfici inclinate, mentre gli altri parametri sono stati lasciati quelli di default,
  - nella scheda "Input" innanzitutto è stato specificato il numero di superfici per le quali si è calcolato il contributo della radiazione solare cioè 4, e per ognuna di esse sono stati indicati di conseguenza l'azimut e l'inclinazione.

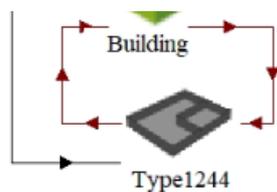
Dopo di che è stato collegato al Type56 associando gli output relativi alla temperatura ambiente, umidità, radiazione solare totale, diretta e diffusa e l'angolo di incidenza della radiazione agli input appositamente dedicati del Type56, in relazione a ciascuna superficie.



**Figura 47** Type99 Simulation Studio

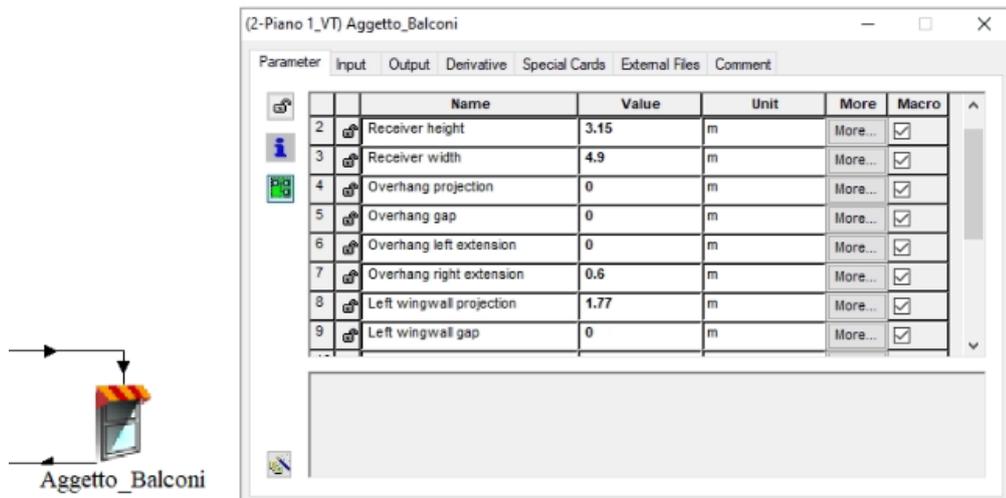
- Type 1244*, che modella il trasferimento di calore da una superficie orizzontale o verticale al terreno circostante. Il Type si basa su un'ipotesi fondamentale per cui il trasferimento di calore è solo conduttivo e gli effetti dell'umidità non vengono presi in considerazione. Per implementare questo Type si devono seguire due passaggi importanti. Il primo passo è creare il file di input del Type, che definisce la posizione dei nodi del terreno. Il file è stato realizzato seguendo le istruzioni della guida "TESS Type 1244 Basement Model" e viene poi allegato al Type1244 nell'apposita scheda "External File", Il secondo passaggio consiste nel impostare gli input e gli output necessari nel Type56 e collegarli al Type1244, e infine collegare quest'ultimo al file meteo, quindi

  - nel collegamento Type56 – Type1244, gli output "T\_AIR\_CANTINATO", cioè la temperatura della zona e i "QCOMO", cioè flussi di calore che vanno verso l'esterno delle superfici a contatto con il terreno sono dati in input al Type1244 dal Type56;
  - nel collegamento Type1244 – Type56, la temperatura del terreno a contatto con le pareti sono collegate agli input appositamente creati al Type56 dal Type1244;
  - nel collegamento Type99 – Type 1244, vengono collegati in input a quest'ultimo, la temperatura ambiente esterna e la radiazione solare totale sull'orizzontale dal Type99.



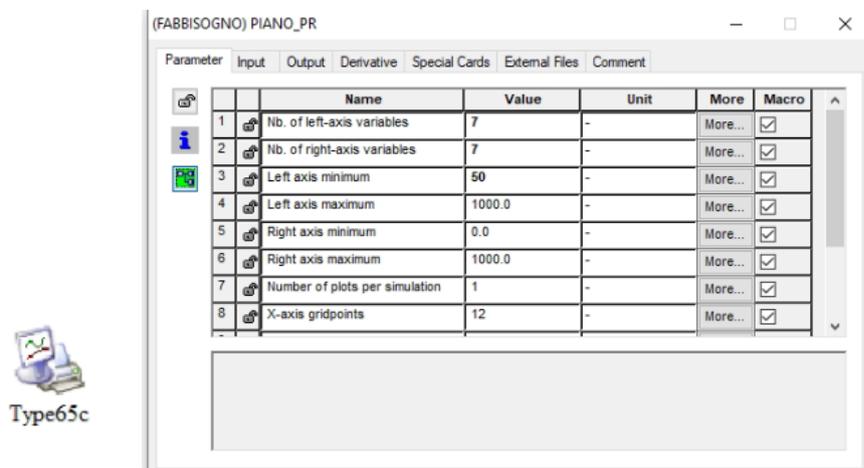
**Figura 48** Type 1244 Simulation Studio

- *Type34* (Aggetto\_Balconi), che calcola radiazione solare su un ricevitore verticale ombreggiato da una sporgenza e/o da una parete alare.



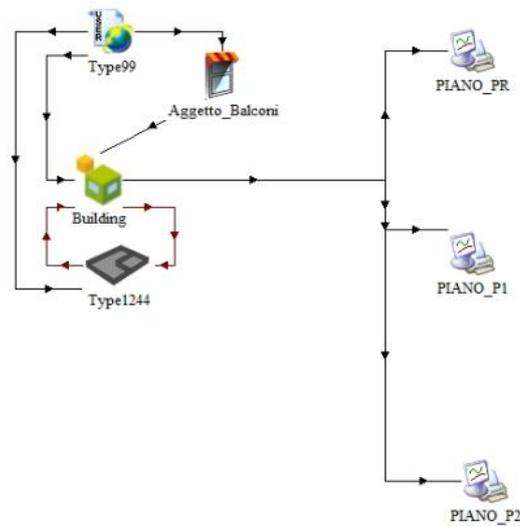
**Figura 49** *Type 34 input Simulation Studio*

- *Type 65c*, che permette di vedere l'andamento delle variabili selezionate ad intervalli regolari durante la simulazione, ottenendo allo stesso tempo un file txt con i valori delle stesse per ogni istante di tempo definito, per poi eseguire una successiva elaborazione dei risultati in Excel. In questo primo caso le variabili selezionate, per ogni locale, sono:
  - TAIR, cioè la temperatura di ogni locale;
  - QSENS, cioè le potenze sensibili di ogni zona.



**Figura 50** *Type 65c Simulation Studio*

Così è stato possibile avviare la simulazione del modello riportato di seguito, che ha restituito in output i valori della temperatura di ogni zona e il carico sensibile disperso. Tramite un file txt elaborato su Excel, è stata fatta una somma delle energie sensibili disperse, restituite per ogni ora per ciascun ambiente al fine di avere un totale annuale dal quale ricavare l'energia da confrontare con Termo.



**Figura 51** Modello convalidazione Simulation Studio

Successivamente ai fini della convalidazione del modello è stato quindi confrontato il fabbisogno energetico del modello in Termo e quello del modello in TRNSYS, anche se calcolati con riferimenti diversi. Infatti il software Termo fa riferimento alla norma UNI-TS 11300 per la quale il fabbisogno energetico utile per il riscaldamento è dato dalla formula seguente:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \times Q_{gn}$$

Dove:

- $Q_{H,ht}$ , scambio termico totale (dispersione termica), dato dalla seguente somma:

$$Q_{H,ht} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve}$$

Con  $Q_{H,tr}$  energia scambiata per trasmissione mentre  $Q_{H,ve}$  l'energia scambiata per ventilazione;

- $\eta_{H,gn}$ , fattore di utilizzazione degli apporti termici;
- $Q_{gn}$ , apporti termici totali, dati dalla seguente somma:

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol,w}$$

Con  $Q_{int}$  energia da apporti gratuiti interni mentre  $Q_{sol,w}$  energia da apporti solari interni (superfici trasparenti).

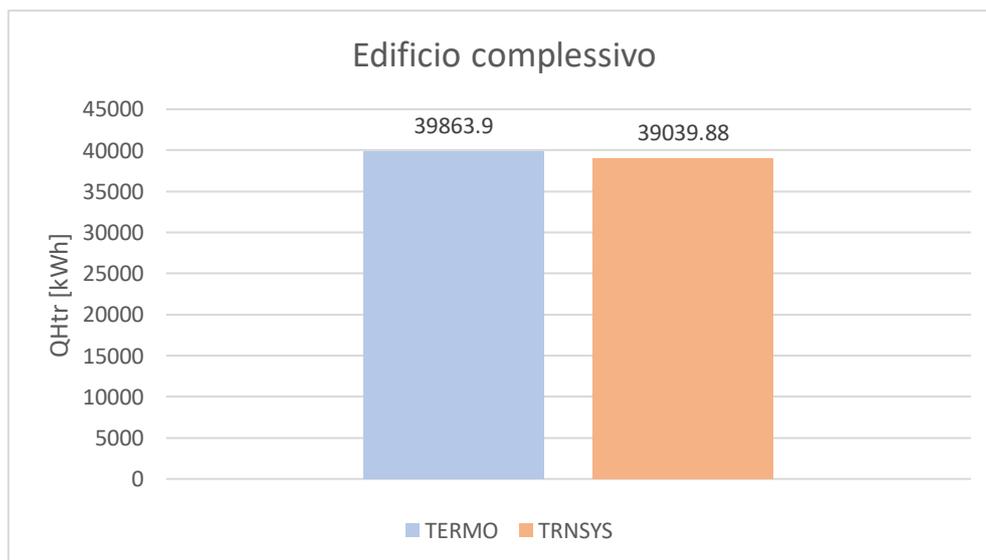
Mentre il software TRNSYS fa riferimento all'ASHARAE e il parametro ricavato dal modello è il carico sensibile (QSENS), definito come l'energia richiesta dalle apparecchiature di riscaldamento

per mantenere la temperatura della zona nelle condizioni di comfort ed è ricavato dalla formula seguente:

$$\dot{Q}_{sens} = \dot{Q}_Z + \dot{Q}_V + \dot{Q}_{int} + 0,3 \times \dot{Q}_{spepl} + \dot{Q}_{inf} + \sum_{j=1}^N h_{c,j} \times A_j \times (T_{s,j} - T_Z) - \frac{CAP \times (T_{ZF} - T_{ZI})}{\Delta t}$$

Dove:

- $\dot{Q}_Z$ , guadagno di energia dovuto alla convezione,
- $\dot{Q}_V$ , guadagno di energia dovuto alla ventilazione,
- $\dot{Q}_{int}$ , guadagno di energia dovuto agli apporti interni come persone e luci,
- $\dot{Q}_{spepl}$ , guadagno di energia dovuto alla presenza di occupanti,
- $\dot{Q}_{inf}$ , guadagno di energia dovuto alle infiltrazioni,
- $h_{c,j}$ , coefficiente di convezione superficie interna, superficie j-esima,
- $A_j$ , superficie della parete o della finestra,
- $T_{s,j}$ , temperatura superficie j-esima,
- $T_Z$ , temperatura della zona,
- $CAP$ , calore specifico dell'aria ambiente,



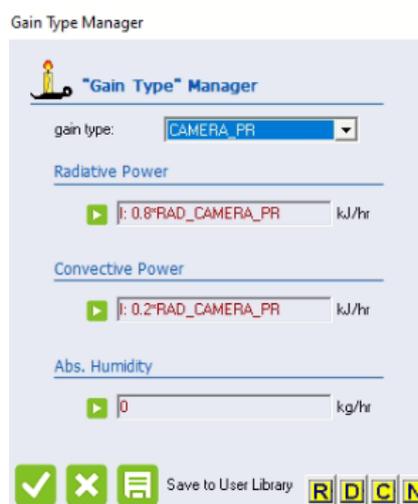
**Figura 52** Confronto Termo-Trnsys

Come si può notare nonostante i due software utilizzano riferimenti normativi diversi i risultati ottenuti sono pressoché simili tra di loro per quanto riguarda l'edificio complessivo in termini di

fabbisogno energetico, quindi possiamo considerare il modello in TRNSYS convalidato e si può procedere all'implementazione dei sistemi di controllo ed automazione tramite l'interfaccia Simulation Studio mediante l'uso dei Types opportuni.

### 5.1.2 Modellazione dell'impianto e dei sistemi di controlli

Una volta convalidato il modello di partenza, si è utilizzata l'interfaccia Simulation Studio per far interagire l'edificio modellato con l'impianto di riscaldamento e i sistemi di controllo previsti per i diversi casi di studio corrispondenti a classi di efficienza energetiche diverse, così da fare valutazioni successive. Prima di iniziare però è stato necessario nell'interfaccia TRNBuild, precisamente nella sezione "Heating" impostare su "off" il riscaldamento per ogni locale, come già accennato precedentemente. Al contempo sono stati creati input appositi per ciascun locale riscaldato, come ad esempio "RAD\_CAMERA\_PR" utilizzati poi per definire gli apporti di calore dei termosifoni per ciascuna zona nella sezione "Gain Type Manager", andando a scomporre gli apporti in un'aliquota pari al 80% per la componente di potenza guadagnata radiativa e del 20% per la componente convettiva, denominando infine l'apporto con la destinazione d'uso della stanza e il piano in cui si trova ad esempio "CAMERA\_PR" come si può vedere di seguito per la camera al piano rialzato.



**Figura 53** Gain Type Manager TRNBuild

### 5.1.3 Definizione dei casi di studio

L'obiettivo centrale di questo lavoro di tesi come detto nell'introduzione è di confrontare il metodo dei fattori BACS contenuto nella normativa UNI EN ISO 52120-1, che è un metodo che permette di valutare appunto l'impatto delle funzioni BACS in maniera semplificata e quindi più rapida sulle prestazioni energetiche dell'edificio con i risultati ottenuti eseguendo un'analisi tramite un software di calcolo dinamico quale è TRNSYS dell'edificio e dell'impianto compresi i relativi sistemi di

controllo ed automazione. L'analisi verrà eseguita attraverso il software di simulazione dinamica TRNSYS in quanto è lo stesso che utilizza la norma, inoltre dato che la normativa ha definito questi fattori BACS prendendo in esame una singola stanza di dimensioni predefinite, tramite questa tesi si vuole constatare che i fattori risultano validi per intere unità immobiliari.

I diversi scenari presi in considerazione sono stati definiti utilizzando la Tabella 6 fornita dalla normativa UNI EN ISO 52120-1 in cui vengono riportate le diverse funzioni per ciascun sistema. In particolare in questa tesi si prenderà come riferimento il sistema del riscaldamento ipotizzato funzionante dalle ore 8:00 del mattino alle ore 22:00 della sera e quello delle schermature solari.

Quindi per iniziare è stata definita una condizione di partenza con un sistema di automazione e controllo appartenente ad una classe di efficienza energetica "C", in quanto è la stessa classe di partenza che la normativa ipotizza per la valutazione dei fattori BACS e che viene presa come riferimento per le varie valutazioni successive, che saranno riferite a sistemi di classe di efficienza "B" ed "A"

Quindi si sono delineati tre scenari:

- Classe di efficienza energetica C: per il sistema di riscaldamento in riferimento al sottosistema di emissione sarà previsto un controllo automatico di ogni ambiente. Il generatore di calore avrà un controllo multistadio mentre per il sottosistema di distribuzione è prevista una pompa di circolazione con un funzionamento on/off. Infine per quanto riguarda le schermature solari è previsto un controllo motorizzato ad azionamento manuale.
- Classe di efficienza energetica B: rispetto al caso precedente al sistema di riscaldamento è stata aggiunta una pompa a giri variabili in sostituzione della pompa a funzionamento on/off, in grado di variare la portata del circuito idraulico in cui è installata mediante variazione del numero di giri del motore elettrico, è così possibile variare la porta adeguandola all'esigenza termica dell'utilizzo consentendo che il tempo di funzionamento a pieno carico della pompa sia molto ridotto e altrettanto ridotto sia il consumo elettrico, inoltre permette di ridurre le dispersioni termiche lungo le tubazioni. Per il generatore di calore invece è prevista una regolazione della temperatura del fluido termovettore con compensazione in funzione della temperatura esterna, quindi un generatore avente un bruciatore a modulazione di fiamma che permette la parzializzazione contribuendo ad una riduzione delle perdite di energia nella rete di distribuzione. Mentre per le schermature solari è previsto un controllo motorizzato ad azionamento automatico.

- Classe di efficienza energetica A: per raggiungere massima classe di efficienza energetica del sistema di controllo ed automazione è integrato un controllo automatico di ogni ambiente con comunicazione, quindi un controllo della temperatura in ogni locale con possibilità di interrompere il riscaldamento o metterlo in stato di basso consumo in caso di apertura serramenti esterni, il risparmio energetico è ottenuto grazie alla capacità del sistema di adeguarsi alle condizioni reali istantanee di utilizzo del locale, apporti di calore legati all'irraggiamento solare. La presenza di un sistema elettronico che comanda valvole elettrocomandate parzializzabili, ottimizza la precisione del controllo e l'efficacia delle azioni. Quindi anche le schermature solari saranno comunicanti con le valvole termostatiche.

### 5.1.3.1 Scenario 1: Classe di efficienza energetica C

Per la modellazione di un impianto di riscaldamento e di schermatura solare rientrante nella classe di efficienza energetica "C" è stata presa come riferimento la tabella 6 della norma UNI EN ISO 52120, di seguito riportata, andando ad analizzare le richieste per i sottosistemi presenti nell'impianto oggetto di studio.

Elenco delle funzioni e assegnazione alle classi di efficienza BAC									
		Definizione di classi							
		Residenziale				Non residenziale			
		D	C	B	A	D	C	B	A
Controllo automatico									
<b>1</b>	<b>+</b>	<b>Controllo del riscaldamento</b>							
1.1	+	Controllo delle emissioni							
		La funzione di regolazione è applicata al corpo scaldante (radiatori, riscaldamento a pavimento, ventilconvettore, unità interna) a livello ambiente per il tipo 1 una funzione può controllare più ambienti.							
		0	Nessun controllo automatico	x				x	
		1	Controllo automatico centrale	x				x	
		2	Controllo individuale della stanza	x	x			x	x
	x	3	Camera modulante individuale controllo con la comunicazione	x	x	x	x <sup>a</sup>	x	x
								x	x <sup>a</sup>
a In caso di calore a reazione lenta e sistemi di emissione fredda, ad esempio riscaldamento a pavimento, riscaldamento a parete, ecc., le funzioni 1.1.3 e 3.1.3 sono assegnate alla classe BAC A.									
b Negli edifici residenziali si applica solitamente solo alle aree pubbliche (es. scale, corridoi, ecc.)									
		4	Controllo locale modulante individuale con comunicazione e rilevamento di occupazione non applicato a sistemi di emissione del riscaldamento a reazione lenta, ad es. Riscaldamento a pavimento)	x	x	x	x	x	x
1.4	+	Controllo delle pompe di distribuzione nelle reti							
		Le pompe controllate possono essere installate a diversi livelli nella rete.							
		0	Nessun controllo automatico	x				x	
	x	1	Comando acceso spento	x	x			x	x
		2	Controllo multistadio	x	x	x		x	x
		3	Controllo della pompa a velocità variabile (stime (interne) dell'unità di pompaggio)	x	x	x	x	x	x
		4	Controllo pompa a velocità variabile (segnale di domanda esterna)	x	x	x	x	x	x

1.8	+	Controllo del generatore di calore (unità esterna)							
		0	Controllo on/off del generatore di calore	x				x	
	x	1	Controllo multistadio del generatore di calore	x	x			x	x
		2	Controllo variabile del generatore di calore	x	x	x	x	x	x
6	+	Controllo cieco (ombreggiture)							
		0	Operazione manuale	x				x	
	x	1	Funzionamento motorizzato con controllo manuale	x	x			x	
		2	Funzionamento motorizzato con controllo automatico	x	x	x		x	x
		3	Controllo combinato luci/veneziane/HVAC	x	x	x	x	x	x

**Tabella 5** Classe efficienza energetica C

Le richieste della normativa per un sistema di controllo ed automazione in classe di efficienza energetica “C” sono quindi:

- Controllo automatico di ogni ambiente , che consiste nel controllo della temperatura di ogni singolo locale attraverso un regolatore elettronico, cioè la valvola termostatica;
- Controllo On/Off delle pompe sulla rete di distribuzione, in cui il risparmio energetico è proporzionale al tempo di arresto delle pompe;
- Controllo multistadio del generatore di calore associato al bruciatore che ha diversi stadi di regolazione in funzione della richiesta termica;
- Funzionamento schermature solari motorizzato con controllo manuale.

I Types che vengono aggiunti a quelli di partenza del modello di convalidazione e che vengono utilizzati per rappresentare tale scenario sono di seguito elencati secondo la logica di funzionamento del modello nell’interfaccia Simulation Studio. Per quanto riguarda i Types utilizzati per i sistemi di controllo ed automazione dell’impianto di riscaldamento si ha:

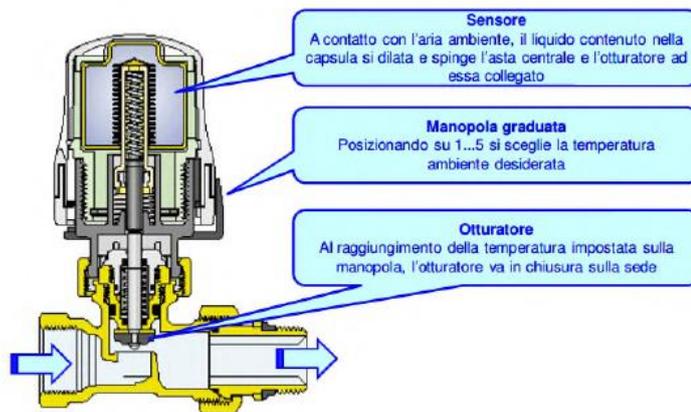
- *Type 62 “Calling Excel, VT\_locale”*, che implementa un collegamento con Excel e permette ad un foglio di calcolo di scambiare gli input e gli output con gli altri componenti in Simulation Studio. In questo caso il foglio di calcolo Excel, è stato utilizzato per modellare la valvola termostatica, prima di passare alla sua modellazione viene fatta una descrizione delle sue caratteristiche utili a capire il modello della valvola ipotizzato.

Una valvola termostatica è un regolatore di temperatura ambiente che agisce sulla portata d’acqua del radiatore ed è costituita da:

- Testa termostatica, a sua volta costituita da un sensore, che è a contatto con l’aria ambiente e manopola graduata posizionabile da 1 a 5 in base al quale si sceglie la temperatura ambiente desiderata,

- Corpo valvola costituito da un otturatore

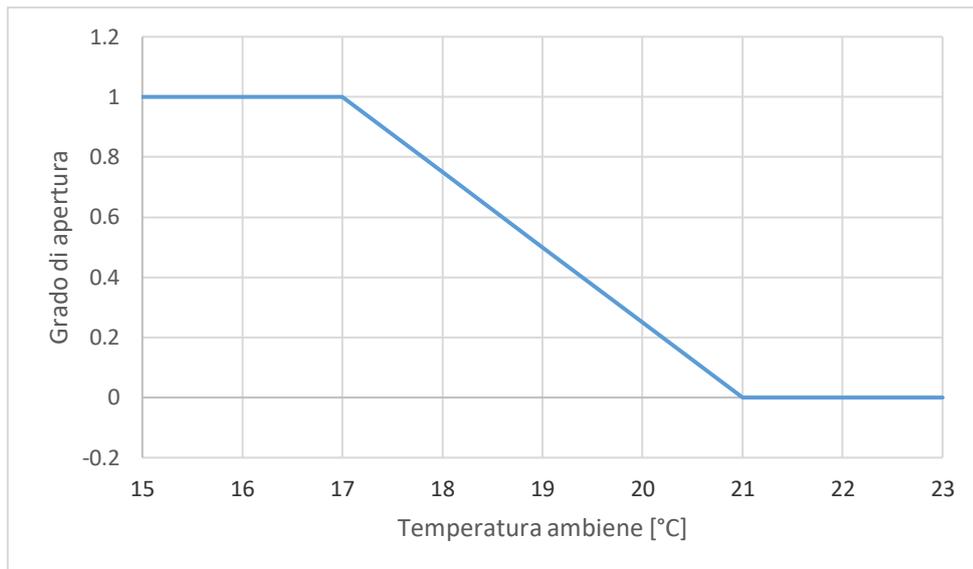
Il liquido contenuto nella capsula si dilata e spinge l'asta centrale e l'otturatore ad essa collegato.



**Figura 54** Valvola termostatica

Una valvola termostatica è un regolatore proporzionale di temperatura e la stabilità della regolazione (assenza di oscillazioni) dipenderà soprattutto dal tempo di reazione, infatti più sarà breve il tempo di reazione, più piccola sarà la banda proporzionale senza causare quindi oscillazioni di temperatura. In particolare il funzionamento si basa sui dei concetti fondamentali per i quali riducendo la differenza fra la temperatura impostata e la temperatura ambiente, si ridurrà l'apertura della valvola termostatica con conseguente diminuzione di portata d'acqua e temperatura di ritorno scaldante, ma allo stesso tempo aumenteranno le perdite di carico a cavallo dell'otturatore della valvola e si ridurrà la potenza emessa dal radiatore.

Per modellare quindi la valvola termostatica con il foglio di calcolo Excel è stato appunto ipotizzato un comportamento lineare, quindi con l'apertura della valvola direttamente proporzionale alla temperatura ambiente. Il grado di apertura varia tra un valore massimo del controllo pari a 1, corrispondente ad una valvola completamente aperta quando la temperatura del locale è inferiore a 17 e un valore minimo pari a 0 che corrisponde ad una valvola completamente chiusa quando la temperatura del locale è superiore a 21.



**Figura 55** Andamento temperatura ambiente-grado apertura

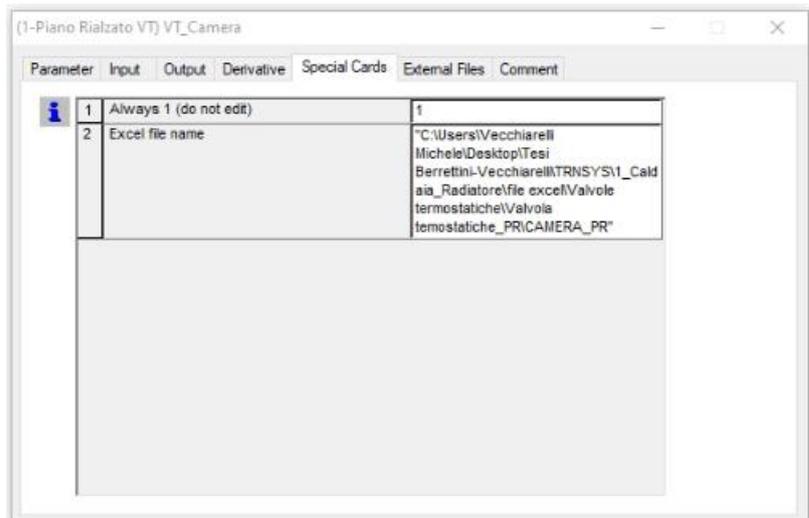
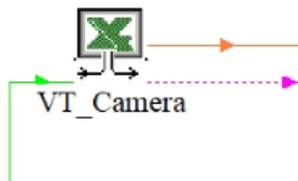
Il valore di controllo che varia tra 0 e 1, è ottenuto con una semplice interpolazione lineare tra i valori di temperatura effettiva del locale, valore limite di temperatura massimo e minimo. Il valore del controllo viene moltiplicato per la portata nominale del radiatore calcolata in funzione delle sue caratteristiche, con la seguente formula:

$$Portata\ nominale\ [kg/s] = \frac{Potenza\ nominale\ [W]}{Calore\ specifico\ [J/kgK] * \Delta T\ [^{\circ}C]}$$

Dove la potenza nominale dipende dal radiatore, il calore specifico del fluido termovettore è pari a 4186 [J/kgK] e il  $\Delta T$  è stato considerato pari a 10°C.

Il modello della valvola in Excel quindi richiede in input la temperatura ambiente e in output restituirà la portata richiesta dal radiatore.

Innanzitutto il Type62 utilizzato per l’inserimento della valvola termostatica per i radiatori di ciascun locale in Simulation studio è stato collegato al foglio di calcolo Excel realizzato inserendo nella scheda “Special Cards” il link di destinazione del file, come fatto di seguito per la camera del piano rialzato:

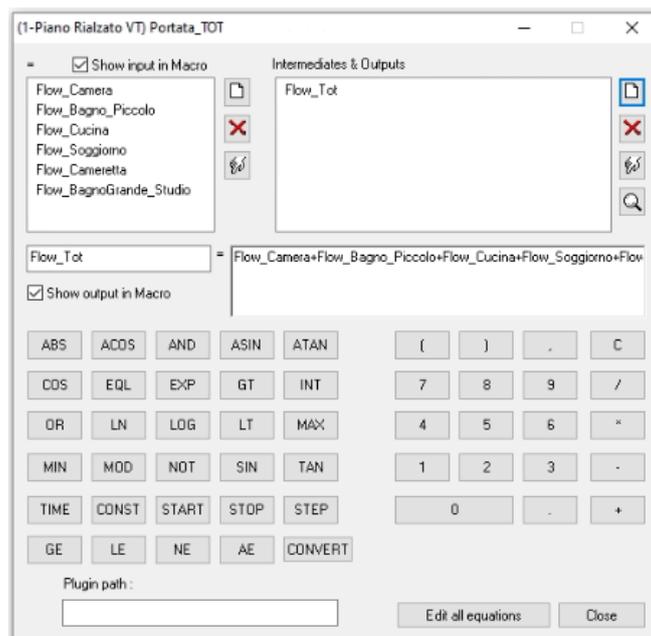


**Figura 56** Type 63 "VT\_Camera" Simulation Studio

Succensivamente è stato impostato il numero di input e di output nella scheda "Paramenter" denominati poi alla stesso modo del file Excel nelle rispettive schede "Input" e "Output".

In particolare il Type62 della valvola avrà in input la temperatura del locale in cui è installata collegandolo al Type56 che fornirà come output tale valore.

- "New Equation" rinominata "Portata\_TOT", permette di fare la somma delle portate richieste dai radiatori appartenenti ad un unico piano definendo la portata totale in input al Type6 della caldaia, cioè è possibile impostando all'intermo un'equazione come è possibile vedere nella figura di seguito.



**Figura 57** New Equation "Portata\_TOT" Simulation Studio

- *Type14 “Forcing Function Sequencer, Acc/Spegn”*, che permette di implementare al modello una funzione forzata dipendente dal tempo che si ripete secondo un dato schema in un intervallo temporale scandito da istati, per ciascuno dei quali viene definito un valore della forzate. Quindi questo Type è stato utile nella modellazione in Simulation Studio per definire il programma giornaliero di accensione e spegnimento dell’impianto, ipotizzando che si accenda alle ore 8:00 del mattino e si spenga alle ore 22:00 della sera. In particolare il valore della forzante sarà 1 quando l’impianto è acceso e 0 quando l’impianto è spento. Nella scheda “Parameter” quindi è stato definito il numero di istanti temporali, l’ora a cui corrisponde ciascun istante e il relativo valore della forzante per ciascuno di essi, come è possibile notare nella figura seguente.



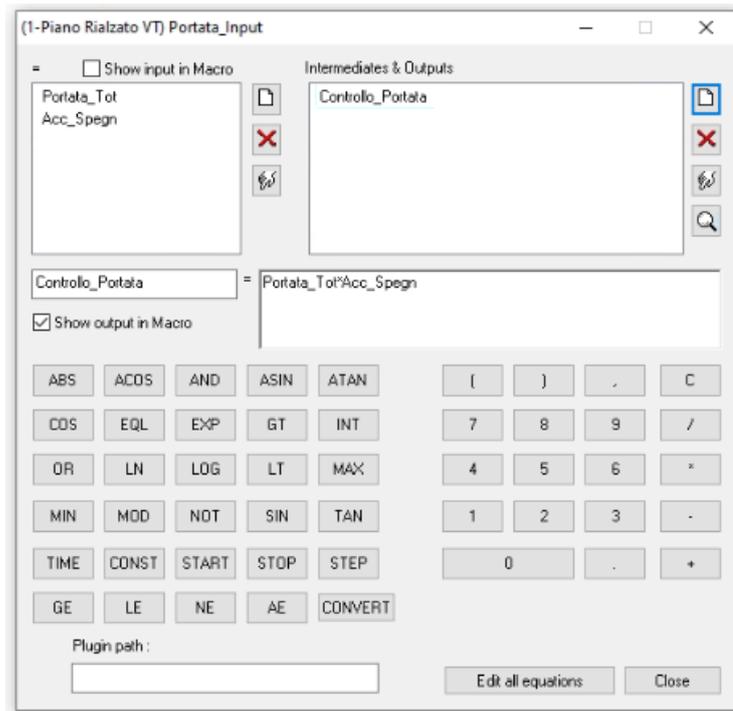
	Name	Value	Unit	More	Macro
1	Initial value of time	0	hr	More...	<input type="checkbox"/>
2	Initial value of function	0.0	any	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Time at point-1	8	hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Value at point -1	0	any	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Time at point-2	8	hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Value at point -2	1	any	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Time at point-3	22	hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Value at point -3	1	any	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

1 Besides the initial point, how many points make up the forcing function? 5

**Figura 58** Type14 "Acc/Spegn" Simulation Studio

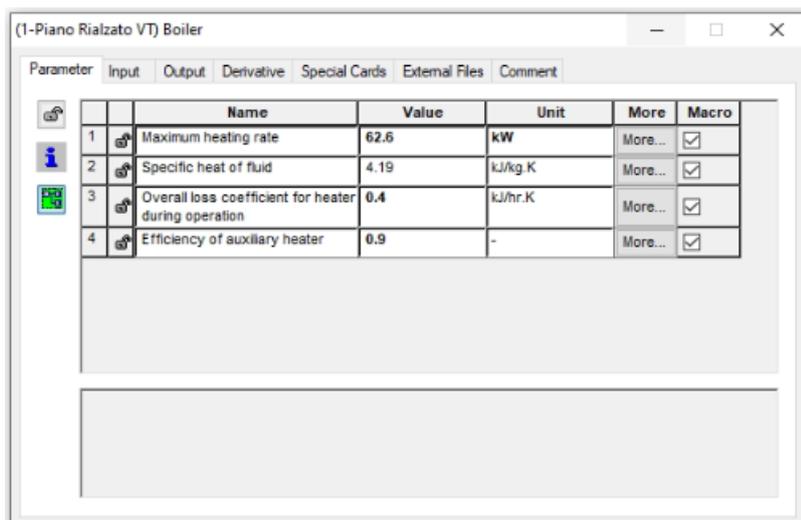
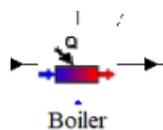
Il Type14 sarà collegato ad una “calcolatrice” denominata “Portata\_Input” per definire realmente quando si ha una portata in input alla caldaia e sarà inoltre collegato all’input “Control Function” del Type6 per definire l’accensione e lo spegnimento della caldaia.

- “*New Equation*” rinominata “*Portata\_Input*”, permette di definire la portata in input al Type6 cioè alla caldaia moltiplicando il valore della portata totale richiesta per la forzante temporale, sono entrambi valori di input dell’equazione dati rispettivamente dal Type “Portata\_Tot” e dal Type14 “Acc/Spegn; in modo tale da tenere in considerazione sia della richiesta termica che dell’accensione e spegnimento dell’impianto, con un equazione corrispondente a quella di seguito



**Figura 59** New Equation "Portata\_Input" Simulation Studio

- *Type6 "Boiler"* permette di modellare la caldaia del caso di studio, quindi la Buderus Logamax plus-GB 162 70, funzionando come un componente in grado di aumentare la temperatura del flusso d'acqua ad una velocità designata, ogni volta che il controllo esterno in input dal Type14 è uguale a 1 e la temperatura in output del flusso d'acqua è inferiore al set point specificato. Per garantire tale funzionamento come primo passo sono stati definiti i parametri richiesti nell'apposita scheda inserendo quelli effettivi della caldaia e del fluido termovettore considerato, cioè l'acqua, come si può vedere di seguito.



**Figura 60** Type6 "Parameter" Simulation Studio



localizzate. Prima di eseguire il calcolo sono stati definiti i parametri fluidodinamici del fluido termovettore, cioè:

- Temperatura di mandata= 75°C,
- Viscosità cinematica=0,000000409 m<sup>2</sup>/s,
- Densità=974,15 kg/m<sup>3</sup>,
- Velocità del fluido, ipotizzata pari a 0,8 m/s secondo i valori consigliati dal quaderno Caleffi per tubazioni secondarie in rame.

Succeivamente sono state determinate le perdite di carico continue suddividendo il circuito secondario in tratti di tubazione che comprende la mandata e il ritorno, della colonna montante e della distribuzione orizzontale di piano collegata singolo radiatore. Quindi è stata applicata la formula:

$$r = Fa \times \frac{1}{D} \times \rho \times \frac{v^2}{2}$$

Dove:

- r = perdita di carico unitaria, Pa/m;
- Fa = fattore di attrito, adimensionale;
- D = diametro interno del condotto, m;
- ρ = massa volumica del fluido, kg/m<sup>3</sup>,
- v = velocità media del fluido, m/s.

L'unico parametro da determinare tra questi è il fattore di attrito F<sub>a</sub>, che dipende dalla rugosità del tubo e dal modo in cui scorre il fluido. Quindi prima è stato necessario calcolare il numero di Reynolds, che ci ha permesso di definire il regime di moto, con la seguente formula:

$$Re = \frac{v \times D}{\nu}$$

Dove:

- D = diametro interno del condotto, m;
- v = velocità media del flusso, m/s;
- ν = viscosità cinematica del fluido, m<sup>2</sup>/s.

Ottenendo dai risulta che il flusso è in questo caso turbolento quindi con  $Re$  maggiore di 2500. Dopodichè è stato considerato un tubo a media rugosità in quanto le tubazioni sono in acciaio e si è passati al calcolo del fattore di attrito con la seguente formula:

$$Fa = 0,07 \times Re^{-0,13} \times D^{-0,14}$$

Utilizzando questo valore poi nella formula precedente per il calcolo delle perdite di carico continue.

Infine sono state calcolate le perdite di carico localizzate attraverso l'utilizzo del metodo diretto in cui vengono calcolate con la formula:

$$z = \xi \times \rho \times \frac{v^2}{2}$$

Dove:

- $z$  = perdita di carico localizzata, Pa;
- $\xi$  = coefficiente di perdita localizzata, adimensionale;
- $\rho$  = massa volumica del fluido,  $\text{kg/m}^3$ ;
- $v$  = velocità media del flusso, m/s.

In particolare il coefficiente  $\xi$  risulta dipendere soprattutto dalla forma della resistenza localizzata, ed è, con buona approssimazione, indipendente da altri fattori, quali: il peso specifico, la viscosità e la velocità del fluido; il suo valore può essere determinato sia con formule, sia sperimentalmete, in questo lavoro di tesi per determinare il valore di questo coefficiente è stata utilizzata la tabella 1°  
“Valori del coefficiente di perdita localizzata  $\xi$  (rete di distribuzione), di seguito riportata:

**TAB. 1a - Valori del coefficiente di perdita localizzata  $\xi$  (rete di distribuzione)**

Diametro interno tubi rame, PEad, PEX		8-16 mm	18-28 mm	30-54 mm	>54 mm
Diametro esterno tubi acciaio		3/8"-1/2"	3/4"-1"	1 1/4"-2"	>2"
Tipo di resistenza localizzata	Simbolo				
Curva stretta a 90° $r/d = 1,5$		2,0	1,5	1,0	0,8
Curva normale a 90° $r/d = 2,5$		1,5	1,0	0,5	0,4
Curva larga a 90° $r/d > 3,5$		1,0	0,5	0,3	0,3
Curva stretta a U $r/d = 1,5$		2,5	2,0	1,5	1,0
Curva normale a U $r/d = 2,5$		2,0	1,5	0,8	0,5
Curva larga a U $r/d > 3,5$		1,5	0,8	0,4	0,4
Allargamento		1,0			
Restringimento		0,5			
Diramazione semplice con T a squadra		1,0			
Confluenza semplice con T a squadra		1,0			
Diramazione doppia con T a squadra		3,0			
Confluenza doppia con T a squadra		3,0			
Diramazione semplice con angolo inclinato (45°-60°)		0,5			
Confluenza semplice con angolo inclinato (45°-60°)		0,5			
Diramazione con curve d'invito		2,0			
Confluenza con curve d'invito		2,0			

**CALEFFI**

*Tabella 6 "Valori del coefficiente di perdita localizzata  $\xi$ "*

**TAB. 1b - Valori del coefficiente di perdita localizzata  $\xi$  (componenti impianto)**

Diametro interno tubi rame, PEad, PEX		8÷16 mm	18÷28 mm	30÷54 mm	>54 mm
Diametro esterno tubi acciaio		3/8"-1/2"	3/4"-1"	1 1/4"-2"	>2"
Tipo di resistenza localizzata	Simbolo				
Valvola di intercettazione diritta		10,0	8,0	7,0	6,0
Valvola di intercettazione inclinata		5,0	4,0	3,0	3,0
Saracinesca a passaggio ridotto		1,2	1,0	0,8	0,6
Saracinesca a passaggio totale		0,2	0,2	0,1	0,1
Valvola a sfera a passaggio ridotto		1,6	1,0	0,8	0,6
Valvola a sfera a passaggio totale		0,2	0,2	0,1	0,1
Valvola a farfalla		3,5	2,0	1,5	1,0
Valvola a ritegno		3,0	2,0	1,0	1,0
Valvola per corpo scaldante tipo diritto		8,5	7,0	6,0	—
Valvola per corpo scaldante tipo a squadra		4,0	4,0	3,0	—
Detentore diritto		1,5	1,5	1,0	—
Detentore a squadra		1,0	1,0	0,5	—
Valvola a quattro vie		6,0		4,0	
Valvola a tre vie		10,0		8,0	
Passaggio attraverso un radiatore		3,0			
Passaggio attraverso una caldaia		3,0			

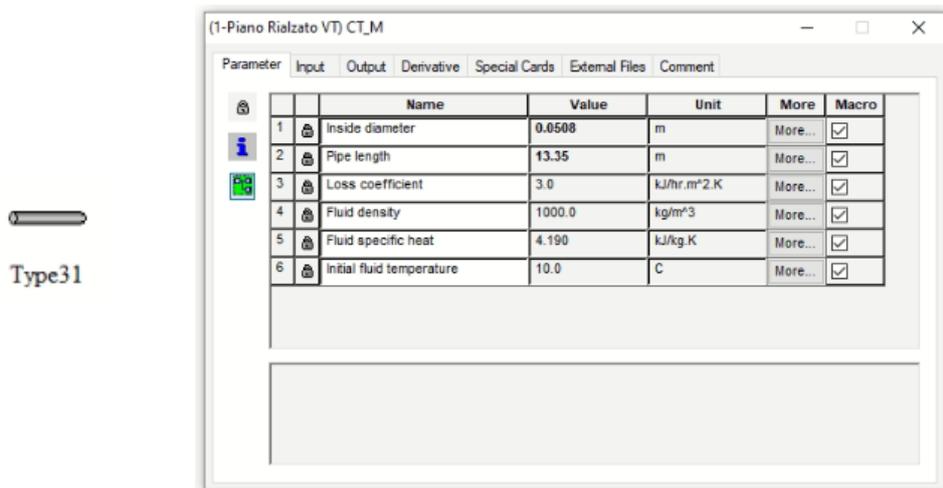
**CALEFFI**

**Tabella 7 "Valore del coefficiente di perdita localizzata"**

- *Type31 "Pipe or Duct"* che modella il comportamento termico del flusso di fluido in un tubo o condotto e quindi è stato utilizzato per modellare tutti i tratti di tubazione del circuito primario ovvero la tubazione che va dalla caldaia alla pompa nel modello realizzato in Simulation Studio e il circuito secondario secondario considerando la tubazione ad anello che percorre il perimetro dell'edificio, le colonne montanti e la tubazione orizzontale che collega ciascun radiatore alla colonna, modellando sia il tratto della mandata che del ritorno. Per ciascun tratto di tubazione è stato definito:
  - Diametro interno del tubo [m],
  - Lunghezza del tratto di tubo [m],
  - Coefficiente di scambio termico per le perdite termiche [kJ/hm<sup>2</sup>K],

- Densità del fluido termovettore [ $\text{kg/m}^3$ ],
- Calore specifico del fluido termovettore [ $\text{kJ/kgK}$ ],
- Temperatura iniziale del fluido [ $^{\circ}\text{C}$ ],

come si può vedere nella figura di seguito per il tratto di tubazione che va dalla pompa di circolazione alla prima colonna montante.



**Figura 62** Type31 "Parameter" Simulation Studio

In input ogni Type31 avrà la temperatura e la portata in ingresso riferita a ciascun tratto di tubazione considerato e la temperatura del locale che attraversa considerata per tutti i tratti pari a  $20^{\circ}\text{C}$ .

- *Type647 "Flow Diverter"*, modella una valvola deviatrice che divide un flusso del fluido termovettore in flussi frazionari. Il Type647 dunque è stato utilizzato per modellare le connessioni tra la tubazione di mandata che percorre il perimetro dell'edificio nel cantiano e le colonne e le connessioni tra le colonne e la tubazione di mandata dei radiatori di piano. L'unico parametro da impostare nell'apposita scheda è il numero di porte di uscita. Per ciascuna porta la temperatura di uscita è uguale alla temperatura in ingresso mentre la portata in uscita è la portata in ingresso per la frazione prevista per la specifica porta. In input al Type vengono definite la temperatura in ingresso, la portata e le frazioni di fluido in uscita dalla valvola deviatrice. Le frazioni di fluido in questo caso vengono calcolate tramite un foglio di calcolo Excel inserito in Simulation Studio con il Type62. Più nello specifico sono stati creati due fogli di calcolo uno per le ripartizioni tra la tubazione di mandata nel cantinato e le colonne, e uno per la ripartizione tra le colonne e la tubazione orizzontale di mandata ai radiatori, in entrambi i fogli di calcolo vengono determinate le frazioni di fluido termovettore,

per ciascuna porta del Type definita, in funzione delle portate dei radiatori collegate in input al Type62 che modella le valvole termostatiche.



**Figura 63** Type647 "Flow Diverter" Simulation Studio

- *Type649 "Mixing Valve"* che modella una valvola misceltrice che combina i flussi del fluido termovettore in un unico flusso. In particolare è stato utilizzato per modellare le connessioni della tubazione di ritorno che percorre il perimetro dell'edificio nel cantinato e le colonne e le connessioni tra le colonne e la tubazioni di ritorno dai radiatori di piano. L'unico parametro da impostare nell'apposita scheda è il numero di porte di ingresso della valvola miscelatrice.



**Figura 64** Type649 "Flow Mixer" Simulation Studio

- *Type1231 "Hydronic Heat-Distributing Unit"*, che modella le unità di trasmissione del calore idroniche come radiatori, convettori, unità a battiscopa e a tubi alettati, considerando un trasferimento di calore per convezione e irraggiamento. Il calore trasferito dal radiatore viene definito in termini di potenza, in funzione della differenza di temperatura del locale e della temperatura superficiale dell'unità di riscaldamento e viene calcolato quindi dal Type1231 con la seguente formula:

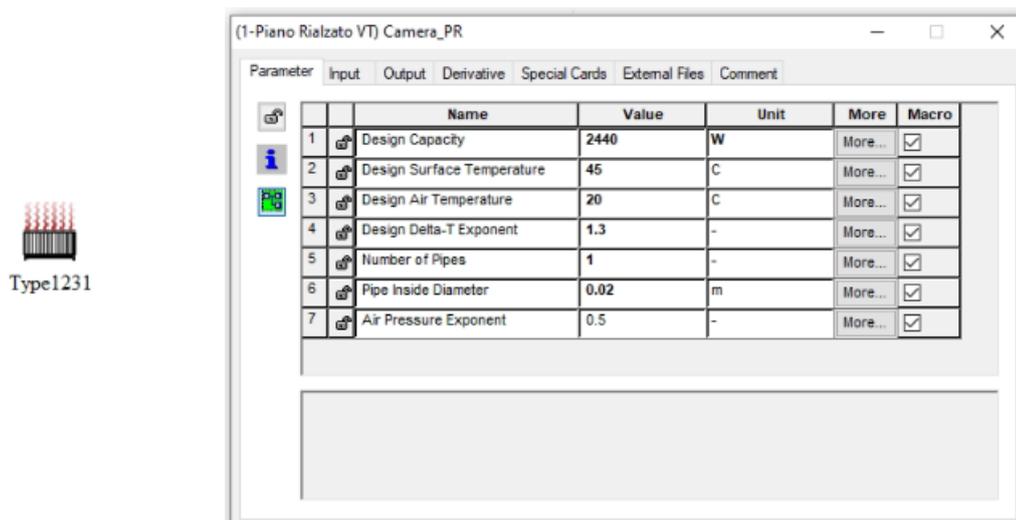
$$q = c(T_s - T_a)^n$$

Dove  $c$  è una costante determinata da test svolti sull'unità di riscaldamento e  $n$  che dipende dal tipo. In particolare  $n$  è stato considerato pari a 1,3, valore tipico per i radiatori in ghisa.

Per quanto riguarda il settaggio del Type1231 in modo da modellare i radiatori per ogni singolo locale, il primo passo è stato quello di andare ad inserire i parametri, nell'apposita scheda, definendone:

- Potenza nominale [W], indicando per ciascun radiatore quella specifica,
- Temperatura superficiale di progetto [°C], presa per tutti i radiatori pari a 45°C,
- Temperatura dell'aria di progetto [°C], presa per tutti i radiatori pari a 20°C,
- Esponente del radiatore pari a 1,3,
- Numero di tubi nel radiatore, considerato pari a 1,
- Esponente della pressione dell'aria pari a 0,5;

Come si può vedere nella figura di seguito.



**Figura 65** Type "Hydronic Heat-Distributing Unit" Simulation Studio

Successivamente sono stati definiti gli Input del Type1231 collegando rispettivamente:

- All'input "Room Temperature", l'output del Type56 che fornisce la temperatura dell'aria di ogni locale, quindi ad esempio per la camera del piano rialzato T\_AIR\_CAMERA\_PR;
- Agli input "Inlet Water Temperature" e "Water Flowrate", gli output del Type31, che modella il tratto di tubazione che va dalla colonna al radiatore specifico, fornendo in ingresso al radiatore quindi la temperatura e la portata di mandata del fluido termovettore.

Infine sono stati collegati gli output del Type1231. Il primo output è "Heat Transfer Rate", che permette di modellare il trasferimento di potenza termica al locale in cui è installato il radiatore ed è stato collegato al Type56. Più precisamente è stato collegato ad input appositamente creati e definiti nel capitolo precedente in riferimento all'interfaccia del TRNBuild, come ad esempio per la camera al piano rialzato, l'input RAD\_CAMERA\_PR.

Mentre i successivi output ovvero "Water Outlet Temperature" e "Water Flow Rate" sono stati collegati al Type 31 che modella il tratto di tubazione di ritorno che va dal radiatore alla colonna, definendo quindi la temperatura e la portata di ritorno del fluido termovettore.

In merito al controllo previsto dalla norma UNI EN ISO 52120-1 per il sistema di schermatura solare invece è necessario implementare un azionamento motorizzato manuale cosicché il sistema di controllo nella sua interezza sia in classe di efficienza energetica C in quanto tutti i sottostemi devono

essere di tale classi. Per aggiungere questo controllo è stato necessario intervenire direttamente nell'interfaccia TRNBuild, nella sezione “Window Type Manager”. Prima di tutto è stato preso come riferimento le indicazioni dell'Annex A della norma 52016-1 alla tabella NA.24 “Regole per il funzionamento dei dispositivi di schermatura solare”, di seguito riportata

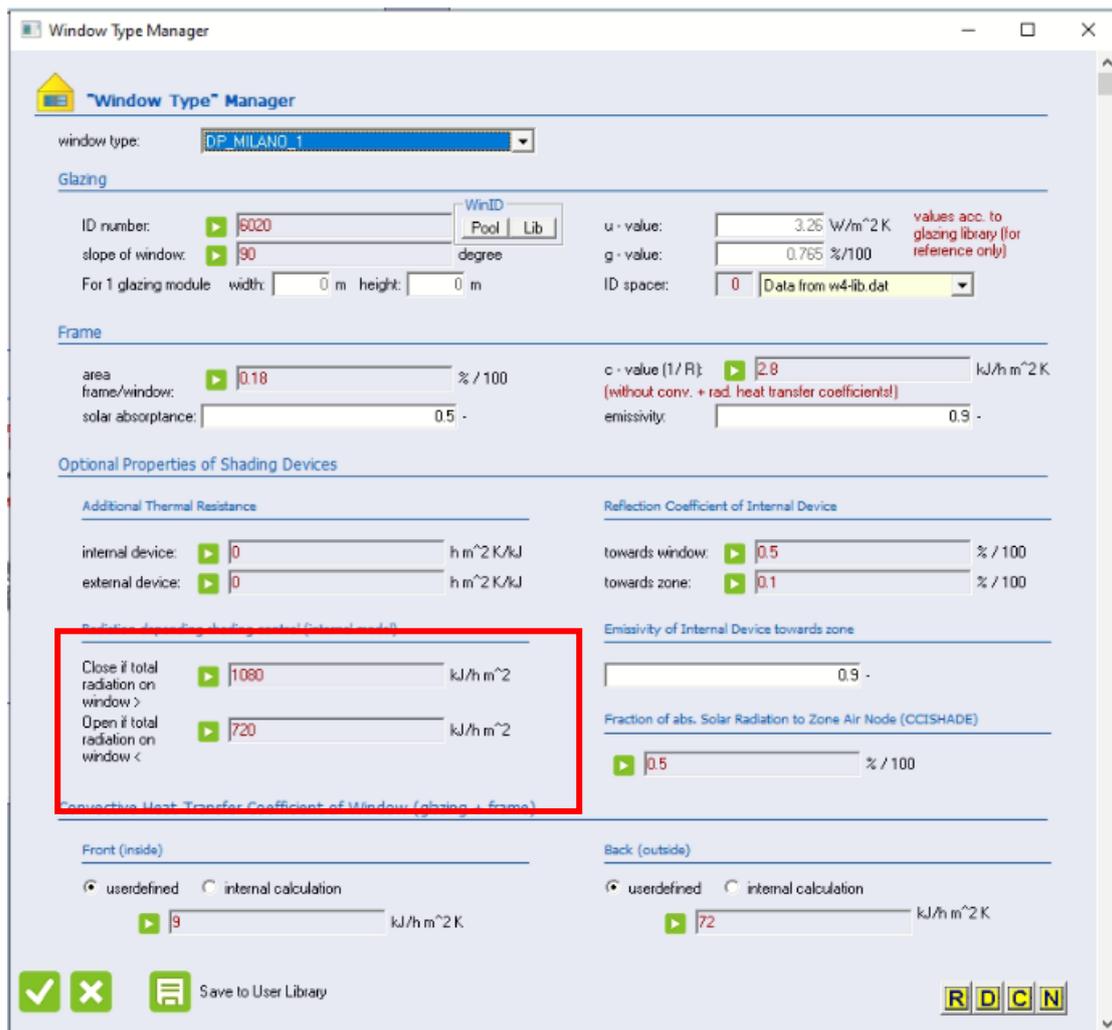
Table NA.24 — Rules for operation of solar shading devices (see G.2.2.1.2)

Application	All applications <sup>a</sup>	.... <sup>a</sup>
Control level	Rules	Rules
0 Manual operation	Closed: if solar irradiance > 300 W/m <sup>2</sup> Open: if solar irradiance < 200 W/m <sup>2</sup>	Not applicable
1 Motorized operation with manual control	Same	Not applicable
2 Motorized operation with automatic control	Closed: if solar irradiance > 200 W/m <sup>2</sup> Open: if solar irradiance < 200 W/m <sup>2</sup> and ≥ 2 hours passed since closing	Not applicable
3 Combined light/blind/HVAC control	Same <sup>b</sup>	Not applicable
<sup>a</sup> Add more columns if needed		
<sup>b</sup> Conservative rule; a level 3 combined control is not covered in this table		

*Tabella 8 Regole per il funzionamento dei dispositivi di schermatura solare “Classe C”*

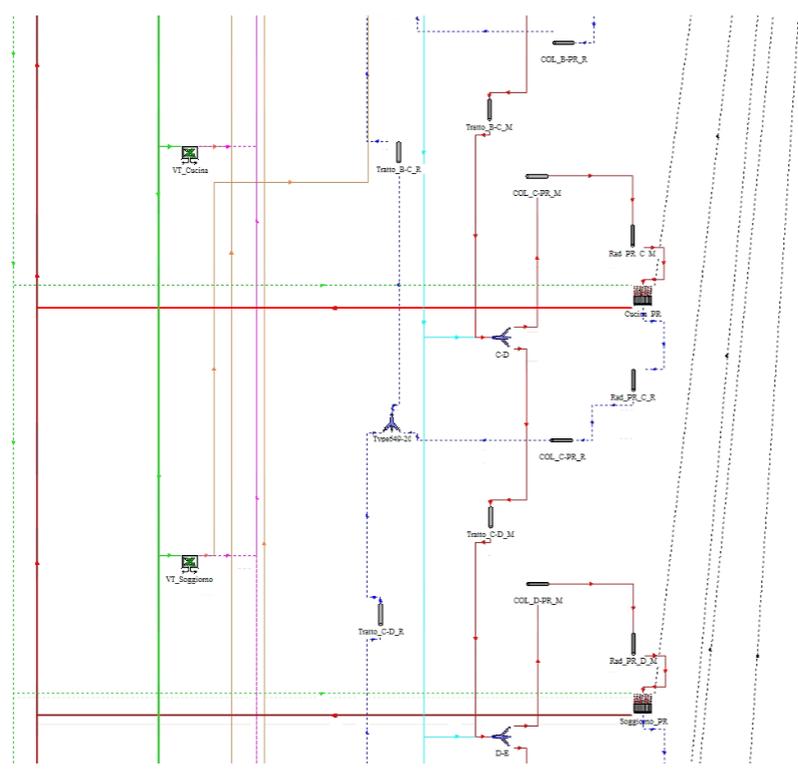
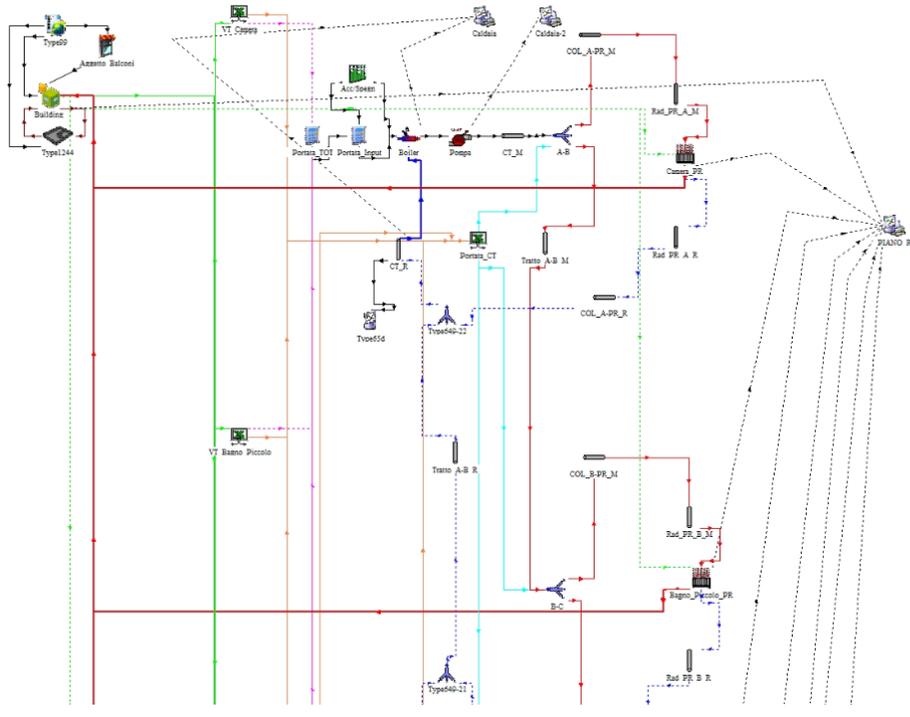
Quindi per un azionamento motorizzato a controllo manuale possono essere considerati i valori relativi all'apertura e chiusura delle schermature solari in funzione dell'irraggiamento solare, più precisamente si considerano chiuse quando l'irradiazione solare è maggiore di 300 W/m<sup>2</sup> pari a 1080kJ/hm<sup>2</sup>, mentre sono aperte quando l'irraggiamento solare è minore di 200 W/m<sup>2</sup> pari a 720kJ/hm<sup>2</sup>.

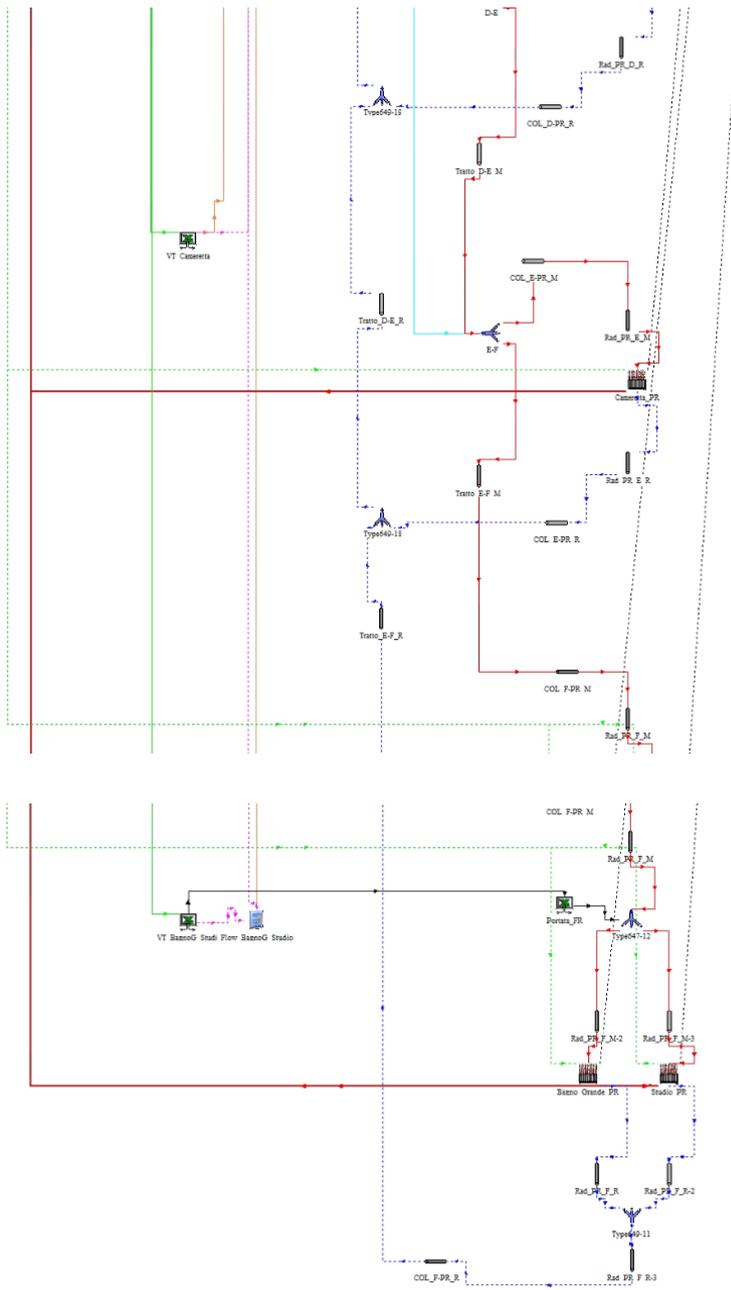
Agendo direttamente nella sezione “Window Type Manager” dell'interfaccia TRNBuild, in corrispondenza delle “Proprietà opzionali del dispositivo di ombreggiatura” sono stati inseriti i valori della norma opportunamente convertiti come si può notare nella figura di seguito.



**Figura 66** Window Type Manager “Classe C” TRNBuild

Ottendo quindi nell’interfaccia Simulation Studio il modello, con i Types utilizzati al fine di soddisfare le richieste della norma per la Classe di efficienza energetica C, di seguito riportato.





**Figura 67** Modello “Classe C” Simulation Studio

### 5.1.3.2 Scenario 2: Classe di efficienza energetica B

Per la modellazione di un impianto di riscaldamento e di schermatura solare con sistemi di controllo ed automazione rientrante nella classe di efficienza energetica “B”, le funzioni che devono essere aggiunte, al modello di classe efficienza energetica C, sono quelle indicate nella tabella seguente:

Elenco delle funzioni e assegnazione alle classi di efficienza BAC									
		Definizione di classi							
		Residenziale				Non residenziale			
		D	C	B	A	D	C	B	A
Controllo automatico									
<b>1</b>	<b>+</b>	<b>Controllo del riscaldamento</b>							
1.1	+	Controllo delle emissioni							
		La funzione di regolazione è applicata al corpo scaldante (radiatori, riscaldamento a pavimento, ventilconvettore, unità interna) a livello ambiente; per il tipo 1 una funzione può controllare più ambienti.							
		0	Nessun controllo automatico	x				x	
		1	Controllo automatico centrale	x				x	
		2	Controllo individuale della stanza	x	x			x	x
	X	3	Camera modulante individuale controllo con la comunicazione	x	x	x	x <sup>a</sup>	x	x
								x	x <sup>a</sup>
a In caso di calore a reazione lenta e sistemi di emissione fredda, ad esempio riscaldamento a pavimento, riscaldamento a parete, ecc., le funzioni 1.1.3 e 3.1.3 sono assegnate alla classe BAC A.									
b Negli edifici residenziali si applica solitamente solo alle aree pubbliche (es. scale, corridoi, ecc.)									
		4	Controllo locale modulante individuale con comunicazione e rilevamento di occupazione non applicato a sistemi di emissione del riscaldamento a reazione lenta, ad es. Riscaldamento a pavimento)	x	x	x	x	x	x
<b>1.8</b>	<b>+</b>	<b>Controllo delle pompe di distribuzione nelle reti</b>							
Le pompe controllate possono essere installate a diversi livelli nella rete.									
		0	Nessun controllo automatico	x				x	
		1	Comando acceso spento	x	x			x	x
		2	Controllo multistadio	x	x	x		x	x
		3	Controllo della pompa a velocità variabile (stime (interne) dell'unità di pompaggio)	x	x	x	x	x	x
	X	4	Controllo pompa a velocità variabile (segnale di domanda esterna)	x	x	x	x	x	x
<b>1.8</b>	<b>+</b>	<b>Controllo del generatore di calore (unità esterna)</b>							
		0	Controllo on/off del generatore di calore	x				x	
		1	Controllo multistadio del generatore di calore	x	x			x	x
	X	2	Controllo variabile del generatore di calore	x	x	x	x	x	x
<b>6</b>	<b>+</b>	<b>Controllo cieco (ombreggiture)</b>							
		0	Operazione manuale	x				x	
		1	Funzionamento motorizzato con controllo manuale	x	x			x	
	X	2	Funzionamento motorizzato con controllo automatico	x	x	x		x	x
		3	Controllo combinato luci/veneziane/HVAC	x	x	x	x	x	x

**Tabella 9** Classe efficienza energetica B

Come si può notare sopra le funzioni da integrare al precedente modello sono relative a:

- pompa di distribuzione nelle reti che deve essere a giri variabili, utile in quando la variazione dei giri del motore, grazie ad un inverter, permette di modulare le caratteristiche idrauliche

della stessa a seconda delle esigenze. Soprattutto per impianti costituiti da valvole termostatiche a due vie, per i quali una loro eventuale chiusura porta a una riduzione della portata idraulica, di conseguenza una pompa a giri fissi lavorerebbe con prevalenze elevatissime, invece una pompa a giri variabili è in grado attraverso un differenziale di pressione di percepire la graduale riduzione della portata, dovuto alla chiusura delle valvole termostatiche e quindi ridurre il numero di giri con limitazione della prevalenza data al circuito;

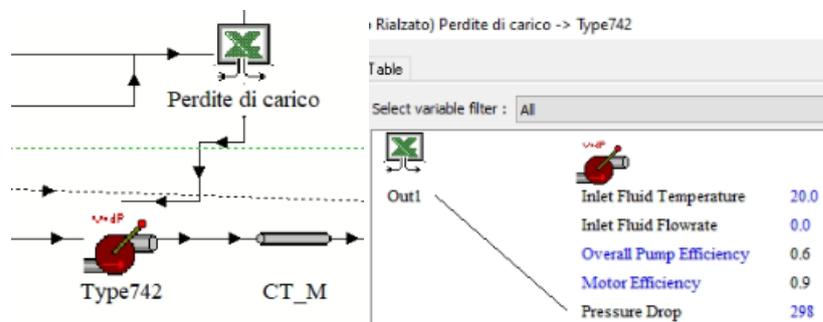
- Generatore di calore con controllo variabile, ipotizzato correlabile, in questo caso di studio, alla regolazione della temperatura di mandata. La regolazione in esame si basa su un'ipotesi, per la quale il fabbisogno termico è proporzionale alle dispersioni dell'edificio e quindi condizionato dalla temperatura esterna. La temperatura di mandata viene regolata in base alle effettive condizioni climatiche e sarà ricavata da una curva, funzione della temperatura esterna, misurata con una sonda. Questa strategia risulta essere più efficace, dato che riesce a garantire il miglior comfort ambiente adeguandosi alle condizioni climatiche esterne ed è soprattutto utilizzata nei casi come quello in esame in questo lavoro di tesi, ovvero centrali termiche di impianti a radiatori con valvole termostatiche;
- Controllo automatico ombreggiature con funzionamento motorizzato. Il controllo dell'energia solare con ombreggiature automatiche consente il risparmio invernale e allo stesso tempo la protezione contro il sovra-riscaldamento estivo e contro l'abbagliamento; riducendo anche le perdite di calore notturne.

I Types aggiunti al modello di Simulation Studio, per soddisfare la classe di efficienza energetica definita dalla norma, sono quelli riportati di seguito, partendo dalle logiche di controllo dell'impianto di riscaldamento:

- *Type62 "Calling Excel, Perdite di carico"*, si è ipotizzato di implementare una pompa a giri variabile che offrisse un salto di pressione all'impianto in funzione delle perdite di carico che in questo caso varieranno in funzione della velocità del fluido, opportunamente calcolato. Per garantire quanto detto è stato collegato all'interfaccia Simulation Studio lo stesso foglio di calcolo Excel utilizzato precedentemente per il calcolo delle perdite di carico secondo i metodi contenuti nel quaderno 1 Caleffi, ma in questo sono stati definiti degli input ed output. In input al foglio infatti vengono collegati:
  - La temperatura di mandata del fluido termovettore, che varia nel tempo in funzione della temperatura ambientale esterna. Quindi sarà collegato in input il Type62 relativo alla curva climatica della caldaia, descritto successivamente;

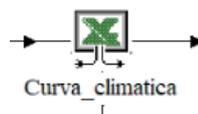
- Le portate richieste dai radiatori di ogni locale, e quindi è stata collegata in input le portate calcolate dai Types relativi alle valvole termostatiche.

I valori dati in input vengono utilizzati per l'applicazione delle formule precedentemente esposte, in modo da avere un valore delle perdite di carico totale, comprendente sia quelle distribuite che quelle concentrate, per ogni istante di tempo considerato e che è stato poi definito come output nel foglio di calcolo Excel. Per completare la modellazione della pompa a giri variabili, quindi l'output del foglio di calcolo Excel è stato collegato all'input "Pressure Drop" del Type742, che rappresenta la caduta di pressione che la pompa deve superare per garantire una circolazione corretta del fluido termovettore.



**Figura 68** Collegamento Type62-Type742 Simulation Studio

- Type62 "Calling Excel, Curva climatica", in questo caso il Type62 è stato utile a collegare l'interfaccia Simulation Studio ad un foglio di calcolo Excel in cui è stata impostata la curva climatica che ha permesso una regolazione della temperatura di mandata della caldaia in funzione delle temperatura esterna.



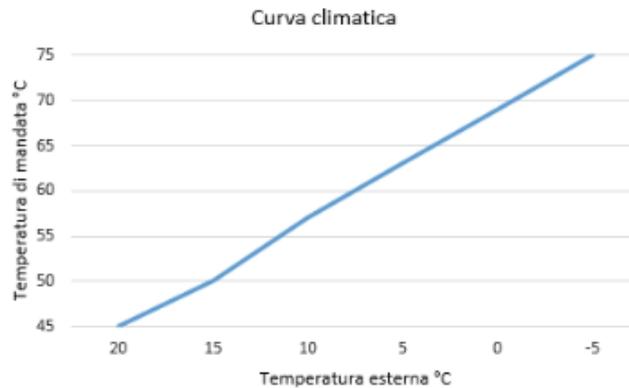
**Figura 69** Type62 Curva Climatica Simulation Studio

In questo lavoro di tesi è stato fatto riferimento alla curva climatica fornita dalla Caleffi, che altro non è che un approssimazione di una curva mediante una retta caratterizzata da tratti con pendenza diversa. In generale si può dire che una retta di questo tipo viene costruita a partire dagli estremi, quindi per ottenere una curva climatica a tratti come previsto da Caleffi, sono state fatte le seguenti ipotesi :

- Se la temperatura esterna è di 20°C la temperatura di mandata è di 45°C;
- Se la temperatura esterna è di 10°C la temperatura di madata è di 57°C;

- Se la temperatura esterna è di  $-5^{\circ}\text{C}$  la temperatura di mandata è di  $75^{\circ}\text{C}$ .

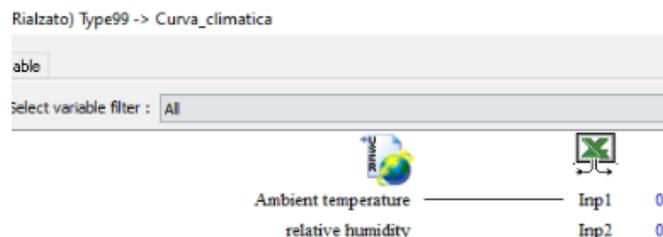
Per cui su Excel è stato creato una curva di seguito riportata:



**Figura 70** Curva climatica Excel

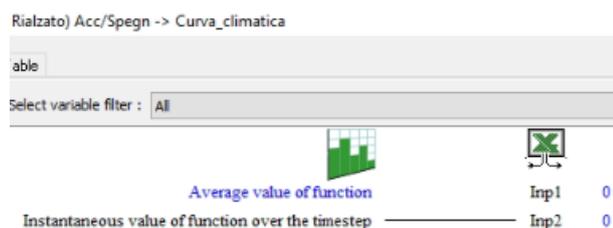
Inoltre è stato ipotizzato che quando l'impianto è spento la temperatura di set-point della caldaia è di  $30^{\circ}$ gradi. Per garantire le condizioni richieste all'interno del foglio di calcolo Excel sono stati impostati come input:

- La temperatura ambientale esterna, collegando al Typ62 della curva climatica l'output del Type99 "Ambient temperature",



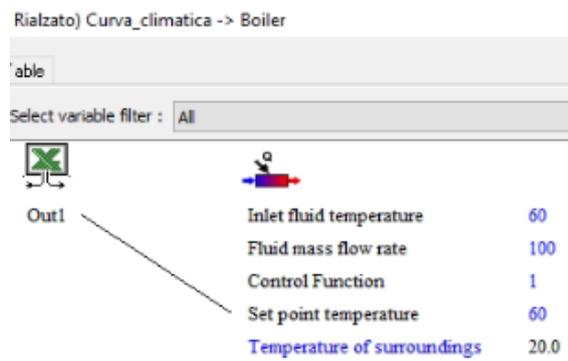
**Figura 71** Collegamento Type99-Type62 "Curva climatica" Simulation Studio

- La funzione di controllo che determina l'accensione e lo spegnimento dell'impianto, collegando al Type62 della curva climatica l'output del Type14 "Instantaneous value function over the timestep".



**Figura 72** Collegamento Type14-Type62 "Curva climatica" Simulation Studio

Per poi impostare il set-point della temperatura di mandata è stato collegato l'output del Type62 della curva climatica all'input "Set point temperature" del Type6 relativo alla caldaia.



**Figura 73** Collegamento Type62 "Curva climatica"-Type6 Simulation Studio

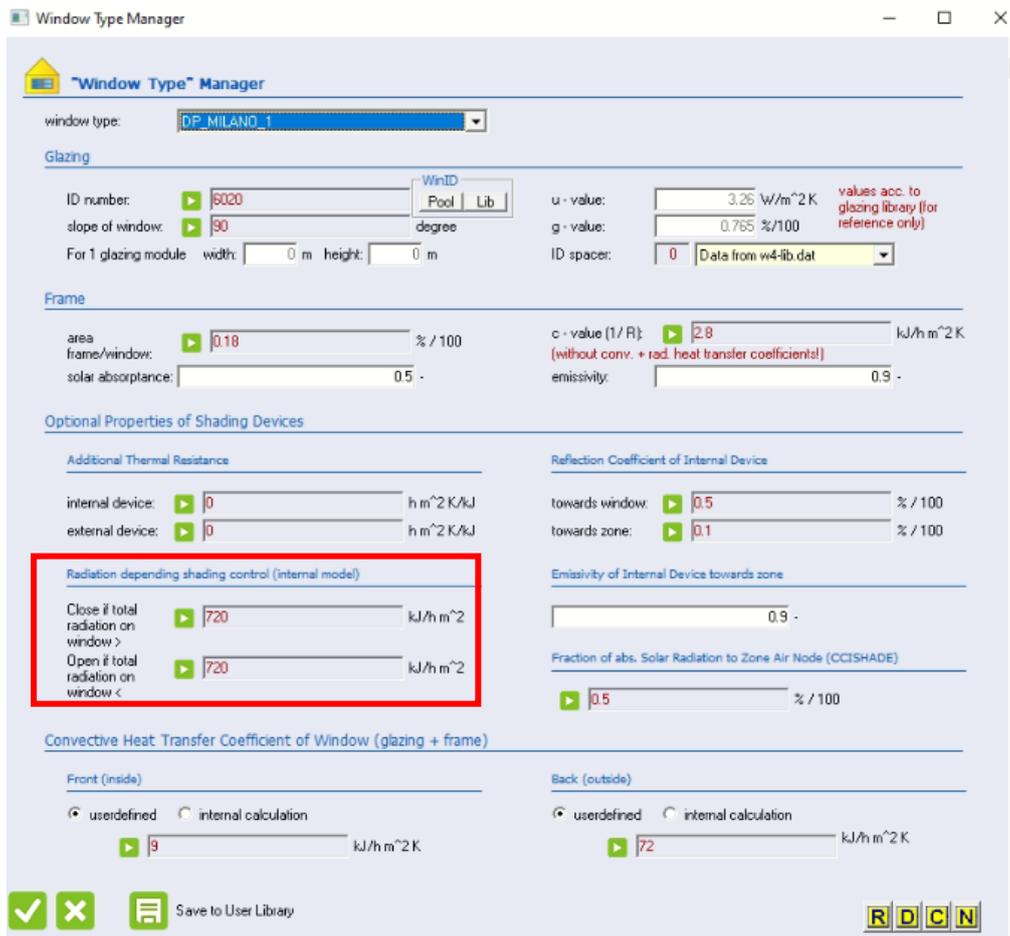
Mentre per quanto riguarda infine il sistema di schermatura solare, per implementare un controllo ad azionamento motorizzato automatico, è stata ripresa di nuovo come riferimento l'Annex A della norma 52016-1 alla tabella NA.24 "Regole per il funzionamento dei dispositivi di schermatura solare", che definisce la schermatura solare chiusa quando la radiazione solare è maggiore di 200 W/m<sup>2</sup> mentre aperta quando la radiazione solare è minore di 200 W/m<sup>2</sup>, corrispondenti a 720kJ/hm<sup>2</sup>.

Table NA.24 — Rules for operation of solar shading devices (see [G.2.2.1.2](#))

Application	All applications <sup>a</sup>	.... <sup>a</sup>
Control level	Rules	Rules
0 Manual operation	Closed: if solar irradiance > 300 W/m <sup>2</sup> Open: if solar irradiance < 200 W/m <sup>2</sup>	Not applicable
1 Motorized operation with manual control	Same	Not applicable
2 Motorized operation with automatic control	Closed: if solar irradiance > 200 W/m <sup>2</sup> Open: if solar irradiance < 200 W/m <sup>2</sup> and ≥ 2 hours passed since closing	Not applicable
3 Combined light/blind/HVAC control	Same <sup>b</sup>	Not applicable
<sup>a</sup> Add more columns if needed		
<sup>b</sup> Conservative rule; a level 3 combined control is not covered in this table		

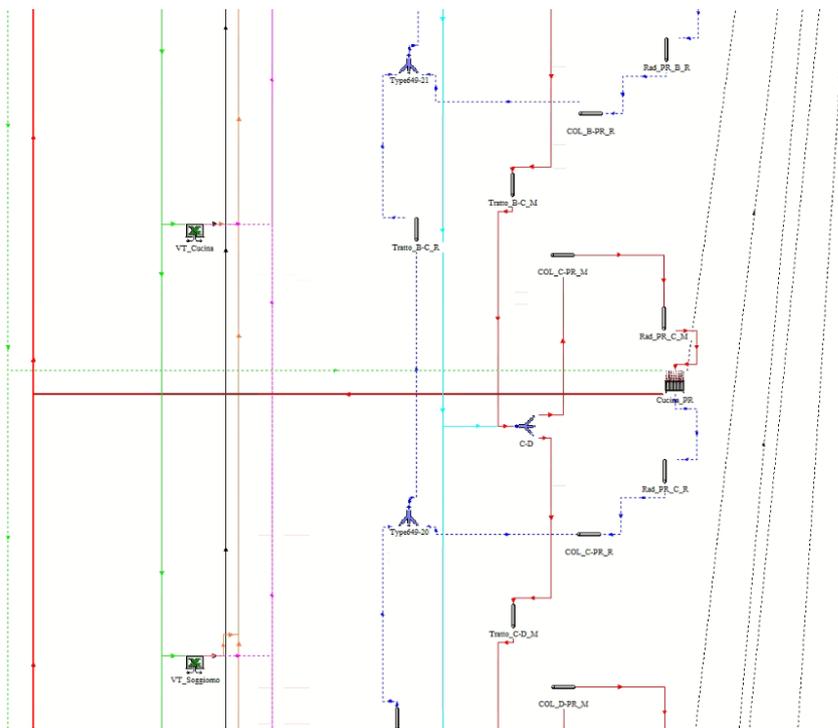
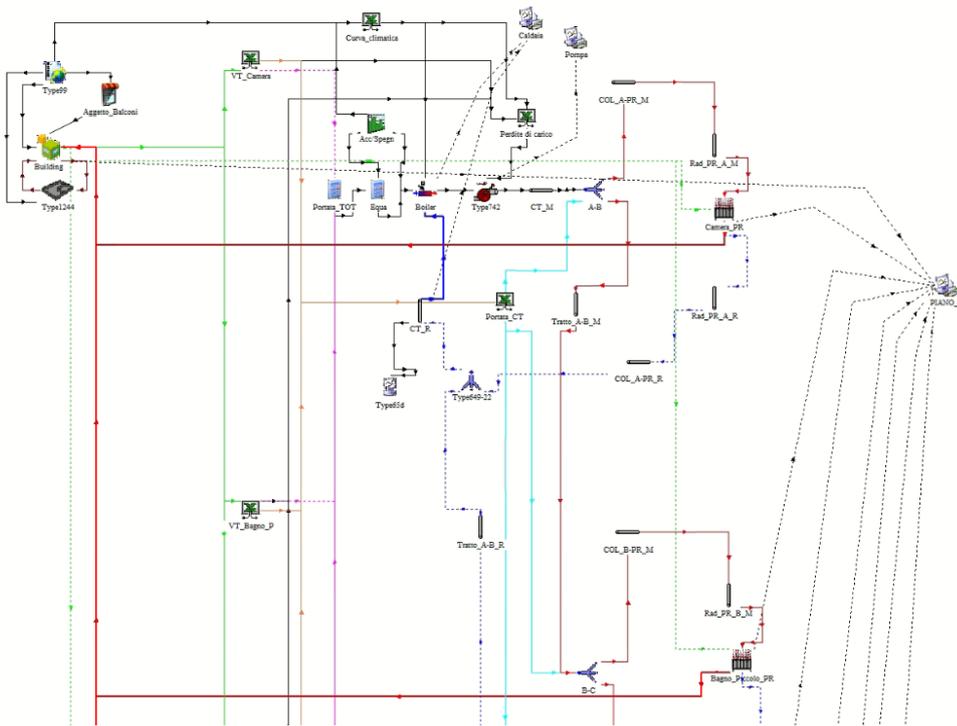
**Tabella 10** Regole per il funzionamento dei dispositivi di schermatura solare "Classe B"

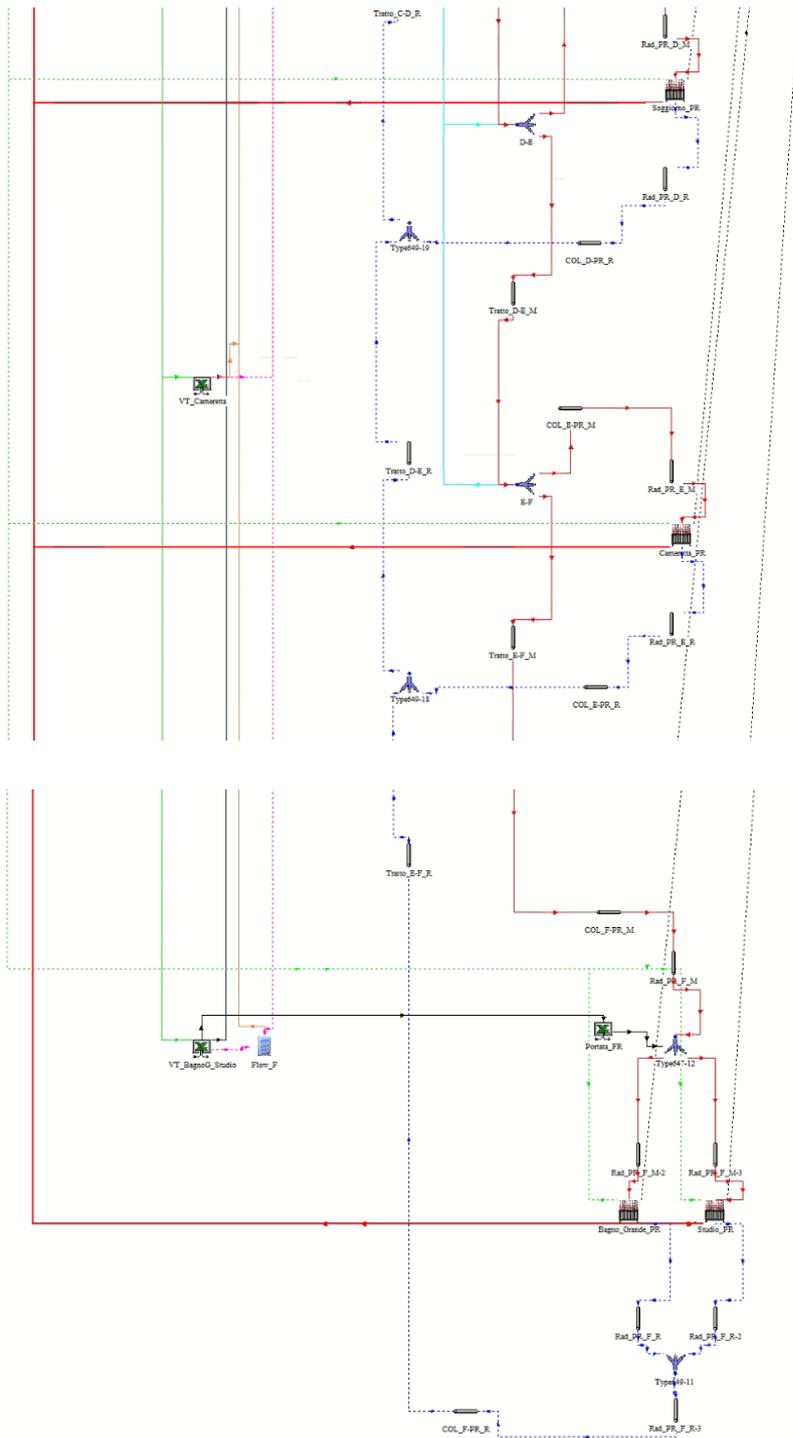
I valori suggeriti dalla norma quindi sono stati inseriti nell'interfaccia TRNBuild, nella sezione “Window Type Manager”, come si può vedere nella figura di seguito:



**Figura 74** Window Type Manager “Classe B” TRNBuild

Ottenendo quindi un modello di questo tipo:





*Figura 75 Modello “Classe B” Simulation Studio*

### 5.1.3.3 Scenario 3: Classe di efficienza energetica A

Infine per la modellazione di un impianto di riscaldamento e di schermatura solare con sistemi di controllo ed automazione corrispondente alla massima classe di efficienza energetica “A” è stata ripresa in esame la tabella 6 della norma UNI EN ISO 52120-1, sotto riportata, per valutare quali fossero i requisiti necessari:

Elenco delle funzioni e assegnazione alle classi di efficienza BAC													
		Definizione di classi											
		Residenziale				Non residenziale							
		D	C	B	A	D	C	B	A				
<b>Controllo automatico</b>													
<b>1</b>	<b>+</b>	<b>Controllo del riscaldamento</b>											
1.1	+	<b>Controllo delle emissioni</b>											
		La funzione di regolazione è applicata al corpo scaldante (radiatori, riscaldamento a pavimento, ventilconvettore, unità interna) a livello ambiente; per il tipo 1 una funzione può controllare più ambienti.											
		0	Nessun controllo automatico	x					x				
		1	Controllo automatico centrale	x					x				
		2	Controllo individuale della stanza	x	x				x	x			
		3	Camera modulante individuale controllo con la comunicazione	x	x	x	x <sup>a</sup>		x	x	x	x	x <sup>a</sup>
a In caso di calore a reazione lenta e sistemi di emissione fredda, ad esempio riscaldamento a pavimento, riscaldamento a parete, ecc., le funzioni 1.1.3 e 3.1.3 sono assegnate alla classe BAC A.													
b Negli edifici residenziali si applica solitamente solo alle aree pubbliche (es. scale, corridoi, ecc.)													
		4	Controllo locale modulante individuale con comunicazione e rilevamento di occupazione non applicato a sistemi di emissione del riscaldamento a reazione lenta, ad es. Riscaldamento a pavimento)		x	x	x	x		x	x	x	x
	X												
1.8	+	<b>Controllo delle pompe di distribuzione nelle reti</b>											
		Le pompe controllate possono essere installate a diversi livelli nella rete.											
		0	Nessun controllo automatico	x					x				
b		1	Comando acceso spento	x	x				x	x			
		2	Controllo multistadio	x	x	x			x	x	x		
		3	Controllo della pompa a velocità variabile (stime (interne) dell'unità di pompaggio)	x	x	x	x		x	x	x	x	x
		4	Controllo pompa a velocità variabile (segnale di domanda esterna)	x	x	x	x		x	x	x	x	x
1.8	+	<b>Controllo del generatore di calore (unità esterna)</b>											
		0	Controllo on/off del generatore di calore	x					x				
		1	Controllo multistadio del generatore di calore	x	x				x	x			
	X	2	Controllo variabile del generatore di calore	x	x	x	x		x	x	x	x	x
6	+	<b>Controllo cieco (ombreggiature)</b>											
		0	Operazione manuale	x					x				
		1	Funzionamento motorizzato con controllo manuale	x	x				x				
		2	Funzionamento motorizzato con controllo automatico	x	x	x			x	x			
	X	3	Controllo combinato luci/veneziane/HVAC	x	x	x	x		x	x	x	x	x

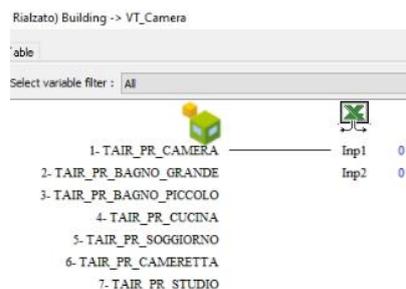
*Tabella 11 Classe di efficienza energetica A*

Si può notare che rispetto allo scenario legato ad una classe di efficienza energetica “B” è necessario integrare:

- Per il sottosistema emissivo, un controllo integrato di ogni locale con comunicazione, questa funzione prevede un controllo della temperatura di ogni locale con possibilità di interrompere il riscaldamento o impostarlo in stato di basso consumo in caso di assenza di persone o apertura schermature solari. Con tale logica di controllo il risparmio energetico è ottenuto grazie alla capacità del sistema di adeguarsi alle condizioni reali istantanee di utilizzo del locale (apporti di calore legati alla presenza di persone, apparecchiature che emettono calore, irraggiamento solare).
- Per le schermature solari invece è previsto un controllo combinato. Un controllo di questo tipo è capace di garantire un risparmio energetico invernale ed una protezione contro il sovrariscaldamento estivo e l’abbagliamento, grazie al controllo dell’energia solare gratuita. Le perdite termiche notturne inoltre possono essere ridotte con il controllo delle tapparelle, quindi è possibile affermare che la coordinazione, con comunicazione tra i regolatori delle schermature solare e del condizionamento ambientale, permette notevoli risparmi energetici.

Per implementare le funzioni previste dalla norma nell’interfaccia Simulation Studio è stato inserito il Type62, per ogni valvola termostatica di ciascun locale, in modo da collegare l’interfaccia ad un foglio di calcolo Excel creato appositamente a tale scopo. Il foglio di calcolo Excel è lo stesso delle valvole termostatiche, ma a questo è stata introdotta un’ipotesi fondamentale per la quale in funzione della radiazione solare incidente sulla schermatura, la valvola termostatica si imposterà su una condizione di normale funzionamento oppure di funzionamento a basso consumo.

All’interno del foglio di calcolo Excel sono stati impostati due input. Il primo input è la temperatura del locale in cui si trova la valvola termostatica considerata. Quindi è stato collegato l’output del Type56 che definisce questo valore, come si può vedere nella figura di seguito:



**Figura 76** Collegamento Type56-Type62 "VT\_Camera" Simulation Studio

”

Il secondo input è riferito alla radiazione solare incidente sul serramento presente all'interno del locale. Per ottenere questo valore è stata inserita il Type “*New Equation, Rad\_Camera*” che permette di eseguire una somma degli output del Type56 appositamente dedicati alla determinazione della radiazione solare incidente, che sono rispettivamente:

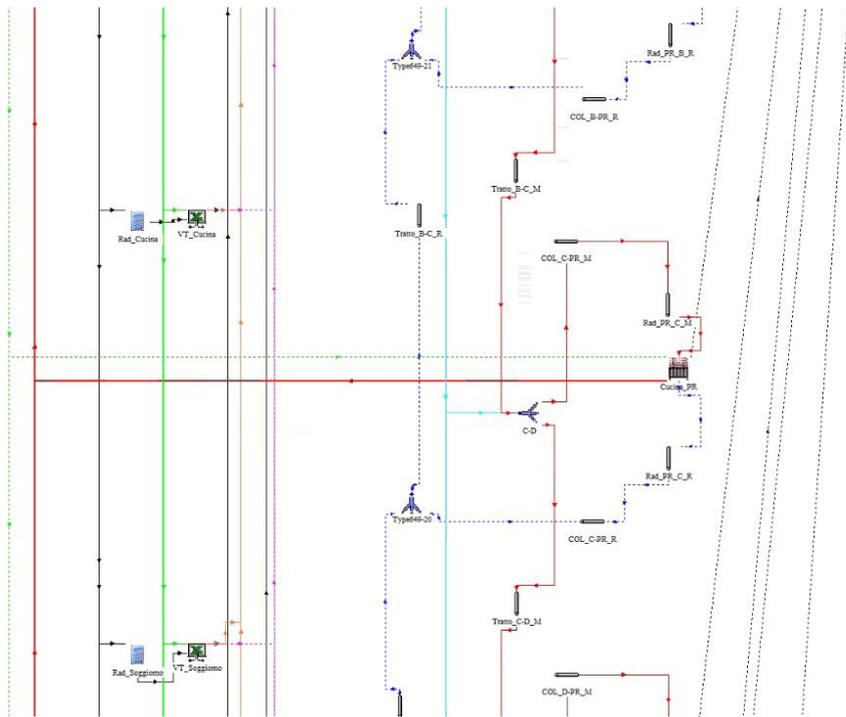
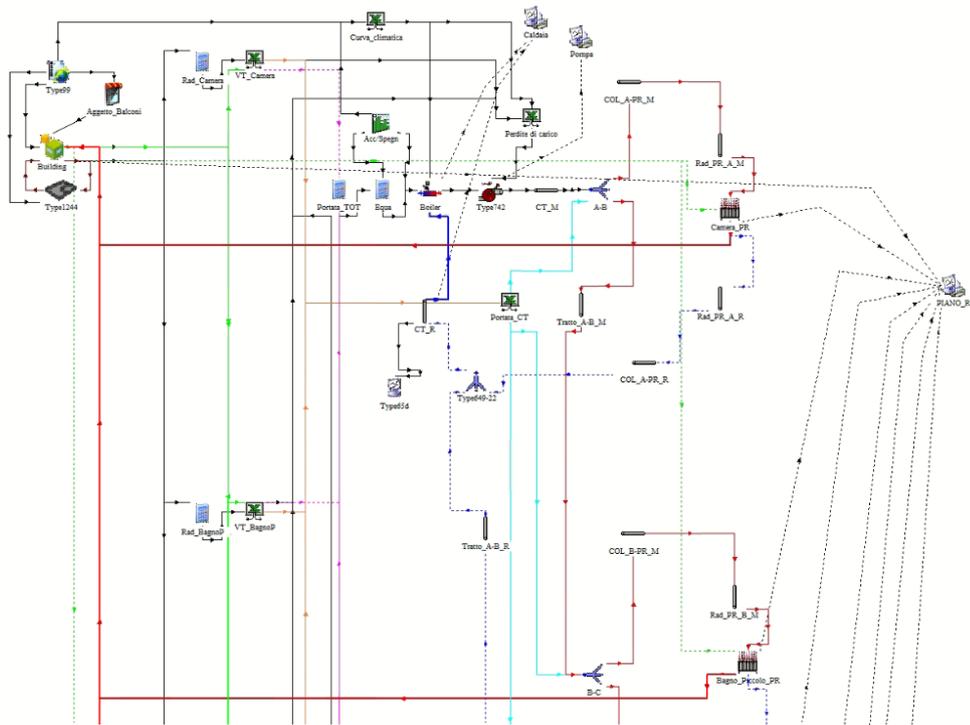
- QSGI, radiazione solare dai vetri della finestra;
- QSISH, radiazione solare assorbita dal dispositivo oscurante interno della finestra;
- QSOFR, radiazione solare assorbita dal telaio esterno della finestra.

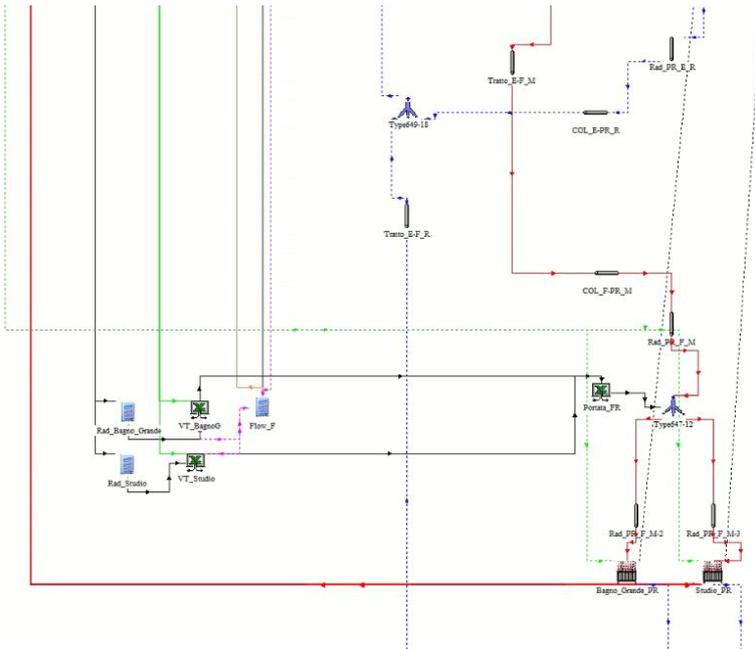
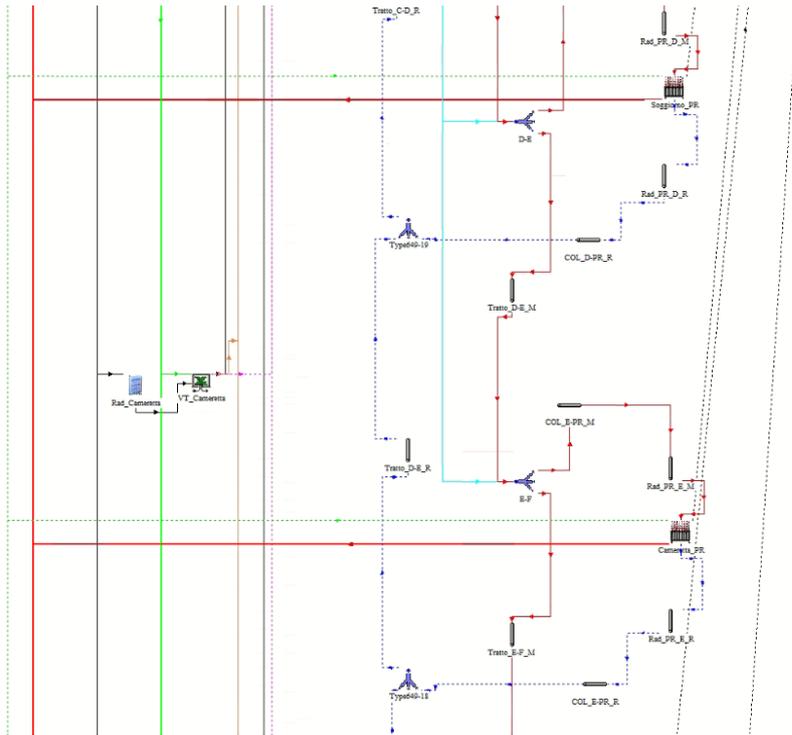
L'output del Type “*New Equation Rad\_Camera*” è stato poi collegato al foglio di calcolo Excel, all'interno del quale è stata impostata un'equazione che permette un funzionamento parzializzato della valvola termostatica ovvero:

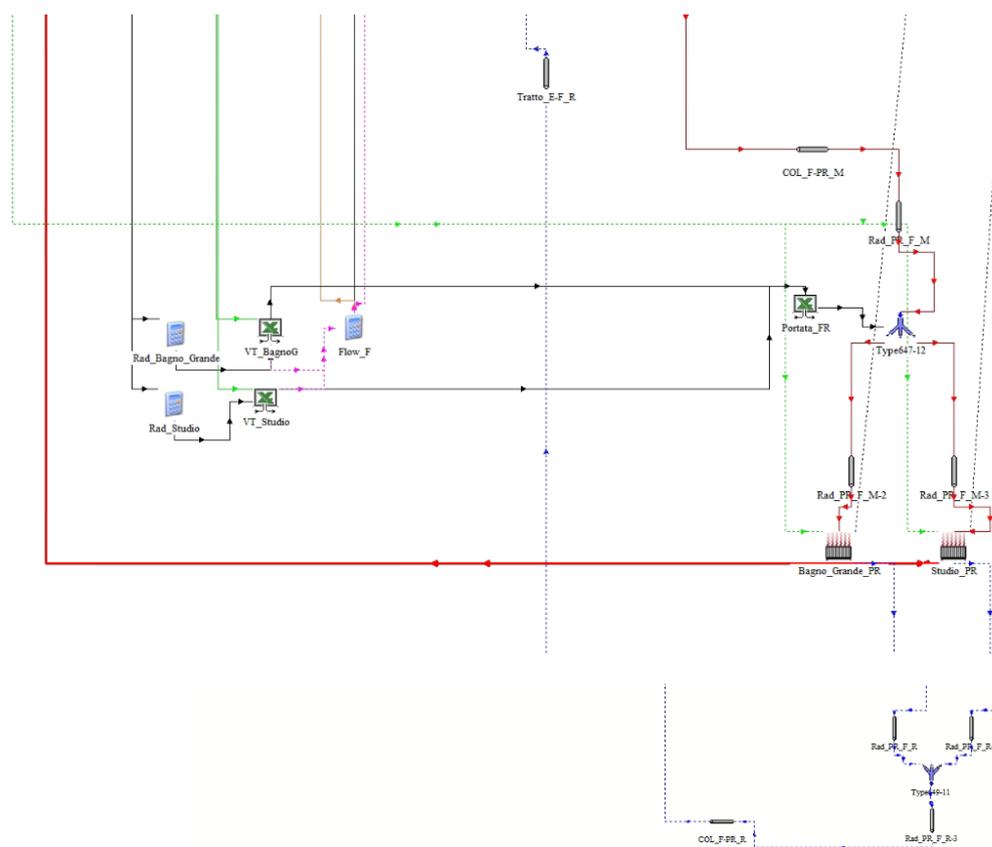
- Se la radiazione solare incidente sul serramento è maggiore di  $200 \text{ W/m}^2$ , quindi è aperto, il set-point è impostato a  $19^\circ\text{C}$ ;
- Se la radiazione solare incidente sul serramento è minore di  $200 \text{ W/m}^2$ , quindi è chiuso, il set-point è impostato a  $21^\circ\text{C}$ .

I Type62 delle valvole termostatiche quindi forniscono in output la portata richiesta dal radiatore in funzione del set-point impostato ed è stato collegato al Type “*Portata\_TOT*”, per determinare la portata in ingresso in caldaia.

L'utilizzo dei Type appena elencati ha permesso la modellazione di un sistema di riscaldamento e di schermatura solare con i relativi sistemi di controllo ed automazione corrispondente alla Classe A, soddisfacendo le richieste della norma UNI EN ISO 52120-1. Si è così ottenuto il modello di seguito riportato.







**Figura 77** Modello “Classe A” Simulation Studio

In conclusione però c'è da dire che in Simulation Studio non è stato possibile modellare l'impianto con i sistemi di controllo ed automazione per la classe di efficienza energetica prevista dalla norma nella sua completezza, quindi considerando l'intero edificio nello stesso modello; in quanto le numerose variabili in gioco e lo scambio di queste, tra i vari Types utilizzati, rendono la simulazione molto lenta e complessa con il rischio anche di eventuali errori di convergenza dei valori delle variabili utilizzate per perseguire l'obiettivo di questa tesi. Per cui è stata considerata un'unica unità immobiliare corrispondente a quella del piano rialzato, ritenendo comunque soddisfacente il lavoro che si andrà a svolgere in quanto a differenza della norma UNI EN ISO 52120-1 che per la valutazione dei fattori BACS considera una singola stanza, in questo caso invece si andrà a valutare un'intera unità immobiliare.

## **6. Elaborazione risultati**

In questo capitolo conclusivo viene fatto un confronto tra i risultati relativi all'impatto dei sistemi di controllo ed automazione integrati all'impianto di riscaldamento e schermatura solare, richiesti per le classi di efficienza energetica A e B; dapprima valutati attraverso l'applicazione della norma UNI EN ISO 52120-1 mediante il metodo fattori BACS e successivamente ottenuti eseguendo le simulazioni dei scenari modellati attraverso il software TRNSYS. Come già detto nell'introduzione di questa tesi l'obiettivo è quello di valutare l'attendibilità del metodo, analizzandolo per lo specifico edificio oggetto di studio in funzione del suo utilizzo e delle condizioni climatiche relative all'ubicazione essendo questo metodo normativo utilizzato spesso per valutazioni preliminari.

### **6.1 UNI EN ISO 52120-1 Metodo dei fattori BAC**

Il metodo dei fattori BAC, come già detto, è stato stabilito per un calcolo preliminare e semplice dell'impatto delle funzioni di automazione, controllo e gestione sulle prestazioni energetiche dell'edificio e quindi sul consumo energetico degli impianti tecnici in un intervallo di tempo prestabilito.

La norma UNI EN ISO 52120-1 ha valutato l'impatto delle diverse funzioni BAC sulle prestazioni energetiche, analizzando i consumi annuali di una stanza standardizzata (EPBD 2006) per casi caratterizzati da diversi sistemi di controllo ed automazione che rappresentano le classi di efficienza BAC.

La stanza utilizzata dalla Norma come riferimento per questi calcoli ha le seguenti proprietà:

- 1) Dimensioni: 5 m x 4 m x 3;
- 2) Superficie: 20 m<sup>2</sup>;
- 3) Parete esterna:
  - a) 15 m<sup>2</sup> (comprese le finestre di 8 m<sup>2</sup>);
  - b) Orientamento: ovest;
- 4) Valori U:
  - a) 0,34 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup> (parete esterna);
  - b) 0,65 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup> (parete interna);
  - c) 0,4 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup> (pavimento/soffitto);
  - d) 1,4 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup> (finestra, SHGC = 0,58);
- 5) Masse termica: C media = 50 W h m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>.

Le ulteriori condizioni al contorno definite dalla norma, aggiuntive a quella appena riportate sono:

- Temperature degli ambienti nelle zone adiacenti, considerate dalla norma tutte identiche in modo che vi sia una condizione adiabatica delle condizioni al contorno per le pareti interne;
- Profili di utilizzo tali da ricoprire quante più destinazioni d'uso degli edifici, come indicato nella norma ISO 52003-1;
- Condizioni metereologiche con riferimento alla stazione di Würzburg, Germania, (Deutscher Wetterdienst DWD, Offenbach).

Dai risultati ottenuti con le simulazioni per la valutazione delle prestazioni energetiche, la norma eseguendo calcoli opportuni, ha definito un set di quattro fattori di efficienza BAC:

- $f_{BAC,H}$ : fattore relativo all'energia termica per il riscaldamento;
- $f_{BAC,C}$ : fattore relativo all'energia termica per il raffrescamento,
- $f_{BAC,DHW}$ : fattore relativo all'energia termica per acqua calda sanitaria;
- $f_{BAC,el}$ : fattore relativo all'energia elettrica per la ventilazione, l'illuminazione e i dispositivi ausiliari.

Questi sono a disposizione per valutare:

- energia termica per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti;
- energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria;
- energia elettrica per ventilazione, illuminazione e dispositivi ausiliari;

L'energia trasferita agli impianti tecnici degli edifici tiene conto quindi del fabbisogno energetico, delle perdite termiche totali dei sistemi che lo compongono e dall'energia richiesta dalle apparecchiature ausiliarie per far funzionare gli impianti tecnici. In particolare ciascun sistema energetico deve essere valutato con il fattore BAC corretto, quindi nel caso in esame per valutare l'energia termica richiesta dall'edificio vengono utilizzati il fattori  $f_{BAC,H}$  ed  $f_{BAC,el}$ .

I fattori di efficienza BAC vengono classificati in funzione del tipo di edificio e alla classe di efficienza che rappresenta il sistema BAC considerato. In merito al fattore BAC da utilizzare per valutare l'energia termica per il riscaldamento, per edifici residenziali, si fa riferimento alla tabella A.2 della norma:

**Table A.2 — Overall BAC efficiency factors  $f_{BAC,th}$  – Residential buildings**

Residential building types	Overall BAC efficiency factors $f_{BAC,th}$			
	D	C	B	A
	Non energy efficient	Reference Standard	Advanced	High energy performance
Single family houses	1,10	1	0,88	0,81
Apartment block				
Other residential buildings or similar residential buildings				

**Tabella 12** Valori del fattore di efficienza BAC “ $f_{BAC,H}$ ”, per edifici residenziali

Mentre per il fattore BAC relativo all’energia elettrica richiesta dagli ausiliari, per edifici residenziali, si fa riferimento alla tabella A.4

**Table A.4 — Overall BAC efficiency factors  $f_{BAC,el}$  – Residential buildings**

Residential building types	Overall BAC efficiency factors $f_{BAC,el}$			
	D	C	B	A
	Non energy efficient	Reference Standard	Advanced	High energy performance
Single family houses	1,08	1	0,93	0,92
Multi family houses				
Apartment block				
Other residential buildings or similar residential buildings				

**Tabella 13** Valori del fattore di efficienza BAC “ $f_{BAC,el}$ ”, per edifici residenziali

Dopo una breve descrizione del metodo dei fattori BACS, è possibile passare all’applicazione dello stesso per valutare l’impatto dei sistemi di controllo ed automazione sulla prestazione energetica dell’edificio, così da confrontarlo successivamente con i risultati di TRNSYS.

Il primo passaggio consiste nel definire la classe di efficienza energetica di riferimento ed in questo caso è stata presa la classe “C”, che corrisponde ad un sistema di automazione e controllo degli edifici all’avanguardia.

Dopo di che per valutare l’impatto dei sistemi di controllo ed automazione per un caso con una classe di efficienza energetica diversa da quella di riferimento si possono applicare le formule della normativa, che per quanto riguarda il sistema di riscaldamento sono:

$$Q_{H,tot,BAC} = (Q_{H,nd} + Q_{H,ls}) \frac{f_{BAC,H}}{f_{BAC,H,ref}}$$

Dove:

- $Q_{H,tot,BAC}$  è l’energia termica totale riferita alla classe di efficienza BAC;
- $Q_{H,nd,B}$  è il fabbisogno di energia termica dell’edificio, calcolato secondo ISO 52016-1;

- $Q_{H,ls}$  è la perdita di energia dell'impianto di riscaldamento, calcolate secondo la EN 15316 per il sistema di riscaldamento;
- $f_{BAC,H}$  è il fattore di efficienza BAC per l'energia termica (riscaldamento);
- $f_{BAC,H,ref}$  è il fattore di efficienza BAC per l'energia termica (riscaldamento) per BAC di riferimento.

Il primo valore da determinare, al fine di applicare la formula prevista dalla normativa, è il  $Q_{H,nd,B}$ , nel caso in esame è stato assunto pari al fabbisogno energetico utile per il riscaldamento che restituisce il software Termo corrispondente a 14045,09 kWh. Le perdite di energia  $Q_{H,ls}$  sono state opportunamente stimate con la normativa di riferimento, mediante l'utilizzo di prospetti con dati precalcolati relativi ai sottosistemi dell'impianto di riscaldamento cioè emissione, regolazione, distribuzione, generazione e sono pari a 4004,09 kWh. Quindi l'energia termica totale corrisponde a 18049,18 kWh. Prendendo come detto la classe di efficienza energetica "C", volendo valutare l'impatto per le classi "B" ed "A" dei sistemi di controllo ed automazione, vengono assunti i valori dei fattori BACS riportati dalla normativa che sono rispettivamente:

- $f_{BAC,H,ref} = 1$ , classe "C";
- $f_{BAC,H} = 0,88$ , classe "B";
- $f_{BAC,H} = 0,81$  classe "A".

A questo punto è possibile applicare la formula della normativa. Ipotizzando di voler integrare all'impianto di riscaldamento, un sistema di controllo ed automazione corrispondente alla classe di efficienza energetica "B", si ottiene il seguente risultato:

$$Q_{H,tot,BAC} = (14045,09 + 4004,09) \frac{0,88}{1} = 15755,69 [kWh]$$

Quindi una riduzione rispetto al caso di classe "C", dell'energia termica totale richiesta dall'impianto del 12%.

Mentre andando a valutare il caso in cui si considera un sistema di controllo ed automazione in classe "A", si ottiene che l'energia termica totale richiesta è pari a:

$$Q_{H,tot,BAC} = (14045,09 + 4004,09) \frac{0,81}{1} = 14502,39 [kWh]$$

Ovvero una riduzione del 19% rispetto alla classe di efficienza energetica "C".

### **6.1 Simulazione scenari Simulation Studio**

Successivamente sono state eseguite le simulazioni dei modelli realizzati in Simulation Studio, descritti nel capitolo precedente, rappresentanti i tre possibili scenari relativi a un sistema di controllo

ed automazione, integrato all'impianto di riscaldamento, prima in classe di efficienza energetica "C" e successivamente di classe "B" ed "A".

Il periodo di simulazione considerato è pari all'intervallo di calcolo del software Termo, quindi corrispondente alla stagione di riscaldamento che va dal 15 ottobre al 15 aprile.

Nelle simulazioni gli output analizzati sono quelli riferiti al Type56 per quanto riguarda l'edificio nel suo complesso ed il Type6 che modella la caldaia nella centrale termica.

Dal Type56 è stato analizzato l'output T\_AIR, per ogni locale del piano rialzato, cioè la temperatura dell'aria all'interno degli stessi, per verificare che il modello funzionasse correttamente.

Per quanto riguarda il Type6 gli output utilizzati al fine di un confronto con il metodo dei fattori BACS, sono:

- "Required Heating Rate" definita nel manuale "04-MathematicalReference"  $Q_{aux}$ , ovvero la potenza necessaria per riscaldare il fluido alla temperatura di set-point comprese le perdite e le inefficienze di conversione, dato dalla seguente formula:

$$Q_{aux} = Q_{loss} + Q_{fluid}$$

Dove:

- $Q_{loss}$  = perdite termiche dal riscaldatore all'ambiente [kJ/h];
- $Q_{aux}$  = tasso di perdite termiche disperse nell'ambiente [kJ/h];

Quindi sarà il valore che verrà utilizzato per confrontare i risultati delle simulazioni con i risultati con il metodo della normativa.

- "Losses from the auxiliary heater",  $Q_{loss}$  calcolato con la formula seguente:

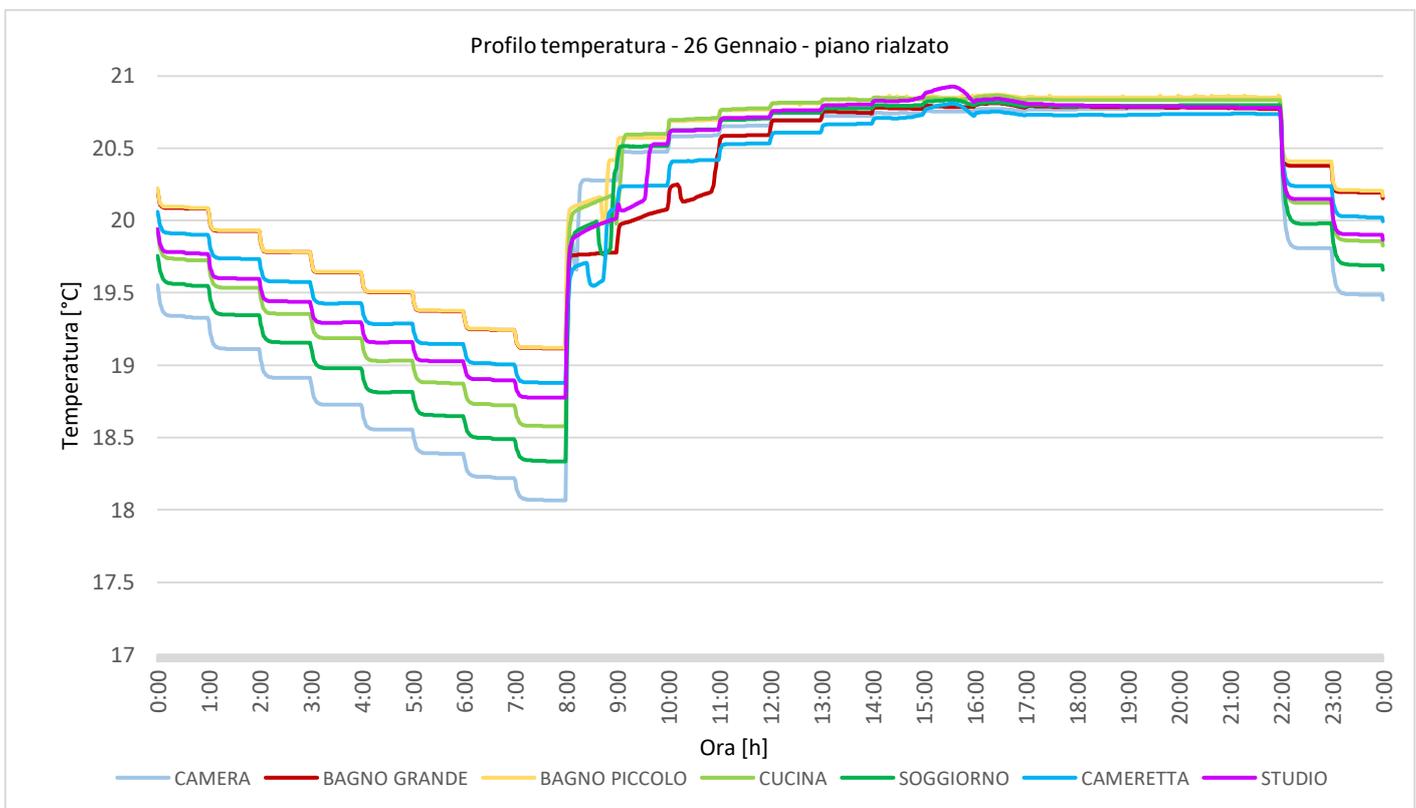
$$Q_{loss} = UA \times (T - T_{env}) + (1 - \eta_{htr}) \times Q_{max}$$

Dove:

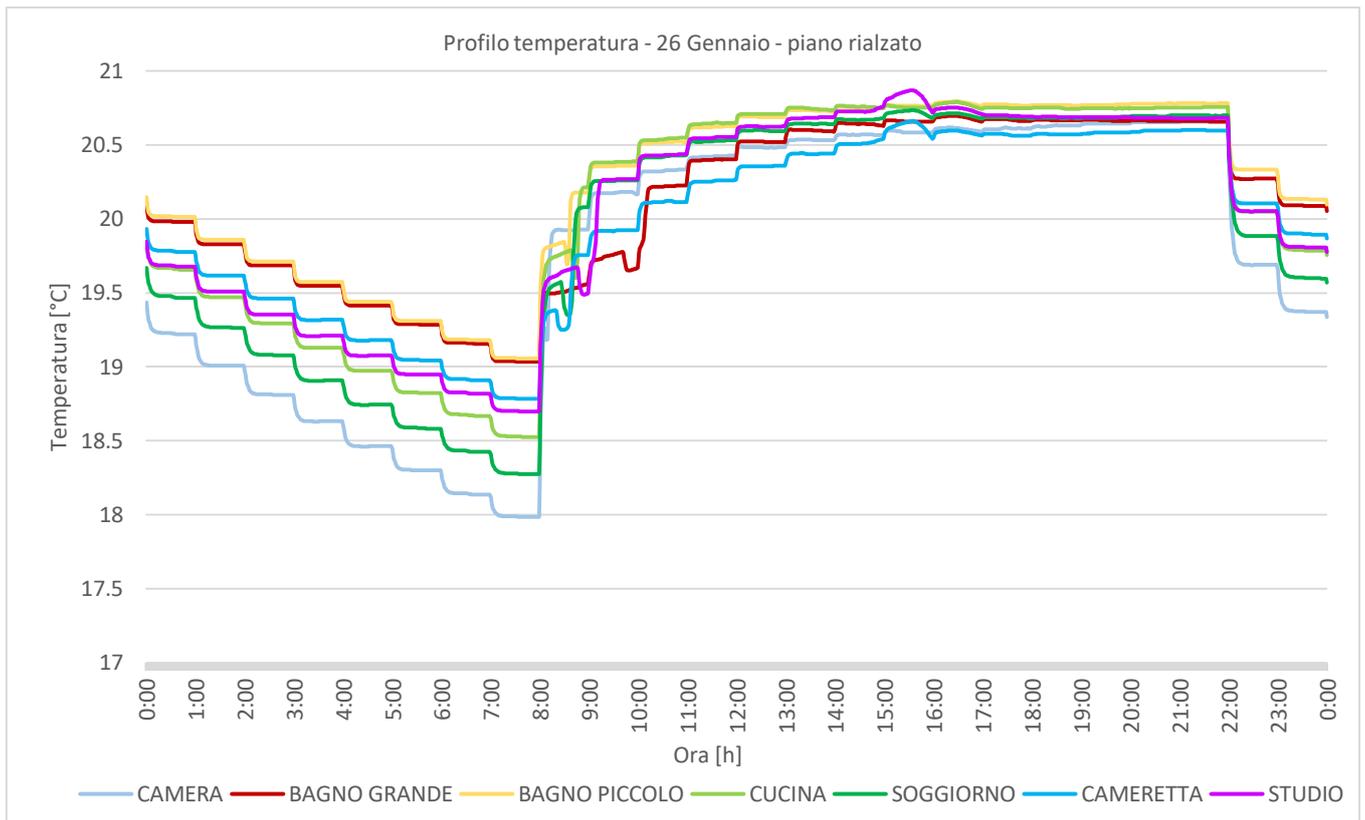
- $UA$  coefficiente di perdita complessivo tra il riscaldatore e l'ambiente circostante durante il funzionamento [kJ/h];
- $T = \frac{(T_o + T_{in})}{2}$  con  $T_o$  temperatura mandata fluido termovettore [°C],  $T_{in}$  temperatura ritorno fluido termovettore [°C];
- $T_{env}$  temperatura locale dove il generatore è installato [°C];
- $\eta_{htr}$  rendimento generatore;

-  $Q_{max}$  potenza nominale radiatore [kJ/h].

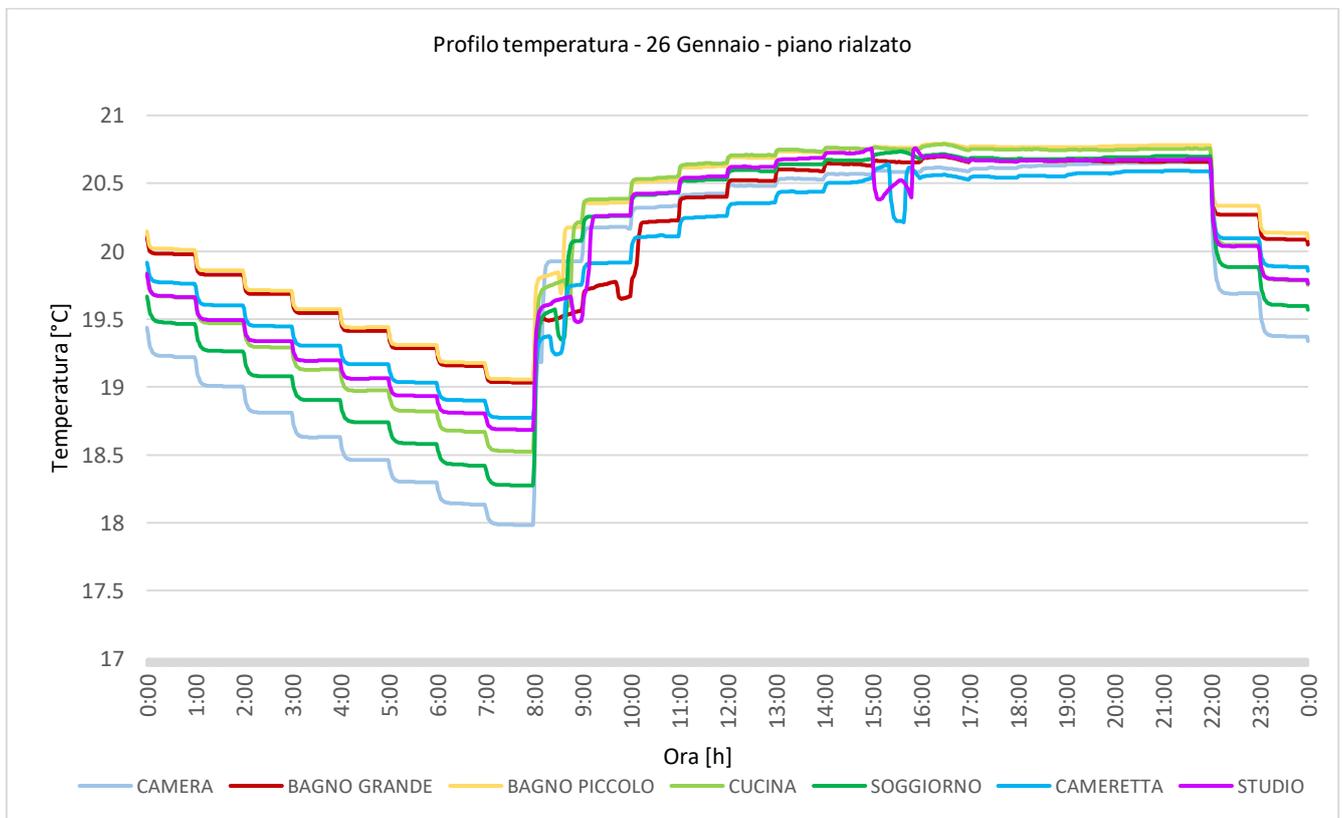
Per controllare che il modello funzionasse correttamente sono state quindi prima valutate le temperature dei locali del piano rialzato, prendendo un giorno tipo della stagione di riscaldamento, corrispondenti al 26 gennaio verificando che le stesse durante il funzionamento dell'impianto si mantenessero intorno al set-point di 20°C. Come si può notare dalle figure di seguito riportate, le temperature di ogni locale, per ciascun scenario di classe di efficienza energetica, rispettano le condizioni richieste di set-point, con andamento della temperatura oscillatorio a causa dell'accensione e spegnimento dell'impianto. Nonostante tutto durante il periodo di accensione dell'impianto, l'andamento della temperatura è rettilineo il che sta a significare che questa si assesta intorno ai 20°C.



**Figura 78** Andamento temperatura locali piano rialzato "classe C"



**Figura 79** Andamento temperatura locali piano rialzato "classe B"



**Figura 80** Andamento temperatura locali piano rialzato "classe A"

Dopo di che è possibile valutare l'impatto dei sistemi di controllo ed automazione sulle prestazioni energetiche dell'edificio per ciascun scenario. Attraverso i risultati importati dalle simulazioni nel software TRNSYS, ottenuti considerando sempre le stesse condizioni al contorno in termini di struttura e di dati climatici relativamente all'edificio in esame ed ubicazione, partendo dalla classe di efficienza energetica "C" ottenendo un fabbisogno energetico, per mantenere le condizioni di comfort all'interno degli ambienti di 17968,92 kWh, secondo il software TRNSYS.

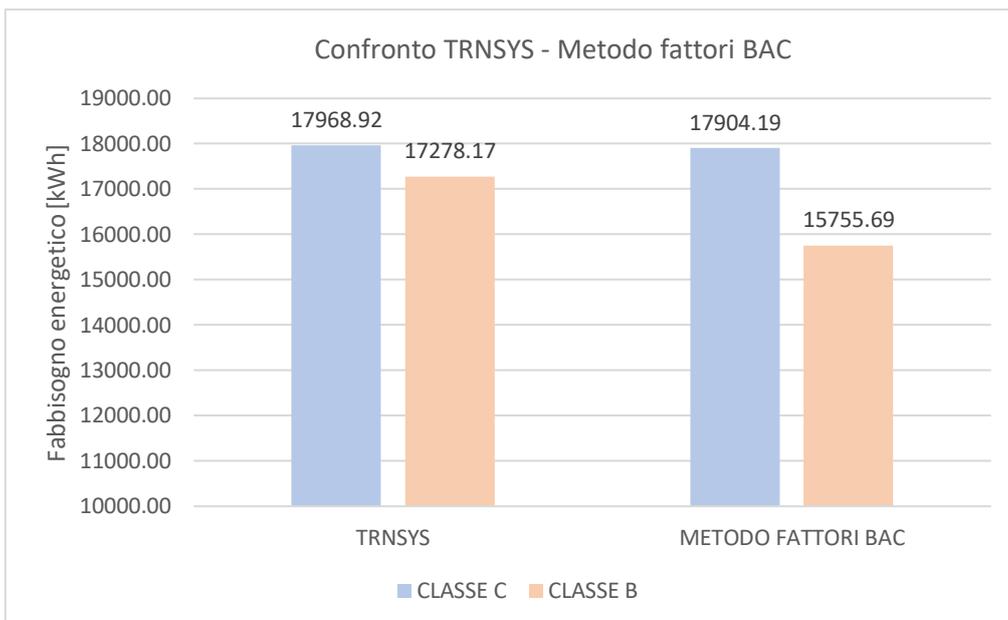
Successivamente con le implementazioni delle funzioni dei sistemi di controllo ed automazione richieste dalla normativa che garantiscono un passaggio del sistema alla classe di efficienza "B", il fabbisogno energetico si riduce ad un valore di 17278,17 kWh, quindi in termini percentuali una riduzione pari al 3,84%.

Nell'ultimo caso riferito al passaggio ad una classe di efficienza energetica "A", integrando le funzioni dei sistemi di controllo ed automazione richieste dalla normativa, i risultati TRNSYS hanno invece evidenziato una riduzione del fabbisogno energetico corrispondente a 17260,21 kWh, quindi in termini percentuali una riduzione del 3,94%.

## **7. Conclusioni**

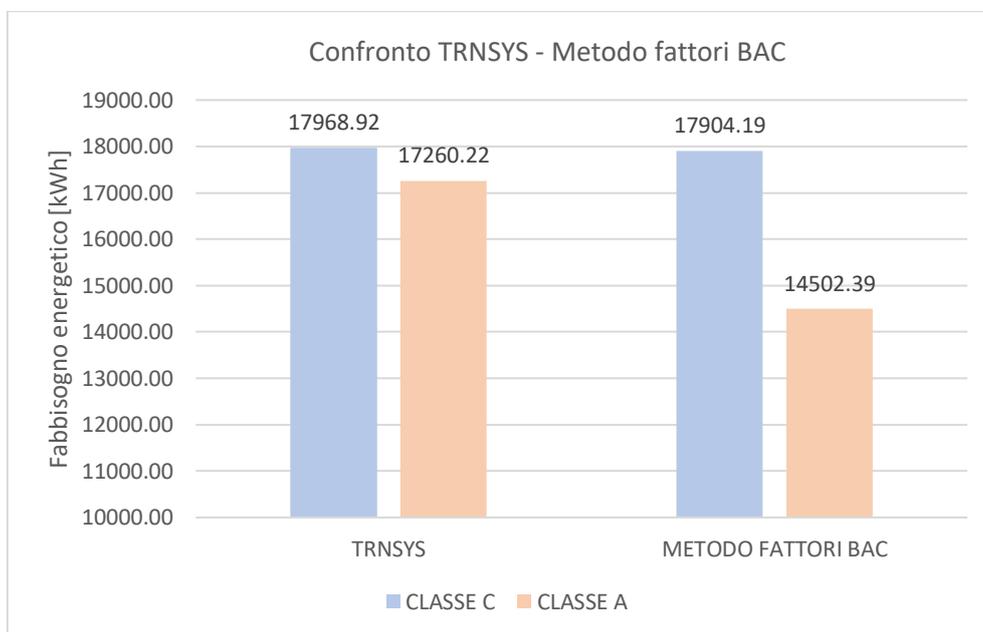
In questo capitolo conclusivo del seguente lavoro di tesi, svolto presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche dell'Università Politecnica delle Marche, sono stati analizzati i risultati riguardanti l'impatto dei sistemi di controllo ed automazione sulla prestazione energetica dell'edificio, ottenuti con l'applicazione del metodo dei fattori BAC della norma UNI EN ISO 52120-1 e con il software di simulazione dinamica TRNSYS, prendendo come riferimento un edificio residenziale ubicato a Milano, con lo scopo di valutare e confrontare i due metodi evidenziando le possibili cause dei risultati diversi.

Partendo dallo scenario in cui si è ipotizzato un passaggio dalla classe di efficienza energetica dei sistemi di controllo ed automazione "C" alla "B", tramite il metodo dei fattori BAC la riduzione del fabbisogno energetico è risultato pari al 12%, mentre con la simulazione TRNSYS la riduzione del fabbisogno è pari 3,84%, come si può vedere dal grafico seguente



**Figura 81** *Impatto classe efficienza energetica "B"*

Mentre per il passaggio dalla classe "C" alla "A", tramite il metodo dei fattori BAC la riduzione del fabbisogno energetico è risultata pari 19%, mentre tramite il software TRNSYS la simulazione ha restituito risultati, la cui elaborazione ha evidenziato una riduzione del 3,94%, come si può notare dal grafico seguente.



**Figura 82** *Impatto classe efficienza energetica "A"*

Dalla comparazione dei risultati ottenuti rispettivamente con il metodo dei fattori BAC e con il software TRNSYS, è possibile notare che sussiste una differenza dell'impatto dovuto all'integrazione di questi sistemi di controllo ed automazione corrispondenti alle classi di efficienza energetica

analizzate, seppur portando ad una situazione favorevole in termini energetici con una riduzione del fabbisogno energetico, espressa in entrambi i metodi.

Quindi si può dire che mediante la variazione percentuale dell'impatto dei sistemi di controllo ed automazione sulle prestazioni energetiche degli edifici per ciascun metodo di calcolo, è emerso che il metodo dei fattori BAC della norma porta a sovrastimare i vantaggi che si otterrebbero considerando le condizioni effettive dell'ambiente in cui i sistemi vengono installati.

La sensibile differenza può essere correlata a molteplici cause legate sia alle ipotesi assunte dalla norma per definire il metodo di calcolo, sia alle ipotesi fatte per la modellazione in TRNSYS. In merito alle ipotesi della norma UNI EN ISO 52120-1, le incongruenze possono essere correlate a:

- Condizioni metereologiche: ovvero il metodo normativo fa riferimento ad una stazione meteo localizzata a Würzburg Germania; mentre per il modello realizzato in Simulation Studio, sono state prese in considerazione le condizioni climatiche reali che caratterizzano la città di Milano, sia in termini di temperatura estera, influenzando direttamente l'energia termica dispersa per trasmissione, sia in termini di radiazioni solari incidenti influenti sul funzionamento della schermatura solare e sugli apporti gratuiti ;
- Dimensioni dei locali: la normativa considera un'unica stanza normalizzata, mentre in Simulation Studio viene fatto uno studio di un'intera unità immobiliare, con le relative tamponature, divisori, solaio e serramenti che hanno trasmittanze termiche sensibilmente diverse da quelle di riferimento della norma;
- Condizione al contorno locale: secondo la norma la stanza di riferimento confina con locali che si trovano alla stessa temperatura di quella in esame, quindi le superfici divisorie vengono considerate adiabatiche, mentre del modello di TRNSYS, il piano considerato confina superiormente con un locale riscaldato ed inferiormente con un locale non riscaldato. Inoltre all'interno dell'unità immobiliare ciascun locale ha un controllo individuale della temperatura, quindi per ciascuno di esso le temperature possono essere diverse a seconda dell'impostazione della valvola termostatiche, seppur con una differenza minima delle stesse.

Nel modello in Simulation Studio per implementare le funzioni di controllo richieste per le classi di efficienza energetica "C", "B" ed "A" sono state fatte delle ipotesi sia in merito alle valvole termostatiche per le quali è stata assunta una relazione perfettamente lineare tra il grado di apertura della valvola e la temperatura ambiente. Inoltre è stata adottata per la caldaia una curva climatica ideale approssimandola con una funzione a doppia pendenza che lega linearmente la temperatura di mandata e la temperatura esterna. Infine l'ipotesi più forte è stata fatta per la valvola termostatica, che ha permesso il passaggio del sistema di controllo ed automazione in

classe di efficienza energetica “A”. Per questa valvola è stato supposto che sia in grado di impostare un regime emissivo del radiatore in funzione della radiazione solare incidente sul serramento, sfruttando quindi gli apporti solari gratuiti, impostandosi nella condizione di basso consumo.

In conclusione si può affermare che il metodo dei fattori BACS, per valutare l’impatto delle funzioni di controllo ed automazione restituisce dati accettabili seppur con una sovrastima di quelli ottenibili con un software di simulazione dinamica oraria. Quindi come definito dalla stessa norma, questo metodo può essere utile in una fase preliminare di progettazione di un impianto con i relativi sistemi di controllo ed automazione. Mentre per eseguire un’analisi più precisa sarà necessario come in questo caso la realizzazione di un modello attraverso adeguati software.

A supporto del lavoro svolto, considerabile come punto di partenza, per uno sviluppo futuro è possibile estendere l’analisi di valutazione del metodo dei fattori BACS, andando ad utilizzare come oggetto di studio edifici caratterizzati da destinazione d’uso diversa da quella residenziale. Inoltre potrebbe essere utile prendere in esame anche strategie di controllo che riguardano impianti tecnici come ad esempio ventilazione e raffrescamento, andando anche a considerare logiche di controllo basate sul profilo di utenza. In ultimo per una migliore modellazione dei sistemi di controllo ed automazione, potrebbe essere utile implementare le condizioni reali di funzionamento dei componenti di un impianto, come in questo caso lo è stato per le valvole termostatiche, la curva climatica della caldaia e il funzionamento della pompa a giri variabili.

## **8. Indice delle figure**

<b>Figura 1</b>	Inquadramento normativo .....	11
<b>Figura 2</b>	Individuazione oggetto di studio.....	17
<b>Figura 3</b>	Pianta Piano Rialzato .....	18
<b>Figura 4</b>	Pianta Piano Primo .....	18
<b>Figura 5</b>	Pianta Piano Secondo .....	19
<b>Figura 6</b>	Sezione A-A.....	19
<b>Figura 7</b>	Centrale termica .....	21
<b>Figura 8</b>	Mandata-Ritorno circuito secondario centrale termica .....	21
<b>Figura 9</b>	Modello centrale termica Revit.....	22
<b>Figura 10</b>	Modello impianto di riscaldamento Revit .....	22
<b>Figura 11</b>	Interfaccia software Namirial Termo .....	23
<b>Figura 12</b>	Dati climatici Termo .....	24
<b>Figura 13</b>	Informazioni generali Termo .....	25
<b>Figura 14</b>	Metodo di calcolo Termo .....	25
<b>Figura 15</b>	Tamponatura esterna 33cm Termo .....	26
<b>Figura 16</b>	Parete divisoria 28cm (vano scala) Termo .....	27
<b>Figura 17</b>	Parete divisoria 15cm Termo .....	27
<b>Figura 18</b>	Solaio controterra Termo.....	28
<b>Figura 19</b>	Solaio piano rialzato Termo.....	28
<b>Figura 20</b>	Solaio piano primo e piano secondo Termo .....	29
<b>Figura 21</b>	Solaio sottotetto Termo .....	29
<b>Figura 22</b>	Scheda finestre Termo.....	30
<b>Figura 23</b>	Centrale termica Termo .....	32
<b>Figura 24</b>	Involucro camera piano rialzato Termo .....	33
<b>Figura 25</b>	Ventilazione camera piano rialzato Termo .....	33
<b>Figura 26</b>	Impianto camera Piano Rialzato Termo .....	34
<b>Figura 27</b>	Riscaldamento camera piano rialzato Termo .....	35
<b>Figura 28</b>	Zona termica non calcolata.....	36
<b>Figura 29</b>	Zona non riscaldata .....	36
<b>Figura 30</b>	Layout cantinato Termo .....	37
<b>Figura 31</b>	Layout piano rialzato.....	37
<b>Figura 32</b>	Layout piano primo .....	38

<b>Figura 33</b>	Layout piano secondo.....	38
<b>Figura 34</b>	Sottotetto Termo .....	39
<b>Figura 35</b>	Modello 3D Termo.....	39
<b>Figura 36</b>	Finestra orientamento TRNBuild.....	42
<b>Figura 37</b>	Proprietà TRNBuild .....	43
<b>Figura 38</b>	Materiali TRNBuild .....	44
<b>Figura 39</b>	Stratigrafie TRNBuild .....	45
<b>Figura 40</b>	Infissi TRNBuild.....	46
<b>Figura 41</b>	Ventilazione TRNBuild.....	47
<b>Figura 42</b>	Riscaldamento TRNBuild .....	48
<b>Figura 43</b>	Apporti termici interni TRNBuild.....	50
<b>Figura 44</b>	Zona TRNBuild .....	51
<b>Figura 45</b>	Navigator TRNBuild.....	53
<b>Figura 46</b>	Type56 Simulation Studio .....	55
<b>Figura 47</b>	Type99 Simulation Studio .....	56
<b>Figura 48</b>	Type 1244 Simulation Studio .....	56
<b>Figura 49</b>	Type 34 input Simulation Studio .....	57
<b>Figura 50</b>	Type 65c Simulation Studio .....	57
<b>Figura 51</b>	Modello convalidazione Simulation Studio .....	58
<b>Figura 52</b>	Confroto Termo-Trnsys.....	59
<b>Figura 53</b>	Gain Type Manager TRNBuild .....	60
<b>Figura 54</b>	Valvola termostatica.....	64
<b>Figura 55</b>	Andamento temperatura ambiente-grado apertura.....	65
<b>Figura 56</b>	Type 63 "VT_Camera" Simulation Studio.....	66
<b>Figura 57</b>	New Equation "Portata_TOT" Simulation Studio .....	66
<b>Figura 58</b>	Type14 "Acc/Spegn" Simulation Studio .....	67
<b>Figura 59</b>	New Equation "Portata_Input" Simulation Studio.....	68
<b>Figura 60</b>	Type6 "Parameter" Simulation Studio .....	68
<b>Figura 61</b>	Type742 "Parameter" Simulation Studio .....	69
<b>Figura 62</b>	Type31 "Parameter" Simulation Studio .....	74
<b>Figura 63</b>	Type647 "Flow Diverter" Simulation Studio .....	75
<b>Figura 64</b>	Type649 "Flow Mixer" Simulation Studio.....	75
<b>Figura 65</b>	Type "Hydronic Heat-Distributing Unit" Simulation Studio .....	76
<b>Figura 66</b>	Window Type Manager "Classe C" TRNBuild.....	78

<b>Figura 67</b> Modello “Classe C” Simulation Studio .....	80
<b>Figura 68</b> Collegamento Type62-Type742 Simulation Studio .....	83
<b>Figura 69</b> Type62 Curva Climatica Simulation Studio .....	83
<b>Figura 70</b> Curva climatica Excel .....	84
<b>Figura 71</b> Collegamento Type99-Type62 "Curva climatica" Simulation Studio .....	84
<b>Figura 72</b> Collegamento Type14-Type62 "Curva climatica" Simulation Studio .....	84
<b>Figura 73</b> Collegamento Type62 "Curva climatica"-Type6 Simulation Studio .....	85
<b>Figura 74</b> Window Type Manager “Classe B” TRNBuild.....	86
<b>Figura 75</b> Modello “Classe B” Simulation Studio .....	88
<b>Figura 76</b> Collegamento Type56-Type62 "VT_Camera” Simulation Studio .....	90
<b>Figura 77</b> Modello “Classe A” Simulation Studio.....	94
<b>Figura 78</b> Andamento temperatura locali piano rialzato "classe C" .....	100
<b>Figura 79</b> Andamento temperatura locali piano rialzato "classe B" .....	101
<b>Figura 80</b> Andamento temperatura locali piano rialzato "classe A" .....	101
<b>Figura 81</b> Impatto classe efficienza energetica “B”.....	103
<b>Figura 82</b> Impatto classe efficienza energetica "A" .....	103

## **8. Indice delle tabelle**

<b>Tabella 1</b> Dati climatici Milano .....	20
<b>Tabella 2</b> Caratteristiche serramenti.....	31
<b>Tabella 3</b> Orientamenti TRNBuild.....	42
<b>Tabella 4</b> Profili temporali apporti termici .....	48
<b>Tabella 5</b> Classe efficienza energetica C.....	63
<b>Tabella 6</b> "Valori del coefficiente di perdita localizzata $\xi$ " .....	72
<b>Tabella 7</b> "Valore del coefficiente di perdita localizzata" .....	73
<b>Tabella 8</b> Regole per il funzionamento dei dispositivi di schermatura solare “Classe C” .....	77
<b>Tabella 9</b> Classe efficienza energetica B.....	81
<b>Tabella 10</b> Regole per il funzionamento dei dispositivi di schermatura solare "Classe B" .....	85
<b>Tabella 11</b> Classe di efficienza energetica A.....	89
<b>Tabella 12</b> Valori del fattore di efficienza BAC “ $f_{BAC,H}$ ”, per edifici residenziali.....	97
<b>Tabella 13</b> Valori del fattore di efficienza BAC “ $f_{BAC,e}$ ”, per edifici residenziali .....	97

## **9. Bibliografia e Sitografia**

- [1]. <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/storia-normativa-energetica-settore-edilizio/>;
- [2]. <https://www.filoelettrico.it/2017/09/06/normaen15232/>;
- [3]. Normativa UNI EN ISO 52120-1;
- [4]. Efficienza Energetica: impatto dell'automazione sulle prestazioni energetiche degli edifici, "Guida Schneider Electric";
- [5]. UNI EN ISO 52016-1 "Energy performance of buildings - Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat load - Part 1: Calculation procedures";
- [6]. Bilancio Energetico dell'edificio, Corso di Tecnica del Controllo Ambiente – A.A. 2012-2013;
- [7]. Volume 4 "Mathematical Reference" TRNSYS 17;
- [8]. Volume 5 "Multizone Building modeling with Type56 and TRNBuild" TRNSYS 17;
- [9]. Volume 06 "HVAC Library Mathematical Reference" TESSLibs 17;
- [10]. Volume 07 "Hydronics Library Mathematical Reference" TESSLibs 17;
- [11]. "Le reti di distribuzione", Mario Doninelli, quaderni caleffi;
- [12]. Dispense "Fabbisogno energetico di un edificio, UNI TS 11300 parte 1", corso Progettazione energetica degli edifici, Prof. Costanzo di Perna;
- [13]. Dispense "Componenti di una rete di distribuzione", corso Impianti di climatizzazione, Prof. Costanzo di Perna;
- [14]. <https://www.teknoring.com/guide/guide-impianti/termoregolazione-pompe-di-circolazione-per-impianti-di-riscaldamento/>
- [15]. Rivista idraulica Caleffi 57;