



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
**Dipartimento di Ingegneria Industriale DII**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica

**ANALISI ENERGETICA IN REGIME DINAMICO DI UN  
APPARTAMENTO PER L'INTEGRAZIONE DELLE  
TECNOLOGIE PROPOSTE NEL PROGETTO GOTHEM**

**Relatore:** Prof. Michele De Carli  
**Correlatori:** Ing. Giulia Alessio  
Ing. Samantha Graci

**Laureando:** Marco Zangrandi  
1154762

Anno Accademico 2017/2018



# Riassunto

Nel presente lavoro viene effettuato lo studio energetico dinamico di appartamenti di un edificio residenziale per integrare, successivamente, le tecnologie fornite dal progetto GOTHEM (*Global House Thermal & Electrical Energy Management for efficiency, lower emission and renewables*).

Il progetto GOTHEM si divide in diversi *Work Packages* che prevedono lo sviluppo di tecnologie per la realizzazione di caldaie a gas dotate di nuovi componenti, in modo da ottimizzare la combustione e l'efficienza, la riduzione dei consumi e dei costi, sicurezza e connettività ad internet (IOT o Industria 4.0).

I risultati di questo lavoro, in termini di profili di carico per il riscaldamento, verranno poi utilizzati come input per le successive attività del progetto, in modo tale da dimensionare correttamente tutti i dispositivi per soddisfare il fabbisogno energetico richiesto.

Lo studio è stato effettuato su due appartamenti di un piano intermedio di un edificio residenziale ubicato a Verona con tipologia costruttiva tipica degli anni '70.

Nella prima fase dell'attività sono stati valutati i fabbisogni (netti e lordi) mediante l'utilizzo di un codice di calcolo di simulazione dinamica (*Trnsys*) e mediante i rendimenti forniti da normativa.

Mentre nella seconda fase sono state analizzate diverse situazioni per quanto riguarda le modalità di regolazione: in particolare, con un solo termostato, con un termostato installato in ogni zona termica e il caso in cui vi sia un termostato installato in ogni stanza. Inoltre, tali studi sono stati effettuati considerando anche la diversa modalità di regolazione (climatica e a punto fisso). Si è calcolato il rendimento totale per ogni caso (che tiene conto dell'emissione e della regolazione) e confrontato con i rendimenti ottenuti dai prospetti forniti dalla normativa stessa. L'obiettivo è stato quello di valutare l'efficacia della strategia di controllo e i valori di temperatura interna raggiunti nei singoli casi studio.



# Sommario

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITOLO 1</b> .....	<b>3</b>
<b>CONSUMI ENERGETICI</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1 CONSUMI ENERGETICI IN EUROPA E IN ITALIA NEL RESIDENZIALE</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 SVILUPPO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA E CONSUMI IN ITALIA</b> .....	<b>7</b>
<b>1.3 NORMATIVA ITALIANA</b> .....	<b>10</b>
<b>CAPITOLO 2</b> .....	<b>15</b>
<b>DOMOTICA</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1 SIGNIFICATO DELLA PAROLA "DOMOTICA"</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2 STRUTTURA E PRINCIPALI COMPONENTI DEL SISTEMA DOMOTICO</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.1 Architettura delle reti domestiche</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.2 Architettura base di un sistema domotico</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.3 Tipologie di interconnessione</b> .....	<b>25</b>
<b>2.3 EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA PER LA DOMOTICA</b> .....	<b>30</b>
<b>2.4 PROTOCOLLI DI COMUNICAZIONE</b> .....	<b>31</b>
<b>2.4.1 Standard europeo KNX</b> .....	<b>32</b>
<b>2.4.2 Standard americano X-10</b> .....	<b>34</b>
<b>2.4.3 Standard internazionale Bluetooth</b> .....	<b>34</b>
<b>2.4.4 Standard internazionale Wi-Fi</b> .....	<b>35</b>
<b>2.4.5 Standard internazionale ZigBee</b> .....	<b>36</b>
<b>2.5 IoT ED EDIFICIO INTELLIGENTE</b> .....	<b>36</b>
<b>CAPITOLO 3</b> .....	<b>41</b>
<b>IL SOFTWARE TRNSYS</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1 SIMULATION STUDIO</b> .....	<b>42</b>
<b>3.2 TRNBUILD</b> .....	<b>42</b>
<b>CAPITOLO 4</b> .....	<b>43</b>
<b>OBIETTIVI DI GOTHEM</b> .....	<b>43</b>
<b>4.1 COMFORT TERMO-IGROMETRICO E QUALITÀ DELL'ARIA</b> .....	<b>44</b>
<b>4.1.1 Indici di comfort globale</b> .....	<b>47</b>
<b>4.1.2 Discomfort termico globale</b> .....	<b>49</b>
<b>4.1.3 IAQ (Indoor Air Quality)</b> .....	<b>50</b>
<b>4.2 RISPARMIO ENERGETICO</b> .....	<b>52</b>

4.3 TERMOREGOLAZIONE .....	53
4.3.1 <i>La regolazione di zona</i> .....	53
4.3.2 <i>La regolazione ambiente</i> .....	56
<b>CAPITOLO 5.....</b>	<b>59</b>
<b>DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO .....</b>	<b>59</b>
5.1 DESCRIZIONE GENERALE DEGLI APPARTAMENTI .....	60
5.2 INVOLUCRO .....	62
5.2.1 <i>Chiusure verticali opache</i> .....	62
5.2.2 <i>Serramenti</i> .....	66
<b>CAPITOLO 6.....</b>	<b>67</b>
<b>ANALISI DI UN PONTE TERMICO.....</b>	<b>67</b>
6.1 PONTE TERMICO E VERIFICA IGROMETRICA.....	67
6.2 CALCOLO DELLA TRASMITTANZA TERMICA LINEICA.....	70
<b>CAPITOLO 7.....</b>	<b>73</b>
<b>PRODUZIONE ACS.....</b>	<b>73</b>
7.1 FABBISOGNO ACS SECONDO UNI 11300-2 .....	73
7.2 CALCOLO DELL'ENERGIA PRIMARIA NECESSARIA PER ACS.....	75
7.2.1 <i>Fabbisogno elettrico degli ausiliari per ACS</i> .....	80
7.2.2 <i>Calcolo dell'energia primaria necessaria per ACS</i> .....	81
7.3 FABBISOGNO SECONDO EN 12831-3 .....	82
7.4 DIMENSIONAMENTO DEI SISTEMI PER LA PREPARAZIONE DI ACS.....	87
7.4.1 <i>Norma UNI 9182</i> .....	88
7.4.2 <i>Metodo Mariotti-Gambelli</i> .....	93
7.4.3 <i>Metodo Caleffi</i> .....	96
7.4.4 <i>Confronto risultati</i> .....	98
<b>CAPITOLO 8.....</b>	<b>99</b>
<b>CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ENERGIA PER IL RISCALDAMENTO.....</b>	<b>99</b>
8.1 COSTRUZIONE DEL MODELLO IN <i>TRNBUILD</i> .....	99
8.2 FILE DI INPUT.....	103
8.3 COSTRUZIONE DEL MODELLO IN SIMULATION STUDIO .....	111
8.4 CALCOLO DEL FABBISOGNO NETTO.....	114
8.5 FABBISOGNI E PERDITE DI ENERGIA NELLA CLIMATIZZAZIONE INVERNALE .....	117
8.5.1 <i>Fabbisogni elettrici degli ausiliari relativi al riscaldamento</i> .....	127
8.6 CALCOLO DELL'ENERGIA FINALE E PRIMARIA .....	128
8.7 VALUTAZIONI ECONOMICHE.....	134

<b>CAPITOLO 9.....</b>	<b>139</b>
<b>ANALISI DELLA REGOLAZIONE CON IMPIANTO RADIATORI .....</b>	<b>139</b>
<b>9.1 I RADIATORI COME TERMINALE DI IMPIANTO .....</b>	<b>140</b>
<b>9.2 TRATTAZIONE MATEMATICA E DIMENSIONAMENTO DEI TERMINALI .....</b>	<b>141</b>
<b>9.3 SISTEMA DI REGOLAZIONE A PUNTO FISSO E REGOLAZIONE CLIMATICA.....</b>	<b>149</b>
<b>9.4 COSTRUZIONE DEL MODELLO IN TRNSYS E CASI STUDIO .....</b>	<b>153</b>
<b>9.4.1 Caso solo involucro con temperatura di set-point costante (20°C) .....</b>	<b>157</b>
<b>9.4.2 Caso solo involucro con temperatura di set-point variabile (20-16°C) .....</b>	<b>159</b>
<b>9.4.3 Caso 1a.....</b>	<b>161</b>
<b>9.4.4 Caso 1b.....</b>	<b>164</b>
<b>9.4.5 Caso 2a.....</b>	<b>167</b>
<b>9.4.6 Caso 2b.....</b>	<b>177</b>
<b>9.4.7 Caso 3a.....</b>	<b>180</b>
<b>9.4.8 Caso 3b.....</b>	<b>183</b>
<b>9.4.9 Caso 4a.....</b>	<b>186</b>
<b>9.4.10 Caso 4b.....</b>	<b>189</b>
<b>9.4.11 Caso 5a.....</b>	<b>192</b>
<b>9.4.12 Caso 6a.....</b>	<b>194</b>
<b>9.5 DISCUSSIONI RISULTATI.....</b>	<b>197</b>
<b>9.6 CONSUMO ENERGETICO E COMFORT TERMICO .....</b>	<b>211</b>
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>217</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>221</b>
<b>SITOGRAFIA.....</b>	<b>221</b>
<b>RINGRAZIAMENTI .....</b>	<b>223</b>





# Introduzione

Questo studio è suddiviso in diversi capitoli: fornendo un quadro generale sugli aspetti energetici e sul funzionamento della domotica, in seguito viene spiegato brevemente il funzionamento del software e una descrizione dettagliata di tutto ciò che comprende l'involucro edilizio, oltre ai tre principali obiettivi su cui ci si è focalizzati (comfort termico, risparmio energetico e termo-regolazione). Poi, nei capitoli successivi, vengono riportati i risultati ottenuti e sono riportate le analisi relative sui terminali e sulla regolazione che costituiscono l'impianto di riscaldamento.

Il progetto GOTHEM ha per oggetto l'impiego delle tecnologie diffuse e ad alta potenzialità sia a breve che a medio-lungo termine per la proposta del programma della RIR VCE (Rete Innovativa Regionale). L'obiettivo di questo lavoro consiste nel riuscire a contribuire nel transito verso un sistema energetico affidabile, sostenibile e competitivo, in tempi in cui vi è sempre un maggiore fabbisogno di energia, correlato anche ai cambiamenti climatici e scarsità delle risorse che hanno sostenuto l'uomo fino ad ora. Le attività si concentrano sulla ricerca e lo sviluppo su larga scala di nuovi concetti, di soluzioni tecnologiche, di componenti più efficienti, nonché su sistemi tecnologici con intelligenza integrata, che permettono di conoscere in tempo reale la gestione dell'energia termica ed elettrica degli edifici con emissioni prossime allo zero, l'impiego di energie rinnovabili per il riscaldamento, la realizzazione di impianti altamente efficienti e l'adozione di soluzioni di efficienza energetica.

La sensibilità ambientale che si è diffusa negli ultimi tempi ha innescato programmi d'azione e politiche internazionali volte alla riduzione dei consumi di energia primaria e delle emissioni di anidride carbonica, come dimostrato dalla sottoscrizione del Protocollo di Kyoto e dal target 20-20-20 proposto dall'Europa (riduzione dei gas serra del 20 %, incrementare fino al 20 % la quota di energia rinnovabile sul totale consumo globale e incrementare del 20 % l'efficienza energetica degli apparecchi entro il 2020, rispetto all'anno di riferimento 1990). Tale traguardo è complicato e richiede un grande sforzo di ricerca e innovazione, ma anche politiche più attente alla sostenibilità ambientale, specie nei Paesi che contribuiscono maggiormente al riscaldamento globale; si pensi solo che il consumo di energia cinese cresce del 6,3% l'anno e quello indiano del 5,4 %, contro una media mondiale dell'1,94%.

Il settore edilizio è un settore strategico in cui intervenire, in quanto esso è responsabile del 40% dei consumi di energia e del 25 % delle emissioni di CO<sub>2</sub> in Europa. Oltre il 55 % degli edifici in Italia risale a prima del 1970, per cui sono caratterizzati da una elevata inefficienza energetica; inoltre, il 50 % del parco immobiliare è situato in zone climatiche a più alto consumo (zona E-F).

Nel 2017 le emissioni europee di anidride carbonica prodotte dalla combustione di carburanti e combustibili fossili sono aumentate dell'1,8 % rispetto al 2016. In Italia l'aumento di emissioni di CO<sub>2</sub> da produzione di energia è stato assai più forte (+3,2 %); ciò è dovuto a diversi fattori, tra cui la spinta verso l'utilizzo delle automobili a benzina, le quali rispetto al diesel emettono una maggior quantità di anidride carbonica. In generale, de-carbonizzare questi due settori (edilizio e trasporti) rappresenta una delle sfide chiave per mitigare il cambiamento climatico. Un'importante svolta potrebbe ora verificarsi in seguito all'attuazione della nuova Strategia energetica nazionale (Sen), il cui obiettivo è la riduzione delle più rilevanti fonti di emissione, in particolare riferito al traffico veicolare e alla climatizzazione degli edifici. Di conseguenza, risulta evidente come questo contesto necessiti di analisi approfondite sulla costruzione e organizzazione degli edifici in modo da poterli rendere meno energivori, riducendo le emissioni di CO<sub>2</sub> e i costi che gli utenti finali devono sostenere durante la vita utile dell'immobile. Di fondamentale importanza è lo sviluppo dell'efficienza energetica, sia per il raggiungimento dei target sopra citati, sia per l'ottimizzazione del fabbisogno energetico.

# Capitolo 1

## Consumi energetici

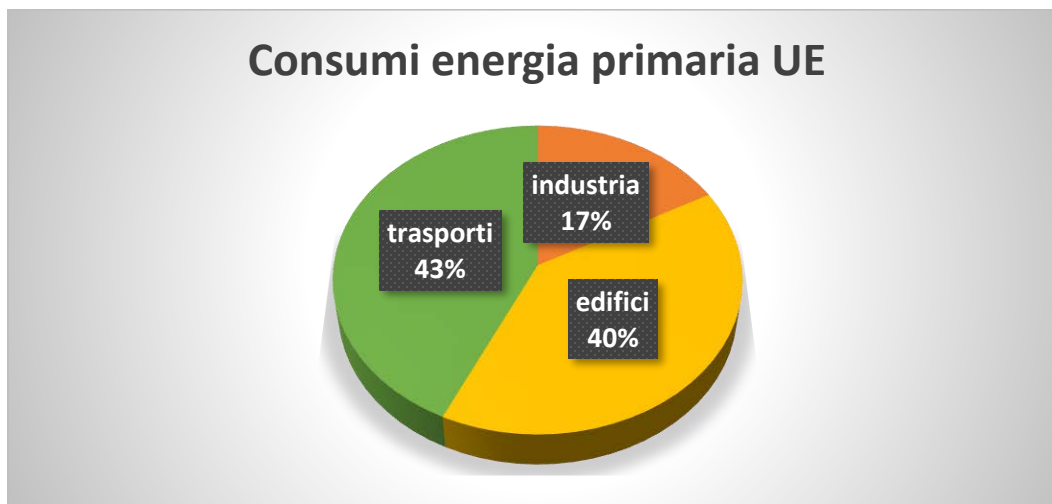
Nel seguente capitolo viene trattato l'aspetto relativo all'utilizzo di energia all'interno degli edifici, evidenziando i consumi e gli sviluppi riguardanti la realtà europea ed italiana. Ciò viene fatto per mostrare al lettore i punti chiave in cui sia più benefico intervenire, in modo da ridurre l'uso di energia e le emissioni di conseguenza. Infine, viene riportato un breve riassunto sulla storia riguardante la normativa italiana, evidenziando in generale gli sviluppi fino ai giorni d'oggi.

### 1.1 Consumi energetici in Europa e in Italia nel residenziale

L'aumento dell'effetto serra, i conseguenti rischi dei cambiamenti climatici globali, i crescenti prezzi delle fonti non rinnovabili di energia, come il petrolio e il gas naturale, sono fattori che apporteranno nei prossimi anni un cambiamento radicale nelle nostre abitudini quotidiane di vita, e in parte ciò sta già avvenendo. In particolare, il settore dell'edilizia si sta muovendo per avviare una nuova fase di progettazione, più attenta all'ambiente, al risparmio energetico, senza trascurare il giusto comfort termico degli utenti. Attualmente gran parte dell'energia utilizzata nelle case, negli uffici e nei negozi, viene spesa per il riscaldamento invernale soprattutto. Una cattiva costruzione dell'edificio contribuisce a un consistente spreco di calore, quindi di energia, e all'aumento dell'inquinamento e dell'impatto ambientale.

Quello dell'edilizia è dunque il settore chiave per l'efficienza energetica: tale settore consuma infatti circa il 40 % dell'energia primaria finale lorda della UE (ovvero l'energia derivante da fonti energetiche presente in natura e non soggette a trasformazioni,

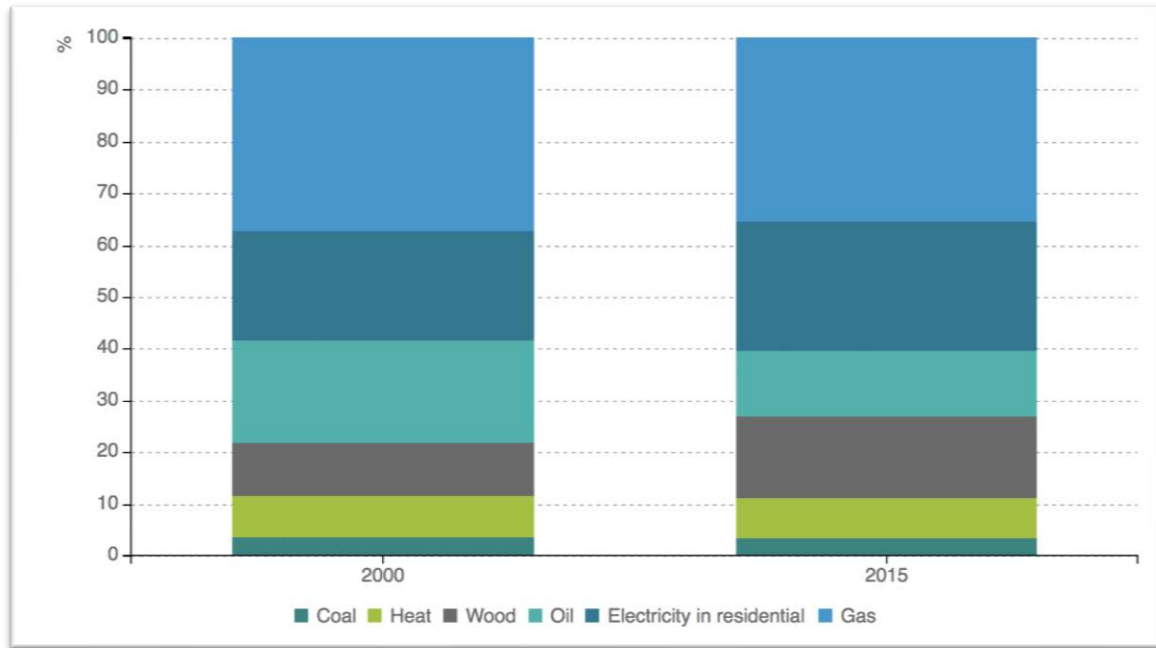
comprendente sia le rinnovabili che i combustibili chimici, che vengono trasportate fino all'utente finale), inoltre il 75 % degli edifici sono inefficienti, poiché costruiti precedentemente alla prima legge energetica risalente al 1976.



**Figura 1.1** *Distribuzione percentuale dei consumi energetici nell'Unione Europea*

Il dato che però preoccupa è l'aumento del consumo energetico del settore edile che è imputabile per il 70% al residenziale e solo al 30% al terziario. È dunque necessaria un'azione decisa che miri ad accelerare il rinnovamento del parco edilizio rendendo più appetibili ai consumatori finali tramite interventi di riqualificazione energetica dal punto di vista dell'analisi costi-benefici. I benefici che se ne trarrebbero sono sia ambientali che economici, stimolando la crescita di un settore importante come quello edile che, da solo, copre circa il 9% del PIL della UE. Viene riportata la Figura 1.2, che indica le principali fonti energetiche utilizzate nel residenziale e come quest'ultime si sono evolute nel tempo. È fondamentale la conoscenza della ripartizione dei consumi energetici nazionali, in modo da poter individuare facilmente dove sia possibile attuare le politiche volte al risparmio.

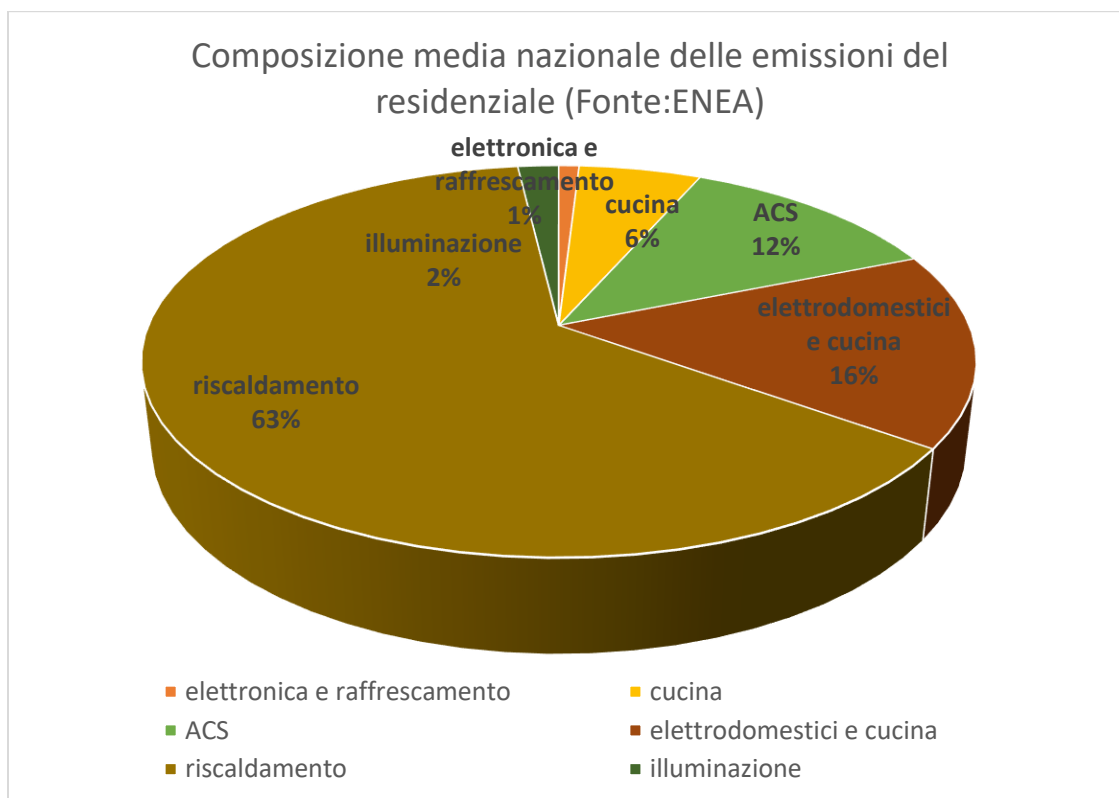
Si nota, inoltre, come sia in diminuzione l'uso del gas naturale negli edifici in contrapposizione all'aumento dell'utilizzo di energia elettrica.



**Figura 1.2** *Fonti energetiche utilizzate nel residenziale e loro evoluzione dal 2000 al 2015*

Il gas naturale rimane comunque la fonte principale in questo settore, ma l'uso di energia elettrica è in rapida crescita (dal 21% nel 2000 al 25% nel 2015). L'aumento della domanda di elettricità è legato a diversi fattori: l'impiego di elettrodomestici, l'uso di condizionatori (sempre più in aumento a causa delle condizioni climatiche relative a questi ultimi anni e allo stile di vita degli utenti), l'aumento dell'utilizzo di pc, telefoni e tutti i dispositivi elettronici presenti quotidianamente nelle nostre vite, ma anche la cattiva abitudine di lasciare gli apparecchi elettronici stessi nella modalità di *standby*.

Come mostrato nel grafico sottostante (figura 1.3), si nota che la voce "riscaldamento" costituisce una quota preponderante dei consumi totali, per cui è proprio in questa fetta che si concentra la maggior potenzialità di risparmio energetico ed economico.



**Figura 1.3** Grafico a torta che rappresenta quanto e come le emissioni sono causate dalle diverse voci che costituiscono il residenziale.

L'80% del consumo energetico residenziale è infatti destinato al comfort termico. L'incidenza del comfort termico risulta evidente se si considera anche il consumo per la produzione dell'acqua calda sanitaria, oltre al consumo energetico destinato al riscaldamento. È necessario tener presente anche che il Nord Italia (in particolare Lombardia, Piemonte, Veneto ed Emilia Romagna) è una delle aree europee in cui l'impatto totale delle famiglie sulle emissioni di anidride carbonica è più alto, con oltre 50 milioni di tonnellate equivalenti immesse nell'atmosfera ogni anno.

Questi valori variano molto a seconda della tipologia edilizia, dell'attività che vengono svolte al suo interno, ma soprattutto dalle condizioni climatiche.

Tuttavia, come è già stato sottolineato, tali dati mostrano in modo chiaro dove sia più adeguato concentrare gli interventi atti alla riduzione dei consumi.

Sempre considerando gli apparecchi utilizzati per il riscaldamento, è bene ricordare che alcuni stati membri della UE, seguendo le direttive emanate, hanno imposto la vendita di apparecchi a gas sempre più efficienti portando progressivamente fuori mercato le caldaie a gas di tipo atmosferico. Oggi in taluni mercati si vendono solamente caldaie di tipo premiscelato condensante essendo più performanti in termini di efficienza energetica e avendo un più ampio campo di modulazione, senza penalizzare i consumi energetici.

Inoltre, nei mercati in cui la corrente elettrica è a basso costo, la caldaia viene sostituita o affiancata da una pompa di calore per aumentare ulteriormente l'efficienza dell'impianto.

## **1.2 Sviluppo dell'efficienza energetica e consumi in Italia**

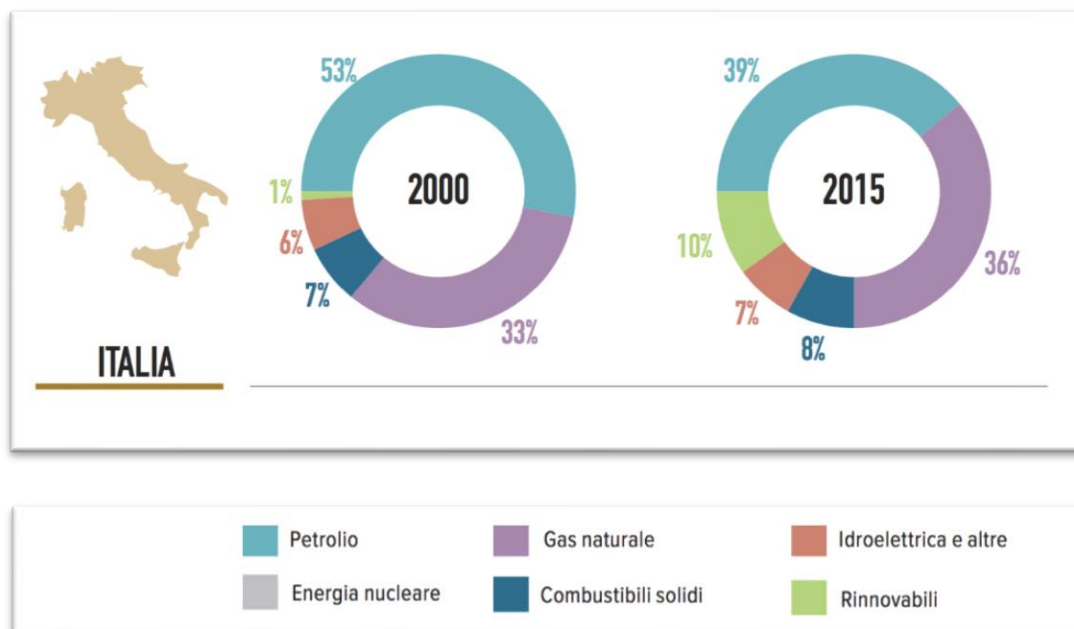
Il consumo energetico e le emissioni di sostanze inquinanti, con uno specifico riguardo alla CO<sub>2</sub>, sono delle problematiche su cui l'UE si è focalizzata in questi ultimi anni. Nel caso italiano, l'efficienza energetica dei consumatori finali è migliorata del 11 % nel periodo 2000-2013 con un guadagno di quasi 1 % annuo. Il progresso è stato più lento a partire dal 2007 a causa della crisi economica: 1,1 % annuo nel periodo 2000-2007, 0,7 % annuo dopo il 2007. Tutti i settori hanno realizzato progressi nell'efficienza energetica dal 2000: il settore trasporti è migliorato del 12,8 % (1,0 % annuo), seguito dall'industria con il 12,2 % (1,0 % annuo). Per il settore residenziale si è osservato un miglioramento più lento, 7,5 % (0,6 % annuo), a causa di un aumento del consumo energetico per un miglior comfort.

Il rallentamento è dovuto ad un aumento del consumo di energia per il riscaldamento, il principale *end-users* con circa il 70% del consumo energetico, e non di una perdita di efficienza energetica: una notevole crescita del consumo di legna, specialmente legata alle seconde case, e l'ampliamento della rete del gas naturale.

Il miglior progresso nell'efficienza energetica è stato osservato per gli elettrodomestici: 22,7 % dovuto a una considerevole riduzione del consumo energetico unitario. Acqua calda e usi cucina sono migliorati del 19,6 % e 15,5 %, rispettivamente, nel medesimo periodo.

La riduzione complessiva di energia utilizzata negli edifici deriva da alcuni aspetti chiave, come l'intervento sull'involucro o sui componenti vetrati, l'installazione di alcuni sistemi che diminuiscono le richieste di calore come il caso della ventilazione meccanica controllata (VMC), oppure ancora diminuendo il consumo di energia elettrica sfruttando particolari dispositivi di regolazione e controllo. Inoltre, anche le fonti rinnovabili contribuiscono, poiché utilizzate per coprire, interamente in alcuni casi o parzialmente in altri, il fabbisogno di energia.

In seguito, viene riportata l'evoluzione del consumo di energia primaria in Italia, si nota come sia cresciuto negli ultimi anni l'uso di risorse rinnovabili e del gas naturale, mentre è diminuito il consumo di petrolio.



**Figura 1.4** *Evoluzione del consumo di E.P. in Italia dal 2000 fino al 2015*



Infatti, l'Italia ha deciso di puntare molto sulle rinnovabili, in particolare su fotovoltaico ed eolico, in cui entrambe hanno visto un netto miglioramento di prestazioni e prezzi inferiori rispetto alla loro iniziale immissione sul mercato.

Inoltre, ricordiamo che nei primi mesi del 2018, si è verificato lo storico sorpasso: le fonti alternative per la produzione di energia sono più economiche di quelle classiche. Infatti, le centrali eoliche e solari costano meno del carbone; un cambiamento di grande portata con un trend che sembra destinato a caratterizzare il futuro della produzione di energia globale. I costi dell'energia eolica sono scesi di un quarto nel giro di sette anni, tra il 2010 e il 2017. Nello stesso periodo di osservazione, il prezzo del fotovoltaico ha conosciuto quello che si potrebbe persino definire un crollo, poiché sceso del 73 %.

Stando ai dati però, l'Italia non sta sfruttando a pieno la situazione favorevole per le fonti di energia rinnovabile. Se da un lato nello scorso anno si è registrato un +1,5 % di nuove installazioni di energia rinnovabile, dall'altro è altrettanto vero che il settore idroelettrico continua a far segnare un andamento altalenante. La produzione di elettricità generata dalle fonti rinnovabili lo scorso anno è leggermente diminuita rispetto al 2016. Il saldo resta in positivo grazie alle ottime performance dell'eolico, ma l'Italia non è ancora pienamente sviluppata per quanto riguarda l'elettrificazione dei trasporti. Si potrebbe fare meglio, ma la situazione resta positiva, soprattutto considerando che dal 2015 l'Italia ha raggiunto e superato il target sul consumo di energie alternative fissato dall'Ue per il 2020, con oltre il 17 % di consumi finali di energia prodotta da fonti rinnovabili.

A frenare lo sviluppo del settore c'è però ancora un ostacolo: mancano le tecnologie in grado di immagazzinare in modo efficiente l'energia prodotta e non utilizzata nell'immediato, per cui diventerà decisivo il ruolo dei sistemi di accumulo nei prossimi anni.

Una prospettiva interessante, considerando il settore edile, è quella di un edificio in grado di produrre risorse autonomamente e non di consumarle; questo obiettivo rimane però ancora distante nella grande maggioranza dei casi, infatti uno dei principali problemi è quello appena citato relativo all'accumulo termico ed elettrico.

Come è già stato detto, l'edilizia è uno dei settori più energivori per cui, a livello nazionale, sono state intraprese delle azioni volte ad un significativo risparmio energetico e ad incentivazioni delle rinnovabili per contenere i consumi. In realtà, il livello tecnologico attuale e gli elevati costi non giustificano un ricorso consistente alle fonti alternative; ma è vero che alcune di esse (come il solare termico in particolare) in abbinamento a particolari sistemi come quelli domotici, possono già offrire una gestione intelligente dei consumi, oltre che economicamente vantaggiosi.

Il vantaggio di questa tecnologia è dovuto all'integrazione delle varie componenti con il sistema edilizio, ciò consente di ridurre le bollette, senza ridurre il comfort.

### **1.3 Normativa italiana**

In questo paragrafo viene descritto un breve riassunto iniziale che ha gettato le basi per la sottoscrizione della normativa italiana.

La prima crisi energetica si ebbe nel 1973, dovuta all'improvvisa interruzione del flusso dell'approvvigionamento di petrolio proveniente dalle nazioni appartenenti all'OPEC (*Organization of the Petroleum Exporting Countries*) verso le nazioni importatrici. L'innalzamento, che ha superato il triplo del prezzo del petrolio, portò i governi dei Paesi dell'Europa Occidentale a presentare repentini provvedimenti per diminuirne il consumo. In particolare, in Italia il governo varò un piano nazionale di "austerità economica" per il risparmio energetico che prevedeva cambiamenti immediati. La crisi energetica cambiò indiscutibilmente la mentalità della popolazione e si diffuse la consapevolezza dell'instabilità del sistema produttivo; si rivalutò l'importanza del petrolio, che non fu più visto come l'unica fonte di energia possibile, ma si iniziò a valutare altre fonti energetiche.

In seguito alla crisi energetica del 1973 si introdussero nel vocabolario comune nuove parole come "ecologia" e "risparmio energetico", emblemi di un cambiamento della mentalità europea. Successivamente, in seguito alla rivoluzione Iraniana del 1979, vi fu una seconda crisi energetica, che causò un rapido aumento del prezzo del petrolio.

Si cominciò quindi a valutare la preoccupante espansione edilizia, progettata senza prendere in considerazione il contesto e propensa a garantire il comfort interno solo attraverso il grande dispendio di energia dovuto dal sistema impiantistico. Molti stati cominciarono perciò a stabilire valori limite nelle prestazioni energetiche degli edifici per contrastare il consumo di risorse.

La prima legge energetica in Italia fu la "30 marzo 1976, n. 373 - Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici" la quale venne essenzialmente ignorata; la successiva, la legge "9 gennaio 1991, n. 10 - Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia", introdusse concetti validi mettendo in relazione nozioni e problematiche differenti, predisponendo misure di pianificazione strategica ed economica e, infine, proponendo la necessità di figure professionali per l'organizzazione degli aspetti energetici nei settori con più dispendio di energia. Con il D.P.R. del 26 agosto 1993, n. 412, si introdussero norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n. 10. La successiva integrazione avvenne con il D.P.R. 21 dicembre 1999 n. 551 recante modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia. Le più recenti modifiche ed integrazioni vennero emanate con il D.M. 27 luglio 2005 "Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia a pochi giorni dall'uscita dell'ultima legge energetica, tuttora vigente". In attuazione della Direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia, venne promulgato il 19 agosto 2005 il D.Lgs n. 192, nuovamente modificato, dal D.Lgs. 29 dicembre 2006, n. 311 "Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia"

In seguito al D.Lgs. 192/2005, sono entrate in vigore in giugno 2009 le norme attuative di questo decreto con il D.P.R. n. 59 il quale confermava i criteri generali per la prestazione energetica degli edifici implementando i requisiti minimi degli impianti termici di climatizzazione estiva e, limitatamente al terziario di illuminazione artificiale.

Nel 2007, un decreto ministeriale ha aggiunto rilevanti novità riguardo le detrazioni fiscali. Per tutte le spese documentate inerenti alla riqualificazione dell'energia di un edificio, è possibile ricevere una detrazione, le quali hanno dimostrato l'incisività di misure premianti nel facilitare e supportare il cambiamento. Con il Decreto Ministeriale del 26 giugno 2009 "Ministero dello Sviluppo Economico Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici per una applicazione omogenea, coordinata ed immediatamente operativa della certificazione energetica degli edifici su tutto il territorio nazionale", sono stati forniti, a livello generalizzato, le regole, i criteri e altre indicazioni utili per produrre atti certificatori affidabili ed adeguati tutelando gli interessi degli utenti. Più recentemente con la Direttiva 2010/31/UE (che abroga la direttiva 2002/91/CE) del parlamento europeo e del consiglio si è volto a promuovere la prestazione energetica degli edifici, delle loro parti e delle unità immobiliari. Stabilisce inoltre che entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere a energia quasi zero (nZEB). Per quanto concerne gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi dovranno rispettare gli stessi criteri a partire dal 31 dicembre 2018. In Italia, la legge 3 agosto 2013, n. 90 è intervenuta nel settore della riqualificazione ed efficienza energetica del patrimonio immobiliare italiano, pubblico e privato, allo scopo di chiudere alcune procedure d'infrazione avviate dall'Unione Europea nei confronti dell'Italia.

Inoltre, sono stati introdotti i Decreti interministeriali del 26 giugno 2015, in cui nell'Articolo 3 vengono definiti i criteri e la metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici.

Per il calcolo della prestazione energetica negli edifici, ivi incluso l'utilizzo delle fonti rinnovabili, si adottano le seguenti norme tecniche nazionali e le loro successive modificazioni e integrazioni, predisposte in conformità allo sviluppo delle norme EN a supporto della direttiva 2010/31/UE, nonché le norme all'allegato 2 al presente decreto:

- a) raccomandazione CTI 14/2013 "Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione dell'energia primaria e della prestazione energetica EP per la classificazione dell'edificio" e successive norme tecniche che ne conseguono;
- b) UNI/TS 11300 - 1 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale;
- c) UNI/TS 11300 - 2 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, la ventilazione e l'illuminazione;
- d) UNI/TS 11300 - 3 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva;
- e) UNI/TS 11300 - 4 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione acqua calda sanitaria;
- f) UNI EN 15193 - Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione.

Infine, con il D.M. del 19 febbraio 2017, vengono introdotti dei provvedimenti che consentono le detrazioni di imposta nel caso in cui si voglia riqualificare la propria abitazione, migliorando l'utilizzo dell'energia.

Per quanto enunciato fino ad ora, emerge che il percorso normativo non è idoneo ad individuare adeguati miglioramenti energetici, ma il problema è stato ritardato dalla presenza del clima italiano, il quale non è così rigido. Inoltre, una ulteriore complicazione consiste prevalentemente negli utilizzatori, i quali non sono informati adeguatamente e quindi non consapevoli degli sprechi dovuti alla gestione dell'edificio.



# Capitolo 2

## Domotica

L'esigenza e l'opportunità di un migliore sfruttamento delle risorse, del contenimento dei consumi domestici, della maggiore compatibilità ambientale di tutte le componenti edilizie, insieme con la crescente domanda di tecnologie e strumenti avanzati rispetto a quelli adottati, stanno rendendo la domotica una realtà più concreta nel panorama italiano.

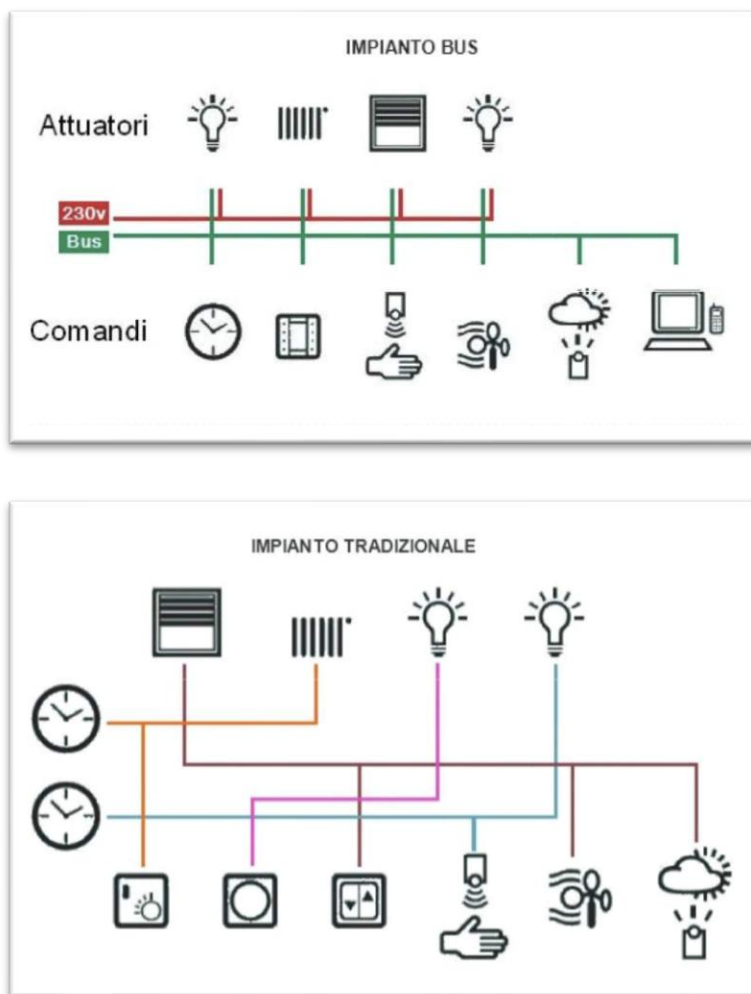
Per sistema domotico si intende un sistema in grado di connettersi con i vari apparecchi presenti nella casa, ricevere da queste informazioni sul consumo e sul loro stato e, dopo aver opportunamente elaborato queste informazioni, dare agli apparecchi stessi nuove informazioni o comandi perseguendo un fine di aumento di comfort ed efficienza energetica.

Un sistema domotico è in grado di aggiungere beneficio dal punto di vista energetico fino a diventarne l'attore principale quando inserito in un ambiente predisposto e pensato per massimizzare la gestione dell'energia nel suo complesso.

In tale sistema, tutti gli elettrodomestici tradizionali innovati dal punto di vista del risparmio energetico, i sistemi di energie rinnovabile, le forniture di energia tradizionali, i sistemi di illuminazione, i sistemi di riscaldamento e condizionamento vengono ad essere integrati all'interno di un unico sistema gestito con tecnologie informatiche innovative (comandi vocali, sensori di prossimità, ecc.) al fine di raggiungere una ottimale gestione complessiva dell'energia.

Eppure, lo sviluppo del mercato domotico sta deludendo le aspettative poiché gli utenti finali la considerano una soluzione fantascientifica o solamente una soluzione di lusso, destinata solo a specifici target di utenza; quindi, per ora, questa tecnologia appare come un bene di cui si può far a meno.

La novità di questa disciplina riguarda l'integrazione dei diversi dispositivi, i quali elaborano informazione e comunicano tra loro, compiendo determinate funzioni in modo tale da rendere più semplici le attività residenziali di ogni giorno. Infatti, in un impianto tradizionale, ogni funzione prevede un cablaggio (insieme di collegamenti di un'apparecchiatura) separato e dedicato e vi è dunque assenza di integrazione; invece, in un impianto domotico, con collegamenti a BUS per esempio, l'integrazione è totale e vi è anche la possibilità di poter espandere l'impianto.



**Figura 2.1** *Differenza tra un impianto tradizionale e un impianto domotico, in cui ogni apparecchio è in grado di comunicare con tutti gli altri.*



Come vedremo, il collegamento di un sistema base viene fatto mediante un doppio intrecciato (BUS) al quale sono connessi in parallelo tutti i dispositivi; tale collegamento provvede sia all'alimentazione elettrica dei dispositivi e allo scambio di informazioni tra essi. Così in un impianto a BUS le apparecchiature tradizionali vengono sostituite da dispositivi intelligenti in grado di elaborare informazione e comunicare tra loro. I dispositivi attuatori (preposti al controllo dei carichi) devono essere connessi sia alla linea BUS che alla rete elettrica domestica per l'alimentazione dei carichi, mentre gli apparecchi di comando e i sensori sono, invece, connessi solamente alla linea BUS. La comunicazione avviene tramite mezzi trasmissivi, ovvero la linea BUS, ad esempio, ma anche altri mezzi possibili sono le comunicazioni wireless. La scelta del mezzo trasmissivo dipende dalla funzionalità richieste dall'impianto domotico, ma anche dal budget, o dalle caratteristiche di intervento. Infatti, è importante distinguere il caso in cui l'impianto venga costruito insieme all'impianto elettrico oppure il caso in cui questo venga aggiunto in seguito. Se l'impianto domotico viene progettato e realizzato congiuntamente all'impianto elettrico, la soluzione a linea BUS diventa maggiormente competitiva.

Infine, è importante anche tener conto degli standard tecnologici e dei protocolli di comunicazione, che sono identificati come il "linguaggio" con cui i vari componenti dell'impianto comunicano tra loro.

## **2.1 Significato della parola "domotica"**

Si tratta di un neologismo, di recente maggior impiego in Italia e all'estero e storicamente derivato dal francese *domotique*, letteralmente dal latino *domus* (casa) e *informatique* (informatica), aggettivo indicante l'insieme delle scienze e delle tecniche connesse con l'elaborazione delle informazioni, tramite i più comuni strumenti tecnologici, all'interno dell'ambiente di vita o di lavoro, "la casa" nel senso più ampio del termine utilizzato dai nostri antenati latini.

Oggi l'installazione di un sistema di automazione domestica avviene facilmente, senza interventi sulle strutture della casa e sfruttando, per la maggior parte dei collegamenti, l'impianto elettrico già presente, grazie alla tecnologia delle onde convogliate. Per farlo funzionare non si deve essere un esperto di informatica e neppure saper manovrare un computer: basta premere semplici tasti quando si è in casa oppure usare il telefono quando si è fuori. Sarà lo stesso sistema, con i suoi messaggi e con la sua voce, a guidare le azioni da compiere.

La domotica, o *home automation*, è una scienza interdisciplinare che ha per oggetto lo studio delle tecnologie volte a migliorare la qualità della vita all'interno degli ambienti domestici. Questa disciplina non concepisce i vari impianti presenti come sistemi singoli, collocati nelle abitazioni per svolgere il proprio compito, ma come componenti integrati all'interno di un unico sistema. Invece, facendo riferimento al settore terziario, l'evoluzione di questa disciplina consiste nell' "automazione degli edifici", o *building automation*, in cui vi è la gestione intelligente degli impianti di climatizzazione, illuminazione, impianti di sicurezza e altro ancora. Con la parola "intelligente", riferita al settore residenziale, si intende la capacità di interpretare alcuni parametri predefiniti e di compiere determinate azioni. In particolare, si possono classificare cinque diverse aree di applicazione della domotica: sicurezza, climatizzazione, gestione e risparmio energetico, comunicazione e intrattenimento. Nel seguente lavoro, si terrà conto e verranno analizzati determinati impianti e dispositivi volti alla riduzione dell'energia.

È quindi importante che, sia sui nuovi edifici, ma anche su quelli preesistenti, venga applicata questa particolare tecnologia, la quale offre una maggiore sicurezza e qualità della vita, ma anche una riduzione considerevole dei consumi, elettrici e termici. Questo però può avvenire solamente con la diffusione tra gli utenti della cultura domotica, che deve partire dagli stessi progettisti, i quali non devono considerare tale tecnologia come un optional da aggiungere nei diversi impianti, ma deve essere considerata e collocata in ogni passo della progettazione. Governare con la domotica le funzioni di un edificio è sicuramente il modo più sicuro ed efficiente per ottimizzare i consumi, poiché l'automazione consente di dosare l'acqua, luce e gas (o energie in generale) secondo gli scenari definiti quotidianamente.

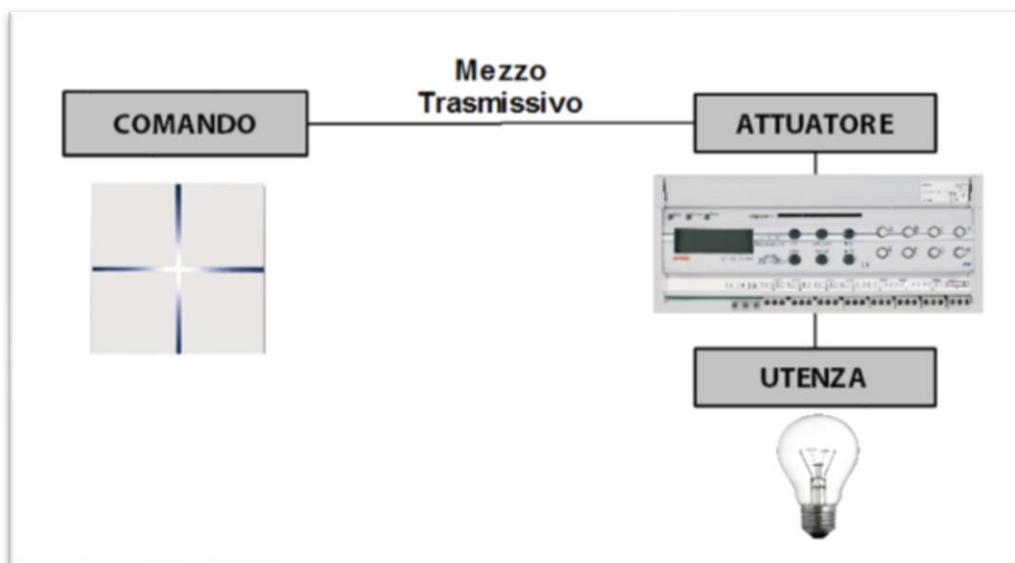
Ad esempio, l'illuminazione e il clima dell'abitazione sono programmabili in base a diversi fattori: dall'esposizione di quell'ambiente al sole oppure a seconda delle semplici preferenze personali. In questo modo si può decidere preventivamente quali stanze illuminare e riscaldare, in che misura e in che fasce orarie. L'energia viene così ottimizzata: il controllo dei consumi è costante, la distribuzione intelligente, il risparmio notevole. Oppure ancora, è possibile programmare il sistema in modo che, in caso di sovraccarico, invii alle prese supervisionate il comando di staccare automaticamente i carichi precedentemente identificati come non prioritari prima che avvenga il blackout per sovraccarico. In quest'ottica, termostati e cronotermostati regolano in modo differenziato la temperatura di ogni singolo ambiente e, se integrati negli scenari programmati, ottimizzano i consumi riducendo la temperatura di notte o quando non si è in casa. Davvero ampio è il ventaglio di soluzioni offerte, con l'enorme vantaggio che queste possono essere incrementate nel tempo per assecondare le esigenze in continuo divenire. Un impianto domotico infatti può essere realizzato inizialmente con funzioni minime per poi aggiungerne di nuove, in base alle sopravvenute necessità. La predisposizione dell'impianto è fondamentale per non dover intervenire con ulteriori opere murarie. Nonostante tutto è comunque possibile integrare nuove funzioni tramite wi-fi (come i prodotti IOT che utilizzano il collegamento alla rete) o la radiofrequenza.

Questa disciplina allinea il nostro Paese con le direttive europee che impongono la certificazione energetica degli edifici, inoltre comporta un concreto risparmio e la creazione di un mercato sempre più complesso con la nascita anche di nuove figure professionali, oltre a rafforzare la ricerca nel settore.

## **2.2 Struttura e principali componenti del sistema domotico**

Qualunque siano le funzioni di un impianto domotico, esso è sempre costituito da tre elementi: attuatore, comando e mezzo trasmissivo. L'attuatore è il componente che svolge fisicamente una determinata funzione (come l'accensione di una luce), i comandi sono quei componenti che trasmettono l'ordine di eseguire una determinata operazione (si pensi, ad

esempio, al pulsante che comanda l'accensione della lampadina) e il mezzo trasmissivo è il mezzo fisico in cui gli ordini vengono trasmessi dal comando all'attuatore.



**Figura 2.2** *Schema di funzionamento di un impianto domotico*

Caratteristica essenziale di questa tecnologia è l'utilizzazione di una rete di dispositivi in grado di comunicare tra loro; proprio per questo motivo, l'elemento principale di un sistema domotico è la rete di comunicazione (mezzo trasmissivo appunto) attraverso la quale le varie tecnologie si trasmettono le informazioni necessarie alla gestione globale.

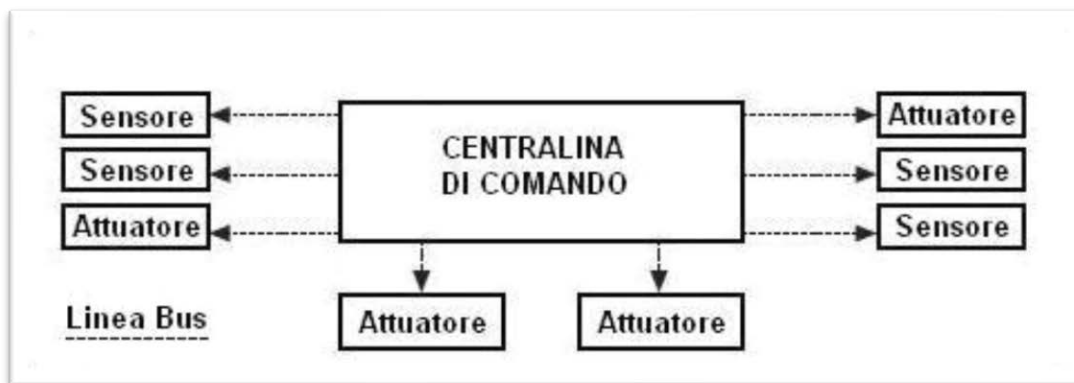
Gli impianti domotici sono classificati a seconda del modo in cui i vari dispositivi sono collegati e comandati; cioè un sistema domotico è classificato in base alla sua architettura.

### **2.2.1 Architettura delle reti domestiche**

A seconda di dove sia localizzata la capacità decisionale del sistema, è possibile avere:

- Architettura centralizzata
- Architettura distribuita
- Architettura mista

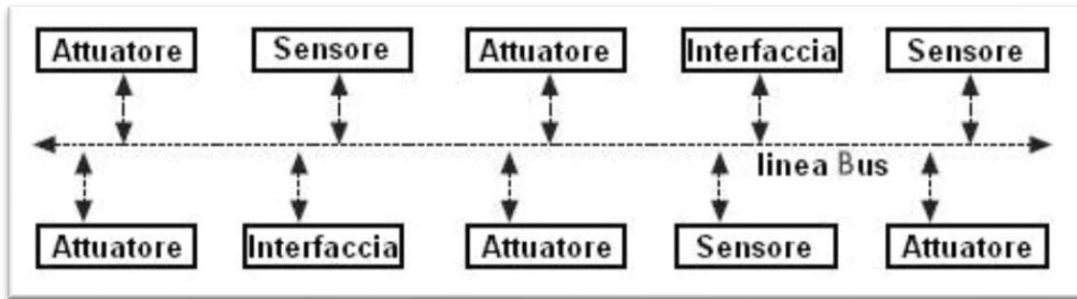
Nell'architettura centralizzata esiste un'unica unità che decide (tipicamente una centralina), i cui dispositivi non sono in grado di prendere decisioni e delegano questa azione alla centralina, in base ad un programma residente nella sua memoria.



**Figura 2.3** *Schema di impianto con architettura centralizzata*

Appare evidente che, in questa tipologia di architettura, il punto debole del sistema è rappresentato dalla centralina, la quale in caso di guasto rischia di rendere inutilizzabile l'intero impianto. Tuttavia, questa architettura è facile da programmare e da riconfigurare, oltre ad essere poco costosa, però i costruttori devono prendere una serie di accorgimenti in modo tale da ridurre il più possibile il pericolo di guasto alla centralina.

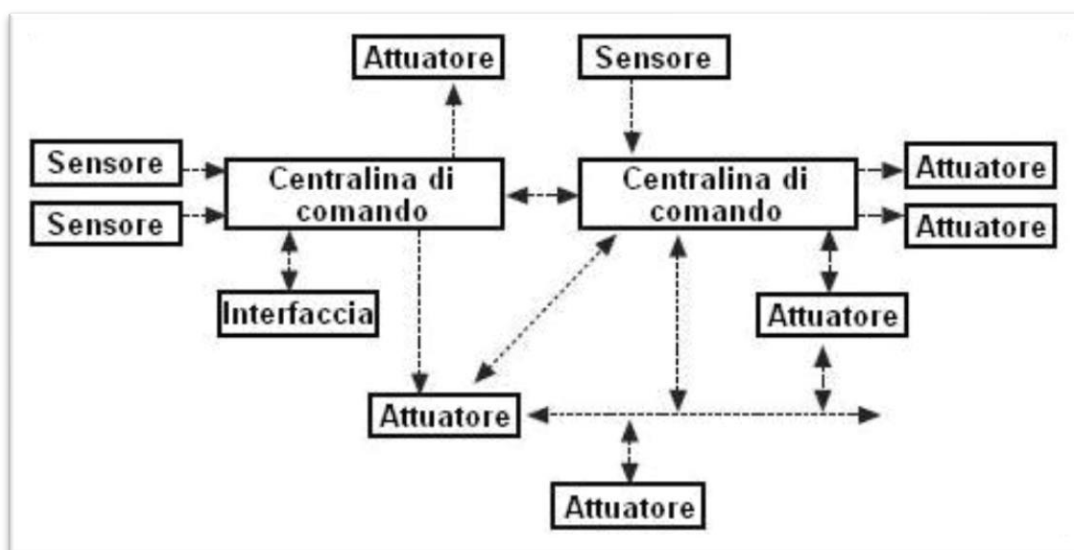
Nell'architettura distribuita, invece, tutti i dispositivi sono dotati di una "intelligenza" propria e quindi sono in grado di eseguire specifiche funzioni in maniera automatizzata. La trasmissione dei dati è più snella e veloce, non solo per la mancanza di dipendenza da una centralina, ma anche perché spesso le unità di controllo decentrate sono situate in prossimità degli apparati da gestire.



**Figura2.4** *Schema di impianto con architettura distribuita*

Inoltre, tale sistema risulta anche più efficiente, in quanto è possibile gestire più comunicazioni contemporaneamente: ad esempio, un sensore che rilevi una determinata variazione di temperatura, è in grado di gestire sia gli attuatori relativi al comando di finestre/tende, che impianti di riscaldamento/condizionamento. Diversamente dal caso precedente, con questa architettura vi è una maggiore affidabilità, infatti il guasto di un componente non provoca il guasto dell'intero sistema, ma causa problemi associati solamente al dispositivo colpito dal guasto. A svantaggio però vi è il maggior costo e il più alto livello di complessità nella programmazione.

Infine, nell'architettura mista vi è la duplicazione delle centraline le quali sono in comunicazione tra loro; tale sistema è sicuramente il più efficiente, ma anche il più complicato da realizzare ed è perciò consigliato soprattutto nella domotica aziendale o nell'impiantistica per edifici interi. Infatti, esiste un cablaggio principale a livello di fabbricato che ha caratteristiche simili all'architettura distribuita che poi si collega, attraverso delle interfacce, ad una serie di centraline dislocate nell'edificio.



**Figura 2.5** Schema di impianto con architettura mista

Viene ora descritta l'architettura di base di tali sistemi, ovvero gli elementi che lo compongono e, in seguito, le diverse tipologie di connessione.

### 2.2.2 Architettura base di un sistema domotico

L'architettura di un sistema domotico è costituita essenzialmente da una serie di elementi base:

- I moduli domotici, dispositivi che svolgono le tipiche funzioni di comfort, sicurezza e risparmio della domotica, come il controllo dell'illuminazione, delle automazioni e la diffusione sonora; il controllo della videocitofonia, del sistema di videosorveglianza, degli allarmi tecnici e dell'impianto antintrusione; il controllo dell'impianto di irrigazione, della termoregolazione e la gestione dell'energia. Possono essere alloggiati nei quadri elettrici oppure nelle scatole di derivazione.

- Il cavo BUS, cioè un cavo dati simile a un doppino telefonico, che consente ai moduli domotici di dialogare tra loro. Il cavo BUS è facilmente posabile anche negli edifici esistenti e viene collegato a tutti i dispositivi elettrici da comandare tramite i moduli domotici, come punti luce, automazioni per tende e tapparelle, impianto audio, videocitofono, impianto di allarme, elettrodomestici, etc.
- Eventuali moduli domotici wireless, i quali possono essere integrati nell'impianto domotico qualora non fosse possibile collegare i dispositivi all'impianto attraverso il cavo BUS o fosse necessario evitare le opere murarie.
- Il server di sistema dove risiede l'intelligenza per la supervisione di tutte le apparecchiature installate a cui sono collegati tutti i moduli domotici o via radio.
- I terminali domotici touchscreen da cui è possibile gestire e controllare attraverso un'interfaccia grafica semplice e intuitiva l'intero impianto.

Il consumatore finale deve essere informato costantemente durante l'arco della giornata, sia del consumo energetico totale e per singolo dispositivo, sia dei costi associati ai consumi e dai consumi/costi previsti per i cicli successivi. Queste informazioni possono fornire al consumatore un immediato segnale delle proprie spese di fatturazione elettrica e permettergli di apportare delle modifiche per migliorare il consumo/costo energetico.

Il sistema domotico è diretto a un pubblico vasto e non professionale, per questo motivo deve essere semplice da utilizzare, ma anche sicuro e non deve presentare pericoli per chi non ne conosce o comprende le potenzialità. In particolar modo, l'interfaccia utente deve essere consistente, senza creare conflitti tra i comandi, oltre che di facile impiego, ma anche deve essere in grado di visualizzare le notifiche dei dispositivi gestiti e capace di accettare connessioni telefoniche o via sms (quando richiesto).

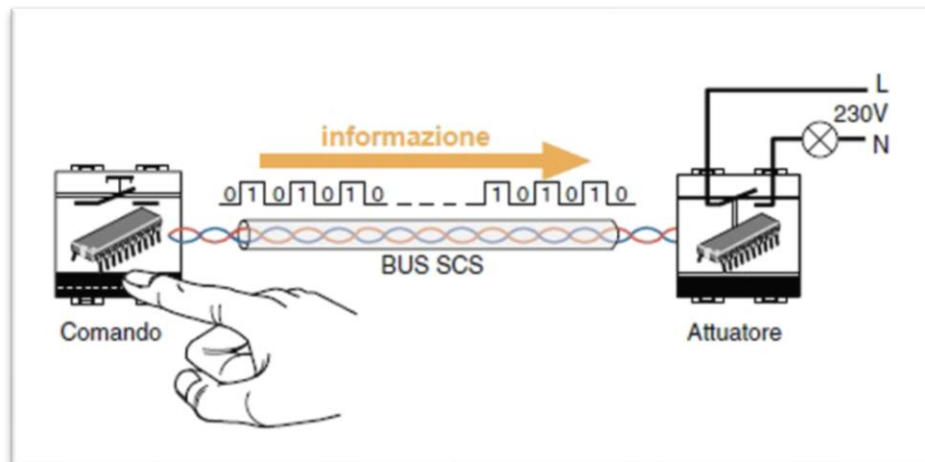


### 2.2.3 Tipologie di interconnessione

Come abbiamo visto, la casa intelligente può essere controllata dall'utente tramite opportune interfacce che realizzano il contatto con il sistema intelligente di controllo. I diversi componenti del sistema sono connessi tra di loro e con il sistema di controllo tramite vari tipi di interconnessione; quella principale e più diffusa è costituita da dei BUS dedicati, ma potrebbero essere utilizzate anche altre tipologie, come l'uso della rete locale, delle onde convogliate o di quelle radio, ecc. Infine, un sistema domotico si completa attraverso uno o più sistemi di comunicazione con il mondo esterno per permettere il controllo e la visualizzazione dello stato anche da remoto. Si ottiene in tal modo un sistema intelligente e, nel caso di un impianto di climatizzazione intelligente, per esempio, può svolgere le seguenti funzioni: funzionamento automatico in base al riconoscimento della presenza di persone nell'ambiente, adeguamento del funzionamento in base al tasso di umidità, spegnimento automatico del calorifero sotto una finestra aperta, auto-programmazione della pre-climatizzazione in base al riconoscimento degli usi degli utenti.

Le tipologie principali di interconnessione sono descritte nel seguito:

1. La tecnologia più utilizzata è l'impianto a BUS, ovvero quello in cui il collegamento fisico tra i vari dispositivi è un doppino intrecciato, al quale sono connessi in parallelo tutti i dispositivi tramite un dispositivo elettronico di interfaccia. Il circuito BUS funziona da cavo di segnale, che oltre a portare la bassa tensione di alimentazione (20-24V), trasporta le informazioni tra un utente e l'altro. Questo significa che i dispositivi attuatori devono essere connessi sia alla linea BUS che alla rete elettrica.

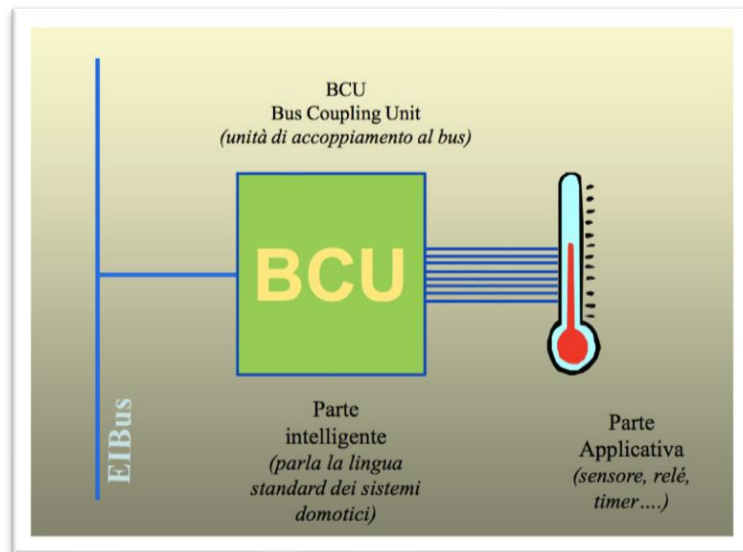


**Figura 2.6** Schema semplificato di un impianto con connessione di tipo BUS

Le componenti di un sistema domotico sono dotate di un dispositivo detto BCU (*Bus Coupling Unit*) che si occupa di tradurre i segnali analogici in telegrammi diretti verso il BUS e viceversa di interpretare i telegrammi provenienti da altri dispositivi in comandi.

Consideriamo il caso di un termostato: esso sarà composto da una parte che è in grado di misurare la temperatura in forma analogica, poi la BCU la trasforma in un telegramma verso un attuatore.

Questa trasformazione è nient'altro che una conversione da un segnale analogico a uno digitale.



**Figura 2.7** Rappresentazione della BCU, intermediario tra il BUS e il sensore

L'intelligenza del componente risiede nella capacità basilare di riconoscere e saper rispondere a tre domande: "come si chiama" (ovvero l'assegnazione al dispositivo dell'indirizzo logico), "cosa deve fare e come" (ossia quale funzione deve eseguire e in quali modalità), "con chi lo deve fare" (ovvero con quale dispositivo realizzare la funzione individuata).

Il BUS quindi è un sistema chiuso in cui c'è una netta separazione tra la linea di potenza e di comando; così facendo il cavo BUS (a bassissima tensione) può collegare in sicurezza tutti i dispositivi intelligenti. Tali sistemi però vanno predisposti fisicamente, perciò se si vogliono realizzare su edifici esistenti è necessario operare una serie di lavori sugli impianti tecnologici.

Per risolvere eventuali problemi comunicativi tra dispositivi di differenti aziende produttrici, è stato creato uno standard mondiale per la comunicazione tra i vari componenti dell'impianto, ovvero il *Konnex* (KNX), di cui parleremo in seguito.

Un impianto standardizzato BUS, più costoso rispetto ad un impianto tradizionale, è un sistema affidabile, poichè l'infrastruttura non dipende da onde radio o da altri mezzi e perciò non è soggetto ad eventuali problemi di disturbi, consentendo l'integrazione dei sistemi a fronte di una grande semplicità di cablaggio.

Questa è una soluzione ideale in abitazioni molto grandi con un gran numero di componenti. Tuttavia, potrebbe costituire un problema il fatto che richiede un consistente lavoro di installazione per la posa dei cavi; qualora si voglia evitare la realizzazione di opere murarie si può optare per sistemi alternativi che riducano al minimo l'installazione di nuovi cavi.

Un problema che si può però incontrare, per quanto riguarda gli interventi di ristrutturazione, è l'alloggiamento dei suddetti cavi nella stessa canalizzazione dei cavi elettrici; diventa così essenziale avere un cablaggio che garantisca, mediante opportuna schermatura, la protezione dei disturbi elettromagnetici che si vengono a creare.

2. È possibile sfruttare le onde convogliate per la progettazione di un sistema domotico, le quali si appoggiano alla rete elettrica già presente nell'abitazione, evitando di intervenire con opere murarie atte alla predisposizione degli alloggiamenti dei cavi. Tale scelta diventa opportuna quando non si vuole o non sia possibile ristrutturare un appartamento; l'automazione viene garantita attraverso l'uso di una *centralina di comando* capace non solo di rendere i segnali compatibili col supporto in rame dei cavi elettrici, ma di garantire anche lo scambio dati tra le apparecchiature. Ciò comporta un intervento su tutti i dispositivi che saranno messi in rete (sia a livello di controllo che di programmazione) in modo che essi recepiscano i telegrammi-sotto forma di impulsi elettrici ad alta frequenza-attraverso i tradizionali conduttori. Poiché la corrente elettrica è soggetta a numerose distorsioni, i problemi di questa tecnologia sono dovute alle possibili interferenze; tuttavia, queste problematiche possono essere superate adottando un filtro di linea.

Lo standard più diffuso per questo tipo di sistema è X10, costituito da una o più unità centrali che dialogano in maniera bidirezionale con dispositivi periferici, utilizzando un sistema ad onde convogliate su rete elettrica per la trasmissione dei dati a bassa velocità (50 bps in Europa).

3. Altra tipologia sono le onde radio, ovvero onde elettromagnetiche utilizzate per le più comuni telecomunicazioni in radio frequenza; le onde radio si propagano nel vuoto e la loro trasmissione viene facilitata da connessioni via ponte radio. È un sistema stabile ma vi sono alcuni problemi nella standardizzazione: le bande di frequenza infatti variano da paese a paese. Tra i protocolli di comunicazione radio più diffusi compare *ZigBee* (protocollo a bassa velocità di trasmissione ed elevata affidabilità) e *enOcean*.
4. Ultima tipologia descritta è quella relativa alle fibre ottiche. Le fibre ottiche sono filamenti di materiali vetrosi o polimerici, realizzati in modo da poter condurre la luce. Sono normalmente disponibili sotto forma di cavi. Hanno la funzione di guide d'onda dielettriche (ovvero isolanti) che permettono di convogliare al suo interno un campo elettromagnetico di frequenza sufficientemente alta (frequenza simile all'infrarosso) con perdite estremamente limitate. Impiegate nelle telecomunicazioni su grandi distanze e composte principalmente da tre elementi: una parte interna detta nucleo (*core*), una parte esterna detta mantello (*cladding*), un rivestimento primario e una guaina protettiva. I principali vantaggi delle fibre rispetto ai cavi in rame nelle telecomunicazioni sono: bassa attenuazione che rende possibile la trasmissione su lunga distanza senza ripetitori, grande capacità di trasporto di informazioni, immunità da interferenze elettromagnetiche (inclusi gli impulsi elettromagnetici nucleari) alta resistenza elettrica (quindi è possibile usare fibre vicino ad equipaggiamenti ad alto potenziale, o tra siti a potenziale diverso), peso e ingombro modesto, bassa potenza contenuta nei segnali, ottima resistenza alle condizioni climatiche avverse.

## 2.3 Evoluzione della normativa per la domotica

Molte norme emanate nel tempo mirano a questa nuova concezione di edificio; per esempio nel 2011 è stata resa obbligatoria la norma del Comitato Elettrotecnico Italiano CEI 64 - 8 che ha introdotto standard minimi di prestazioni, in termini di funzioni e di fruibilità, per gli impianti elettrici. La norma introduce tre livelli di impianto per aiutare professionisti e utenti finali a valutare la soluzione migliore per le proprie esigenze:

- Il livello 1 è quello minimo che individua la dotazione minima di conformità prescrivendo anche il numero minimo di punti-prese e punti-luce in funzione della metratura o della tipologia del locale di installazione e un numero minimo di circuiti in funzione della metratura dell'appartamento;
- Il livello 2 prevede un aumento delle dotazioni e dei componenti e l'aggiunta di servizi ausiliari quali il videocitofono e l'anti-intrusione;
- Infine, il livello 3 presuppone dotazioni domotiche (ad esempio attraverso l'uso di BUS).

Tra le norme più recenti che aiutano lo sviluppo di sistemi domotici si trova la Legge 164/2014 (di conversione del DL 133/2014) che ha fatto scattare dal 1 luglio 2015 l'obbligo della predisposizione alla banda larga per gli edifici di nuova costruzione o per le ristrutturazioni sostanziali.

I nuovi edifici devono quindi essere equipaggiati di un'infrastruttura fisica multiservizio passiva interna, costituita da adeguati spazi installativi e da impianti di comunicazione ad alta velocità in fibra ottica fino ai punti terminali di rete, e di un punto di accesso, cioè di un punto fisico situato all'interno o all'esterno dell'edificio e accessibile alle imprese autorizzate a fornire reti pubbliche di comunicazione, che consente la connessione con l'infrastruttura interna all'edificio predisposta per i servizi di accesso in fibra ottica a banda ultra-larga.

Per il cablaggio e la corretta progettazione si può fare riferimento alle Guide 306-2, 64-100/1, 64-100/2 e 64-100/3 del CEI. La norma CEI 306-2 fornisce le raccomandazioni per la progettazione, l'installazione ed il collaudo del cablaggio per le comunicazioni elettroniche negli edifici residenziali, in conformità alle norme tecniche applicabili. Le CEI 64-100/1, 64-100/2 e 64-100/3 utili per la predisposizione delle infrastrutture per gli impianti elettrici, elettronici e per le comunicazioni si rivolgono in particolare ai progettisti edili, agli architetti e agli installatori che lavorano alla costruzione di nuovi edifici o in fase di ristrutturazione radicale.

Infine, si sta cercando di favorire la diffusione di edifici ad energia quasi zero e sistemi domotici efficienti grazie a forme di incentivazione; infatti la bozza del nuovo conto termico prevede incentivi dal 40% al 65% per la sostituzione dei sistemi per l'illuminazione con dispositivi efficienti e per l'installazione di tecnologie di gestione e controllo automatico degli impianti termici ed elettrici degli edifici (*building automation*), di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione del calore.

## **2.4 Protocolli di comunicazione**

I protocolli di comunicazione costituiscono il linguaggio con cui i vari componenti dell'impianto dialogano tra loro<sup>9</sup>.

Orientarsi nelle molteplici soluzioni offerte da questo mercato è stato inizialmente complesso.

In primo luogo, è bene ricordare che sul mercato vi sono due differenti categorie di sistemi domotici:

1. I sistemi proprietari sono generalmente ad uso esclusivo del produttore delle apparecchiature e può comunicare con altri protocolli solo mediante opportune interfacce. Il costruttore non ha nessun interesse a divulgare le informazioni sul proprio prodotto e ne rende impossibile la costruzione a terzi.

Solitamente questi prodotti non hanno la possibilità di comunicare con altri prodotti di altre aziende, ma in qualche caso questo è possibile; oppure è sufficiente disporre di un apposito gateway e alimentatori che garantiscono l'interfacciamento dei dispositivi collegati.

2. I sistemi standard sono sistemi le cui caratteristiche sono state concordate fra vari produttori e che consente una maggiore intercambiabilità dei componenti. Il protocollo più famoso è il KNX. In questo caso, le specifiche del prodotto vengono rese pubbliche in modo che qualsiasi azienda possa decidere di sviluppare dispositivi conformi e interoperanti con tutti gli altri. Generalmente, le aziende di grandi dimensioni creano dei veri e propri riferimenti, detti standard appunto.

Negli ultimi anni si tende a privilegiare l'uso dei sistemi standard, che utilizzano lo stesso linguaggio di comunicazione tra i dispositivi; in alcuni casi, l'azienda proprietaria del protocollo è un solido marchio (come il caso di BTicino) e non è dunque favorevole a questa tipologia di sistema.

È bene anche ricordare i successi delle tecnologie wireless, come Wi-fi o Bluetooth, dovute principalmente all'economicità e alla semplicità che presentano.

È proprio su queste voci che le aziende dovrebbero puntare, poiché un dispositivo dev'essere economico, semplice da utilizzare e deve presentare buone caratteristiche tecniche.

Nei prossimi paragrafi presenteremo brevemente i due principali standard (europeo e americano).

#### **2.4.1 Standard europeo KNX**

L'associazione *konnex* è nata nel 1999, dalla fusione di 3 associazioni: BCI (*Batibus Club International*), EHSA (*European Home System Association*), EIBA (*European Installation Bus Association*).



Questo gruppo di aziende ha scelto di creare un consorzio ed un protocollo standard, piuttosto che seguire la strada intrapresa da altre aziende con lo sviluppo di soluzioni proprietarie. E' questo infatti lo scopo di *konnex*, riuscire ad avvalersi del titolo di standard unico, in modo tale da riunire tutte le tecnologie attualmente presenti e sostenere la standardizzazione della piattaforma di comunicazione e l'interoperabilità di dispositivi diversi; inoltre si propone, attraverso la concessione del marchio KNX, che diverrà sinonimo di qualità, di certificare i produttori dei dispositivi che adottano KNX, e tutelare questo processo di certificazione. Il sistema *Konnex* è un sistema decentralizzato ad intelligenza distribuita, dove l'intelligenza risiede in ogni singolo dispositivo, ciò è un buon vantaggio; ad esempio se un dispositivo non funziona correttamente è possibile con maggior tempestività agire sul guasto o sostituire direttamente il dispositivo senza tempi di attesa troppo lunghi.

Lo standard KNX prevede diversi mezzi trasmissivi che possono essere utilizzati in combinazione con uno o più modi di configurazione in funzione della particolare applicazione: *twisted pair (type 1 e 0)*, *powerline 110 khz*, *powerline 132 khz*, *radio frequenza*, *infrarossi*.

Per quanto riguarda la configurazione sono disponibili 3 modalità:

- S-mode (*System mode*), ad uso di installatori esperti, modalità che mette a disposizione l'utilizzo di tutte le funzioni disponibili, dunque permette di rispondere ad ogni tipo di esigenza.
- E-mode (*Easy mode*): ad uso di installatori con competenze medie, mette a disposizione meno funzioni rispetto al S-mode, visto che i componenti sono già pre-configurati con parametri standard.
- A-mode (*Automatic mode*): questa modalità permette di agevolare la configurazione da parte dell'utente finale, i tipi di componenti A-mode dispongono di meccanismi di configurazione automatica che permettono di collegare i dispositivi ad altri dispositivi di tipo A-mode presenti nella propria rete domestica.

Sicuramente un limite di questa tecnologia è la lentezza, dunque poco adattabile alla gestione video, comunque a vantaggio dell'affidabilità del sistema.

## 2.4.2 Standard americano X-10

X10 è uno standard storico dell'automazione domestica, presente ormai da vent'anni in America che ha avuto una larga diffusione anche in Europa. È costituito da un'unità centrale che invia dei comandi ai dispositivi periferici utilizzando un sistema ad onde convogliate su rete elettrica per la trasmissione dei dati. Il sistema centrale può anche essere controllato da un PC mediante software, oppure pilotato a distanza grazie a telecomandi a infrarossi; lo standard X-10 è inoltre compatibile con le connessioni senza-fili (wireless). Altra caratteristica che ha riscosso consenso, facilitando il repentino diffondersi di tale sistema, a livello della grande distribuzione americana e canadese, è la facilità d'installazione delle sue componenti, secondo la filosofia "*do it yourself*", ovvero "fai da te". Sebbene la configurazione sia immediata, tale standard ha avuto più difficoltà a diffondersi in Europa (in Italia è arrivato intorno al 1993), a causa dell'alimentazione delle reti a 110 volt, che obbliga a rivolgersi a un tecnico per configurare una rete sdoppiata per evitare malfunzionamenti del protocollo.

## 2.4.3 Standard internazionale Bluetooth

Bluetooth è un'evoluzione del protocollo di comunicazione IrDA (a raggi infrarossi) usato tra un'infinita varietà di dispositivi come notebook, cellulari, stampanti, scanner, fotocamere digitali o elettrodomestici bianchi; non usa però gli IR, che hanno il vincolo di mantenere i dispositivi comunicanti in perfetto allineamento, ma le onde radio che hanno il vantaggio di attraversare le pareti. Gli apparati Bluetooth sono di norma sempre accesi e in *standby* (attesa); a intervalli regolari rilevano la presenza di altri dispositivi compatibili, ma si attivano solo su autorizzazione del proprietario. In sostanza è uno standard dotato di sistemi di sicurezza e riservatezza integrati.

È un sistema di trasmissione wireless operante su una banda a 2,4 GHz e presenta una grande facilità di installazione, consumi e costi ridotti.

Le componenti Bluetooth sono quattro: l'unità radio, l'unità di base, il driver e il software. L'unità radio è il mezzo che consente l'invio o la ricezione dei dati via onde-radio, mentre l'unità di base è l'hardware che possiede una memoria flash e la CPU che la legge e dialoga con l'unità radio e il calcolatore centrale. Il driver invece permette al software di interfacciarsi all'utente finale.

Tale tecnologia utilizza trasmissioni fino a 100 metri, con una velocità massima pari a 100 Mb/s.

Le reti tra utenze Bluetooth si definiscono Piconet e si sviluppano sul binomio master-slave.

#### **2.4.4 Standard internazionale Wi-Fi**

Wi-Fi è una tecnologia largamente diffusa nel mercato globale per l'accesso a reti a banda larga e per la realizzazione di reti locali ed è lo standard di comunicazione senza fili della WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*) associazione creata nel 2001 con l'obiettivo di certificare i prodotti che rispettano la normativa dell'IEEE 802.11 (lo standard per le reti WLAN sviluppato dal gruppo 11 dell'IEEE 802).

Wi-Fi è una rete WLAN (ovvero una rete locale che sfrutta tecnologia wireless invece di una connessione via cavo), estensione senza fili di Ethernet, che usa la banda a 2,4 GHz, in cui per collegare i dispositivi wireless alla rete cablata è necessario impiegare un *access point* in grado di ricevere segnali radio trasmessi dai PC e inoltrarli ai dispositivi. Trattandosi di uno standard di rete wireless, Wi-Fi non riesce a individuare i limiti della sua copertura e quindi rischia attacchi dall'esterno; per evitare ciò sono stati progettati dei sistemi di crittografia: il WEP e più recentemente il WPA. Il protocollo Wi-Fi, quindi, è insieme al Bluetooth un esempio di comunicazione tra terminali vicini che possono essere alimentati in rete o a batteria, e avere velocità più o meno elevate.

### **2.4.5 Standard internazionale ZigBee**

Di recente è stato introdotto ZigBee (802.15.4), nuovo standard internazionale progettato per il trasporto di dati in RF, creato dallo IEEE (*Institute of Electrical & Electronic Engineers* degli Stati Uniti). ZigBee garantisce un grado di affidabilità maggiore e costo ridotto rispetto ad altri sistemi a radio frequenza e inoltre, essendo un sistema aperto, non preclude la connessione a elementi prodotti da altre aziende per diversi settori: *Building Automation*, *ICT*, *Smart Energy*, *Health Care*, ma soprattutto per la Domotica.

Caratterizzato da una velocità relativamente bassa (28 Kbyte), ZigBee ha, però, interessanti caratteristiche di sicurezza (liste di controllo accesso, crittografia) e può collegare tra loro molte unità; ciò lo rende particolarmente adatto a funzioni di controllo.

## **2.5 IoT ed edificio intelligente**

È stato da poco comunicato l'aggiornamento che riguarda le direttive sull'efficienza delle prestazioni energetiche in campo edile, più conosciuta come "Direttiva EPBD", che entra in vigore a partire dal 9 luglio 2018. Tale provvedimento pone al suo interno alcuni temi essenziali, come quello relativo all'utilizzo di edifici intelligenti e al concetto di nZEB (*Nearly Zero Energy Building*), ovvero immobili realizzati ad alta efficienza che hanno un fabbisogno molto basso, quasi nullo, che dovrebbe essere soddisfatto per la maggior parte dalle fonti di energia rinnovabili.

Fra i concetti fondamentali del provvedimento è senza dubbio interessante la tabella di marcia diretta ad un parco edilizio estremamente efficiente e de-carbonizzato. Il termine per la riuscita è fissato al 2050, ma sono previste delle tappe intermedie sia nel 2030 che nel 2040. Proprio a tal proposito è stato richiesto a tutti gli Stati membri di redigere una serie di strategie nazionali per il lungo termine che siano dirette a sostenere la riqualificazione delle strutture pubbliche e private in linea con i principi chiave che ha stabilito l'Unione Europea.

A tale scopo verranno creati, inoltre, degli indicatori misurabili, come ad esempio il tasso di rinnovamento oppure il limite massimo del consumo energetico al metro quadrato, per riuscire a monitorare i progressi compiuti dai vari Stati dell'UE. Queste misure effettive saranno tutte a carico dei governi nazionali, per intero.

Analizzando concretamente la direttiva, questa si concentra sulla realizzazione degli edifici intelligenti ed individua delle strategie per ottenere questo obiettivo, infatti, il provvedimento stabilisce che tutti gli immobili nuovi, ma anche quelli nei quali si sostituiscono gli impianti termici, vengano dotati di innovativi dispositivi automatici per regolare i livelli di temperatura. Questi provvedimenti saranno soggetti ad aspri controlli proprio per garantire la corretta attuazione della direttiva. Per il raggiungimento dell'obiettivo che prevede edifici ad energia quasi pari zero, la suddetta direttiva promuove soprattutto l'utilizzo di tecnologie di informazione e comunicazione, le TIC, e delle tecnologie *smart* del settore domotico e, a questo scopo, introduce l'indicatore d'intelligenza, cioè, uno strumento capace di monitorare e misurare la capacità stessa delle case di rendere migliore la loro operatività e le interazioni con la rete, riuscendo ad adattare di volta in volta il consumo energetico a seconda delle reali esigenze dei loro abitanti. Tale provvedimento dovrà essere messo a punto dall'esecutivo europeo entro la fine del 2019.

Giunge infine l'obbligo di dotare gli edifici di almeno un punto di ricarica destinato alle auto elettriche e una infrastruttura di pre-cablaggio nelle nuove costruzioni o negli edifici ristrutturati che possiedono oltre dieci posti auto.

Un edificio intelligente sa quando è ora di accendere l'aria condizionata, poiché rileva che la temperatura e l'umidità sono troppo elevate, oppure capisce se è scoppiato un incendio, anche se il sistema di allarme è guasto, avvisando persone e autorità. Uno *Smart Building* è un edificio "vivo", confortevole, efficiente e a basso impatto ambientale: minimizza gli sprechi, ottimizza il consumo di energia, riduce le emissioni.

Più precisamente, per *Smart Building* (o edificio intelligente) si intende qualsiasi struttura che usa processi automatizzati per controllare riscaldamento, aria condizionata, illuminazione, sistemi anti-intrusione, impianti del fabbricato.

Nella pratica, un edificio *Smart* utilizza sensori IoT che raccolgono, storicizzano e inviano dati ai proprietari dell'edificio e ai *Facility Manager* affinché li utilizzino per migliorare affidabilità e performance del fabbricato, riducendo i consumi energetici, ottimizzando gli spazi e minimizzando l'impatto ambientale. Per realizzare un edificio intelligente, o rendere intelligente un edificio tradizionale, è necessario innanzitutto collegare gli impianti per l'illuminazione e l'energia elettrica, l'impianto idrico, il riscaldamento, i condizionatori d'aria e l'impianto anti-incendio al sistema per l'*Internet of Things* (IoT).

Una parte dei consumatori possiede già un dispositivo che rientra nella categoria IoT, tra cui un termostato, un orologio o un braccialetto connesso, eppure non sono consapevoli di averlo. Quello che manca infatti sembra essere una corretta campagna di comunicazione e promozione dei nuovi gadget che si apprestano a invadere negozi e catene specializzate.

L'espressione *Internet of Things* indica una famiglia di tecnologie il cui scopo è rendere qualunque tipo di oggetto, anche senza una vocazione digitale, un dispositivo collegato ad internet, in grado di godere di tutte le caratteristiche che hanno gli oggetti nati per utilizzare la rete.

Realizzare uno Smart Building o trasformare un edificio tradizionale in edificio intelligente è un'azione vantaggiosa per il proprietario o per le persone che ci abitano. Infatti, mentre l'edificio tradizionale nel corso dei decenni “resta sempre lo stesso”, soddisfacendo esigenze essenziali (riparando l'uomo dal freddo e dalle condizioni climatiche avverse, per esempio), l'*edificio smart* di nuova generazione o i vecchi fabbricati convertiti in *Smart Building* cambiano costantemente e si adattano al mutare delle condizioni e delle abitudini. Sono strutture vive, connesse ad una rete grazie a software intelligenti e adattabili.

La *Smart Home* è una “casa intelligente” perché collegata ad un sistema per l'*Internet of Things* che, come già spiegato, storicizza, registra e invia informazioni in tempo reale, aiutando gli abitanti della casa a tenere sotto controllo i consumi e proteggendo l'abitazione dalle intrusioni.

Il sistema IoT attiva e disattiva gli allarmi, apre e chiude porte e cancelli, anche se gli abitanti sono molto distanti, grazie ad un'applicazione installata su Smartphone.

Chi abita in una casa domotica può programmare il sistema e decidere a che ora di devono spegnere tutte le luci, quando si devono chiudere o aprire le tapparelle e quando deve attivarsi il sistema antintrusione, simultaneamente o in momenti diversi. Può decidere, anche da remoto, quale temperatura tenere in casa e quando spegnere il riscaldamento. Ma ancora, se ha un giardino, può attivare a distanza il sistema di irrigazione, decidendo quanta acqua usare, in base alla stagione, temperatura, umidità e al tipo di pianta da annaffiare. In una *Smart Home* l'energia viene usata solo dove e quando serve. I sensori IoT rilevano la temperatura dell'ambiente, la luminosità esterna e l'umidità.

In base a questi parametri il sistema invia comandi ai dispositivi collegati: il termostato regola il riscaldamento, le tapparelle si alzano o si abbassano per mantenere la casa fresca. Se sono presenti anche elettrodomestici "intelligenti" il beneficio è doppio, in quanto sono macchine che, grazie alla medesima tecnologia sopra citata, comunicano con l'utente in tempo reale, stimando consumi e costi. Per esempio, se il frigorifero è uno *smart object*, è possibile monitorare il consumo energetico e la quantità di alimenti conservati, riducendo gli sprechi. La lavatrice "intelligente", invece, può consigliare il programma migliore a seconda dei capi da lavare, ottimizzando l'uso di acqua, elettricità e detersivo, poi informa gli utenti di aver terminato il ciclo di lavaggio, anche se non sono fisicamente presenti in quel momento. Inoltre, per esempio, comunica con la lavastoviglie per decidere quale fra loro deve partire prima, in modo da non sovraccaricare l'impianto elettrico.

La *Smart Home* è una realtà in evoluzione. In Italia il 26% dei consumatori ha già un oggetto intelligente connesso alla propria casa e il 58% ha intenzione di acquistare *smart objects* in futuro (secondo la ricerca *smart home* dell'Osservatorio *Internet of Things* della *School of Management* del Politecnico di Milano). Tuttavia, alcuni temono per la loro sicurezza e la privacy. In effetti, una casa completamente intelligente, se non protetta da protocolli di sicurezza blindati, può essere facile bersaglio di hacker e virus informatici. La tecnologia IoT, però, si sta evolvendo velocemente quindi, a breve, oggetti e sistemi di uso quotidiano saranno ben protetti e difficilmente penetrabili.





# Capitolo 3

## Il software Trnsys

La simulazione è stata effettuata mediante il codice di analisi dinamica *Trnsys* (*Transient Energy System*), che permette di effettuare simulazioni termiche in condizioni dinamiche di sistemi energetici. È stato sviluppato dall'Università del Wisconsin e dall'Università del Colorado, commercializzato nel 1975, viene costantemente aggiornato grazie al lavoro di una serie di istituzioni ed è usato da ingegneri e ricercatori in tutto il mondo per convalidare nuovi concetti di energetica, dal semplice sistema per produzione di acqua calda sanitaria al progetto e simulazione degli edifici e dei loro impianti, integrando strategie di controllo, comportamento degli occupati, sistemi ad energia alternativa (eolico, solare, fotovoltaico, sistemi ad idrogeno) e altro. Uno dei fattori chiave del successo di *Trnsys* è la sua aperta struttura modulare. Il codice sorgente, come i modelli dei vari componenti sono aperti all'utente finale; questo semplifica la modifica ed estensione dei modelli esistenti al fine di renderli adatti agli scopi specifici dell'utente. L'architettura basata sui file con estensione DLL, permette facilmente di aggiungere modelli personalizzati di componenti, utilizzando tutti i più comuni linguaggi di programmazione (C, C++, PASCAL, FORTRAN, etc.). In aggiunta, *Trnsys* può essere facilmente connesso con molte altre applicazioni (per esempio Excel, Matlab, Comis, etc.) Tale strumento contiene diversi *tools*, ma nello studio svolto si farà riferimento solo a due di essi: TRNBUILD e SIMULATION STUDIO.

### 3.1 Simulation studio

*Trnsys Simulation Studio*: interfaccia con la quale si configura il motore di calcolo delle simulazioni. Con lo Studio si possono creare scenari più o meno complessi mediante l'assemblaggio di una serie di componenti, detti *type*, caricati da una libreria interna al programma, che possono essere inserite per trascinamento nel foglio per creare il modello che interessa simulare.

Ogni *type* (componente) è descritta da un modello matematico e presenta una serie di parametri, ingressi, uscite e file esterni (*parameters, reputs, outputs, external files*). Concluso il modello è possibile lanciare la simulazione e, a eccezione di errori a causa di non convergenza di valori o altro, si apre una interfaccia grafica che presenta tutti i valori che si è deciso di visualizzare, i quali è poi possibile esportare in file di testo al fine di utilizzarli con altri programmi di calcolo.

### 3.2 TRNBuild

Questa è l'interfaccia utilizzata per modellizzare edifici e strutture. Esso permette di specificare tutti i dettagli della struttura e tutto quello che è necessario a simulare il comportamento termico dell'edificio, come ad esempio le proprietà ottiche delle finestre, i settaggi per la climatizzazione, gli appalti tecnici, ecc. *TRNBuild* permette la creazione di zone climatiche, delle quali l'apposita *type* di *Simulation Studio* calcolerà i parametri di interesse, come i carichi termici o le condizioni dell'aria. Una volta definite le zone termiche, si prosegue alla creazione del modello, specificando le caratteristiche delle componenti di involucro, come le stratigrafie, le superfici e l'orientamento delle pareti. È possibile inserire anche i dati relativi alle componenti trasparenti, come la trasmittanza termica dei vetri e del telaio dei serramenti, il rapporto delle aree fra vetro e telaio o i fattori di shading. Infine, vengono impostate altre caratteristiche come la ventilazione e i carichi interni, ma ciò viene preso in esame con maggior dettaglio nei prossimi capitoli.

# Capitolo 4

## Obiettivi di GOTHEM

Nel presente lavoro ci si è focalizzati su tre tematiche principali: il comfort termico, la termoregolazione e il risparmio energetico. Questi diversi aspetti sono stati presi in esame come elementi base per l'impiego di tecnologie ad alta potenzialità all'interno dell'edificio in modo da contribuire nel transito verso un sistema energetico affidabile, sostenibile e competitivo, in tempi di crescente scarsità delle risorse, di incremento del fabbisogno di energia nonché di cambiamenti climatici. Le attività si concentrano sulla ricerca e lo sviluppo su larga scala di nuovi concetti, di soluzioni tecnologiche, di componenti più efficienti, ma anche su sistemi tecnologici con intelligenza integrata che permettono di conoscere in tempo reale la gestione dell'energia termica ed elettrica degli edifici. Il progetto GOTHEM mostra principalmente concetti e tecnologie per la realizzazione di caldaie a gas dotate di nuovi componenti che permettono di ottenere ottimizzazione della combustione e dell'efficienza, riduzione dei consumi e dei costi, sicurezza e connettività ad internet (IOT), ma anche concetti relativi ad altri dispositivi e tecnologie e i loro relativi parametri (KPI, *Key Performance Indicators*) in modo da analizzare i risultati finali derivanti dal monitoraggio e per definire gli impatti economico e sociale. Inoltre, è possibile ottenere una accurata regolazione del comfort termico domestico attraverso funzioni e dispositivi innovativi e la realizzazione di impianti ibridi di tipo multi energia che sfruttano le energie rinnovabili ed ottimizzano la gestione globale dell'impianto termico ed elettrico anche attraverso l'accesso remoto e il controllo via web o smartphone. Le soluzioni innovative all'interno del progetto contribuiscono quindi nella gestione globale dell'energia e alla salvaguardia dell'ambiente. Come conseguenza, è di fondamentale importanza tener conto le tre tematiche sopracitate.

## 4.1 Comfort termo-igrometrico e qualità dell'aria

La parola “comfort” significa garantire condizioni di benessere. Esistono vari tipi di comfort, come il comfort termico, acustico o visivo, ma nel presente lavoro considereremo solamente il primo tipo; a questo problema si affianca anche lo studio della qualità dell'aria all'interno di un ambiente (*indoor air quality*).

La norma di riferimento sul comfort termico è la UNI EN ISO 7730 che definisce come misurare il comfort e che quindi minimizza la termoregolazione del corpo umano. Quando si parla di termoregolazione si deve tener conto di due aspetti: l'interazione tra ambiente e corpo mediante un bilancio termico (aspetto fisico) e la condizione mentale di soddisfazione dell'ambiente (aspetto psicologico). La condizione di benessere si raggiunge quando sono soddisfatti entrambi gli aspetti.

Ipotizzando un ambiente termico moderato (con temperature comprese tra i 10 e i 30 °C), per quanto riguarda l'aspetto fisico, il bilancio termico tra la persona e l'ambiente che lo circonda è rappresentato dalla seguente condizione:

$$S = M - (W + E_{res} + C_{res} + C + R + E + K)$$

in cui  $S$  è l'accumulo di energia nel corpo che è pari al metabolismo energetico (ovvero all'energia prodotta dall'alimentazione) e a cui si sottraggono le perdite.

Quest'ultime sono:  $E_{res}$  e  $C_{res}$  le potenze termiche cedute nella respirazione come calore latente e calore sensibile rispettivamente,  $W$  è la potenza meccanica ceduta,  $E$  la potenza ceduta per evaporazione della pelle,  $C$  è la potenza termica ceduta per convezione (con l'aria che ci investe),  $R$  è il parametro relativo all'irraggiamento (campo infrarosso) con le superfici dell'ambiente e  $K$  è la potenza termica ceduta per conduzione (dovuta all'abbigliamento, che costituisce una resistenza addizionale).

Per l'ipotesi di ambiente termico moderato, i parametri  $E_{res}$ ,  $C_{res}$  ed  $E$  sono trascurabili, mentre sono preponderanti i parametri  $C$ ,  $R$ ,  $K$  ed  $M$ .

Più precisamente, il parametro  $M$  è legato all'energia generata all'interno del corpo umano dai processi di trasformazione dell'energia chimica degli alimenti e viene misurata in  $met$  ( $1\ met = 58 \frac{W}{m^2}$ ). La quantità di calore prodotta da un uomo adulto varia in funzione dell'attività svolta, così viene attribuito 1  $met$  se la persona è seduta (con una dispersione termica di circa 100W considerando l'area corporea pari a 1,80 m<sup>2</sup>), fino a 14  $met$  se l'individuo compie uno sforzo eccezionale.

Per quanto riguarda l'abbigliamento, invece, viene fatto riferimento al  $clo$  ( $1\ clo = 0,155 \frac{Km^2}{W}$ ); così attribuendo il valore pari a 0  $clo$  ci si riferisce ad un individuo nudo, fino a 4  $clo$  nel caso in cui l'individuo indossi un abito polare. Valori tipici in Europa sono 0,5  $clo$  (in estate) e 1  $clo$  (in inverno), che sono quindi valori identificativi della resistenza termica del vestiario.

I parametri fisici che comportano il diverso scambio termico con l'ambiente sono (fissati il  $clo$  e il  $met$ ):

- Temperatura dell'aria ( $t_a$ )
- Velocità dell'aria ( $v_a$ )
- Temperatura media radiante ( $t_{mr}$ )
- Umidità relativa (UR)

I primi due parametri sono legati alla convezione, il terzo allo scambio radiante e l'ultimo allo scambio latente di vapore.

Le grandezze relative al soggetto, come è stato già enunciato, sono il metabolismo energetico e la resistenza termica all'abbigliamento, mentre le sei variabili costituiscono l'ambiente termico.

Per quanto riguarda i parametri fisici dell'ambiente, ricordiamo che il comfort termico non è influenzato dall'umidità relativa se si ha  $30\% \leq UR \leq 60\%$ , inoltre per l'ipotesi relativa agli ambienti considerati, si ha  $v_a < 0,2 \frac{m}{s}$ .

Nel caso in cui siano verificate le condizioni:

$$v_a < 0,2 \frac{m}{s} \quad e \quad M \leq 1,2\ met$$

allora la velocità dell'aria è trascurabile; se aumenta l'attività metabolica è possibile tollerare velocità dell'aria più elevate.

L'umidità relativa è il rapporto tra la quantità di vapore contenuto da una massa d'aria e la quantità massima che può contenere quella massa d'aria nelle stesse condizioni di temperatura e pressione.

La temperatura media radiante di un ambiente è definita come quella temperatura uniforme di una cavità nera<sup>1</sup> in cui una perdita di calore per radiazione è uguale a quella di una persona in esame in una stanza reale. È dunque legato allo scambio termico per infrarosso tra le persone e le pareti (o altre superfici); si comprende facilmente che questo parametro è funzione della posizione della persona e si devono considerare per cui i fattori di vista<sup>2</sup>. Il calcolo della temperatura media radiante è complesso, per cui si effettua spesso una semplificazione:

$$t_{mr} = \frac{\sum t_{si} A_i}{\sum A_i} = \frac{\sum t_{si} A_i}{\sum A_i}$$

in cui  $t_{si}$  è la temperatura superficiale relativa alla superficie  $A_i$ .

Tale calcolo viene fatto rispetto ad un punto centrale posto in mezzo all'ambiente.

La temperatura dell'aria e la temperatura media radiante hanno la stessa influenza sulle dispersioni, la cui combinazione permette di ottenere la temperatura operativa:

$$t_o = \frac{t_{mr} + t_a}{2}$$

Questa rappresenta una ulteriore semplificazione, in quanto gli scambi per convezione e irraggiamento sono comparabili.

In conclusione, i tre parametri che assicurano la sensazione di comfort termico sono la temperatura operativa  $t_o$ , l'attività metabolica  $M$  e la resistenza termica al vestiario  $I_{cl}$ .

### 4.1.1 Indici di comfort globale

Quando si valuta un ambiente, specialmente in ambito lavorativo, si parla spesso di temperatura di comfort, definita come la temperatura equivalente alla quale una persona si sente a suo agio dal punto di vista termico. Se il comfort termico in un ambiente non è perfetto, è utile chiedersi quanto è lontano dalla perfezione e quali sono i limiti di temperatura e umidità dell'aria per mantenere le condizioni suddette. Le risposte a queste domande possono essere date introducendo gli indici *PMV* e *PPD*. Il *PMV* (voto medio previsto) rappresenta il valore medio delle valutazioni soggettive di un gruppo di persone in un dato ambiente.

Tale parametro rappresenta la sensazione termica definita su una scala di 7 punti: da -3 (molto freddo) a +3 (molto caldo); il valore 0 rappresenta la neutralità termica (dovremo stare più vicini possibili allo zero). Però anche quando l'indice *PMV* è nullo, comunque ci sarà qualche persona insoddisfatta dal livello di temperatura, questo perché la valutazione di comfort varia da individuo a individuo.

Per prevedere quante persone sono insoddisfatte in un ambiente viene introdotto l'indice *PPD*, il quale può essere rappresentato in funzione del primo indice visto.

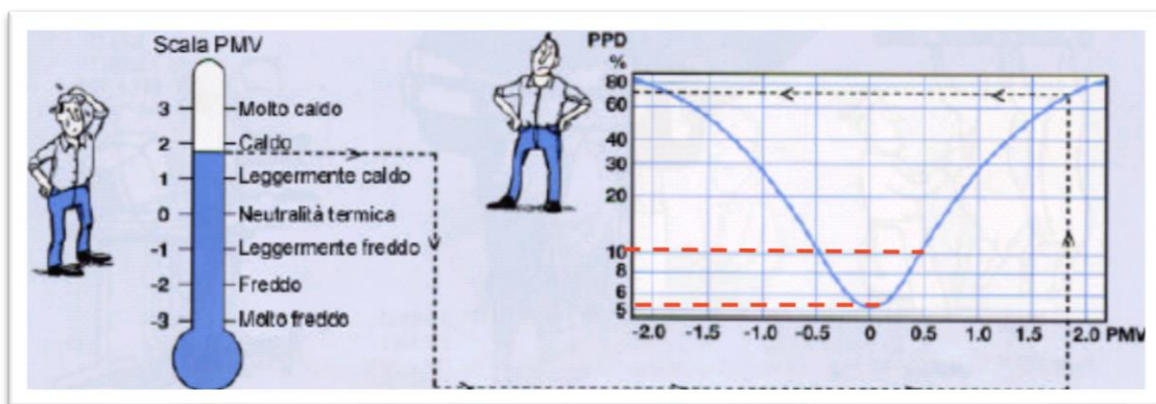
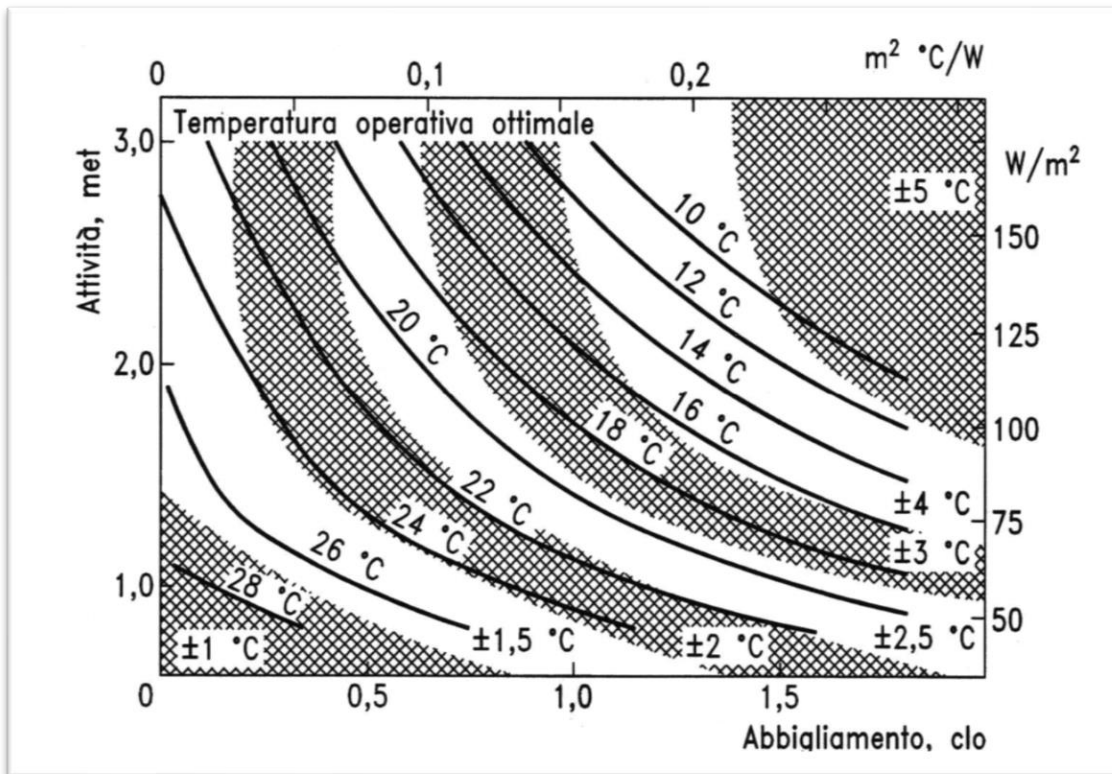


Figura 4.1 Grafico che lega gli indici PPD e PMV

Si nota che, anche nel caso in cui il parametro  $PMV$  sia nullo, non si scende mai al di sotto del 5% di persone insoddisfatte.

Vengono introdotte delle fasce di comfort A, B e C rispettivamente pari a valori di  $PPD$  pari a 6%, 10% e 15%, relativi alla norma EN 15251 in cui viene descritto il concetto di comfort globale.

I parametri  $M$ ,  $I_{cl}$  e  $t_0$  possono essere rappresentati nel diagramma semplificato qui mostrato:



**Figura 4.2** Grafico che mostra la dipendenza dei parametri clo, met e temperatura operativa

Le curve che descrivono le diverse temperature operative sono caratterizzate da  $PMV = 0$  e  $PPD = 5\%$ ; ciò significa che in inverno ( $clo$  unitario), in cui il tasso metabolico delle persone in un ambiente è  $1,2\ met$ , la temperatura operativa è pari a  $22^\circ C$ , ma in realtà non si è in condizioni ottimali ( $\pm 2^\circ C$ ).



Risulta dunque un range compreso tra 20 e i 24°C, mentre i parametri ambientali di riferimento sono UR pari a 50% e velocità dell'aria nulla. Di conseguenza, si è liberi di scegliere una temperatura di comfort compresa tra i 20 e i 24°C, ma con una temperatura minore pari a 20°C si ottiene un maggior risparmio in termini di riscaldamento.

Mediante questo diagramma è possibile individuare le temperature di comfort al variare di *clo* e *met*, quindi a seconda della fascia climatica.

#### 4.1.2 Discomfort termico globale

Il comfort termico globale deve essere rispettato nella zona occupata, a differenza della zona periferica usata saltuariamente (ovvero la zona perimetrale fino ad una distanza di massimo 1 metro dalle pareti verticali). Dagli studi di *Fanger* emerge che in edifici residenziali con scadenti condizioni di comfort termo-igrometrico, il rischio di malattie polmonari, soprattutto nei bambini, è molto alto. Mentre, gli studi condotti su edifici per uffici dimostrano che il discomfort termo-igrometrico crea un decisivo abbattimento del grado di attenzione e il conseguente rendimento. Più recenti studi sul comfort negli edifici mettono in evidenza che, oltre alle variabili soggettive e ambientali<sup>1</sup>, la sensazione di comfort è strettamente connessa ad aspetti psicologici, culturali e sociali dell'individuo, è funzione del tempo e della capacità di adattamento dell'individuo rendendo quindi non semplice quantificare lo stato di benessere che dovrebbe almeno tenere conto del sesso, dell'età delle persone e del relativo stato di salute (quest'ultima teoria è conosciuta con il nome di *Adaptive method*).

Le misure di comfort vengono fatte rispetto al baricentro di una persona, pari a 1,1m di altezza se la persona è in piedi e 0,6m se seduta.

Le misure di *PMV*, *PPD*,  $t_a$  e  $t_{mr}$  vengono fatte in corrispondenza di queste altezze e devono essere accompagnate da indicazioni su *met* e *clo*.

Una persona che globalmente avverte una sensazione di neutralità termica, può avvertire parti del corpo esposte a condizioni che comportano un disagio termico localizzato, il quale può essere eliminato se le cause del surriscaldamento locale o del raffreddamento vengono rimosse.

I fenomeni legati al discomfort termico locale possono essere raggruppati in quattro categorie:

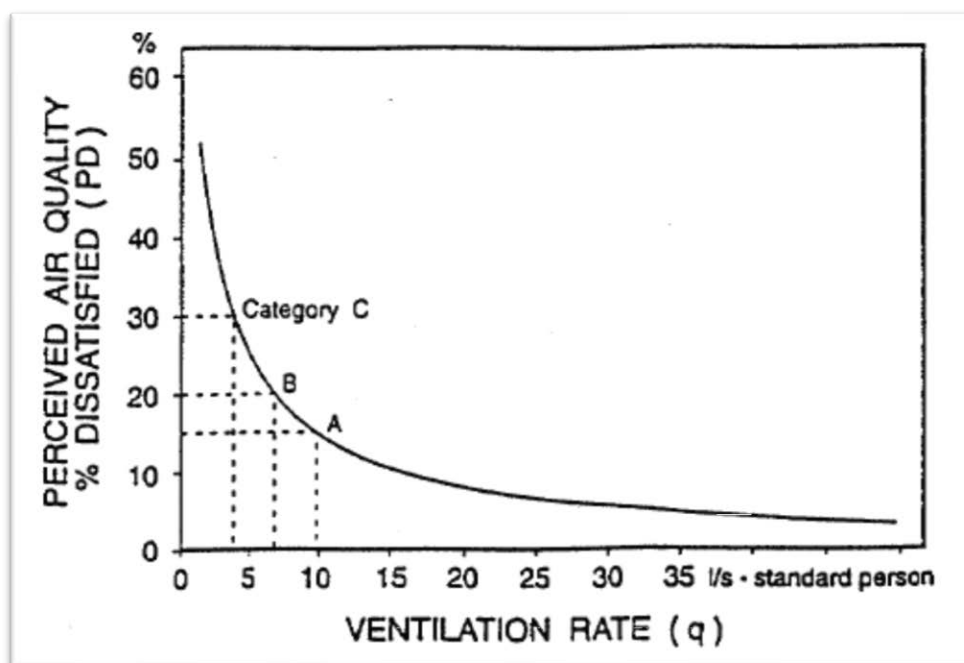
1. Raffreddamento convettivo locale del corpo causato da correnti d'aria
2. Discomfort da asimmetria media radiante
3. Differenza di temperatura verticale dell'aria
4. Temperatura non confortevole del pavimento

### **4.1.3 IAQ (Indoor Air Quality)**

La IAQ definisce la qualità all'interno e intorno agli edifici misurandone la salubrità e il comfort in relazione agli occupanti. Essa può essere influenzata da contaminanti microbici, particelle sospese (polveri e fumi), gas (monossido di carbonio, radon e COV) e altri minori. In particolare, i COV (componenti organici volatili) sono inquinanti prodotti dall'edificio, emessi dalle finiture nel primo tempo di vita maggiormente e a decrescere col tempo.

La modalità più comune di rimozione degli inquinanti è tramite la ventilazione, in cui vi è una vera e propria diluizione abbassando la concentrazione dei contaminanti.

Sia  $PD$  un parametro di discomfort che tiene conto in percentuale delle persone insoddisfatte. Esiste una norma ASHRAE di riferimento della qualità dell'aria che pone il limite del 20% di persone insoddisfatte a seconda della portata di ventilazione (portata volumetrica espressa in l/s o  $m^3/h$ ).



**Figura 4.3** Grafico che mostra la relazione tra la portata di ventilazione e la percentuale di persone insoddisfatte

Dal grafico si nota che 6-7 l/s per persona corrisponde il 20% di persone insoddisfatte secondo una valutazione di un naso esterno; per un naso interno all'ambiente i valori sarebbero minori.

Una condizione accettabile si ottiene considerando 11 l/s, a cui corrispondono circa 40 m<sup>3</sup>/h per persona. È importante ricordare che un'ambiente salubre deve anche essere legato ai costi energetici, per cui aumentare di due volte la salubrità significherebbe aumentare di due volte l'energia utilizzata. Serve per cui un compromesso tra salubrità e razionamento energetico.

Oltre a queste considerazioni, si tiene conto anche della tipologia dell'ambiente, ovvero se ricade nel caso residenziale o del terziario. Nel caso in esame, considerando un'altezza media pari a 2,7 m, il numero di ricambi orari  $n$  è pari a 0,5 vol/h (l'unità di misura non sarebbe corretta, dovrebbe invece essere h<sup>-1</sup>). Ciò significa che ad ogni ora deve entrare nell'ambiente una portata d'aria pari alla metà del volume stesso dell'ambiente. Tale valore è un valore ideale, di progetto, ma spesso è possibile trovare anche  $n$  pari a 0,3 vol/h ed è il valore medio in assenza di impianti di ventilazione meccanica.

Alle volte può accadere che è l'impianto stesso che può portare inquinamento e problemi relativi alla qualità dell'aria; si parla in questi casi di "sindrome da edificio malato", che può comportare problemi quali occhi irritati, mal di testa, nausea, vertigini, mal di gola o problemi di memoria.

## **4.2 Risparmio energetico**

Il risparmio energetico consiste nello sfruttamento di varie tecniche atte alla riduzione dei consumi di energia all'interno dell'edificio e può essere ottenuto sia modificando i processi energetici in modo che ci siano minori sprechi, sia trasformando l'energia da una forma all'altra in modo più efficiente. Considerando ad esempio il riscaldamento all'interno del sistema edificio, il risparmio energetico viene conseguito attraverso l'utilizzo di valvole termostatiche, di cronotermostati o con la sostituzione delle caldaie tradizionali con quelle a condensazione, con la sostituzione degli infissi obsoleti e il miglioramento termico delle pareti. Per quanto riguarda il lato elettrico, è utile la sostituzione delle lampade ad incandescenza con lampade fluorescenti o meglio ancora le lampade a LED, le quali presentano un consumo pari al 20 % del consumo delle lampade ad incandescenza, a parità di energia radiante.

Come visto nel Capitolo 1, è possibile affermare che gli edifici residenziali e del terziario costituiscono un settore molto importante per la riduzione dei consumi energetici non necessari. In particolare, con l'introduzione dell'automazione dell'edificio in genere è possibile correggere i comportamenti umani, molte volte errati, per condurre l'utente ad un impiego ottimizzato degli impianti, sia elettrici che di climatizzazione, per una riduzione dei consumi e per migliorare la sostenibilità ambientale.

## **4.3 Termoregolazione**

La termoregolazione è un sistema per la regolazione automatica della temperatura negli ambienti, con il compito di fare in modo che gli impianti termici erogino il calore strettamente necessario al raggiungimento delle condizioni di comfort termico desiderate dall'utente. Infatti, all'interno di un ambiente, benessere termo-igrometrico e comfort sono determinati da temperatura, umidità e qualità dell'aria, come precedentemente detto. Il sistema di regolazione ha quindi il compito di mantenere la temperatura ambiente interna al set point impostato che, nel caso di abitazioni civili, per il periodo invernale, è fissato a 20°C. Un sistema di riscaldamento a radiatori è in grado di gestire attraverso una regolazione ambiente o di zona le condizioni di temperatura interna. Il sistema di termoregolazione deve confrontare continuamente la temperatura ambiente con il valore di set point e di conseguenza far aumentare o diminuire la potenza termica emessa dai corpi scaldanti. Un buon sistema di regolazione deve perciò percepire rapidamente l'eventuale incremento della temperatura ambiente così da arrestare la fornitura del calore e, nel caso contrario, rispondere velocemente alla richiesta di calore, così da limitare le oscillazioni della temperatura ambiente. Inoltre, dovrebbe poter percepire gli apporti di calore gratuiti, forniti ad esempio dall'irraggiamento solare, e modulare proporzionalmente la potenza termica del corpo scaldante, in modo da sfruttare tali contributi energetici senza un esubero della temperatura interna.

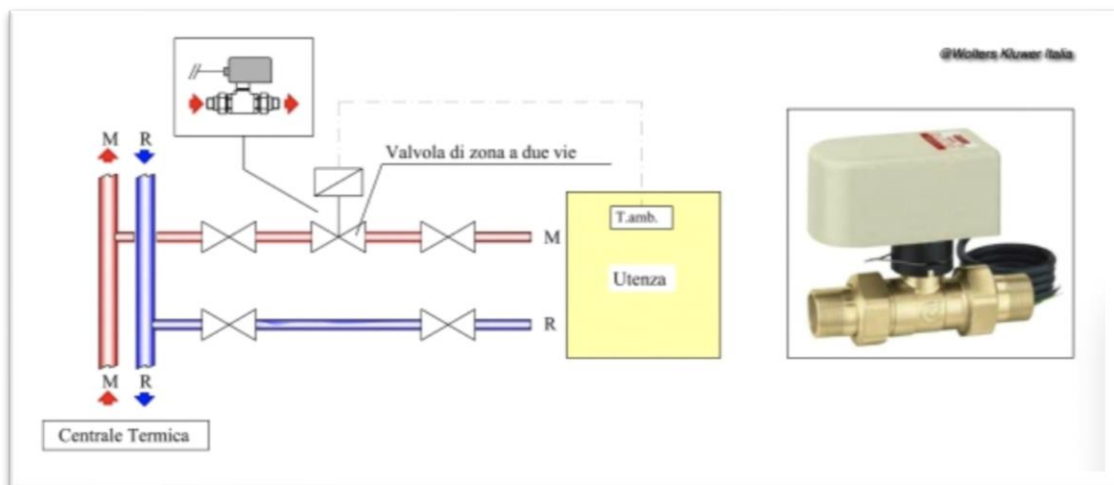
### **4.3.1 La regolazione di zona**

La necessità di conciliare aspetti legati al risparmio energetico ha portato alla realizzazione di impianti aventi delle sottostazioni di derivazione, dette zone, da cui è possibile termoregolare e contabilizzare il calore delle singole unità abitative. All'interno di ogni alloggio il termostato rileva la temperatura e, confrontandola con la temperatura di set point, valuta se disattivare o meno il flusso termovettore proveniente dall'impianto centralizzato.

Tale dispositivo viene installato in un locale pilota e lontano da fonti di calore che ne influenzino il funzionamento, inoltre esso agisce elettronicamente su un organo idraulico la cui funzione può essere di due tipi:

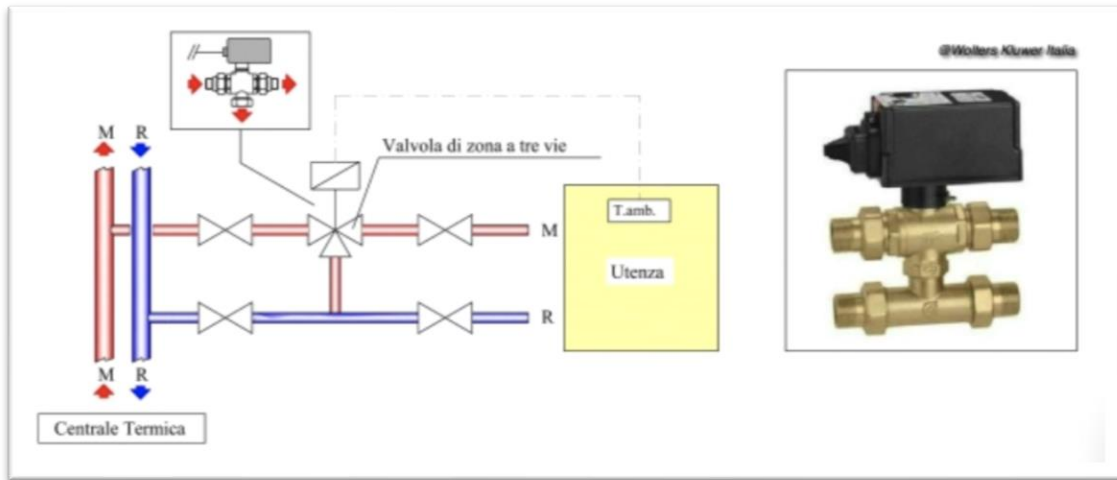
1. Chiusura con interruzione della portata di fluido termovettore (valvola a due vie)
2. Ricircolazione della portata di fluido termovettore (valvola deviatrice a tre vie)

Inserendo valvole sezionatrici a due vie l'impianto termico avrà portate variabili; dovrà, quindi, essere progettato per gestire variazioni repentine delle portate di fluido. La valvola a due vie è costituita da un corpo, realizzato in materiale ferroso, e da un servomotore elettricamente comandato dal termostato ambiente.



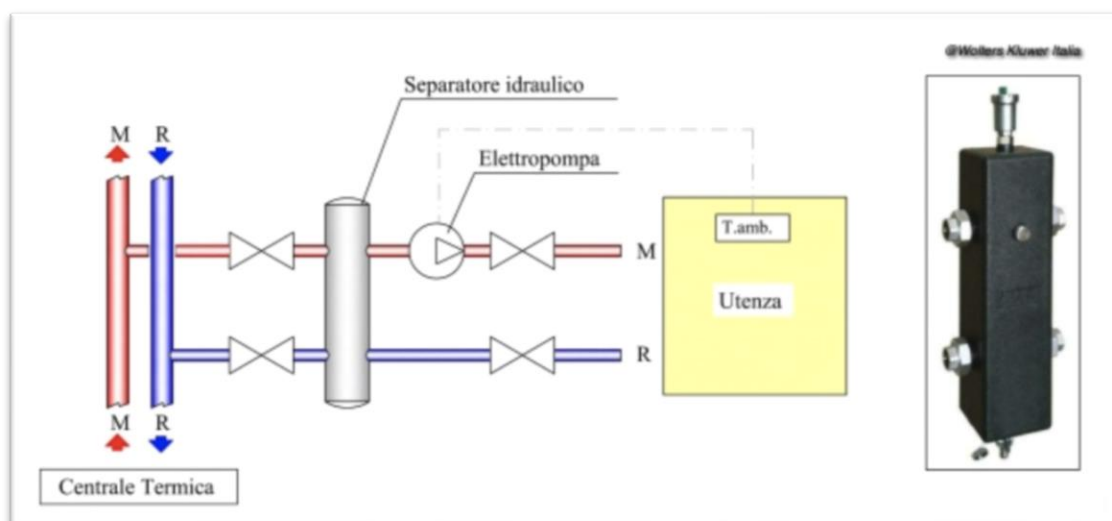
**Figura 4.4** *Impianto idronico con la presenza di una valvola di zona a due vie*

Installando valvole deviatrici a tre vie non vi è un'interruzione della portata d'acqua, ma semplicemente, all'occorrenza, viene esclusa l'alimentazione della zona di riferimento. L'impianto non subirà, quindi, variazioni di portate idrauliche, poiché la medesima quantità di acqua, anziché transitare e servire l'appartamento, verrà fatta circolare all'interno della rete di distribuzione. La valvola è costituita da un corpo-valvola, dotato di tre vie di passaggio, e da un servomotore elettricamente comandato dal termostato ambiente.



**Figura 4.5** *Impianto idronico con la presenza di una valvola di zona a tre vie*

La scelta di uno dei due sistemi – entrambi validi – è del progettista, che deve decidere se realizzare un impianto a portata variabile o, nel secondo caso, a portata costante. Nel caso in cui la scelta progettuale sia orientata all'utilizzo di un separatore idraulico si potrà identificare un circuito primario e uno secondario. Il circuito primario è rappresentato dalla distribuzione che va dal generatore di calore centralizzato alla sottostazione di derivazione: la circolazione è garantita dalle pompe in centrale termica. Il circuito secondario costituisce tutto ciò che è presente a valle della sottostazione di derivazione: la circolazione avverrà con una pompa ausiliaria al servizio esclusivo della singola unità abitativa.



**Figura 4.6** *Impianto idronico con la presenza di separatore idraulico*

La presenza di un separatore idraulico deriva dalla necessità di ottenere una maggior portata con un minor salto termico, come nel caso di un ampio alloggio avente un sistema di emissione a pannelli radianti a pavimento. Il termostato ambiente agisce direttamente sul funzionamento della pompa del circuito secondario, arrestandola quando il set point ambiente è stato raggiunto.

La regolazione di zona permette, quindi, di gestire autonomamente il funzionamento del proprio impianto termico.

### **4.3.2 La regolazione ambiente**

Rispetto a una regolazione di zona, la regolazione ambiente permette di gestire la temperatura in ogni singolo locale.

A bordo di ogni corpo scaldante viene installata una valvola termostatica.



Così facendo, è possibile controllare la temperatura ambiente beneficiando degli eventuali apporti gratuiti, dati ad esempio dall'irraggiamento solare, inevitabilmente differenti in base all'orientamento.

Per cui un buon sistema di regolazione deve monitorare le condizioni climatiche esterne e controllare la temperatura esterna (regolazione climatica).

Il grosso limite della regolazione climatica è che non è possibile determinare una temperatura di mandata del generatore di calore univoca che risponda correttamente alle diverse esigenze delle singole unità abitative. Basti pensare alle differenti superfici disperdenti, come negli alloggi all'ultimo piano con solaio disperdente verso il sottotetto o in quelli al piano terra con solaio disperdente verso terreno cantinato, così come ai diversi orientamenti (nord, sud, ovest, est) con cui le unità abitative di un condominio possono essere disposte. La soluzione appunto consiste nell'uso di valvole termostatiche su tutti i corpi scaldanti, ottenendo una regolazione ambiente.

La valvola termostatica è una valvola la cui apertura è proporzionale alla differenza fra la temperatura impostata dall'utente e la temperatura ambiente regolata; il suo scopo è quello di mantenere la temperatura ambiente pari a quella impostata, così quando queste due temperature coincidono, la valvola regola in chiusura riducendo la portata in modo da ridurre la potenza erogata. In particolare, l'otturatore della valvola è comandato dalla dilatazione del liquido contenuto nel sensore. L'aumento di temperatura ambiente provoca quindi l'avanzamento dell'otturatore fino alla chiusura completa in corrispondenza della temperatura impostata. Quando, invece, la temperatura del locale scenderà nuovamente al di sotto di quella impostata, la valvola inizierà ad aprirsi e circolerà nuovamente acqua calda nel corpo scaldante, immettendo calore nel locale per contrastare la diminuzione della temperatura. È possibile considerare questo elemento con un regolatore di tipo proporzionale, ciò significa che la potenza erogata dal corpo scaldante sarà all'incirca proporzionale alla differenza di temperatura fra il valore desiderato, impostato sulla manopola, ed il valore reale misurato.

Utile può essere anche l'uso dei sistemi *Home/Building Automation* per la riduzione dei consumi legati alla gestione e alla regolazione della temperatura all'interno dell'abitazione. Oltre a realizzare un sistema di controllo suddividendo le aree in microzone con dei cronotermostati che controllano le rispettive elettrovalvole, è possibile utilizzare una funzione di protezione in cui vengono attivate sia le elettrovalvole che le pompe nei periodi di fermo prolungato per evitare possibili blocchi (funzione *antisticking*). Un esempio sono proprio i sistemi di riscaldamento con pannelli radianti in cui nel periodo estivo i sistemi di azionamento sono spenti per 6/7 mesi, eccetto che il sistema sia utilizzato anche per il raffrescamento. Inoltre, è anche possibile impiegare un sistema *Indoor Air Quality* (IAQ), che analizza la qualità dell'aria all'interno dei locali; normalmente si analizza la percentuale di anidride carbonica per identificarla, attivando così un ricambio d'aria attraverso i sistemi di ventilazione e integrare con stazioni meteo (sensori pioggia, vento, luminosità) attraverso le quali, per esempio, è possibile gestire sistemi di ombreggiamento o chiusura tapparelle in caso di pioggia. La gestione avviene anche regolando il comfort ambientale attraverso il comando automatico in funzione della presenza o meno di persone, controllando lo stato delle finestre o porte verso l'esterno per disattivare i sistemi di termoregolazione, con ripristino automatico degli stessi alla richiusura delle finestre nelle aree controllate.

# Capitolo 5

## Descrizione del caso studio

Il seguente paragrafo mostra le caratteristiche dettagliate degli appartamenti interni all'edificio preso in esame. Tale studio è utile per comprendere come l'energia viene consumata all'interno dell'edificio, in modo da poter comprendere dove sono situate le maggiori inefficienze energetiche. A tal proposito, è anche utile calcolare l'indice di prestazione energetica dell'edificio che corrisponde all'energia totale consumata dall'immobile climatizzato per metro quadro di superficie ogni anno; in altre parole, esso indica quanta energia viene consumata, elettrica e termica, per raggiungere le condizioni di comfort interne.

Secondo quanto definito dalla normativa, la prestazione energetica degli edifici è determinata sulla base della quantità di energia necessaria annualmente per soddisfare le esigenze legate a un uso standard dell'edificio e corrisponde al fabbisogno energetico annuale globale in energia primaria per il riscaldamento, il raffrescamento, per la ventilazione, per la produzione di acqua calda sanitaria e, nel settore terziario, si tiene conto anche dell'illuminazione, degli impianti ascensori e scale mobili.

Nel caso preso in esame, non viene tenuto conto del raffrescamento estivo, in quanto l'obiettivo principale dello studio riguarda il solo riscaldamento.

Per quanto riguarda la metodologia di calcolo faremo riferimento alla seguente normativa:

- UNI/TS 11300 –1 Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale;
- UNI/TS 11300 –2 Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, la ventilazione e l'illuminazione;

Le norme UNI/TS considerano tutte le possibili applicazioni previste (*design rating*, *asset rating* e *tailored rating*), anche se in questo caso particolare viene fatto riferimento al calcolo di progetto (*design rating*), che considera i dati di progetto; per le modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio e dell'impianto si assumono valori convenzionali di riferimento (valutazione eseguita in regime di funzionamento continuo).

Ricordiamo che la norma UNI TS 11300 prevede che il fabbisogno termico sia espresso in MJ, ma poiché molte normative regionali riguardanti in particolare la certificazione energetica degli edifici fanno riferimento al kWh nella definizione degli indici di prestazione, le grandezze calcolate saranno espresse in kW.

Il software invece richiede l'espressione delle grandezze in kJ/h.

## **5.1 Descrizione generale degli appartamenti**

Gli appartamenti considerati sono situati a Verona e si trovano sul medesimo piano intermedio di un condominio. Si ipotizza che il complesso sia stato costruito negli anni '70, senza che vi siano state opere di riqualificazione nel passare degli anni. La destinazione d'uso dell'intero edificio è residenziale E.1, per cui gli appartamenti sottostanti e sovrastanti sono anch'essi utilizzati con destinazione d'uso residenziale; inoltre tale costruzione è sufficientemente lontana dagli edifici limitrofi da poter considerare nullo l'ombreggiamento dovuto alle ostruzioni esterne.

La pianta dell'appartamento è riportata in Figura 5.1, l'altezza netta dei locali è pari a 2,7 m, mentre lo spessore dei solai è di 25 cm. I due appartamenti sono speculari tra loro, ad eccezione di una camera da letto ulteriore per uno dei due alloggi.

I principali dati climatici sono riportati nella seguente tabella:

<b>DATI</b>	<b>VALORE</b>
<b>Gradi giorno (secondo DPR 412 del 1993)</b>	2468
<b>Zona climatica</b>	E
<b>Temperatura esterna di progetto</b>	-5°C
<b>Giorni del periodo di riscaldamento</b>	183

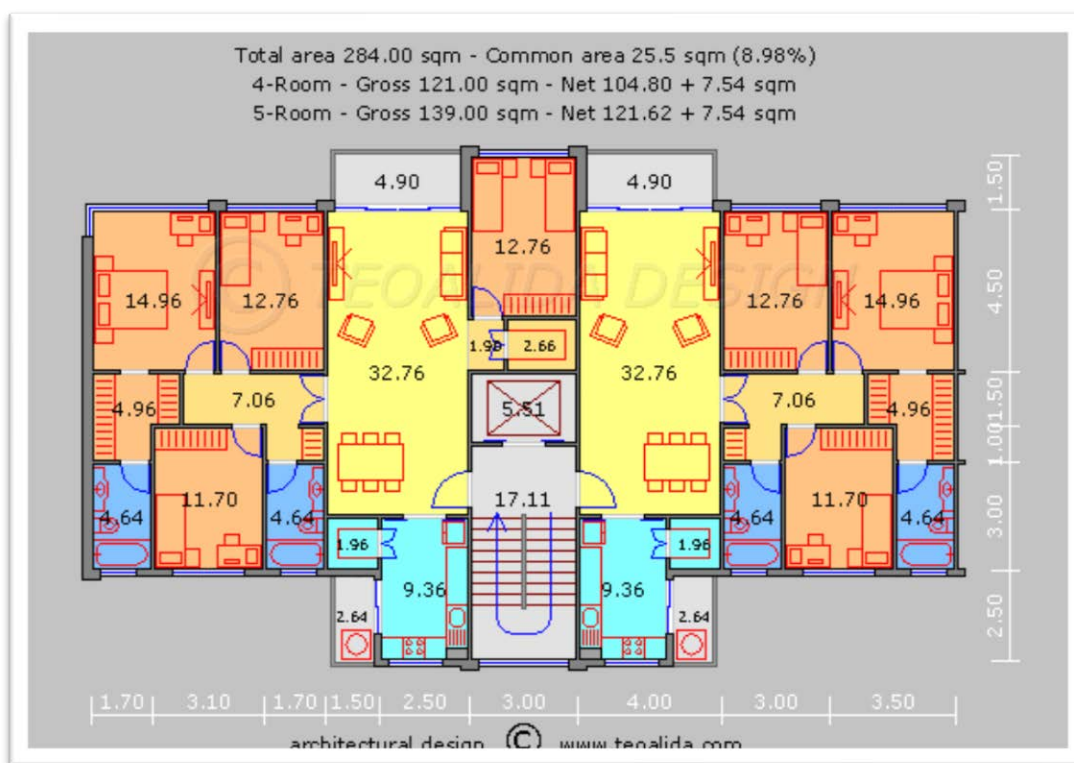
**Tabella 1** *Principali dati di riferimento per la città di Verona*

In seguito, viene riportata la planimetria dei due appartamenti, i quali sono separati da un vano scale e dall'ascensore (rappresentati in grigio).

In giallo sono rappresentati i due soggiorni, in azzurro invece la zona cucina; queste due zone descrivono dunque la zona giorno, mentre tutte le stanze rimanenti compongono la zona notte. In particolare, le camere e gli antibagni sono rappresentati in arancione, mentre in blu e in giallo scuro sono rappresentati rispettivamente bagni e corridoio.

L'appartamento 4, rappresentato a destra, presenta una superficie totale pari a 104,8 m<sup>2</sup>, di cui 44,08 m<sup>2</sup> per la zona giorno (soggiorno e cucina) e 60,72 m<sup>2</sup> per la zona notte (altre stanze).

L'appartamento 5, rappresentato a sinistra, presenta una superficie totale pari a 122,2 m<sup>2</sup>, di cui 44,08 m<sup>2</sup> relativi alla zona giorno (come per l'appartamento 4) e 78,12 m<sup>2</sup> per la zona notte (poiché è presente una ulteriore stanza da letto).



**Figura 5.1** Planimetria dei due appartamenti

In seguito, vengono descritte tutte le caratteristiche geometriche e relative ai materiali, sia per gli elementi opachi che per quelli vetrati.

## 5.2 Involucro

Sono ora descritte le caratteristiche degli elementi che compongono l'involucro edilizio.

### 5.2.1 Chiusure verticali opache

Le pareti perimetrali sono composte da mattoni forati, separati da una intercapedine d'aria, e ricoperti da intonaco sia internamente che esternamente, per uno spessore totale pari a 32 cm. Invece, le pareti interne, incluse quelle verso il vano scale e l'ascensore, sono composte da mattoni forati e intonaco.

I parametri caratteristici dei muri esterni ed interni verso il vano scale sono ora descritti:

<b>Materiale</b>	<b>Densità</b>	<b>Spessore</b>	<b>Conduttività</b>		<b>Resistenza</b>
<b>dall'interno verso l'esterno</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	s [m]	$\lambda$ [W/(mK)]	$\lambda$ [kJ/(hm K)]	R [Km <sup>2</sup> /W]
<b>Resistenza sup. interna</b>					0,130
<b>Intonaco interno</b>	1400	0,02	0,7	2,52	0,029
<b>Mattoni forati</b>	1200	0,12	0,39	1,17	0,308
<b>Intercapedine d'aria</b>		0,04			0,180
<b>Mattoni forati</b>	1200	0,12	0,39	1,17	0,308
<b>Intonaco esterno</b>	1800	0,02	1,1	3,96	0,018
<b>Resistenza sup. esterna</b>					0,040
		Resistenza totale [(m <sup>2</sup> K) / W]			1,012
		Trasmittanza [W / (m <sup>2</sup> K)]			0,988

**Tabella 2** Parametri e caratteristiche della muratura esterna

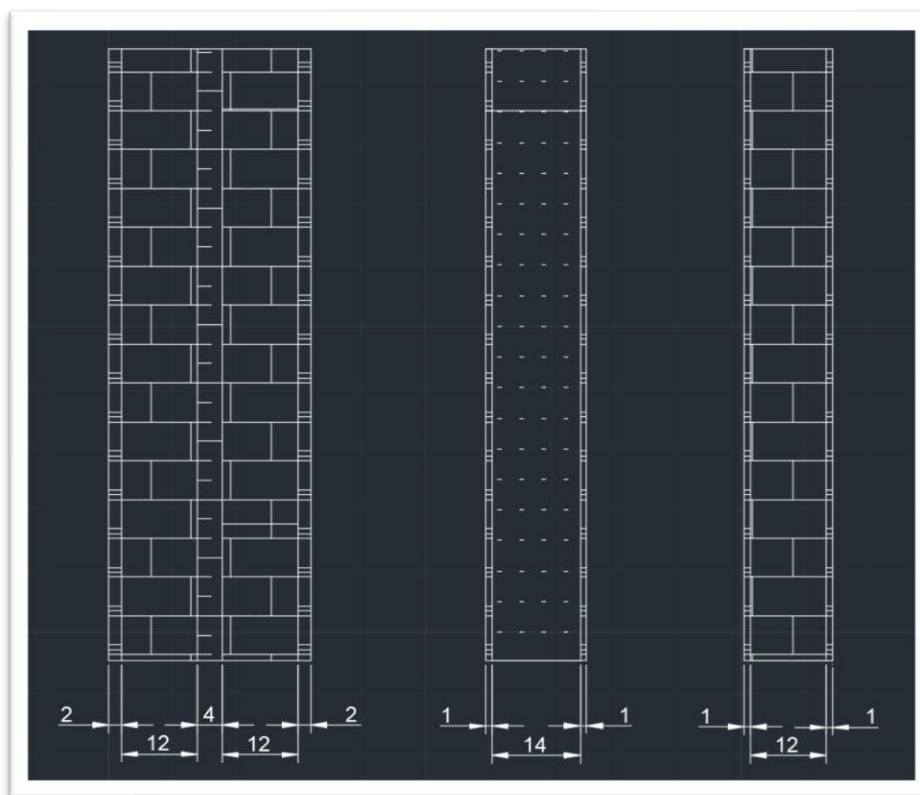
<b>Materiale</b>	<b>Densità</b>	<b>Spessore</b>	<b>Conduttività</b>		<b>Resistenza</b>
<b>dall'interno verso l'esterno</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	s [m]	$\lambda$ [W/(mK)]	$\lambda$ [kJ/(hmK)]	R [Km <sup>2</sup> /W]
<b>Resistenza sup. intera</b>					0,130
<b>Intonaco interno</b>	1400	0,01	0,9	0,67	0,011
<b>Calcestruzzo</b>	1800	0,15	1,66	6,08	0,090
<b>Intonaco esterno</b>	1800	0,01	1,1	3,96	0,090
<b>Resistenza sup. interna</b>					0,130
		Resistenza totale [(m <sup>2</sup> K) / W]			0,373
		Trasmittanza [W / (m <sup>2</sup> K)]			2,678

**Tabella 3** Parametri e caratteristiche della muratura contro vano scale

Per quanto riguarda le pareti interne agli appartamenti, ci si riferisce alla seguente tabella:

Materiale	Densità	Spessore	Conduttività		Resistenza
	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]		$s$ [m]	$\lambda$ [W/(mK)]	$\lambda$ [kJ/(hmK)]
dall'interno verso l'esterno					
<b>Resistenza sup. interna</b>					0,130
<b>Intonaco interno</b>	1400	0,01	0,9	0,67	0,011
<b>Mattone forato</b>	1200	0,12	0,39	1,17	0,308
<b>Intonaco esterno</b>	1800	0,01	1,1	3,96	0,090
<b>Resistenza sup. interna</b>					0,130
		Resistenza totale [(m <sup>2</sup> K) / W]			0,582
		Trasmittanza [W / (m <sup>2</sup> K)]			1,719

**Tabella 4** Parametri e caratteristiche della muratura interna



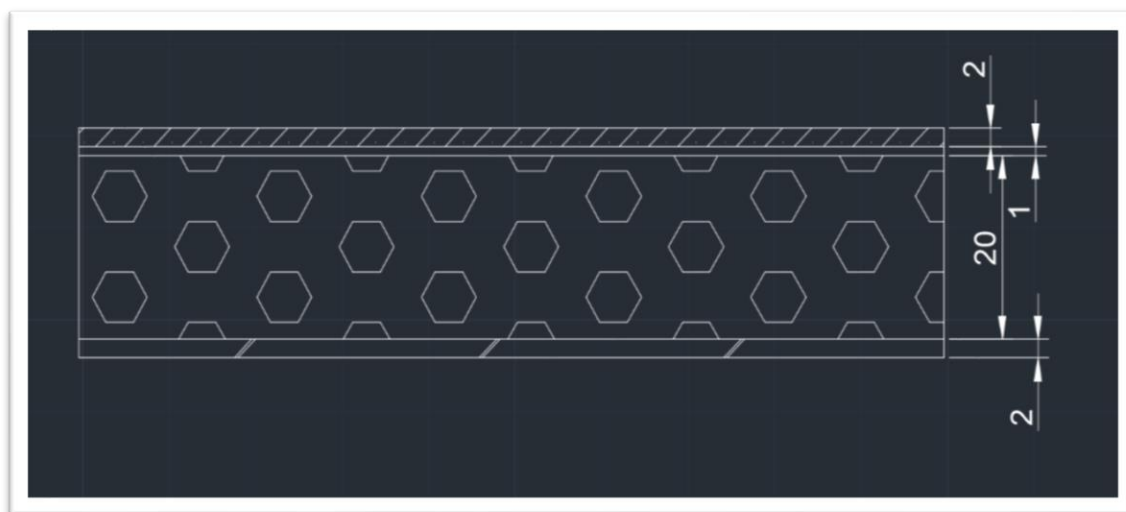
**Figura 5.2** Sezione murature esterne e interne



Infine, per i solai:

Materiale	Densità	Spessore	Conduttività		Resistenza
	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]		$s$ [m]	$\lambda$ [W/(mK)]	
dall'interno verso l'esterno					
Resistenza sup. interna					0,130
Intonaco interno	1400	0,02	0,7	2,52	0,029
Latero-cemento	1200	0,2	0,46	1,66	0,435
Malta	1850	0,01	0,11	0,396	0,091
Piastrelle	2300	0,02	1	3,60	0,020
Resistenza sup. interna					0,130
		Resistenza totale [(m <sup>2</sup> K) / W]			0,834
		Trasmittanza [W / (m <sup>2</sup> K)]			1,199

**Tabella 5** Parametri e caratteristiche della muratura orizzontale



**Figura 5.2** Sezione murature orizzontali (solai e pavimenti)

I valori di resistenza superficiale interna ed esterna e della resistenza dell'intercapedine d'aria sono stati desunti dalla UNI 6946. I valori dei vari parametri citati sono stati presi da un file denominato "proprietà dei materiali" che è presente sul web e fornito dall'Università di Venezia.

## 5.2.2 Serramenti

I serramenti presentano telaio in legno e vetro camera con intercapedine d'aria ed una trasmittanza pari a  $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . La norma UNI TS 11300-1 suggerisce di considerare un'area del telaio pari al 20 % della superficie complessiva del serramento, ma il codice *Trnsys* fornisce il valore corrispondente ad un'area pari al 15 %. Altri parametri sono stati lasciati di default come impostati dal software.

Si ricorda inoltre che l'area totale del serramento è circa pari a 1/8 dell'area in pianta in cui la finestra è posta. Per cui, alla luce di queste considerazioni, si ha:

STANZA	AREA [m <sup>2</sup> ]		ORIENTAZIONE	
Soggiorno_1	4,6		N	
Camera letto_2	1,8		N	
Camera letto_3	1,8		N	
Antibagno_4	/		/	
Bagno_5	0,6		S	
Camera letto_6	1,8		S	
Bagno_7	0,6		S	
Corridoio_8	/		/	
Cucina e dispensa_9	0,6	3,45	S	E
Camera letto_11	1,8		N	
Vano scale e ascensore	4,05		S	

**Tabella 6** Valori relativi all'area totale dei serramenti e corrispondente orientazione

I valori riportati in tabella sono riferiti all'appartamento più piccolo (appartamento 4).

I valori del secondo appartamento sono i medesimi come anche le orientazioni, con l'unica eccezione che la finestra della cucina con superficie maggiore non è orientata ad est ma a ovest (poiché speculare).

# Capitolo 6

## Analisi di un ponte termico

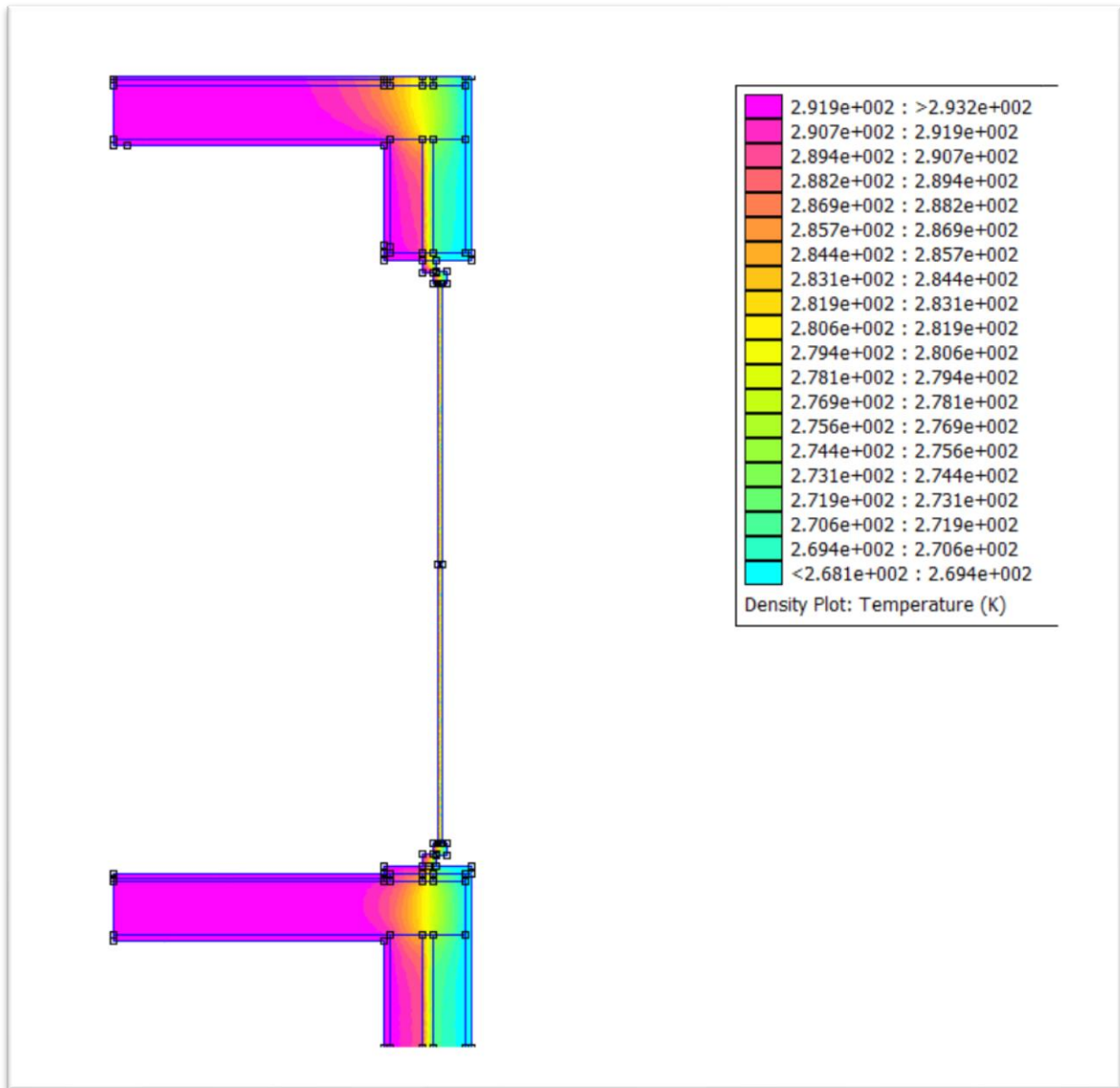
### 6.1 Ponte termico e verifica igrometrica

Esistono dei punti all'interno dell'edificio in cui il flusso di calore non può essere approssimato con il caso monodimensionale, ma si deve considerare la multidimensionalità. Si parla a tal proposito di ponti termici, ovvero punti della struttura in cui si verificano delle modifiche della direzione del flusso termico a causa della variazione della struttura stessa (dei materiali o della forma dell'involucro). Di conseguenza, si verifica un aumento delle dispersioni di calore che riducono la temperatura della superficie interna della parete. È quindi necessario calcolare l'entità dell'extra flusso e la temperatura minima che raggiunge la superficie in modo tale che non si verifichi una condizione favorevole alla formazione di condensa e/o di muffe. Tale verifica viene fatta mediante l'uso di termo-camere o, nel caso in esame, si utilizza il software *Mirage*, il quale analizza i problemi bidimensionali. Più precisamente, dev'essere calcolata la temperatura minima superficiale (tramite il software) la quale viene confrontata con la temperatura di rugiada dell'aria a diretto contatto con la superficie: se quest'ultima è maggiore della temperatura ottenuta con *Mirage*, allora vi è il rischio di condensa. Si deve distinguere, inoltre, tra strutture vetrate e opache: nel primo caso la verifica viene fatta considerando UR 100 % e la temperatura media minima esterna, mentre nel secondo caso si considera UR 80 % e, mese per mese, si valutano le condizioni.

Consideriamo il caso di superficie vetrata, in particolare la porta finestra presente nel soggiorno. La sezione di questo elemento è stata disegnata mediante *AutoCAD* e successivamente analizzato mediante il codice di calcolo *Mirage*. Tale codice richiede i valori di conduttività termica dei diversi materiali che compongono l'elemento da analizzare, molti già descritti precedentemente. Poiché il telaio è in legno d'acero, la sua conduttività risulta essere pari a 0,18 W/mK, mentre quella del vetro è pari a 1 W/mK.

Inoltre, è anche necessario imporre le condizioni al contorno, evidenziando se la superficie è rivolta verso l'esterno o l'interno, oppure se presenta condizioni di adiabaticità.

I risultati sono i seguenti:



**Figura 6.1** *Distribuzione della temperatura nella porta finestra presente in soggiorno nelle condizioni di progetto*

Dai risultati ricavati si determina il flusso termico che attraversa l'elemento pari a 140 W. Lo spessore del telaio complessivo risulta essere circa pari al 15 % dell'altezza totale della finestra, come risulta utilizzando *Trnbuild*, in cui l'elemento vetrato scelto presenta una trasmittanza pari a 2,8 W/m<sup>2</sup>K e il telaio è pari al 15 % dell'area dell'infixo totale (comprendente sia il vetro che il telaio). Per quanto riguarda la vetrocamera invece, gli spessori sono stati ricavati dalla UNI 11300-1 e pari a 4 mm di vetro, 12 mm di aria e altri 4 mm di vetro.

Ricavati i valori puntuali della temperatura e riportati in ambiente *Excel*, mediante un foglio di calcolo, si analizza se vi è la possibilità di formazione di condensa superficiale.

I dati e i risultati sono presentati nella tabella:

Mese	T <sub>ext</sub> [°C]	P <sub>ext</sub> [Pa]	ΔP [Pa]	P <sub>int</sub> [Pa]	P <sub>sup.int</sub> [Pa]	T <sub>sup.min</sub> [°C]	F <sub>rs</sub>	F <sub>rs,max</sub>	T <sub>mirage</sub> [°C]	F <sub>rs,m</sub>	T <sub>min,cond</sub> [°C]
Ott.	14,7	1191	188	1379	1379	11,75	-0,56	0,43	12,05	0,68	9,90
Nov.	8,5	963	408	1371	1371	11,67	0,28				
Dic.	4,3	685	557	1242	1242	10,18	0,37				
Gen.	2,4	594	625	1219	1219	9,90	0,43				
Feb.	4,9	545	536	1081	1081	8,12	0,21				
Mar.	9,3	812	380	1192	1192	9,56	0,02				
Apr.	13,7	978	224	1202	1202	9,69	-0,64				

**Tabella 7** Parametri utilizzati per il calcolo della temperatura superficiale calcolata, la quale dev'essere maggiore di quella minima per evitare problemi di condensazione

I valori di temperatura esterna e pressione esterna sono quelli forniti dalla UNI 10349, gli altri parametri sono invece stati calcolati. In questo modo si è ricavato, per ogni mese, il fattore di temperatura sulla superficie interna, ovvero la resistenza superficiale in corrispondenza della superficie interna:

$$f_{rs,i} = \frac{t_{si,min} - t_e}{t_i - t_e}$$

Dove  $t_{si,min}$  è la temperatura superficiale ottenuta per i vari mesi,  $t_e$  è la temperatura media esterna e  $t_i$  è la temperatura interna (pari a 20°C). Da questi valori si ricava quello massimo (pari a 0,43) e si confronta con il fattore di temperatura proveniente dal valore di temperatura ricavato con Mirage.

Per questo elemento si nota che tale fattore è maggiore di quello massimo, per cui non vi sono problemi di condensazione; infatti, la temperatura da cui è possibile iniziare ad avere problemi di condensazione è pari a 9,9 °C, mentre la minima temperatura ottenuta con il codice è pari a 12,05 °C, per cui non vi sono problemi.

Quest'ultima è stata calcolata attraverso la seguente relazione:

$$T_{min,cond} = f_{rs,max} * (T_i - T_e) + T_e \quad [^{\circ}C]$$

con  $f_{rs,max}$  pari a 0,43,  $T_i$  pari a 20 °C e  $T_e$  è la minima temperatura media mensile pari a 2,4 °C.

## 6.2 Calcolo della trasmittanza termica lineica

Questo calcolo è stato svolto in modo da migliorare il modello costruito in *Trnsys*. Consideriamo principalmente il ponte termico che si verifica nella porzione della muratura esterna comprendente il telaio in legno delle superfici vetrate, posto in soggiorno. Tramite un ulteriore foglio *Excel* si sono calcolate, in seguito, le trasmittanze e le relative superfici dei seguenti materiali che compongono l'oggetto in esame:

Materiali	s	$\lambda$	s/ $\lambda$	$R_{conv}$	$R_{tot}$	$U_{tot}$	$\Delta T$
	[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]	[°C]
<b>Intonaco interno</b>	0,020	0,7	0,029			0,988	25
<b>Mattoni</b>	0,120	0,39	0,308				
<b>Aria</b>	0,040		0,180	0,170	1,012		
<b>Mattoni</b>	0,120	0,39	0,308				
<b>Intonaco esterno</b>	0,020	1,1	0,018				
<b>Acerol1</b>	0,320	0,18	1,778	0,170	1,948	0,513	
<b>Acerol2</b>	0,050	0,18	0,278	0,170	0,448	2,234	
<b>Vetro</b>	0,003	1	0,003			2,810	
<b>Aria</b>	0,012		0,180	0,170	0,356		
<b>Vetro</b>	0,003	1	0,003				

**Tabella 8** Parametri caratterizzanti dei materiali costituenti la porta finestra in soggiorno

La resistenza per convezione è stata ottenuta assumendo un coefficiente di scambio termico lato interno pari a  $7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  e pari a  $25 \text{ W/m}^2\text{K}$  lato esterno, mentre la resistenza totale è data dalla somma della precedente con la sommatoria dei diversi elementi che compongono un componente edilizio. La resistenza relativa all'intercapedine d'aria è stata ricavata a partire dalla curva che descrive le intercapedini verticali nella norma UNI 10355; in particolare, anche se gli spessori delle intercapedini tra i mattoni e tra i due vetri sono diversi tra loro, le resistenze corrispondenti sono circa simili, per cui assunte pari a  $0,18 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Lo spessore del telaio in legno è stato ricavato come da normativa, attraverso la media tra lo spessore della parte mobile e quello della parte fissa:

$$s_{medio} = \frac{s_1 + s_2}{2} \quad [m]$$

Per quanto riguarda le superfici esterne ortogonali alla direzione del flusso termico:

<b>Superfici</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>Muro</b>	0,650
<b>Acero1</b>	0,025
<b>Acero2</b>	0,1035
<b>Finestra</b>	0,885

Noto il flusso calcoliamo il seguente parametro:

$$L_{2D} = \frac{q_{mirage}}{\Delta T} = 0,56 \frac{W}{mK}$$

Con la seguente relazione si ottiene il valore della trasmittanza lineica:

$$2 * \Psi = L_{2D} - \sum (U_i * S_i) = 0,22 \frac{W}{mK}$$

Da cui:

$$\Psi_{finestra} = 0,11 \frac{W}{mK}$$

Tale valore verrà inserito all'interno del modello relativo al soggiorno costruito in *Trnbuild*.

Non saranno valutate altre tipologie di ponti termici.



# Capitolo 7

## Produzione ACS

Nel presente capitolo sono riportate tutte le considerazioni fatte relativamente alla preparazione di acqua calda sanitaria, inoltre sono forniti eventuali metodi di dimensionamento nel caso in cui si decidesse di installare un serbatoio di accumulo per l'integrazione di altre tecnologie.

### 7.1 Fabbisogno ACS secondo UNI 11300-2

Per determinare il fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria è necessario determinare il fabbisogno netto richiesto degli appartamenti considerati e, in seguito, analizzare le perdite dei diversi sottosistemi e ricavare il fabbisogno lordo.

Il fabbisogno netto di acqua calda sanitaria è dato dal prodotto della densità del fluido stesso ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ), del calore specifico dell'acqua ( $1,162 \text{ Wh/(kgK)}$ ), del volume d'acqua richiesto  $V_W$ , dalla differenza tra temperatura di erogazione e di ingresso dell'acqua e il numero di giorni considerato.

Nel caso di edifici a destinazione residenziale si considera il volume d'acqua giornaliero richiesto per il solo servizio domestico come:

$$V_W = aS_U + b \left[ \frac{l}{\text{giorno}} \right]$$

dove  $a$  e  $b$  sono due parametri (espressi in litri/m<sup>2</sup>giorno) ricavabili dal prospetto 30 della suddetta norma e pari a 1,067 e 36,67 rispettivamente, mentre  $S_u$  è la superficie utile dell'abitazione espressa in metri quadrati.

Per completezza tale tabella viene ora riportata:

Superficie utile $S_u$ [m <sup>2</sup> ]	$S_u \leq 35$	$35 < S_u \leq 50$	$50 < S_u \leq 200$	$S_u > 200$
Parametro $a$ [[litri/(m <sup>2</sup> x giorno)]]	0	2,667	1,067	0
Parametro $b$ [[litri/giorno]]	50	-43,33	36,67	250

**Tabella 9** Parametri  $a$  e  $b$  in funzione della superficie utile dell'appartamento

Conoscendo quindi le superfici dei due appartamenti, risulta un volume richiesto di ACS pari a 0,148 m<sup>3</sup>/giorno per l'appartamento minore e 0,167 m<sup>3</sup>/giorno per quello maggiore, facendo attenzione alla conversione da metri quadrati a litri e viceversa.

Per quanto riguarda le temperature, poiché ci stiamo riferendo ad una valutazione di tipo A1, la temperatura di erogazione  $\theta_{er}$  viene posta pari a 40 °C, come da normativa, mentre la temperatura dell'acqua fredda in ingresso  $\theta_0$  è pari alla media annuale delle temperature medie mensili dell'aria esterna della località considerata, ricavate dalla UNI 10349.

Infine, si tiene conto del numero dei giorni di ogni mese e il calcolo viene eseguito per ogni mese.

I fabbisogni mensili vengono poi sommati in modo da ottenere il fabbisogno annuale richiesto per ACS:

Mese	Numero giorni	T media mensile Verona	Volume acqua_4	Volume acqua_5	Q <sub>W-4</sub>	Q <sub>W-5</sub>
/	/	[°C]	[m <sup>3</sup> /giorno]	[m <sup>3</sup> /giorno]	[kWh]	[kWh]
<b>Gennaio</b>	31	2,4	0,148	0,167	201	226
<b>Febbraio</b>	28	4,9	0,148	0,167	170	191
<b>Marzo</b>	31	9,3	0,148	0,167	164	185
<b>Aprile</b>	30	13,7	0,148	0,167	136	153
<b>Maggio</b>	31	17,4	0,148	0,167	121	136
<b>Giugno</b>	30	21,7	0,148	0,167	95	107
<b>Luglio</b>	31	23,8	0,148	0,167	87	97
<b>Agosto</b>	31	23,8	0,148	0,167	87	97
<b>Settembre</b>	30	20,2	0,148	0,167	102	115
<b>Ottobre</b>	31	14,7	0,148	0,167	135	152
<b>Novembre</b>	30	8,5	0,148	0,167	163	183
<b>Dicembre</b>	31	4,3	0,148	0,167	191	215

**Tabella 10** Dati mensili necessari per il calcolo del fabbisogno annuale netto per ACS

I fabbisogni annuali netti risultano pertanto essere:

$$Q_{ACS,netto,4} = 1652 \text{ [kWh]} \quad Q_{ACS,netto,5} = 1858 \text{ [kWh]}$$

## 7.2 Calcolo dell'energia primaria necessaria per ACS

Una volta determinato il fabbisogno di acqua calda sanitaria, è necessario calcolare le perdite e i consumi di energia elettrica dei sottosistemi dell'impianto:

- Sottosistema di erogazione
- Sottosistema di distribuzione
- Sottosistema di accumulo
- Sottosistema di generazione

Sommando al fabbisogno netto tutte le perdite e i fabbisogni di energia primaria degli ausiliari elettrici, si ottiene il fabbisogno di energia primaria per l'ACS dei due appartamenti. Si ricorda che quando si utilizzano i valori dei rendimenti riportati nelle tabelle della UNI TS 11300-2, come nel caso in esame, i recuperi di calore sono nulli.

### Perdite di erogazione

Tenendo conto delle perdite di massa dovute ad erogazione di acqua, mediante il dispositivo di erogazione, fino a raggiungimento della temperatura desiderata e delle perdite termiche nelle tubazioni di distribuzione alle utenze, si ottengono le perdite legate all'erogazione. Ai fini della normativa, per le valutazioni di tipo A1, queste due tipologie di perdite sono conteggiate nel calcolo delle perdite di distribuzione, per cui il rendimento di erogazione  $\eta_{W,er}$  è pari a 1.

Le perdite del sottosistema di erogazione  $Q_{l,W,er}$  pertanto valgono:

$$Q_{l,W,er} = Q_W \frac{1 - \eta_{W,er}}{\eta_{W,er}} \quad [kWh]$$

		<b>Appartamento 4</b>	<b>Appartamento 5</b>	
<b>Fabbisogno ACS</b>	$Q_W$	1652	1858	kWh
<b>Erogazione</b>	Valutazione di tipo A1			
<b>Rendimento erogazione</b>	$\eta_{W,er}$	1	1	
<b>Perdite erogazione</b>	$Q_{l,W,er}$	0	0	kWh

**Tabella 11** *Perdite di erogazione*

### Perdite di distribuzione

Nel caso più generale la distribuzione di acqua calda sanitaria comprende la distribuzione alle utenze, un anello di ricircolo e il circuito di collegamento tra generatore e serbatoio di accumulo.

Nel caso preso in esame vi è un impianto autonomo con generatore combinato per la produzione di energia termica per il riscaldamento e per la preparazione di ACS (con accumulo), la cui potenza è inferiore ai 35 kW, per cui è lecito considerare solo la distribuzione alle utenze.

Se non vi è ricircolo all'interno delle singole unità immobiliari, le perdite del sistema di distribuzione  $Q_{l,w,du}$  alle utenze possono essere calcolate con la seguente equazione semplificata:

$$Q_{l,w,du} = (Q_w + Q_{l,w,er}) * f_{l,w,d} \text{ [kWh]}$$

in cui  $Q_w$  e  $Q_{l,w,er}$  sono rispettivamente il fabbisogno di ACS e le perdite di erogazione relative ad ogni alloggio. Il termine  $f_{l,w,d}$  è il fattore di perdita della rete di distribuzione imputato secondo il seguente prospetto:

Tipologia del sistema	Fattore di perdita $f_{l,w,d}$	Fattore di recupero $f_{r,w,d}$
Sistemi installati prima dell'entrata in vigore della legge 373/76	0,12	0,5
Sistemi installati dopo l'entrata in vigore della legge 373/76 con rete di distribuzione corrente solo parzialmente in ambiente climatizzato	0,08	0,5
Sistemi installati dopo l'entrata in vigore della legge 373/76 con rete di distribuzione corrente totalmente in ambiente climatizzato	0,08	0,9

**Tabella 12** Fattori di perdita e di recupero dalla rete di distribuzione di ACS

Le perdite termiche recuperate sono nulle infatti:

$$Q_{l,w,du} = Q_{l,w,er} * f_{rh,w,d} = 0 \text{ kWh}$$

L'edificio è stato costruito agli inizi degli anni 70' per cui si considerano i valori relativi alla tipologia di sistemi installati prima dell'entrata in vigore della legge 373/76.

Si ottiene:

		<b>Appartamento4</b>	<b>Appartamento5</b>	
<b>Fabbisogno ACS</b>	$Q_w$	1652	1858	kWh
<b>Distribuzione</b>	Impianto privo di ricircolo			
<b>Fattore di perdita</b>	$f_{l,w,d}$	0,12	0,12	prima della 373/76
<b>Fattore di recupero</b>	$f_{rh,w,d}$	0,5	0,5	prima della 373/76
<b>Perdite termiche rec.</b>	$Q_{rh,l,w,du}$	0	0	kWh
<b>Perdite distribuzione</b>	$Q_{l,w,du}$	198	223	kWh

**Tabella 13** *Perdite di distribuzione*

### Perdite di accumulo

È presente un serbatoio di accumulo posto esternamente al generatore di calore ed è collegato ad esso mediante tubazioni e pompa di circolazione.

Il modello del bollitore scelto è il BPC R2 200, le cui caratteristiche tecniche sono ora riportate:

<b>Dati del prodotto per il consumo energetico secondo requisiti dei regolamenti UE n. 811/2013 e 812/2013 a completamento della direttiva 2010/30/UE</b>	<b>200</b>
Classe di efficienza energetica di riscaldamento dell'acqua	<b>C</b>
Volume utile del serbatoio	<b>201 l</b>
Dispersione S	<b>67 W</b>
<b>Caratteristiche tecniche</b>	<b>200</b>
Capacità effettiva dell'accumulo	201 l
Altezza	1260 mm
Diametro esterno	600 mm
Peso accumulo a vuoto	91 Kg
Materiale di costruzione	S235JR
Max pressione esercizio	10 bar
Max temperatura esercizio	95 °C
Superficie di scambio serpentino superiore	0,80 m <sup>2</sup>

**Tabella 13** *Modello del bollitore BCP R2 200*

Dalla scheda tecnica è possibile estrapolare il valore della dispersione S pari a 67 W e considerando il tempo totale nell'anno  $t = 24h * 365\text{giorni} = 8760h$ , si calcola dunque le perdite relative al serbatoio di accumulo:

$$Q_{l,w,s} = S * \frac{t}{1000} \quad [kWh]$$

Le perdite di collegamento tra serbatoio di accumulo e generatore possono essere ritenute nulle, come suggerisce la normativa, in quanto la distanza tra questi due apparecchi è inferiore ai 5 m con tubazioni di collegamento isolate.

Come per i casi precedenti, i valori trovati possono essere così riassunti:

		<b>App.4</b>	<b>App.5</b>	
<b>Fabbisogno ACS</b>	$Q_w$	1652	1858	kWh
<b>Accumulo</b>	BOLLITORE BCP R2 200			
<b>Perdite collegamento</b>	$Q_{coll}$	0	0	distanza inferiore a 5 m e isolate
<b>Dispersioni</b>	S	67	67	W
<b>Tempo</b>	t	8760	8760	h
<b>Perdite accumulo</b>	$Q_{l,w,s}$	587	5867	kWh

**Tabella 14** Perdite di accumulo

### Perdite di generazione

Le perdite di generazione sono calcolate come:

$$Q_{l,w,gn} = (Q_w + Q_{l,w,s} + Q_{l,w,du}) \frac{1 - \eta_{w,gn}}{\eta_{w,gn}} \quad [kWh]$$

Ottenendo:

		<b>Appartamento 4</b>	<b>Appartamento 5</b>	
<b>Fabbisogno ACS</b>	$Q_w$	1652	1858	kWh
<b>Generazione</b>				
<b>Rendimento generazione</b>	$\eta_{w,er}$	0,896	0,884	
<b>Perdite generazione</b>	$Q_{l,w,er}$	0	0	kWh

**Tabella 15** *Perdite di generazione*

I valori dei due rendimenti sono ricavati nel Capitolo 8.

Di conseguenza, il fabbisogno totale lordo, che comprende il fabbisogno netto e tutte le perdite, vale:

$$Q_{w,lordo,app4} = 2720 \text{ kWh}$$

$$Q_{w,lordo,app5} = 3018 \text{ kWh}$$

### 7.2.1 Fabbisogno elettrico degli ausiliari per ACS

Seguendo l'appendice B della normativa, la potenza degli ausiliari per la produzione di ACS si ottiene con la seguente relazione:

$$W_{aux} = G + H * \phi_{pn}^n = 206 \text{ W}$$

dove G, H ed n sono tre parametri ricavati da tabella e valgono rispettivamente 0, 45 e 0,48. La potenza nominale  $\phi_{pn}$  del generatore è anch'esso ricavato da tabella (scheda tecnica) e pari a 23,7 kW.

Il fabbisogno degli ausiliari vale dunque:

$$E_{aux} = \frac{W_{aux} * t_{gn}}{1000} = 150 \text{ kWh}$$



in cui  $t_{gn}$  rappresenta il tempo di attivazione del generatore. Ipotizzando un consumo medio di ACS pari a 2 ore al giorno, si ottiene un valore di 730 h. Inoltre, è necessario ricordare che per ottenere il fabbisogno elettrico corrispondente si deve tener conto dei fattori di conversione.

## 7.2.2 Calcolo dell'energia primaria necessaria per ACS

Il fabbisogno di energia primaria per la preparazione di ACS si ottiene sommando al fabbisogno della generazione di ACS quello relativo agli ausiliari:

$$Q_{ACS_4} = (Q_{W_4} * f_P) + (f'_P * E_{aux}) = (2720 * 1,1) + (150 * 2,5) = 3367 kWh$$

$$Q_{ACS_5} = (Q_{W_5} * f_P) + (f'_P * E_{aux}) = (3018 * 1,1) + (150 * 2,5) = 3695 kWh$$

In cui i fattori di conversione e i loro valori sono definiti nel capitolo seguente.

Tale risultato mostra l'energia che deve essere fornita a monte dell'edificio (energia primaria).

Come ultimo passaggio, viene calcolato l'indice di prestazione per l'ACS:

$$E_p = \frac{Q_{ACS,netto}}{\eta_g * A_p} = \frac{Q_{ACS,lordo}}{A_p} \quad \left[ \frac{kWh}{m^2 anno} \right]$$

Il rendimento globale è pari a 0,887, mentre  $A_p$  rappresenta l'area in pianta dei due appartamenti. Il fabbisogno  $Q_{ACS,netto}$  rappresenta il fabbisogno utile, quindi a valle della emissione.

Si ottiene per i due casi:

$$E_{p_4} = 26 \frac{kWh}{m^2 anno}$$

$$E_{p.5} = 25 \frac{kWh}{m^2 \text{anno}}$$

Secondo la classificazione per l'ACS, tali risultati conducono ad una classe F per entrambi gli appartamenti.

### 7.3 Fabbisogno secondo EN 12831-3

Il metodo è caratterizzato dal calcolo del volume richiesto di ACS.

Il fabbisogno di energia per la preparazione di ACS dipende dal volume richiesto e dalla temperatura dell'acqua. Vale la formula:

$$Q_{W,nd} = V_t * c_W * \rho_W * (\theta_{W,draw} - \theta_{W,c}) * \frac{1}{1000} \quad [kWh/h]$$

dove:

$$V_t = V_{W,day} * x_h \quad [l/h]$$

in cui  $Q_{W,nd}$  è il fabbisogno di energia per un'ora,  $V_t$  è il volume di acqua prelevato ad ogni ora,  $V_{W,day}$  è il volume richiesto di acqua calda ogni giorno alla temperatura specificata,  $c_W$  e  $\rho_W$  sono rispettivamente il calore specifico (espresso in kWh/kgK) e la densità dell'acqua (espressa in kg/m<sup>3</sup>). Infine,  $\theta_{W,draw}$  è la temperatura desiderata dell'acqua calda miscelata,  $\theta_{W,c}$  è la temperatura della sorgente fredda, mentre  $x_h$  è la frazione volumetrica oraria giornaliera (i cui valori sono riportati in una tabella che viene riportata per completezza).

La norma riporta i valori di densità e calore specifico dell'acqua:

$$\rho_W = 1000 - 0,005 * (\theta_W - 4)^2 = 982 \text{ kg/m}^3$$

$$c_W = 4,2 \frac{kJ}{kgK} = 0,001167 \frac{kWh}{kgK}$$

Ipotizzando una temperatura di ingresso dell'acqua fredda  $\theta_W$  pari a 10 °C, valore estratto da tabella. Sempre nella medesima norma e nella stessa tabella, è possibile estrarre il valore dell'acqua calda in uscita  $\theta_{W,draw}$  pari a 42 °C.

Ora la normativa suggerisce il calcolo di due parametri, il numero massimo di persone equivalenti e il numero di persone equivalenti, espressi come:

$$n_{p,eq,max} = \begin{cases} 1 & \text{se } A_h < 30 \text{ m}^2 \\ 1,75 - 0,01875 * (70 - A_h) & \text{se } 30 \text{ m}^2 < A_h < 70 \text{ m}^2 \\ 0,025 * A_h & \text{se } A_h \geq 70 \text{ m}^2 \end{cases}$$

che dipendono dall'area utile dei due appartamenti (pari a 104,8 m<sup>2</sup> e 122,2 m<sup>2</sup>).

Il secondo parametro vale:

$$n_{p,eq} = \begin{cases} n_{p,eq,max} & \text{se } n_{max} < 1,75 \\ 1,75 + 0,3 * (n_{p,eq,max} - 1,75) & \text{se } n_{max} \geq 1,75 \end{cases}$$

Nel caso esaminato risulta pertanto:

		<b>Appartamento 4</b>	<b>Appartamento 5</b>	
<b>Area appartamento</b>	$A_h$	104,8	122,2	m <sup>2</sup>
<b>N.max px. equivalenti</b>	$n_{p,eq,max}$	2,62	3,06	/
<b>N. persone equivalenti</b>	$n_{p,eq}$	2,01	2,14	/

**Tabella 16** Valori dei parametri esposti al fine del calcolo del volume richiesto

Ora è necessario calcolare il volume richiesto di ACS per persona al giorno, ricordando che l'analisi è fatta su due appartamenti:

$$V_{W,p,day} = \min \left( x; \left( y * \frac{A_h}{n_{p,eq}} \right) \right)$$

in cui  $x$  e  $y$  sono due valori di default pari rispettivamente a 40,71 e 3,26.

In seguito, poiché nell'appartamento 4 sono presenti quattro persone mentre nell'appartamento 5 sono presenti cinque persone, è possibile ottenere il volume richiesto giornaliero per l'intero appartamento, moltiplicando il volume ottenuto singolarmente per il numero delle persone.

Si ottiene così:

		<b>Appartamento 4</b>	<b>Appartamento 5</b>	
<b>Parametro</b>	$x$	40,71	40,71	/
<b>Parametro</b>	$y$	3,26	3,26	/
	$y \cdot A_h / n_p, eq$	169,89	186,02	/
<b>Volume giorno per persona</b>	$V_{W,P,day}$	40,71	40,71	l/day
<b>Numero persone</b>	$n_p$	4	5	/
<b>Volume giornaliero totale</b>	$V_{W,day}$	162,840	203,550	l/day

**Tabella 16** Parametri utili per il calcolo del volume giornaliero totale richiesto

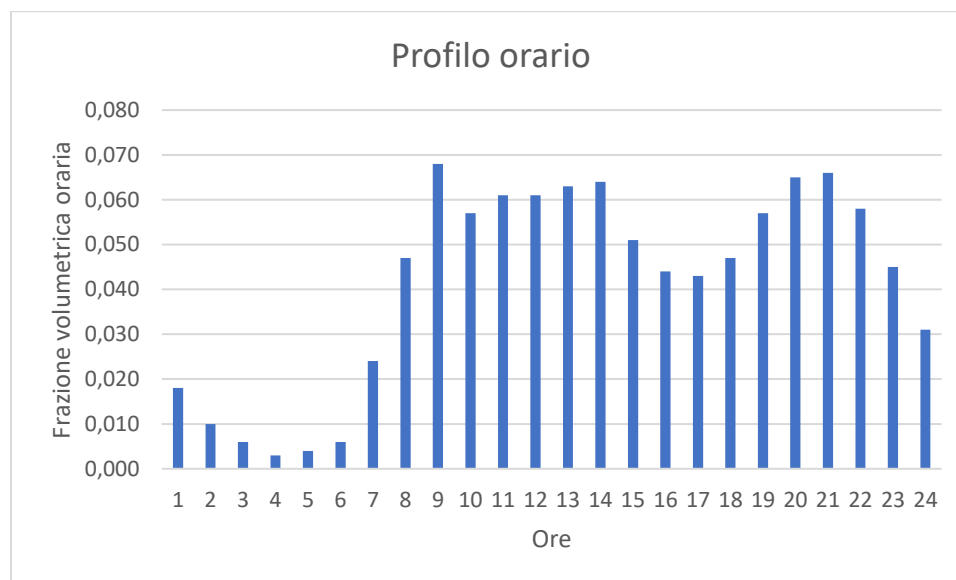
Riportiamo i valori di  $x_h$ , ovvero la frazione volumetrica oraria giornaliera:

		single family dwelling
time hh:mm		Volume fraction [%]
0:00 < = t < 1:00		1,8
1:00 < = t < 2:00		1,0
2:00 < = t < 3:00		0,6
3:00 < = t < 4:00		0,3
4:00 < = t < 5:00		0,4
5:00 < = t < 6:00		0,6
6:00 < = t < 7:00		2,4
7:00 < = t < 8:00		4,7
8:00 < = t < 9:00		6,8
9:00 < = t < 10:00		5,7
10:00 < = t < 11:00		6,1
11:00 < = t < 12:00		6,1
12:00 < = t < 13:00		6,3
13:00 < = t < 14:00		6,4
14:00 < = t < 15:00		5,1
15:00 < = t < 16:00		4,4
16:00 < = t < 17:00		4,3
17:00 < = t < 18:00		4,7
18:00 < = t < 19:00		5,7
19:00 < = t < 20:00		6,5
20:00 < = t < 21:00		6,6
21:00 < = t < 22:00		5,8
22:00 < = t < 23:00		4,5
23:00 < = t < 0:00		3,1

	$V_{t-4}$	$V_{t-5}$	$Q_{W,nd-4}$	$Q_{W,nd-5}$
	l/h	l/h	kWh/h	kWh/h
<b>0,018</b>	2,9	3,7	0,107	0,134
<b>0,010</b>	1,6	2,0	0,060	0,075
<b>0,006</b>	1,0	1,2	0,036	0,045
<b>0,003</b>	0,5	0,6	0,018	0,022
<b>0,004</b>	0,7	0,8	0,024	0,030
<b>0,006</b>	1,0	1,2	0,036	0,045
<b>0,024</b>	3,9	4,9	0,143	0,179
<b>0,047</b>	7,7	9,6	0,281	0,351
<b>0,068</b>	11,1	13,8	0,406	0,507
<b>0,057</b>	9,3	11,6	0,340	0,425
<b>0,061</b>	9,9	12,4	0,364	0,455
<b>0,061</b>	9,9	12,4	0,364	0,455
<b>0,063</b>	10,3	12,8	0,376	0,470
<b>0,064</b>	10,4	13,0	0,382	0,478
<b>0,051</b>	8,3	10,4	0,304	0,381
<b>0,044</b>	7,2	9,0	0,263	0,328
<b>0,043</b>	7,0	8,8	0,257	0,321
<b>0,047</b>	7,7	9,6	0,281	0,351
<b>0,057</b>	9,3	11,6	0,340	0,425
<b>0,065</b>	10,6	13,2	0,388	0,485
<b>0,066</b>	10,7	13,4	0,394	0,493
<b>0,058</b>	9,4	11,8	0,346	0,433
<b>0,045</b>	7,3	9,2	0,269	0,336
<b>0,031</b>	5,0	6,3	0,185	0,231

Dalla tabella ricaviamo i valori del volume e del fabbisogno richiesto per ogni ora della giornata.

Il profilo di carico può essere riportato anche sotto forma di diagramma:



**Figura 7.1** *Frazione volumetrica oraria giornaliera*

Infine, conoscendo il fabbisogno orario per ogni appartamento è possibile ricavare prima quello giornaliero (sommando i contributi) e poi quello annuale (moltiplicando il valore per il numero di giorni):

	<b>Q<sub>W,nd,giorno</sub></b>	<b>Q<sub>W,nd,anno</sub></b>	<b>Q<sub>UNI11300</sub></b>	
<b>Appartamento 4</b>	5,96	2178	1652	kWh
<b>Appartamento 5</b>	7,46	2721	1858	kWh

**Tabella 17** *Risultati secondo EN 12831 confrontati con quelli reattivi alla UNI 11300*

I valori ottenuti possono quindi essere confrontati con quelli ottenuti secondo la normativa UNI11300.

I valori differiscono tra loro poiché i valori di riferimento assunti sono diversi, ad esempio la temperatura di erogazione dell'acqua è pari a 42 °C per la norma EN 12831, mentre è pari a 40 °C per la UNI 11300. Lo stesso può essere detto per altri parametri, come la densità e il calore specifico dell'acqua, ma anche della temperatura di ingresso (10 °C contro quella media annuale) e dalla suddivisione dei profili di carico.

## 7.4 Dimensionamento dei sistemi per la preparazione di ACS

Si ricorda che i sistemi di preparazione per l'ACS possono essere istantanei o ad accumulo. Il riscaldamento istantaneo consiste nell'elevare il livello termico di una certa portata d'acqua mentre essa scorre attraverso uno scambiatore di calore. I sistemi istantanei necessitano di apparecchi riscaldanti di potenza elevata, in quanto richiedono di portare velocemente la temperatura dell'acqua dalla temperatura dell'acquedotto alla temperatura convenzionale di 40°C. Essi sono in grado di soddisfare le richieste dell'utente in modo rapido, ma da un punto di vista energetico sono molto penalizzanti in quanto tale sistema lavora ai carichi parziali molto spesso, con una riduzione del rendimento. Invece, I sistemi di preparazione ad accumulo sono costituiti da un serbatoio contenente un volume d'acqua che viene riscaldato con continuità, impiegando potenze inferiori e tempi di funzionamento più lunghi rispetto ai sistemi istantanei; di conseguenza sono meno flessibili rispetto ai precedenti ma risultano più efficienti da un punto di vista energetico.

Da tali considerazioni si è deciso, in seguito alla costruzione dell'edificio, di installare un sistema ad accumulo. Nella pratica esistono due tipologie di accumuli termici: i sistemi a miscela e i termo-accumulatori. Nel primo caso l'acqua fredda entra nel serbatoio di accumulo termico e si miscela con l'acqua presente precedentemente portata alla temperatura desiderata di stoccaggio. Nei termo-accumulatori, invece, l'acqua sanitaria non entra in contatto diretto con il contenuto dell'accumulo termico, ma viene riscaldata durante il passaggio attraverso un serpentino immerso, evitando possibili problematiche quali quello della legionella. Comunque, in entrambi i casi, il sistema si porta alla temperatura desiderata durante la fase di preriscaldamento, per poi cedere calore all'acqua in ingresso al serbatoio durante i periodi di richiesta da parte dell'utenza. A valle del serbatoio è sempre presente un miscelatore che garantisce di servire all'utenza acqua ad una temperatura conveniente, tipicamente 40°C, mentre la temperatura convenzionale all'interno dell'accumulo è di circa 60°C.

Il dimensionamento di tale sistema può avvenire seguendo tre diverse metodologie che saranno in seguito analizzate e confrontate tra loro:

- Norma UNI 9182
- Metodo Mariotti-Gambelli
- Metodo Caleffi

#### **7.4.1 Norma UNI 9182**

Il criterio guida è la norma nazionale UNI 9182, che si applica agli impianti di alimentazione e distribuzione dell'acqua fredda e calda per gli usi igienici e alimentari e fornisce indicazioni sui criteri di progettazione, collaudo e gestione delle reti. Inoltre, tale norma tratta la preparazione e la distribuzione dell'acqua calda sanitaria per edifici ad uso abitativo e ad uso collettivo quali: uffici, alberghi, ospedali, scuole, ecc. Descrive la metodologia per il calcolo del fabbisogno per persona e per tipologia di utenza, e la procedura per il dimensionamento del volume di accumulo e della potenza termica necessaria alla preparazione di tale fabbisogno nelle condizioni convenzionali (temperatura in acquedotto di 15°C e temperatura di utilizzo 40°C).



In primo luogo, la normativa presenta due tabelle in cui vengono mostrati i consumi degli apparecchi e delle persone nel caso residenziale:

Utenza	l/persona-giorno
Case di abitazioni <sup>*)</sup>	
- di tipo popolare	da 40 a 50
- di tipo medio	da 70 a 80
- di tipo di lusso	da 150 a 200
Alberghi e pensioni	
- camere con servizi dotati di vasca	da 180 a 200
- camere con servizi dotati di doccia	130
- camere con lavabo e bidet	60
Uffici	da 15 a 200
Ospedali e cliniche	da 130 a 150
Centri sportivi	da 50 a 60
Spogliatoi di stabilimenti	da 30 a 50
*) I valori indicati devono essere moltiplicati per i fattori correttivi riportati nei prospetti seguenti per tenere conto del numero degli alloggi, delle dimensioni di ogni alloggio e del tenore di vita dell'utente.	

**Figura 7.2** Valori relativi ai consumi di ACS espressi in litri al giorno per persona

Apparecchio	l
Vasca da bagno da 170 cm x 70 cm con doccetta a mano	da 160 a 200
Vasca da bagno da 105 cm x 70 cm	da 100 a 120
Doccia	da 50 a 60
Lavabo	da 10 a 12
Bidet	da 8 a 10
Lavello di cucina	da 15 a 20

**Figura 7.3** Valori relativi ai consumi di ACS espressi in litri per apparecchio

Qualunque sistema di preparazione deve essere in grado di fornire acqua alla temperatura di erogazione in qualunque momento, di conseguenza l'impianto sarà ben dimensionato quando le esigenze sono soddisfatte nel periodo di punta, ovvero il periodo in cui si verifica il massimo consumo contemporaneo di acqua calda sanitaria.

Il valore di tale periodo viene sempre fornito dalla norma e il valore dipende dalla tipologia di utenza principalmente; ad esempio, per il residenziale il periodo di punta varia tra le 2 e le 2,5 ore se ogni alloggio presenta un numero di vani al massimo pari a 4, altrimenti il periodo di punta è pari a 3 ore per numeri di vani superiore.

In particolare, nel caso studio analizzato, l'appartamento n. 4 ricade nella fascia più bassa relativamente al periodo di punta, mentre l'appartamento n. 5 ricade nel valore del periodo di punta maggiore (3 ore).

Una volta noto il periodo di punta e il fabbisogno di ACS, è possibile calcolare il massimo consumo orario contemporaneo  $q_M$ :

$$q_M = \left( \frac{q_1 * N_1}{d_1} + \frac{q_2 * N_2}{d_2} + \dots + \frac{q_n * N_n}{d_n} \right) * f_1 * f_2 * f_3 \quad [l/h]$$

in cui  $q_i$  è il consumo dell' $i$ -esimo apparecchio sanitario (espresso in l/utilizzo),  $N_i$  è il numero di apparecchi sanitari dello stesso tipo in funzione nel periodo di punta (il prodotto di questi due primi termini esprime il consumo del periodo di punta  $C$ ) e  $d_i$  è la durata del consumo dell' $i$ -esimo apparecchio (espressa in ore). Infine, i termini  $f_i$  sono dei coefficienti correttivi, forniti da tabelle all'interno della norma, che tengono conto del numero di alloggi, del numero di vani per alloggio e per il tenore di vita degli occupanti.

I dati per il calcolo del parametro  $q_M$  sono forniti nella tabella seguente:

<b>Appartamento 4</b>				<b>Appartamento 5</b>			
<b>Apparecchio</b>	Numero apparecch i	litri /us o	Numero utilizzi punta	<b>Apparecchio</b>	Numero apparecch i	litri /us o	Numero utilizzi punta
<b>Vasca 170x70</b>	2	200	2	Vasca 170x70	2	200	2
<b>Lavabo</b>	2	12	2	Lavabo	2	12	2
<b>Bidet</b>	2	10	2	Bidet	2	10	2
<b>Lavello cucina</b>	1	20	1	Lavello cucina	1	20	1
<b>Coef. Correttivi</b>	1,15	1	1	Coef. Correttivi	1,15	1,1	1
<b>Durata periodo punta</b>	dp	2,5		Durata periodo punta	dp	2,5	
<b>Consumo periodo punta</b>	C	464	litri	Consumo periodo punta	C	464	litri
<b>Massimo consumo orario</b>	$q_M$	213		Massimo consumo orario	$q_M$	235	

**Tabella 18** Parametri per il massimo consumo orario contemporaneo

ottenendo il massimo consumo orario pari a 213 l/h e 235 l/h rispettivamente per gli appartamenti 4 e 5.

È ora possibile dimensionare il volume di accumulo mediante i parametri appena calcolati:

$$V_C = \frac{q_M * d_p * (T_m - T_f)}{d_p + d_r} * \frac{d_r}{T_c - T_f} \quad [l]$$

In cui:

- $V_c$  è il volume calcolato per il bollitore [l]
- $q_M$  è il consumo orario di acqua calda sanitaria [l/h]
- $T_f$  è la temperatura dell'acqua prelevata dall'acquedotto [°C]
- $T_m$  è la temperatura dell'acqua erogata all'utenza [°C]
- $T_c$  è la temperatura dell'acqua contenuta nell'accumulo [°C]
- $d_p$  è la durata del periodo di punta [h]
- $d_r$  è la durata del periodo di riscaldamento [h]

Noto il volume, viene calcolata la potenza termica del serpentino riscaldante:

$$P = \frac{q_M * d_p * (T_m - T_f)}{d_p + d_r} * 1,163 \quad [W]$$

Nella seguente tabella sono riportati i valori delle espressioni sopra citate per i due appartamenti:

<b>Temp. mandata</b>	$T_m$	40	°C	<b>Temp. mandata</b>	$T_m$	40	°C
<b>Temp. immissione</b>	$T_f$	10	°C	<b>Temp. immissione</b>	$T_f$	10	°C
<b>Periodo prerisc.</b>	$d_r$	2	h	<b>Periodo prerisc.</b>	$d_r$	2	h
<b>Temp. Accumulo</b>	$T_c$	60	°C	<b>Temp. accumulo</b>	$T_c$	60	°C
<b>Volume bollitore</b>	$V_c$	142	l	<b>Volume bollitore</b>	$V_c$	157	l
<b>Potenza termica da instal.</b>	$P$	4137	W	<b>Potenza termica da instal.</b>	$P$	4551	W

**Tabella 19** Parametri necessari per il calcolo della potenza e del volume del bollitore

Si nota che le potenze da installare per la produzione di ACS per i due appartamenti sono superiori ai 4 kW di potenza.

## 7.4.2 Metodo Mariotti-Gambelli

Non entreremo in dettaglio su tale metodo, ma verranno proposte le equazioni e i parametri proposti al fine di ottenere il dimensionamento del bollitore e la potenza da installare.

Per cui il volume di accumulo e la potenza da installare possono essere calcolati come:

$$V = C * \frac{T_u - T_a}{T_c - T_f} - P * \frac{d_p}{T_c - T_f}$$

$$P = C * \frac{T_u - T_a}{d_p + d_r}$$

dove:

- V è il volume dell'accumulo [l]
- P è la potenza termica per preparare l'ACS [kcal/h]
- C è il consumo di ACS durante il periodo di punta [l]
- T<sub>u</sub> è la temperatura di utilizzo dell'ACS [°C]
- T<sub>a</sub> è la temperatura dell'acqua nell'acquedotto [°C]
- T<sub>c</sub> è la temperatura dell'acqua nel serbatoio al termine del periodo di preriscaldamento [°C]
- T<sub>f</sub> è la temperatura dell'acqua nel serbatoio al termine del periodo di punta [°C]

Per semplicità tale metodo viene applicato solamente all'appartamento n.4, in quanto i medesimi calcoli possono essere utilizzati anche per il secondo appartamento in esame.

Vi è uno scostamento tra il risultato ottenuto mediante la norma UNI 9182 e il metodo ora esaminato e per comprendere questa divergenza è utile analizzare il processo di scarica della capacità termica dell'accumulo.

Vengono quindi calcolati le seguenti grandezze:

1. La portata media nel periodo di punta

$$G_m = \frac{C}{d_p}$$

2. la portata media effettivamente uscente dal serbatoio  $G_b$ , a monte della miscelazione con acqua fredda

$$G_b = G_m * \frac{T_m - T_a}{T_c - T_a}$$

3. la potenza termica dello scambiatore, assumendo un tempo di preriscaldamento di 1 h

$$P = C * \frac{T_m - T_a}{d_p + d_r}$$

4. l'incremento di temperatura dell'acqua di acquedotto dovuto al lambire la superficie dello scambiatore di calore, valutato alla portata media

$$\Delta T_a = \frac{P}{G_b}$$

5. il volume d'acqua di sostituzione presenta, in prima approssimazione, una temperatura media pari alla temperatura di acquedotto sommata all'incremento di temperatura,  $\Delta T_a$

$$T_c = T_a + \Delta T_a$$

Il processo è ripetuto iterativamente fino a che l'n-esimo valore di  $T_c$  non diventa inferiore alla temperatura di utilizzo dell'acqua da parte dell'utenza.

Si nota che, in seguito alla prima scarica del serbatoio, non si ha a disposizione una capacità termica residua che possa soddisfarne una successiva senza intervenire con un nuovo periodo di riscaldamento.

Tale metodo considera un funzionamento non ideale del serbatoio di accumulo e fissa i criteri di progettazione per il volume del bollitore e per la potenza termica del serpentino riscaldante. Nei bollitori a serpentino è difficile riscaldare la parte inferiore del bollitore sottostante al serpentino stesso, pertanto una frazione del volume non è utile; ciò viene stimato con un fattore riduttivo  $f_v$  pari a 0,9. Il sistema di regolazione per il caricamento del bollitore è di tipo on-off e prevede un differenziale di 5°C, pertanto le perdite per differenziale del termostato vengono tenute conto tramite il fattore di riduzione  $f_t$  pari a 0,9. Infine, l'acqua fredda entrante implica delle perdite per miscelazione, stimate mediante il fattore di riduzione  $f_m$  pari a 0,9.

Riassumendo:

<b>Consumo totale punta</b>	<b>C</b>	<b>464</b>	<b>litri</b>
<b>Periodo punta</b>	$dp$	1,5	h
<b>Periodo prerisc.</b>	$dr$	1,0	h
<b>Temp. mandata</b>	$T_m$	40,0	°C
<b>Temp. immissione</b>	$T_a$	15,0	°C
<b>Temp. Accumulo</b>	$T_c$	60,0	°C
prima scarica serbatoio			
<b>Portata media punta</b>	$G_m$	309	l/h
<b>Portata media effettiva</b>	$G_b$	172	l/h
<b>Potenza scambiatore</b>	$P$	4640	kcal/h
<b>Incremento temperatura</b>	$\Delta T$	27,0	°C
<b>Temperatura acqua sostituz.</b>	$T_{c1}$	42,0	°C
seconda scarica serbatoio			
<b>Temp. nuova accumulo</b>	$T'_c$	42,0	°C
<b>Portata media punta</b>	$G_m$	309	l/h
<b>Portata media effettiva</b>	$G_b$	286	l/h
<b>Potenza scambiatore</b>	$P$	4640	kcal/h
<b>Incremento temperatura</b>	$\Delta T$	16,2	°C
<b>Temperatura acqua sostituz.</b>	$T_{c2}$	31,2	°C
	$T_f$	31,2	°C
<b>Volume accumulato</b>	$V_c$	161	l
<b>Coef. correzione</b>	$f_v$	0,9	
<b>Coef. correzione</b>	$f_t$	0,9	
<b>Coef. correzione</b>	$f_m$	0,9	
<b>Coef. Correzione totale</b>	$f$	0,7	
<b>Volume corretto</b>	$V_{\text{corretto}}$	221	l
<b>Potenza da preparare</b>	$P$	3007	W

**Tabella 20** Parametri utilizzati per il calcolo della potenza e del volume di accumulo secondo il metodo Mariotti-Gambelli

In questo caso, la potenza è inferiore rispetto ai risultati ottenuti dalla UN I 9182, ma il volume risulta sovradimensionato.

### 7.4.3 Metodo Caleffi

Nella pratica progettuale sono diffusi metodi di dimensionamento basati sul bilancio energetico all'accumulo, come la procedura Caleffi, per stimare la capacità termica da immagazzinare per soddisfare la domanda di ACS dell'utenza. I parametri utili per il dimensionamento sono forniti dalla procedura stessa a seconda della destinazione d'uso dell'edificio e vengono forniti, inoltre, il consumo globale durante il periodo di punta, la temperatura di utilizzo dell'acqua, la durata del periodo di punta e la durata del periodo di riscaldamento. Deve essere effettuata una correzione mediante l'uso del fattore di contemporaneità a seconda del numero di alloggi (che nel caso in esame è pari a 1, poiché ogni appartamento presenta il proprio impianto per la preparazione di ACS).

La procedura prevede di calcolare:

1. l'energia termica necessaria a riscaldare la portata d'acqua richiesta durante il periodo di punta

$$E_{dp} = C * (T_m - T_a)$$

2. la potenza termica che deve essere ceduta all'acqua nell'arco di tempo che comprende il periodo di riscaldamento e il periodo di punta

$$P_{dt} = \frac{E_{dp}}{(d_r + d_p)}$$

3. l'energia termica da accumulare durante la fase di preriscaldamento

$$E_a = P_{dt} * d_r$$

4. il volume dell'accumulo

$$V = \frac{E_a}{(T_c - T_a)}$$



Mentre la potenza del serpentino riscaldante immerso nell'accumulo è calcolata come è stato fatto nella UNI 9182:

$$P = \frac{q_M * d_p * (T_m - T_f)}{d_p + d_r} * 1,163$$

dove il prodotto  $q_M * d_p$  coincide con il consumo C durante il periodo di punta

Si ottiene dunque per entrambi gli appartamenti:

<b>Consumo residenziale 2 servizi</b>	$C_{2servizi}$	340	1
<b>Temperatura accumulo</b>	$T_C$	60	°C
<b>Temperatura utilizzo</b>	$T_m$	40	°C
<b>Temperatura acquedotto</b>	$T_a$	10	°C
<b>Periodo punta</b>	$d_p$	1,5	h
<b>Periodo preriscaldamento</b>	$d_r$	2	h
<b>Fattore contemporaneità</b>	F	1	n. alloggi
<b>Energia ACS periodo punta</b>	$E_{dp}$	10200	Wh
<b>Potenza ceduta due periodi</b>	$P_{dt}$	2914	W
<b>Energia accumulare prerisc.</b>	$E_a$	5828	Wh
<b>Volume accumulo</b>	V	117	l
<b>Potenza</b>	P	3389	W

**Tabella 21** Parametri necessari al calcolo del volume di accumulo e relativa potenza secondo la procedura Caleffi

La procedura è stata ripetuta anche considerando un tempo di preriscaldamento di 1 ora.

#### 7.4.4 Confronto risultati

Il confronto dei metodi, per l'appartamento 4, viene riportato in questo paragrafo, anche se vi sono parametri iniziali diversi:

METODO	UNI 9182	GAMBELLI-MARIOTTI	CALEFFI	CALEFFI CON $d_r=1$	
Consumo punta	464	464	340	340	l
Periodo punta	2,5	1,5	1,5	1,5	h
Periodo riscaldamento	1	1	2	1	h
Volume accumulato	34	221	117	82	l
Potenza termica	1773	3007	3389	4745	W

*Tabella 22 Confronto dei volumi e potenze per i tre metodi citati*

Il metodo fornito dalla UNI 9182 fornisce il minimo valore del volume di accumulo, mentre quello proposto da G.M. fornisce il massimo valore per il volume di accumulo e il massimo per la potenza di generazione; la procedura Caleffi, invece, propone un valore del volume che media tra i due precedenti ma sovrastima la potenza termica, come risulta anche dal calcolo uniformato.

# Capitolo 8

## Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento

### 8.1 Costruzione del modello in *TRNBuild*

Per lo studio energetico dei due appartamenti, è utile suddividere gli alloggi in zone termiche, in modo tale da avere una visione più dettagliata del comportamento dell'intero modello preso in esame nel corso dell'anno.

In quest'analisi sono state scelte due diverse tipologie di suddivisioni: una di queste è stata la suddivisione dell'appartamento in due sole zone, una zona giorno e una zona notte, mentre nella seconda tipologia ogni stanza rappresenta una diversa zona termica. Nel modello costruito in *Trnbuild*, ogni stanza rappresenta una diversa zona termica, mentre nel file costruito in *Excel* per quanto riguarda l'inserimento degli input, è stata adottata la prima tipologia, suddividendo i carichi tra la zona notte e la zona giorno; quest'ultima scelta è stata fatta perché, come viene spiegato nei capitoli successivi, si ipotizza di avere due diverse regolazioni di temperatura, una per la zona giorno e l'altra per la zona notte.

Le zone termiche dell'appartamento 4 riportate nel codice di calcolo dinamico sono:

- Soggiorno (1)
- Camera da letto (2)
- Camera da letto (3)
- Antibagno (4)
- Bagno (5)
- Camera da letto (6)

- Bagno (7)
- Corridoio (8)
- Cucina e dispensa (9)

Mentre quelle per l'appartamento 5 sono:

- Soggiorno (1')
- Camera da letto (2')
- Camera da letto (3')
- Antibagno (4')
- Bagno (5')
- Camera da letto (6')
- Bagno (7')
- Corridoio (8')
- Cucina e dispensa (9')
- Camera da letto (11-12')

Infine, tra i due appartamenti è presente un ulteriore zona termica (non riscaldata):

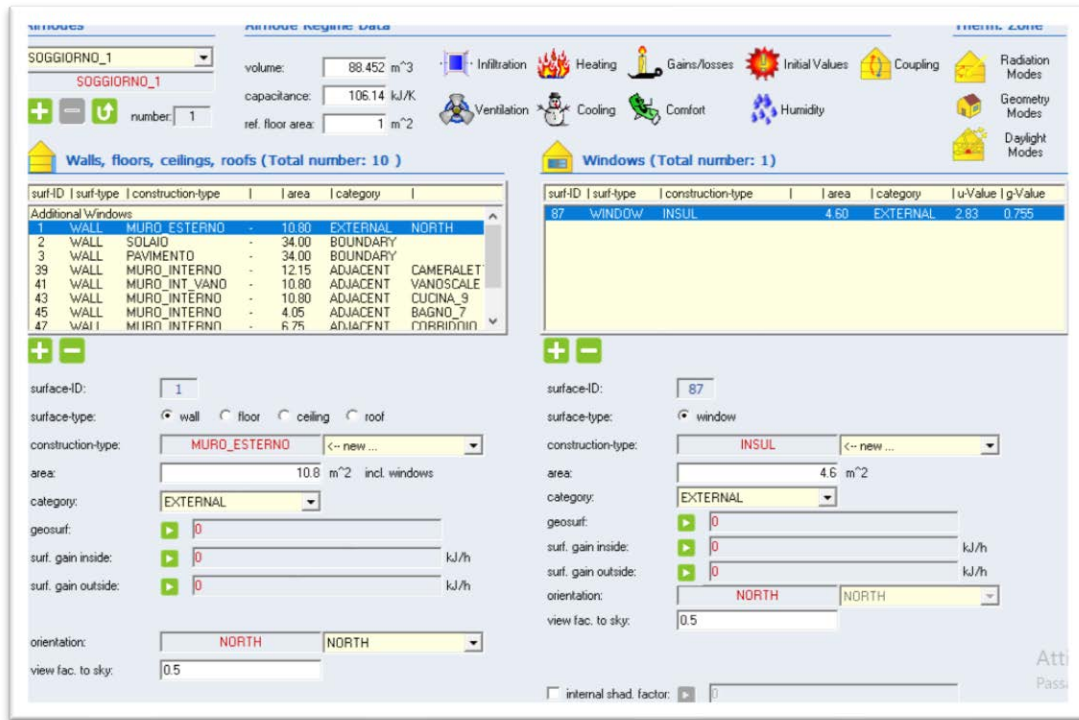
- Vano scale e ascensore

Viene ora descritto come il modello è stato costruito in *Trnbuild* e solo in seguito sarà preso in considerazione la costruzione del foglio *Excel* per l'inserimento dei diversi input.

Per ogni zona sono state ricavate le dimensioni delle superfici opache esterne, dei muri interni e adiacenti, delle superfici vetrate, dei solai interpiano e del pavimento. Sulla base della UNI 11300-1, nel computo delle dimensioni lorde in pianta a partire dalle dimensioni nette, si comprende l'intero spessore della muratura se l'ambiente confinante è esterno o non riscaldato, mentre si considera il semi-spessore nel caso di ambiente limitrofo riscaldato. Così, l'altezza delle pareti esterne è stata presa considerando anche lo spessore della soletta, mentre per i muri interni l'altezza è stata presa pari a quella netta della stanza (ovvero pari all'altezza reale della stanza).

L'orientazione dei muri è stata presa convenzionalmente come la planimetria degli alloggi è stata riportata in precedenza; l'orientazione viene inserita nel modello in *Simulation Studio*. Vengono dunque prima inseriti tutti i muri presenti in ogni zona termica, in seguito viene definita la stratigrafia per ognuno di essi e infine le proprietà dei materiali (conduttività espressa in kJ/hmK, capacità in kJ/kgK e densità espressa in kg/m<sup>3</sup>). Il dettaglio della muratura è stato già descritto in precedenza, per cui non viene ripetuto. Inoltre, per ogni zona termica, deve essere inserito anche il valore del volume netto della zona termica analizzata. Una volta che le strutture murarie sono state create, si aggiunge il valore della superficie espressa in metri quadrati, considerando l'intera parete, senza tener quindi conto della presenza o meno dei serramenti. A questo punto è necessario specificare cosa vi sia presente dall'altra parte della parete, ovvero si deve definire se la parete confina con l'esterno (in questo caso se ne deve indicare l'orientazione scegliendo tra le componenti Sud, Nord, Ovest, Est), con un'altra zona adiacente, oppure con una zona di confine che possiede delle caratteristiche definite dall'utente (se il comportamento è identico o se si ha una condizione diversa). Se, invece, la parete è interna alla zona si deve considerare un'area doppia (entrambi i lati della parete) e specificare che la struttura è interna. Questo procedimento va ripetuto per tutte le zone create, inserendo quindi tutte le strutture opache esistenti. Una volta create le superfici opache, si inseriscono le superfici trasparenti. Per fare questo, si seleziona la parete sulla quale è presente il serramento e si crea la finestra nell'apposita sezione, indicando il tipo di vetro (in questo caso vetrocamera) e, all'interno della scheda per la creazione dei serramenti, si inseriscono le informazioni riguardanti il telaio, ovvero il rapporto tra area del solo telaio e l'area totale dell'infisso e la resistenza del materiale e si inserisce la superficie della finestra creata. Infine, è possibile inserire i ponti termici aggiungendo una nuova struttura chiamata *coolbridge*, specificandone la resistenza la quale è stata calcolata in precedenza tramite *Mirage*, con la lunghezza del ponte termico espressa in metri presente nella zona analizzata.

La rappresentazione grafica del soggiorno che viene mostrata in *TRNBuild* è la seguente:



**Figura 8.1** Costruzione delle zone (murature e serramenti) in *TRNBuild*

Una volta effettuati questi passaggi per tutte le zone termiche, il modello è costruito e si possono inserire le indicazioni riguardanti i carichi. All'interno della scheda relativa ad ogni zona sono presenti infatti i vari elementi da selezionare per l'inserimento dei carichi interni, la ventilazione, le infiltrazioni e il riscaldamento.

Per quanto riguarda le infiltrazioni, si inserisce in ogni zona un valore pari a 0,2 Vol/h costanti per tutte le ore annue.

Per la ventilazione manuale degli ambienti, invece, si inserisce l'indicazione che il valore deve essere fornito da un file esterno che assume un valore pari a 0,3 Vol/h costanti nel periodo invernale e 0,8 Vol/h nel periodo estivo, indipendentemente dalla presenza o meno delle persone. Il valore raggiunto, quindi, per le infiltrazioni e la ventilazione congiuntamente, è pari a 0,5 Vol/h nel periodo invernale.

Altro parametro da inserire riguarda la temperatura di set point per l'ambiente. Anche in questo caso il valore viene inserito mediante un input da un file esterno, in cui sono definiti gli orari nei quali il riscaldamento è acceso finché la temperatura non raggiunge un certo valore, pari a 20°C, mentre è stata fissata una temperatura minima al di sotto del quale nessuna zona termica può raggiungere e pari a 16 °C. In questo caso la temperatura di set point è variabile quindi: quando il riscaldamento è acceso (ore scelte nel file di input) la temperatura è mantenuta a 20 °C, quando il riscaldamento si spegne allora la temperatura nelle stanze inizia a diminuire fino a quando non raggiunge l'attenuazione pari a 20 °C in cui la caldaia, indipendentemente se l'orario è quello di accensione o spegnimento, si riaccende per riportare al di sopra di tale limite le temperature nelle stanze.

Infine, gli ultimi parametri da fissare riguardano i carichi interni. Nella relativa scheda in *Trnbuild* sono inseriti i carichi interni presenti, anche essi forniti dalla norma UNI 11300-1:2014, in particolare dal prospetto 14, in funzione della presenza delle persone. Questa scelta è stata fatta per mantenersi in una situazione cautelativa, poiché in questo caso il guadagno interno è inferiore e vi è una maggior richiesta di energia termica nel periodo invernale.

## 8.2 File di input

Per permettere a TRNSYS di elaborare i file di input è stata creata, tramite *Excel*, una “scheda degli input” in cui sono indicati ora per ora e giorno per giorno le informazioni relative alla ventilazione e infiltrazione d'aria, ai guadagni interni e riscaldamento ambientale per le varie zone. Questi dati sono variabili e dipendono da diversi fattori che verranno indicati di seguito in questo capitolo, in cui si forniranno i criteri con i quali sono stati creati tali file.

In realtà i valori forniti non sono espressi in ore, ma lo step temporale scelto per questa prima parte di analisi è pari a 15 minuti.

## **Riscaldamento**

Il riscaldamento è acceso tutti i giorni del periodo invernale, ovvero dal 15 ottobre al 15 aprile (fascia climatica E), nella mattina dalle ore 6.45 alle 7.45 nella zona giorno, mentre fino alle 8.30 nella zona notte e nel pomeriggio dalle 16 fino alle 23 di sera per tutti i giorni lavorativi. Per quanto riguarda il sabato, alla mattina il riscaldamento è acceso dalle 6.45 fino alle 12.45, perché negli appartamenti sono presenti delle persone e dalle 15 alle 23 il pomeriggio. Alla domenica infine, il riscaldamento viene acceso dalle 8.30 fino alle 12.30, e dalle 15 fino alle 23.

Questi orari sono stati impostati per entrambi gli appartamenti, anche se gli utenti presentano dei lavori e impegni differenti.

## **Presenza persone**

La presenza delle persone viene distinta tra zona giorno e zona notte, e il calcolo viene fatto considerando il time step pari a 15 minuti. In particolare, per l'appartamento 4, viene riportata la presenza di persone nelle due diverse zone sia per i giorni lavorativi settimanali, ma anche per il sabato e la domenica. Nella seguente tabella viene indicato il valore "1" quando tutte le persone sono presenti nella zona indicata, "0,5" quando metà delle persone sono presenti e "0" quando non vi sono utenti presenti nell'appartamento.

Questi valori sono utilizzati per i carichi interni: quando infatti le persone sono presenti a casa, allora si considerano i carichi interni, se invece non è presente nessuno, allora quest'ultimi sono nulli. Valori intermedi sono proporzionali alla quantità di persone presenti.



<b>Lunedì-Venerdì</b>		
<b>Orari</b>	<b>Zona giorno</b>	<b>Zona notte</b>
<b>23:00-7:00</b>	0	1
<b>7:15-7:45</b>	0,5	0,5
<b>8:00-8:45</b>	0	0,5
<b>9:00-12:45</b>	0	0
<b>13:00-15:45</b>	0,25	0,25
<b>16:00-17:45</b>	0,5	0,5
<b>18:00-19:30</b>	0,5	0,5
<b>19:45-20:45</b>	1	0
<b>21:00-22:45</b>	0,5	0,5

Per quanto riguarda, invece, i giorni relativi al weekend (sabato e domenica) si ottiene:

<b>Sabato</b>		
<b>Orari</b>	<b>Zona giorno</b>	<b>Zona notte</b>
<b>23:00-7:00</b>	0	1
<b>7:15-7:45</b>	0,5	0,5
<b>8:00-8:45</b>	0,5	0,5
<b>9:00-12:45</b>	0,25	0,25
<b>13:00-15:45</b>	0,25	0,25
<b>16:00-17:45</b>	0,5	0,5
<b>18:00-19:30</b>	0,5	0,5
<b>19:45-20:45</b>	1	0
<b>21:00-22:45</b>	0,5	0,5

<b>Domenica</b>		
<b>Orari</b>	Zona giorno	Zona notte
<b>23:00-7:00</b>	0	1
<b>7:15-7:45</b>	0	1
<b>8:00-8:45</b>	0	1
<b>9:00-12:45</b>	0,5	0,5
<b>13:00-15:45</b>	1	0
<b>16:00-17:45</b>	0,5	0,5
<b>18:00-19:30</b>	0,5	0,5
<b>19:45-20:45</b>	1	0
<b>21:00-22:45</b>	0,5	0,5

Analogamente per l'appartamento 5 si ha:

<b>Lunedì-Venerdì</b>		
<b>Orari</b>	Zona giorno	Zona notte
<b>23:00-7:00</b>	0	1
<b>7:15-7:45</b>	0,4	0,6
<b>8:00-8:45</b>	0	0,6
<b>9:00-12:45</b>	0	0
<b>13:00-14:15</b>	0,6	0
<b>14:30-15:45</b>	0,2	0,4
<b>16:00-17:45</b>	0,4	0,6
<b>18:00-19:30</b>	0,4	0,6
<b>19:45-20:45</b>	1	0
<b>21:00-22:45</b>	0,4	0,6

<b>Sabato</b>		
<b>Orari</b>	Zona giorno	Zona notte
<b>23:00-7:00</b>	0	1
<b>7:15-7:45</b>	0,4	0,6
<b>8:00-8:45</b>	0,4	0,6
<b>9:00-12:45</b>	0,2	0,4
<b>13:00-14:15</b>	0,2	0,4
<b>14:30-15:45</b>	0,4	0,6
<b>16:00-17:45</b>	0,4	0,6
<b>18:00-19:30</b>	0,4	0,6
<b>19:45-20:45</b>	1	0
<b>21:00-22:45</b>	0,4	0,6

<b>Domenica</b>		
<b>Orari</b>	Zona giorno	Zona notte
<b>23:00-7:00</b>	0	1
<b>7:15-7:45</b>	0	1
<b>8:00-8:45</b>	0	1
<b>9:00-12:45</b>	0,4	0,6
<b>13:00-15:45</b>	1	0
<b>16:00-17:45</b>	0,4	0,6
<b>18:00-19:30</b>	0,4	0,6
<b>19:45-20:45</b>	1	0
<b>21:00-22:45</b>	0,4	0,6

Infine, viene inserita una colonna definitiva chiamata “presenza totale” all’interno del foglio *Excel*, data dalla somma delle colonne precedenti che indicano la presenza delle persone nella zona giorno e in quella notte, per indicare se nell’appartamento sono presenti tutti i componenti della famiglia (1), qualcuno (0,5 o 0,33 ecc) oppure nessuno (0).

## **Heating**

Si è settato un valore di set point per le due zone termiche pari a 20°C. In ambiente *Excel* questa colonna è descritta da valori pari a “20” e “16” a seconda che l’impianto sia acceso o spento, infatti 16 °C rispecchia il secondo set point nel caso in cui la temperatura scendesse al di sotto di tale valore. In particolare, il valore è definito dal prodotto tra la colonna “risc. On” (da cui si comprende se la stagione è quella invernale con accensione degli impianti o estiva) e la colonna “ore accensione impianto” (da cui si comprende se l’impianto è acceso a seconda delle ore della giornata in cui vi è necessità di riscaldamento).

L’impianto di riscaldamento non rimane attivo tutta la giornata poiché si è supposto che vi sono dei momenti in cui i guadagni termici sono sufficienti a coprire la richiesta di calore.

## **Carichi interni**

Per le abitazioni di categoria E.1 (1) e E.2 (2), avente superficie di pavimento  $A_f$  minore o uguale a 120 m<sup>2</sup>, il valore globale degli apporti interni sensibili, espresso in W, è ricavato come:

$$\Phi_{int} = 7,987 * A_f - 0,0353 * A_f^2$$

Per superfici utili di pavimento maggiore di 120 m<sup>2</sup> il valore di  $\Phi_{int}$  è pari a 450 W.

Di conseguenza, per gli appartamenti risulta:

$$\Phi_{int,4} = 449,37 W \quad \Phi_{int,5} = 450 W$$

Ciò dovrebbe essere tenuto presente, in quanto queste considerazioni riguardano la valutazione sul progetto, come nel caso sottoposto ad analisi. Per un maggior dettaglio però, sono invece considerati i valori forniti dalla valutazione adattata all’utenza.

Le sorgenti di energia termica presenti all’interno di uno spazio chiuso sono in genere dovute a occupanti, acqua sanitaria reflua, apparecchiature elettriche, di illuminazione e di cottura.

Gli apporti interni di calore derivanti dalla presenza di queste sorgenti possono essere ricavati in funzione della destinazione d'uso dei locali, in base ai valori riportati nel prospetto 14:

Giorni	Ore	Soggiorno e cucina ( $\phi_{\text{int,Oc}} + \phi_{\text{int,A}}$ ) / $A_t$ [W/m <sup>2</sup> ]	Altre aree climatizzate (per esempio stanza da letto) ( $\phi_{\text{int,Oc}} + \phi_{\text{int,A}}$ ) / $A_t$ [W/m <sup>2</sup> ]
Lunedì – Venerdì	Dalle ore 07:00 alle ore 17:00	8,0	1,0
	Dalle ore 17:00 alle ore 23:00	20,0	1,0
	Dalle ore 23:00 alle ore 07:00	2,0	6,0
	Media	9,0	2,67
Sabato – Domenica	Dalle ore 07:00 alle ore 17:00	8,0	2,0
	Dalle ore 17:00 alle ore 23:00	20,0	4,0
	Dalle ore 23:00 alle ore 07:00	2,0	6,0
	Media	9,0	3,83
Media		9,0	3,0

( $\phi_{\text{int,Oc}} + \phi_{\text{int,A}}$ ) è il flusso termico dalle persone e dalle apparecchiature, in W;  
 $A_t$  è la superficie utile di pavimento.

**Tabella 23** Prospetto 14, UNI 11300: stima dei carichi interni medi per la zona giorno e la zona notte per metro quadro

Come precedentemente detto e come suggerito dalla normativa, le zone termiche vengono raggruppate in zona giorno (soggiorno e cucina) e zona notte (le altre aree restanti). Poiché i valori nel prospetto vengono forniti in W/m<sup>2</sup>, è utile ricavare le superfici utili della zona giorno e della zona notte per entrambi gli appartamenti:

Tipologia zona	Superficie appartamento 4	Superficie appartamento 5
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
<b>Zona giorno</b>	44,08	44,08
<b>Zona notte</b>	60,72	78,12

**Tabella 24** Superfici utili delle due zone dei due appartamenti

Vengono dunque moltiplicati i valori presenti nel prospetto 14 per il valore della superficie relativa alla zona giorno e alla zona notte, ottenendo una potenza espressa in W che varia a seconda del giorno della settimana, dell'orario e della zona considerata. In seguito nel foglio *Excel*, tale valore di potenza viene moltiplicato per 3,6, in modo tale da ottenere un valore espresso in kJ/h, come richiesto dal codice di calcolo di simulazione dinamica.

Per ogni appartamento quindi vi saranno due colonne relative ai carichi termici globali per la zona giorno e la zona notte, a cui vengono affiancate altre due colonne (una associata ai carichi per la zona giorno e una ai carichi per quella notte) il cui valore è dato dal prodotto del valore del carico termico della zona considerata e dal valore che rappresenta la presenza o meno di persone sempre in quella particolare zona termica. Questo significa che vi saranno carichi termici, come ad esempio il fornello della cucina acceso o le luci, solamente se vi sono persone presenti, altrimenti tutti questi carichi interni sono considerati nulli poiché spenti.

### **Ventilazione e infiltrazioni**

Per quanto riguarda la ventilazione delle varie zone termiche è stato fissato un valore pari a 0,2 Vol/h per le infiltrazioni in tutti gli appartamenti. A questo dato si è aggiunto un valore di ventilazione manuale, dato dall'apertura e chiusura delle finestre da parte degli utenti, pari a 0,3 Vol/h nel periodo invernale.

### 8.3 Costruzione del modello in Simulation Studio

A questo punto il modello costruito è completo con tutti i carichi interni, dunque è possibile esaminare la parte di simulazione dinamica corrispondente. Per poter analizzare il comportamento dinamico dell'oggetto, è fondamentale creare un modello per la simulazione in *Simulation Studio*. Il primo passo è quello di settare la simulazione affinché compia il calcolo per tutte le ore dell'anno con un tempo tra uno step e l'altro di 15 minuti, modificando le impostazioni all'interno della *control cards*. A questo punto si richiama il modello costruito in *Trnsys Build* tramite la *type 56* e si seleziona il file esterno relativo al modello. All'interno delle informazioni della *type* è possibile vedere quali siano gli input richiesti per la simulazione e quali saranno gli output calcolati. Per quanto riguarda gli input, si deve, in primo luogo, specificare le condizioni climatiche importando il file per il TRY (*Test Reference Year*) di Verona tramite la *type 15-3* e definendo al suo interno l'orientazione reale degli appartamenti, in modo che le condizioni di irraggiamento siano quelle reali dell'edificio. Si procede collegando le due *type* finora create e collegando quindi gli output del file meteo agli input del modello dell'edificio in modo opportuno. In questo modo gli input richiesti dal modello sono prelevati dal file selezionato. In seguito, si devono impostare tutti gli altri input riguardanti i carichi interni, la ventilazione e il riscaldamento. Per poter inserire questi elementi si utilizza la *type 9c*, inserendone una per ogni input desiderato. All'interno della *type*, è necessario specificare quante linee del file deve saltare, quante colonne deve leggere (le quali devono essere una per zona) e, infine, se il codice deve interpolare o meno i dati. Le linee da saltare saranno quelle del titolo e del nome degli ambienti, in modo che i primi valori letti siano quelli relativi ai valori iniziali della simulazione e si imposta che il programma non interpoli i dati inseriti. Si seleziona il file esterno di testo creato da *Excel* e, quindi, vengono in seguito collegate le colonne relative alle varie zone con gli input necessari al modello.

L'ultimo elemento da inserire è la stampante per ottenere i risultati della simulazione, definito dalla *type 65c*. A quest'ultima si collegano sia il file del meteo, che il file dell'edificio e si imposta il numero di output che si desidera ottenere.

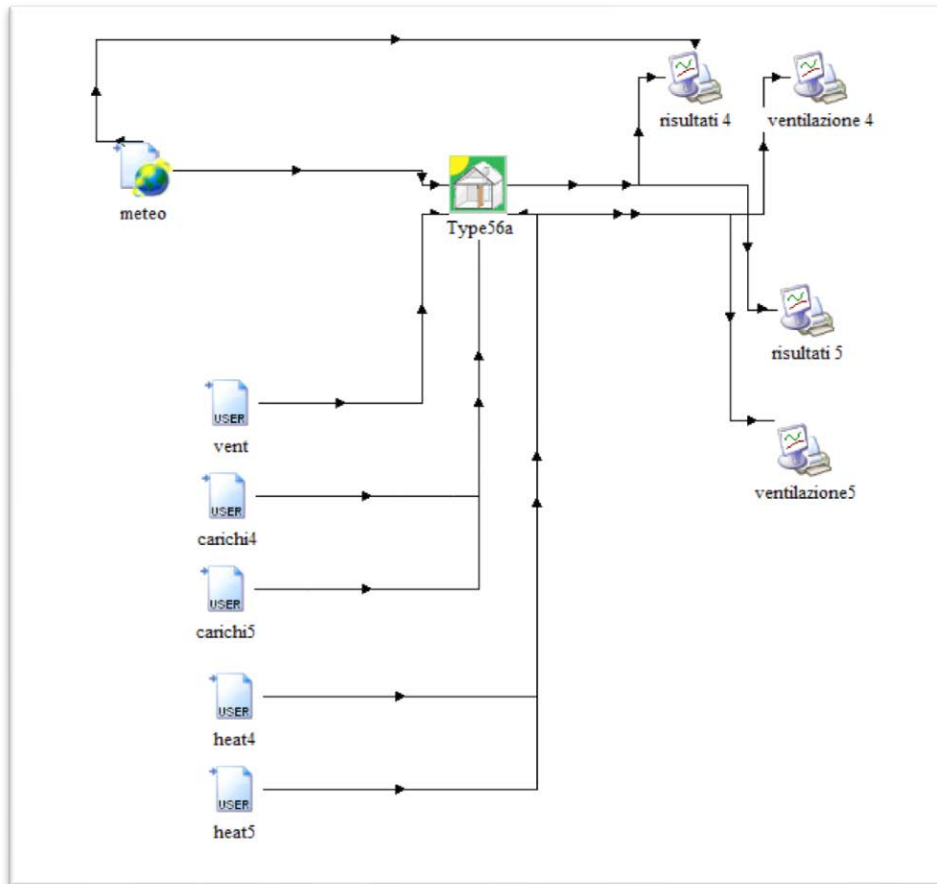
Gli output desiderati sono la temperatura esterna dell'aria (collegata quindi con la *type* del meteo), le temperature di ogni zona (collegate con gli output di temperatura dell'edificio) e le potenze sensibili richieste da ogni zona (collegate con le potenze sensibili dell'edificio). Si dovrà quindi definire il percorso del file nel quale saranno salvati tali dati e, una volta effettuato questo, il modello è pronto per essere analizzato.

È infine possibile far girare la simulazione che fornisce i valori di temperatura e di potenza sensibile per ogni zona considerata, elaborando successivamente i risultati per ottenere i fabbisogni energetici annuali. Per poter valutare i vari contributi della potenza sensibile è possibile far sì che il modello generi questi output. Per ottenere questi valori, oltre agli input specificati in precedenza, si deve selezionare la voce “output” nella scheda principale del modello di *Trnsys Build*, selezionare le zone per le quali si desidera un nuovo output e quindi selezionare nel menù sottostante i contributi necessari alle varie valutazioni che si vogliono eseguire. Una volta generati i nuovi output aggiuntivi, si deve inserire nel modello in *Simulation Studio* una nuova stampante per ottenere i risultati aggiuntivi con lo stesso procedimento visto in precedenza.

Una volta eseguite queste operazioni, viene generato un nuovo file dei risultati con i vari contributi desiderati.



Il risultato ottenuto è il seguente:



**Figura 8.2** Schema principale osservato in Simulation Studio, in cui compaiono gli input relativi al meteo, alla ventilazione, ai carichi e al riscaldamento, mentre le stampanti generano i risultati

Di seguito, viene analizzata la modalità di elaborazione dei risultati e i risultati ottenuti dalle simulazioni del modello creato.

## 8.4 Calcolo del fabbisogno netto

I risultati delle simulazioni permettono di calcolare il fabbisogno di energia termica annuale nei due appartamenti. Riportiamo ora i valori mensili di energia termica richiesta da ogni zona presente negli alloggi, evidenziando quali zone e il periodo dell'anno in cui si ha una maggior richiesta di energia termica. I valori sotto riportati sono espressi in kWh.

### Appartamento 4

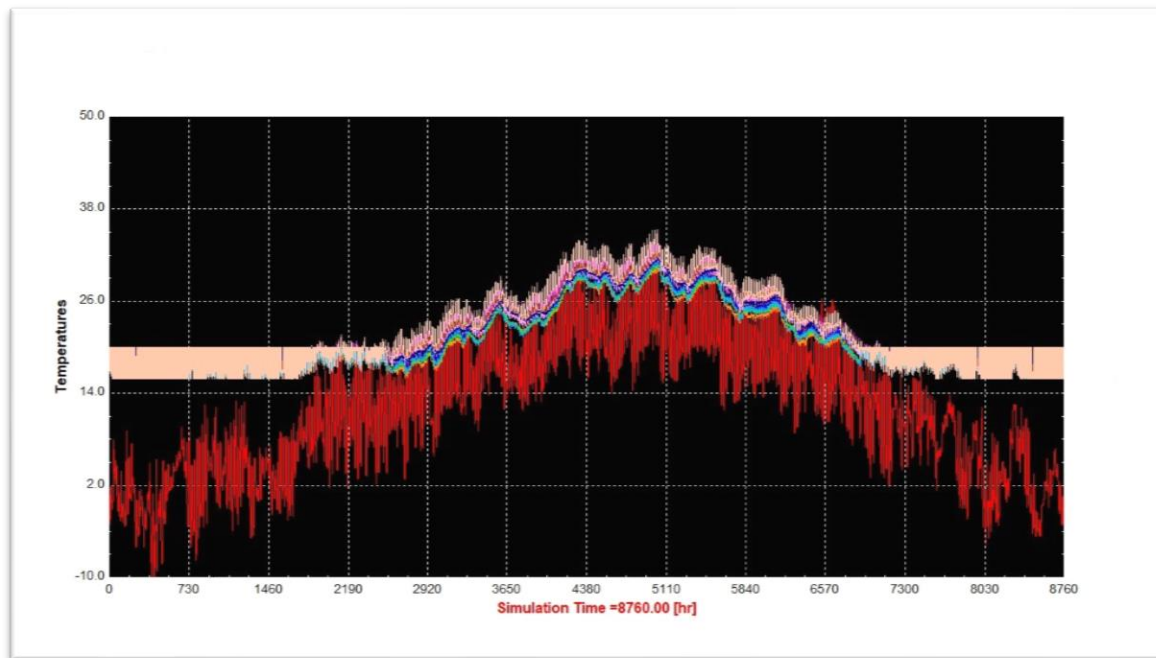
Per l'appartamento 4 sono richiesti i seguenti contributi:

	Cam2	Sogg	Cam3	Antib.	Bag5	Cam6	Bag7	Corr	Cucina
Gen	197	408	337	110	165	180	90	83	333
Feb	154	296	259	86	120	126	65	65	230
Mar	109	179	185	65	81	79	42	45	127
Apr	30	32	54	20	22	17	9	11	19
Mag	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giu	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lug	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ago	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sett	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ott	41	56	71	25	31	30	15	15	42
Nov	110	196	179	63	86	95	49	45	156
Dic	183	373	309	102	151	167	84	78	306

Tot	825	1540	1394	471	658	694	354	342	1214
-----	-----	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	------

**Tabella 25** Fabbisogno mensile (in kWh) per ogni stanza dell'appartamento 4

Si nota che il soggiorno e la camera da letto 3 sono le due zone che richiedono un maggior quantitativo di calore, ciò è dovuto all'ampiezza stessa, ma soprattutto per l'orientazione sfavorevole e la mancanza quasi totale di radiazione solare entrante. Anche la cucina richiede un fabbisogno elevato, dovuto all'alto numero di superfici disperdenti verso l'esterno e verso zone non riscaldate.



**Figura 8.3** Risultati grafici della simulazione: andamento della temperatura delle stanze rispetto alla temperatura dell'aria esterna (in basso in rosso) per l'appartamento 4

Viene inoltre riportato l'andamento delle temperature per ogni stanza ricavate dalla simulazione: in rosso è riportata la temperatura dell'aria (a bulbo secco), mentre gli altri colori evidenziano l'andamento della temperatura interna per ogni stanza nell'arco dell'anno. Si nota che nel periodo invernale le temperature oscillano tra i 20 e i 16 °C, come impostato. In estate invece la temperatura sale e ciò è dovuto principalmente alla radiazione solare, oltre all'assenza di un impianto di raffrescamento.

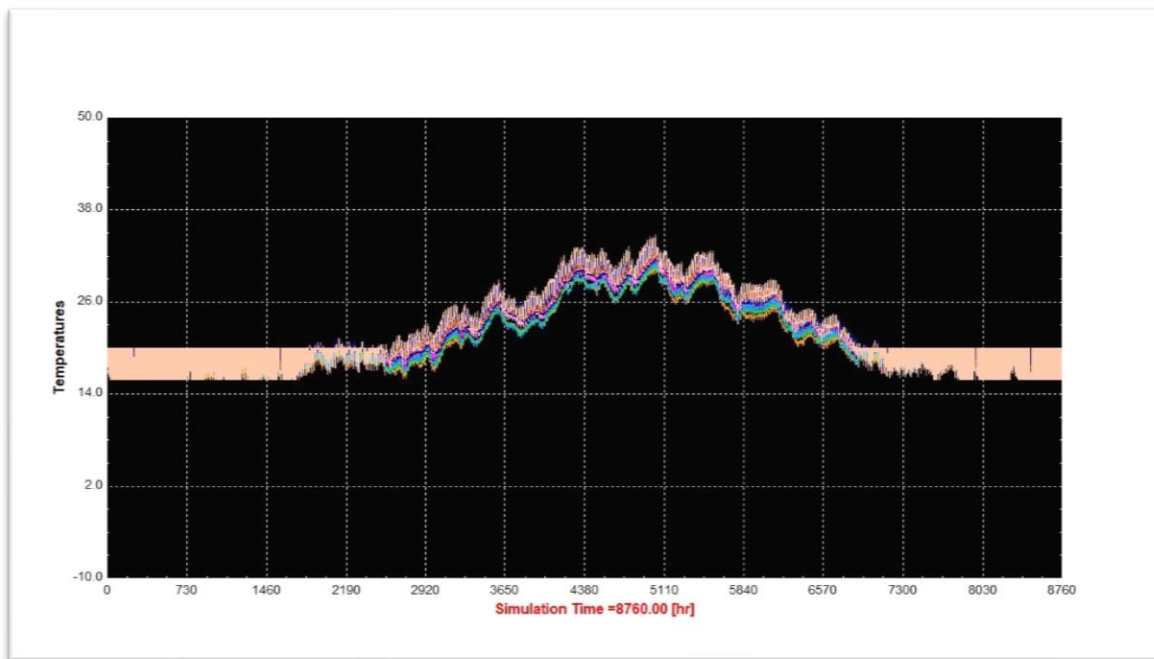
### **Appartamento 5**

Così come è stato fatto per l'appartamento precedente, si riporta anche in questo caso la richiesta di energia per ogni singola zona e l'andamento della temperatura nell'anno. Evidenziando le zone con maggior criticità e richiesta di calore ed esprimendo i valori in kWh si ottiene:

	Cam11	Sogg	Cam2	Cam3	Antib.	Bag5	Cam6	Bag7	Corr	Cucina
Gen	346	413	197	336	109	165	179	90	83	338
Feb	264	300	153	258	86	120	125	65	65	234
Mar	184	182	109	184	64	81	78	41	45	130
Apr	49	34	30	53	19	22	16	9	11	21
Mag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lug	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ago	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sett	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ott	67	59	41	70	25	31	29	15	15	45
Nov	190	200	110	178	63	85	95	49	46	160
Dic	321	379	183	309	101	151	166	84	78	311

Tot	1421	1567	823	1389	468	656	690	354	342	1239
-----	------	------	-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	------

**Tabella 26** Fabbisogno mensile (in kWh) per ogni stanza dell'appartamento 5



**Figura 8.4** Risultati grafici della simulazione: andamento della temperatura delle stanze per l'appartamento 5

Le considerazioni dell'appartamento 4 possono essere estese anche per l'appartamento 5.

## 8.5 Fabbisogni e perdite di energia nella climatizzazione invernale

I risultati derivanti dalle simulazioni sono i valori di temperatura e di potenza sensibile per ogni zona creata per tutte le ore dell'anno. Noto il fabbisogno di energia termica delle varie zone, è possibile calcolare il fabbisogno totale dei due appartamenti come la somma dei fabbisogni delle singole zone.

Dai calcoli dei fabbisogni di energia termica annuali netti risulta pertanto:

$$Q_{H,4} = 7491 \text{ kWh}$$

$$Q_{H,5} = 8949 \text{ kWh}$$

rispettivamente per l'appartamento 4 e 5.

Fatto questo, si calcola il fabbisogno di energia finale delle due zone tramite i rendimenti di impianto. Per quanto riguarda il rendimento d'impianto, è anche necessario calcolare il rendimento medio globale come prodotto dei rendimenti dei vari sottosistemi:

$$\eta_g = \eta_e * \eta_{rg} * \eta_d * \eta_{gn}$$

Dove  $\eta_e$  il rendimento di emissione,  $\eta_{rg}$  è il rendimento di regolazione,  $\eta_d$  è il rendimento di distribuzione e, infine,  $\eta_{gn}$  è quello di generazione.

Indichiamo in seguito i valori dei rendimenti dei diversi sottosistemi e quelli delle relative perdite.

## **Perdite di emissione**

Le perdite di emissione dipendono da diversi fattori, quali la tipologia e le modalità di installazione dei terminali di emissione, le caratteristiche dimensionali e termo-fisiche dell'ambiente riscaldato, dai carichi termici. Le perdite di emissione sono particolarmente influenzate da perdite per scambio diretto di energia tra i terminali e l'esterno, come nel caso di radiatori installati su pareti esterne non adeguatamente isolati e dal gradiente verticale di temperatura dell'aria nell'ambiente.

Le perdite del sottosistema di emissione  $Q_{l,e}$ , per ciascuna zona termica considerata, sono calcolate con la seguente espressione:

$$Q_{l,e} = Q_H * \frac{1 - \eta_e}{\eta_e} \quad [kWh]$$

dove  $\eta_e$  è il rendimento del sottosistema di emissione, ricavato dal prospetto 17 sotto riportato (ed eventualmente corretto con le indicazioni fornite), mentre  $Q_H$  è il fabbisogno ideale netto di energia termica utile.

Il rendimento del sottosistema di emissione, per ciascuna zona termica considerata, viene estrapolato dal prospetto 17 della UNI 11300-2:2014 (nel caso del residenziale), perché i locali esaminati presentano un'altezza inferiore ai 4 m.

Tipologia di terminale	Carico termico medio annuo <sup>a)</sup> [W/m <sup>3</sup> ]		
	<= 4	4-10	>10
Radiatori su parete esterna isolata <sup>b)</sup>	0,98	0,97	0,95
Radiatori su parete interna	0,96	0,95	0,92
Ventilconvettori <sup>c)</sup> valori riferiti a $t_{media}$ acqua = 45 °C)	0,96	0,95	0,94
Termoconvettori	0,94	0,93	0,92
Bocchette in sistemi ad aria calda <sup>d)</sup>	0,94	0,92	0,90
Ringhi annessi a pavimento	0,99	0,98	0,97
Ringhi annessi a soffitto	0,97	0,95	0,93
Ringhi a parete	0,97	0,95	0,93
Riscaldatori ad infrarossi	0,99	0,98	0,97

a) Il carico termico medio annuo espresso in W/m<sup>3</sup> è ottenuto dividendo il fabbisogno annuo di energia termica utile espresso in Wh, calcolato secondo la UNI/TS 11300-1, per il tempo convenzionale di esercizio dei terminali di emissione, espresso in ore, e per il volume lordo riscaldato del locale o della zona espresso in metri cubi.

b) Il rendimento indicato è riferito ad una temperatura di mandata dell'acqua minore o uguale a 55 °C. Per temperatura di mandata dell'acqua di 85 °C il rendimento decrementa di 0,02 e per temperature di mandata comprese tra 55 e 85 °C si interpola linearmente. Per parete riflettente, si incrementa il rendimento di 0,01. In presenza di parete esterna non isolata ( $U > 0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ) si riduce il rendimento di 0,04.

c) I consumi elettrici non sono considerati e devono essere calcolati separatamente. Il valore di rendimento riportato in tabella tiene già conto del recupero dell'energia elettrica, che quindi deve essere calcolata solo ai fini della determinazione del fabbisogno di energia ausiliaria e non dell'eventuale recupero.

d) Per quanto riguarda i sistemi di riscaldamento ad aria calda i valori si riferiscono a impianti con:  
- bocchette o diffusori correttamente dimensionati in relazione alla portata e alle caratteristiche del locale;  
- corrette condizioni di funzionamento (generatore di taglia adeguata, corretto dimensionamento della portata di aspirazione);  
- buona tenuta all'aria dell'involucro e della copertura.  
La distribuzione con bocchette di mandata in locali di altezza maggiore di 4m non è raccomandata. In presenza di tale situazione e qualora le griglie di ripresa dell'aria siano posizionate ad un'altezza non maggiore di 2 metri rispetto al livello del pavimento è opportuno un controllo della stratificazione.

**Figura 8.5** Prospetto 17 da cui estrapolare il rendimento di emissione

I terminali di emissione presenti sono radiatori su parete esterna non isolata, ovvero corpi scaldanti che cedono calore per convezione ed irraggiamento.

Prima di procedere, è necessario calcolare il carico termico medio annuo (espresso in W/m<sup>3</sup>), tramite il fabbisogno annuo di energia termica (appena ottenuto come risultato delle simulazioni), le ore di funzionamento dell'impianto stesso (le quali sono diverse tra zona notte e zona giorno poiché i tempi di riscaldamento nelle due zone sono diversi) e per mezzo del valore del volume netto riscaldato (anch'esso non coincidente tra le due zone, in quanto le superfici della zona notte e della zona giorno non corrispondono).

Per quanto riguarda l'appartamento 4, suddividiamo i conti per la zona giorno e per la zona notte:

Emissione-giorno			Emissione-notte		
<b>Volume</b>	119	m <sup>3</sup>	<b>Volume</b>	164	m <sup>3</sup>
<b>Carico termico</b>	2753777	Wh	<b>Carico termico</b>	4736954	Wh
<b>Ore esercizio</b>	1790	h	<b>Ore esercizio</b>	1888	h
<b>Carico termico medio</b>	12,9	W/m <sup>3</sup>	<b>Carico termico medio</b>	15,3	W/m <sup>3</sup>
<b>Rendimento</b>	0,893		<b>Rendimento</b>	0,893	
<b>Fabbisogno ideale</b>	2754	kWh	<b>Fabbisogno ideale</b>	4737	kWh
<b>Perdite emissione</b>	330	kWh	<b>Perdite emissione</b>	568	kWh

**Tabella 27** Perdite al sottosistema di emissione nel riscaldamento invernale nell'appartamento 4

Poiché il carico termico medio annuo è maggiore di 10 W/m<sup>3</sup> per entrambe le zone dell'appartamento, allora si tiene conto di un rendimento base pari a 0,95; inoltre, essendo tale rendimento riferito ad una temperatura di mandata dell'acqua pari o inferiore a 55°C, è necessario effettuare un'interpolazione lineare tenendo conto della situazione considerata, ovvero la temperatura di mandata pari a 80°C e quella di ritorno pari a 60°C. Con questi dati, si ricava un rendimento di emissione pari a 89,30 %.

Per l'appartamento 5 si ha, nel caso delle perdite di emissione:

Emissione-giorno			Emissione-notte		
<b>Volume</b>	119	m <sup>3</sup>	<b>Volume</b>	211	m <sup>3</sup>
<b>Carico termico</b>	2805921	Wh	<b>Carico termico</b>	6142743	Wh
<b>Ore esercizio</b>	1789	h	<b>Ore esercizio</b>	1888	h
<b>Carico termico medio</b>	13,2	W/m <sup>3</sup>	<b>Carico termico medio</b>	15,4	W/m <sup>3</sup>
<b>Rendimento</b>	0,893		<b>Rendimento</b>	0,893	
<b>Fabbisogno ideale</b>	2806	kWh	<b>Fabbisogno ideale</b>	6143	kWh
<b>Perdite emissione</b>	336	kWh	<b>Perdite emissione</b>	736	kWh

**Tabella 28** Perdite al sottosistema di emissione nel riscaldamento invernale nell'appartamento 5



In cui si è considerata la medesima tipologia di emissione scelta per l'appartamento 4. Ora, calcolati i fabbisogni netti e le perdite di emissione per i due appartamenti presi in esame, si ottiene complessivamente:

	<b>App.4</b>	<b>App.5</b>	
<b>Totale fabbisogno</b>	7491	8949	kWh
<b>Perdite emissione totali</b>	898	1072	kWh

**Tabella 29** *Perdite totali del sistema di emissione per i due appartamenti*

Ricordiamo che le perdite del sistema di emissione, per ciascuna zona termica considerata, sono state calcolate come:

$$Q_{l,e} = Q_H * \frac{1 - \eta_e}{\eta_e} \quad [kWh]$$

con  $Q_H$  fabbisogno netto di energia termica utile.

### **Perdite di regolazione**

Per le valutazioni di tipo A1 si devono utilizzare i valori di rendimento del prospetto 20 della UNI 11300-2:2014.

Per semplicità viene riportato l'intero prospetto in quanto esso è utile anche per il Capitolo 9, in cui sono mostrati i rendimenti di regolazione ricavati tramite simulazioni dinamiche.

Ciò viene fatto per confrontare i risultati ottenuti dalla normativa con quelli ricavati dal codice di calcolo.

Tipo di regolazione	Caratteristiche della regolazione	Sistemi a bassa inerzia termica	Sistemi ad elevata inerzia termica	
		Radiatori, convettori, strisce radianti ed aria calda	Pannelli integrati nelle strutture edilizie e disaccoppiati termicamente	Pannelli annessi alle strutture edilizie e non disaccoppiati termicamente
Solo Climatica (compensazione con sonda esterna) $K - (0,6 \eta_u \gamma)^{a)}$		K = 1	K = 0,98	K = 0,94
Solo di zona	On-off	0,93	0,91	0,87
	P banda prop. 2 °C	0,94	0,92	0,88
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,95	0,91
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,96	0,92
	PI o PID	0,99	0,97	0,93
Solo per singolo ambiente	On off	0,94	0,92	0,88
	P banda prop. 2 °C	0,95	0,93	0,89
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
Zona + climatica	On off	0,96	0,94	0,92
	P banda prop. 2 °C	0,96	0,95	0,93
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,96	0,94
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,97	0,95
	PI o PID	0,995	0,98	0,96
Per singolo ambiente + climatica	On off	0,97	0,95	0,93
	P banda prop. 2 °C	0,97	0,96	0,94
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
<p>a) <math>\gamma</math> rapporto tra apporti e dispersioni definito nella UNI/TS 11300-1; <math>\eta_u</math> fattore di utilizzo degli apporti definito nella UNI/TS 11300-1.</p> <p>Nota 1 Nel caso di assenza di regolazione della temperatura ambiente (solo termostato di caldaia), ai soli fini di valutazione dei miglioramenti dell'efficienza energetica, si possono utilizzare i valori della regolazione "solo climatica" con una penalizzazione di 0,05 sul rendimento.</p> <p>Nota 2 Per quanto riguarda le funzioni di regolazione contenute nella UNI EN 15232:2012 prospetto 2 punto 1.1, il tipo di regolazione "solo climatica" (compensazione con sonda esterna), nel caso di assenza di regolazione della temperatura ambiente (solo termostato di caldaia) corrisponde alla funzione 0 "No automatic control", mentre nel caso di presenza della compensazione con sonda esterna corrisponde alla funzione 1 "central automatic control". Le funzioni 2,3,4 contenute nello stesso punto "Individual room control", "Individual room control with communication" e "Individual room control with communication and presence control" fanno riferimento alle tipologie di regolazione di zona e singolo ambiente, così come previsto dalla stessa UNI EN 15232:2012 prospetto 2 punto 1.5.</p> <p>Nota 3 La norma UNI EN 215 sulle valvole termostatiche fornisce indicazioni sulle definizioni di banda proporzionale indicate nel prospetto.</p>				

Figura 8.6 Prospetto 20 da cui estrapolare il rendimento di regolazione

Nel caso analizzato è presente una regolazione solo di zona di tipo ON-OFF, per cui il rendimento è pari a 0,93.

Le perdite del sottosistema di regolazione, per ciascuna zona termica considerata, sono calcolate come:

$$Q_{l,rg} = (Q_H + Q_{l,e}) * \frac{1 - \eta_{rg}}{\eta_{rg}} \quad [kWh]$$

Con  $\eta_{rg}$  rendimento di regolazione appena scelto e  $(Q_H + Q_{l,e})$  rappresenta il fabbisogno di energia termica in entrata al sottosistema di emissione.

Si ricava quindi per i due appartamenti:

	<b>App.4</b>	<b>App.5</b>	
<b>Totale fabbisogno</b>	7515	8949	kWh
<b>Perdite emissione totali</b>	900	1072	kWh
<b>Perdite regolazione</b>	633	754	kWh

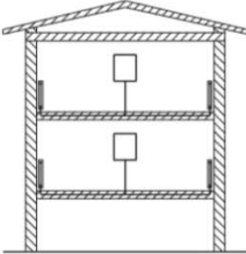
**Tabella 30** *Perdite totali del sistema di regolazione per i due appartamenti*

Si nota come tali perdite siano inferiori rispetto a quelle relative al sottosistema di emissione.

### **Perdite di distribuzione**

Il valore del rendimento di distribuzione viene estrapolato dai prospetti 21-22-23, a seconda della tipologia di sistema, e successivamente corretto mediante l'uso del prospetto 24 della suddetta norma, nel caso in cui le temperature di mandata e di ritorno dell'acqua calda siano diverse da 80 e 60 °C rispettivamente.

Nel caso di impianti di riscaldamento autonomi:

		
<b>1. Impianti autonomi con generatore unifamiliare in edificio condominiale</b>		
I valori sono applicabili solo qualora le tubazioni corrano interamente all'interno della zona riscaldata, come nel caso di generatore interno all'appartamento	Isolamento della rete di distribuzione orizzontale	
	<b>A</b>	<b>E</b>
Impianto autonomo a piano intermedio	0,99	0,99
Impianto autonomo a piano terreno su ambienti non riscaldati e terreno con distribuzione monotubo	0,96	0,95
Impianto autonomo a piano terreno su ambienti non riscaldati e terreno con distribuzione a collettori	0,94	0,93
Nota È escluso il caso su esterno o su pilotis; in tali casi si ricorra a metodi analitici.		

**Figura 8.7** Prospetto 24 da cui estrapolare il rendimento di distribuzione

Dove A indica un livello di isolamento con spessori conformi alle prescrizioni del DPR 412/93, mentre E corrisponde ad un isolamento scadente o inesistente in impianti realizzati antecedentemente all'entrata in vigore di tale decreto. Le altre lettere comprese tra questo intervallo rappresentano livelli di isolamento medi rispetto a quelli appena citati.

Il caso considerato presenta un impianto autonomo con generatore unifamiliare in edificio condominiale, in particolare l'impianto è situato in un piano intermedio, per cui il valore del rendimento è pari a 0,99.

Le perdite del sottosistema di distribuzione sono calcolate come:

$$Q_{l,d} = (Q_H + Q_{l,e} + Q_{l,rg}) * \frac{1 - \eta_d}{\eta_d} \quad [kWh]$$

Si ottiene:

	<b>App.4</b>	<b>App.5</b>	
<b>Totale fabbisogno</b>	7515	8949	kWh
<b>Perdite emissione totali</b>	900	1072	kWh
<b>Perdite regolazione</b>	633	754	kWh
<b>Perdite distribuzione</b>	91	109	kWh

**Tabella 31** *Perdite totali del sistema di distribuzione per i due appartamenti*

### **Perdite di accumulo**

Il calcolo delle perdite di energia termica del sottosistema di accumulo è stato effettuato nel capitolo relativo all'analisi e alle perdite dell'ACS.

### **Perdite di generazione**

Le perdite di generazione dipendono non solo dalle caratteristiche del generatore di calore, ma sono fortemente influenzate anche dalle modalità di inserimento del generatore nell'impianto e, in particolare, dal suo dimensionamento rispetto al fabbisogno dell'edificio, dalle modalità di installazione e dalla temperatura dell'acqua (media e/o di ritorno al generatore) nelle condizioni di esercizio (medie mensili).

Il rendimento medio stagionale di produzione differisce quindi dai rendimenti a pieno carico ed a carico parziale ottenuti con prove di laboratorio secondo le norme di riferimento.

Il rendimento di generazione viene calcolato utilizzando i dati pre-calcolati presenti nel prospetto 26 della UNI 11300-2:2014. Tale prospetto richiede la conoscenza dei fattori di correzione F1, F2 e F4.

Il primo tiene conto del rapporto fra la potenza del generatore installato (valore dipendente dal generatore scelto, ma nel caso in esame vi è la presenza dell'accumulo, per cui la potenza della caldaia viene scelta pari a 18 kW, inferiore rispetto a 24-25 kW tradizionali delle caldaie istantanee) e la potenza di progetto richiesta (quella calcolata secondo la UNI EN 12831 o, più accuratamente, quella risultante dalla simulazione).

Per generatori modulanti, come nel caso in esame, F1 si determina con riferimento alla potenza minima regolata. Inoltre, per valori compresi tra i valori indicati nel prospetto, si procede per interpolazione lineare. Il fattore F2 indica l'installazione della caldaia all'esterno (nel caso analizzato la caldaia è posta all'interno), mentre F4 indica una temperatura di media di caldaia maggiore di 65°C.

Dalla simulazione, si ottiene rispettivamente valori di potenza richiesta in condizioni di progetto (che è ricavata dal massimo valore della potenza calcolata in ogni step orario) pari a 7,94 kW e 9,31 kW.

Effettuando il rapporto si ricava il valore di F1, il quale vale rispettivamente 2,27 e 1,93.

Si procede dunque per interpolazione lineare, tramite i valori del prospetto, ottenendo una riduzione del rendimento per il fattore F1 di 2,41 % e 1,88 %.

Da questi valori viene calcolata la riduzione di rendimento dal prospetto 26:

Generatori di calore a camera stagna tipo C per impianti autonomi classificati *** (3 stelle)					
Valore di base	F1			F2	F4
	1	2	4		
93	0	-2	-5	-4	-1

Nota:  
valore di base riferito a: caldaia a tre stelle, sovradimensionamento 1 riferito al minimo di modulazione, installazione all'interno, camino alto meno di 10 m, temperatura di mandata in condizioni di progetto <65 °C.

**Figura 8.8** Prospetto 26 da cui estrapolare il rendimento di generazione

La caldaia è posizionata all'interno del singolo appartamento, per cui non vi è da tener conto del fattore F4. Però, poiché la temperatura di mandata in condizioni di progetto è maggiore di 65 °C, allora si tiene presente anche della riduzione di 1 punto percentuale del fattore F4. Per cui il rendimento di generazione risulta essere 89,6 % per l'appartamento 4 e 88,4 % per l'appartamento 5.

Le perdite del sottosistema di generazione sono calcolate come:

$$Q_{l,gn} = (Q_H + Q_{l,e} + Q_{l,rg} + Q_{l,d}) * \frac{1 - \eta_{gn}}{\eta_{gn}} \quad [kWh]$$

Ottenendo per entrambi gli appartamenti, considerando la medesima taglia della caldaia:

<b>Totale fabbisogno</b>	7515	8949	kWh
<b>Perdite emissione totali</b>	900	1072	kWh
<b>Perdite regolazione</b>	633	754	kWh
<b>Perdite distribuzione</b>	91	109	kWh
<b>Perdite generazione</b>	1059	1425	kWh

**Tabella 32** Perdite totali del sistema di generazione per i due appartamenti

Dalle singole perdite, si ottiene una perdita totale per l'appartamento 4 pari a 2679 kWh, mentre per l'appartamento 5 le perdite totali valgono 3361 kWh.

### 8.5.1 Fabbisogni elettrici degli ausiliari relativi al riscaldamento

Seguendo l'appendice B della normativa, la potenza degli ausiliari per il riscaldamento si ottiene con la seguente relazione:

$$W_{aux} = G + H * \phi_{pn}^n = 205,63 \quad [W]$$

dove G, H ed n sono tre parametri ricavati da tabella e valgono rispettivamente 0, 45 e 0,48.

La potenza nominale  $\phi_{pn}$  del generatore è anch'esso ricavato da tabella (scheda tecnica) e pari a 23,7 kW.

Il fabbisogno degli ausiliari vale dunque:

$$E_{aux} = \frac{W_{aux} * t_{gn}}{1000} = 388,23 \quad [kWh]$$

in cui  $t_{gn}$  rappresenta il tempo di attivazione del generatore. Dai fogli di calcolo costruiti si ricava un valore pari a 1888 h. Inoltre, è necessario ricordare che per ottenere il fabbisogno elettrico corrispondente si deve tener conto dei fattori di conversione.

## 8.6 Calcolo dell'energia finale e primaria

Il rendimento globale dell'impianto vale pertanto:

$$\eta_{g_4} = \eta_e * \eta_{rg} * \eta_d * \eta_{gn} = 0,7370$$

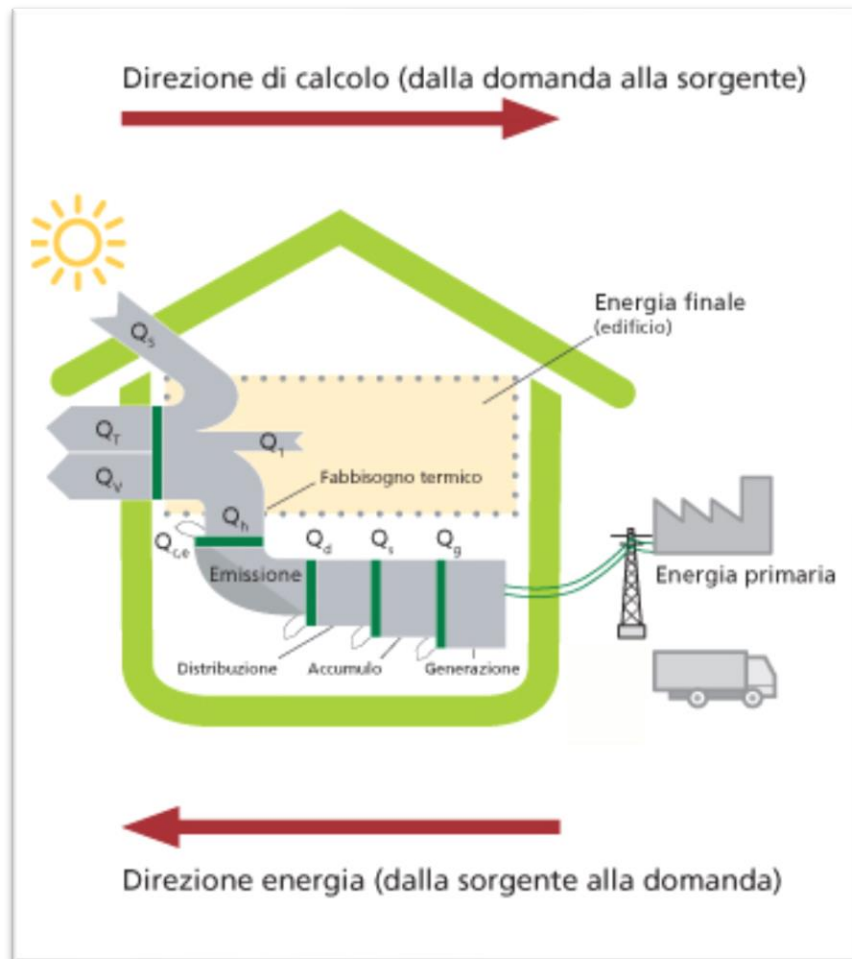
$$\eta_{g_5} = \eta_e * \eta_{rg} * \eta_d * \eta_{gn} = 0,7270$$

In primo luogo, ricordiamo che il valore trovato in seguito alla simulazione  $Q_H$  rappresenta il fabbisogno effettivo (netto) dell'appartamento, ma non tiene in conto delle perdite presenti tra la generazione e l'utilizzazione, così come non tiene conto delle perdite dovute alla generazione stessa e nemmeno alle perdite dovute al trasporto del vettore energetico (energia elettrica o gas metano) dalla zona di produzione fino all'abitazione.

È dunque utile distinguere tra questi diversi concetti.

I contributi di ventilazione, trasmissione, dei carichi interni e solari costituisce la “richiesta netta di energia” dell'edificio, ma considerando le perdite di emissione, distribuzione, regolazione e generazione, l'edificio stesso necessita di un quantitativo maggiore di energia, la quale è detta “energia finale” (o fabbisogno lordo); infine, tenendo conto delle perdite dovute al trasporto dell'energia da dove viene prodotta all'edificio stesso, il quantitativo di energia iniziale è ancora maggiore e detto “energia primaria”.





**Figura 8.9** *Rappresentazione delle energie nell'edificio. Il fabbisogno netto è ottenuto considerando le perdite per trasmissione e ventilazione, oltre che ai guadagni interni e solari, il fabbisogno lordo (energia finale) è invece calcolato a partire dai rendimenti dei sottosistemi, infine l'energia primaria tiene conto delle perdite dovute al trasporto dal punto di produzione all'edificio stesso.*

L'energia finale per i due appartamenti per il riscaldamento ambientale vale:

$$Q_{f,H,A} = (Q_H + Q_{l,e} + Q_{l,rg} + Q_{l,d} + Q_{l,gn}) = 10169 \text{ kWh}$$

$$Q_{f,H,5} = (Q_H + Q_{l,e} + Q_{l,rg} + Q_{l,d} + Q_{l,gn}) = 12309 \text{ kWh}$$

Che corrisponde con il fabbisogno lordo a monte del generatore di calore.

Il passaggio dall'energia finale all'energia primaria viene fatto mediante dei fattori di conversione:

$$f_p = \frac{\text{energia primaria}}{\text{energia finale}}$$

Che prendono appunto in considerazione l'energia richiesta per il trasporto del vettore energetico dalla fonte all'utilizzazione nell'edificio. Generalmente questi valori sono tabellati, infatti per il gas si considerano il 10% di perdite per effettuare tale percorso, così per ogni kWh<sub>f</sub> bruciato sono necessari 1,1 kWh<sub>p</sub> di energia primaria; analogamente, per l'energia elettrica si considerano il 60% di perdite, per cui per ogni kWh<sub>E</sub> sono necessari 2,5 kWh<sub>P</sub> di energia primaria.

Il concetto di energia primaria è fondamentale, poiché il principale scopo dell'UE è quello di ridurre il consumo.

Inoltre, l'energia primaria è utile per poter riassumere i valori calcolati per i diversi tipi di energia, come quella elettrica e termica.

L'energia primaria  $E_P$  fornita per il riscaldamento ambientale e per il servizio di ACS viene valutata come:

$$E_P = \sum Q_{f,H} * f_{p,i} + \sum W_H * f_{p,i} + \sum Q_{f,W} * f_{p,i} + \sum W_W * f_{p,i} \quad [kWh]$$

dove  $Q_{f,H}$  è l'energia richiesta per il riscaldamento,  $Q_{f,W}$  è l'energia richiesta per la produzione di ACS,  $W_H$  e  $W_W$  sono le energie ausiliarie necessarie per il riscaldamento e la produzione di acqua calda rispettivamente, mentre  $f_{p,i}$  è il fattore di conversione sopra descritto per ogni tipo di energia utilizzata e sono valori forniti su base nazionale.

Le energie finali sia per il riscaldamento che per la produzione di acqua calda sono calcolate sommando i contributi di richiesta effettiva e delle perdite associate per ciascuno dei due sistemi, a cui devono essere sottratti contributi di energia relativi alle perdite recuperate. Ma, come è stato spiegato nei relativi paragrafi, non vi sono perdite recuperate, quindi le energie finali sono date solamente dalla somma del fabbisogno effettivo e dalle perdite esistenti tra l'emissione e la generazione.

Come descritto precedentemente in figura, il calcolo è stato fatto inizialmente sull'involucro ed il suo fabbisogno, analizzando le perdite dovute alla ventilazione e alla trasmissione e ai guadagni dovuti ai carichi interni e solari (ricavando così il fabbisogno netto richiesto dai due appartamenti), poi sono state analizzate le perdite dall'emissione alla generazione (ricavando l'energia finale) e infine procedendo a ritroso si è ottenuta l'energia primaria.

Tenendo presente tutte le considerazioni precedenti si ottiene il valore dell'energia primaria necessaria per fornire i fabbisogni netti per l'ACS e il riscaldamento ai due appartamenti:

$$E_{p_4} = 15524 \text{ kWh}$$

$$E_{p_5} = 18206 \text{ kWh}$$

Come ultima considerazione, è possibile calcolare l'indice di prestazione energetica (espresso in kWh/m<sup>2</sup>anno) sia per la climatizzazione invernale che per la produzione di ACS, per entrambi gli appartamenti.

Tale indice è già stato calcolato nel caso di ACS, per cui viene riportato per la climatizzazione invernale:

$$E_p = \frac{Q_H}{\eta_g * A_p} = \frac{Q_{lordo}}{A_p} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{anno}} \right]$$

Il rendimento globale è stato precedentemente calcolato, mentre  $A_p$  rappresenta l'area in pianta dei due appartamenti e  $Q_{lordo}$  è invece dato dalla somma del fabbisogno netto e le perdite. Il fabbisogno  $Q_H$  rappresenta il fabbisogno utile, quindi a valle dell'emissione, mentre  $Q_{lordo}$  rappresenta il fabbisogno lordo a monte della generazione.

Si ottiene per i due casi:

$$E_{p_4} = 97,35 \frac{kWh}{m^2 anno}$$

$$E_{p_5} = 100,73 \frac{kWh}{m^2 anno}$$

I valori ottenuti sono stati dunque ricavati tenendo conto dell'energia richiesta a monte della generazione e dalla superficie utile dell'appartamento.

Tali valori corrispondono ad una classe energetica E.

Tutti i dati trovati utili ricavati fino ad ora possono essere riportati nella tabella a pagina seguente.

	<b>Appartamento 4</b>	<b>Appartamento 5</b>	
<b>Fabbisogno netto per riscaldamento</b>	7491	8949	kWh
<b>Perdite totali climatizzazione invernale (emissione, regolazione, distribuzione, generazione)</b>	2679	3361	kWh
<b>Energia finale per riscaldamento</b>	10169	12309	kWh
<b>Fabbisogno netto per produzione ACS (inverno)</b>	1027	1155	kWh
<b>Fabbisogno netto per produzione ACS (estate)</b>	625	703	kWh
<b>Fabbisogno netto per produzione ACS totale</b>	1652	1858	kWh
<b>Perdite totali per la produzione di ACS (erogazione, distribuzione, accumulo, generazione)</b>	1068	1159	kWh
<b>Energia finale per ACS</b>	2720	3018	kWh
<b>Energia ausiliari climatizzazione invernale</b>	388		kWh <sub>e</sub>
<b>Energia ausiliari ACS</b>	150		kWh <sub>e</sub>
<b>Energia primaria</b>	11430	13234	kWh
<b>Rendimento globale impianti riscaldamento</b>	73,70	72,70	%
<b>Rendimento globale impianti ACS</b>	88,69		%
<b>Indice prestazione energetica riscaldamento</b>	97,35	100,73	kWh/m <sup>2</sup> anno
<b>Indice prestazione energetica ACS</b>	25,96	24,69	kWh/m <sup>2</sup> anno

## 8.7 Valutazioni economiche

Per quanto riguarda invece l'aspetto economico, sono analizzati i costi annuali dovuti all'uso del combustibile metano per il riscaldamento e la produzione di ACS, secondo i valori forniti dall' ARERA (Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambienti). Poiché questi valori sono forniti con una quota energia e una quota fissa per quattro diversi trimestri nell'arco dell'anno, per semplicità di calcolo sono utilizzate delle medie aritmetiche per quanto riguarda la quota energia.

Poiché i valori meteo sono quelli relativi all'anno 2015, allora anche per il costo del metano sono stati assunti quelli dello stesso anno.

### Climatizzazione invernale

I costi annuali dovuti al riscaldamento sono riportati nella seguente tabella:

<b>Riscaldamento</b>	<b>Quota energia</b>	<b>Quota fissa</b>	
<b>Prezzi Autorità</b>	euro/Stm <sup>3</sup>	euro/anno	
<b>Primo trimestre</b>	0,46	100,04	
<b>Secondo trimestre</b>	0,43	100,04	
<b>Terzo trimestre</b>	0,43	100,04	
<b>Quarto trimestre</b>	0,44	100,04	
<b>Media</b>	0,44	100,04	
<b>Energia finale</b>	10203	12309	kWh
<b>PCI</b>	9,43	9,43	kWh/Stm <sup>3</sup>
<b>Consumo</b>	975	1166	Stm <sup>3</sup>
<b>Coefficiente C</b>	1,04460398		
<b>Consumo</b>	933	1116	m <sup>3</sup>
<b>Spesa</b>	831	916	euro

**Tabella 33** Prezzo per trimestre del metano, consumo e spesa annua per il riscaldamento

Ottenendo per l'appartamento 4 una spesa pari a 831 euro annuali, mentre per l'appartamento 5 la spesa è di 916 euro. Tali valori si riferiscono al solo riscaldamento.

Le energie finali sono i fabbisogni termici in termini di kWh per ogni appartamento, calcolati precedentemente, a monte del generatore di calore, comprendente dunque il fabbisogno effettivo e le perdite.

Il potere calorifico del metano rappresenta la quantità di calore che è possibile estrarre in seguito alla combustione in caldaia; si distingue tra potere calorifico superiore da quello inferiore nel caso in cui sia possibile (mediante una caldaia a condensazione) recuperare anche il calore dovuto alla condensazione dell'acqua. Infatti, in ogni reazione di combustione vi è generazione di vapore d'acqua da cui, se viene fatto condensare, è possibile recuperare ulteriore calore.

È importante ricordare anche che il volume del gas che arriva nell'edificio varia a seconda delle condizioni in cui si trova, ovvero subisce variazioni di volume dovute alla temperatura e alla pressione esterna. La quantità di gas presente in un metro cubo è quindi differente a seconda che ci si trova al mare o in montagna, in inverno o in estate. Per garantire ai consumatori un calcolo adeguato ai consumi, l'ARERA (Autorità di Regolazione per Enti Reti e Ambiente) ha introdotto l'obbligo da parte dei fornitori di calcolare l'ammontare dei metri cubi di gas naturale applicando un coefficiente di conversione, il coefficiente C, che converte appunto i metri cubi registrati dal contatore, in Standard metri cubi, considerando il volume di gas in condizioni standard di temperatura e pressione (ovvero 15 °C e 1013,25 mbar). Il coefficiente C è quindi il coefficiente che converte il consumo misurato dal contatore, espresso in metri cubi, nell'unità di misura di fatturazione, cioè gli Standard metri cubi. La conversione con tale coefficiente C è necessaria per assicurare al cliente di ricevere una bolletta relativa ai volumi di energia del gas effettivamente consumati.

Il calcolo del coefficiente C si basa su tre fattori:

- Altitudine del Comune dell'abitazione (H)
- Numero di gradi giorno del Comune di riferimento (GG)
- Giorni di esercizio dell'impianto di riscaldamento (ng, pari a 183 per la zona E)

L'altitudine viene ricavata dalla UNI 10349 ed è pari a 59 m.

Il numero di gradi giorno è dato dalla somma, eseguita giorno per giorno lungo l'arco della stagione di riscaldamento, della differenza tra la temperatura interna e la temperatura media esterna giornaliera. Nel foglio Excel in cui sono stati analizzati i risultati delle simulazioni, vi è anche il calcolo del numero di gradi giorno ed è pari a 2660.

Una volta considerati questi dati, viene calcolato il coefficiente C mediante questa successione di formule:

$$pb = 1,01325 * (1 - 0,0000225577 * H)^{5,2559} = 1,064158$$

$$kp = \frac{(pb+0,02)}{1,01325} = 1,06998$$

$$gg = \frac{GG}{ng} = 14,53542$$

$$kt = \frac{288,15}{(295,15-gg)} = 1,026853$$

$$C = kp * kt = 1,098713$$

Ciò significa che è sufficiente dividere il volume di gas espresso in Standard metri cubi per il valore del coefficiente C, in modo da ricavare il valore effettivo in metri cubi.

Infine, l'ultimo valore da ricavare è quello relativo al prezzo del metano. Tale valore dipende sia dalla macro-regione in cui l'edificio è ubicato, ma anche dallo scaglione del consumo di gas naturale: nel caso esaminato, poiché l'edificio è situato in Veneto e il consumo di gas nei due appartamenti è compreso tra i 481 e i 1500 Sm<sup>3</sup>/anno, allora il prezzo del gas definitivo (comprendente la materia prima, il trasporto e la gestione del contatore e gli oneri di sistema) è pari al valore medio riportato in tabella 33, frutto della media dei vari trimestri. Di conseguenza, moltiplicando tale valore per il volume annuale consumato (espresso in Stm<sup>3</sup>) si ricava il costo annuale dei due appartamenti.



## Produzione ACS

Per quanto riguarda la produzione di ACS si ottiene:

ACS	Quota energia	Quota fissa	
<b>Prezzi Autorità</b>	euro/Stm <sup>3</sup>	euro/anno	
<b>Primo trimestre</b>	0,462272	100,04	
<b>Secondo trimestre</b>	0,434539	100,04	
<b>Terzo trimestre</b>	0,428027	100,04	
<b>Quarto trimestre</b>	0,44406	100,04	
<b>Media</b>	0,4422245	100,04	
<b>Consumo</b>	175	197	Stm <sup>3</sup>
<b>Energia finale</b>	2720	3018	kWh
<b>PCI</b>	9,43	9,43	kWh/Stm <sup>3</sup>
<b>Coefficiente C</b>	1,04460398		
<b>Consumo</b>	168	186	m <sup>3</sup>
<b>Spesa</b>	478	487	euro

**Tabella 34** Prezzo per trimestre del metano, consumo e spesa annua per ACS

In cui i parametri citati precedentemente sono riportati con i medesimi valori (coefficiente C, PCI, prezzo del metano) e la procedura è identica a quella della climatizzazione invernale, ma variano i valori dei fabbisogni termici per l'ACS nei due appartamenti.

## Spesa totale

Considerando entrambi i sistemi in cui è necessario l'utilizzo di gas naturale, si ha per l'appartamento 4 un costo annuale pari a 1309 € (ed un consumo di gas pari a 1101 m<sup>3</sup>), mentre per l'appartamento l'esborso annuale è di 1403 € (ed un consumo di gas pari a 1305 m<sup>3</sup>).



# Capitolo 9

## Analisi della regolazione con impianto radiatori

Nel seguente capitolo vengono affrontate diverse soluzioni impiantistiche possibili per quanto concerne la regolazione, sfruttando i radiatori come terminali di impianto. Dopo una breve presentazione su questa tipologia di terminali e la corrispettiva trattazione matematica, oltre alla descrizione del dispositivo di regolazione utilizzato, nel presente capitolo vengono descritti i diversi casi studio esaminati, i quali si differenziano tra loro per la diversa tipologia di regolazione di temperatura dovuta ad una differente disposizione dei dispositivi di controllo (termostati) all'interno dell'appartamento. L'analisi viene proposta solamente per l'appartamento 4, in quanto il secondo appartamento è speculare (ad eccezione di una camera da letto) e quindi i risultati sarebbero molto simili tra loro. I terminali di emissione sono disposti in ogni stanza, però non nel corridoio e nell'antibagno. Inoltre, all'interno di tale capitolo, viene descritto anche come il modello è stato costruito per ogni caso esaminato, tramite il software di simulazione dinamica *Trnsys*, e sono dunque riportati i risultati ottenuti. L'obiettivo è quello di confrontare il fabbisogno ottenuto dalla simulazione del solo involucro (fabbisogno netto) con il fabbisogno ottenuto simulando il comportamento dei radiatori e variando la disposizione dei termostati nelle diverse stanze (fabbisogno lordo che tiene conto della sola emissione e regolazione). In tal modo è possibile ottenere, dal rapporto dei fabbisogni, il valore del prodotto dei rendimenti di emissione e regolazione; tale risultato viene infine confrontato con il valore ottenuto dalla normativa UNI 11300 vista in precedenza.

## 9.1 I radiatori come terminale di impianto

I radiatori sono utilizzati per il solo riscaldamento come corpi scaldanti che cedono calore per convezione ed irraggiamento tramite il passaggio di acqua calda al loro interno. Tali corpi sono costituiti da elementi verticali uguali disposti in colonne (il cui numero determina la taglia del terminale) tipicamente in ghisa, lamiera d'acciaio o alluminio e vengono assemblati tra loro e collegati alle tubazioni di mandata e ritorno mediante opportune valvole di intercettazione. Solitamente i produttori forniscono le rese termiche, ovvero la potenza erogata all'ambiente in condizioni di riferimento, altrimenti sono forniti dei coefficienti correttivi per il funzionamento in condizioni diverse; tra queste si deve tener conto della finitura del radiatore, la quale può incidere pesantemente sull'efficienza del terminale stesso. È consigliabile posizionare i radiatori sotto finestra o lungo le pareti esterne: se così non fosse, l'aria fredda formata in corrispondenza di queste superfici tenderebbe a scendere verso il basso e a generare discomfort, mentre se vi è la presenza di corpi scaldanti; l'aria fredda (mescolandosi con quella più calda) aumenta la propria temperatura e viene spostata così verso l'alto e, raffreddandosi in seguito, ritorna verso il basso ma con una temperatura maggiore rispetto al caso precedente, senza generare discomfort termico.

Il bilanciamento dell'impianto viene fatto modificando la valvola manuale in alto e la valvola detentore in basso, in modo da avere una certa perdita di carico all'interno del radiatore più vicina alla centrale termica per favorire il passaggio della portata al radiatore da essa più distante.

I fattori che influenzano maggiormente le prestazioni dei radiatori sono tre: la posizione di installazione, la temperatura del fluido termovettore e, come già detto, le caratteristiche della finitura di verniciatura differente da quella originaria. In realtà esistono altri fattori da tener conto, come indicato nel metodo ASHRAE che è utilizzato in questa analisi, la cui trattazione viene ora proposta.

## 9.2 Trattazione matematica e dimensionamento dei terminali

Il radiatore è uno scambiatore di calore la cui resa termica è descritta dall'equazione:

$$q_R = c * (T_s - T_a)^n \quad [kW]$$

in cui i coefficienti  $c$  ed  $n$  sono forniti dalle schede tecniche e si riferiscono ad un radiatore oppure ad un suo elemento.

Il primo passo è quello di calcolare la costante caratteristica del corpo scaldante  $c$ , poiché dev'essere adattato alle condizioni di progetto analizzate:

$$c = \frac{q_{prog}}{(T_{s,prog} - T_{a,prog})^n} \quad [-]$$

In cui le due temperature rappresentano rispettivamente la temperatura della superficie e la temperatura dell'aria utilizzate per calcolare il calore ceduto nelle condizioni di progetto.

È necessario tener conto che il terminale non lavora quasi mai nelle condizioni di progetto e vengono introdotti due fattori i quali tengono conto della velocità dell'acqua all'interno del radiatore e dell'altitudine a cui è posizionato il terminale.

La correzione per la velocità viene calcolata come:

$$F_v = \left(\frac{V}{0,9}\right)^{0,04} \quad [-]$$

La velocità  $V$  dell'acqua all'interno del terminale è ricavata dalla seguente equazione:

$$V = \frac{\frac{\dot{m}}{\rho}}{N_{tubi}} \quad \left[\frac{m}{s}\right]$$

parametro che dipende dalla portata d'acqua che attraversa il terminale, dalla sua densità e dall'area di passaggio complessiva, ricavata dal prodotto dell'area di un singolo tubo e dal numero di tubi.

L'area di un singolo tubo dipende dal valore del diametro interno, secondo la relazione:

$$A = \pi * \left(\frac{d_{interno}}{2}\right)^2 \quad [m^2]$$

Il fattore di correzione per l'altitudine viene, invece, ricavato dall'espressione:

$$F_a = \left(\frac{p}{p_{std}}\right)^n \quad [-]$$

in cui  $p$  è la pressione atmosferica relativa alla quota di installazione, mentre  $p_{std}$  è la pressione standard calcolata sul livello del mare, infine  $n$  dipende dal tipo di unità.

Una volta calcolati i due fattori correttivi, può essere calcolato il calore ceduto all'aria nella stanza:

$$q_{aria} = F_v F_a c * (T_s - T_a)^n \quad [kW]$$

La temperatura superficiale del radiatore  $T_s$  viene ottenuta con buona approssimazione dalla media tra la temperatura in ingresso dell'acqua e quella di uscita:

$$T_s = \frac{T_{acqua,in} + T_{acqua,out}}{2} \quad [^{\circ}C]$$

La potenza termica trasferita dal flusso d'acqua è pertanto pari a:

$$q_{acqua} = \dot{m} c_p (T_{acqua,in} - T_{acqua,out}) \quad [kW]$$

Gli input forniti sono la temperatura dell'aria nella stanza  $T_a$ , la temperatura di entrata dell'acqua nel terminale  $T_{acqua,in}$  e la portata d'acqua  $\dot{m}$  che attraversa il radiatore.

Le equazioni presentate sono implementate nella *type* del radiatore utilizzate nel software.

Gli output ricavati sono il flusso termico trasferito (ovvero la potenza espressa in kJ/h) e la temperatura di uscita dell'acqua dal terminale  $T_{acqua,out}$ .

La trattazione matematica descritta è la stessa utilizzata dal software di calcolo, per cui gli input da fornire al codice di calcolo sono tre:

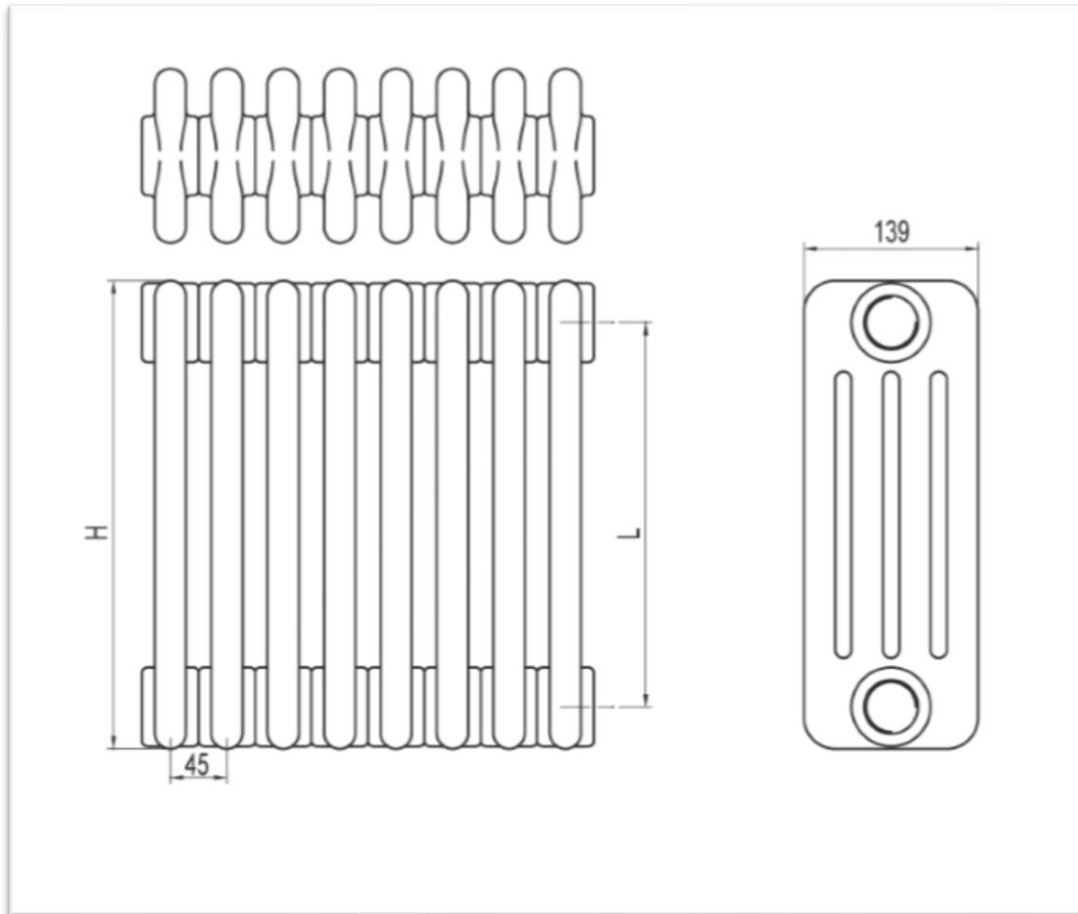
- la potenza di progetto del radiatore
- il numero di tubi totali in cui scorre il fluido
- la portata che lo attraversa.

L'iter progettuale si suddivide in alcune brevi fasi.

In primo luogo, si ricava la potenza massima richiesta dall'ambiente in cui si intende installare il terminale d'impianto, la quale viene maggiorata in modo da avere tempi brevi nel riportare le stanze in temperatura a seguito a periodi di spegnimento più o meno lunghi (come accade di notte, ad esempio). Nel caso in esame questo valore è ricavato dalla simulazione, in cui si prende come riferimento il valore massimo tra quelli richiesti per ogni step temporale (15 minuti) nell'arco dell'anno. Si ricorda a tal proposito che la simulazione fornisce i valori di fabbisogno termico espressi in kJ/h.

Di fondamentale importanza è anche la scelta della temperatura di lavoro del fluido che attraversa il terminale d'impianto, infatti nel caso esaminato si considera che la caldaia fornisca, per il riscaldamento, acqua calda alla temperatura di 80 °C. Successivamente, si sceglie il tipo di radiatore: nell'appartamento 4 sono installati dei radiatori aventi le medesime tipologie descritte in tabella.

Le caratteristiche dei radiatori Tesi (prodotto IRSAP) sono le seguenti:



Caratteristiche costruttive:

- tubi in lamiera d'acciaio di diametro 25 mm
- collettori in lamiera d'acciaio stampati
- lunghezza elementi 45 mm (passo del singolo elemento)
- filettature estremità collettore sup. e inf. 1"1/4 G dx o sx
- pressione di esercizio massima ammessa 8 bar
- temperatura di esercizio massima ammessa 95°C

**Figura 9.1** *Caratteristiche del radiatore Tesi (IRSAP)*



Fa riferimento una tabella tecnica, in cui i terminali scelti presentano un'altezza pari a 75,2 cm, dove sono riportati gli altri parametri necessari al dimensionamento:

Modello	Codice	Prof. mm	Altezza mm	Interass. mm	Peso mm	Cal. lt	kcal/h dt=50°C	Watt dt=50°C	Watt dt=40°C	Watt dt=30°C	Watt dt=20°C	Esp.n.
200	RT40200 yy 01 IR no	139	194	127	0.57	0.60	22.3	26	19	13	8	1.326
300	RT40300 yy 01 IR no	139	302	235	0.83	0.78	36.2	42	32	22	13	1.258
400	RT40400 yy 01 IR no	139	402	335	1.06	0.95	47.0	55	41	28	17	1.272
500	RT40500 yy 01 IR no	139	502	435	1.30	1.11	57.5	67	50	35	21	1.286
600	RT40600 yy 01 IR no	139	602	535	1.54	1.28	67.9	79	59	41	24	1.300
750	RT40750 yy 01 IR no	139	752	685	1.89	1.53	83.2	97	72	49	29	1.322
900	RT40900 yy 01 IR no	139	902	835	2.25	1.78	98.3	114	85	58	33	1.343
1000	RT41000 yy 01 IR no	139	1002	935	2.49	1.94	108.3	126	93	64	37	1.340
1200	RT41200 yy 01 IR no	139	1202	1135	3.18	2.25	128.0	149	110	75	44	1.335
1500	RT41500 yy 01 IR no	139	1502	1435	3.96	2.74	157.1	183	136	93	54	1.328
1800	RT41800 yy 01 IR no	139	1802	1735	4.74	3.23	185.8	216	161	110	64	1.321
2000	RT42000 yy 01 IR no	139	2002	1935	5.26	3.55	204.8	238	178	122	71	1.317
2200	RT42200 yy 01 IR no	139	2202	2135	5.78	3.88	223.6	260	194	133	78	1.312
2500	RT42500 yy 01 IR no	139	2502	2435	6.55	4.37	251.8	293	219	150	88	1.306

Per dt diversi da 50°C utilizzare la formula:  $Q=Q_n (dt / 50)^n$

**Figura 9.2** Parametri utili al fine del dimensionamento del radiatore: potenza su elemento ed esponente  $n$

Tale scheda si riferisce al singolo elemento costituente il radiatore, in cui in ognuno è presente un contenuto d'acqua pari a 1,53 litri e la potenza fornita, sempre per ciascuno di essi, vale 97 W. Questo valore è stato ricavato dalla colonna corrispondente ad una differenza di temperatura pari a 50 °C, infatti la temperatura media dell'acqua nel radiatore è data considerando le temperature dell'acqua in ingresso e uscita del radiatore (nelle condizioni di progetto):

$$T_s = \frac{T_{acqua,in} + T_{acqua,out}}{2} = \frac{80 + 60}{2} = 70 \text{ °C}$$

Per cui la differenza di temperatura tra la temperatura media nel terminale appena calcolata (70 °C) e la temperatura dell'ambiente in condizioni standard (20 °C) è pari a 50 °C. Questo è il motivo per cui è stato scelto in tabella il valore corrispondente ad una differenza di temperatura di 50°C.

Inoltre, si nota che il coefficiente  $n$  corrispondente all'elemento scelto vale 1,322.

Nota la potenza (maggiorata) richiesta dall'ambiente da riscaldare e nota la potenza emessa da ciascun elemento, tramite il semplice rapporto tra questi ultimi, si ottiene il numero di elementi necessari da installare.

Mediante approssimazione si ottiene un numero intero rappresentante il numero di elementi del terminale e si ricava, attraverso una semplice moltiplicazione, il valore corretto della potenza di progetto emessa da ogni radiatore. Si ricorda che il secondo input richiesto relativo al numero di tubi, viene ricavato tenendo conto che per ogni elemento ci sono quattro tubi, come rappresentato nella figura. Infine, l'ultimo input è la portata che attraversa il terminale, la quale viene ricavata tramite l'equazione della portata e riportata in l/h:

$$\dot{m} = \rho * V * A \quad [l/h]$$

Prodotto tra la densità del fluido, la velocità e l'area del tubo.

Il dimensionamento nelle condizioni di progetto è così concluso.

Analizzando brevemente i fattori correttivi, si ottengono le informazioni sotto riportate.

L'edificio è ubicato a Verona, la cui altezza media sopra al livello del mare è di 59 m, inoltre l'appartamento esaminato è a piano intermedio (più precisamente al secondo piano), per cui l'altezza complessiva è di circa 63 m.

La pressione associata a tale altitudine viene calcolata come:

$$p = 101,3 - 0,0113 * H = 100,59 \quad [kPa]$$

Ricordando che la pressione a livello del mare vale 101,3 kPa e considerando un fattore  $n$  pari a 0,5 (lamiera d'acciaio), si ottiene un fattore di correzione per l'altezza  $F_a$  pari a 0,997 (approssimabile all'unità). Pertanto, tale fattore non incide sulla potenza emessa dal radiatore.

Il fattore correttivo per la velocità dipende dalla velocità stessa con cui il fluido scorre nel terminale e ciò dipende dal numero di tubi di cui esso è composto, quindi varia da stanza a stanza.

Come precedentemente scritto, vengono ricercate le potenze massime richieste da ogni stanza (in cui è presente almeno un radiatore) nell'arco dell'anno.

	<b>Sogg.</b>	<b>Cam2</b>	<b>Cam3</b>	<b>Bagno5</b>	<b>Cam6</b>	<b>Bagno7</b>	<b>Cucina</b>	
<b>Potenza</b>	2,15	1,98	1,35	0,64	0,91	0,47	1,32	kW
	7742	3530	4851	2288	3283	1696	4770	kJ/h

**Tabella 35** Valori di potenza massima ricavata per ogni stanza e maggiorata per tener conto delle perdite

Tali valori sono stati maggiorati del 20 % per tener conto dei periodi di spegnimento (ad eccezione del bagno 5 e della cucina in cui si è tenuto conto di una maggiorazione del 50 % poiché sfavoriti dall'ubicazione, come si evince dal rapporto tra l'area delle superfici disperdenti e il volume della stanza).

È stato scelto un tipo di radiatore per ogni stanza avente un elemento la cui potenza sensibile emessa è pari a 97 W, di conseguenza si ricava il numero di elementi da installare in ogni zona termica:

	<b>Sogg.</b>	<b>Cam2</b>	<b>Cam3</b>	<b>Bagno5</b>	<b>Cam6</b>	<b>Bagno7</b>	<b>Cucina</b>	
<b>N. elementi</b>	22	10	13	6	9	4	13	-

**Tabella 36** Numero di elementi arrotondato necessario per ogni terminale per cedere le potenze descritte nella tabella precedente

L'arrotondamento è stato considerato per difetto o per eccesso a seconda del valore decimale ottenuto.

Dall'equazione caratteristica della potenza, lato acqua, è possibile ricavare la portata, che varia a seconda della potenza richiesta per ogni zona termica:

$$\dot{m} = \frac{q_{acqua}}{c_p * \Delta T} * 3600 = \frac{q_{richiesta}}{4190 * 20} * 3600 \quad \left[ \frac{l}{h} \right]$$

Infatti, si è ipotizzato che il sistema di generazione è stato progettato per lavorare con una differenza di temperatura pari a 20 °C: l'acqua di mandata presenta una temperatura di 80 °C, si raffredda attraverso i terminali, e rientra nella caldaia con una temperatura pari a 60 °C.

Ottenendo:

	<b>Sogg.</b>	<b>Cam2</b>	<b>Cam3</b>	<b>Bagno5</b>	<b>Cam6</b>	<b>Bagno7</b>	<b>Cucina</b>	
<b>Portata</b>	92	42	57	27	39	20	56	l/h

**Tabella 37** Valori della portata che scorre nei terminali delle stanze

Si ricorda che il valore del calore specifico dell'acqua varia leggermente con la temperatura, mentre i valori della portata possono essere espressi anche in kg/h, in quanto la densità dell'acqua è circa 1 kg/l.

L'area del singolo tubo è stata ricavata a partire dalle dimensioni del diametro esterno, pari a 25 mm.

Noto il valore della portata, tramite l'equazione si ricava la velocità dell'acqua che scorre nei tubi che è pari a 2,13 m/s, valore identico per qualsiasi numero di elementi componenti il radiatore.

Di conseguenza, il fattore di correzione della velocità è identico per ogni ambiente ed è pari a 1,03.

Riassumendo, il software richiede come dati di input la portata di acqua che circola all'interno del terminale, la potenza di progetto ceduta dal radiatore e il numero di tubi, mentre gli output sono diversi ma si considera la potenza ceduta da ogni radiatore, parametro fondamentale per il calcolo dei fabbisogni di ogni stanza, e la temperatura dell'ambiente per ogni step temporale; vengono forniti altri parametri come la portata uscente dal radiatore o la temperatura del fluido uscente dal terminale stesso, ma questi valori vengono utilizzati solo per un controllo (per la verifica di eventuali errori commessi nella costruzione del modello).

### 9.3 Sistema di regolazione a punto fisso e regolazione climatica

Il compito del sistema di controllo (regolazione) è quello di bilanciare il calore fornito (o sottratto) dall'impianto, con le perdite (o i guadagni) termiche dell'edificio in ogni istante. Ciò è essenziale per mantenere l'ambiente termico stabile, entro le condizioni di comfort viste nel Capitolo 4, sia in termini di temperatura, ma anche di umidità e di qualità dell'aria. La regolazione inoltre è utile anche per la riduzione dei consumi, infatti ha il compito di adeguare l'energia fornita con quella effettivamente richiesta dall'edificio in un dato istante, modulando la portata del fluido termovettore oppure la sua temperatura.

I sistemi di regolazione sono sempre in evoluzione e al passo con l'avanzamento tecnologico infatti, al giorno d'oggi, presentano la possibilità di monitorare in tempo reale il funzionamento dell'intero impianto, oltre alla possibilità di essere integrati con gli altri impianti dell'edificio e l'accesso a funzioni di controllo remoto (domotica).

In alcuni dei casi proposti in seguito, la temperatura del fluido termovettore in uscita dal generatore di calore è fissata e pari a 80 °C, dunque la potenza che il radiatore cede all'ambiente dipende dal passaggio o meno del fluido all'interno del terminale. È il sistema di regolazione che regola il passaggio del fluido nel radiatore, in modo tale da mantenere la temperatura desiderata nelle diverse zone: se il fluido scorre all'interno del terminale allora esso cede energia termica all'ambiente, altrimenti ciò non avviene.

Ricordiamo che il sistema di controllo presenta un proprio rendimento (come avviene nel sistema di emissione, distribuzione e generazione) il quale è tanto maggiore quanto più la temperatura ambiente è costante nel tempo e uniforme tra i diversi ambienti che sono regolati dallo stesso sistema di regolazione; i valori di questi rendimenti sono fondamentali per il calcolo del fabbisogno energetico lordo (energia consegnata all'edificio/appartamento) a partire dal fabbisogno energetico netto (energia consegnata ai terminali), ai fini della certificazione energetica o in fase di redazione di una diagnosi energetica.

Un sistema di regolazione, per essere definito tale, deve presentare un elemento sensibile (quale una sonda o un sensore di misura), un regolatore (nel caso esaminato è il termostato), un attuatore o un servomotore (il quale converte il segnale di comando proveniente dal regolatore nell'azione regolante sul dispositivo di controllo) e un organo finale di regolazione.

Si supponga di essere in presenza di termostati bimetallici: essi presentano un sottile nastro (a forma di U o avvolto a spirale), costituito da due differenti metalli, con diversi coefficienti di dilatazione termica, in cui al variare della temperatura, si modifica la curvatura del bimetallo, con l'effetto di aprire/chiudere dei contatti elettrici.

Un buon sistema di regolazione deve confrontare continuamente la temperatura ambiente con il valore di set point scelto, in modo da far aumentare o diminuire la potenza emessa dal terminale di impianto, e deve essere in grado di percepire rapidamente l'incremento o la riduzione stessa della temperatura, così da poter agire tempestivamente. Inoltre, dovrebbe poter percepire anche gli apporti gratuiti, come quelli forniti ad esempio dall'irraggiamento solare, e modulare proporzionalmente la potenza termica del corpo scaldante (in modo da sfruttare questi guadagni termici gratuiti senza avere un esubero di temperatura interna dell'ambiente da riscaldare).

Come è stato detto, alcuni casi riguardano la completa chiusura o apertura delle valvole precedenti ai terminali, in modo da regolare la potenza emessa, mantenendo la temperatura di mandata fissata dell'acqua e pari a 80 °C (regolazione a punto fisso).

È anche possibile avere una regolazione climatica, in cui la temperatura di mandata del fluido termovettore varia a seconda della temperatura esterna. Va però subito chiarito che questa è una tipologia di regolazione del fluido termovettore e non della temperatura ambiente. Il sistema, che non misura la temperatura ambiente, non può infatti tenere conto degli effetti del soleggiamento, (che può esserci o non esserci e che, a parità di temperatura esterna, ha intensità diversa in primavera ed in autunno), del diverso grado di occupazione, dei diversi apporti interni che caratterizzano le diverse unità abitative.

Una volta stabilita una temperatura di mandata risultante dal compromesso tra le diverse esigenze, alcune stanze registreranno temperature superiori al set-point, altre ancora temperature minori. Per queste ragioni, la pratica tecnica accetta di installare questo tipo di regolazione nei nuovi impianti solo nel caso in cui gli apporti solari ed interni nel mese a maggior insolazione nel corso della stagione di riscaldamento siano inferiori al 20% del fabbisogno energetico complessivo dello stesso mese.

A seconda della temperatura di mandata dell'acqua e di come avviene la regolazione della temperatura ambiente, è possibile distinguere diverse tipologie di controllo.

Nella regolazione a punto fisso la temperatura di mandata dell'acqua rimane costante e il controllo di temperatura della stanza avviene modificando la quantità di acqua circolante nei radiatori (nei casi analizzati non vi è la parzializzazione della portata, ma la portata circolante o è quella di progetto o è nulla), mentre la regolazione climatica agisce sulla temperatura di mandata del fluido termovettore.

Sono stati esaminati diversi casi, in cui vi è una delle due tipologie descritte e, inoltre, sono stati ulteriormente suddivisi in base alla temperatura di set point scelta nelle stanze. Infatti, sono stati scelti due diversi set point: nel primo (casi *a*) la temperatura di set point è pari a 20 °C, mentre nel secondo caso (casi *b*) la temperatura di set point è variabile ed oscilla tra i 16 °C (attenuazione) e i 20 °C.

Riassumendo nella seguente tabella i diversi casi analizzati successivamente:

<b>Caso solo involucro</b>	a	Set-point costante 20°C
<b>Caso solo involucro</b>	b	Set-point variabile 20-16 °C (vedi Paragrafo 8.2)

**Tabella 38** *Descrizione dei casi in cui si è simulato il solo involucro*

<b>Caso reale</b>	1a	Regolazione ambiente	ambiente	per	Set-point	costante	Temperatura mandata acqua 80 °C
<b>Caso reale</b>	1b	Regolazione ambiente	ambiente	per	Set-point	variabile	Temperatura mandata acqua 80 °C
<b>Caso reale</b>	2a	Regolazione termostati)	di zona (3		Set-point	costante	Temperatura mandata acqua 80 °C
<b>Caso reale</b>	2b	Regolazione termostati)	di zona (3		Set-point	variabile	Temperatura mandata acqua 80 °C
<b>Caso reale</b>	3a	Regolazione ambiente e climatica	ambiente	per	Set-point	costante	Temperatura mandata variabile
<b>Caso reale</b>	3b	Regolazione ambiente e climatica	ambiente	per	Set-point	variabile	Temperatura mandata variabile
<b>Caso reale</b>	4a	Regolazione termostati) e climatica	di zona (3		Set-point	costante	Temperatura mandata variabile
<b>Caso reale</b>	4b	Regolazione termostati) e climatica	di zona (3		Set-point	variabile	Temperatura mandata variabile
<b>Caso reale</b>	5a	Regolazione termostato)	di zona (un solo		Set-point	costante	Temperatura mandata costante
<b>Caso reale</b>	6a	Regolazione termostato) e climatica	di zona (un solo		Set-point	costante	Temperatura mandata variabile

**Tabella 39** *Descrizione di tutti i casi considerati*

Nei casi 2 e 4 sono state scelte tre zone per il controllo: la cucina che controlla anche il soggiorno, la camera da letto 3 che controlla anche le altre due, e il bagno 5 che controlla anche il secondo bagno. La scelta delle tre stanze riportate per il controllo delle tre zone termiche è dovuta al loro maggior fabbisogno richiesto durante il periodo di riscaldamento, come è stato evidenziato dalla simulazione fatta sull'involucro nel capitolo 5.



## 9.4 Costruzione del modello in Trnsys e casi studio

Rispetto al modello costruito per le valutazioni sul solo involucro, in questo caso è necessario introdurre delle ulteriori *type* per analizzare il comportamento dei corpi scaldanti.

In particolare, la *type 1231* (che non tiene conto dell'inerzia termica) rappresenta il radiatore, le cui espressioni matematiche su cui è basato sono state descritte precedentemente.

Il termostato, ovvero il dispositivo installato per la regolazione, è rappresentato dalla *type 698* con funzionamento on/off all'interno di un differenziale pari ad 1 °C.

Per evitare che minimi scostamenti attorno al valore impostato inducano inutili interventi del regolatore, dando luogo ad indesiderati pendolamenti ed usura del sistema di regolazione, viene stabilito un differenziale. Esso rappresenta una piccola zona di non-intervento, un campo di insensibilità dell'apparecchio, entro il quale le fluttuazioni della grandezza regolata non provocano lo scatto dei contatti elettrici del regolatore. Nei casi proposti, il differenziale è centrato attorno al valore di set-point, però potrebbe essere posto tutto al di sopra o al di sotto di esso.

All'interno della *type* relativa al controllo, è possibile impostare più zone da controllare che equivale, nella realtà, ad avere più termostati; quindi graficamente nel modello in *Simulation Studio* viene rappresentato un unico dispositivo, ma al suo interno è sufficiente impostare il numero di stanze che presentano un controllo per avere complessivamente più termostati. In alcune occasioni, nel modello sono rappresentati due controlli (*type 698*) quando il set-point sia variabile e oscillante tra i 16 e i 20 °C; uno di essi controlla il riscaldamento nella zona giorno, mentre il secondo è per la zona notte (infatti l'accensione e lo spegnimento del riscaldamento differisce tra le due zone e non coincide con i medesimi orari). Quindi nel caso in cui la temperatura di set point sia variabile, allora vi sono due termostati in cui gli input derivano dal file relativo al riscaldamento, mentre questo collegamento non è presente nel caso in cui la temperatura di set point sia costante e pari a 20 °C, poiché è sufficiente impostarla all'interno della *type* del controllo stesso.

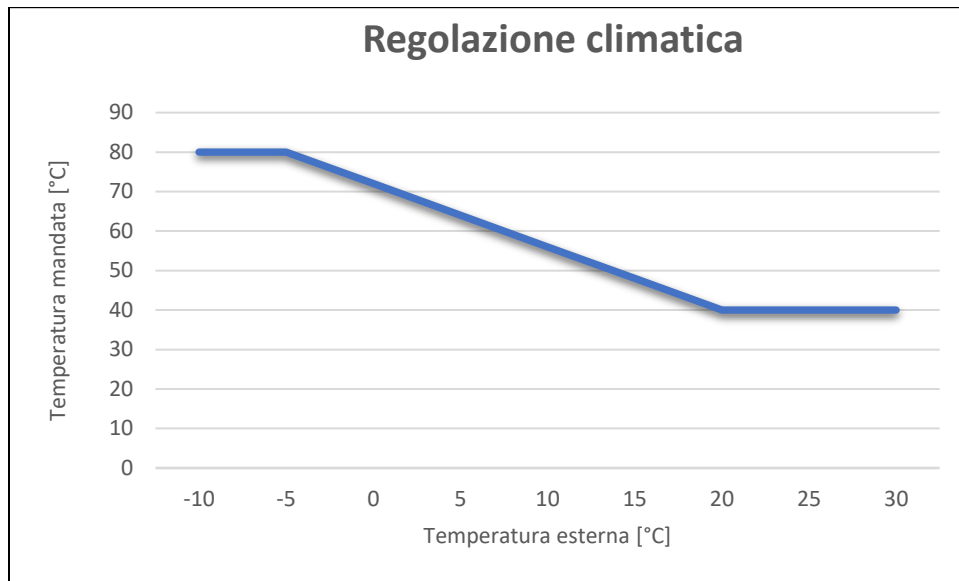
Inoltre, un ulteriore input deriva dall'edificio (*type 56*), il quale deve fornire al controllo (*type 968*) le temperature delle stanze in cui i termostati sono installati: per cui se la regolazione è per singolo ambiente allora ogni stanza fornisce la temperatura al controllo, se invece la regolazione è di zona, allora solo le stanze in cui questo dispositivo è installato devono fornire al controllo le proprie condizioni interne di temperatura. Gli output uscenti dalla *type* forniscono il controllo vero e proprio, ovvero si visualizza quali sono le stanze in cui è presente un termostato e quali stanze esse controllano; ad esempio, nel caso *2b* la camera matrimoniale 3 presenta il termostato e controlla anche le altre camere rimanenti.

Gli output uscenti dalla *type 698* sono utilizzati come input dalla calcolatrice che associa ad ogni controllo la portata ricavata per ogni ambiente; infatti in ogni ambiente che presenta o meno l'elemento di controllo installato, ha comunque la propria portata caratteristica. Questi valori forniti dalla calcolatrice sono passati al radiatore come dati di input.

La potenza ceduta dal radiatore viene infine passata all'edificio naturalmente, per riscaldare gli ambienti in cui essi sono installati.

Ricordiamo che nel modello finale, rappresentato in figura, è utilizzata una seconda calcolatrice, utile per distinguere se la regolazione è a punto fisso o climatica: all'interno di essa viene implementata un'equazione che fornisce il valore di temperatura di mandata dell'acqua, valore che viene fornito come input al radiatore stesso.

In particolare, la curva climatica a cui viene fatto riferimento è la seguente:



**Figura 9.15** *Curva climatica utilizzata nella regolazione climatica*

Se la temperatura esterna è minore o uguale a  $-5\text{ °C}$ , allora la temperatura di mandata dell'acqua è pari a  $80\text{ °C}$ , se la temperatura esterna cala, allora anche il fabbisogno richiesto dall'appartamento è minore, quindi viene ridotta la temperatura dell'acqua che attraversa i terminali; se la temperatura esterna è compresa tra  $-5$  e  $20$  gradi, allora la temperatura assume un valore variabile, ricavabile dall'equazione:

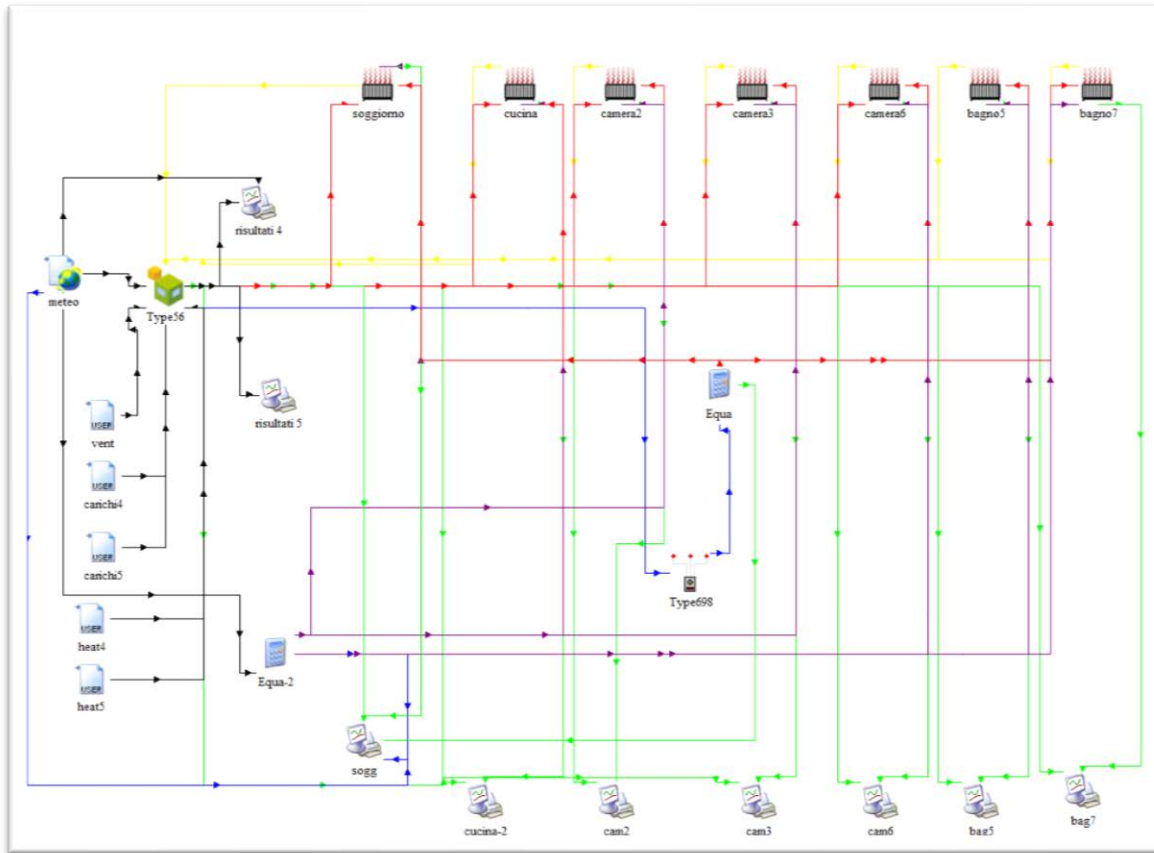
$$t_{mandata} = -\frac{8}{5} * t_{ext} + 72$$

in cui entrambe le temperature sono espresse in gradi ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Se, invece, la temperatura esterna è maggiore di  $20\text{ °C}$ , allora la temperatura dell'acqua che attraversa i terminali è pari a  $40\text{ °C}$ .

Questa regolazione viene detta appunto climatica, in quanto il fabbisogno richiesto dipende principalmente dalle condizioni climatiche esterne.

Lo schema generale descritto nel modello viene ora riportato.



**Figura 9.3** Schema generale del modello con la presenza dei terminali e del controllo

Quello descritto è il modello generale utilizzato per i vari casi esaminati, i quali si differenziano tra loro per come viene effettuato il controllo di temperatura all'interno degli ambienti.

Nei casi in cui la simulazione è fatta sul solo involucro, non viene tenuto conto del sistema impiantistico, ma viene mostrato il fabbisogno netto dell'appartamento, sia nel caso in cui la temperatura desiderata è pari a 20 °C, sia quando la temperatura di set point oscilla tra i 16 e i 20 °C (tenendo conto sempre del differenziale di 1°C per entrambi).

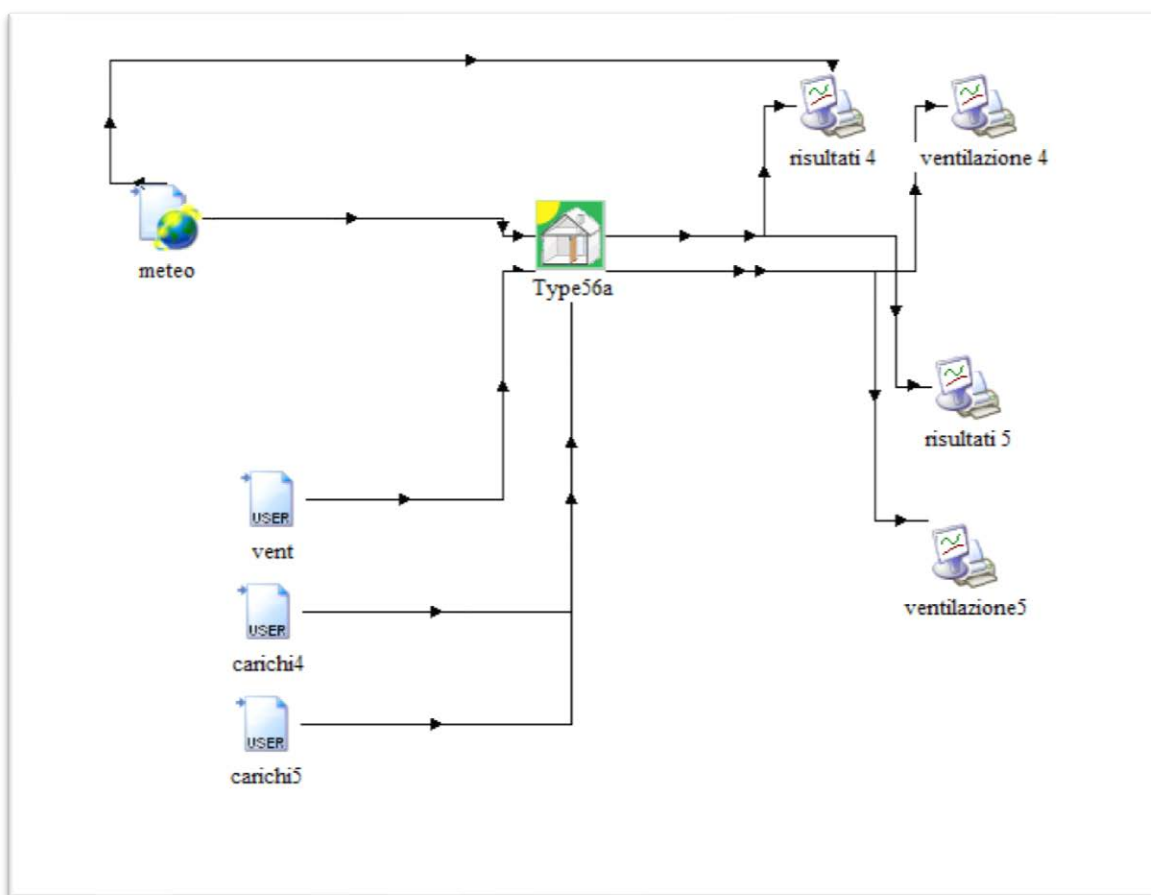
Mentre nei casi reali si è tenuto conto del sistema impiantistico, tenendo spenta la parte relativa al riscaldamento e osservando il comportamento dei radiatori al variare delle condizioni al contorno.

Sono quindi descritti gli otto diversi casi reali esaminati, dopo aver mostrato i valori di riferimento ottenuti dalla simulazione del solo involucro, e ricordando che lo scopo finale è quello di ricavare il prodotto tra i rendimenti di emissione e di regolazione di ciascuna analisi.

#### 9.4.1 Caso solo involucro con temperatura di set-point costante (20°C)

Questo caso, come quello successivo, è utilizzato come riferimento e viene confrontato con i risultati dei casi reali in modo tale da ottenere il rendimento totale del sistema di emissione e di regolazione.

La temperatura di set-point impostata è pari a 20°C in ogni stanza, per cui la simulazione fornisce l'energia necessaria, mensilmente, a mantenere tale temperatura in tutto il periodo di riscaldamento.



**Figura 9.4** Schema generale del solo involucro con set point pari a 20 °C

In cui non essendo riportato l'impianto di regolazione ed emissione, il fabbisogno che se ne ricava è considerato netto, non sono infatti conteggiate le perdite associate a questi sottosistemi, e pertanto i valori ricavati sono utilizzati per ricavare i rendimenti.

La temperatura costante viene impostata all'interno dell'edificio in *Trnbuild*, per cui il file di riscaldamento per l'appartamento 4 viene rimosso e rimangono solamente i file relativi alla ventilazione (e infiltrazioni) e quelli relativi ai carichi interni. Il file meteo trasferisce all'edificio tutti i dati e i parametri associati alla radiazione solare.

Le stampanti hanno il compito di stampare i risultati prodotti, i quali sono riportati nella seguente tabella:

	Cam2	Sogg	Cam3	Ant.	Bag5	Cam6	Bag7	Corr	Cuc
Gen	173	369	312	97	155	156	75	43	304
Feb	114	250	207	64	101	101	48	28	198
Mar	125	243	242	76	116	93	45	28	182
Apr	54	79	128	40	57	30	13	7	52
Mag	5	3	22	6	8	1	0	0	1
Giu	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lug	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ago	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sett	0	0	5	0	1	0	0	0	0
Ott	54	91	120	36	58	40	19	9	78
Nov	128	262	237	74	119	115	55	29	224
Dic	210	461	371	116	184	196	94	54	374

Tot	863	1757	1644	511	800	732	350	199	1413
-----	-----	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	------

Inv.	859	1754	1617	504	791	731	350	199	1412
------	-----	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	------

**Tabella 40** Fabbisogno netto di riscaldamento [kWh] ricavato dalla simulazione del solo involucro con set point costante e pari a 20 °C

I valori sono espressi in kWh, per cui ad esempio, nel solo mese di gennaio, il soggiorno presenta un fabbisogno termico pari a 369 kWh.

Nelle righe sottostanti alla tabella è stato rappresentato il totale fabbisogno annuale (ottenuto dalla somma dei singoli mesi) e il fabbisogno richiesto nel periodo invernale (semplificando il calcolo e sommando i contributi di tutto il mese di aprile e ottobre, anche se nella realtà il periodo di riscaldamento terminerebbe e inizierebbe a metà mese rispettivamente).

Sommando mensilmente i valori per ogni ambiente dell'appartamento, si ricava un fabbisogno totale annuale netto pari a 8269 kWh.

#### 9.4.2 Caso solo involucro con temperatura di set-point variabile (20-16°C)

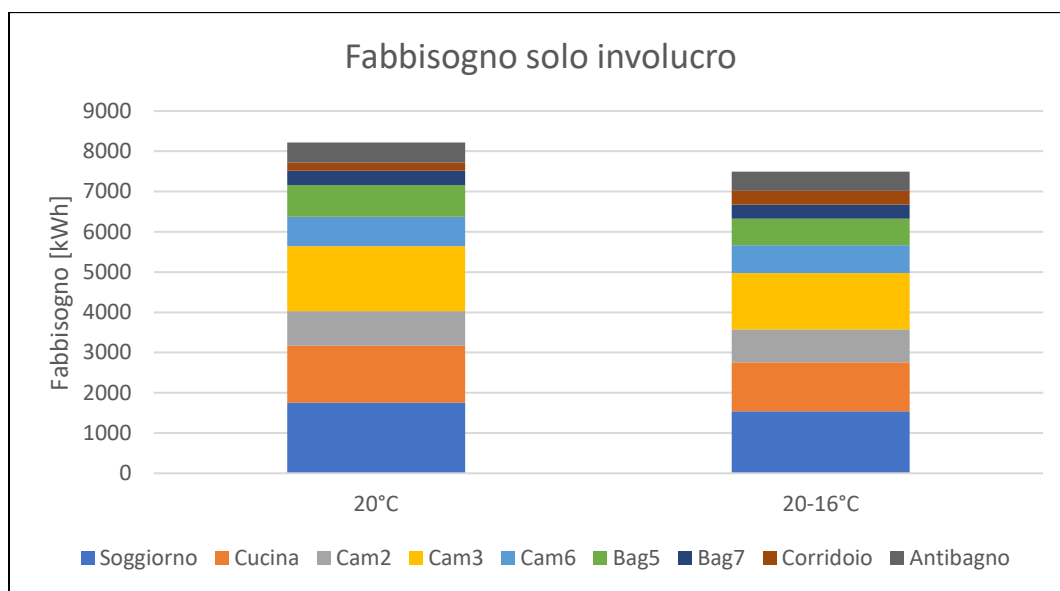
Questo caso è già stato analizzato nel *capitolo 8* (figura 8.2), per cui vengono qui riportati solamente i risultati ottenuti.

	Cam2	Sogg	Cam3	Ant.	Bag5	Cam6	Bag7	Corr	Cuc
Gen	197	408	337	110	165	180	90	83	333
Feb	154	296	259	86	120	126	65	65	230
Mar	109	179	185	65	81	79	42	45	127
Apr	30	32	54	20	22	17	9	11	19
Mag	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giu	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lug	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ago	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sett	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ott	41	56	71	25	31	30	15	15	42
Nov	110	196	179	63	86	95	49	45	156
Dic	183	373	309	102	151	167	84	78	306
Tot	825	1540	1394	471	658	694	354	342	1214
Inv.	825	1540	1394	471	658	694	354	342	1214

**Tabella 41** Fabbisogno ricavato dalla simulazione del solo involucro con set point variabile tra 20-16 °C

Rispetto al paragrafo precedente, in questo modello è utilizzato il file esterno per il riscaldamento, in quanto la temperatura è variabile e le ore in cui esso è acceso nella zona giorno e nella zona notte non sono le stesse.

Sommando mensilmente i valori per ogni ambiente dell'appartamento, si ricava un fabbisogno totale annuale netto pari a 7491 kWh, valore minore rispetto all'analisi condotta con il set point impostato a 20 °C. La differenza tra questi due valori ottenuti è dovuta proprio al set point impostato: nel caso in cui la temperatura sia variabile, l'appartamento richiede meno energia se la temperatura interna di ogni ambiente è mantenuta tra i 16 e i 20 °C, mentre è richiesto un fabbisogno maggiore se la temperatura impostata in ogni ambiente durante il periodo invernale deve essere pari a 20 °C.



**Figura 9.5** Fabbisogno netto richiesto dalle diverse stanze per mantenere all'interno il set point costante (20 °C) e variabile (16-20 °C) rispettivamente



### 9.4.3 Caso 1a

In questo caso la termoregolazione avviene per singolo ambiente mediante un termostato installato in ogni stanza in cui è presente almeno un radiatore.

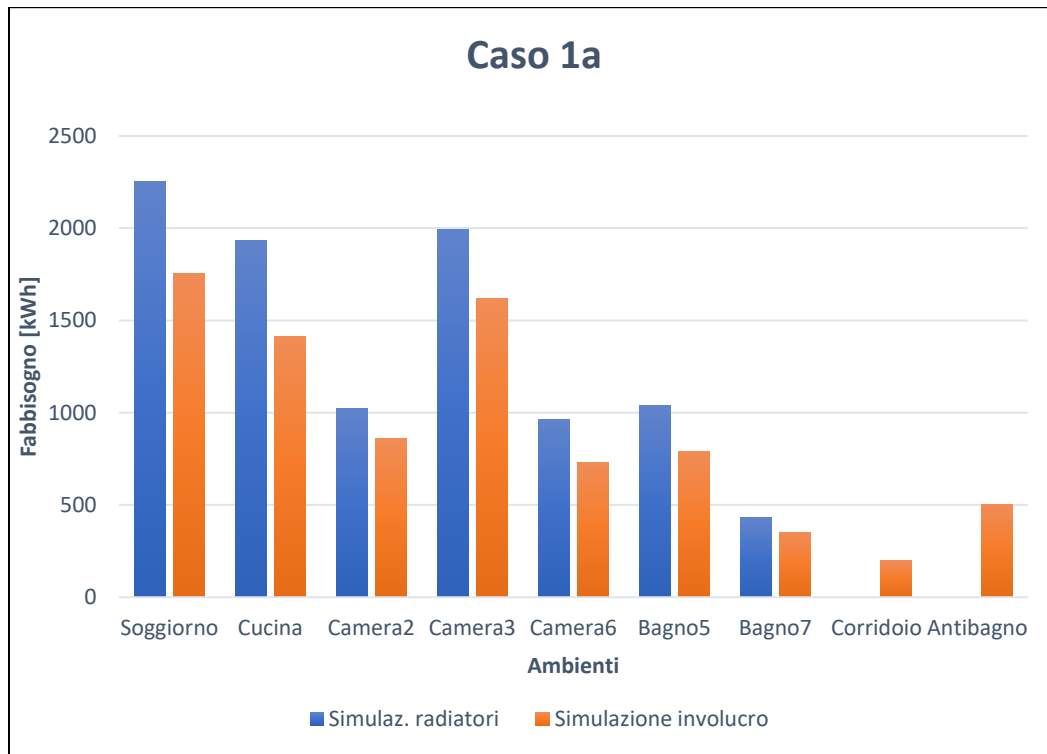
Le zone in cui sono installati i termostati per il controllo e la regolazione della temperatura sono: il soggiorno, la cucina, le camere e i bagni, ad esclusione dell'antibagno e del corridoio. Il regolatore installato è di tipo on/off con temperatura di set-point pari a 20 °C, per cui se nei circuiti idronici scorre una portata d'acqua allora è quella di progetto, senza capacità di modulazione. Per limitare le oscillazioni e l'usura dei componenti, è necessario lavorare entro una banda ("differenziale", pari a 1 °C), la cui ampiezza ha naturalmente implicazioni sia nell'energia spesa sia nel comfort che è possibile conseguire. Poiché la regolazione è a punto fisso, la temperatura di mandata dell'acqua è costante (80°C).

Per semplicità e per semplificare la comprensione dei risultati, non sono riportati gli esiti mensili di ogni stanza, ma solo i valori finali del fabbisogno richiesto annualmente:

	<b>Simulazione solo involucro</b>	<b>Simulazione con radiatori</b>	
<b>Soggiorno</b>	1754	2252	kWh
<b>Cucina</b>	1412	1936	
<b>Camera 2</b>	859	1020	
<b>Camera 3</b>	1617	1991	
<b>Camera 6</b>	731	965	
<b>Bagno 5</b>	791	1041	
<b>Bagno 7</b>	350	430	
<b>Antibagno</b>	504	0	
<b>Corridoio</b>	199	0	
<b>Totale</b>	8218	9635	kWh
	78,42	91,94	kWh/m <sup>2</sup>

**Tabella 42** *Confronto tra fabbisogno netto richiesto dal solo involucro e il fabbisogno richiesto considerando i processi di regolazione ed emissioni come processi non perfetti e causano così delle perdite*

I valori mostrati in tabella vengono riportati nel seguente grafico:



**Figura 9.6** Confronto risultati del caso 1a con i risultati ottenuti dalla simulazione con set point costante

Ottenuti i valori del fabbisogno netto e lordo, è possibile ora calcolare il rendimento reale del sistema emissione-regolazione e confrontarlo con quello ricavato dalla normativa.

La relazione per calcolare il rendimento reale è il seguente:

$$\eta_{emis-reg} = \frac{E_{involucro}}{E_{radiatori}}$$

rapporto tra il fabbisogno netto richiesto dal solo involucro e dal fabbisogno lordo che tiene conto della sola emissione e regolazione.

Si ottiene:

<b>Rendimento simulazioni</b>	85,3 %
<b>Rendimento norma UNI 11300</b>	83,9 %

**Tabella 43** *Confronto tra i valori dei rendimenti (emissione e regolazione) ricavati dalla simulazione e dalla norma*

Il rendimento ricavato da normativa è stato ottenuto a partire dal fabbisogno dell'involucro con temperatura di set point pari a 20 °C, con i radiatori posti su parete esterna non isolata e regolazione on/off. Si nota che nella normativa non è presente nessun riferimento alla temperatura di set point impostata.

Infine, è stato valutato per ogni singolo ambiente quanto percentualmente la temperatura della stanza raggiunge valori al di sopra del limite superiore del differenziale (quindi sopra i 20,5 °C), per quanto si trova al di sotto del limite superiore (ovvero al di sotto dei 19,5 °C) e per quanto invece la temperatura della stanza è compresa tra i due limiti (quindi tra i 19,5 e i 20,5 °C).

Queste considerazioni sono state effettuate solamente nel periodo invernale:

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sotto dei 19,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 19,5 e 20,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	0 %	91 %	9 %
<b>Cucina</b>	1 %	49 %	50 %
<b>Camera 2</b>	0 %	92 %	8 %
<b>Camera 3</b>	0 %	91%	8 %
<b>Camera 6</b>	0 %	89 %	11 %
<b>Bagno 5</b>	1 %	48 %	51 %
<b>Bagno 7</b>	0 %	85 %	15 %

**Tabella 44** *Percentuale temporale in cui le temperature nelle stanze sono comprese nei tre intervalli*

Si nota che quasi mai la temperatura nelle stanze scende al di sotto dei 19,5 °C e per gran parte del tempo rimane compresa all'interno del differenziale.

Le uniche eccezioni riguardano la cucina e il bagno 5: ciò è dovuto alla maggiorazione della potenza (pari al 50 % per entrambe le stanze) proprio per evitare che in questi due ambienti si abbiano dei momenti in cui la temperatura scenda sotto il limite inferiore della banda durante il periodo di riscaldamento. Però maggiorando la potenza si ha una maggior spesa di energia termica per mantenere le condizioni di comfort scelte, senza avere momenti in cui la temperatura scenda sotto i 19,5 °C generando una condizione di mancato comfort.

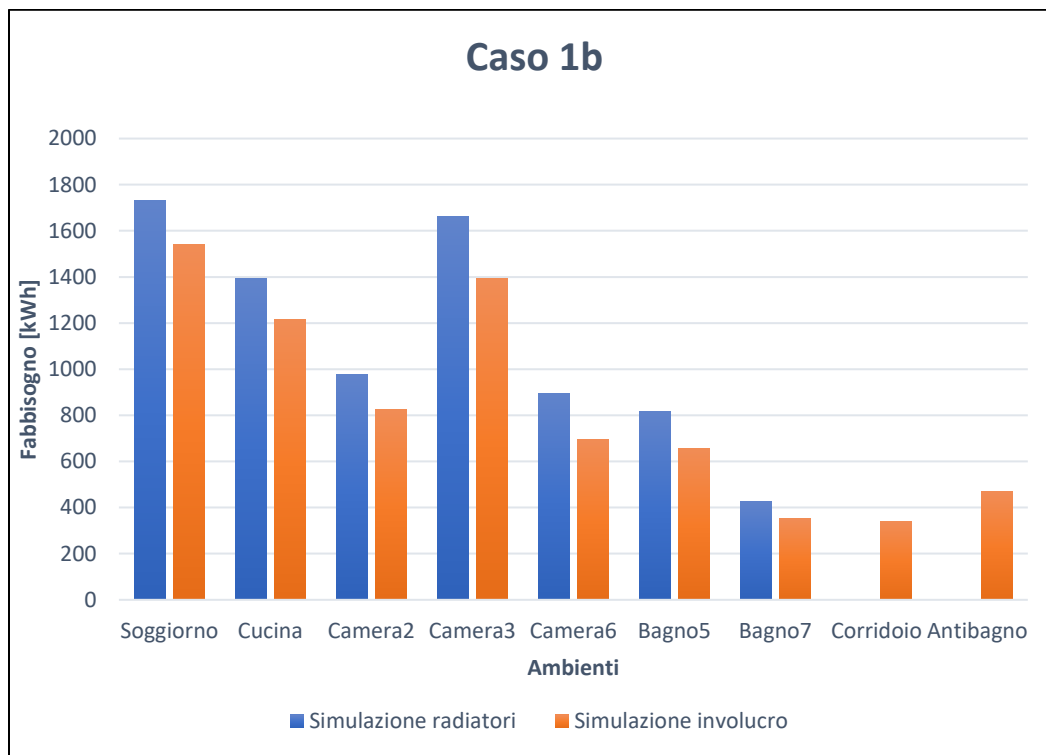
#### 9.4.4 Caso 1b

Anche in questo caso la termoregolazione avviene per singolo ambiente mediante un termostato installato in ogni stanza in cui è presente almeno un terminale.

Il regolatore installato è di tipo on/off con temperatura di set-point variabile tra 20 e 16 °C e differenziale di 1 °C, mentre la temperatura di mandata dell'acqua è ancora costante (80°C).

	<b>Simulazione solo involucro</b>	<b>Simulazione con radiatori</b>	
<b>Soggiorno</b>	1540	1731	kWh
<b>Cucina</b>	1214	1392	
<b>Camera 2</b>	825	978	
<b>Camera 3</b>	1394	1663	
<b>Camera 6</b>	694	897	
<b>Bagno 5</b>	658	817	
<b>Bagno 7</b>	354	426	
<b>Antibagno</b>	471	0	
<b>Corridoio</b>	342	0	
<b>Totale</b>	7491	7903	kWh
	71,48	75,41	kWh/m <sup>2</sup>

**Tabella 45** *Confronto tra fabbisogno netto richiesto dal solo involucro e il fabbisogno richiesto dalla simulazione con radiatori*



**Figura 9.7** Confronto risultati del caso 1b con i risultati ottenuti tramite simulazione del solo involucro con set point variabile

Come ci si aspettava, il fabbisogno richiesto in questo caso è inferiore di quasi il 20 % rispetto al caso 1a.

Il valore del rendimento è riportato in tabella:

**Rendimento simulazione** 94,8 %

**Rendimento norma UNI 11300** 83,9 %

**Tabella 46** Confronto tra i valori dei rendimenti (emissione e regolazione) ricavati dalla simulazione e dalla norma

Il rendimento ricavato da normativa è stato ottenuto a partire dal fabbisogno dell'involucro con temperatura di set point variabile tra 16 e 20 °C, con i radiatori posti su parete esterna non isolata e regolazione ambiente di tipo on/off.

Anche in questo caso è stato valutato per ogni singolo ambiente quanto percentualmente la temperatura della stanza raggiunge valori superiori o inferiori alla banda del set point; poiché in questo caso i valori di riferimento sono 20 e 16 °C, a seconda della fascia oraria, vi sono due bande, una in cui i valori oscillano tra i 20,5 e i 19,5 °C, mentre nell'altra i valori fanno riferimento ai limiti 15,5 e 16,5 °C.

Si ottiene:

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sotto dei 19,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 19,5 e 20,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	3 %	94 %	4 %
<b>Cucina</b>	26 %	53 %	21 %
<b>Camera 2</b>	5 %	94 %	1 %
<b>Camera 3</b>	11 %	88%	1 %
<b>Camera 6</b>	8 %	91 %	1 %
<b>Bagno 5</b>	37 %	42 %	21 %
<b>Bagno 7</b>	8 %	89 %	3 %

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sotto dei 15,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 15,5 e 16,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 16,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	0 %	29 %	71 %
<b>Cucina</b>	1 %	49 %	50 %
<b>Camera 2</b>	0 %	9 %	91 %
<b>Camera 3</b>	0 %	36 %	64 %
<b>Camera 6</b>	0 %	13 %	87 %
<b>Bagno 5</b>	0 %	31 %	69 %
<b>Bagno 7</b>	0 %	5 %	95 %

**Tabella 47** Percentuale temporale in cui le temperature nelle stanze sono comprese nei tre intervalli

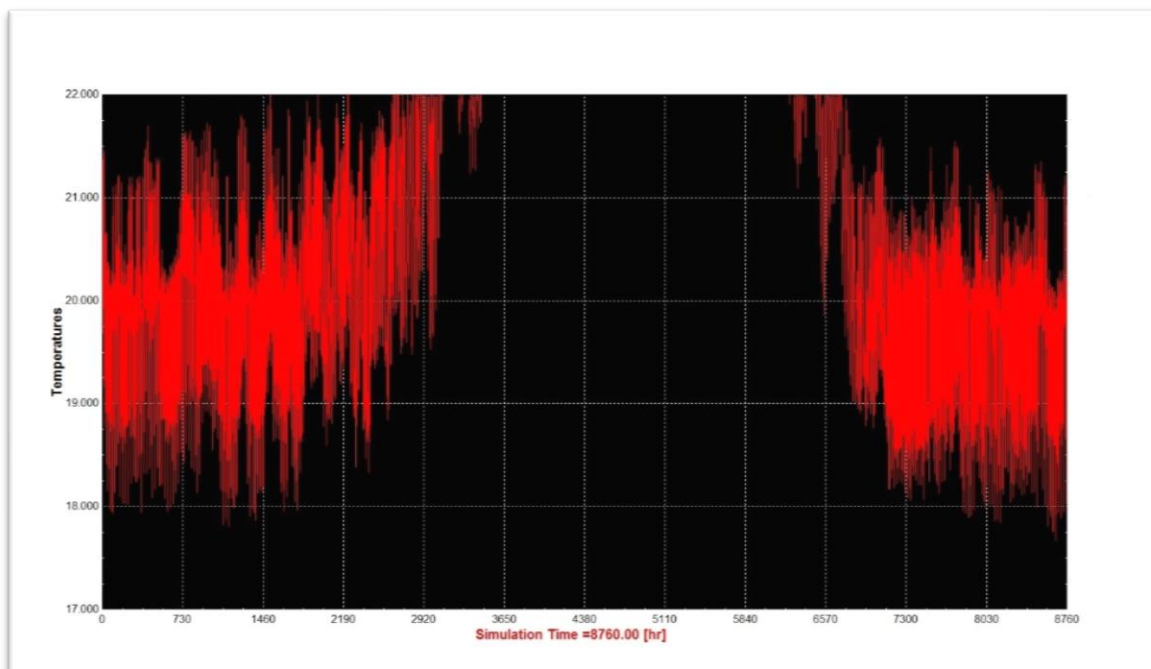
L'elevato valore percentuale in cui la temperatura è al di sotto di 19,5 °C o al di sopra di 16,5 °C non è da ricondurre ad un cattivo funzionamento del termostato, ma semplicemente è dovuto al cambio del set-point: infatti quando viene spento il riscaldamento e le stanze si trovano con una temperatura pari a 20 °C, esse iniziano a presentare delle temperature sempre minori ma comunque comprese in tale intervallo, fino a quando il termostato rileva una condizione di temperatura troppo bassa (sotto i 15,5 °C) e interviene riaccendendo il riscaldamento.

#### **9.4.5 Caso 2a**

In questo caso la termoregolazione avviene per zona, mediante tre termostati installati adeguatamente in tre locali di riferimento che controllano i diversi singoli ambienti. La temperatura ambiente degli altri locali della zona può differire da quella voluta se questi sono caratterizzati da apporti o da occupazione diversi.

Nel caso analizzato i locali di riferimento sono: il soggiorno (il cui termostato di zona installato controlla anche la cucina), la camera da letto 3 (il cui termostato è installato in questa camera in quanto è quella soggetta alle maggiori dispersioni di calore, e controlla anche tutte le altre camere rimanenti) e il bagno 5 (per lo stesso motivo precedente, il cui termostato controlla anche il secondo bagno presente nell'appartamento).

Prima ancora però di analizzare i fabbisogni per il calcolo del rendimento, dalla simulazione ci si accorge di un andamento anomalo della temperatura della cucina (la quale è controllata dal soggiorno):



**Figura 9.8** Andamento “anomalo” della temperatura della cucina nel caso in cui questa stanza sia controllata dal soggiorno

Effettuando il conto in percentuale delle volte in cui la temperatura scende al di sotto del limite inferiore della banda, si ricava:

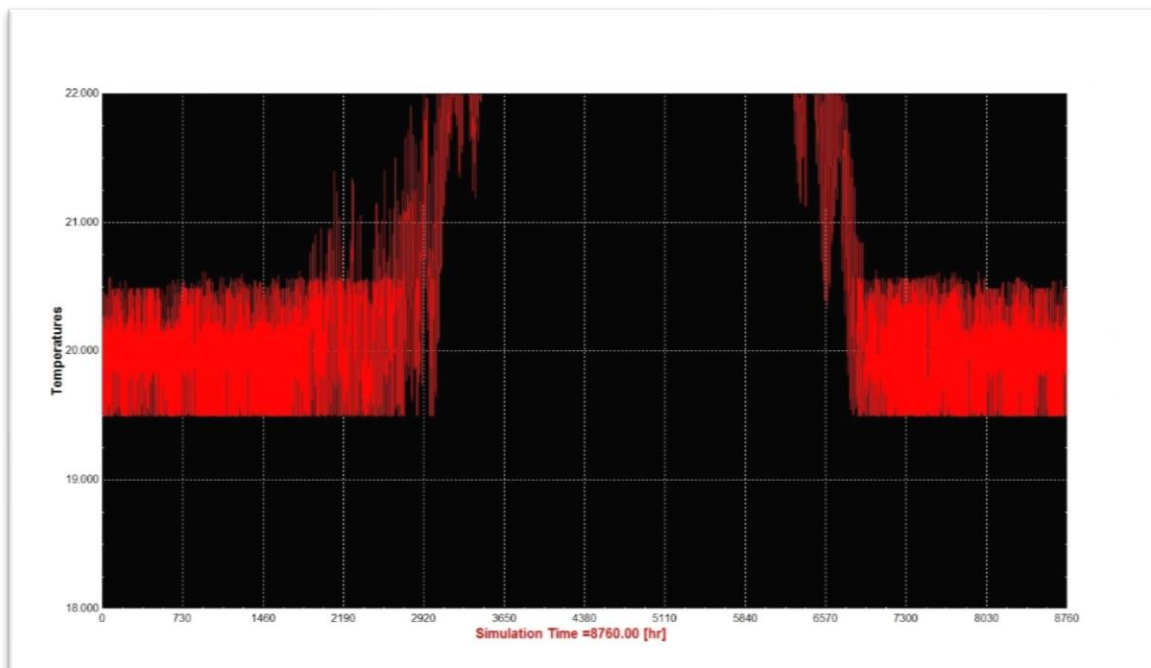
Ambienti	Temperature al di sotto dei 19,5 °C	Temperature comprese tra 19,5 e 20,5 °C	Temperature al di sopra dei 20,5 °C
<b>Cucina</b>	29 %	50 %	21 %

**Tabella 48** Percentuale nel tempo della temperatura della cucina controllata dal soggiorno



Infatti, il 29 % dei valori di temperatura dell'aria della cucina si trovano al di sotto dei 19,5 °C.

Il soggiorno invece, il quale richiede un fabbisogno maggiore e in cui è installato il termostato che controlla anche l'accensione e lo spegnimento dei radiatori presenti in cucina, presenta un andamento corretto della temperatura al suo interno (la temperatura di set point è pari a 20 °C) poiché il termostato segue fedelmente gli scostamenti della temperatura.



**Figura 9.9** Andamento fedele della temperatura del soggiorno nel caso in cui questa stanza sia controllata dal termostato installato proprio nel soggiorno

Osservazione che è confermata anche dai risultati di temperatura:

Ambienti	Temperature al di sotto dei 19,5 °C	Temperature comprese tra 19,5 e 20,5 °C	Temperature al di sopra dei 20,5 °C
Soggiorno	0 %	90 %	10 %

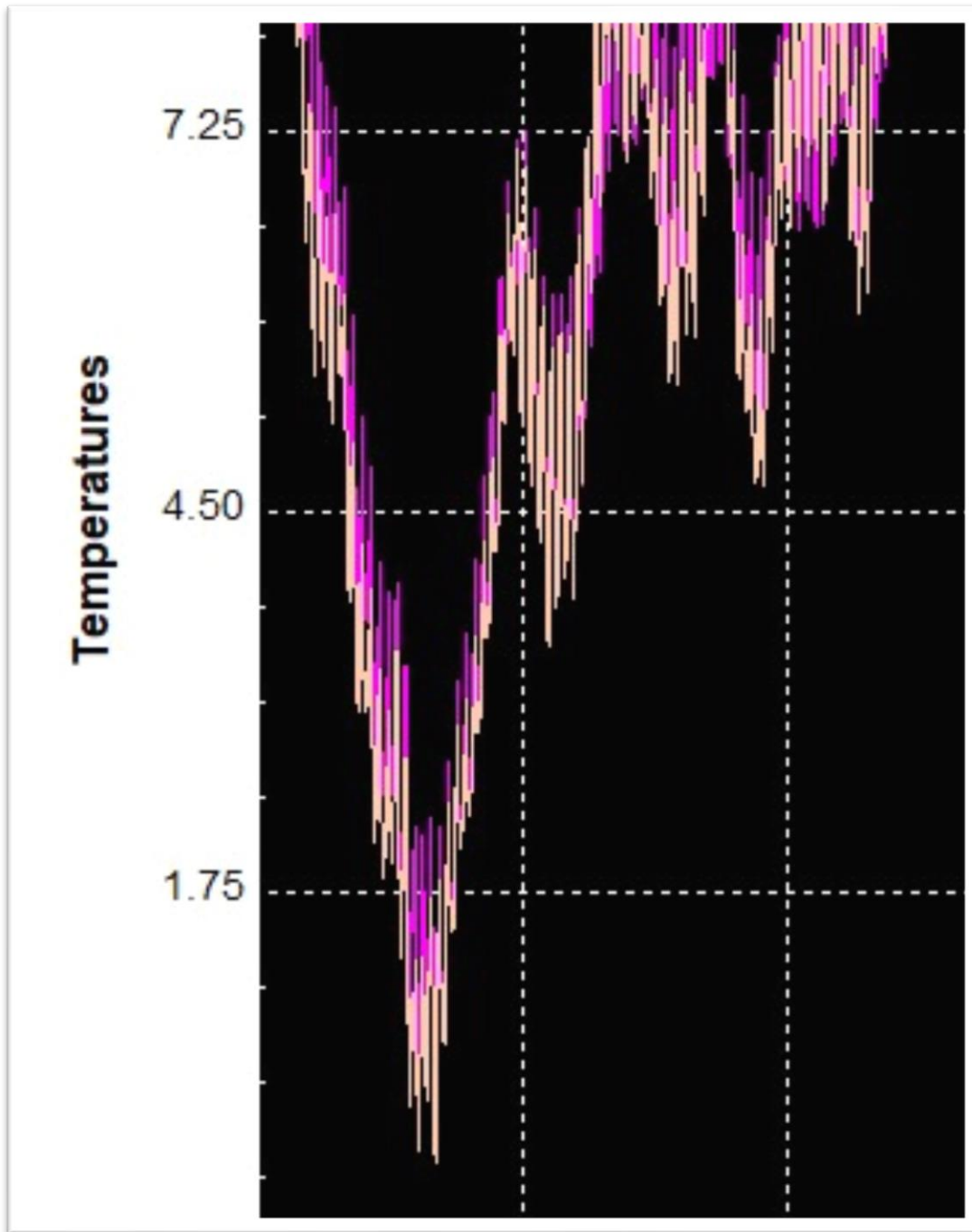
**Tabella 49** Percentuale nel tempo della temperatura del soggiorno

Si nota appunto che la temperatura non scende mai sotto il limite inferiore della banda.

Osservando però la planimetria dell'appartamento, si nota che l'area delle superfici disperdenti della cucina rispetto al suo volume è maggiore rispetto all'area delle superfici disperdenti del soggiorno, infatti la cucina presenta la metà delle pareti che la delimitano a contatto direttamente con l'esterno, inoltre una ulteriore parete si affaccia verso un ambiente non riscaldato. Ciò è sufficiente per comprendere che il locale più sfavorito su cui installare il controllo non è il soggiorno, ma bensì la cucina.

Un'ulteriore verifica a questa supposizione viene confermata dalla simulazione di un particolare modello costruito in *Trnsys*. In particolare, si riprende il modello costruito nel caso della simulazione del solo involucro con temperatura di set point costante pari a 20 °C (*paragrafo 9.4.2*) e si imposta il riscaldamento come spento; in tal modo la potenza che l'impianto deve fornire all'appartamento per mantenere le condizioni di comfort è nulla e si possono osservare come le temperature interne agli ambienti varino nell'arco dell'anno.

Il risultato, considerando il soggiorno e la cucina, è quello mostrato in seguito:

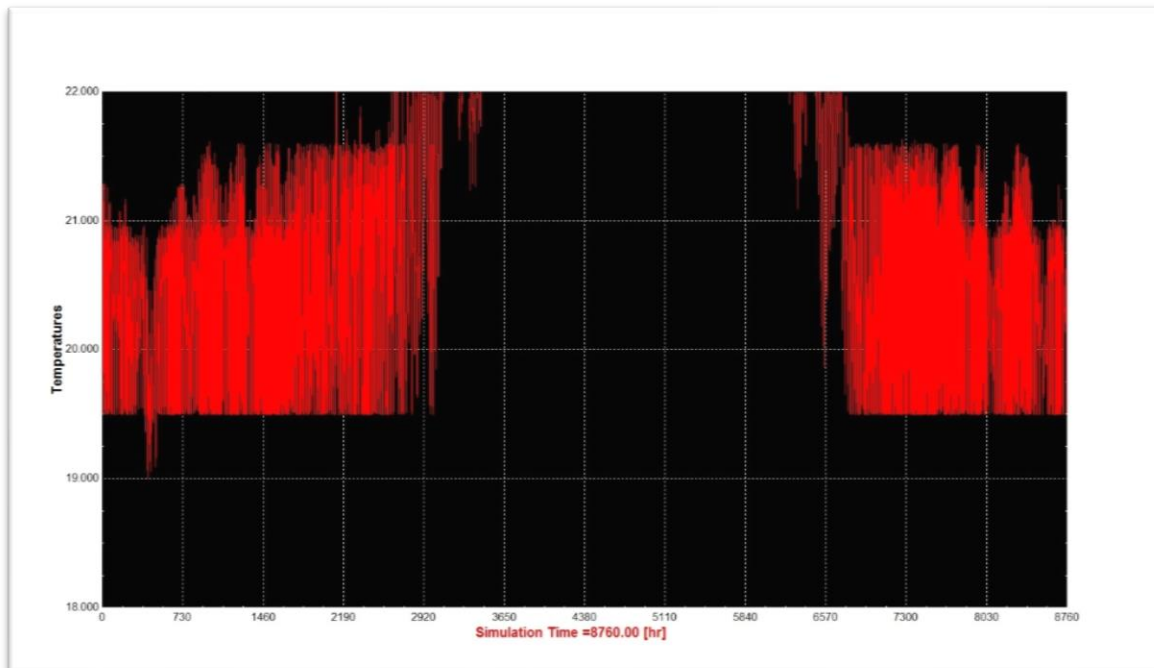


**Figura 9.10** Spezzone dell'andamento nell'arco dell'anno delle temperature del soggiorno e della cucina in caso sia sempre spento il riscaldamento: si nota anche graficamente che la temperatura della cucina (in giallo) scenda a valori inferiori rispetto a quella del soggiorno (in rosa)

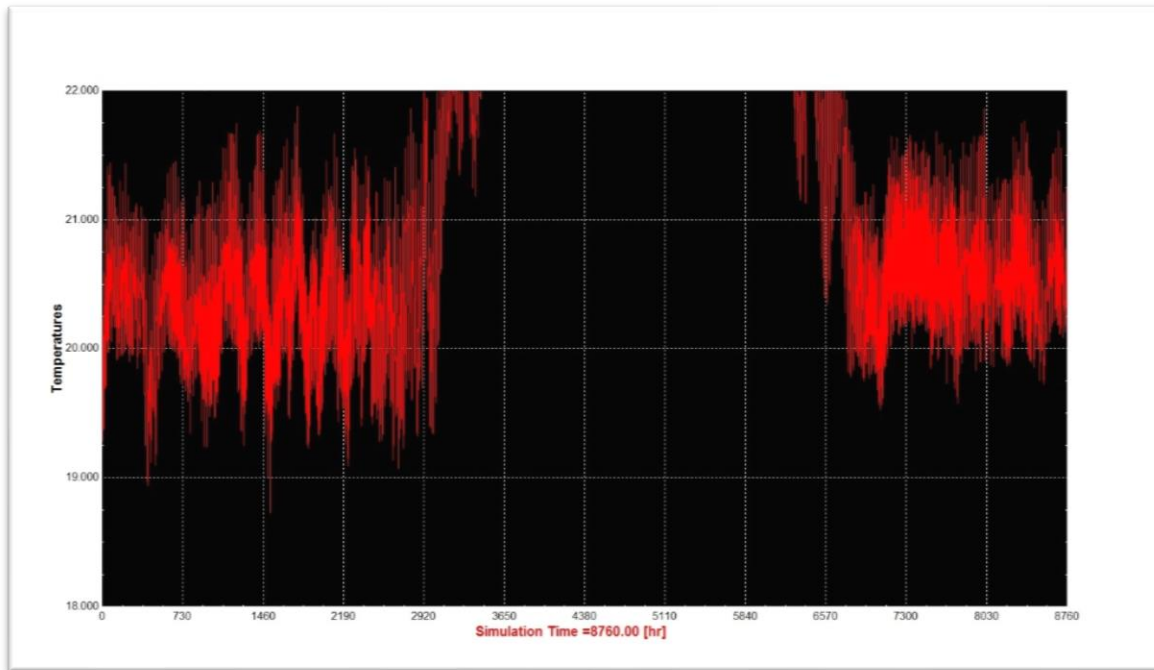
Si nota anche graficamente che la temperatura della cucina (in marrone chiaro) cala maggiormente rispetto alla temperatura del soggiorno (in rosa), ciò conferma che il locale più sfavorito nella zona giorno, che presenta dunque maggiori dispersioni, non è il soggiorno ma la cucina.

Di conseguenza è più utile e corretto installare il termostato all'interno della cucina, in modo tale che quest'ultimo controlli la temperatura in soggiorno.

Effettuando questa modifica e installando il controllo in cucina, gli andamenti di temperatura per la cucina e il soggiorno sono rispettivamente:



**Figura 9.11** *Andamento della temperatura della cucina nel caso in cui il termostato sia installato all'interno di tale stanza*



**Figura 9.12** *Andamento della temperatura del soggiorno nel caso in cui il termostato sia installato all'interno della cucina*

Si nota che l'oscillazione della temperatura dell'aria nel soggiorno (controllata dalla cucina) non è ancora perfetta, ma la banda di oscillazione è più attenuata rispetto al caso precedente. Questo viene mostrato anche dai valori in percentuale:

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sotto dei 19,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 19,5 e 20,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	2 %	50 %	48 %

**Tabella 50** *Percentuale nel tempo della temperatura all'interno del soggiorno*

Con il controllo posto in soggiorno, la temperatura della cucina scendeva sotto i 19,5 °C per il 29 % delle volte, mentre con il controllo posto in cucina, la temperatura del soggiorno scende al di sotto dei 19,5 °C solamente il 2 % delle volte.

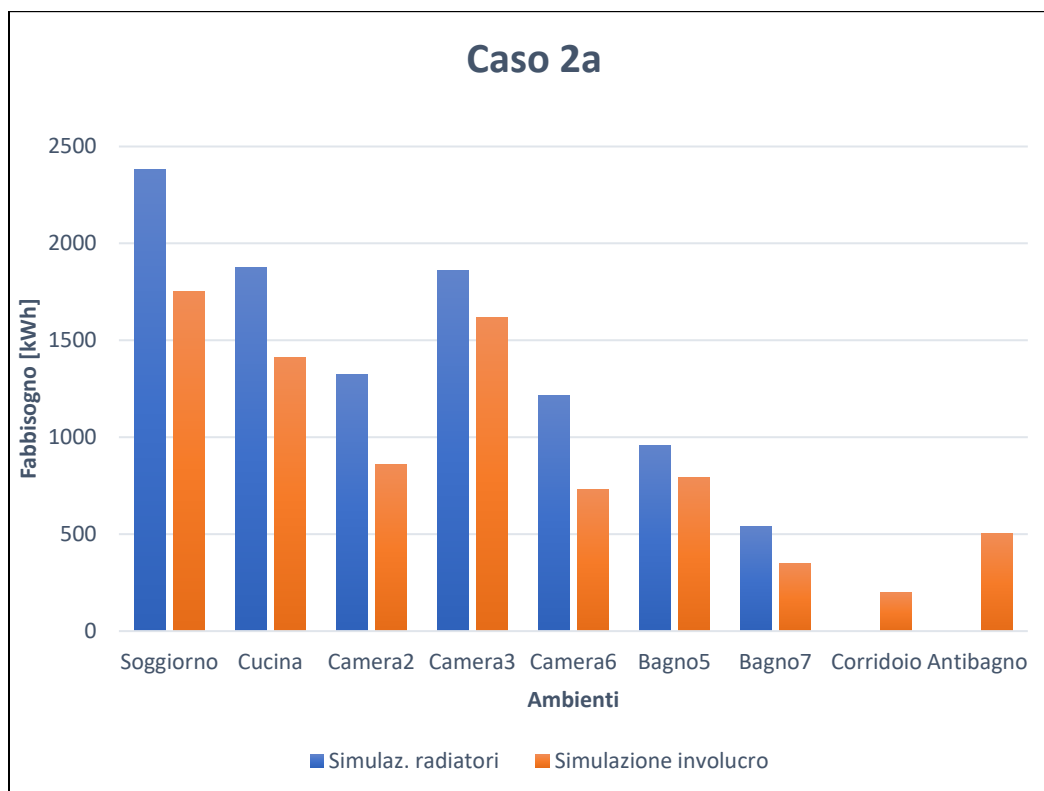
Tale risultato riconferma la correttezza della modifica effettuata.

Controllando dunque le zone con i tre termostati posizionati in cucina, in camera 3 e nel bagno 5, si ottiene la seguente tabella in cui sono mostrati i fabbisogni richiesti:

	<b>Simulazione solo involucro</b>	<b>Simulazione con radiatori</b>	
<b>Soggiorno</b>	1754	2382	kWh
<b>Cucina</b>	1412	1874	
<b>Camera 2</b>	859	1324	
<b>Camera 3</b>	1617	1860	
<b>Camera 6</b>	731	1216	
<b>Bagno 5</b>	791	959	
<b>Bagno 7</b>	350	540	
<b>Antibagno</b>	504	0	
<b>Corridoio</b>	199	0	
<b>Totale</b>	8218	10155	kWh
	78,42	96,82	kWh/m <sup>2</sup>

**Tabella 51** *Confronto tra fabbisogno netto richiesto dal solo involucro e il fabbisogno richiesto nel caso in cui il controllo della zona giorno sia posto in cucina*

Da cui è possibile ottenere il seguente grafico:



**Figura 9.13** Confronto risultati del caso 2a con i risultati ottenuti tramite simulazione del solo involucro con set point costante

Di conseguenza, il rendimento totale (emissione e regolazione) nella regolazione a zona vale:

<b>Rendimento simulazione</b>	80,1 %
<b>Rendimento norma UNI 11300</b>	83,0 %

**Tabella 52** Confronto tra i valori dei rendimenti (emissione e regolazione) ricavati dalla simulazione e dalla norma

Il rendimento ricavato da normativa è stato ottenuto a partire dal fabbisogno dell'involucro con temperatura di set point costante pari a 20 °C, con i radiatori posti su parete esterna non isolata e regolazione di zona di tipo on/off.

Anche in questa situazione sono controllati i valori percentuali delle volte in cui la temperatura dell'aria delle stanze si trova all'esterno o all'interno della banda 19,5-20,5 °C.

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sotto dei 19,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 19,5 e 20,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	2 %	50 %	48 %
<b>Cucina</b>	1 %	49 %	51 %
<b>Camera 2</b>	0 %	3 %	97 %
<b>Camera 3</b>	0 %	92 %	8 %
<b>Camera 6</b>	0 %	1 %	99 %
<b>Bagno 5</b>	1 %	50 %	50 %
<b>Bagno 7</b>	0 %	1 %	99 %

**Tabella 53** *Percentuale temporale in cui le temperature nelle stanze sono comprese nei tre intervalli*

Poiché le stanze in cui sono presenti i controlli sono quelle con maggior fabbisogno e gli altri ambienti controllati da queste tre stanze presentano un fabbisogno minore, allora quando le condizioni desiderate sono raggiunte nelle stanze di controllo, allora nelle stanze controllate la temperatura sale oltre il limite superiore della banda.

Per questo motivo nelle due camere controllate e nel bagno controllato, per la maggior parte del tempo la temperatura supera i 20,5 °C (ricordando che il conto viene svolto unicamente per il periodo invernale).



### 9.4.6 Caso 2b

D'ora in poi nei casi in cui avviene la regolazione di zona, le stanze che controllano le restanti sono la cucina (e quindi non il soggiorno) e la camera e il bagno più esterni (stanze rivolte ad est).

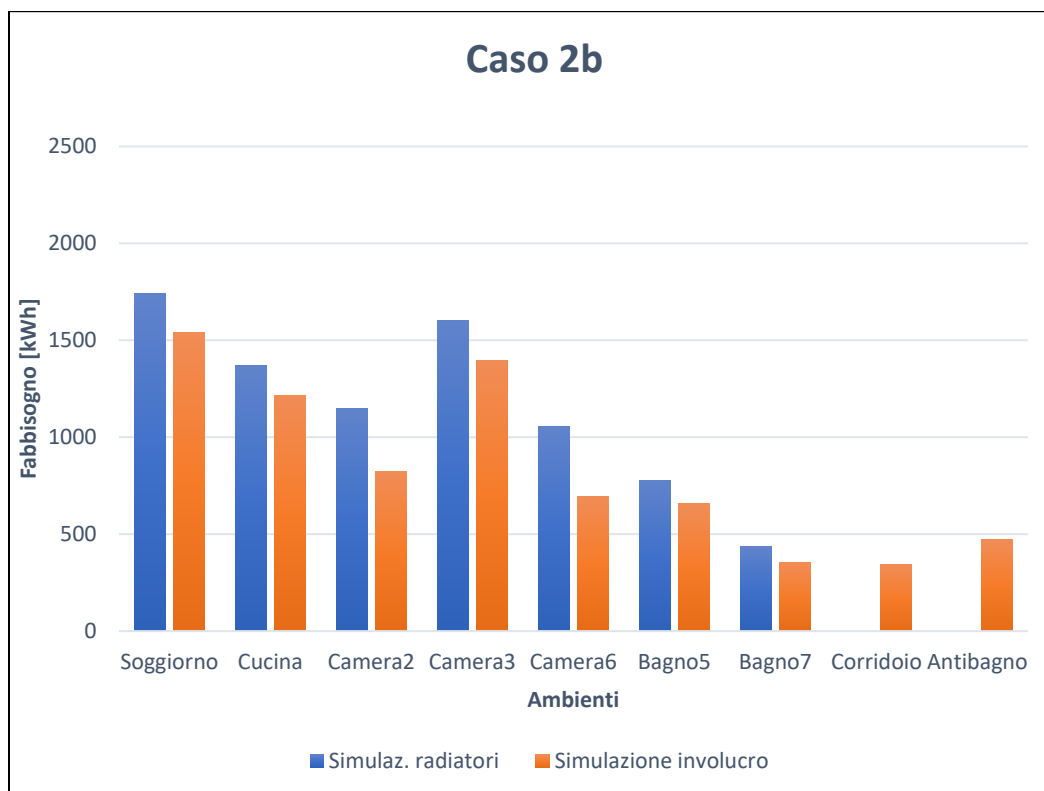
La regolazione è di zona e il regolatore installato è di tipo on/off (tutto o niente) con temperatura di set-point variabile tra 20 e 16 °C e differenziale di 1 °C, mentre la temperatura di mandata dell'acqua è ancora costante (80°C).

I valori finali del fabbisogno richiesto annualmente sono i seguenti:

	<b>Simulazione solo involucro</b>	<b>Simulazione con radiatori</b>	
<b>Soggiorno</b>	1540	1742	kWh
<b>Cucina</b>	1214	1369	
<b>Camera 2</b>	825	1150	
<b>Camera 3</b>	1394	1601	
<b>Camera 6</b>	694	1053	
<b>Bagno 5</b>	658	779	
<b>Bagno 7</b>	354	439	
<b>Antibagno</b>	471	0	
<b>Corridoio</b>	342	0	
<b>Totale</b>	7491	8134	kWh
	71,48	77,61	kWh/m <sup>2</sup>

**Tabella 54** *Confronto tra fabbisogno netto richiesto dal solo involucro e il fabbisogno richiesto dalla regolazione di zona*

I valori mostrati in tabella vengono riportati nel seguente grafico:



**Figura 9.14** Confronto risultati del caso 2b con i risultati ottenuti tramite simulazione del solo involucro con set point variabile

Il fabbisogno richiesto dall'appartamento è maggiore rispetto alla regolazione ambiente.

Di conseguenza, il rendimento totale (emissione e regolazione) nella regolazione a zona con temperatura di set point variabile vale:

<b>Rendimento reale</b>	92,1 %
<b>Rendimento norma UNI 11300</b>	83,0 %

**Tabella 55** Confronto tra i valori dei rendimenti (emissione e regolazione) ricavati dalla simulazione e dalla norma

Il rendimento ricavato da normativa è stato ottenuto a partire dal fabbisogno dell'involucro con temperatura di set point variabile, con i radiatori posti su parete esterna non isolata e regolazione di zona di tipo on/off.

Controllando i valori percentuali di temperatura:

Ambienti	Temperature al di sotto dei 19,5 °C	Temperature comprese tra 19,5 e 20,5 °C	Temperature al di sopra dei 20,5 °C
Soggiorno	35 %	51 %	14 %
Cucina	26 %	52 %	21 %
Camera 2	0 %	17 %	82 %
Camera 3	10 %	88 %	1 %
Camera 6	1 %	35 %	64 %
Bagno 5	37 %	42 %	22 %
Bagno 7	23 %	46 %	31 %

Ambienti	Temperature al di sotto dei 15,5 °C	Temperature comprese tra 15,5 e 16,5 °C	Temperature al di sopra dei 16,5 °C
Soggiorno	1 %	2 %	97 %
Cucina	0 %	30 %	70 %
Camera 2	0 %	0 %	100 %
Camera 3	0 %	34 %	66 %
Camera 6	0 %	0 %	100 %
Bagno 5	0 %	30 %	70 %
Bagno 7	0 %	0 %	100 %

**Tabella 56** Percentuale temporale in cui le temperature nelle stanze sono comprese nei tre intervalli

Come nel caso 2a, anche in questa situazione le temperature delle stanze controllate sono più elevate rispetto al set point scelto.

### 9.4.7 Caso 3a

La termoregolazione avviene per singolo ambiente mediante un termostato installato in ogni stanza in cui è presente almeno un radiatore.

Le zone in cui sono installati i termostati per il controllo e la regolazione della temperatura sono: il soggiorno, la cucina, le camere e i bagni, ad esclusione dell'antibagno e del corridoio. Il regolatore installato è di tipo on/off con temperatura di set-point pari a 20 °C e banda di temperatura pari a 1 °C.

La regolazione è di tipo climatica, per cui la temperatura di mandata dell'acqua è variabile con la temperatura esterna.

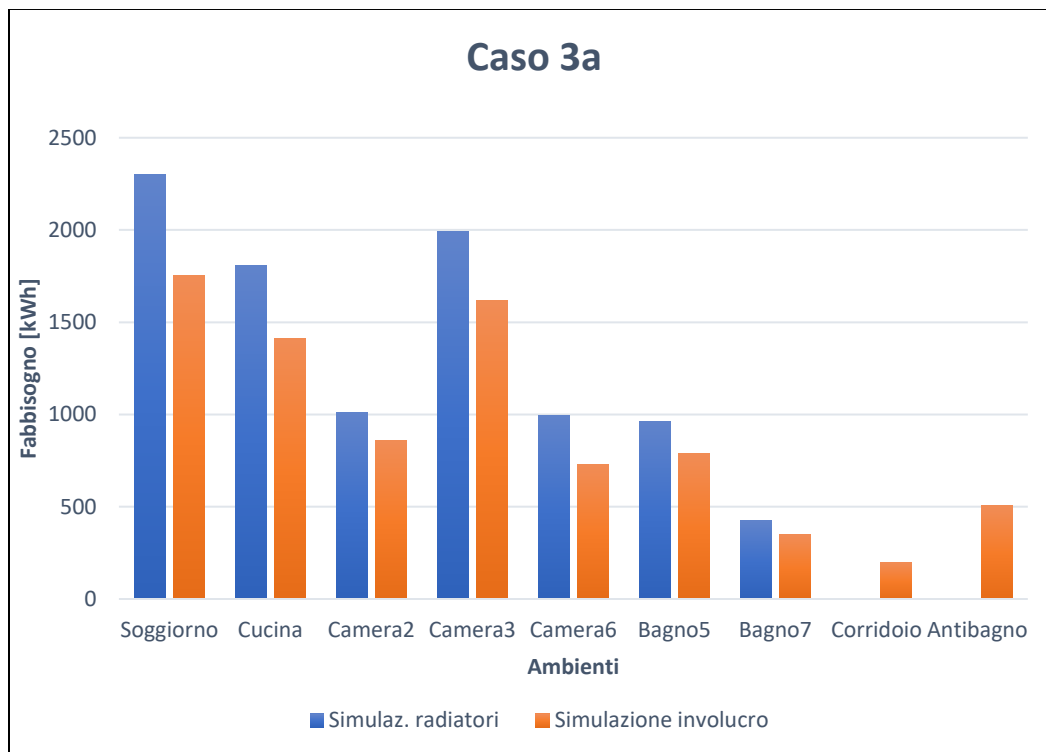
I valori finali del fabbisogno richiesto annualmente sono:

	<b>Simulazione solo involucro</b>	<b>Simulazione con radiatori</b>	
<b>Soggiorno</b>	1754	2303	kWh
<b>Cucina</b>	1412	1807	
<b>Camera 2</b>	859	1013	
<b>Camera 3</b>	1617	1990	
<b>Camera 6</b>	731	997	
<b>Bagno 5</b>	791	964	
<b>Bagno 7</b>	350	427	
<b>Antibagno</b>	504	0	
<b>Corridoio</b>	199	0	
<b>Totale</b>	8218	9500	kWh
	78,42	90,65	kWh/m <sup>2</sup>

**Tabella 57** Confronto tra fabbisogno netto richiesto dal solo involucro e il fabbisogno richiesto dalla regolazione ambiente/climatica

Il modello da simulare è il medesimo usato per il caso *1a*, solo che nella seconda calcolatrice l'equazione precedente che esprimeva la temperatura costante di mandata viene sostituita con l'equazione appena descritto, la quale rappresenta la variabilità della temperatura di mandata

I valori mostrati in tabella vengono riportati nel seguente grafico:



**Figura 9.16** *Confronto risultati del caso 3a con i risultati ottenuti tramite simulazione del solo involucro con set point costante*

Ottenuti i valori del fabbisogno netto e lordo, è possibile ora calcolare il rendimento reale del sistema emissione-regolazione e confrontarlo con quello ricavato dalla normativa.

Si ottiene:

<b>Rendimento simulazione</b>	86,5 %
<b>Rendimento norma UNI 11300</b>	88,9 %

**Tabella 58** *Confronto tra i valori dei rendimenti (emissione e regolazione) ricavati dalla simulazione e dalla norma*

Il rendimento ricavato da normativa è stato ottenuto a partire dal fabbisogno dell'involucro con temperatura di set point pari a 20 °C, con i radiatori posti su parete esterna non isolata e regolazione on/off per singolo ambiente (con anche regolazione climatica).

Per tener conto della regolazione climatica si è calcolato, tramite la conoscenza della temperatura di mandata dell'acqua per ogni step temporale, il rendimento medio per i diversi casi attraverso l'interpolazione lineare suggerita nel prospetto 17 (sottosistema di emissione) nel periodo invernale. Tale calcolo ha portato ad un incremento del rendimento di emissione rispetto ai casi in cui non è presente la regolazione climatica e quindi un aumento del rendimento totale (prodotto del rendimento di emissione e regolazione). Questo metodo è così stato applicato ad ogni caso in cui vi è la presenza della regolazione climatica.

Si nota che i due valori sono simili tra loro e che il rendimento reale è superiore rispetto allo stesso caso ma senza regolazione climatica (caso *1a*).

Infine, è stato valutato per ogni singolo ambiente quanto percentualmente la temperatura della stanza raggiunge valori al di sopra del limite superiore del differenziale (quindi sopra i 20,5 °C), per quanto si trova al di sotto del limite superiore (ovvero al di sotto dei 19,5 °C) e per quanto invece la temperatura della stanza è compresa tra i due limiti (quindi tra i 19,5 e i 20,5 °C).

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sotto dei 19,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 19,5 e 20,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	0 %	92 %	8 %
<b>Cucina</b>	5 %	82 %	13 %
<b>Camera 2</b>	0 %	97 %	3 %
<b>Camera 3</b>	0 %	100 %	0 %
<b>Camera 6</b>	0 %	93 %	7 %
<b>Bagno 5</b>	11 %	81 %	8 %
<b>Bagno 7</b>	0 %	94 %	6 %

**Tabella 59** *Percentuale temporale in cui le temperature nelle stanze sono comprese nei tre intervalli*

Si nota che mai la temperatura nelle stanze scende al di sotto dei 19,5 °C e per gran parte del tempo rimane compresa all'interno del differenziale. Le uniche eccezioni riguardano la cucina e il bagno 5, che rimangono le stanze più critiche dell'intero appartamento.

#### **9.4.8 Caso 3b**

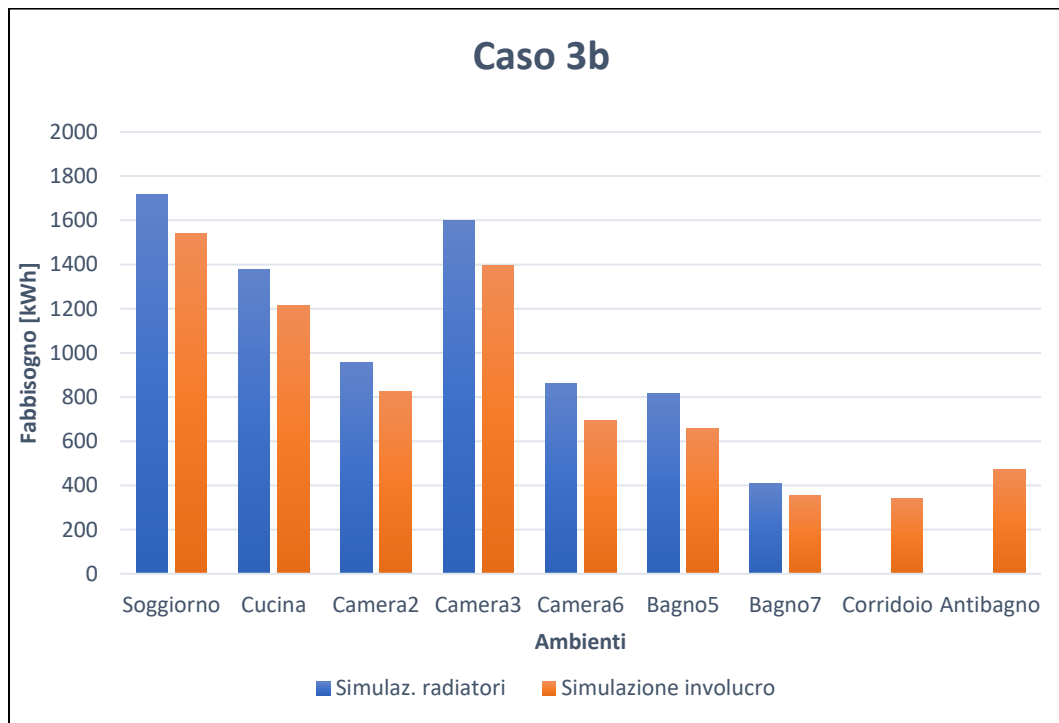
La termoregolazione avviene per singolo ambiente mediante un termostato installato in ogni stanza in cui è presente almeno un terminale e viene aggiunta anche la regolazione climatica. La situazione di base è quella scelta nel caso *Ia*, in cui l'equazione precedente relativa alla temperatura di mandata viene sostituita con l'equazione descritta dalla curva climatica.

Il regolatore installato è di tipo on/off con temperatura di set-point variabile tra 20 e 16 °C e differenziale di 1 °C, mentre la temperatura di mandata dell'acqua è variabile appunto.

I valori finali del fabbisogno richiesto annualmente sono riportati nella tabella e nel grafico a pagina seguente.

	Simulazione solo involucro	Simulazione con radiatori	
<b>Soggiorno</b>	1540	1717	kWh
<b>Cucina</b>	1214	1375	
<b>Camera 2</b>	825	958	
<b>Camera 3</b>	1394	1597	
<b>Camera 6</b>	694	861	
<b>Bagno 5</b>	658	817	
<b>Bagno 7</b>	354	408	
<b>Antibagno</b>	471	0	
<b>Corridoio</b>	342	0	
<b>Totale</b>	7491	7733	kWh
	71,48	73,79	kWh/m <sup>2</sup>

**Tabella 60** Confronto tra fabbisogno netto richiesto dal solo involucro e il fabbisogno richiesto dalla regolazione di zona



**Figura 9.17** Confronto risultati del caso 3b con i risultati ottenuti tramite simulazione del solo involucro con set point variabile



Come ci si aspettava, il fabbisogno richiesto in questo caso è inferiore rispetto al caso *1b*, di circa il 2 %.

Il valore del rendimento è riportato in tabella:

<b>Rendimento simulazione</b>	96,9 %
<b>Rendimento norma UNI 11300</b>	88,9 %

**Tabella 61** *Confronto tra i valori dei rendimenti (emissione e regolazione) ricavati dalla simulazione e dalla norma*

Il rendimento ricavato da normativa è stato ottenuto a partire dal fabbisogno dell'involucro con temperatura di set point variabile tra 16 e 20 °C, con i radiatori posti su parete esterna non isolata e regolazione ambiente (più climatica) di tipo on/off.

Si ottiene:

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sotto dei 19,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 19,5 e 20,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	17 %	80 %	3 %
<b>Cucina</b>	17 %	82 %	1 %
<b>Camera 2</b>	30 %	70 %	0 %
<b>Camera 3</b>	57 %	43 %	0 %
<b>Camera 6</b>	36 %	64 %	0 %
<b>Bagno 5</b>	28 %	72 %	0 %
<b>Bagno 7</b>	32 %	68 %	0 %

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sotto dei 15,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 15,5 e 16,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 16,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	1 %	26 %	72 %
<b>Cucina</b>	0 %	32 %	68 %
<b>Camera 2</b>	0 %	16 %	84 %
<b>Camera 3</b>	0 %	44 %	56 %
<b>Camera 6</b>	0 %	22 %	78 %
<b>Bagno 5</b>	0 %	32 %	68 %
<b>Bagno 7</b>	0 %	12 %	88 %

**Tabella 62** *Percentuale temporale in cui le temperature nelle stanze sono comprese nei tre intervalli*

Dai valori ottenuti è possibile osservare che le temperature sono mantenute molto bene nel range 15,5-20,5 °C.

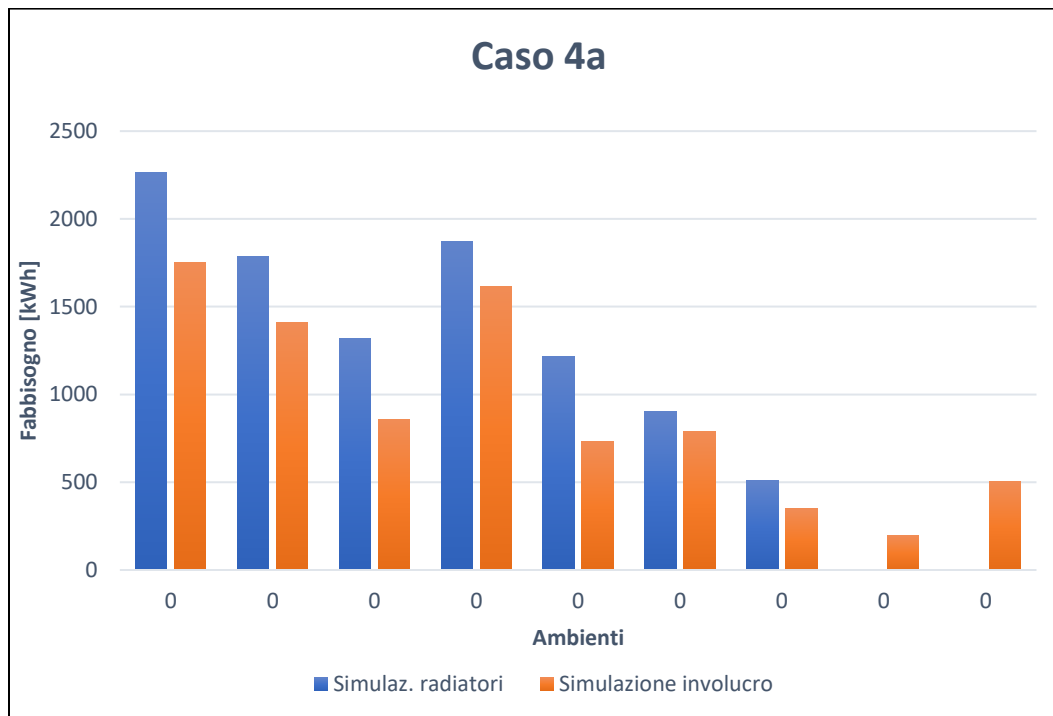
#### **9.4.9 Caso 4a**

Il caso in esame è identico al caso 2a, in cui è utilizzata anche la regolazione climatica oltre a quella già presente.

Anche in questa situazione, per la presenza della regolazione climatica viene aumentato il rendimento con lo stesso procedimento adottato nel caso 3a.

	Simulazione solo involucro	Simulazione con radiatori	
<b>Soggiorno</b>	1754	2262	kWh
<b>Cucina</b>	1412	1787	
<b>Camera 2</b>	859	1321	
<b>Camera 3</b>	1617	1564	
<b>Camera 6</b>	731	1214	
<b>Bagno 5</b>	791	904	
<b>Bagno 7</b>	350	509	
<b>Antibagno</b>	504	0	
<b>Corridoio</b>	199	0	
<b>Totale</b>	8218	9866	kWh
	78,42	94,14	kWh/m <sup>2</sup>

**Tabella 63** Confronto tra fabbisogno netto richiesto dal solo involucro e il fabbisogno richiesto dalla regolazione zona/climatica



**Figura 9.18** Confronto risultati del caso 4a con i risultati ottenuti tramite simulazione del solo involucro con set point costante

Ora è possibile calcolare il rendimento:

<b>Rendimento simulazione</b>	83,3 %
<b>Rendimento norma UNI 11300</b>	88,0 %

**Tabella 64** *Confronto tra i valori dei rendimenti (emissione e regolazione) ricavati dalla simulazione e dalla norma*

Il rendimento ricavato da normativa è stato ottenuto a partire dal fabbisogno dell'involucro con temperatura di set point costante, con i radiatori posti su parete esterna non isolata e regolazione di zona (più climatica) di tipo on/off.

Riportando i valori percentuali di temperatura:

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sotto dei 19,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 19,5 e 20,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	4 %	78 %	18 %
<b>Cucina</b>	5 %	81 %	14 %
<b>Camera 2</b>	0 %	4 %	96 %
<b>Camera 3</b>	0 %	100 %	0 %
<b>Camera 6</b>	0 %	5 %	95 %
<b>Bagno 5</b>	7 %	81 %	12 %
<b>Bagno 7</b>	0 %	7 %	93 %

**Tabella 65** *Percentuale temporale in cui le temperature nelle stanze sono comprese nei tre intervalli*

Ci si accorge che le temperature superano per molto tempo quelle di set point nelle stanze controllate.

### 9.4.10 Caso 4b

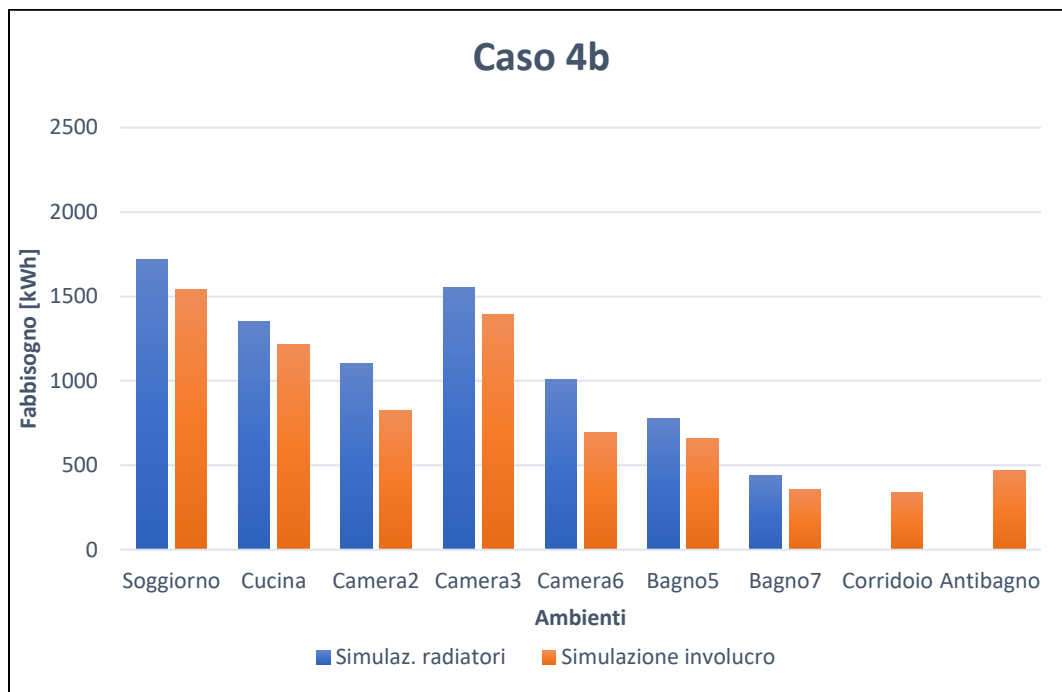
Le stanze che controllano le restanti sono la cucina (e quindi non il soggiorno), la camera e il bagno più esterno (stanze rivolte ad est).

La regolazione è di zona e il regolatore installato è di tipo on/off (tutto o niente) con temperatura di set-point variabile tra 20 e 16 °C e differenziale di 1 °C, mentre la temperatura di mandata dell'acqua è variabile e dipende dalla temperatura esterna (regolazione climatica).

Sono riportati in seguito i valori del fabbisogno richiesto, sia in tabella che nel grafico corrispondente.

	<b>Simulazione solo involucro</b>	<b>Simulazione con radiatori</b>	
<b>Soggiorno</b>	1540	1721	kWh
<b>Cucina</b>	1214	1350	
<b>Camera 2</b>	825	1105	
<b>Camera 3</b>	1394	1551	
<b>Camera 6</b>	694	1010	
<b>Bagno 5</b>	658	779	
<b>Bagno 7</b>	354	438	
<b>Antibagno</b>	471	0	
<b>Corridoio</b>	342	0	
<b>Totale</b>	7491	7955	kWh
	71,48	75,91	kWh/m <sup>2</sup>

**Tabella 66** *Confronto tra fabbisogno netto richiesto dal solo involucro e il fabbisogno richiesto dalla regolazione zona/climatica*



**Figura 9.19** *Confronto risultati del caso 4b con i risultati ottenuti tramite simulazione del solo involucro con set point variabile*

Di conseguenza, il rendimento totale (emissione e regolazione) nella regolazione a zona (a cui è aggiunta anche la regolazione climatica) con temperatura di set point variabile vale:

<b>Rendimento simulazione</b>	94,2 %
<b>Rendimento norma UNI 11300</b>	88,0 %

**Tabella 67** *Confronto tra i valori dei rendimenti (emissione e regolazione) ricavati dalla simulazione e dalla norma*

Il rendimento ricavato da normativa è stato ottenuto a partire dal fabbisogno dell'involucro con temperatura di set point variabile, con i radiatori posti su parete esterna non isolata e regolazione di zona di tipo on/off e climatica.

Controllando i valori percentuali di temperatura:

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sotto dei 19,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 19,5 e 20,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	32 %	64 %	4 %
<b>Cucina</b>	17 %	82 %	1 %
<b>Camera 2</b>	8 %	54 %	39 %
<b>Camera 3</b>	52 %	48 %	0 %
<b>Camera 6</b>	15 %	44 %	41 %
<b>Bagno 5</b>	26 %	74 %	0 %
<b>Bagno 7</b>	17 %	66 %	17 %

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sotto dei 15,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 15,5 e 16,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 16,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	1 %	3 %	96 %
<b>Cucina</b>	0 %	32 %	68 %
<b>Camera 2</b>	0 %	0 %	100 %
<b>Camera 3</b>	0 %	41 %	59 %
<b>Camera 6</b>	0 %	0 %	100 %
<b>Bagno 5</b>	0 %	31 %	69 %
<b>Bagno 7</b>	0 %	0 %	100 %

**Tabella 68** *Percentuale temporale in cui le temperature nelle stanze sono comprese nei tre intervalli*

Si nota, anche in questo caso, che le temperature delle stanze controllate sono più elevate rispetto al set point scelto, in quanto controllate indirettamente.

Inoltre, le percentuali nel tempo in cui la temperatura supera i 20,5 °C sono minori rispetto alle percentuali del caso corrispondente (caso 2b); ciò è dovuto alla regolazione climatica,

grazie alla quale il fabbisogno richiesto è inferiore, per cui anche il surriscaldamento delle stanze è più basso.

#### 9.4.11 Caso 5a

In questa situazione si considera solamente un termostato in cucina che controlla tutte le altre stanze. La temperatura di set point impostata è pari a 20 °C e la temperatura di mandata dell'acqua è di 80 °C costanti.

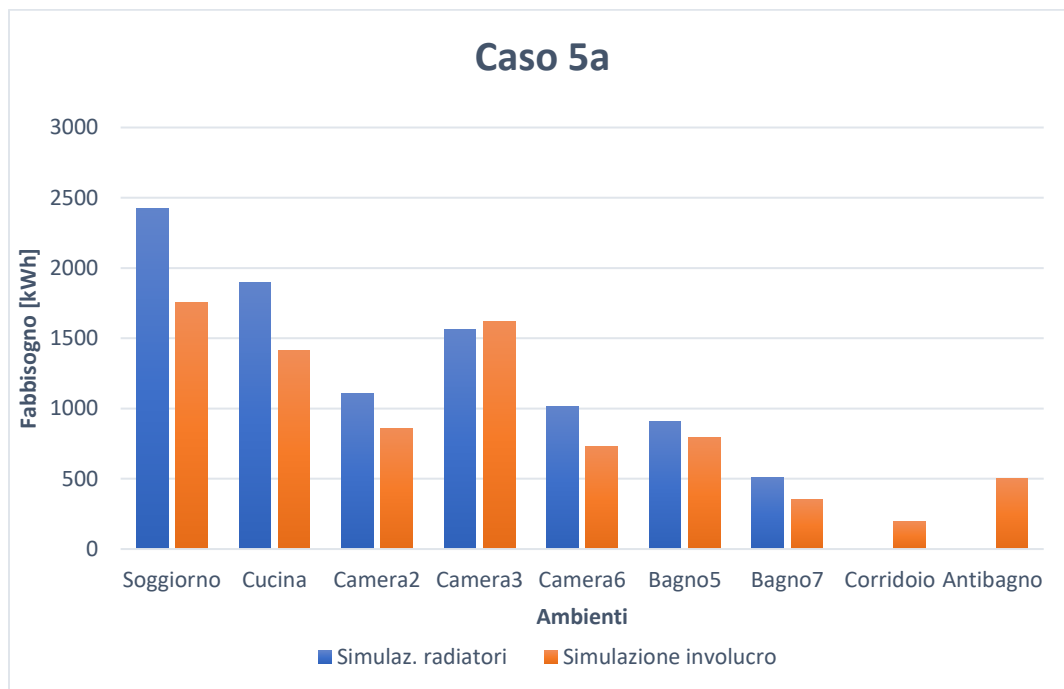
I valori di fabbisogno e di rendimento che ci si aspettano da questo caso non si discosteranno di molto rispetto ai casi precedenti, ma sicuramente le temperature all'interno delle varie stanze saranno per poco tempo all'interno della banda considerata.

Analizzando i fabbisogni delle stanze e dell'appartamento per intero si ottiene la tabella visualizzata nella pagina successiva.

	<b>Simulazione solo involucro</b>	<b>Simulazione con radiatori</b>	
<b>Soggiorno</b>	1754	2420	kWh
<b>Cucina</b>	1412	1899	
<b>Camera 2</b>	859	1109	
<b>Camera 3</b>	1617	1564	
<b>Camera 6</b>	731	1016	
<b>Bagno 5</b>	791	909	
<b>Bagno 7</b>	350	512	
<b>Antibagno</b>	504	0	
<b>Corridoio</b>	199	0	
<b>Totale</b>	8218	9429	kWh
	78,42	89,97	kWh/m <sup>2</sup>

**Tabella 69** *Confronto tra fabbisogno netto richiesto dal solo involucro e il fabbisogno richiesto dalla regolazione di zona*





**Figura 9.20** *Confronto risultati del caso 5a con i risultati ottenuti tramite simulazione del solo involucro con set point costante*

Il valore del fabbisogno con la simulazione dei radiatori per il caso della camera 3 è inferiore al caso ideale. Ciò significa che i radiatori non cedono la potenza sufficiente per mantenere il set point all'interno di tale stanza, infatti la camera 3 (zona notte) è controllata dalla cucina (zona giorno), la quale presenta un diverso fabbisogno.

Di conseguenza, il rendimento totale (emissione e regolazione) nella regolazione a singola zona con temperatura di set point costante vale:

<b>Rendimento simulazione</b>	87,2 %
<b>Rendimento norma UNI 11300</b>	83,0 %

**Tabella 70** *Confronto tra i valori dei rendimenti (emissione e regolazione) ricavati dalla simulazione e dalla norma*

Il rendimento ricavato da normativa è stato ottenuto a partire dal fabbisogno dell'involucro con temperatura di set point costante, con i radiatori posti su parete esterna non isolata e regolazione di zona di tipo on/off.

Controllando i valori percentuali di temperatura:

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sotto dei 19,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 19,5 e 20,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	6 %	62 %	32 %
<b>Cucina*</b>	0 %	49 %	51 %
<b>Camera 2</b>	31 %	46 %	23 %
<b>Camera 3</b>	93 %	7 %	0 %
<b>Camera 6</b>	15 %	69 %	16 %
<b>Bagno 5</b>	49 %	40 %	10 %
<b>Bagno 7</b>	2 %	42 %	56 %

*Tabella 71 Percentuale temporale in cui le temperature nelle stanze sono comprese nei tre intervalli*

Anche da questa tabella si nota che i valori di temperatura nel tempo escono spesso dalla banda scelta e ciò è dovuto al fatto che il radiatore si accende quando è richiesta energia alla cucina, per cui il fabbisogno reale della camera non viene soddisfatto adeguatamente. Si nota inoltre che le situazioni più critiche sono quelle relative alle stanze che presentano maggiori dispersioni termiche, poiché hanno un maggior numero di superfici rivolte verso l'esterno.

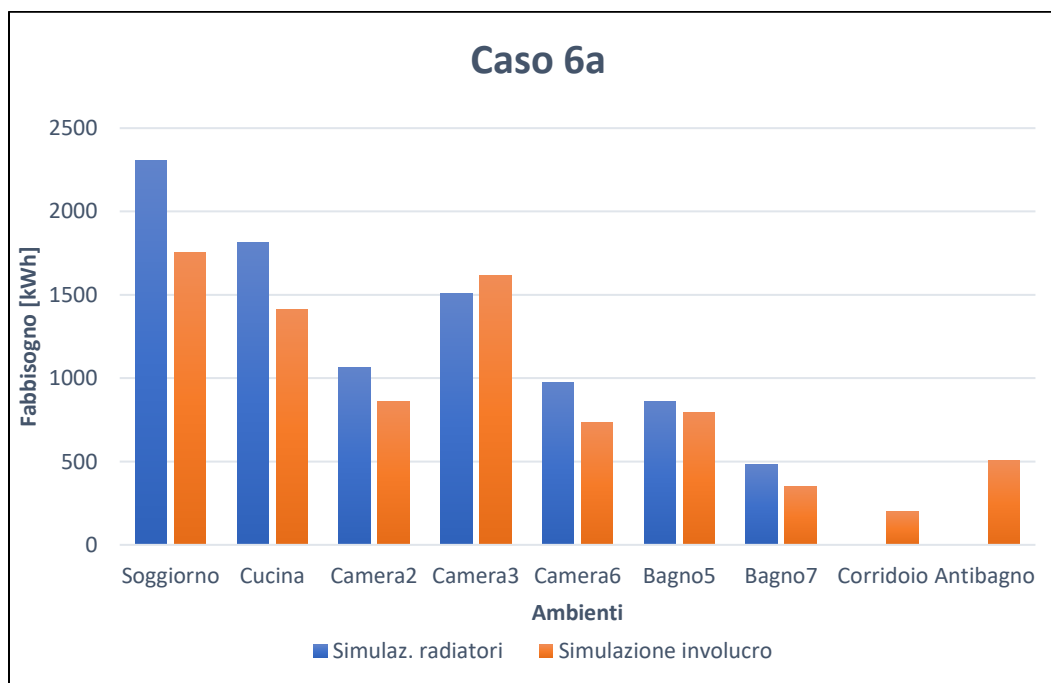
#### **9.4.12 Caso 6a**

In questa situazione si riconsidera il caso precedente, con l'unico termostato installato in cucina, la temperatura di set point impostata è pari a 20 °C e la temperatura di mandata dell'acqua dipende dalle condizioni esterne (regolazione climatica).

I valori del fabbisogno per ogni stanza valgono:

	Simulazione solo involucro	Simulazione con radiatori	
<b>Soggiorno</b>	1754	2307	kWh
<b>Cucina</b>	1412	1813	
<b>Camera 2</b>	859	1061	
<b>Camera 3</b>	1617	1509	
<b>Camera 6</b>	731	973	
<b>Bagno 5</b>	791	858	
<b>Bagno 7</b>	350	483	
<b>Antibagno</b>	504	0	
<b>Corridoio</b>	199	0	
<b>Totale</b>	8218	9005	kWh
	78,42	85,93	kWh/m <sup>2</sup>

**Tabella 72** Confronto tra fabbisogno netto richiesto dal solo involucro e il fabbisogno richiesto dalla regolazione di zona



**Figura 9.21** Confronto risultati del caso 6a con i risultati ottenuti tramite simulazione del solo involucro con set point costante

Si nota che anche in questo caso i radiatori cedono la potenza necessaria quando questa è richiesta dalla cucina, per cui la camera 3 non riceve una sufficiente quantità di energia per mantenere la temperatura impostata.

Di conseguenza, il rendimento totale (emissione e regolazione) nella regolazione a singola zona con temperatura di set point costante e regolazione climatica vale:

**Rendimento simulazione** 91,3 %

**Rendimento norma UNI 11300** 88,0 %

**Tabella 73** *Confronto tra i valori dei rendimenti (emissione e regolazione) ricavati dalla simulazione e dalla norma*

Il rendimento ricavato da normativa è stato ottenuto a partire dal fabbisogno dell'involucro con temperatura di set point costante, con i radiatori posti su parete esterna non isolata e regolazione di zona di tipo on/off e climatica.

Controllando i valori percentuali di temperatura:

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sotto dei 19,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 19,5 e 20,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	14 %	76 %	10 %
<b>Cucina*</b>	6 %	82 %	13 %
<b>Camera 2</b>	45 %	53 %	2 %
<b>Camera 3</b>	97 %	3 %	0 %
<b>Camera 6</b>	43 %	52 %	5 %
<b>Bagno 5</b>	82 %	17 %	2 %
<b>Bagno 7</b>	5 %	81 %	14 %

**Tabella 74** *Percentuale temporale in cui le temperature nelle stanze sono comprese nei tre intervalli*

Anche da questa tabella si nota che la potenza nella camera 3 non è sufficiente a raggiungere il set point, infatti per la maggior percentuale del tempo la temperatura dell'aria della stanza si trova al di sotto del limite inferiore della banda.

## 9.5 Discussioni risultati

Riportando per ogni caso il fabbisogno richiesto dall'intero appartamento per ogni mese:

Mesi	Involucro		Regolazione ambiente				Regolazione di zona					
	a	b	1a	1b	3a	3b	2a	2b	4a	4b	5a	6a
Gennaio	1686	1903	2332	1942	2304	1902	2443	1986	2376	1964	2315	2206
Febbraio	1112	1402	1773	1451	1753	1413	1867	1481	1825	1448	1741	1677
Marzo	1151	912	1220	987	1202	970	1292	1020	1262	988	1130	1091
Aprile	461	213	335	260	327	255	368	282	353	268	280	263
Ottobre	505	326	457	374	446	367	498	399	476	381	444	418
Novembre	1244	980	1333	1083	1310	1059	1418	1119	1370	1079	1338	1270
Dicembre	2059	1754	2186	1807	2158	1768	2269	1848	2204	1827	2180	2079
Tot [kWh]	8218	7491	9635	7903	9500	7733	10155	8134	9866	7955	9429	9005
Tot [kWh/m <sup>2</sup> ]	78	71	92	75	91	74	97	78	94	76	90	86

**Tabella 75** Fabbisogno mensile richiesto per l'appartamento 4 per ogni caso

Osservando la tabella, è possibile affermare che:

- Il fabbisogno richiesto per i casi in cui si è effettuata la simulazione per il solo involucro con diverse temperature di set point non è lo stesso, ma è ovviamente inferiore nel caso b (temperature di set point pari a 16 e 20 °C); questo è dovuto al fatto che, quando è impostato il set point minore (16 °C) è sufficiente una minor spesa di energia per raggiungere tale condizione.

- Considerando i soli casi a (con set point costante pari a 20 °C), si nota che l'uso di una regolazione climatica in aiuto a quella fatta ambiente per ambiente (o di zona) ha l'effetto di diminuire il fabbisogno richiesto dall'edificio; ciò deriva dalla minor spesa di energia che viene ceduta dal generatore all'acqua che circola nei terminali. Questa considerazione riguarda il caso 1a (solo regolazione ambiente), confrontato con il caso 3a (con l'aggiunta della regolazione climatica). Il risparmio ottenuto è circa pari a 1,4 %, ma tuttavia trascurabile.

La convenienza dell'utilizzo della regolazione climatica riguarda soprattutto la generazione; il reale risparmio del consumo energetico si ha solamente se la modulazione è eseguita a monte, a livello di generatore di calore (in quanto aumenta il rendimento di generazione) e a livello delle minori perdite nel sottosistema di distribuzione, poiché la temperatura è più bassa.

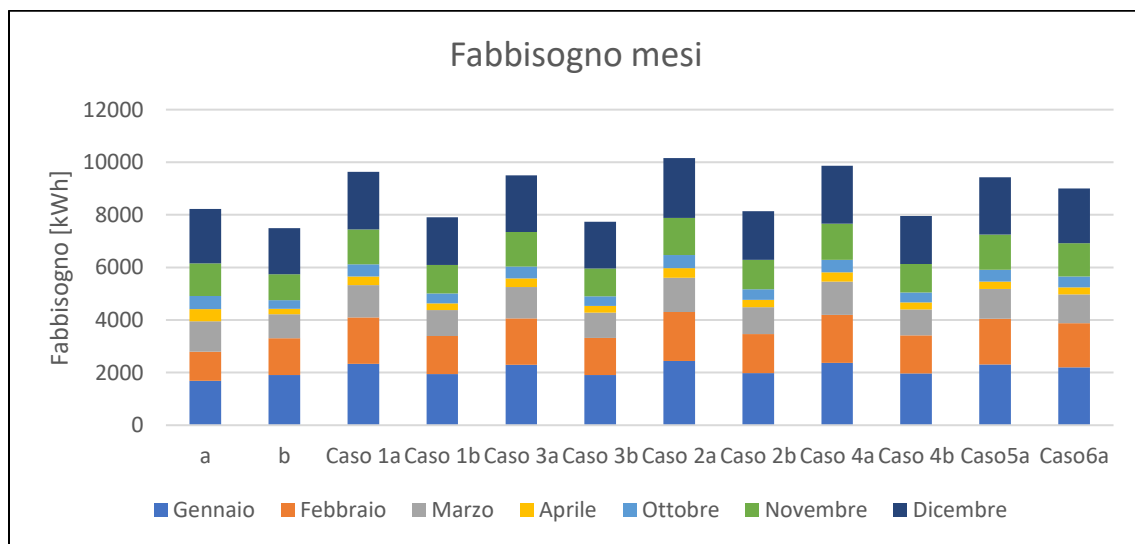
- Lo stesso discorso può essere fatto per i casi in cui la regolazione climatica sostiene la regolazione di zona, situazione descritta dai casi 2a e 5a (solo regolazione di zona) confrontati con i casi 4a e 6a. In questo caso si ottiene un risparmio pari a 2,8 % e 4,5 % rispettivamente.
- Anche nella situazione in cui sono stati scelti due set point di temperatura (16 e 20 °C), che ingloba i casi 1b-3b e 2b-4b, si ottiene un risparmio energetico pari a 2,2 % per entrambi.
- I periodi più gravosi in cui il fabbisogno richiesto è più elevato riguardano i mesi di gennaio e dicembre.
- Il caso in cui è richiesto un maggior fabbisogno energetico con temperatura di set point costante, in termini di kWh, è il caso in cui la regolazione è a zona con tre termostati installati (cucina, camera 3 e bagno 5), che corrisponde al caso 2a, mentre la situazione in cui il fabbisogno è minore corrisponde al caso 6a, regolazione di zona con un unico termostato posizionato in cucina, anche se le condizioni di comfort scelte non sono raggiunte in quasi nessuna stanza.

Il fabbisogno in questo caso risulta essere minore in quanto, mantenendo invariate le dimensioni dei radiatori calcolate a partire dalla potenza di progetto di ogni singola stanza, questi non riescono a fornire alle stanze più sfavorite l'energia sufficiente a

garantire una temperatura media dell'aria pari a quella che si presenta nel caso di un controllo stanza per stanza.

- Il caso in cui è richiesto un maggior fabbisogno energetico con temperatura di set point variabile è il caso 2b (controllo di zona da parte della cucina, della camera 3 e del bagno 5), mentre il caso 3b (controllo ambiente per ambiente con regolazione climatica) è la situazione in cui vi è minor spesa energetica.

I valori presentati in tabella vengono riportati nel seguente grafico:



**Figura 9.22** Fabbisogno mensile richiesto nei singoli casi

Le medesime considerazioni relative al fabbisogno possono essere riportate in funzione delle diverse stanze presenti nell'appartamento.

Ciò viene fatto per evidenziare quali stanze presentano la maggior richiesta di energia e quindi di spesa economica, dovuto principalmente alla loro posizione e alla quantità di superficie esterna disperdente verso l'esterno.

I valori ottenuti (espressi in kWh) possono essere riportati in un'unica tabella:

Mesi	Involucro		Regolazione ambiente				Regolazione di zona					
	20°C	20-16°C	1a	1b	3a	3b	2a	2b	4a	4b	5a	6a
Soggiorno	1754	1540	2252	1731	2303	1717	2382	1742	2262	1721	2420	2307
Cucina	1412	1214	1936	1392	1807	1375	1874	1369	1787	1350	1899	1813
Camera2	859	825	1020	978	1013	958	1324	1150	1321	1105	1109	1061
Camera3	1617	1394	1991	1663	1990	1597	1860	1601	1869	1551	1564	1509
Camera6	731	694	965	897	997	861	1216	1053	1214	1010	1016	973
Bagno5	791	658	1041	817	964	817	959	779	904	779	909	858
Bagno7	350	354	430	426	427	408	540	439	509	438	512	483
Corridoio	199	342	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Antibagno	504	471	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOT [kWh]	8218	7491	9635	7903	9500	7733	10155	8134	9866	7955	9429	9005

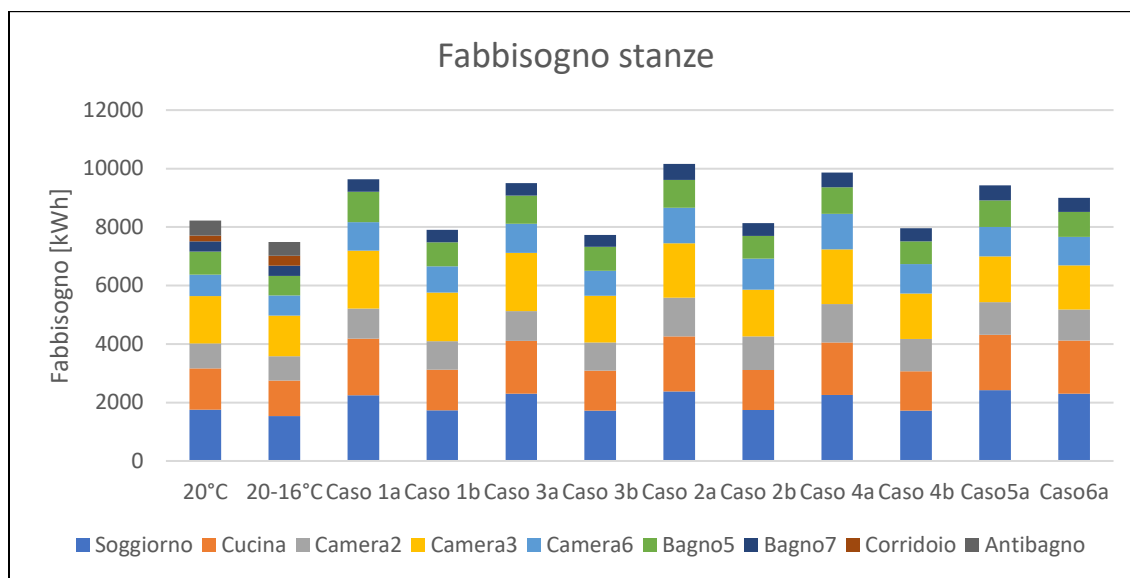
**Tabella 76** *Fabbisogno mensile richiesto per l'appartamento 4 per ogni caso*

Le considerazioni tratte dai valori indicati in tabella possono essere così riassunte:

- Dalla tonalità dei colori, si comprende facilmente che il soggiorno, la cucina e la camera 3 sono le tre stanze che richiedono un maggior fabbisogno termico nella stagione invernale.
- Le considerazioni fatte nella tabella precedente possono essere riportate anche in questa tabella.
- Il bagno ubicato a sud-est (bagno 5) non presenta valori elevati in termini globali (kWh) se confrontati con le tre stanze sopracitate, ma richiede un elevato fabbisogno se confrontato con il secondo bagno (bagno 7). Se invece si considerasse in termini di kWh/m<sup>2</sup>, risulterebbe che il bagno 5 è la stanza con maggior richiesta di energia per metro quadro considerato.
- I valori nulli di energia corrispondenti al corridoio e all'antibagno corrispondono all'assenza di terminali di impianto in tali stanze; pertanto esse richiedono un certo fabbisogno (espresso nella colonna "involucro") che viene soddisfatto dalle stanze adiacenti.



Il grafico corrispondente è il seguente:



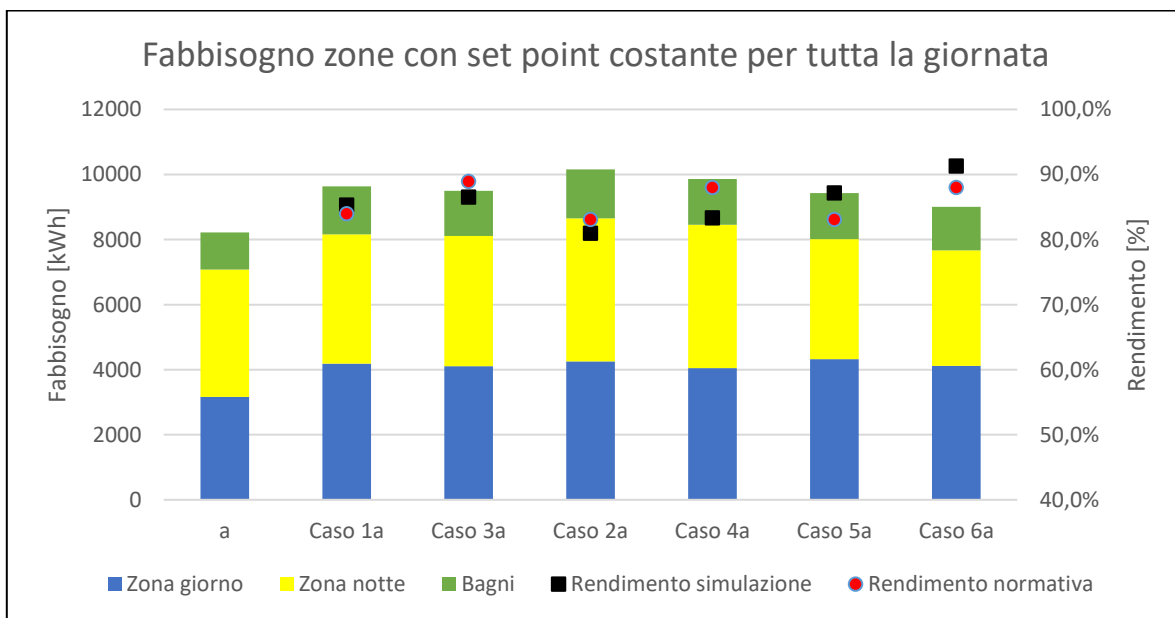
**Figura 9.23** *Fabbisogno annuale richiesto per ogni stanza nei singoli casi*

Per una più semplice lettura, la tabella precedente è stata modificata, inglobando i risultati ottenuti in tre macro-categorie: la zona giorno, la zona notte e i bagni. Inoltre, per una completa lettura, sono stati riportati anche i rendimenti per ogni caso, sia quelli ricavati dalla simulazione, che quelli ottenuti dalla normativa UNI 11300.

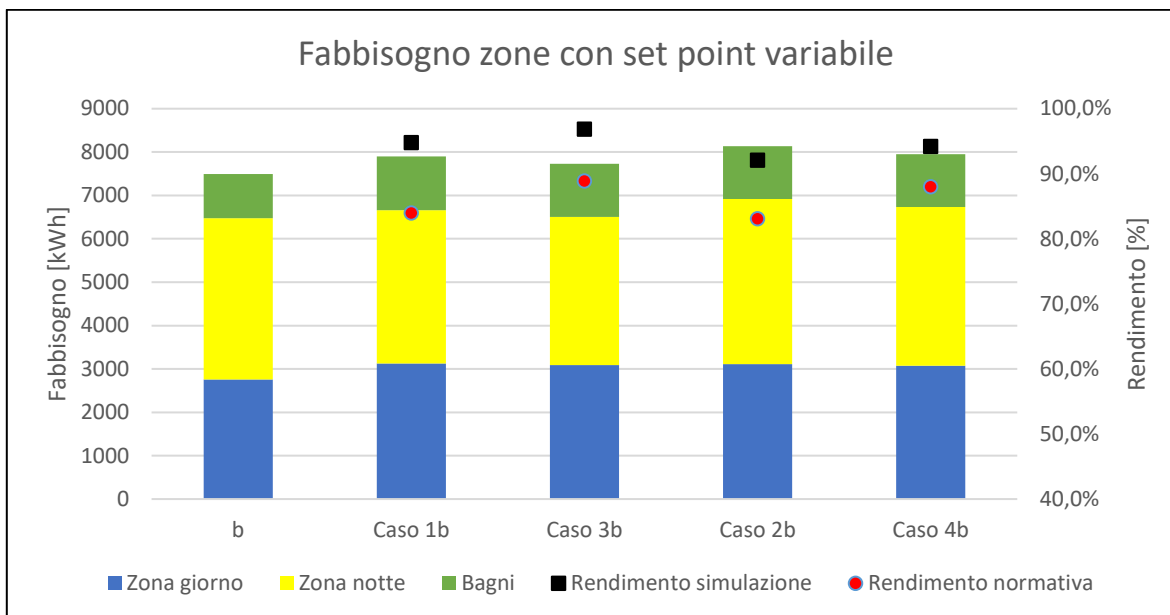
	Involucro		Regolazione ambiente per ambiente				Regolazione zona (3T)				Regolaz. zona (1T)	
	a	b	1a	1b	3a	3b	2a	2b	4a	4b	5a	6a
Zona giorno [kWh]	3166	2754	4187	3123	4110	3092	4256	3111	4049	3071	4319	4120
Zona notte [kWh]	3910	3725	3977	3537	3999	3416	4400	3805	4404	3666	3689	3544
Bagni [kWh]	1141	1012	1471	1243	1391	1225	1498	1218	1412	1217	1421	1341
Rendimento simulazione (%)			85,3	94,8	86,5	96,9	80,9	92,1	83,3	94,2	87,2	91,3
Rendimento norma (%)			83,9	83,9	86,6	86,6	83	83	85,7	85,7	83	85,7

**Tabella 77** Fabbisogno annuale richiesto per le diverse zone per ogni caso (1T si intende un termostato, mentre con 3T si intendono tre termostati installati)

La presente tabella può essere riportata nei seguenti grafici, uno relativo al set point costante pari a 20 °C impostato per tutte le ore della giornata, l'altro fa invece riferimento a set point variabile:



**Figura 9.24** Fabbisogno annuale con set point costante richiesto per ogni zona nei singoli casi e rendimenti calcolati tramite la simulazione e attraverso la normativa



**Figura 9.25** Fabbisogno annuale con set point variabile richiesto per ogni zona nei singoli casi e rendimenti calcolati tramite la simulazione e attraverso la normativa

Dai dati tabulati e dal corrispettivo grafico possono essere fatte le seguenti considerazioni:

- I fabbisogni più elevati sono richiesti nella zona notte e nella zona giorno.
- I rendimenti dei casi a (temperatura di set point costante) sono simili a quelli ricavati dalla normativa, mentre quelli relativi ai casi b (temperatura di set point variabile) sono invece molto superiori rispetto a quelli suggeriti dalla norma. Ciò è dovuto alle più basse temperature raggiunte in alcune stanze che comporta una minore quantità di energia fornita e, poiché tale valore di energia è al denominatore, più basso è questo valore, più elevato è il rendimento.
- Lo scostamento dei rendimenti, tra quelli ottenuti dalla simulazione e quelli ottenuti dalla normativa, è inferiore nel caso della simulazione con set point costante rispetto al caso delle fasce orarie; ciò è dovuto al fatto che in normativa viene fatto riferimento ad un set point pari a 20°C costanti per tutta la giornata. È bene ricordare che il set point è legato al sottosistema della regolazione, ma se esso viene modificato, allora comporta degli effetti anche al sistema di emissione.

- Come stabilito da normativa, in queste situazioni esaminate, il rendimento ottenuto dalla regolazione per singolo ambiente è maggiore rispetto alla regolazione di zona, ad eccezione per il caso 5a (unico termostato ubicato in cucina che controlla tutte le altre stanze). Un elevato rendimento indica un minor fabbisogno richiesto dalle stanze, infatti l'energia richiesta dalle stanze in questo caso è minore, ma se si osservano le temperature in termini percentuali, si nota che in alcune stanze la temperatura non riesce a raggiungere il set point per tutto il tempo necessario; anzi, addirittura per la camera 3 il fabbisogno ottenuto dalla simulazione è inferiore a quello effettivamente richiesto dalla simulazione con il solo involucro, infatti per il 93 % del tempo la temperatura di questa stanza è inferiore a 19,5 °C impostati (limite inferiore della banda). Questi valori di temperatura insufficienti a mantenere le condizioni scelte sono ancora più accentuati nel caso di utilizzo della regolazione climatica (caso 6a), infatti il rendimento è ancora superiore al caso 5a, ma le temperature sono per la maggior parte del tempo inferiori a 19,5 °C; in questo caso, nella camera 3, per più del 97 % la temperatura è al di sotto del limite inferiore della banda.
- Considerazioni simili possono essere fatte anche per gli altri risultati ottenuti dalla regolazione di zona con tre termostati; il rendimento è inferiore in queste situazioni in quanto il fabbisogno richiesto è maggiore. Infatti, le stanze in cui non è presente il termostato mostrano per la maggior parte del tempo valori di temperatura al di sopra del set point perché regolate dalle stanze più rappresentative, ovvero quelle che presentano maggiori dispersioni e in cui il termostato richiede un numero di ore di accensione maggiore rispetto alle altre stanze (le quali richiedono un fabbisogno minore).

## Confronto tra regolazione di zona e regolazione ambiente

Alla luce di tali considerazioni è possibile affermare che il termostato di zona si impegna a seguire fedelmente la temperatura impostata nel solo locale di installazione, senza però ricevere un *feedback* di quanto stia accadendo nelle altre stanze.

Tuttavia, la scelta migliore è quella di sfruttare più termostati installati in ogni singola stanza, articolando in modo capillare il sistema di regolazione, facenti capo ad un'unica interfaccia utente e ad un'unica centralina elettronica di controllo, rendendo più semplice il controllo.

È bene comunque non affidarsi al solo valore del rendimento, confrontando i risultati ottenuti dalla regolazione ambiente con la regolazione di zona, ma tali valori devono essere visualizzati congiuntamente ai valori delle temperature dell'aria nelle singole stanze.

Confrontando i casi 1a e 1b con i casi 2a e 2b:

Tipo di regolazione	Temperatura di set point	Regolazione di zona (3 termostati)	
		Set point 20 °C	Set point 20-16 °C
Regolazione ambiente	Set point 20 °C	5,4 %	
	Set point 20-16 °C		2,9 %

*Tabella 78* Maggiori consumi percentuali della regolazione di zona rispetto alla corrispondente regolazione ambiente

Risulta che le situazioni con regolazione di zona presentano un consumo (in termini di kWh) più elevato del 5,4 e 2,9 % rispetto alle corrispondenti regolazioni ambiente.

Osservando le temperature nel tempo e confrontando le due regolazioni, per i casi in cui la temperatura di set point è pari a 20 °C costanti nella giornata (casi 1a e 2a) i valori non scendono quasi mai al di sotto dei 19,5 °C, come nel caso di set point variabile in cui le temperature non scendono quasi mai al di sotto di 15,5 °C.

Tale confronto può essere fatto anche con l'aiuto della regolazione climatica, che confronta i casi 3a e 3b con i casi 4a e 4b, in cui si ottengono degli aumenti di fabbisogno pari rispettivamente a 3,9 e 2,9 %.

### Confronto tra regolazione a punto fisso e regolazione climatica

Tutte le simulazioni effettuate sono state condotte anche nel caso in cui intervenga la regolazione climatica. Il risultato ottenuto descrive come nella doppia regolazione il rendimento sia più elevato, diminuendo il fabbisogno richiesto dalle stanze. Per comprendere se queste nette riduzioni di calore siano il risultato della diminuzione degli sprechi oppure sintomo di un sotto-raffreddamento degli ambienti, è necessario esaminare più accuratamente i valori ottenuti stanza per stanza.

Iniziando col considerare i casi 1a e 3a, in cui vi è regolazione ambiente con set point costante e l'aggiunta della regolazione climatica, si nota che il valore del rendimento con l'utilizzo della regolazione climatica aumenta dal 83,9 % all' 86,6 %; ciò permette di eliminare gli sprechi di calore che altrimenti andrebbero a surriscaldare gli ambienti. Infatti, osservando le percentuali in tabella, si osserva che il tempo in cui la temperatura sale oltre il set point è inferiore nel caso della doppia regolazione (ambiente e climatica) rispetto alla semplice regolazione ambiente.

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C Caso 1a</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C Caso 3a</b>
<b>Soggiorno</b>	9 %	8 %
<b>Cucina</b>	50 %	13 %
<b>Camera 2</b>	8 %	3 %
<b>Camera 3</b>	8 %	0 %
<b>Camera 6</b>	11 %	7 %
<b>Bagno 5</b>	51 %	8 %
<b>Bagno 7</b>	15 %	6 %

**Tabella 79** Percentuali nel tempo di surriscaldamento per i casi 1a e 3a

Questa diminuzione del surriscaldamento degli ambienti comporta un risparmio energetico e quindi un innalzamento del valore del rendimento.

Lo stesso risparmio viene conseguito anche nel caso di set point variabile, dovuto al minor surriscaldamento delle stanze:

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C Caso 1b</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C Caso 3b</b>
<b>Soggiorno</b>	4 %	3 %
<b>Cucina</b>	21 %	1 %
<b>Camera 2</b>	1 %	0 %
<b>Camera 3</b>	1 %	0 %
<b>Camera 6</b>	1 %	0 %
<b>Bagno 5</b>	21 %	0 %
<b>Bagno 7</b>	3 %	0 %

**Tabella 80** *Percentuali nel tempo di surriscaldamento per i casi 1b e 3b*

Nel caso in cui intervenga anche la regolazione climatica:

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C Caso 2a</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C Caso 4a</b>
<b>Soggiorno</b>	48 %	18 %
<b>Cucina</b>	51 %	14 %
<b>Camera 2</b>	97 %	96 %
<b>Camera 3</b>	8 %	0 %
<b>Camera 6</b>	99 %	95 %
<b>Bagno 5</b>	50 %	12 %
<b>Bagno 7</b>	99 %	93 %

**Tabella 81** *Percentuali nel tempo di surriscaldamento per i casi 2a e 4a*

Anche nel caso in cui il set point sia variabile:

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C Caso 2b</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C Caso 4b</b>
<b>Soggiorno</b>	14 %	4 %
<b>Cucina</b>	21 %	1 %
<b>Camera 2</b>	82 %	39 %
<b>Camera 3</b>	1 %	0 %
<b>Camera 6</b>	64 %	41 %
<b>Bagno 5</b>	22 %	0 %
<b>Bagno 7</b>	31 %	17 %

**Tabella 82** *Percentuali nel tempo di surriscaldamento per i casi 2b e 4b*

In tutti i casi esaminati, la regolazione climatica comporta quindi una riduzione dei consumi energetici, dovuto al minor surriscaldamento delle stanze.

### **Confronto tra set point variabile e costante**

Nel lavoro svolto, sono stati considerati due diversi set point per ogni simulazione eseguita: nel primo caso, il set point è mantenuto costante per tutte le ore di riscaldamento e pari a 20 °C, mentre nel secondo il set point era variabile e pari a 20 °C, con una attenuazione uguale a 16 °C. Ovviamente, la scelta di questa condizione incide sulla regolazione, quindi modifica sia il valore del fabbisogno, ma anche la temperatura raggiunta e il comfort termico.

Nel caso di set point costante, viene mantenuto per tutta la giornata il riscaldamento acceso e impostato a 20 °C, mentre nel caso di set point variabile, l'impostazione dei 20 °C viene mantenuta solamente nelle ore prestabilite (e indicate nel paragrafo relativo agli input), mentre nelle altre ore la temperatura diminuisce fino a quando non raggiunge il secondo set point (pari a 16 °C), valore per cui il termostato permette la riaccensione del riscaldamento per evitare di raggiungere temperature troppo basse.



Per comprendere cosa accade, come nel caso precedente, è utile considerare in dettaglio il caso specifico.

Si prenda ad esempio il confronto fatto tra la sola regolazione ambiente con set point diversi (casi 1a e 1b). Il rendimento aumenta dal 85,3 % al 94,8 %, passando dal set point costante a quello variabile. Ciò è dovuto alla minor energia richiesta nel caso di set point variabile, in quanto gli utenti accettano l'attenuazione dei 16 °C, mentre nel caso di set point costante, gli utenti preferivano un set point costante e pari a 20 °C.

Eliminando le attenuazioni e volendo riscaldare l'appartamento alla temperatura costante di 20 °C, si incorre ad un aumento netto del consumo energetico.

Rivolgendo però lo sguardo ai valori temporali della temperatura, si osserva la seguente tabella nel caso di set point costante:

<b>Regolazione ambiente con set point costante</b>	<b>Temperature al di sotto dei 19,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 19,5 e 20,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	0 %	91 %	9 %
<b>Cucina</b>	1 %	49 %	50 %
<b>Camera 2</b>	0 %	92 %	8 %
<b>Camera 3</b>	0 %	91%	8 %
<b>Camera 6</b>	0 %	89 %	11 %
<b>Bagno 5</b>	1 %	48 %	51 %
<b>Bagno 7</b>	0 %	85 %	15 %

**Tabella 83** *Percentuale temporale in cui le temperature nelle stanze sono comprese nei tre intervalli*

Mentre per i set point variabili:

<b>Regolazione ambiente con set point variabile</b>	<b>Temperature al di sotto dei 19,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 19,5 e 20,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 20,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	3 %	94 %	4 %
<b>Cucina</b>	26 %	53 %	21 %
<b>Camera 2</b>	5 %	94 %	1 %
<b>Camera 3</b>	11 %	88%	1 %
<b>Camera 6</b>	8 %	91 %	1 %
<b>Bagno 5</b>	37 %	42 %	21 %
<b>Bagno 7</b>	8 %	89 %	3 %

*Tabella 84 Percentuale temporale in cui le temperature nelle stanze sono comprese nei tre intervalli*

<b>Regolazione ambiente con set point variabile</b>	<b>Temperature al di sotto dei 15,5 °C</b>	<b>Temperature comprese tra 15,5 e 16,5 °C</b>	<b>Temperature al di sopra dei 16,5 °C</b>
<b>Soggiorno</b>	0 %	29 %	71 %
<b>Cucina</b>	1 %	49 %	50 %
<b>Camera 2</b>	0 %	9 %	91 %
<b>Camera 3</b>	0 %	36 %	64 %
<b>Camera 6</b>	0 %	13 %	87 %
<b>Bagno 5</b>	0 %	31 %	69 %
<b>Bagno 7</b>	0 %	5 %	95 %

*Tabella 85 Percentuale temporale in cui le temperature nelle stanze sono comprese nei tre intervalli*

Nel caso di set point variabile, vi è meno tempo in cui la temperatura della stanza supera i 20,5 °C (surriscaldamento) e ciò comporta un risparmio energetico.

Però, mentre nel caso con set point costante la temperatura quasi mai scende al di sotto dei 19,5 °C, nel caso di set point variabile la temperatura cala al di sotto di tale valore. Ad esempio, per la cucina, nelle ore in cui è acceso il riscaldamento, per il 26 % del tempo la temperatura non riesce a raggiungere i 19,5 °C, mentre nel caso in cui il riscaldamento è acceso e il set point unico è pari a 20 °C, solamente per l'1 % del tempo la temperatura della stanza si trova al di sotto di 19,5 °C.

Sempre per i casi esaminati, il risparmio in termini energetici corrisponde a 1732 kWh nel caso di set point impostato variabile, che corrispondono in termini monetari a 481 euro risparmiati all'anno.

Scostamenti ancora superiori sono ottenuti nel caso di utilizzo di regolazione di zona.

La scelta di quale opzione preferire dipende esclusivamente dalle condizioni di comfort scelte dall'utente, ma tenendo conto i diversi consumi energetici ed economici.

## **9.6 Consumo energetico e comfort termico**

L'analisi dei risultati delle simulazioni ha evidenziato il legame inscindibile del binomio consumi-comfort ed entrambi i parametri devono essere sempre valutati congiuntamente. Il problema è quello di comprendere se la spesa energetica sostenuta dai sottosistemi emissione-regolazione è corrisposta dalle condizioni di comfort raggiunte.

Il consumo energetico è rappresentato dal rendimento complessivo di tale sottosistema, mentre il comfort termico viene valutato introducendo un parametro  $\epsilon$ , il quale rappresenta la media temporale delle temperature delle stanze, quando queste si trovano al di sotto dei set point impostati. In altre parole, viene calcolata la percentuale dei momenti in cui la temperatura è al di sotto di tale limite per ogni stanza, tramite una media viene calcolata la percentuale temporale in cui la temperatura è in sotto-raffreddamento dell'appartamento e il calcolo viene esteso per tutti i casi esaminati.

Per una più semplice interpretazione, si prende come esempio il caso 1a:

<b>Ambienti</b>	<b>Temperature al di sotto dei 19,5 °C</b>	<b>Media dell'appartamento</b>
<b>Soggiorno</b>	0 %	0,29 %
<b>Cucina</b>	1 %	
<b>Camera 2</b>	0 %	
<b>Camera 3</b>	0 %	
<b>Camera 6</b>	0 %	
<b>Bagno 5</b>	1 %	
<b>Bagno 7</b>	0 %	

**Tabella 86** *Percentuale temporale media dell'appartamento in cui la temperatura è in sotto-raffreddamento*

Per cui nel caso 1a, la percentuale del tempo in cui la temperatura si trova al di sotto dei 19,5 °C è 0,29%. L'intervallo in cui tale valore percentuale cade è compreso tra i due estremi in cui compare il minimo e il massimo valore: infatti il valore 0,29 % è compreso tra 0 % (valore minimo) e 1 % (valore massimo), come riportato in tabella 86.

Per quanto riguarda i casi *b* con fasce orarie in cui sono presenti due set point diversi, è stata effettuata una valutazione sulle ore, come nel caso precedente: in particolare è stata calcolata per ogni stanza la percentuale delle ore in cui la temperatura è inferiore ai due set point (15,5°C e 19,5 °C) rispetto al periodo invernale e conteggiando il numero di stanze. Il valore ottenuto rappresenta la percentuale di tempo in cui la temperatura media dell'appartamento è inferiore al set point; nel grafico è rappresentato, oltre al valore medio per l'intero appartamento, l'intervallo di valori che si presentano per le varie stanze. Ad esempio, facendo riferimento alla tabella 47, la percentuale totale delle ore in cui la temperatura dell'appartamento è inferiore ai due set point scelti è pari a 5,3 %; ciò significa che, mediamente, per il 5,3 % del tempo la temperatura dell'appartamento è inferiore ai due valori considerati. Gli estremi dell'intervallo per il caso 1b sono pari a 1,9 % e 13,9 %.

Questo conto è stato fatto per ogni caso esaminato ed è stato affiancato il corrispondente valore del rendimento, ottenendo:

	Regolazione ambiente				Regolazione di zona					
	Caso 1a	Caso 1b	Caso 3a	Caso 3b	Caso 2a	Caso 2b	Caso 4a	Caso 4b	Caso 5a	Caso 6a
$\epsilon$ [%]	0,3	5,3	2,3	11,6	0,5	6,9	2,2	8,8	27,9	41,7
$\eta$ [%]	85,3	94,8	86,5	96,9	80,9	92,1	83,3	94,2	87,2	91,3

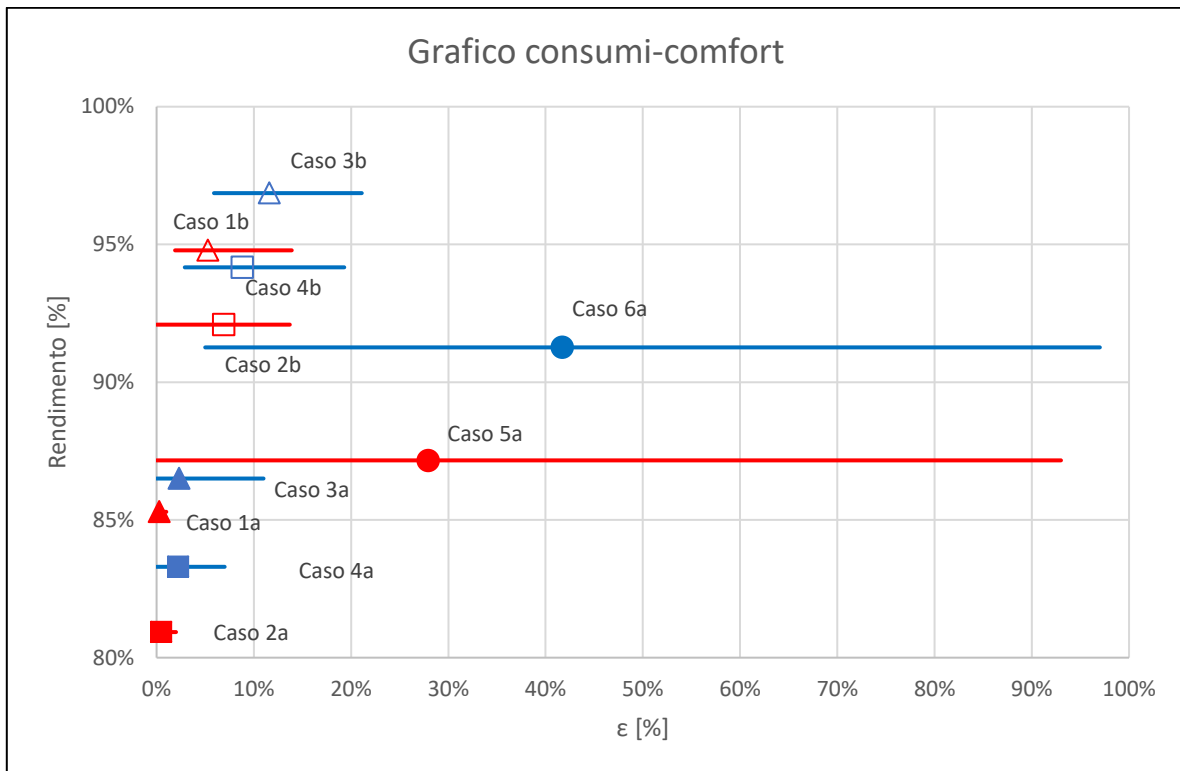
**Tabella 87** Valori percentuali per ogni caso dei parametri  $\epsilon$  e  $\eta$

Il significato dei valori dei rendimenti sono chiari, quelli invece del parametro epsilon meritano una spiegazione più accurata.

Poiché tale parametro rappresenta percentualmente (seppur un dato medio) per quanto tempo la temperatura dell'appartamento si trova al di sotto del limite impostato, allora significa che un valore elevato di epsilon comporta delle condizioni di comfort non ottimali e più questo valore è alto, minore sono le condizioni di comfort raggiunte. Al contrario, più tale valore è basso, più le condizioni di comfort in termini di temperatura sono nella banda considerata.

Questi valori ( $\epsilon$  e  $\eta$ ) costituiscono le coordinate dei singoli casi riportati in figura 9.26.

Inoltre, sono riportate anche le bande in cui tali valori cadono: così, per il caso 5a (un solo termostato installato in cucina) la temperatura interna dell'appartamento è per quasi il 30 % del tempo inferiore al set point scelto. Questo però indica un valore medio riferito all'appartamento, infatti in alcune stanze la percentuale nel tempo in cui la temperatura è inferiore al set point è molto maggiore (fino al 93 %) e in altre molto minore (0 %), come mostrato in tabella 71.



**Figura 9.26** Grafico consumi-comfort: per ogni caso sono riportati i valori del rendimento calcolato tramite simulazione e del parametro epsilon che indica la percentuale di tempo in cui la temperatura dell'appartamento è inferiore al set point. I segmenti rappresentano la stessa percentuale relativa ad ogni stanza, mentre il simbolo compreso nell'intervallo rappresenta la media dell'appartamento. Il triangolo rappresenta la regolazione ambiente, il quadrato quella di zona (tre termostati) e il cerchio la regolazione di zona (un termostato); il riempimento indica set point costante, mentre il vuoto indica le fasce orarie. Infine, in rosso è rappresentata la regolazione climatica e in blu quella a punto fisso.

Considerando le situazioni in cui il set point è costante per tutte le 24 ore e le fasce orarie in cui il set point è variabile, si nota che nel secondo caso i valori di  $\epsilon$  sono maggiori e ciò significa che per più tempo la temperatura dell'appartamento non raggiunge il set point; di conseguenza questo implica un'inferiore energia ceduta e dunque un rendimento maggiore. I casi *a* con set point costante presentano invece poche ore in cui non sono raggiunti i 20 °C e ciò significa che viene fornita più energia (dunque un minor rendimento).

La regolazione climatica comporta una minor energia ceduta all'appartamento, ma il fabbisogno richiesto rimane fisso; questo si traduce in un aumento delle ore in cui il set point non viene raggiunto e dunque un aumento del rendimento.

Infine, si nota che a parità di set point scelto, la regolazione ambiente presenta rendimenti maggiori rispetto alla regolazione di zona. Tale considerazione non si nota dal grafico, ma nella regolazione di zona sono presenti delle sovratemperature nelle stanze in cui il termostato non è installato (poiché comandate da stanze con maggior richiesta), quindi ad esse viene ceduta una quantità di energia maggiore di quella effettivamente richiesta e ciò si traduce in una riduzione del rendimento.

Da tale grafico è inoltre possibile estrapolare degli spunti da cui partire per effettuare modifiche e correzioni a quelle strategie che non risultano essere soddisfacenti per il modello preso in esame e soggetto ad analisi.

Infatti, è possibile sottolineare che, nel caso in cui la temperatura di mandata dell'acqua è inferiore a 80 °C (regolazione climatica), il vantaggio ottenuto riguarda soprattutto il rendimento di generazione che cresce al diminuire di tale temperatura.





# Conclusioni

Il lavoro ha evidenziato i principali dati che saranno utili come input per testare le tecnologie proposte nel progetto GOTHM. Tale studio preparatorio pone le fondamenta per lo sviluppo di nuovi concetti e tecnologie, con l'obiettivo di realizzare caldaie a gas dotate di componenti innovativi che permettono di ottimizzare la combustione e l'efficienza, di riduzione dei costi e dei consumi, fornendo maggior sicurezza, oltre alla possibilità di avere una connessione a internet (IOT). Tutto ciò ha lo scopo nel contribuire in una gestione ottimale dell'energia in modo da salvaguardare l'ambiente.

L'intero studio è stato condotto tramite l'utilizzo di codici di calcolo dinamici tali da riprodurre il comportamento di un edificio valutato in condizioni di progetto con lo scopo di determinare degli indicatori energetici utili per la classificazione dell'edificio stesso e ottenere profili di consumo da utilizzare nelle fasi successive del progetto. Infatti, la prima parte dello studio sperimentale riguarda l'involucro edilizio, il quale riveste un ruolo chiave nel calcolo dei consumi termici. Attraverso l'uso di *Trnsys*, è stato calcolato il fabbisogno netto per i due appartamenti e, in conformità con le specifiche tecniche proposte nelle UNI/TS 11300, adottando i rendimenti normati, si è risaliti al fabbisogno lordo. Inoltre, sono stati sfruttati altri codici di calcolo (come *Mirage* per lo studio dei ponti termici) e numerosi fogli *Excel*.

Il fabbisogno netto richiesto dai due appartamenti (4 e 5) ubicati in un piano intermedio della palazzina, sono pari a 7491 kWh e 8949 kWh rispettivamente; dai rendimenti globali ricavati a partire dalla UNI 11300-2 sono stati calcolati, mediante un procedimento a ritroso, i corrispondenti fabbisogni lordi a monte del generatore di calore e quindi all'ingresso dell'edificio. L'indice di prestazione per i due appartamenti è risultato essere pari a 97-100 kWh/m<sup>2</sup>anno, valori che posizionano i due alloggi in classe energetica E, tipici per un edificio i cui materiali da costruzione risalgono agli anni '70 e '80.

Lo studio è stato esteso anche per la produzione di ACS, a cui corrisponde un indice di prestazione pari a 26-25 kWh/m<sup>2</sup> rispettivamente per i due appartamenti; inoltre, tali valori

ricavati sempre dalla UNI 11300, sono stati confrontati con la normativa europea EN 12831-2 e si è ottenuto un allineamento dei due risultati. Il dimensionamento svolto per la preparazione di ACS è stato svolto per prospetti futuri, in caso si decidesse di installare tecnologie basate sul principio dell'accumulo termico.

L'analisi dei ponti termici non ha invece messo in luce aspetti critici, per cui non vi sono possibilità di condensa superficiale o interstiziale, problema che causerebbe la formazione di muffe all'interno dell'abitazione e dannose per l'uomo.

La seconda parte del lavoro, sviluppata mediante simulazioni dinamiche con il codice *Trnsys*, ha riguardato nel dettaglio i sottosistemi di emissione e regolazione. Data l'epoca di costruzione dell'edificio, si è scelto di considerare i radiatori come terminali di emissione e di analizzare il comportamento secondo tre strategie di regolazione, le quali prevedono un solo termostato per l'intero appartamento (installato in cucina), un termostato per zona termica (zona giorno, camere e bagni) e un termostato per ogni stanza. Sono state inoltre analizzate due modalità di regolazione della temperatura di mandata: a punto fisso e secondo una curva climatica. I terminali di impianto sono stati dimensionati per la temperatura di mandata della regolazione a punto fisso (con temperatura di mandata pari a 80 °C). per quanto riguarda i set point di temperatura dell'aria, sono state considerate due possibilità di funzionamento: 20°C costanti in tutte le stanze tutta la giornata e funzionamento con attenuazione a 16°C secondo determinate fasce orarie, differenziate in base alla zona (giorno, notte e bagni). Per la regolazione è stato scelto un controllo della temperatura dell'aria di tipo on/off con banda  $\pm 0,5$  °C. le simulazioni, condotte con un time step di 2 minuti, hanno dato come risultato l'energia scambiata dai radiatori nelle singole stanze. Confrontando l'energia scambiata dai radiatori con il fabbisogno netto ottenuto dalle simulazioni con impianto ideale, è stato possibile calcolare il rendimento di emissione e controllo da confrontare con il rendimento previsto da normativa nei diversi casi. Nei casi con termostato/i impostato/i a 20°C per tutta la giornata non sono state trovate sostanziali differenze dalla normativa, nonostante la normativa stessa non tenga conto di tutti i dettagli che possono presentarsi nella realtà, come ad esempio il funzionamento dell'impianto su fasce orarie con diversi set point della temperatura dell'aria.

Ma anche con funzionamento a fasce orarie non vi sono riscontrate particolari differenze rispetto ai valori proposti nei prospetti. Infatti, la UNI/TS 11300-2 indica dei valori all'interno del prospetto tali da definire i rendimenti del singolo ambiente migliori rispetto a quelli di zona e quelli relativi alla regolazione climatica migliori di quelle a punto fisso. Il secondo confronto è stato effettivamente verificato così come il primo, infatti dalla simulazione risulta che i rendimenti di regolazione di zona sono minori di quelli ambiente, e questo è legato ad una maggior richiesta di energia dovuto dal surriscaldamento delle zone controllate. L'utilizzo di un solo termostato, installato nel locale più sfavorito della zona giorno (la cucina), rende ancora più evidente quanto detto, per l'elevato numero di ore in cui alcune delle zone non controllate presentano una temperatura dell'aria al di sotto del set point impostato.

Osservando i rendimenti ottenuti dalla simulazione per i casi in cui il set point impostato è pari a 20 °C (1a, 2a, 3a e 4a pari rispettivamente a 85,3%, 80,9%, 86,5% e 83,3%) si nota che questi non si discostano molto rispetto ai valori riportati in normativa; anche i corrispondenti valori percentuali del tempo in cui la temperatura è inferiore al set point sono contenuti, per l'appartamento complessivo i valori medi variano tra 0 % e il 2 % a seconda del caso. Mentre per quanto riguarda la regolazione, in particolare quella con un solo termostato installato nella zona giorno, questi aspetti positivi non sono raggiunti: anche se il rendimento dei casi 5a e 6a sono in linea con quelli visti per la regolazione ambiente e di zona con tre termostati se non addirittura superiori (ovvero pari a 87,2% e 91,3% rispettivamente), le ore in cui i set point non sono raggiunti sono molto più elevate, mediamente infatti si hanno valori pari a 28 % e 42 % (contro lo 0-2% precedente).

L'incremento dei rendimenti viene conseguito tramite l'aiuto della regolazione climatica, la quale ha l'effetto di ridurre l'energia termica fornita poiché riduce il surriscaldamento delle diverse stanze.

Gli aspetti critici rilevati durante lo svolgimento del lavoro riguardano in particolare l'inerzia dei terminali. Questo aspetto infatti non è tenuto conto dal software usato, infatti si è osservato che non viene tenuto conto del tempo che il radiatore impiega a scaldarsi e raffreddarsi, continuando a fornire energia termica all'ambiente in cui è installato, da quando

la circolazione dell'acqua si ferma. Sarebbe dunque interessante modificare il modello e sviluppare una *type* specifica che ne tenga conto.

Un altro primo possibile sviluppo futuro, sarebbe quello di poter simulare un edificio di recente costruzione e osservare la migliore strategia di regolazione. Interessanti sarebbero altre prospettive di retrofit, come l'installazione di un impianto radiante in sostituzione ai radiatori e l'integrazione di fonti rinnovabili all'impianto già esistente, oppure il confronto con questi sistemi a bassa temperatura per quanto riguarda l'efficacia della modalità di regolazione. Si potrebbe poi estendere lo studio valutando i consumi a monte (generazione) con una regolazione a punto fisso o climatica. Infine, oltre all'utilizzo dei profili di carico ottenuti per valutare la possibile integrazione con le rinnovabili (nel caso venga scelta questa strada all'interno del progetto GOTHEM), interessante sarebbe anche la valutazione dei consumi degli ausiliari (pompe di circolazione) nei diversi casi e, in particolare, confrontare i risultati che si otterrebbero da una regolazione a punto fisso e da una regolazione climatica, in quanto varierebbero i tempi di funzionamento di questi organi.

# Bibliografia

- [1] Soma F., Soma D., Chierotti A. *-La regolazione della temperatura ambiente- PROGETTO 2000*
- [2] Ivanova *et al.* *-Mapping the carbon footprint of EU regions-* Environmental Research Letters
- [3] *Rapporto annuale Efficienza Energetica*, ENEA 2017
- [4] Torrini S. *-Report di Irena -EnergiaOltre*
- [5] Bonacina C., Cavallini A., Mattarolo L. *-Trasmissione del calore-* Cleup Editore
- [6] Pisano A. *-Controllori e protocolli di comunicazione per la domotica-* Università degli studi di Cagliari 2009
- [7] Architettura e domotica *-Progettare una casa intelligente a misura d'uomo-* VIMAR
- [8] Bando Efficienza energetica 2015- Ministero dello Sviluppo economico
- [9] Trisciuglio D. *-Introduzione alla domotica, Tecniche nuove-* Milano 2002
- [10] Marra A. *-Lo stato dell'arte-* Edilportale 2015
- [11] Magrini A. *et al -Prestazione energetiche degli edifici- EPC Libri*
- [12] De Carli M., Peretti C. *-Sistemi radianti a bassa differenza di temperatura-* TECNICO
- [13] Specifica Tecnica UNI/TS 11300, UNI EN 12831, UNI 9182

# Sitografia

[www.greenreport.it](http://www.greenreport.it)

[www.terna.it](http://www.terna.it)

[www.jointresearchcenter.it](http://www.jointresearchcenter.it)

[www.ingegneri.info](http://www.ingegneri.info)



# Ringraziamenti

Desidero ringraziare tutti coloro che mi hanno assistito durante la stesura della tesi.

In particolare, ringrazio il Prof. Michele De Carli per avermi dato l'opportunità di partecipare a questo progetto e l'Ing. Nicola Renoffio per la disponibilità offerta in questi mesi. Ringrazio in modo particolare l'Ing. Giulia Alessio e l'Ing. Samantha Graci per avermi seguito costantemente nella preparazione di questo elaborato e per i loro suggerimenti e le osservazioni utili.

Un grazie sincero infine è diretto alla mia famiglia e a tutti coloro che mi hanno aiutato e accompagnato durante questo percorso.

