POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Architettura e Design

Corso di Laurea Magistrale in
Architettura per il Progetto Sostenibile

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

IMPLEMENTAZIONE DI STRATEGIE DI GESTIONE ENERGETICA INTELLIGENTE IN EDIFICI RESIDENZIALI ESISTENTI

Implementation of Smart Energy Management Strategies in existing residential buildings

Anno Accademmico: 2017-2018

Relatore:
Prof. Alfonso Capozzoli

Correlatori:
Arch.Valentina Fabi
Arch. Giorgia Spigliantini

Candidato:
Francesco Fabbro
Matricola:
s229027

INDICE

ABSTRACT

1.INTRODUZIONE

1.1_ CONTESTO NORMATIVO MONDIALE, EUROPEO, ITALIANO. TECNOLOGIE SMART PER UNO SVILUPPO SOSTENIBILE 4
1.2_ SISTEMI DOMOTICI, SMART HOME, SMART ENERGY HOME 7
1.3_ IL RUOLO DELL'OCCUPANTE AI FINI DEL RISPARMIO ENERGETICO. TECNOLOGIE SMART: UNO STRUMENTO DI SUPPORTO PER RAGGIUNGERE LA SOSTENIBILITA' 12
1.4_DOMANDA, OFFERTA, INFORMAZIONE E RICERCA NEL MERCATO DELLE TECNOLOGIE SMART 16
1.5_VERSO UNA NUOVA ARCHITETTURA 20

2. OBIETTIVI DELLA TESI

2.1_OBIETTIVI 28
2.2_PROGRAMMA UTILIZZATO 28
2.3_METODOLOGIA DELLA SPERIMENTAZIONE 29

3. IL CASO STUDIO

3.1_ INFORMAZIONI GENERALI 32
3.2_ DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO 33
3.3_ ANALISI DEI CONSUMI REALI DELL'APPARTAMENTO 50

4. SIMULAZIONE DINAMICA DEL CASO STUDIO

4.1_ METODOLOGIA DI IMPOSTAZIONE DEI DATI PER LA DETERMINAZIONE DI UN MODELLO DINAMICO 54
4.2_ CONFRONTO TRA I CONSUMI REALI E I CONSUMI GENERATI DAL PROGRAMMA 63

5.SVILIPPO DELLA LOGICA DI CONTROLLO

5.1_BACS: DEFINIZIONE DELLE REGOLE DI PROGETTAZIONE DELLA LOGICA 68
5.2_FASE 1: PROGETTAZIONE DEGLI ALGORITMI DI CONTROLLO 69
5.2.1_ DAGLI ALGORITMI DI CONTROLLO ALLA SIMULAZIONE DINAMICA 85
5.2.2_ SCHERMI OSCURANTI 87
5.2.3_ SISTEMA DI ILLUMINAMENTO 118
5.2.4_ SISTEMA DI APERTURA/CHIUSURA FINESTRE 134
5.2.5_ SISTEMA DI CONTROLLO IMPIANTO DI RISCALDAMENTO 152
5.2.6_ SCHEMA DI SCRITTURA GENERALE DELLA LOGICA IMPLEMENTATA 168
5.2.7_ANALISI DEL COSTO DEI DISPOSITIVI NECESSARI PER L'INSTALLAZIONE DELLA LOGICA DI CONTROLLO 173
5.2.8_ ANALISI DEI RISULTATI 175
5.3_FASE 2: PROGETTAZIONE DELL'ALGORITMO DI CONTROLLO 187
5.3.1_ DALL'ALGORITMO DI CONTROLLO ALLA SIMULAZIONE DINAMICA 187
5.4_ANALISI DEI RISULTATI FINALI: FASE 1 - FASE 2 189
5.4.1_ LIMITI E PROSPETTIVE FUTURE 192

6.CONCLUSIONI 194

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 197

Ringrazio l'ENEA e più in particolare l'Arch. Sabrina Romano per il materiale e i dati forniti.

ABSTRACT

Lo sviluppo tecnologico avvenuto i questi ultimi venti anni ha fatto assumere ai sistemi di gestione automatica ed intelligente degli edifici, un ruolo centrale nel campo della ricerca per il risparmio energetico e per uno sviluppo sostenibile. Oltre che in ambito scientifico questo tipo di tecnologie oggi si stanno facendo strada nella vita di tutti i giorni acquisendo sempre più visibilità mediatica ed attenzione da parte di un pubblico sempre più vasto.
Per questa ragione nella presente tesi si è deciso di sviluppare e simulare, tramite la costruzione di un modello dinamico con il software Ida-Ice, il funzionamento di una logica di controllo ed automazione all'interno di un appartamento esistente al fine di accertare se quest'ultima possa procurare all'occupante un risparmio energetico e, contemporaneamente, un miglioramento del comfort abitativo anche nell'ottica di un futuro inserimento all'interno di un gateway residenziale.
Nella prima parte della tesi è stata condotta un'analisi bibliografica che ha permesso di definire l'importanza dell'applicazione di queste tecnologie nell'ambito della ricerca per lo sviluppo sostenibile. È stata inoltre condotta un'analisi critica riguardante l'applicazione delle tecnologie di automazione applicate alla casa con una particolare attenzione all'aspetto energetico. Si sono quindi approfonditi gli aspetti legati alla nascita, allo sviluppo e alla diffusione di queste tecnologie oltre che i servizi che riescono offrire nonché al loro funzionamento. Per completezza, infine, è stato analizzato come il mondo dell'architettura e dell'urbanistica si sta confrontando con lo sviluppo queste di tecnologie.
Nella seconda parte della tesi è stato definito e analizzato il caso studio da simulare. Trattasi di un appartamento esistente situato a Roma, che è stato monitorato dal punto di vista energetico per un anno dall' "*Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile*" (ENEA) nell'ambito della ricerca "*Sviluppo delle Metodologie e implementazione preliminare di un modello di Smart Homes Network*" (RdS/PAR2015/015), a cui ha preso parte anche il Politecnico di Torino. Di questo appartamento, al fine della tesi, ci sono stati forniti oltre che i dati sul fabbisogno energetico per il riscaldamento e per l'elettricità anche le caratteristiche degli impianti, il numero degli apparecchi elettrici installati al suo interno e le ore di utilizzo di quest'ultimi.
Nella terza parte, grazie all'analisi dei documenti del caso studio, è stato possibile costruire un modello dinamico calibrato sul consumo energetico dell'appartamento esistente. A questo punto, tramite un'attenta analisi bibliografica, ci si è concentrati sullo sviluppo della logica tramite lo studio di algoritmi di controllo finalizzati a ottimizzare la prestazione energetica e a innalzare il livello di confort abitativo. Questa logica è stata sviluppata in due fasi: nella prima fase (fase 1) si è studiata la parte di controllo delle schermature solari, dell'apertura/chiusura finestre, delle luci e del riscaldamento; nella seconda fase (fase 2) invece si è considerata quella legata all'uso degli elettrodomestici. Definiti i sistemi di controllo, questi sono stati inseriti all'interno del modello dinamico tramite delle funzioni matematiche costruite grazie all'utilizzo della "Tabella della verità". A questo punto della sperimentazione è stato possibile effettuare il calcolo del fabbisogno energetico tramite il programma di simulazione dinamica e analizzare i risultati ottenuti comparandoli con quelli del modello di partenza. Alla fine dello studio è stata fatta l'analisi dei risultati concentrandosi sui dati energetici ottenuti e sulle variazioni dei parametri di comfort. Sono stati evidenziati anche i limiti dello studio e i suoi potenziali sviluppi futuri. Nell'ultima parte della tesi si sono riportate le conclusioni dell'intero lavoro svolto.

Questa sperimentazione ha permesso di progettare e di simulare dei nuovi sistemi di gestione e di controllo su un caso reale confermando, con i suoi risultati, l'importanza di questo tema in una prospettiva di risparmio energetico e di aumento dei parametri di comfort abitativo. Lo studio risulta inoltre utile nell'assicurare le potenzialità energetiche delle logiche progettate al fine di applicarle ad un sistema di gestione su una più ampia scala, come quella di un edificio o di un Network di edifici.

1. INTRODUZIONE

1.1_ CONTESTO NORMATIVO MONDIALE, EUROPEO, ITALIANO. TECNOLOGIE SMART PER UNO SVILUPPO SOSTENIBILE

Negli ultimi anni, uno dei principali temi di discussione a livello mondiale, europeo e nazionale è quello dello sviluppo sostenibile inteso a livello ambientale, economico, sociale e culturale. La prima definizione di sviluppo sostenibile è riportata nel rapporto Burndtland del 1987 dove si sostiene che lo sviluppo sostenibile è quello sviluppo che permette di adempiere alle necessità della generazione attuale senza però precludere alle generazioni future la possibilità di soddisfare i propri bisogni.[16]. Questa definizione è stata poi ampliata nel 1991 dalla *World Conservation Union*, la quale oltre ad inserire il tema della qualità della vita accanto a quello dello sviluppo sostenibile, pone al centro delle problematiche gli aspetti ambientali della sostenibilità affermando che uno sviluppo sostenibile deve corrispondere ad un accrescimento nella qualità di vita senza sovraccaricare gli ecosistemi di supporto dai quali quest'ultima dipende. Dunque, innalzare la propria qualità della vita, ponendo un'estrema attenzione all'impatto sull'aria, sull'acqua, sulla terra e sulle risorse naturali.

Per arrivare a formulare questa definizione di sostenibilità condivisa a livello mondiale, dagli anni '70 in poi si sono susseguiti diversi incontri e conferenze internazionali.

Il primo incontro internazionale in cui si è focalizzata l'attenzione sulla protezione dell'ambiente naturale come condizione fondamentale per lo sviluppo della popolazione umana è stato la "*Conferenza delle nazioni unite sull'ambiente umano di Stoccolma*" del 1972. La conferenza si concluse con la stesura della " *Dichiarazione di Stoccolma*" la quale contiene i principi fondamentali per la protezione ambientale e lo sviluppo umano cui i governi devono attenersi nelle proprie decisioni politiche.

L'anno dopo aver definito a livello mondiale il significato di Sviluppo sostenibile, ovvero nel 1992, ci fu la *United Nations Conference on Environment and Development* (UNCED). Questa assemblea vide la partecipazione di ben 172 governi mondiali e si concluse con la stesura di diversi documenti ufficiali tra cui l'Agenda 21 e la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite, dalla quale scaturirono tutte le conferenze *United Nations Framework Convention on Climate Change*(COP) e dunque la stesura del Protocollo di Kyoto.

Il Protocollo di Kyoto è un trattato internazionale che stabilisce precisi obiettivi per la riduzione delle emissioni di gas responsabili dell'effetto serra e del surriscaldamento globale. Esso, infatti, prevedeva l'obbligo per i paesi industrializzati di ridurre in modo drastico le emissioni di inquinanti ovvero di biossido di carbonio e di altri cinque gas serra entro il 2012.

Le nazioni firmatarie nel mondo furono 118, tra cui anche l'Italia. Esse si impegnarono a ridurre le emissioni di gas serra per rimediare ai cambiamenti climatici in atto. Gli Stati Uniti, primi produttori di gas serra nel mondo, invece non firmarono.

Affinché il trattato potesse entrare in vigore, esso doveva essere firmato da almeno 55 nazioni e queste dovevano produrre almeno il 55% delle emissioni inquinanti. Questa ultima condizione è stata raggiunta solo nel novembre del 2004, quando anche la Russia ha aderito. Il trattato è entrato in vigore il 16 febbraio 2005.

Nel 2006 il Consiglio Europeo, per raggiungere gli obiettivi prefissati dal protocollo entro il 2012, ha adottato una nuova strategia per lo sviluppo sostenibile ovvero "L'agenda di Goteborg".

Questa ha posto l'attenzione su due tematiche centrali divenute poi fondamentali al fine dello sviluppo sostenibile.
La prima è quella del risparmio energetico, che nella gerarchia della gestione sostenibile delle risorse si trova al primo posto in quanto non sprecare energia significa produrne meno, ovvero tendere al minor uso possibile delle risorse. Questo obiettivo, secondo quanto proposto nell'Agenda, può essere raggiunto attraverso l'utilizzo di sistemi ad alta efficienza energetica, l'educazione al consumo consapevole e l'ottimizzazione energetica di tutte le fasi produttive.
La seconda, invece, è l'utilizzo di energia prodotta attraverso fonti rinnovabili al fine, anche in questo caso, di ridurre al minimo il consumo di combustibili fossili. Questo secondo obiettivo, secondo quanto proposto nell'Agenda, può essere raggiunto attraverso l'utilizzo dell'energia solare, eolica e idrica.
L'Agenda di Goteborg, si rende inoltre interessante perché è il primo documento a livello europeo che pone sullo stesso piano il problema del consumo energetico con quello dell'educazione , mettendo, dunque, in risalto il ruolo del comportamento delle persone ai fini dello sviluppo sostenibile.
Nel 2011 al Vertice di Durban (COP17) è stato sancito il prolungamento del protocollo di Kyoto fino al 2017. Poi al vertice del 2012 (COP18) esso è stato prolungato fino al 2020. [18] [19] [20] [21]
Tutti questi vertici, come si può ben intendere, hanno fortemente influenzato nel corso degli anni la legislazione sui temi del risparmio energetico sia europeo che nazionale imponendo delle nuove norme tecniche e comportamentali al fine di perseguire il raggiungimento di obiettivi ben precisi rispetto alla riduzione delle emissioni di inquinanti.
In risposta a questo contesto mondiale, l'Europa e dunque l'Italia, in questi ultimi anni hanno dovuto creare un sistema legislativo e normativo molto restrittivo per cercare di rispondere agli obiettivi definiti nel protocollo di Kyoto.
Una buona parte di queste leggi e normative riguardano il settore dell'edilizia.
Dal 2002 in poi, infatti, con la Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo viene definita la linea sulle nuove disposizioni in materia di efficienza energetica del sistema edificio-impianto .
Nel 2005 l'Italia ha recepito il provvedimento europeo emanando un decreto legislativo relativo al rendimento energetico in edilizia. Nel 2010 è stata emanata una nuova direttiva europea che modificava e ampliava i termini di quella emanata nel 2002, obbligando nuovamente gli stati membri dell'Unione Europea ad adeguarsi.
L'Italia ha adottato questa nuova direttiva nel 2013 con il decreto legge DL 63/2013 "Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale". Questo decreto legge è infine sfociato in un Decreto Attuativo nell'ottobre del 2015, ovvero il decreto dei "*Requisiti Minimi*" il quale mira al miglioramento del patrimonio edilizio e, dunque, all'abbassamento del consumo energetico, attraverso regole stringenti sulle nuove costruzioni e/o sulle ristrutturazioni [9]. Questo interesse ed impegno nel ridurre le emissioni cercando di rendere più efficiente il settore dell'edilizia è giustificato dal fatto che in Italia, ad oggi, il 40 % degli impieghi finali di energia sono assorbiti dal settore civile (contro il 29% del 1990) [8]. La causa di ciò è sicuramente da richiamarsi alla qualità del patrimonio edilizio italiano. L'80% di questo, infatti, risulta essere vecchio, avere una scarsa efficienza energetica e dunque essere altamente energivoro. L'Ita-

lia, infatti, è il secondo stato in Europa per le perdite di energia all'anno per la casa [15].
Nella regione Piemonte, ad esempio, su 1.9 milioni di case occupate, il 90% sono state costruite ante 1976, e solo il 10% sono state ristrutturate dopo il 1981. Questo porta a una prestazione media del patrimonio edilizio piemontese di 151,5 kWh/m^2 annuo, ovvero altamente energivoro, e a un tasso di rinnovo edilizio inferiore all'1% annuo [32].
Questi dati ci fanno comprendere come i decreti sull'edilizia fino a oggi vagliati, seppur molto importanti, concentrandosi solamente sulle nuove costruzioni e/o sulle ristrutturazioni, interessano, per ora, solo una piccolissima fascia del patrimonio edilizio italiano portando dunque più che ad un vero e proprio abbassamento del consumo energetico nazionale ad un suo contenimento.
Nel 2016, infatti, l'energia assorbita dal settore civile, anziché calare, ha continuato a crescere rispetto all'anno precedente e ciò, molto probabilmente, è dovuto alla crescita del settore dei servizi all'interno delle abitazioni [8].
Questa situazione mette in luce la necessità di ricercare nuovi metodi per il risparmio energetico all'interno del settore dell'edilizia abitativa. Non si può, infatti, pensare a degli interventi solamente fisici come la coibentazione degli edifici esistenti, la sostituzione dell'impianto di generazione o l'installazione di pannelli solari e fotovoltaici, che, pur essendo gli interventi che portano ai migliori risultati in termini di risparmio energetico, risultano costosi e lenti da attuare.
Per questo motivo le ultime ricerche sul risparmio energetico nel settore edilizio stanno iniziando a porre maggiore attenzione a interventi che potrebbero essere più semplici e immediati da attuare, come quello della gestione intelligente dell'energia all'interno degli edifici e del comportamento dell'occupante. Queste ricerche guardano all'idea già esposta nell'Agenda di Goteborg del 2006 "sull'educazione ad un consumo consapevole", poi sfociata nella normativa europea EN15232:2007 per i sistemi di automazione negli edifici. Questi sistemi sono degli strumenti presenti all'interno dell'edificio in grado di aiutare l'occupante a raggiungere una gestione ed un comportamento energeticamente consapevole. Questa normativa, chiamata, "*Prestazione energetica degli edifici-Incidenza dell'automazione, della regolazione e della gestione tecnica degli edifici*",promuove l'installazione di sistemi di controllo e di automazione negli edifici. L'obiettivo, quindi, è quello di diminuire i consumi energetici relativi agli impianti di climatizzazione e di illuminazione [2].
Varie sperimentazioni, infatti, hanno dimostrato che la gestione dell'energia all'interno della casa, influenza in modo significativo il bilancio energetico finale di un'abitazione. Il comportamento degli abitanti all'interno degli edifici, infatti, spesso può modificare il fabbisogno effettivo di energia rispetto a quanto previsto in fase progettuale. Questo può significare che l'edificio non sfrutta al massimo le proprie possibilità energetiche [2]. E' stato calcolato, infatti, che con l'utilizzo di tecnologie intelligenti per la gestione dell'energia all'interno dell'edificio si può risparmiare, a livello monetario, fino al 30% rispetto ad una casa priva di questi sistemi. Inoltre, attraverso una ricerca commissionata dall' *European Copper Institute e Waide Strategic Efficency*, è stato dimostrato che il risparmio in termini di CO2 per un singolo edificio si potrebbe aggirare attorno al 25% , mentre il risparmio totale di energia in tutta Europa, grazie all'implementazione di questi sistemi, potrebbe raggiungere il 10 % [12].
L'attenzione nazionale ed europea a questa nuova linea strategica ci viene anche confermata dal Rapporto Annuale sull' Efficienza Energetica (RAEE) 2017 pubblicato dall' Agenzia nazionale per

le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA).
Questa relazione, infatti, riporta che l'obiettivo da raggiungere nell'arco di 9 anni (2021-2030) nel campo dell'efficienza energetica è quello di una riduzione dei consumi pari a 9Mtep [8] e che la nuova Strategia Energetica Nazionale (SEN) individua come una delle possibili azioni da compiere quella di consolidare i parametri relativi alla modifica comportamentale. [8]. La relazione, inoltre, mette in luce il rinnovo della precedente direttiva europea del 2010/31/EU EPBD (*Energy Performance Building Directive*) con delle modifiche e delle proposte atte a spronare l'evoluzione e l'uso delle tecnologie innovative di comunicazione (ICT), delle tecnologie smart e dei sistemi di domotica installati in strutture ed edifici che diventeranno sempre più efficienti. [8]. Una delle modifiche, ad esempio, è quella dell' Art.14/15 dove si << incoraggia l'installazione dei sistemi di controllo dei consumi automatizzati e dei sistemi di domotica>> [8, p.27] , oppure la proposta di revisione,sempre relativa all'innovazione tecnologica, che propone l'introduzione di un indicatore di intelligenza (*smartness indicator*) per valutare la capacità tecnologica dell'edificio di interagire con gli occupanti e con la rete ai fini di una gestione sempre più efficiente. In particolare, l'indicatore d'intelligenza dovrebbe: misurare la capacità degli edifici di usare le tecnologie dell'informazione e della comunicazione (TIC) e i sistemi elettronici; sensibilizzare i proprietari e gli occupanti sul valore dell'automazione degli edifici e del monitoraggio elettronico dei sistemi tecnici per l'edilizia; rassicurare l'occupante circa i risparmi reali di queste nuove funzionalità [8].
Queste nuove strategie dunque pongono grande attenzione sull'occupante il quale diventa parte attiva del processo legato al risparmio energetico globale grazie all'utilizzo, all'interno della sua abitazione, di tecnologie di tipo''smart'' che lo aiutano, ed in alcuni casi lo sostituiscono, nella gestione energetica dell'abitazione.

1.2_ SISTEMI DOMOTICI, SMART HOME, SMART ENERGY HOME

Le tecnologie Smart all'interno delle abitazioni non nascono con dei presupposti legati solamente al risparmio energetico ma bensì con lo scopo di introdurre delle tecnologie che migliorano la qualità della vita dell'uomo in ambienti antropizzati [2].
Solitamente, ciò avviene integrando a tecnologie già esistenti dei sistemi intelligenti cercando di raggiungere due obiettivi:
1. inserire nuove funzionalità, migliorando e rendendo più facile la gestione di alcuni aspetti operativi dell'edificio come, ad esempio, l'accensione delle luci, l'attivazione e il comando di elettrodomestici, l'attivazione e il comando di impianti hi-fi, la gestione della climatizzazione e l'apertura e la chiusura di porte e finestre;
2. rendere più sicuro l'edificio mediante sistemi di controllo anti-intrusione, di fughe di gas, di incendi, di allagamenti e di qualità dell'aria.
In pratica, prima che si ponesse l'attenzione sull'aspetto energetico, le case contenenti tecnologie intelligenti potevano essere definite case domotiche [14].
Fino a pochi anni fa, infatti, la domotica rappresentava tutte quelle tecnologie e applicazioni informatiche o robotiche applicabili in ambiente domestico con l'obiettivo di innalzare la qualità della vita dell'uomo. Questo tipo di tecnologia nacque a cavallo tra gli anni'70 e gli anni '80, ovvero con la nascita dell'informatica e della telematica. Lo sviluppo degli hardware, dei software e di internet, in-

fatti, hanno permesso la diffusione nelle abitazioni prima di oggetti elettronici e, successivamente, anche l'implementazione di sistemi di automazione, inizialmente presenti solamente in ambito industriale. Negli anni '80 si è dunque riusciti a elaborare l'idea di un edificio ad uso abitativo in grado di offrire servizi interattivi e a misura dell'occupante [2][14]. Come si può immaginare però, in quegli anni, il costo di queste tecnologie, volte a migliorare il comfort abitativo, era molto alto e, inoltre, la conoscenza informatica del possibile utente medio era bassa. Ciò comportò una scarsa diffusione di questi sistemi. I principali beneficiari di questa tecnologia, infatti, furono persone appassionate e persone disabili [2].

Al contrario della sua diffusione fisica, da quel periodo in poi, lo sviluppo tecnologico nel settore della domotica ha subito una crescita esponenziale, trainato dallo sviluppo informatico e tecnologico negli altri settori. Questo esteso sviluppo tecnologico, inoltre, ha portato ad un abbassamento dei prezzi di queste tecnologie e a un'educazione tecnologica generalizzata delle persone che oggi, ogni giorno, sono abituate a confrontarsi con sistemi tecnologici informatici e robotizzati. In questi anni, inoltre, lo sviluppo del settore della domotica, a causa dell'assetto politico mondiale delineato nel capitolo precedente, si è in parte concentrato sugli aspetti della gestione dell'energia all'interno delle case, degli edifici e delle città ai fini del risparmio energetico.

Per questo motivo, oggi, in un'ottica di sviluppo sostenibile, diventa sempre più importante parlare di sistemi Smart all'interno delle abitazioni a uso civile e dunque di Smart Home.

Ad oggi esistono varie definizioni di Smart Home utili a comprenderne il significato e il funzionamento. Alcune di queste definizioni pongono maggiore attenzione sulla possibilità da parte degli utenti di comunicare con il sistema edificio-impianto come nel caso di quella fornita da Balta-Ozkana et al. nel suo articolo "*European smart home market development. Public views on technical and economic aspects across the United Kingdom, Germany and Italy*" i quali affermano che <<una Smart Home è un edificio residenziale dotato di un network di comunicazione che unisce sensori, elettrodomestici e dispositivi monitorati o controllati da remoto che forniscono servizi per rispondere ai bisogni degli abitanti >>. [2, p.7] [1] Altre definizioni, invece, hanno visioni più ampie e si concentrano, oltre che sulla comunicabilità e sull'interazione tra l'utente e l'edificio, anche sull'innalzamento della qualità della vita dell'occupante e sull'ottenimento di una maggior efficienza energetica e sicurezza [10]. Per alcuni studiosi, come ad esempio Saito et al. [32], la componente fondamentale per definire un'abitazione Smart Home è quella della gestione intelligente dell'energia, ovvero quella di possedere un Network che sia connesso a tutte le componenti tecnologiche dell'edificio e che sia in grado di coordinarle tra di loro tramite la raccolta e la catalogazione di informazioni. In base a quanto affermato, dunque, la componente fondamentale di una smart home è la possibilità di ottenere in modo veloce e affidabile le informazioni, di catalogarle e poi riutilizzarle per offrire dei servizi [2].

La finalità della Smart Home, dunque è quella di offrire dei servizi che rispondano alle necessità degli occupanti in termini di comfort e di funzionalità e allo stesso tempo, grazie alla raccolta dei dati, quella di razionalizzare i consumi energetici.

Come precedentemente accennato, negli ultimi decenni le ricerche sulle Smart Home hanno portato allo sviluppo di questa tecnologia in diversi settori dell'abitare. Il Politecnico di Torino ha delineato un'interessante categorizzazione di questi settori nel Report RdS/2015/021 [2] dividendoli in quattro filoni:

1) “Controllo dello stato di salute”, dove diversi tipi di utenti vengono monitorati nelle loro azioni per valutarne il loro stato di salute.
2) “Collezione o consultazione di multimedia”, dove varie tipologie di file multimediali, come foto o filmati, vengono archiviati e, in caso di richiesta da parte dell’utente, utilizzati tramite impianti hi-fi nel caso della musica, e schermi digitali, televisione e computer nel caso delle foto.
3)”Servizio di sicurezza e sorveglianza”, dove in caso di rilevato pericolo, come ad esempio effrazioni, fughe di gas o elevato inquinamento dell’aria, vengono azionati sistemi di allarme.
4) “Controllo dei dispositivi ed elettrodomestici per l’efficienza energetica”, dove tutti gli elettrodomestici, i dispositivi per l’illuminazione e per l’areazione (sia meccanica che naturale) e gli impianti per il condizionamento, vengono gestiti in maniera coordinata con l’obiettivo di massimizzare l’efficienza, ridurre i consumi e aumentare il comfort.

Dopo aver definito a livello generale che cosa sia e quale sia l’obiettivo delle Smart Home, diventa sicuramente interessante descriverne il sistema di funzionamento in tutte le sue componenti.
Innanzitutto, come precedentemente accennato, il sistema prevede la raccolta di alcune informazioni dall’ambiente domestico. Il primo passo è quello di comprendere quali siano le informazioni da reperire e, dunque, definire le variabili da monitorare.
Ogni Smart Home, infatti, a seconda del livello di implementazione di tecnologie intelligenti all’interno della casa, può avere diverse tipologie di variabili e informazioni da monitorare.
Una volta definite le variabili, che ad esempio potrebbero essere la temperatura, la qualità dell’aria o la presenza di fumo, gli strumenti utilizzati per raccogliere le informazioni in ambiente sono i sensori. Per ogni variabile da monitorare esiste un sensore dedicato. Questi sensori, una volta raccolti i dati, hanno il compito di inviarli ad un’unità di raccolta dati identificata come unità centrale. Questa, potrebbe essere un computer o una centralina domotica con installato al suo interno un software dedicato che ha il compito di immagazzinare i dati, elaborarli tramite una serie di logaritmi e fornire una risposta . L’unità centrale, dunque, è una sorta di “mente” del sistema che in un primo momento archivia ed elabora i dati e in un secondo momento invia dei comandi ai vari sistemi a seconda dei servizi da erogare e di alcune regole prestabilite [2]. Alcuni di questi dati in arrivo all’unità centrale potrebbero essere inviati anche direttamente dall’utente. Infatti, grazie a quelle che vengono definite interfacce utente, si permette all’occupante della casa, qualora avesse qualche richiesta particolare, di interagire con il sistema. Le interfacce utente possono essere degli schermi touch all’interno della casa, dei tablet o il proprio smart-phone direttamente collegati con l’unità centrale [2].
Questo collegamento avviene tramite un gateway residenziale, ovvero un sistema che connette l’unità centrale a internet e che permette di mettere in rete i dati relativi all’abitazione consentendo un collegamento continuo con l’utente. Questo collegamento a internet serve, inoltre, all’unità centrale per acquisire ulteriori informazioni via internet, come le previsioni meteo o i prezzi dell’energia elettrica.
Una volta che l’unità centrale ha elaborato i dati, qualsiasi sia la loro provenienza, e ha formulato

una risposta tramite gli algoritmi del software, questa deve trasformarsi in un'azione pratica all'interno della casa per contrastare il problema rilevato. Questo compito spetta agli attuatori, ovvero dei dispositivi in grado di tradurre i segnali ricevuti dall'unità centrale in azioni sulle apparecchiature connesse o sulle interfacce utente. A seconda della tipologia del problema rilevato e delle impostazioni di base del sistema, infatti, l'attuatore può agire direttamente sui dispositivi ad esso collegati oppure può inviare un messaggio sull'interfaccia utente dove viene chiesta all'occupante la sua volontà rispetto la produzione di un'azione da parte del sistema.
Il mezzo trasmissivo tra i vari dispositivi del sistema precedentemente descritti avviene principalmente in due modi: via cavo, sistema wired, o senza cablaggio, sistema wireless.
Un altro fattore fondamentale da avere sotto controllo per il funzionamento di una Smart Home è il linguaggio che viene utilizzato dai diversi dispositivi per comunicare tra di loro. Questo, per garantire la comunicabilità dei dati, deve essere uguale per tutte le componenti del sistema. Per questo motivo esistono i protocolli di comunicazione [2][14].
Per una corretta comunicabilità dei dati è fondamentale che ogni singolo dispositivo presente all'interno della casa sia compatibile con il tipo di protocollo di comunicazione scelto.

Per capire meglio quanto precedentemente spiegato, qui di seguito verrà riportato un esempio applicativo.
Si è scelto di ipotizzare una situazione di azione del sistema Smart nell'ambito del "Controllo dei dispositivi ed elettrodomestici per l'efficienza energetica".
Ciò è stato fatto perché questo è l'ambito di studio più recente e, a differenza degli altri, si concentra esclusivamente sui servizi di tipo energetico, ovvero quelli per noi più interessanti e importanti ai fini di uno Sviluppo Sostenibile.
I sistemi Smart dedicati solamente a queste tipologie di servizi sono definiti Home Energy Management System (HEMS), cioè dei dispositivi che, tramite il controllo delle apparecchiature e degli elettrodomestici, sono in grado di massimizzare l'efficienza energetica (intesa come uso di energia)[2]. Se un'abitazione è implementata solo con un sistema HEMS viene definita Smart Energy Home. La prima cosa da fare per spiegare il funzionamento di un sistema HEMS, e dunque per capire quali dovranno essere le variabili da monitorare e la sua logica di funzionamento, è quello di avere ben chiari gli obiettivi principali di una *Smart Energy Home*. Questi sono principalmente due, ovvero il miglioramento delle condizioni di comfort all'interno dell'abitazione e il controllo di una serie di dispositivi ed impianti per una gestione energetica efficiente.
Le variabili da monitorare sono , dunque, di due tipi: le prime legate al comfort termo-igrometrico, acustico e della qualità dell'aria, mentre le seconde legate agli usi finali dell'energia, ovvero quelli legati al riscaldamento, al raffrescamento, all'illuminazione, alla ventilazione e agli elettrodomestici.
Scegliendo, ad esempio, come variabile da monitorare la luce, bisogna installare, per il controllo dell'energia finale utilizzata per l'illuminazione, un sensore che sia in grado di misurare la quantità di luce all'interno dell'ambiente che si intende tenere sotto controllo. Il sensore da installare in questo caso è un luxometro. Questo, una volta effettuata la misurazione, invierà i dati all'unità centrale in base al mezzo di trasmissione e al protocollo del sistema presente.
Nell'unità centrale questi dati vengono registrati e rielaborati tramite alcuni algoritmi che hanno il compito di verificare la situazione di comfort.

Semplificando al fine della comprensione del sistema di funzionamento, nel caso in cui la situazione di comfort sia verificata, i dati vengono registrati nel database e l'operazione si conclude. Nel caso contrario, invece, ovvero se la situazione di comfort non viene verificata, il sistema centrale invia un segnale ad un attuatore che ha il compito di accendere la luce, se la luminosità rilevata è troppo bassa rispetto al livello di comfort stabilito, oppure di spegnere la luce, nel caso che questa fosse aperta, se la luminosità rilevata fosse troppo alta rispetto al livello di comfort stabilito. Nel caso in cui il sistema di automazione non sia così sofisticato, o nel caso in cui l'utente lo richieda, l'attuatore avrà il compito di inviare un avviso sull'interfaccia utente e sarà l'occupante a decidere se effettuare o meno l'operazione.
Il funzionamento del sistema è lo stesso anche per tutte le altre variabili in ambiente che si intendono monitorare, ovviamente cambiando tipologie di sensori e di attuatori.
Il sistema HEMS, come tutti gli altri sistemi all'interno di una Smart Home, controlla tutte queste componenti tramite un network che è in grado di coordinare tutti i dati e tutte le azioni dei dispositivi al fine di raggiungere gli obiettivi finali, ovvero un maggiore comfort e un maggiore risparmio energetico.
In alcuni casi, però, può capitare che alcune di queste azioni volte al raggiungimento di questi obiettivi, entrino in conflitto. Un esempio di ciò è la rilevazione nello stesso momento di una scarsa qualità dell'aria e di una temperatura troppo bassa rispetto alla situazione di comfort all'interno dell'abitazione. Nel primo caso, infatti, il sistema indicherebbe di aprire le finestre per un ricambio d'aria, mentre nel secondo, indicherebbe di chiudere le finestre, nel caso fossero aperte, e di aprire l'impianto di riscaldamento. Poiché i due comandi sono in conflitto tra di loro, il sistema agisce per priorità. Questa può essere definita anche dall'utente impostando il sistema di controllo con priorità comfort o priorità risparmio energetico.
Un'altra potenzialità del sistema HEMS è la possibilità di gestire la domanda energetica proveniente dalle apparecchiature a seconda della disponibilità e, dunque, del prezzo dell'energia elettrica. Questo sistema, infatti, è in grado di comunicare con tutti i dispositivi elettrici dell'abitazione e di gestire intelligentemente i carichi di picco [2].
La progettazione intelligente dell'uso dell'energia elettrica è possibile grazie ad un'integrazione del software principale con programmi di *Demand Side Menagement* (DSM). Questi programmi, grazie ai dati reperiti dai sensori smart meters, ossia dei contatori di energia avanzati in grado di reperire e trasmettere informazioni provenienti dalla rete di distribuzione e dalle apparecchiature, sono in grado di gestire i carichi energetici. I sistemi DSM funzionano anch'essi tramite algoritmi. Questi tengono in considerazione l'andamento del prezzo dell'energia nel tempo. Questo principio prende il nome di *Demand Response* e viene definito come una diminuzione della domanda legata alla programmazione dell'uso di energia per ridurre i carichi di picco [2]. Immaginando tutti questi sistemi non più implementati su una singola abitazione, bensì su un intero edificio o su un insieme di edifici, si comprende come il tema centrale diventi quello della connessione. Questo insieme di edifici connessi tra loro prende il nome di Network of Smart buildings o Smart District. In questo caso, infatti, tutti i network delle singole abitazioni sono collegati ad un unico network centrale di controllo che coordina l'utilizzo di energia nell'ottica del risparmio energetico secondo obiettivi di livello distrettuale. A questo livello, la logica dell'uso dei dati è diversa rispetto a quella impiegata nella singola residenza [2].

Questi Smart District, se implementati con dei sistemi di *Demand Response*, diventano delle Smart Grid ossia un insieme di edifici connessi da un network in grado di gestire l'energia nel tempo e di dirigere la domanda energetica di ogni singola unità del distretto nella maniera più efficiente possibile.
Il livello più elevato di implementazione delle tecnologie Smart è quello della città, ovvero quello delle Smart City. Queste città intelligenti sono l'insieme delle tecnologie Smart precedentemente illustrate, coordinate da un unico sistema centrale che, inoltre, gestisce anche settori al di fuori dell'ambito civile come quello dei trasporti, dell'illuminazione cittadina o del sistema sanitario nell'ottica di ottimizzare tutti i servizi [2][14][13].
Si può affermare, dunque, che a partire dalla Smart Home fino ad arrivare alla Smart City, gli obiettivi principali restano gli stessi, ovvero quelli della raccolta e della rielaborazione di dati al fine di fornire servizi sempre più efficienti, economici e con una qualità sempre migliore.

1.3_ IL RUOLO DELL'OCCUPANTE AI FINI DEL RISPARMIO ENERGETICO. TECNOLOGIE SMART: UNO STRUMENTO DI SUPPORTO PER RAGGIUNGERE LA SOSTENIBILITA'

Il ruolo dell'occupante ai fini del miglioramento dell'efficienza energetica all'interno di un'abitazione è cruciale. Come affermato in precedenza, infatti, dal 2006 in poi, dopo la stesura dell'agenda di Goteborg, uno dei capi saldi dello sviluppo sostenibile è diventato proprio quello "dell'educazione ad un consumo consapevole" delle persone.
L'*International Energy Agency* (IEA), il programma *Energy in the Buildings and Communities* (EBC) e l'ANNEX 53 " *Total Energy Use in the Buildings*", hanno stabilito, infatti, che il comportamento dell'occupante all'interno dell'edificio risulta fondamentale ai fini del risparmio energetico almeno quanto l'involucro edilizio, la tecnologia costruttiva dell'edificio, la compattezza e l'orientamento, i sistemi di riscaldamento e raffrescamento e gli apporti interni [13].
A sostegno di questa ipotesi è stato dimostrato che il consumo di energia totale in un edificio può subire una riduzione che va dal 10% al 30% solo grazie al cambiamento del comportamento da parte dell'occupante [7]. Per far sì che ciò avvenga, però, è necessario che l'utente venga aiutato ed educato ad un consumo consapevole. Questo aiuto e questa educazione sono necessarie in quanto la maggior parte delle persone non ha la consapevolezza di come e quanta energia consuma e del tipo di impatto che il loro comportamento causa [2].
Una volta capito che il comportamento energetico dell'occupante riveste un ruolo fondamentale nel consumo finale di energia di un edificio, è necessario analizzare le motivazioni di questo consumo al fine di comprendere come poter migliorare le azioni dell'utente.
Il consumo energetico all'interno di un'abitazione è totalmente finalizzato al raggiungimento dello stato di comfort dell'occupante. Questo però varia da utente a utente ed è influenzato da diversi fattori, raggruppabili principalmente in due tipologie:
- fattori esterni, quali la temperatura, la qualità dell'aria e le proprietà fisiche dell'edificio.
- fattori interni, quali l'età, il sesso, i fattori sociali, il posto di lavoro, la provenienza territoriale.
Questa variabilità interindividuale rende difficile affrontare il tema dell'educazione in quanto ogni utente consuma energia in misura differente e per ragioni diverse. Ad esempio, Biesiot e Noorman hanno dimostrato che, tendenzialmente, le persone con maggiore disponibilità economica

consumano più energia rispetto alle persone con minore disponibilità economica e che le persone che vivono in affitto sono più energivore rispetto alle persone che vivono in una casa di proprietà. Questo esempio permette di comprendere la molteplicità dei fattori che influenzano il consumo energetico [7].

Nicol and Humphreys, sulla base della "comfort adattivo" [2] sostengono che la causa principale dell'eccesso di consumo energetico dovuto al comportamento dell'occupante all'interno dell'edificio è la percezione di discomfort che l'individuo esperisce [13]. Egli, infatti, trovatosi in questa situazione di discomfort, agirà in maniera tale da ristabilire lo stato di comfort ad ogni costo. Questo comportamento può portare ad azioni altamente energivore da parte dell'utente. Egli, infatti, per ristabilire la situazione di comfort, potrebbe agire sull'ambiente, ad esempio regolando il termostato o aprendo o chiudendo le finestre a seconda del tipo di discomfort provato, senza tenere in considerazione il consumo energetico [12]. Queste ultime azioni, legate al comfort adattivo, sono le principali ragioni dell'eccesso di consumo energetico causato dall'occupante, e fanno sì che spesso il fabbisogno calcolato per un determinato edificio non corrisponda al fabbisogno reale, e dunque che l'edificio non venga sfruttato al massimo delle sue capacità energetiche [14][2].

Uno strumento in grado di semplificare e di risolvere le problematiche legate alla gestione energetica da parte dell'occupante e alla sua educazione a un consumo consapevole, è quello delle tecnologie smart. Ciò si rende evidente già dall'insieme di definizioni e dagli obiettivi, riportati nei paragrafi precedenti, che queste tecnologie si pongono.

Le tecnologie smart all'interno degli edifici, infatti, hanno come obiettivo quello di fornire maggiori servizi all'occupante in termini di comfort ambientale, interattività con l'edificio, salubrità e, allo stesso tempo, quello di razionalizzare i consumi energetici tramite azioni ben definite. Il raggiungimento di questi obiettivi dipende dal processo di raccolta dei dati nell'ambiente, grazie ai quali il sistema informa l'utente sul suo consumo energetico, sensibilizzandolo. Così facendo, inoltre, il sistema riesce a far consumare meno energia tramite un auto-adattamento alle diverse esigenze del singolo occupante che, come abbiamo visto, sono variabili e quindi poco prevedibili. Ciò, a livello pratico, implica che gli algoritmi di calcolo presenti all'interno dell'unità centrale si modifichino a seconda dei dati reperiti dai sensori all'interno della casa e a seconda delle richieste dell'occupante, modellando il comportamento dell'edificio al fine di ridurre al minimo tutti i fenomeni di comfort adattivo e, dunque. eliminando il surplus di spese energetiche legate alla mala gestione dell'energia [2].

Le azioni compiute dalle tecnologie smart, a livello teorico, possono essere completamente automatizzate o semi-automatizzate. In letteratura è stato dimostrato, però, che al fine del raggiungimento del comfort dell'occupante e al fine della sua educazione energetica è preferibile che il sistema non sia completamente automatizzato.

Diversi psicologi e sociologi, infatti, affermano che un fattore fondamentale affinché una persona raggiunga il comfort all'interno di un edificio è la percezione di controllo. Nel 2001 gli studi condotti da Veich sulla soddisfazione degli occupanti rispetto al loro controllo sull'ambiente hanno dimostrato che la percezione di controllo ha un impatto fondamentale sulla soddisfazione dell'occupante [14]. Per questo motivo, in un'ottica di massimizzazione del comfort e affinchè gli utenti non mettano in atto le azioni legate al comfort adattivo, una Smart Home completamente automatizzata non rappresenta la soluzione migliore. Una totale automatizzazione di queste tecnologie,

inoltre, non permetterebbe l'interazione tra utente ed edificio, e dunque , l'educazione energetica ed ambientale dell'utente. E' stato dimostrato, infatti, che le persone, per apprendere un determinato comportamento, devono, sia essere educate a livello teorico e quindi essere in grado di interiorizzare le informazioni sviluppando una propria idea sul tema, sia agire da un punto di vista pratico. Questa educazione tramite l'azione prende il nome di "pedagogia dell'impegno" e permette all'utente di assumersi le proprie responsabilità in modo informato e modificando il proprio comportamento e i propri valori [2].

Secondo Wyon, infatti, le persone possono avere un effetto energeticamente positivo sugli edifici se queste vengono responsabilizzate secondo il principio delle 3 "I" da lui stesso proposto, ovvero tramite la conoscenza (*Insight*) , l'informazione (*Information*) e l'influenza (*Influence*).

I sistemi smart, se opportunamente progettati e non completamente automatizzati, hanno la possibilità di far compiere tutti questi passaggi educativi all'occupante, dal livello informativo-teorico, a quello dell'azione-influenza. Questi sistemi, infatti, possono rapportarsi con l'occupante tramite l'interfaccia utente, ovvero degli schermi touch all'interno della casa, dei tablet o il proprio smart-phone direttamente collegati con l'unità centrale [14]. L'unità centrale, dopo aver immagazzinato i dati provenienti dall'ambiente e averli riorganizzati, ha così la possibilità di inviare dei feedback all'occupante sul funzionamento del sistema o dei consigli per mantenere un comportamento energeticamente efficiente e il comfort.

Il feedback può essere definito come <<un meccanismo che dirige l'attenzione verso un obiettivo specifico>>[2,p.18]. Più in particolare per feedback <<si intende un'informazione riguardante il risultato di un processo o di un' azione che può essere utilizzato per modificare o controllare un altro processo o sistema, specialmente notando la differenza tra il risultato desiderato e quello ottenuto>>[2,p.18].

I feedback forniti all'utente possono essere principalmente di due tipi: precedenti all'azione o conseguenti all'azione. Il primo fornisce dei modi pratici per il raggiungimento di una maggior efficienza energetica, cercando di instaurare nell'utente un nuovo comportamento. Il secondo, invece, evidenzia i risultati di un determinato comportamento energetico già messo in atto dall'utente in modo da responsabilizzarlo [2,p.80].

Vari studi hanno dimostrato che i feedback hanno un effetto misurabile sul comportamento umano [2,p.79]. I ricercatori van Houwelingen e van Raaij [10] hanno delineato tre funzioni principali dei feedback. La prima è quella dell'istruzione: i feedback, infatti, permettono all'utente di capire che esiste una relazione chiara tra consumo energetico e comportamento. La seconda è quella della formazione di un'abitudine: gli utenti, infatti, mettendo in pratica e interiorizzando le informazioni che vengono loro fornite, modificano la loro routine. La terza è quella dell'assunzione del comportamento, ovvero quando gli utenti agiscono spontaneamente per il raggiungimento dello scopo finale [2].

E' stato dimostrato, inoltre, che questi sistemi di feedback assumono un ruolo fondamentale non solo rispetto al comportamento dell'utente ma anche rispetto alla sua percezione di comfort. Per un individuo, infatti, la percezione che un impianto stia effettivamente modificando i parametri ambientali come richiesto migliora le sue condizioni di comfort e soddisfazione.

Accanto ai sistemi di feedback, in un'ottica di educazione e di aiuto all'utente, sono fondamentali degli indicatori che permettano di capire se il comportamento dell'occupante e dell'abitazione sia

energeticamente efficiente.
Questi indicatori, che prendono il nome di *Key Performance Indicator* (KPI), sono dei parametri di efficienza energetica espressi in forma sintetica e vengono ricavati tramite la raccolta dati che avviene nel sistema centrale [2].
Esistono due tipologie di KPI:
- KPI qualitativi, come ad esempio il comportamento energetico., i quali non possono essere espressi con un valore numerico.
- KPI quantitativi, come i kWh/m^2 consumati al giorno, alla settimana o all'anno, i quali, possono essere espressi attraverso un valore numerico

Sia i KPI qualitativi che quantitativi, hanno il compito di enfatizzare la differenza tra i risultati desiderati e quelli effettivi al fine di sensibilizzare l'occupante.
In quest'ottica è importante, inoltre, stabilire dei valori di benchmark, ovvero dei valori di riferimento del consumo energetico che permettono di fare un confronto tra il comportamento dell'utente all'interno dell'abitazione e un valore medio prestabilito. Questi, inoltre, permettono di classificare il profilo energetico dell'utente e permettono all'occupante stesso di capire se si sta comportando in maniera energeticamente efficiente oppure no. I margini di questi valori di benchmark devono essere definiti con cautela, poiché valori troppo restrittivi renderebbero difficile raggiungere il valore di benchmark e dunque determinerebbero una sensazione di sconforto da parte dell'utente. Al contrario, però, valori troppo facili da raggiungere potrebbero limitare gli effetti del risparmio energetico [2].
La ricerca nel campo dell'educazione delle persone tramite l'interazione con interfacce tecnologiche prende il nome di tecnologia persuasiva. Questa si è sviluppata solo in questi ultimi anni con l'obiettivo di utilizzare in maniera più efficacie ed efficiente i feedback e i KPI al fine di cambiare le abitudini, il comportamento e i valori degli utenti [2]. La tecnologia persuasiva nasce dalla commistione tra il mondo delle scienze tecnologiche e informatiche e quello delle tecniche persuasive di tipo psicologico e il suo campo studio è la ricerca di nuovi metodi per influenzare il comportamento degli occupanti. Lo strumento principale della tecnologia persuasiva è sempre il feedback all'utente che però viene fornito in modo completamente diverso. Nel periodo che prevedeva queste ricerche, infatti, il feedback era molto tecnico e poco accattivante, espresso solamente sotto forma di grafici e data set poco comprensibili dall'utente. La tecnologia persuasiva invece, grazie alla sua multidisciplinarità, ha permesso di comprendere che per rendere il feedback maggiormente fruibile, persuasivo ed efficace, bisogna enfatizzare e migliorare la visualizzazione delle informazioni [2]. E' stato dimostrato, infatti, che un feedback più accattivante risulta essere maggiormente incisivo sul comportamento dell'occupante. Oltre ad agire sulla comunicabilità e sull'espressività dell'interfaccia, gli esperti di tecnologia persuasiva, al fine di perseguire il loro obiettivo, stanno studiando e sperimentando numerose nuove strategie. Uno degli approci più recenti si basa sulla competitività dell'utente, il quale cioè si confronta con gli altri occupanti sulle prestazioni energetiche della sua abitazione. L'idea, dunque, è quella di creare una sorta di competizione energetica in modo che l'occupante cerchi di migliorarsi cambiando le proprie abitudini e acquisendo una maggiore sensibilità rispetto al suo consumo energetico [2]. Un altro metodo sviluppato dalla tecnologia persuasiva è quello di mostrare, tramite delle stime di degrado ambientale, l'impatto che ogni singolo utente ha sull'ambiente in termini, ad esempio, di metri quadri salvati dalla desertificazione o dalla defo-

restazione. Questo sistema andrebbe ad agire sulla sensibilità dell'utente, il quale, messo di fronte alle conseguenze ambientali del suo consumo energetico, dovrebbe essere spinto a ridurre i consumi. Il problema di questo metodo, però, è l'accuratezza della stima del degrado ambientale. Questo, infatti, è un calcolo estremamente complesso che, se semplificato, potrebbe essere discutibile, e dunque potrebbe portare l'utente a sottovalutare il dato e ad avere un atteggiamento contrario rispetto a quello sperato. E' dimostrato, quindi, che la tecnologia persuasiva ha un impatto molto significativo sul risparmio energetico finale e dunque sul cambiamento del comportamento dell'occupante.
Ciò dimostra, ancora una volta, come al centro del tema del risparmio energetico all'interno degli edifici ci sia la figura dell'occupante e come le tecnologie Smart siano uno strumento fondamentale per indurre un virtuoso cambiamento comportamentale nell'utente e dunque per ottenere un effettivo risparmio energetico.
Queste tecnologie però, come ben si comprende dal nuovo campo di ricerca della tecnologia persuasiva, poiché sono uno strumento per l'uomo e si interfacciano con esso, devono essere studiate da più discipline per essere davvero funzionali.
Etica, privacy e implicazioni psicologiche, sociali e culturali sono tutti fattori che concorrono al risultato finale del risparmio energetico e che bisogna necessariamente tenere in considerazione nella progettazione di una tecnologia smart efficace [11].

1.4_DOMANDA, OFFERTA, INFORMAZIONE E RICERCA NEL MERCATO DELLE TECNOLOGIE SMART

Come evidenziato nei precedenti paragrafi, le tecnologie Smart in questi ultimi decenni hanno acquisito un ruolo centrale nel campo della ricerca sul risparmio energetico e sul comfort dell'abitante in ambito domestico. Questa attenzione e questo fermento in ambito scientifico però non è ancora del tutto corrisposto dal mercato. La domanda per queste tecnologie, infatti, ad oggi, è ancora molto scarsa, anche se in questo ultimo periodo è possibile notare una certa attenzione mediatica a questo tema [2].
Per questo motivo diversi studiosi hanno ricercato i motivi alla base di questa scarsa diffusione e gli elementi da migliorare da parte dei produttori di questo tipo di tecnologie. Secondo Rihar et al. [12], il punto di partenza per risolvere questo problema è quello di comprendere quali siano le esigenze ma anche i timori che un possibile acquirente ha, rispetto alle tecnologie Smart. L'obiettivo, quindi, è quello di comprendere, in base alla domanda, quali siano i punti di forza e i punti di debolezza di questo tipo di tecnologie.
Uno dei principali motivi legati alla scarsa diffusione delle tecnologie smart riportato da uno studio di Nazmiye et al. [1] è la percezione che queste siano generalmente troppo intrusive e dunque ledano alla sicurezza dell'utente. Le tecnologie Smart, infatti, avendo come principale prerogativa quella di fornire servizi su misura dell'utente, necessitano di specifiche e numerose informazioni su quest'ultimo. Il problema, inoltre, si complica ulteriormente in un'ottica futura di interconnessione tra tutte le Smart Home per la formazione di un'unica Smart Grid, ovvero di creazione di un unico network d'informazioni al fine di ridurre i carichi di picco dell'energia elettrica a livello nazionale ed internazionale. Un altro fattore che limita la diffusione delle tecnologie smart è il pensare che non siano facili da usare e che siano poco affidabili. È fondamentale, infatti, che queste tecnologie siano fruibili da un pubblico il

più ampio possibile, e non solo da un pubblico di esperti. Un ulteriore problema fondamentale è quello relativo ai costi. La percezione generale dei possibili acquirenti, infatti, è che queste tecnologie siano riservate solo ad una fascia di mercato ristretta.
Gli elementi di forza di queste tecnologie sono il possibile risparmio energetico ed economico, la conseguente salvaguardia dell'ambiente e l'aumento del comfort. Gli studi, inoltre, confermano che la metà dei consumatori che oggi non usufruisce di tecnologie Smart o servizi di questo tipo sarebbe interessata ad usufruirne e che moltissimi consumatori sarebbero interessati a ricevere in modo costante informazioni sui propri consumi di energia [2].
Per questo motivo, secondo Rihar et al. [12], per aumentare la domanda bisogna insistere su questi aspetti positivi, cercando di limitare o di eliminare quelli negativi. Le persone, infatti, sarebbero portate a investire su queste tecnologie a fronte di un tangibile risparmio energetico ed economico, di una continua informazione sui propri consumi energetici, di un aumento del comfort e di un trattamento sicuro dei propri dati. Ad esempio, se l'acquirente avesse un'indicazione certa sul risparmio economico che otterrebbe se investisse su tali tecnologie, allora sarebbe maggiormente disposto a investire su ciò. [2]
Molti dei problemi sopra elencati sarebbero facilmente risolvibili tramite una maggior informazione all'acquirente. Gran parte della reticenza nei confronti delle tecnologie Smart, infatti, deriva da una generalizzata disinformazione causata dalla mancanza di una vera e propria cultura delle tecnologie Smart. [14]. Secondo Ehrenhard et al [6] il governo dovrebbe avere un ruolo centrale nella diffusione di questo tipo di tecnologie. Il mercato, infatti, potrebbe essere incentivato tramite finanziamenti, regolamentazione dell'uso delle informazioni legate alla privacy del cittadino e tramite campagne pubblicitarie e di informazione.
Questa breve analisi sullo stato del mercato delle tecnologie Smart ha cercato di mettere in luce le questioni irrisolte tra domanda e offerta, che sono poi state il punto di partenza per moltissimi nuovi studi. I ricercatori, infatti, si stanno impegnando sempre di più per rendere questi prodotti facili da usare, intuitivi, sicuri in termini di privacy e affidabili. Gli studi effettuati sono definibili interdisciplinari in quanto hanno coinvolto l'ambito ingegneristico, architettonico, artistico, psicologico e di design . Uno dei primi esempi di applicazione di questo tipo di studi è sicuramente quello del termostato intelligente dell'azienda Nest Lab. Questa per prima, infatti, ha investito sul design e sulla facilità d'uso del termostato, che fino a qualche tempo fa era solo tecnico, poco intuitivo ed esteticamente poco accattivante. Questo, infatti, è composto da una semplice ghiera rotante e da un unico tasto ed è in grado di auto-programmarsi in base alle abitudini dell'utente e, quindi, di adattarsi alle sue esigenze (Figura 1.1).

Figura 1.1_Termostato Nest Lab [57]

Ciò avviene grazie ad un processo di auto-apprendimento che gli permette di regolare automaticamente la temperatura della casa riuscendo così a raggiungere il maggior risparmio energetico possibile nella gestione del riscaldamento. Inoltre, il termostato Nest è in grado di comunicare, tramite un'applicazione, con tutti i tipi di smart-phone , rendendo ancora più facile e intuitiva la comunicazione tra utente e sistema [14]. Il termostato in questione, mirando al risparmio energetico, all'aumento del comfort e alla facilità di utilizzo, riassume perfettamente il concetto di tecnologie Smart. Gli studi dimostrano che con un termostato intelligente si può riuscire a consumare il 20% in meno sul totale del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento. [14].
Dopo la Nest Lab, tantissime altre società, come ad esempio la Vimar (Figura 1.6), la Bticino, la Gewiss (Figura 1.5), la Fibaro (Figura 1.4) o la Philips (Figura 1.7), hanno investito in questa direzione. Addirittura i due colossi Apple (Figura 1.2) e Google (Figura 1.3) hanno investito miliardi di dollari nel campo delle tecnologie Smart legate all'abitazione [14] con l'obiettivo di renderle accessibili al maggior numero possibile di persone. Ciò conferma ancora una volta come queste tecnologie siano pronte per essere diffuse a livello globale. Ericsson, infatti, ha previsto che il numero di connessioni internet da parte dei dispositivi passerà da 5 miliardi nel 2010, a 30 miliardi nel 2020 pur rimanendo la popolazione mondiale pressoché invariata come numero (popolazione attuale: 7,5 miliardi) [33].

Figura 1.2 _Apple Home Kit [42]

Figura 1.3_Google Nest [43]

Figura 1.4_Fibaro Multi Sensor [44]

Figura 1.5_Termostato Gewiss [45]

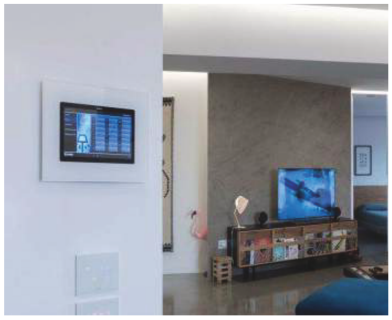


Figura 1.6_Vimar By-me [46]

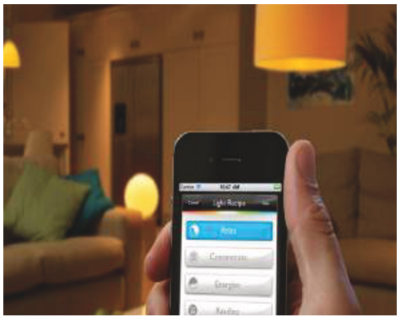


Figura 1.7_Philips Hue [47]

Un altro settore nel quale si stanno compiendo enormi passi avanti in questi ultimi periodi è quello dell'informazione sulle tecnologie Smart. Queste, infatti, stanno acquisendo un'attenzione mediatica sempre maggiore grazie alle pubblicità televisive, alle riviste e ai programmi Tv. Gli enti energetici, ad esempio, hanno iniziato a pubblicizzare, sulle reti nazionali, termostati e tecnologie di gestione intelligente. Anche l'amministrazione pubblica con "Pubblicità Progresso" pubblicizza la lotta contro lo spreco di energia tramite l'utilizzo di una gestione intelligente della casa [38].
Per capire come tecnologie Smart si stiano diffondendo a livello mediatico , si può leggere la risposta che Tony Fadell, ex dirigente della Nest Labs, fornì in un'intervista dove

gli venne chiesto se la cosa più importante dei suoi prodotti fosse il design oppure la connettività: <<Dipende con chi parli, o dalla segmentazione della clientela. Dipende dal tipo di esperienza che hanno con l'oggetto: se parli con i designer guardano la bellezza dell'oggetto, se parli con gli smanettoni sono affascinati da quante cose si possono fare, se parli con le persone attente al risparmio la cosa importante è che riescono a risparmiare soldi, se parli con le persone attente all'ambiente o attente alla sicurezza - come le madri e i padri - guardano altri aspetti ancora. Un po' quello che accade con gli smartphone, ci sono tanti segmenti. Lo noti anche dalle recensioni che fanno di noi sui giornali: siamo nelle riviste per casalinghe, per architetti, per geek o riviste scientifiche e addirittura riviste di cucina>> [14, p.60].
Da questo stralcio d'intervista ben si comprende come il pubblico a cui vengono dedicati questi prodotti e queste pubblicità sia molto ampio. Nei dossier dei giornali di settore, come ad esempio la rivista italiana di architettura Casabella (Figura 1.9), si parla sempre più spesso di tecnologia Smart, portando anche esempi di architetture realmente costruite. Di ciò se ne parla, però, anche nelle riviste meno vicine al mondo delle costruzioni, come quelle di auto (Figura 1.10), che riportano studi su un nuovo tipo di mobilità collegato alle Smart City, come quelli condotti da BMW (Figura 1.8), Seat o Audi.

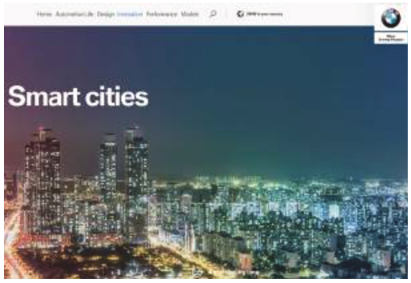


Figura 1.8_BMW SmartCities [38]

Figura 1.9_Rivista Casabella [55]

Figura 1.10_Rivista Auto [56]

In questi ultimi anni, inoltre, in ambito accademico sono stati organizzati diversi workshop e gruppi di studio, il più delle volte interdisciplinari, per indagare l'effetto di queste nuove tecnologie sulle persone e sulla città in ogni sua dimensione. Un esempio di Workshop è "HOME Seminar: uno Smart Agent all'università" organizzato dal Dott. Salvatore Iaconesi e dalla Dott.ssa Oriana Persico al Politecnico di Torino[11] . Questo incontro interdisciplinare è avvenuto tra studenti di Architettura, Psicologia e Ingegneria per discutere sui temi salienti delle tecnologie Smart e per vedere in azione uno Smart Agent progettato dagli stessi organizzatori e installato in un'aula del Castello del Valentino. Un esempio, invece, di gruppo di studio su questi temi molto importante a livello mondiale, è quello del "*Sensable City Lab*" del Massachusetts Institute of Technology (MIT) e diretto oggi da Carlo Ratti. Questi sono solo due esempi di come il campo delle tecnologie smart si stia sviluppando e diffondendo in ambito accademico. La crescita di presenze registrate allo Smart City Expo dal 2011, anno di fondazione, ad oggi (675 Exibitors) mette in luce come nel mondo stiano iniziando a formarsi svariati gruppi di studio su tale ambito. Nonostante, dunque, la domanda di mercato delle tecnologie Smart non sia ancora molto elevata, la società contemporanea, anche se a piccoli passi, sta iniziando a concepirle, conoscerle e accoglierle.

1.5_VERSO UNA NUOVA ARCHITETTURA

La città, nella storia dell'umanità, è sempre stata l'immagine diretta della tecnologia e del modo di vivere dell'epoca. L'estratto di "Architettura Futurista. Manifesto" di Antonio Sant'Elia del 1914, rende molto bene l'idea di come le città siano mutevoli e dinamiche e plasmate sia da chi le vive sia dalla tecnologia del periodo:
<<Il problema dell'architettura futurista non è un problema di rimaneggiamento lineare. Non si tratta di trovare nuove sagome, nuove marginature di finestre e di porte, di sostituire colonne, pilastri, mensole con cariatidi, mosconi, rane; non si tratta di lasciare la facciata a nudo, o di intonacarla, o di rivestirla in pietra, né di determinare differenze formali tra l'edificio nuovo e quello vecchio; ma di creare di sana pianta la casa futurista, di costruirla con ogni risorsa della scienza e della tecnica, appagando signorilmente ogni esigenza del nostro costume e del nostro spirito, calpestando quanto è grottesco, pesante e antitetico con noi determinando nuove forme, nuove linee, una nuova armonia di profili e di volumi, un'architettura che abbia la sua ragione di essere solo nelle condizioni speciali della vita moderna, e la sua rispondenza come valore estetico nella nostra sensibilità. Questa architettura (…) deve essere nuova come è nuovo il nostro stato d'animo>>[5,p.237] (Figura 1.11).

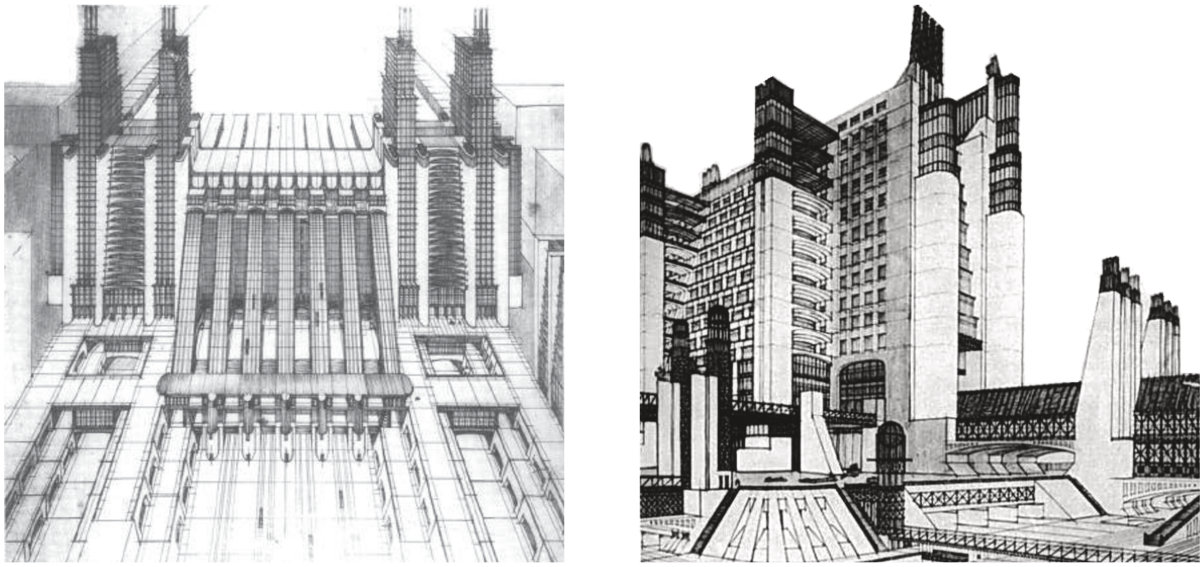


Figura 1.11 _Disegni architerttura Futurista, Antonio Sant'Elia [49] [48]

Questa idea di reciprocità tra uomo e città, tra tecnologia e architettura, è diventato, infatti, il fondamento dell'Architettura Moderna. Nella dichiarazione ufficiale del I Congresso Preparatorio Internazionale di Architettura (CIAM) del 1928 (Figura 1.12) si afferma che <<Il compito dell'architetto è quello di trovare l'accordo con i grandi fatti dell'epoca e con i grandi fini della società cui appartengono e di creare le loro opere in conformità con ciò. (…) Essi sono consapevoli che i cambiamenti di struttura che si compiono nella società si compiono anche nell'architettura>>[5,p.575]. Per gli architetti moderni il punto di partenza per riprogettare la città è diventato l'uomo e il suo nuovo modo di vivere legato alla mobilità veloce, alle nuove tecnologie, all'industria, al posto di lavoro e al tempo libero [5].
Un edificio iconico per questo periodo e che ben rappresenta quest'idea di architettura è stata "La

Casa Elettrica" (Figura 1.13) progettata e costruita dal Gruppo 7 in Italia nel 1930 e sponsorizzata da Edison per la "IV esposizione delle arti decorative e industriali" di Monza . Questa era una villetta in calcestruzzo, ferro e vetro, completa di tutti i servizi elettrici disponibili al tempo, e progettata ponendo gli elettrodomestici ed il loro uso al centro della scena architettonica. Ovviamente questa casa e le tecnologie presenti in essa erano molto costose per l'epoca, ma in ogni caso rappresentava perfettamente quel sentimento di cambiamento culturale che si stava vivendo all'epoca. Questa, infatti, prefigurò quella che, grazie allo sviluppo delle teorie razionaliste sulla dotazione dell'alloggio moderno e al boom economico degli anni '60, sarebbe diventata l'abitazione comune [14].

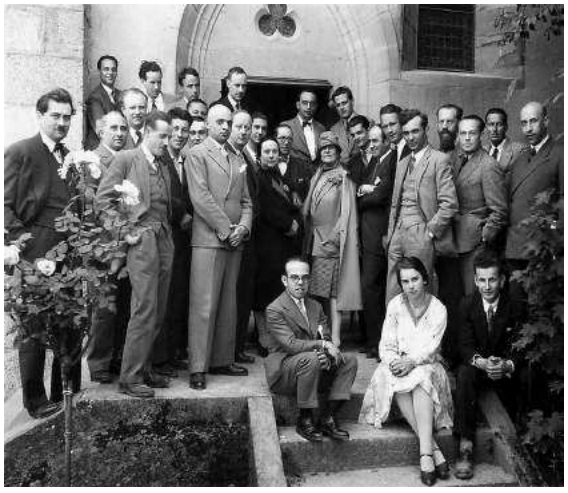


Figura 1.12_Foto rappresentante gli architetti partecipanti al primo CIAM [50]

Figura 1.13_La "Casa Elettrica", Gruppo 7 [51]

Oggi l'avvento di internet e della tecnologia sviluppatasi in questi ultimi due decenni ci sta mettendo nuovamente difronte a dei cambiamenti di vita radicali. Sta cambiando, infatti, il nostro modo di comunicare, di mangiare, di viaggiare, di interagire con gli altri. La nostra società è sempre più fluida, sempre più veloce e sempre più efficiente [35].

Carlo Ratti, Architetto e direttore del laboratorio "*Senseable City Lab*" del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), durante la sua Lectio Magistralis "Le città del futuro", ha portato un esempio semplice, ma allo stesso tempo molto interessante, che spiega come in questi ultimi anni si sia sviluppata la tecnologia ed il modo di usarla. L'esempio che ha portato era legato al mondo della Formula 1: in questa disciplina, fino a qualche decennio fa, per vincere era importante investire il proprio budget su una buona macchina e su un buon pilota. Oggigiorno, invece, è necessario investire parte di questo budget su un eccellente sistema di telemetria che raccolga informazioni in tempo reale, le analizzi e le utilizzi per risolvere i problemi e per rendere il tutto più efficiente. Questo sistema è composto da un insieme di sensori che raccolgono le informazioni, da un software che le elabora e da una serie di attuatori che eseguono in tempo reale il comando inviato dal programma.

La città del futuro, secondo Ratti, sotto la spinta di queste nuove tecnologie, si sta muovendo proprio in questa direzione. La Smart City, infatti, è una città che raccoglie una notevole quantità di informazioni in tempo reale e le rielabora per generare degli interventi che rendono l'intero sistema più efficiente. Questi interventi riguardano l'analisi e l'ottimizzazione del risparmio energetico, della mobilità, della gestione dei rifiuti, dei problemi sociali, con l'obiettivo di rendere migliore la vita dell'uomo. Tutta questa tecnologia entrerà nello spazio pubblico e privato della città, cambiandone inevitabilmente il modo in cui l'uomo vive questi spazi. Ogni parte della nostra città potrebbe di-

diventare un sensore o un attuatore [34].
Un elemento fondamentale della Smart City è la Smart Home. I sensori e gli attuatori di una singola casa permettono di raccogliere dei dati che, una volta collegati con i dati di tutte le altre Smart Home, generano un Network residenziale in grado di gestire i carichi di picco energetici e, dunque, di rendere tutto il sistema più efficiente. Come già affermato nei paragrafi precedenti, il 40% dei consumi mondiali oggi è dovuto al settore civile ed è questo che rende il ruolo della Smart Home centrale nella ricerca sul risparmio energetico e sulla sostenibilità ambientale [2]. Nonostante questa visione di casa e di città possa sembrare molto lontana, a livello internazionale si stanno sviluppando diversi progetti e sperimentazioni in questo campo. Esistono già esempi di applicazioni delle tecnologie Smart all'interno della casa anche se, il più delle volte gli interventi sono puntuali. Sempre più spesso, infatti, su numerose riviste del settore, come Casabella o Smart Home, vengono pubblicati esempi di queste applicazioni. In un dossier di Casabella, ad esempio, è stato pubblicato un intervento condotto dalla Vimar a Burano (Ve), ovvero un progetto di un piccolo Network residenziale composto da diverse residenze all'interno delle quali sono state installate le tecnologie di gestione energetica Smart [3,p.XVI].
Anche a un livello più generale, come quello urbano, esistono sempre più esempi di sperimentazione e di applicazione di tecnologie Smart nei più svariati settori: nel campo della mobilità, ad esempio, la BMW, la Seat e l'Audi hanno investito su alcuni progetti di Smart City andando ad analizzare come una mobilità intelligente possa cambiare la città [36] [37]. Il "*Senseable City Lab*" conduce da anni diversi esperimenti sulla gestione rifiuti, sulla mobilità urbana, sulla sicurezza e sullo scambio delle merci, raccogliendo dei dati e studiando come rendere più efficienti e fluide queste azioni all'interno della città [34]. Ad oggi, alcune tecnologie Smart per la gestione della città vengono utilizzate a Copenaghen, a Boston e a Singapore con diversi tipi di approcci. A Copenhagen, l'applicazione di queste tecnologie è stata maggiormente rivolta alla sostenibilità e al risparmio energetico. Sono stati installati, ad esempio, lungo tutte le strade della città dei lampioni responsivi che si accendono solo al passaggio delle automobili; inoltre è stata progettata una nuova mobilità ciclabile sostenibile e costantemente monitorata, che ha già cambiato il volto della città con le sue nuove infrastrutture (Figura 1.14). A Boston, queste tecnologie sono state introdotte con l'obiettivo di facilitare la comunicazione tra l'amministrazione pubblica e il cittadino. Con un'applicazione, infatti, ogni cittadino di Boston può comunicare direttamente con l'amministrazione della città avvisandola di possibili problemi o avvenimenti in tempo reale, permettendo così di gestire la città in modo molto più efficiente (Figura 1.15). A Singapore, infine, l'approccio è stato di tipo economico. È stata creata, infatti, una piattaforma multimediale dove è possibile vedere tutti gli scambi di merci in tempo reale per migliorare il sistema dei trasporti e del commercio.
Questi tre esempi permettono di capire come una grande quantità di dati raccolti e rielaborati in tempo reale possa determinare una gestione della città molto più efficiente, fluida e a misura d'uomo. Ogni parte della nostra città potrà diventare un sensore o un attuatore che ci aiuta a rendere l'intero sistema più efficiente, economico e sostenibile [34][35].
Come già affermato in precedenza, l'avvento delle nuove tecnologie sta portando l'uomo a vivere in maniera completamente differente e sta modificando, quindi, le relazioni sociali, il modo di incontrarsi e di interagire, e il modo di vivere gli spazi. Tutto questo porterà inevitabilmente a un cambiamento della forma delle nostre città e delle nostre case ponendo una nuova sfida al mondo

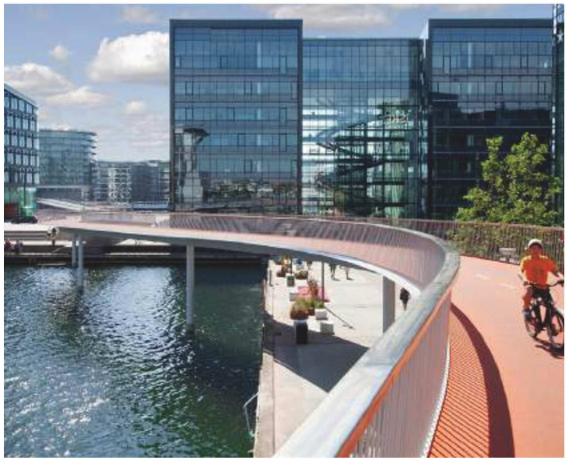


Figura 1.14_Nuova viabitità Copenhagen [52]

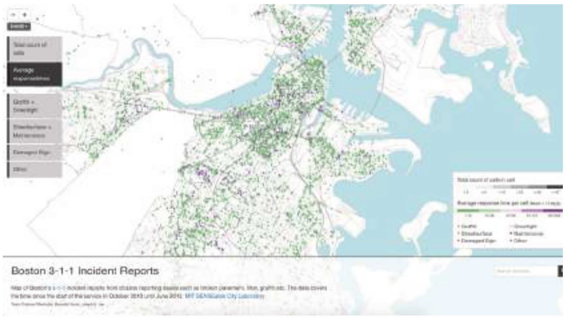


Figura 1.15_Monitoraggio dati città di Boston, "Senseable City Lab" [36]

dell'architettura e dell'urbanistica che, ancora una volta, dovranno essere in grado di leggere questi cambiamenti e tradurli in nuove forme urbane.

In alcuni casi, in realtà, questo cambiamento sta già avvenendo: un esempio è il progetto *Chorus Life*, una Smart city che verrà costruita a Bergamo, al posto di una fabbrica dismessa. Questo progetto prevede un investimento di oltre 100 milioni di euro da parte di un'impresa privata, che sarà anche la ditta costruttrice. L'architetto progettista è Joseph Di Pasquale, il quale ha dichiarato che l'obiettivo del progetto è quello di <<elevare la qualità della vita e dare corpo ad un'idea di residenzialità dall'alto valore sociale, favorendo l'aggregazione e la convivenza tra le differenti generazioni. Lo spazio residenziale è stato concepito ridefinendo l'idea stessa di abitare […]. Gli alloggi saranno forniti completi e arredati, dotati di impianti ed elettrodomestici attivabili e configurabili da un'unica piattaforma digitale. Chorus Life rappresenta […] un modello di ricerca applicata finalizzata allo sviluppo dell'impiantistica globale digitalizzata, grazie al contributo di Gewiss in collaborazione con Simens e Microsoft>>[4, p.XIII]. Il sindaco di Bergamo ha dichiarato che: <<Il progetto sviluppato […] punta a fissare un modello di integrazione di residenza, servizi e spazi pubblici che rinnova profondamente i canoni dell'urbanistica degli ultimi anni fondandolo sulla forte commistione delle funzioni, sulla sostenibilità ambientale e sul forte apporto di tecnologie digitali>> [4, p.XIII](Figure 1.16 e 1.17).

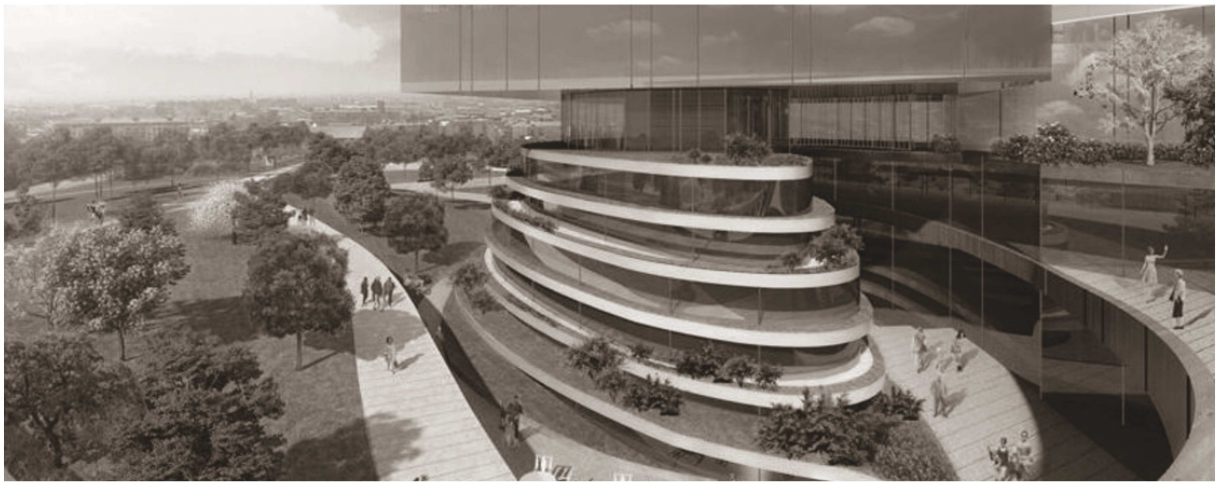


Figura 1.16_ Progetto "Chorus Life", Bergamo [4, p.XIII]

Figura 1.17_Progetto "Chorus Life", Bergamo [4, p.XIII]

Un esempio di architettura responsiva, che poco ha a che fare con il risparmio energetico, ma che ben esprime come queste tecnologie digitali possano determinare nuove forme architettoniche, è il padiglione del gruppo di studio "*Senseable City Lab*" del MIT all'Expo di Zaragoza del 2008 (Figure 1.18 e 1.19). Il tema di questo Expo era l'acqua, ed era stato chiesto al gruppo di studio di reinterpretare l'uso di questo elemento nello spazio pubblico in maniera digitale. È così che il "*Senseable City Lab*" ha progettato un edificio con dei muri esterni composti da una cascata responsiva di goccioline di acqua. La particolarità di questi muri era la totale assenza di porte e finestre. Queste, infatti, venivano create al passaggio delle persone grazie a un sistema responsivo digitale di chiusura e apertura dei rubinetti. Oltre a ciò la digitalizzazione di questi rubinetti permetteva di creare muri di forma sempre diversa [35]. Questo progetto è un esempio di un'architettura fluida in grado di cambiare e di plasmarsi a seconda delle esigenze dell'uomo che la vive.

Figura 1.18_Padiglione d'ingresso al EXPO 2008, Saragozza, Carlo Ratti [54]

Figura 1.19_Padiglione d'ingresso al EXPO 2008, Saragozza, Carlo Ratti [53]

2. OBIETTIVI DELLA TESI

2.1 _OBIETTIVI

Lo scopo della presente ricerca è stato quello di progettare e testare il funzionamento di una logica di controllo ed automazione all'interno di un appartamento esistente al fine di accertare se quest'ultima possa procurare all'occupante un risparmio energetico e, contemporaneamente, un miglioramento del comfort abitativo anche nell'ottica di un futuro inserimento all'interno di un gateway residenziale.
Il punto di partenza di questa sperimentazione è stato il REPORT Rds/2015/15 redatto da ENEA in collaborazione con il Politecnico di Torino e l'Università Politecnica delle Marche. Questo gruppo di ricerca ha progettato un dimostrativo sperimentale in un contesto urbano formato da 10 abitazioni, site in Roma, monitorate per la durata totale di un anno durante il quale sono stati raccolti i dati di consumo energetico e di produzione dei pannelli fotovoltaici.
Uno dei compiti di ricerca del Politecnico di Torino all'interno di questo report è stato quello di sviluppare tre kit di implementazione di tecnologie di automazione con tre diversi livelli di partecipazione dell'utente, e di progettare delle logiche di controllo nell'ottica di testarle sul caso reale.
Per il presente lavoro è stata selezionata una delle 10 abitazioni monitorate, con l'obiettivo di creare un modello dinamico sulla base dei dati reali, e di inserire, all'interno di questo modello, una nuova logica di controllo al fine di determinare la percentuale di risparmio energetico ottenibile.
Questo lavoro, inoltre, ha permesso di confermare l'importanza delle logiche di controllo applicate al sistema di gestione al fine del risparmio energetico e, in un'ottica futura, le potenzialità di un gateway residenziale.

2.2_ PROGRAMMA UTILIZZATO

Per condurre l'esperimento è stato utilizzato il software di modellazione dinamica Ida-Ice 4.7.
Questo ha permesso l'elaborazione di un modello tridimensionale all'interno del quale si è potuto implementare:
- l'impianto di riscaldamento;
- l'impianto di pannelli fotovoltaici;
- i terminali di emissione per il riscaldamento;
- le fonti di illuminazione artificiale;
- gli elettrodomestici;
- il numero degli occupanti.

È stato, inoltre, possibile inserire le logiche di controllo studiate per tutti questi sistemi e simularne il loro funzionamento nel tempo.

2.3_ METODOLOGIA DELLA SPERIMENTAZIONE

Nella presente sperimentazione il primo studio effettuato è stato quello sui dati reali dell'appartamento. Questi, come già precedentemente affermato, ci sono stati forniti dall'agenzia ENEA. Lo studio dei dati è stato svolto analizzando tutti gli aspetti riguardanti l'appartamento come l'orientamento, l'involucro edilizio, gli impianti, gli elettrodomestici e ponendo attenzione anche al loro utilizzo nel tempo. Sono stati, inoltre, analizzati i dati di consumo energetico dovuti sia al fabbisogno per il riscaldamento che al fabbisogno per l'elettricità.
Effettuate queste analisi, grazie al numero dei dati raccolti, è stato possibile costruire con il software Ida-Ice 4.7 un modello dinamico dell'appartamento. Questo, definito come modello di base, ha come obiettivo quello di raggiungere la performance energetica più simile possibile a quella del caso reale. L'accuratezza del modello di base è, infatti, fondamentale per riuscire a testare la nuova logica di controllo da applicare nell'appartamento. Per essere sicuri che i dati energetici del modello fossero il più simili possibili a quelli del caso reale è stata effettuata una calibrazione tramite l'analisi del *Mean Bias Error* (MBE) con riferimento al metodo esposto nell'articolo di E. Fabrizio e V. Monetti "*Methodologies and Advancements in the Calibration of Building Energy Models*".
Garantita l'accuratezza del modello di base, sono state definite le regole di progettazione della logica di gestione e sono stati elaborati gli algoritmi di controllo generali basandosi su un'attenta analisi bibliografica.
La logica di controllo è stata sviluppata in due fasi: nella prima fase (fase1) ci si è concentrati sulla gestione automatica delle tapparelle, delle luci, delle finestre e del riscaldamento; nella seconda fase (fase2), ci si è concentrati sulla gestione dei carichi degli elettrodomestici seguendo i principi del Demand Response. Ciò è stato fatto perché le azioni delle componenti controllate nella fase 1 hanno dei risvolti sui parametri fisici del comfort abitativo, mentre le azioni delle componenti della fase 2 agiscono solamente sulla domanda energetica legata all'uso dell'elettricità.
Una volta definite le due parti della logica generale, queste sono state implementate consequenzialmente sul modello di base, generando due modelli di implementazione: il modello di implementazione 1, comprendente solo la parte di logica della fase 1, e modello di implementazione 2, comprendente sia la parte di logica della fase 1 che la parte di logica della fase 2. Per scrivere le logiche sul programma è stato necessario trasformare gli algoritmi di controllo precedentemente studiati in funzioni matematiche che il software fosse in grado di decifrare ed utilizzare. Questo passaggio è stato effettuato grazie all'utilizzo della "tabella della verità", di operatori matematici e di specifiche funzioni algebriche.
Costruiti i due modelli di implementazione è stato possibile effettuare il calcolo del fabbisogno energetico di entrambi i modelli tramite il software. Sono stati, infine, comparati i risultati con il modello di base in modo tale da conoscere il risparmio energetico ottenuto e le variazioni dei parametri di comfort sviluppate, sia totali che dovute alle singole logiche implementate.
Durante la presente sperimentazione è stata fatta, inoltre, un'indagine sui dispositivi necessari per l'applicazione della logica progettata sul caso reale e sul loro costo in modo tale da evidenziare la fattibilità pratica dello studio.

3. IL CASO STUDIO

3.1_ INFORMAZIONI GENERALI

Il caso studio preso in esame è uno dei 10 appartamenti monitorati dall'Agenzia ENEA. Questo si trova in Italia, nel Lazio e più precisamente nella periferia di Roma.
L'appartamento si trova all'ultimo piano di una palazzina residenziale di tre piani costruita tra il 2005 e il 2009. La facciata principale è esposta a SUD /OVEST. L'occupante dell'appartamento è una signora in pensione.

DATI CLIMATICI DI ROMA:

Zona climatica:
D
Gradi Giorno:
1415
Periodo di riscaldamento:
1 Novembre - 15 Aprile
Temperatura esterna di progetto:
0 °C
Temperatura media annuale:
15.7°C

Figura 3.1_Immagine dell'appartamento da Google Street View

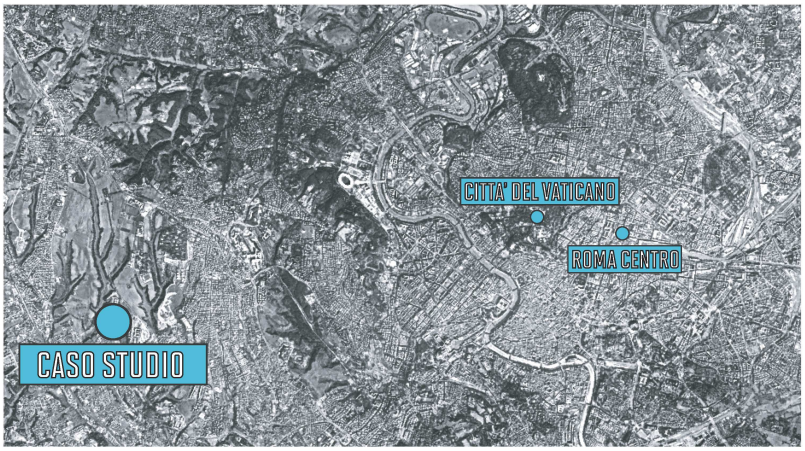


Figura 3.2_Immagine dell'appartamento da Google Street View

Figura 3.3_Immagine da Google Maps

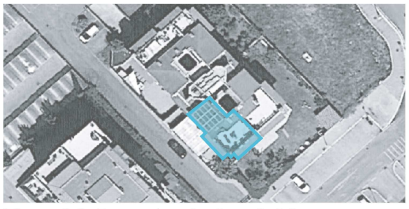


Figura 3.3_Immagine da Google Maps

Figura 3.5_Immagine da Google Maps

Documentazione fornitici per la presente ricerca:

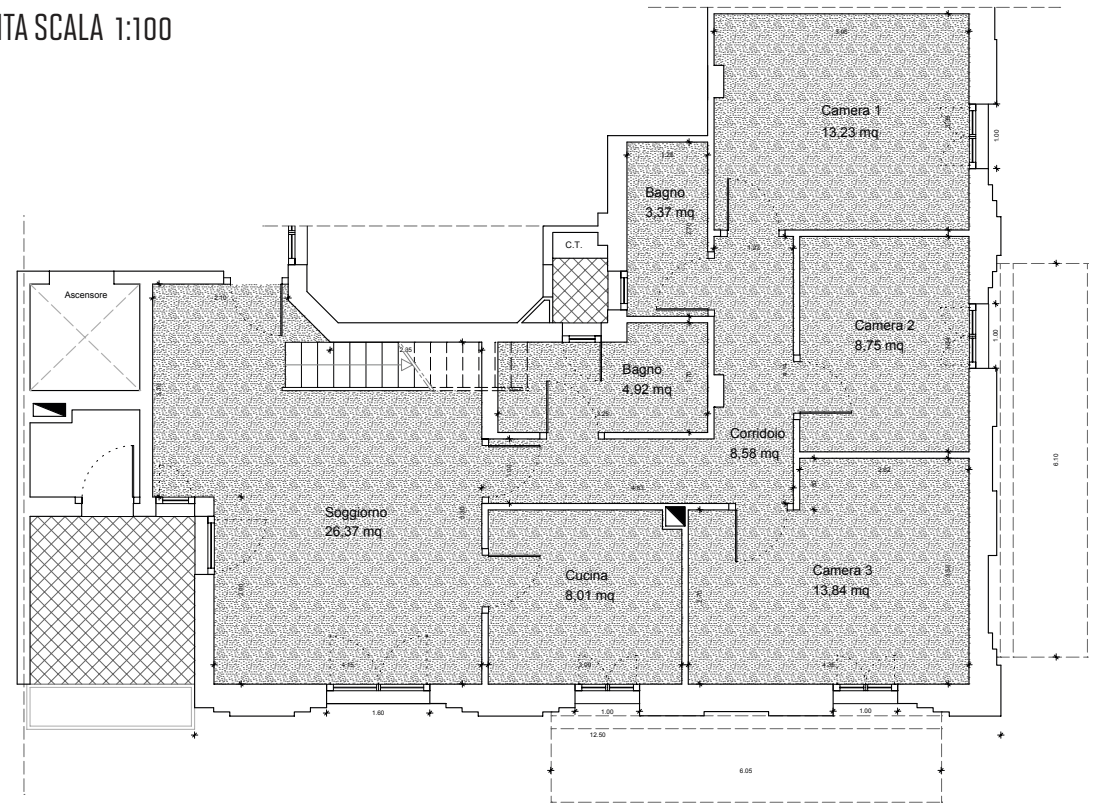
- Pdf. della planimetria generale e dati sulla superficie utile;	**sì**
- Altezza interna e volumetria;	**no**
- Dettagli dell'involucro edilizio;	**no**
- Tipologia dell'involucro trasparente;	**sì**
- Tipologia dell'impianto di riscaldamento;	**sì**
- Presenza e dati dell'impianto di pannelli fotovoltaici;	**sì**
- Tipologia dei terminali di emissione per il riscaldamento;	**sì**
- Dati sulle fonti di illuminazione artificiale e sul tempo di utilizzo;	**sì**
- Dati sugli elettrodomestici e sul tempo di utilizzo;	**sì**
- Numero degli occupanti;	**sì**
- Consumi elettrici totali;	**sì**
- Consumi di gas totali;	**sì**

Per fronteggiare la mancanza di parte della documentazione, sono stati utilizzati dati ricavati da fonti bibliografiche e da alcune funzioni del programma Ida-Ice.

3.2_ DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO

Una volta raccolti tutti i documenti, è stata analizzata e ridisegnata su CAD la planimetria dell'appartamento in modo tale da assicurarsi che le superfici e le grandezze degli spazi corrispondessero ai dati forniti. Ciò, inoltre, è stato utile per definire le tipologie di stanze presenti poiché queste non erano specificate nel pdf della planimetria generale.
L'appartamento è diviso principalmente in due zone: zona giorno e zona notte.
La zona giorno è composta da soggiorno, cucina e sala da pranzo; mentre la zona notte è composta da due bagni, due camere e un corridoio.

PIANTA SCALA 1:100

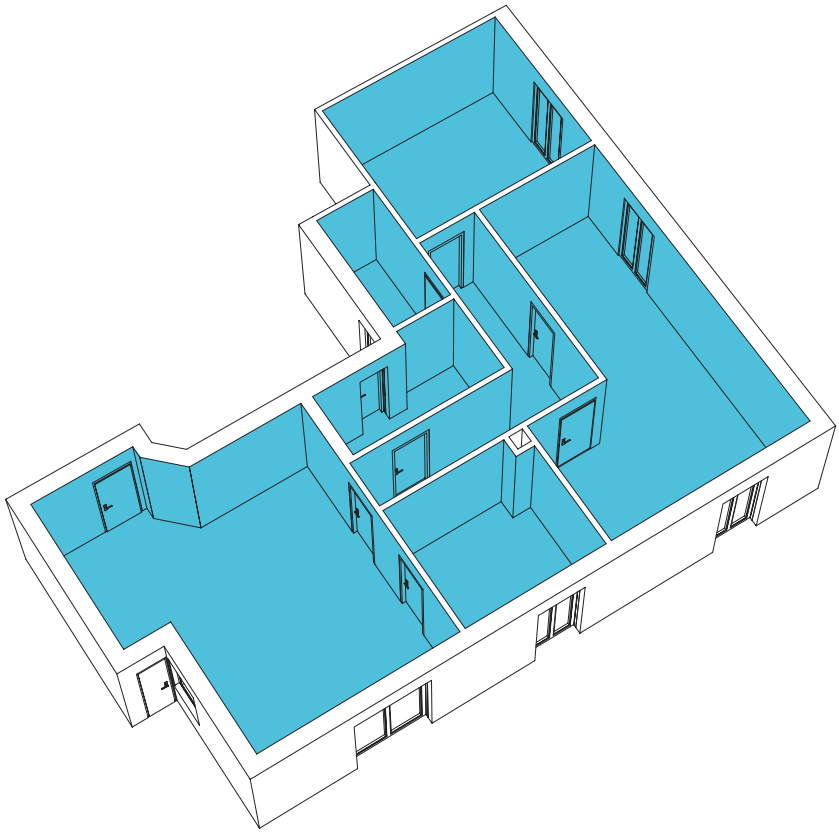


SUPERFICI

Soggiorno	26,37	m^2	Camera _03	13,84	m^2		
Cucina	8,01	m^2	Bagno_01	4,92	m^2	SUPERFICIE TOTALE	
Camera _01	13,23	m^2	Bagno_02	3,37	m^2		
Camera _02	8,75	m^2	Corridoio	8,58	m^2	**86,97**	m^2

Per quanto riguarda l'altezza interna dell'appartamento, non avendo dati certi, è stato assunto il valore definito dal regolamento edilizio, ovvero 2,70 m. Una volta definita l'altezza, è stata calcolata la volumetria interna.

ASSONOMETRIA



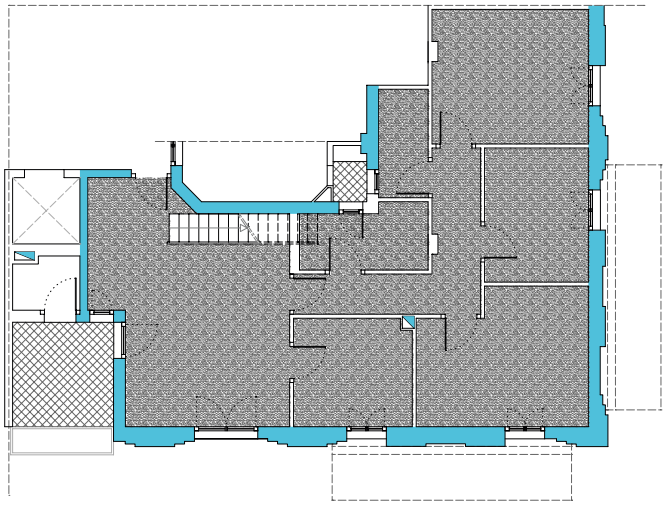
VOLUME

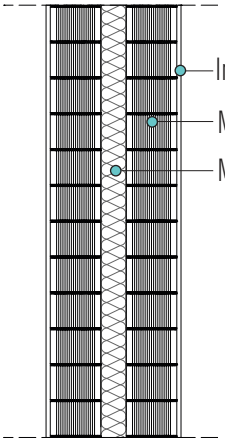
	Superficie			Altezza						
Soggiorno	26,37	m^2	x	2,7	m	=	71,20	m^3		
Cucina	8,01	m^2	x	2,7	m	=	21,62	m^3		
Camera _01	13,23	m^2	x	2,7	m	=	35,72	m^3		
Camera _02	8,75	m^2	x	2,7	m	=	23,62	m^3		
Camera _03	13,84	m^2	x	2,7	m	=	37,36	m^3		
Bagno_01	4,92	m^2	x	2,7	m	=	13,28	m^3		
Bagno_02	3,37	m^2	x	2,7	m	=	9,10	m^3		
Corridoio	8,58	m^2	x	2,7	m	=	23,16	m^3	SUPERFICIE TOTALE	**244,66** m^3

INVOLUCRO OPACO

Successivamente si è passati all'analisi dell'involucro opaco dell'edificio. Poiché i dati tecnici della muratura non erano disponibili, questi sono stati ricavati tramite i dati di uno studio condotto da ENEA nell'area Massimina di Roma [23]. In questo studio sono riportare, suddivise per diverse epoche costruttive, le stratigrafie principali usate per le diverse componenti dell'involucro edilizio e i principali parametri fisico tecnici dei vari componenti.
Si è ipotizzato dunque che:
- le pareti esterne siano composte da una muratura ad intercapedine in laterizio, riempita con del materiale isolante in polistirolo;
- le pareti interne siano composte da una muratura in laterizio forato da 8 cm;
- il solaio interpiano sia composto da una struttura in latero cemento a pignatte;
- il solaio di copertura sia composto da una struttura in latero cemento a pignatte con un sottile strato di isolante verso l'esterno.

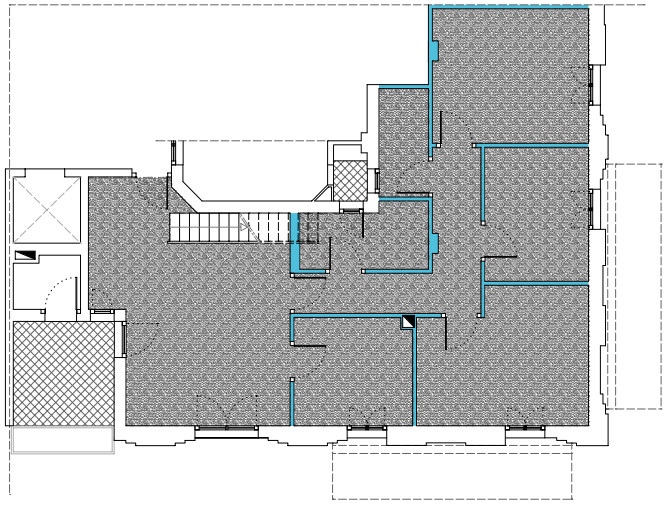
PARETE ESTERNA

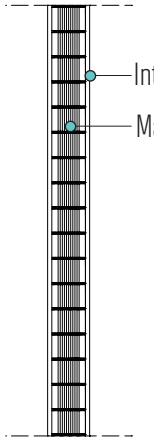




SPESSORE **0,32** m
U,VALUE **0,433** W/m²K

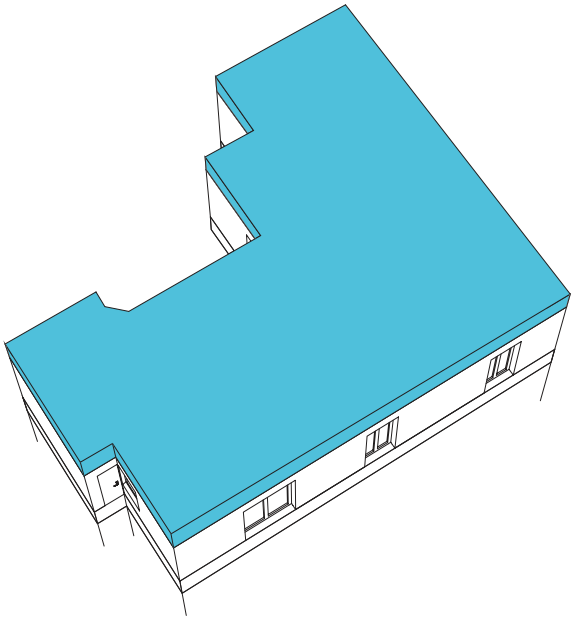
MURATURA INTERNA

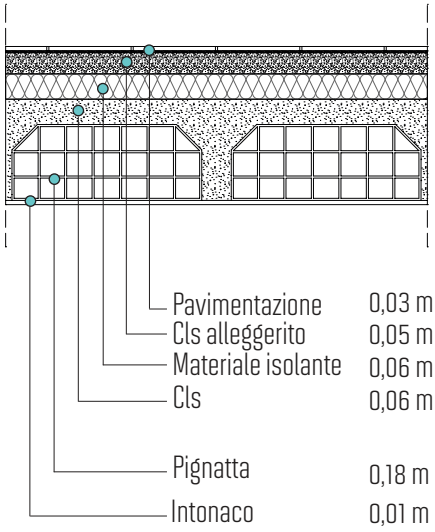




SPESSORE **0,10** m
U,VALUE **2,71** W/m²K

SOLAIO DI COPERTURA

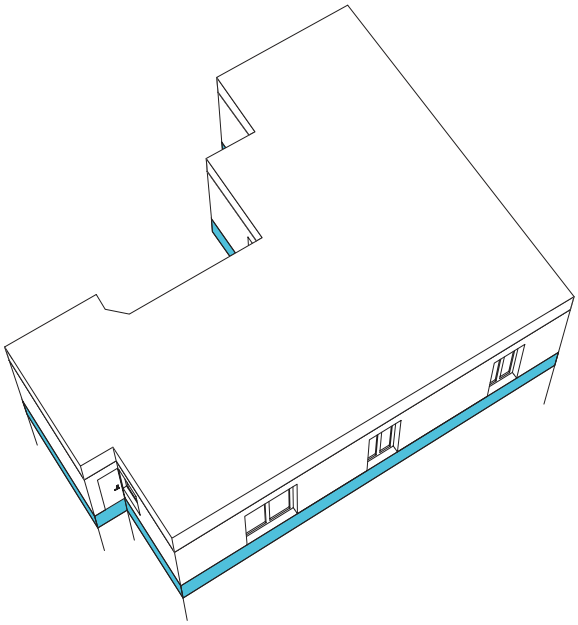


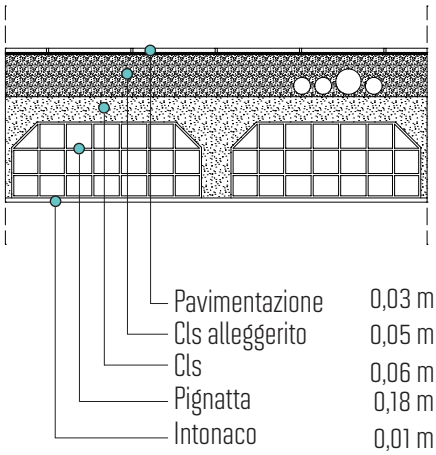


SPESSORE **0,40** m

U,VALUE **0,415** W/m²K

SOLAIO INTERNO CONFINANTE CON ALTRO APPARTAMENTO





SPESSORE **0,38** m

U,VALUE **1,45** W/m²K

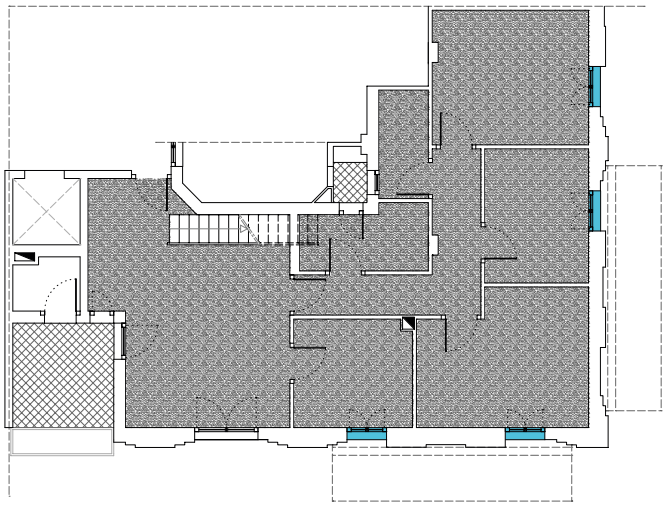
INVOLUCRO TRASPARENTE

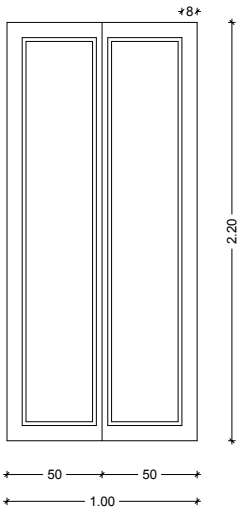
Per quanto riguarda invece l'involucro trasparente, i documenti forniti dichiarano che tutte le finestre sono dotate di un doppio vetro, ma non vengono specificate le caratteristiche tecniche del serramento. Per questo motivo i parametri fisico tecnici sono stati ricavati confrontando e facendo una media tra i valori di alcuni serramenti doppio-vetro delle marche più diffuse in mercato. I sistemi di oscuramento sono delle tapparelle totalmente oscuranti.
In generale possiamo definire 4 tipologie di finestre a seconda della loro dimensione:
- Finestra 01: 1,00 m* 2,20 m;
- Finestra 02: 1,60 m* 2,20 m;
- Finestra 03: 0,90 m* 1,40 m;
- Finestra 04: 0,60 m* 1,40 m.

In ogni stanza c'è solo una finestra ad eccezione del soggiorno che ne ha due.

FINESTRA 01

Finestra doppio vetro	4 mm-12 mm-4 mm
Sistema oscurante	Tapparelle completamente oscuranti manuali

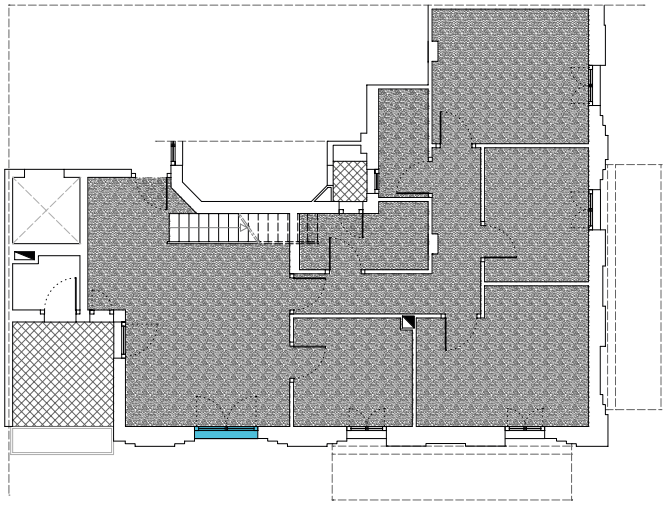


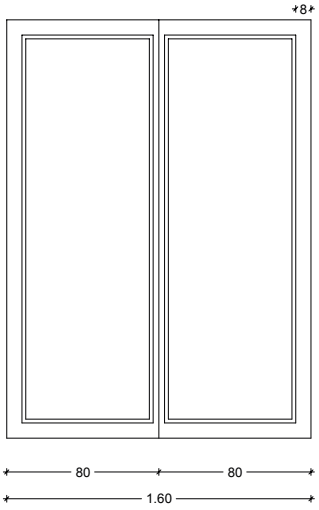


T,visTrasm **0,81** T,solar Trasm **0,7** g(SHGC) **0,76** Emissività **0,837** U, Glazing **0,76** W/m²K

FINESTRA 02

Finestra doppio vetro 4 mm-12 mm-4 mm
Sistema oscurante Tapparelle completamente oscuranti manuali

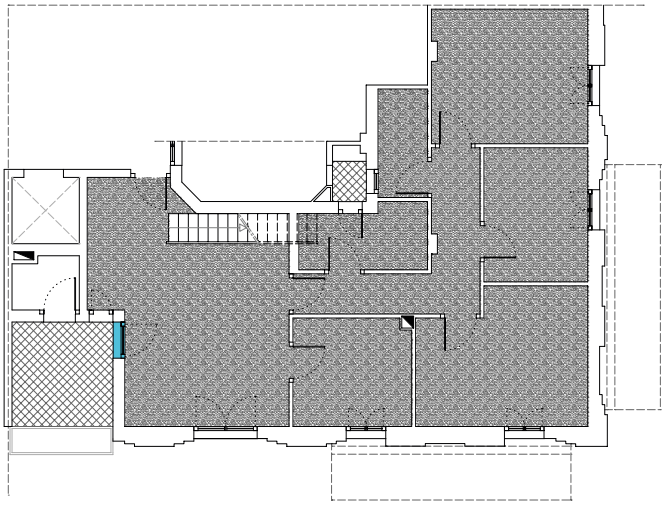


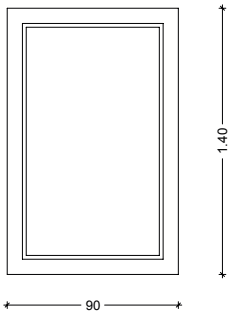


T,visTrasm **0,81** T,solar Trasm **0,7** g(SHGC) **0,76** Emissività **0,837** U, Glazing **0,76** W/m²K

FINESTRA 03

Finestra doppio vetro 4 mm-12 mm-4 mm
Sistema oscurante Tapparelle completamente oscuranti manuali

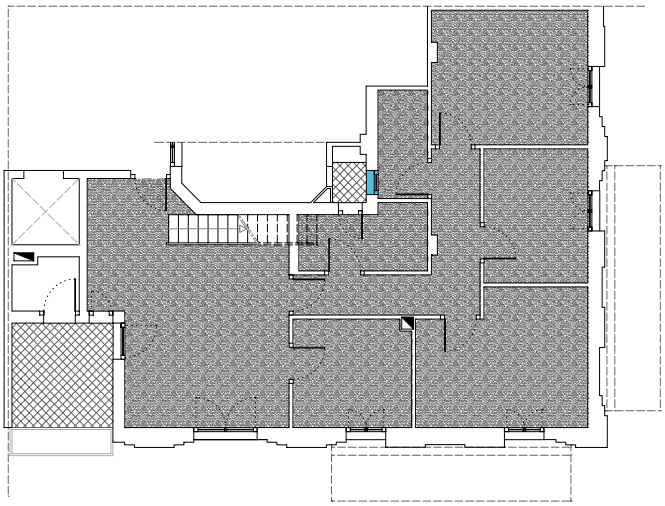


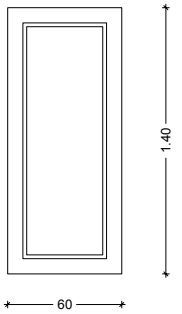


T,visTrasm **0,81** T,solar Trasm **0,7** g(SHGC) **0,76** Emissività **0,837** U, Glazing **0,76** W/m²K

FINESTRA 04

Finestra doppio vetro 4 mm-12 mm-4 mm
Sistema oscurante Tapparelle completamente oscuranti manuali





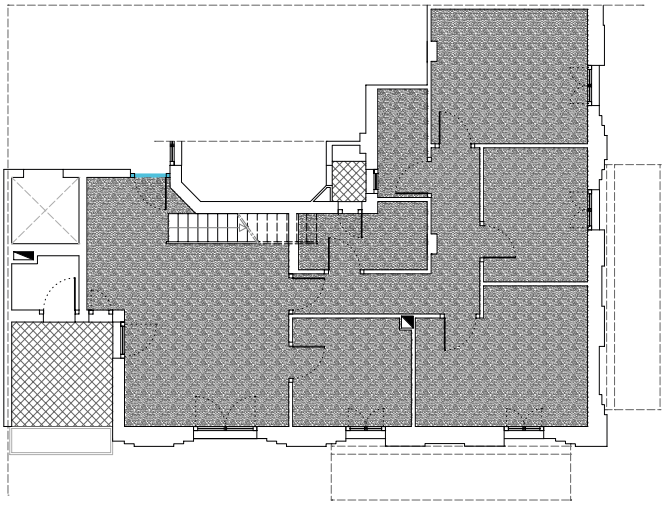
T,visTrasm **0,81** T,solar Trasm **0,7** g(SHGC) **0,76** Emissività **0,837** U, Glazing **0,76** W/m²K

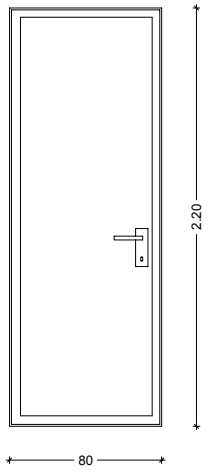
INVOLUCRO OPACO-PORTE

Le porte rivolte verso l'esterno sono in legno compensato da 10 cm, mentre quelle interne sono in legno compensato da 4 cm. Anche in questo caso i parametri fisico-tecnici sono stati ricavati confrontando e facendo una media tra i valori di alcune porte delle marche più diffuse nel mercato.

PORTA 01

Porta d'ingresso in legno compensato 10 cm

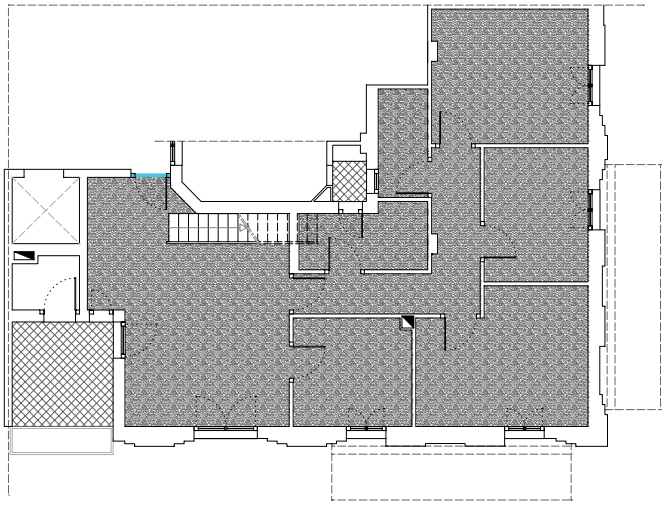


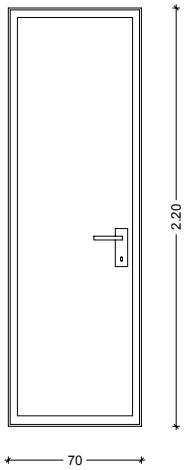


U, Value **1,2** W/m²K

PORTA 02

Porta d'ingresso in legno compensato 10 cm

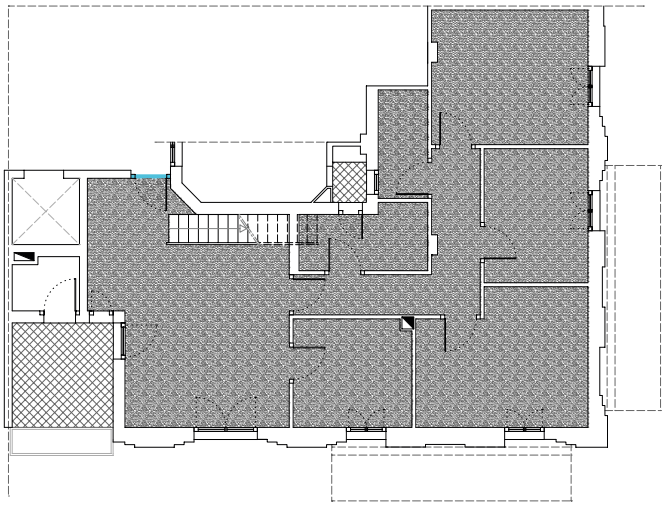


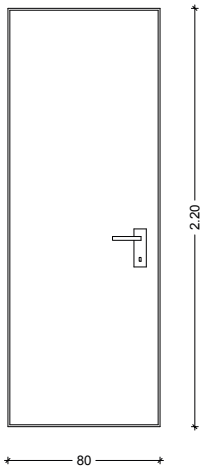


U, Value **1,2** W/m²K

PORTA 03_INTERNO

Porta d'ingresso in legno compensato 4 cm



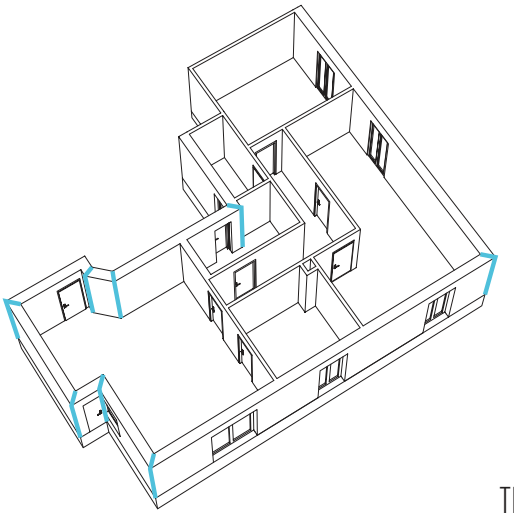


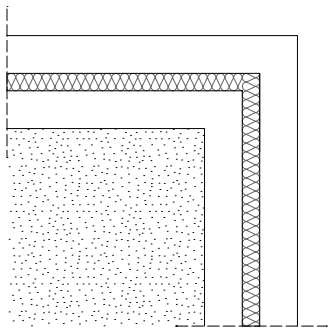
U, Value **2,2** W/m²K

PONTI TERMICI

I ponti termici sono stati calcolati attraverso gli abachi del programma Ida-Ice stabilendo un livello di dispersione compreso tra il livello Typical e quello Poor.

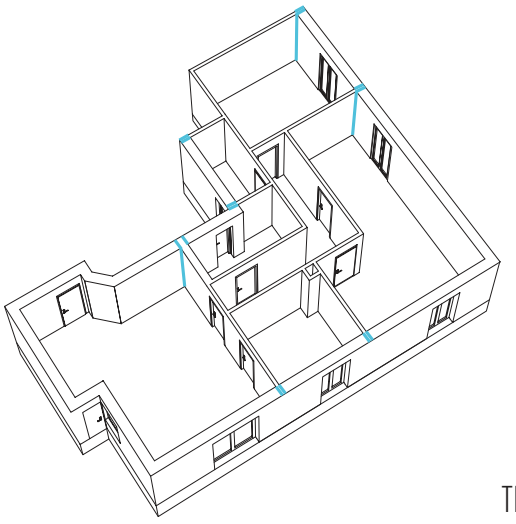
PARETE ESTERNA-PARETE ESTERNA

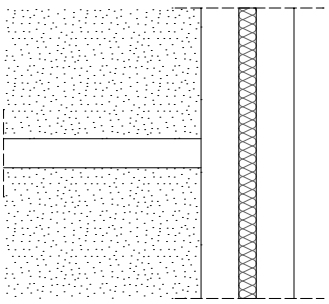




TRASMITTANZA TERMICA LINEICA **0,08** W/mK

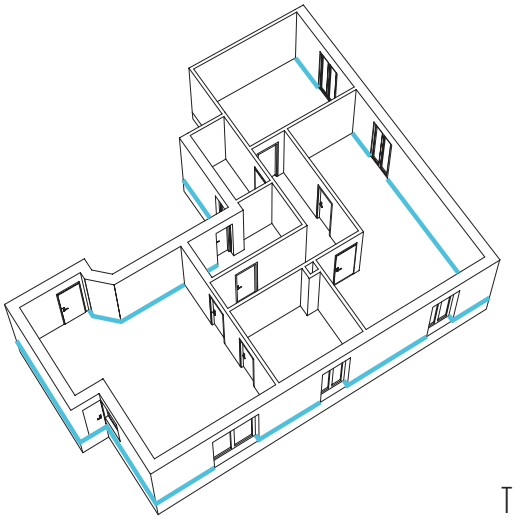
PARETE ESTERNA-PARETE INTERNA

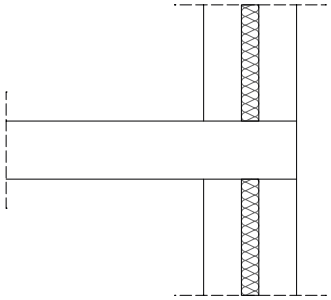




TRASMITTANZA TERMICA LINEICA **0,03** W/mK

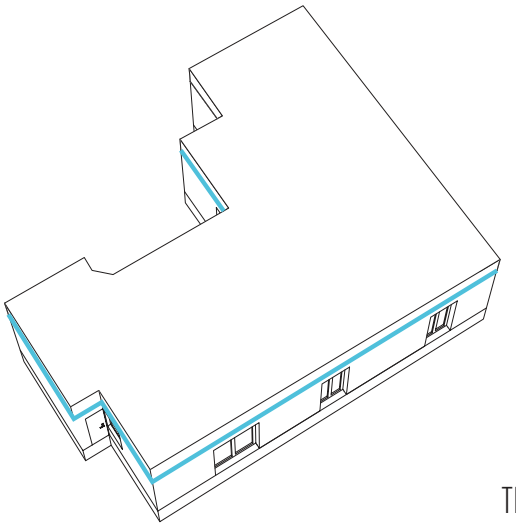
PARETE ESTERNA-SOLAIO INTERNO

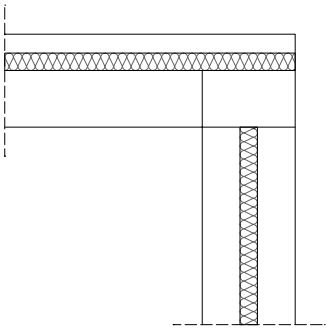




TRASMITTANZA TERMICA LINEICA **0,05** W/mK

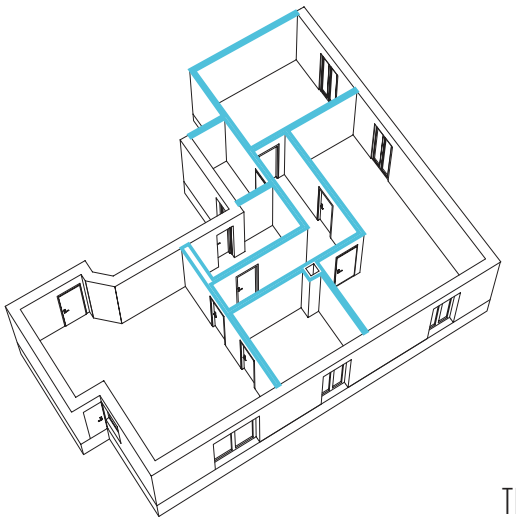
PARETE ESTERNA-SOLAIO COPERTURA

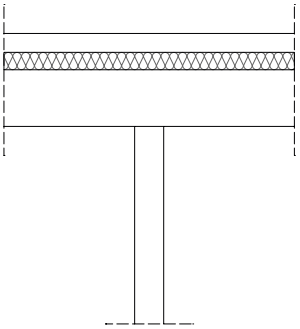




TRASMITTANZA TERMICA LINEICA **0,09** W/mK

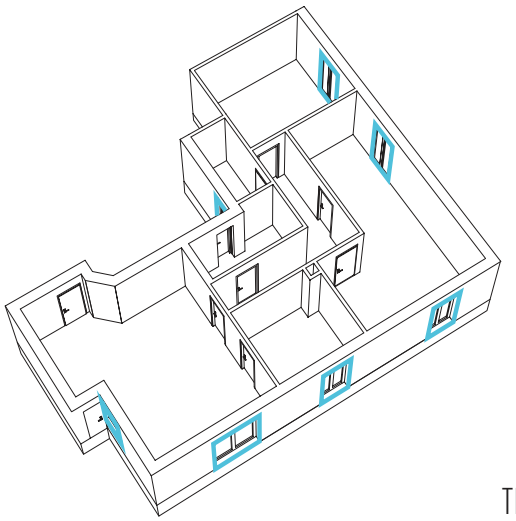
PARETE INTERNA-SOLAIO COPERTURA





TRASMITTANZA TERMICA LINEICA **0,03** W/mK

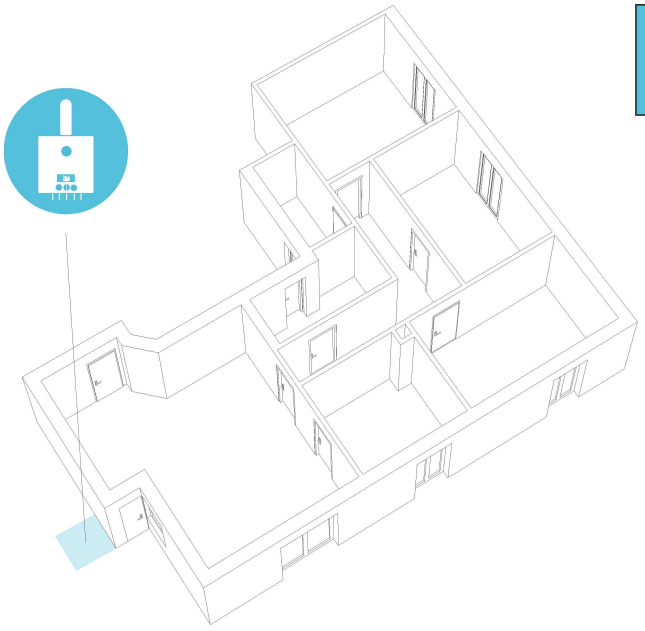
PERIMETRO FINESTRE-PORTE



TRASMITTANZA TERMICA LINEICA **0,03** W/mK

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO E ACS

L'impianto di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria è composto da una caldaia autonoma a gas metano. I terminali di emissione per il riscaldamento sono dei termosifoni.
Anche in questo caso, però, i documenti forniti non contenevano informazioni specifiche né sulla potenza della caldaia installata, né sulla potenza dei terminali di emissione. Per questo motivo, per riuscire a dimensionarli, è stato necessario costruire un modello Ida-Ice con i soli parametri dell'involucro esterno e impostando una tipologia di impianto e di terminali teorici, in modo tale che il programma, grazie alla sua funzione specifica, l'ideal heater, calcolasse il fabbisogno totale annuo teorico per il riscaldamento di quell'appartamento. Da questo dato è stato poi possibile calcolare sia la potenza dei singoli terminali di emissione che la potenza reale della caldaia. Il valore relativo all'uso di acqua calda sanitaria giornaliero, necessario per il dimensionamento della caldaia, è stato ricavato dalla norma UNI EN 12831, non avendo i dati d'uso reali. Tale valore è pari a 80 l/g .



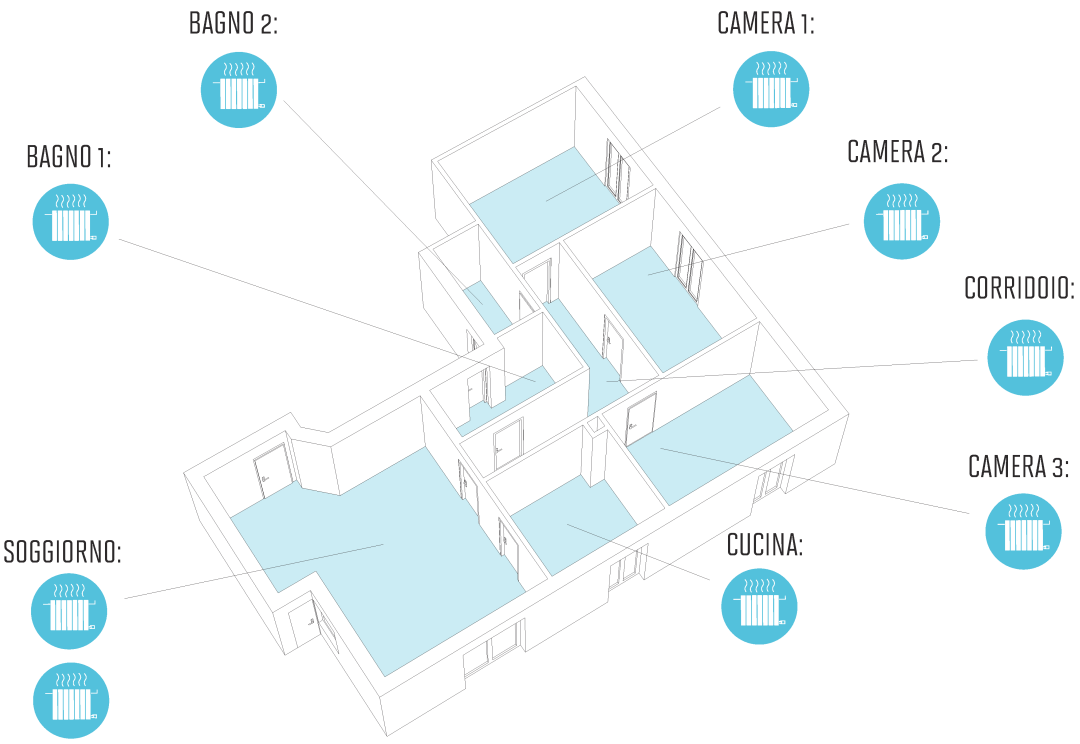
ACQUA CALDA SANITARIA	Numero occupanti	l/oc*g
	1	80

Temperatura di mandata riscaldamento: **70** °C

Temperatura di ritorno riscaldamento: **40** °C

Caldaia a Gas **24** kW

TERMINALI DI EMISSIONE



SOGGIORNO:	POTENZA	POTENZA/m²	
Terminale di emissione 1	1500 W	111 W/m²	**16** elementi **1, 15** m² di superficie **1,3** l *__0,9__ h
Terminale di emissione 1	1500 W	111 W/m²	**16** elementi **1, 15** m² di superficie **1,3** l *__0,9__ h
CUCINA:			
Terminale di emissione 1	550 W	65 W/m²	**6** elementi **0,43** m² di superficie **0,48** l *__0,9__ h
CAMERA 1:			
Terminale di emissione 1	1500 W	110 W/m²	**16** elementi **1,15** m² di superficie **1,3** l *__0,9__ h

CAMERA 2:

Terminale di emissione 1 | 900 W | 100 W/m² | **10** elementi | **0,72** m² di superficie | **0,8** l *__0,9__ h

CAMERA 3:

Terminale di emissione 1 | 1500 W | 108 W/m² | **16** elementi | **1,15** m² di superficie | **1,3** l *__0,9__ h

BAGNO 1:

Terminale di emissione 1 | 550 W | 150 W/m² | **9** elementi | **0,65** m² di superficie | **0,72** l *__0,9__ h

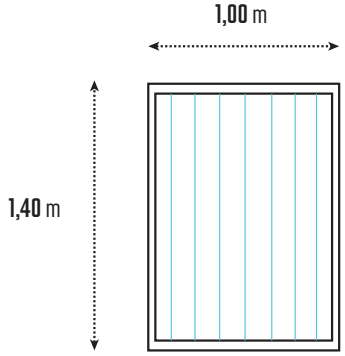
BAGNO 1:

Terminale di emissione 1 | 550 W | 225 W/m² | **9** elementi | **0,65** m² di superficie | **0,72** l *__0,9__ h

MEDIA 100 W/m²

IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Oltre all'impianto classico, l'appartamento è anche dotato di un impianto di pannelli fotovoltaici. Questo è composto da 12 pannelli esposti di 40° a S/W e inclinati di 15° rispetto al suolo. La potenza di picco indicata nei documenti è di 1,8 kW.
Grazie a questi dati è stato possibile dimensionare l'area dell'impianto pari a 16,8 m2, ponendo che la dimensione di un pannello sia 1,40 cm* 1,00 cm. L'efficienza totale dell'impianto è di 0,13. Questo ultimo valore è stato stimato sulla base dell'efficienza media delle varie tipologie di pannelli in commercio.

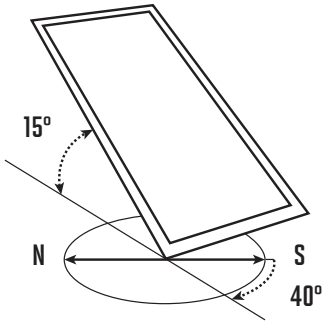


Superficie nomianale:
1,40 m x 1,00 m = **1,40** m²

Numero pannelli: **12**

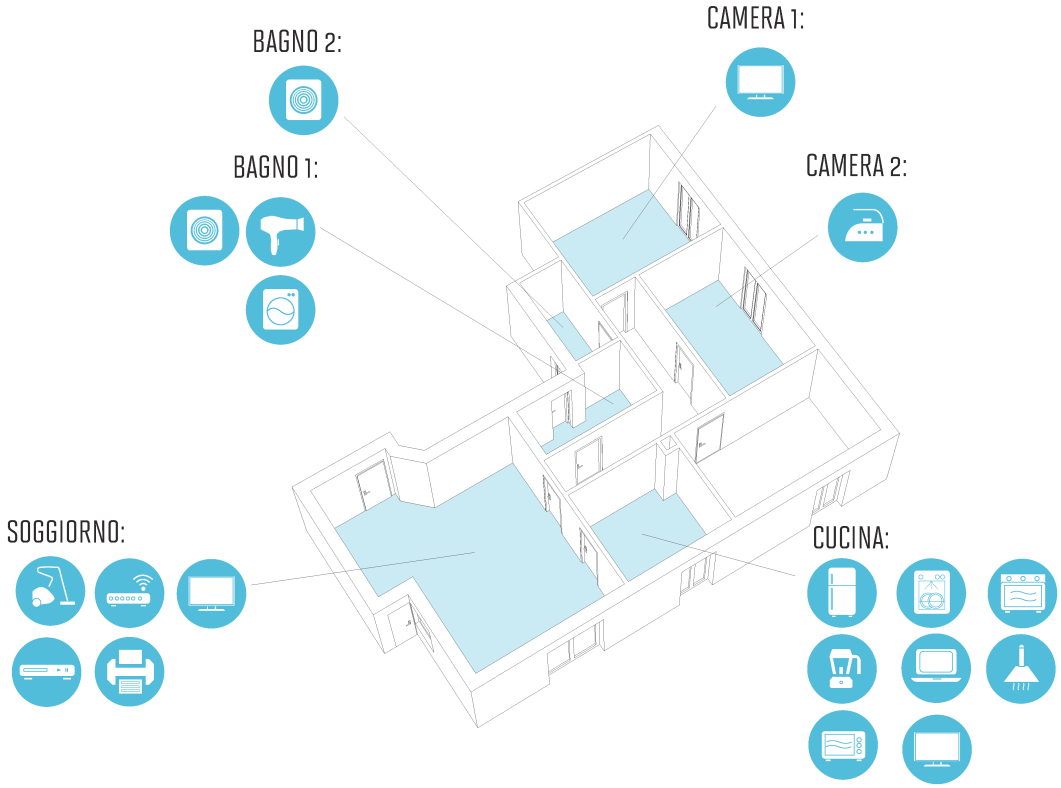
Superficie totale:
1,40 m x 12 = **16,8** m²

Efficienza totale del pannello: **0,2**



ELETTRODOMESTICI

Per quanto riguarda invece gli elettrodomestici, è stata fornita una tabella con un elenco delle tipologie di apparecchio, delle ore o minuti di utilizzo giornaliero e della classe energetica. Non erano disponibili, invece, le potenze nominali che sono state ricavate confrontando diverse schede tecniche di prodotti presenti in commercio e grazie alla parte del Report Rds/PAR2015/020 redatta dall'Università Politecnica delle Marche, intitolata "Sviluppo di un simulatore rete di edifici residenziali e implementazione di un modello di smart district".

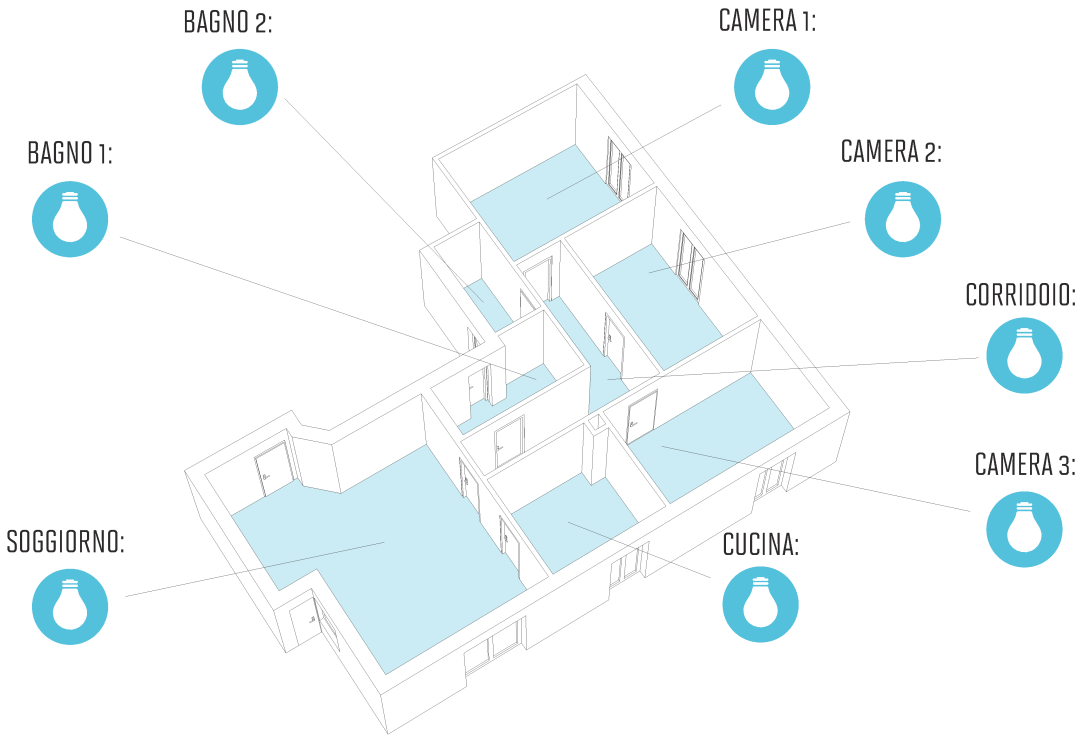


CUCINA:	POTENZA	ORE o MINUTI/GIORNO	GIORNI
Frigorifero- Congelatore _A+	130 W	24 ore	Ogni giorno
Lavastoviglie	2000 W - 500 W	2 ore	Lun, Mer, Ven
Forno elettrico	1500W	3 min	Ogni giorno
Computer Portatile	60 W	4 ore	Ogni giorno
Frullatore	200 W	1 min	Ogni giorno
Micro-onde	900 W	3 min	Ogni giorno
TV_A	100 W	2 ore	Ogni giorno

	POTENZA	ORE o MINUTI/GIORNO	GIORNI
Cappa aspirante	200 W	2 ore	Ogni giorno
CAMERA 2 :			
Ferro da stiro	1000 W	6 min	Ogni giorno
CAMERA 1 :			
TV_A	67 W	1 ora	Ogni giorno
BAGNO 1:			
Asciugacapelli	1000 W	8 min	Lun, Mer, Ven, Dom
Lavatrice	1800 W - 450 W	1,5 ore	Mar, Gio, Sab
Aspiratore	20 W	2 ore	Ogni giorno
BAGNO 2:			
Aspiratore	20 W	2 ore	Ogni giorno
SOGGIORNO:			
Modem	6 W	24 ore	Ogni giorno
Stampante	20 W	30 min	Mar, Gio, Sab
Aspirapolvere	700 W	15 min	Ogni giorno
Lettore-dvd	15 W	1 ora	Lun, Mer, Ven
TV_A+	67 W	2,5 -5 ore	Ogni giorno

LUCI

Come per gli elettrodomestici, anche per le luci è stata fornita una tabella con la tipologia di lampadina installata e con il tempo di utilizzo giornaliero, stanza per stanza. Anche in questo caso si è dovuto compiere una ricerca bibliografica per definire la potenza nominale delle lampadine.



SOGGIORNO:	LUMEN NECESSARI	TIPOLOGIA	POTENZA	ORE/G.
Lampada Fluorescente	26 m^2 x 200 lum = 5200 lum	Fluo_80 lum/W	5200 : 80 = 65 W	3
CUCINA:				
Lampada Fluorescente	8 m^2 x 200 lum = 1600 lum	Fluo_80 lum/W	1600 : 80 = 20 W	6
CAMERA 3:				
Lampada Fluorescente	14 m^2 x 200 lum = 2800 lum	Fluo_80 lum/W	2800 : 80 = 35 W	4
CAMERA 2:				
Lampada Fluorescente	9 m^2 x 200 lum = 1800 lum	Fluo_80 lum/W	1800 : 80 = 20 W	2,5
CAMERA 1:				
Lampada Fluorescente	13 m^2 x 200 lum = 1600 lum	Fluo_80 lum/W	1600 : 80 = 20 W	1

BAGNO 1:	LUMEN NECESSARI	TIPOLOGIA	POTENZA	ORE/G.
Lampada Fluorescente	5 m^2 x 200 lum = 1000 lum	Fluo_80 lum/W	1000 : 80 = 10 W	1
BAGNO 2:				
Lampada Fluorescente	4 m^2 x 200 lum = 800 lum	Fluo_80 lum/W	800 : 80 = 10 W	1
CORRIDOIO:				
Lampada Fluorescente	9 m^2 x 200 lum = 1800 lum	Fluo_80 lum/W	1800 : 80 = 20 W	1

3.3_ ANALISI DEI CONSUMI REALI DELL'APPARTAMENTO

I dati di consumo del Gas (Figura 3.6) e dell'Elettricità (Figura 3.7) forniti corrispondono all'intera annualità del 2015. Questi sono stati calcolati bimestre per bimestre.

GAS

CONSUMO m^3 GAS			
DA	A	smc	gg
12/11/14	18/12/14	107	36
19/12/14	17/02/15	133	60
18/02/15	05/05/15	189	76
06/05/15	25/06/15	40	50
26/06/15	03/09/15	186	69
04/09/15	20/10/15	2	46
21/10/15	08/12/15	151	48
TOTALE		**808**	**385**

Figura 3.6_Consumo m^3 di gas

Poiché i dati sono stati registrati ad intervalli di tempo irregolari, per ottenere il consumo annuo si è reso necessario fare una stima:

- se si consumano 808 m^3 di gas in 385 giorni, allora in un anno si consumano (808/385)*365= 766 m^3 di Gas.

Volendo trasformare questo valore in kWh basta moltiplicarlo per il potere calorifero inferiore del Gas, ovvero 9,3 kWh/smc:
766 x 9,3 = 7123 kWh
Volendo trasformare questo valore in Euro basta moltiplicarlo per il prezzo del gas al metro cubo, ovvero 0,96 Euro:
7123 x 0,96= **743,64** €

Dunque, il consumo energetico totale per il 2015 dovuto al riscaldamento è pari a 7123 kWh, per una spesa totale di 743,64 € corrispondenti a 766 m^3 di Gas.

ELETTRICITA'

CONSUMI kWh ELETTRICI		
DA	A	kWh
01/01/15	28/02/14	294
01/03/15	31/04/15	281
01/04/15	30/06/16	155
01/07/15	31/08/15	100
01/09/15	31/10/15	287
01/11/15	31/12/15	319
TOTALE		**1436**

Figura 3.7_Consumo kWh elettrici

I dati del consumo elettrico coprono esattamente l'anno 2015. Quindi la quantità di kWh di energia elettrica consumata in un anno è di 1436 kWh. Questo valore è a scomputo dell'energia prodotta dai pannelli solari, che in parte va a coprire questa spesa ed in parte viene venduta.

Non abbiamo il valore preciso della produzione dei pannelli solari, poiché i documenti forniti contenevano alcuni errori.

Per trasformare questo valore di kWh in Euro, bisogna moltiplicarlo per il prezzo dell'elettricità al kWh, ovvero 0,2 €:
1436 x 0,2= 287 €

Dunque, il consumo energetico totale per il 2015 dovuto all'elettricità è pari a 1436 kWh, per una spesa totale di 287 €.

4. SIMULAZIONE DINAMICA DEL CASO STUDIO

4.1_ METODOLOGIA DI IMPOSTAZIONE DEI DATI PER LA DETERMINAZIONE DI UN MODELLO DINAMICO

L'analisi dello stato di fatto è stata fondamentale per determinare tutti i parametri necessari alla costruzione del modello dinamico di base dell'appartamento sul software Ida-Ice.
L'obiettivo del modello di base è quello di essere il più simile possibile, dal punto di vista energetico, all'appartamento reale. Questo modello sarà poi necessario per capire l'effettivo risparmio energetico che si potrebbe raggiungere implementando le nuove logiche di controllo nel programma.
Sul software, dunque, sono stati impostati tutti i parametri precedentemente analizzati, dal luogo geografico, alle caratteristiche dell'involucro, dell'impianto, degli elettrodomestici e delle luci.
Il risultato finale di questo processo è un modello tridimensionale statico (Figura 4.1), che contiene al suo interno tutti i parametri precedentemente elencati (Figura 4.2) (Figura 4.3) ma che non è ancora in grado di calcolare il suo fabbisogno energetico nel tempo.

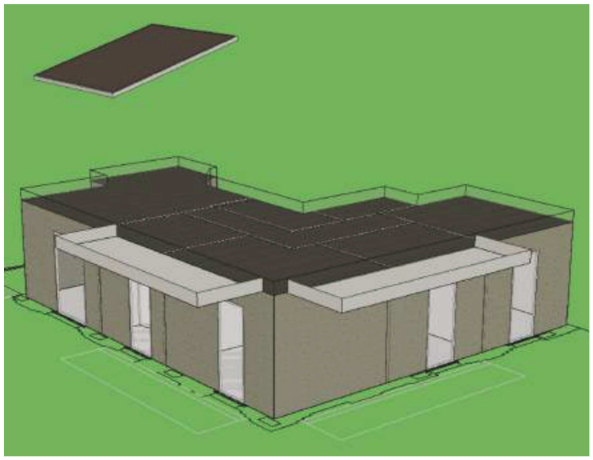


Figura 4.1_ Modello tridimensionale Ida-Ice

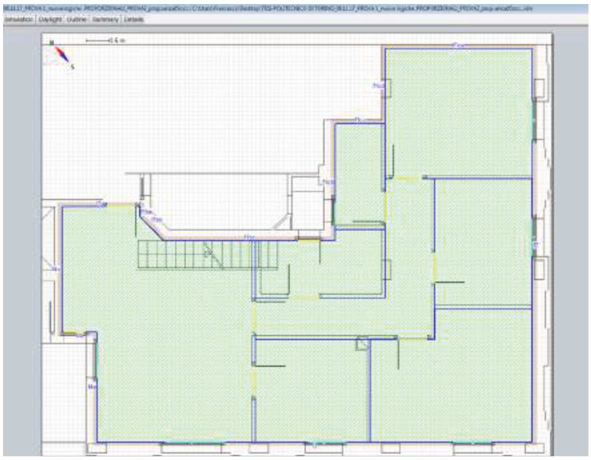


Figura 4.2_ Planimetrica del modello Ida-Ice

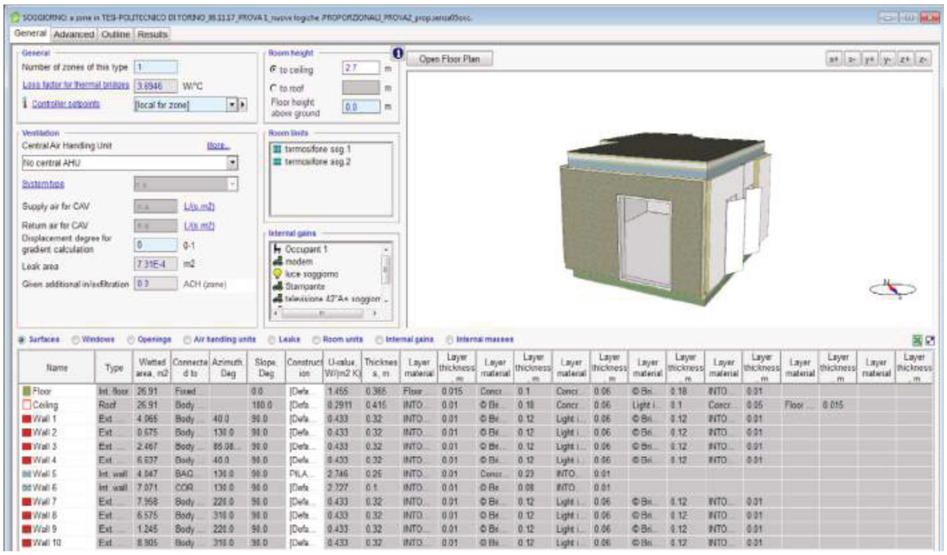


Figura 4.3_ Schermata generale con tutti i paramentri impostati sul programma Ida-Ice

Per fare ciò è necessario impostare sul programma sia il periodo di tempo specifico della giornata nel quale un determinato apparecchio funziona (schedule), che le regole in base alle quali viene utilizzato (Figura 4.4).

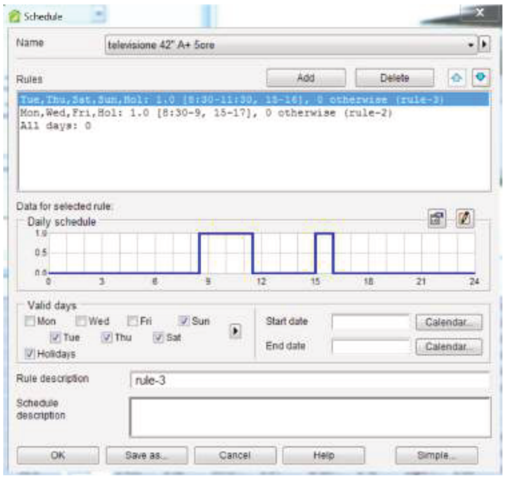


Figura 4.4_ Esempio di Schedule da impostare sul programma Ida-Ice

Non avendo avuto sempre, però, dei dati reali e precisi a riguardo, è stata condotta una ricerca bibliografica per ottenere tali dati e sono state compiute alcune ipotesi e semplificazioni. Uno strumento che ci ha permesso di tenere sotto controllo l'accuratezza delle scelte effettuate è stato quello della calibrazione del modello.

Il procedimento per l'impostazione dei dati sul modello è stato il seguente:

1. Analisi dei dati reali
2. Analisi delle fonti bibliografiche
3. Impostazione dei dati sul modello
4. Risultati del modello
5. Confronto tra i dati reali e i risultati
6. Calibrazione del modello

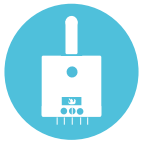
La calibrazione del modello è necessaria solo se il *Mean Bias Error* (MBE), ovvero un indice statistico che permette di capire quanto i dati del modello si discostano dai dati reali, è maggiore del 5%. Calibrare il modello significa effettuare delle modifiche ai parametri di input, entro una certa misura prestabilita, in modo tale minimizzare la distanza tra i risultati del modello dinamico a quelli reali.

Per il presente lavoro è stata effettuata una piccola calibrazione, basata sul procedimento descritto nell'articolo di Fabrizio et al. [22]. L'unica differenza rispetto al procedimento riportato nell'articolo è che i calcoli sono stati effettuati su base annua anziché mensile perché i dati mensili reali non erano affidabili a causa di alcuni conguagli. I parametri modificati per la calibrazione sono stati quelli dei ponti termici e quelli delle perdite del sistema di riscaldamento e ACS, relativi al bilancio del fabbisogno energetico per il riscaldamento, e quelli della durata dei cicli della lavastoviglie e della lavatrice, relativi al fabbisogno elettrico.

Ad esempio, per quanto riguarda l'impianto di riscaldamento, grazie all'analisi dello stato di fatto, è stato possibile impostare sul programma la tipologia di caldaia ma non il suo funzionamento nel tempo.

Dunque, per proseguire con la costruzione del modello, si è dovuto ipotizzare il funzionamento del termostato in base alla normativa europea sul comfort abitativo UNI EN 15251 e alla norma UNI EN 12831. L'ipotesi effettuata prevede che i set point di temperatura interna siano 20 °C di giorno, ovvero dalle 6:00 alle 22:00, e 18°C di notte, ovvero dalle 22:00 alle 6:00. Il periodo di tempo è stato scelto in base al Report Rds/PAR2015/020 redatto dall'Università Politecnica delle Marche per ENEA [23], nel quale questo timing viene utilizzato come profilo utente per una persona anziana o per una casalinga.

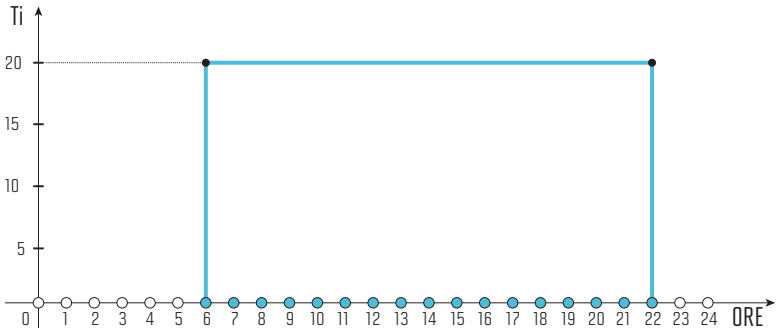
SET POINT E SCHEDULE RISCALDAMENTO



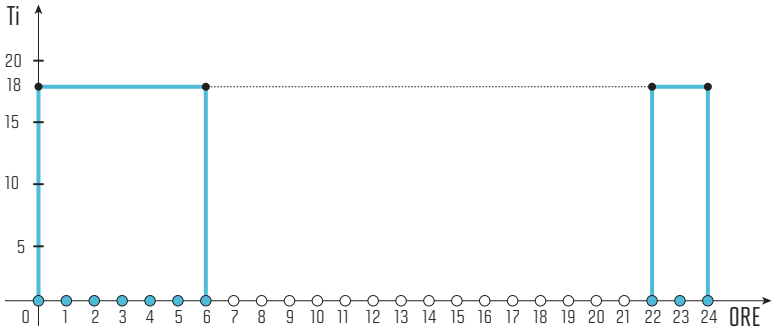
SET POINT

		Condizione di Comfort da norma UNI EN 15251 European Standard e UNI EN ISO 7730	Controllo
GIORNO	Temperatura interna	Ti=20 °C	PROPORZIONALE
NOTTE	Temperatura interna	Ti=18 °C	PROPORZIONALE

SCHEDULE GIORNO



SCHEDULE NOTTE



Mentre per l'impianto di riscaldamento è stato possibile ipotizzare il funzionamento in base alle normative, per la modellazione della domanda di energia elettrica non esiste nessuna ipotesi di utilizzo standard o nessuna normativa che regolamenti l'utilizzo delle luci o degli elettrodomestici. L'occupante, infatti, utilizza questa tipologia di apparecchi secondo le sue abitudini e le sue esigenze che, cambiando da persona a persona, impediscono di stabilire un modello standard. Diversi studi dimostrano, infatti, che "il comportamento dal punto di vista energetico di un singolo individuo non sia assolutamente prevedibile con esattezza". [23, p.3] Per questo motivo, solitamente, nella costruzione di questo tipo di modelli, vengono utilizzati dei dati statistici che, il più delle volte, si trovano in letteratura e provengono da studi condotti da Università o Enti di Ricerca [23].

Per la presente ricerca, però, essendo stati forniti i dati orari di accensione delle luci e di utilizzo degli elettrodomestici, nonché i dati di consumo finali di energia elettrica, è stata formulata un'ipotesi di schema d'uso specifico per il caso, basata sia sui dati orari in possesso che sui dati statistici provenienti da una ricerca condotta nell'ambito del progetto MICENE [30, Misura dei consumi di Energia elettrica in 110 abitazioni italiane, 2004]. Ciò è stato necessario in quanto i dati forniti non erano contestualizzati nell'arco della giornata e, dunque, la ricerca bibliografica ci ha permesso di ripartirli in maniera più accurata.

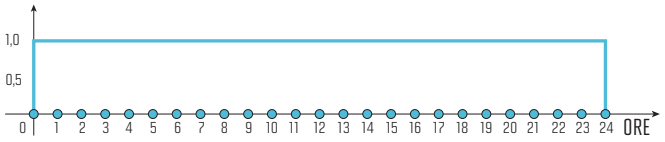
SCHEDULE ELETTRODOMESTICI

Il valore 1 corrisponde all'accensione del elelettrodomestico, mentre il valore 0 allo spegnimento. In alcuni casi i valori possono essere anche tra 0 e 1, e questo significa che l'elettrodomestico è acceso e lavora con valori di potenza minori rispetto a quello massimo.

SOGGIORNO:

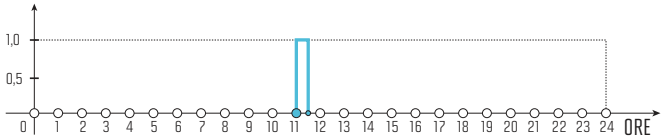
Modem

Giorni alla settimana: **tutti**
Ore totali: **24 ore**



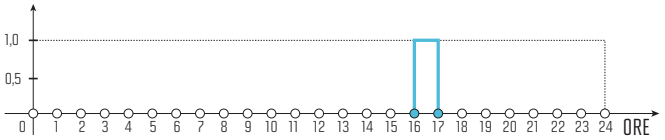
Stampante

Giorni alla settimana:
Martedì, Giovedì, Sabato
Ore/minuti totali: **30 min**
- 11:00-11:30



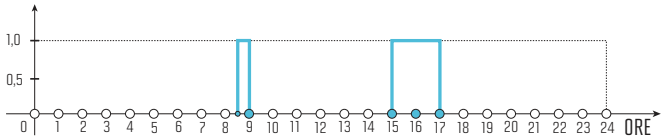
Lettore-dvd

Giorni alla settimana:
Lunedì, Mercoledì, Venerdì
Ore/minuti totali: **1 ora**
- 16:00-17:00

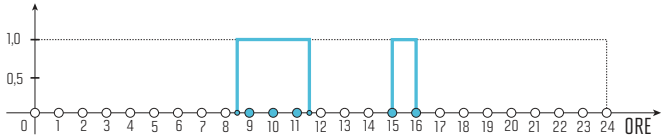


TV_A+

Giorni alla settimana:
Lunedì, Mercoledì, Venerdì
Ore/minuti totali: **2,5 ore**
- 8:30-9:30 / 15:00-17:00

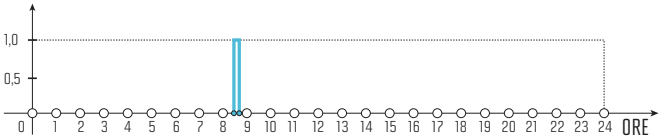


Giorni alla settimana:
Martedì, Giovedì, Sabato,Domenica
Ore/minuti totali: **2,5 ore**
- 8:30-11:30 / 15:00-16:00



Aspirapolvere

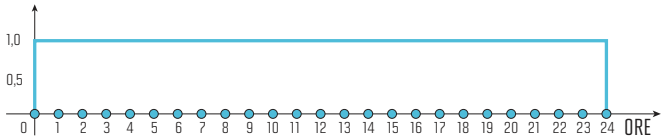
Giorni alla settimana: **tutti**
Ore/minuti totali: **15 min**
- 8:30-8:45



CUCINA:

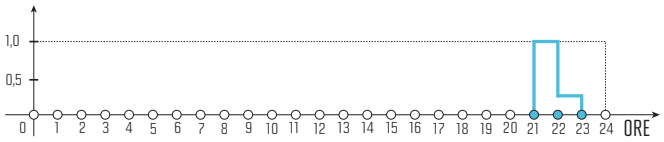
Figorifero

Giorni alla settimana: **tutti**
Ore/minuti totali: **24 ore**



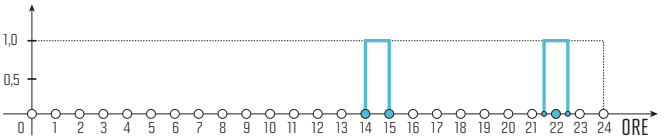
Lavastoviglie

Giorni alla settimana:
Lunedì, Mercoledì, Venerdì
Ore/minuti totali: **2 ore**
- 21:00-23:00



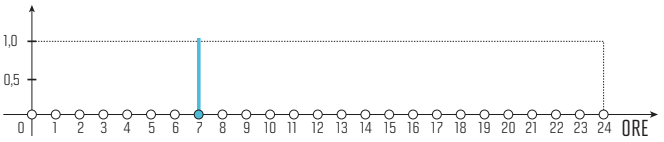
TV_A

Giorni alla settimana: **tutti**
Ore/minuti totali: **2 ore**
- 14:00-15:00/21:30-22:30



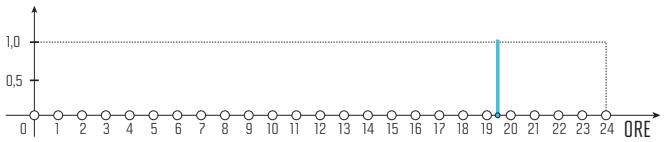
Frullatore

Giorni alla settimana: **tutti**
Ore/minuti totali: **1 min**
- 7:01-7:02



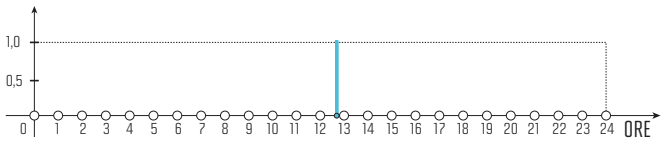
Forno elettrico

Giorni alla settimana: **tutti**
Ore/minuti totali: **3 min**
- 19:20-19:23



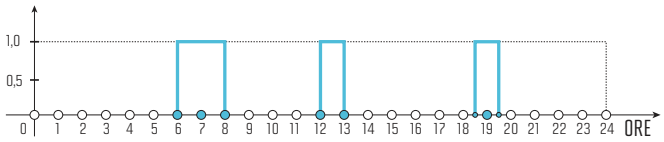
Micro-onde

Giorni alla settimana: **tutti**
Ore/minuti totali: **3 min**
- 12:57-13:00



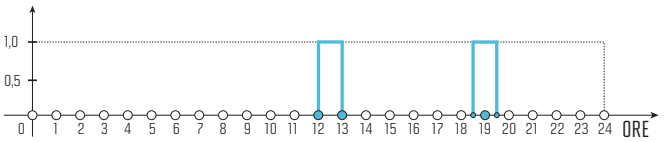
Computer

Giorni alla settimana: **tutti**
Ore/minuti totali: **4 ore**
- 6:00-8:00/12:00-13:00
- 18:30-19:30



Cappa aspirante

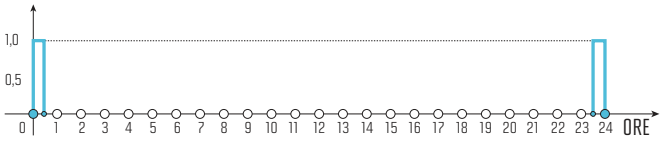
Giorni alla settimana: **tutti**
Ore/minuti totali: **2 ore**
- 12:00-13:00/18:30-19:30



CAMERA 1:

TV_A

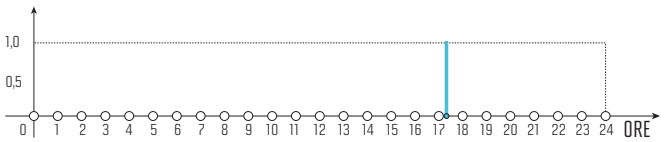
Giorni alla settimana: **tutti**
Ore/minuti totali: **1 ora**
- 23:30-00:30



CAMERA 2:

Ferro da stiro

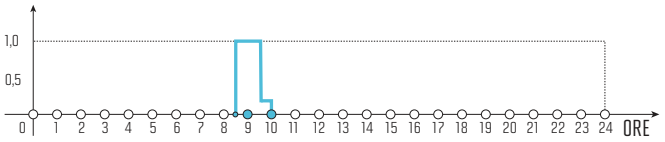
Giorni alla settimana: **tutti**
Ore/minuti totali: **6 min**
- 17:00-17:06



BAGNO 1:

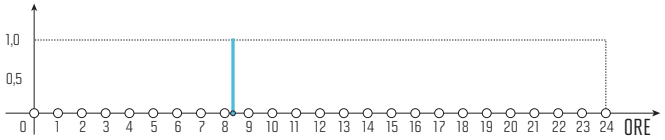
Lavatrice

Giorni alla settimana: **tutti**
Ore/minuti totali: **1,5 ore**
- 8:30-10:00



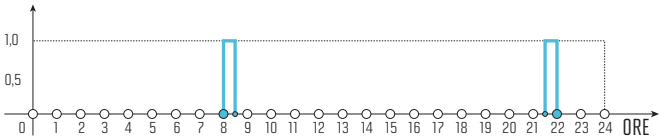
Asciugacapelli

Giorni alla settimana:
Lunedì,Mercoledì,Venerdì,Domenica
Ore/minuti totali: **8 min**
-8:15-8:23



Aspiratore

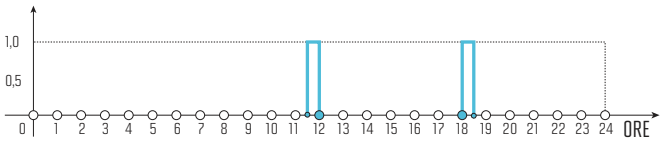
Giorni alla settimana: **tutti**
Ore/minuti totali: **1 ora**
- 8:30-9:00/21:30-22:00



BAGNO 2:

Aspiratore

Giorni alla settimana: **tutti**
Ore/minuti totali: **1 ora**
- 11:30-12:30/18:00-18:30



È importante notare che il periodo di funzionamento di alcuni elettrodomestici è molto breve in quanto questo è stato distribuito dai ricercatori dell'Agenzia ENEA su tutti i giorni della settimana. Ad esempio, nei documenti è attestato che il forno elettrico è attivo per tre minuti al giorno 7 giorni su 7. Nonostante questa suddivisione temporale sia poco ecologica, si è deciso di scrivere la logica d'uso assumendo tale semplificazione che è sicuramente più accurata e pertinente per il caso studio rispetto ai dati statistici presenti in letteratura.

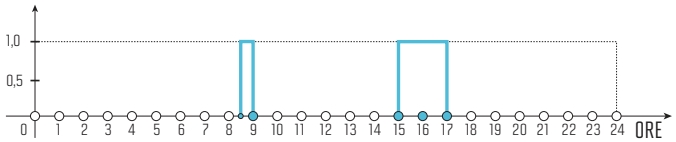
SCHEDULE LUCI

Il valore 1 corrisponde all'accensione della luce, mentre il valore 0 allo spegnimento.

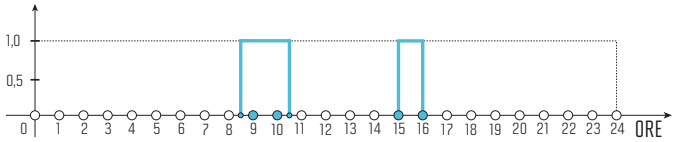
Secondo i dati forniti, in alcuni casi le luci risultano essere accese anche se l'occupante non è in stanza. Il totale delle ore di apertura, sommando tutte le ore delle singole lampadine, è infatti di 19,5 ore.

SOGGIORNO:

Giorni alla settimana:
Martedì,Giovedì,Sabato,Domenica
Ore totali: **2,5 ore**
- 8:30-9:30/15:00-17:00

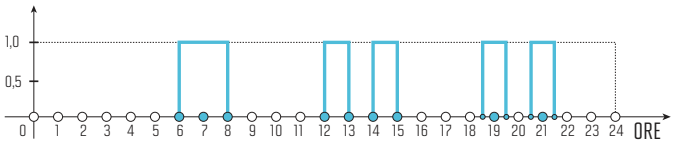


Giorni alla settimana:
Martedì, Giovedì, Sabato
Ore totali: **3 ore**
- 8:30-10:30/15:00-16:00



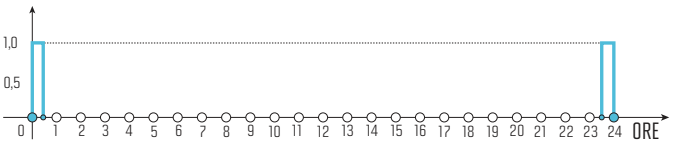
CUCINA:

Giorni alla settimana: tutti
Ore totali: 6 ore
- 6:00-8:00/12:00-13:00
- 14:00-15-00/18:30-19-30



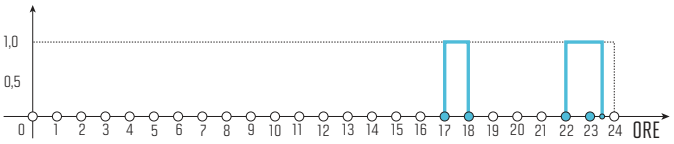
CAMERA 1:

Giorni alla settimana: tutti
Ore totali: 1 ora
- 23:30-00:30



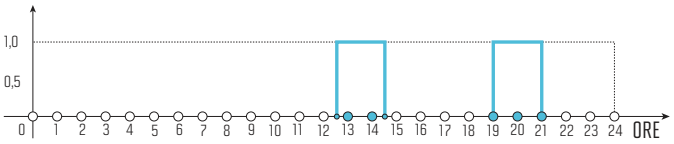
CAMERA 2:

Giorni alla settimana: tutti
Ore totali: 2,5 ore
- 17:00-18:00/22:00-23:30



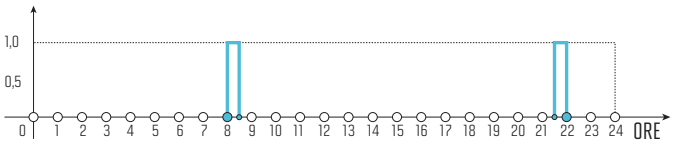
CAMERA 3:

Giorni alla settimana: tutti
Ore totali: 4 ore
- 12:30-14:30/19:00-21:00



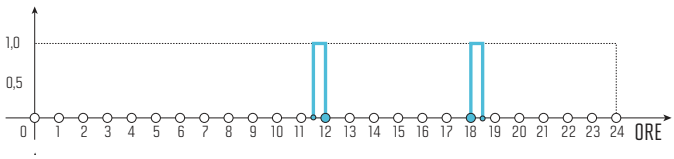
BAGNO 1:

Giorni alla settimana: tutti
Ore totali: 1 ora
- 8:00-8:30/21:30-22:00



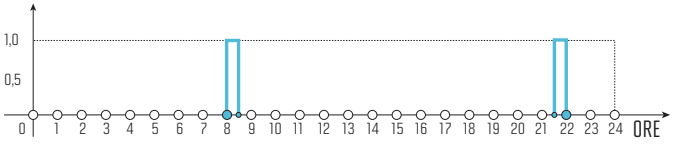
BAGNO 2:

Giorni alla settimana: tutti
Ore totali: 1 ora
- 11:30-12:00/18:00-18:30



CORRIDOIO:

Giorni alla settimana: tutti
Ore totali: 1 ora
- 8:00-8:30/21:30-22:00



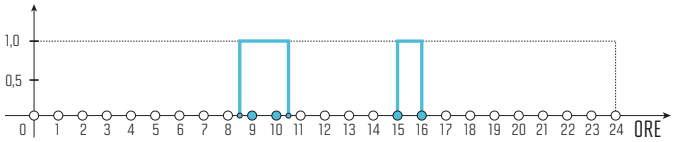
Questa strategia si è rivelata efficace poiché il fabbisogno energetico totale calcolato con il software si distanziava poco dal fabbisogno energetico reale. Di conseguenza, le modifiche effettuate tramite la calibrazione del modello sono state poche.
Sulla base delle schedule progettate per le luci e per gli elettrodomestici si sono anche ipotizzate le schedule per il profilo d'uso della casa da parte dell'utente e per periodo di utilizzo dell'acqua calda sanitaria.

SCHEDULE OCCUPANTE

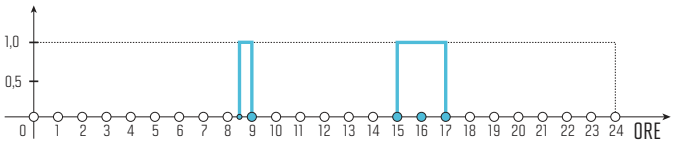
Il valore 1 corrisponde alla presenza dell'occupante in stanza, mentre il valore 0 alla non presenza.

SOGGIORNO:

Giorni alla settimana:
Martedì,Giovedì,Sabato,Domenica
Ore totali: 3 ore
- 8:30-10:30/15:00-16:00

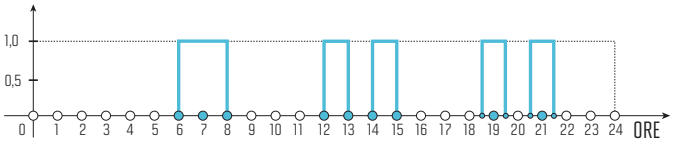


Giorni alla settimana:
Lunedì,Mercoledi,Venerdì
Ore totali: 2,5 ore
- 8:30-9:30/15:00-17:00



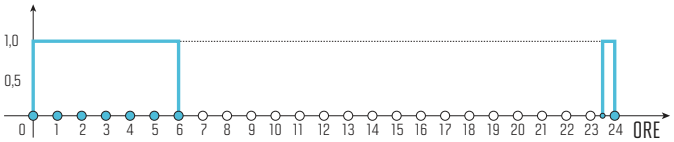
CUCINA:

Giorni alla settimana: tutti
Ore totali: 6 ore
- 6:00-8:00/12:00-13:00
- 14:00-15:00/18:30-19:30
- 20:30-21:30



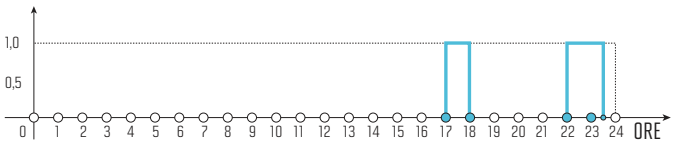
CAMERA 1:

Giorni alla settimana: tutti
Ore totali: 6,5 ore
- 23:30-6:00



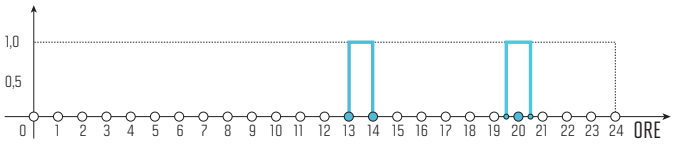
CAMERA 2:

Giorni alla settimana: tutti
Ore totali: 2,5 ore
- 17:00-18:00/22:00-23:30



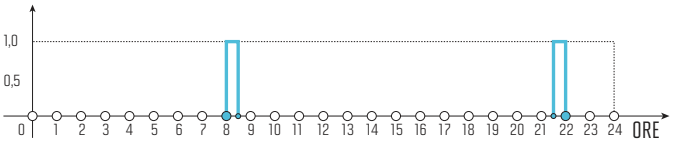
CAMERA 3:

Giorni alla settimana: tutti
Ore totali: 2 ore
- 13:00-14:00/19:30-20:30



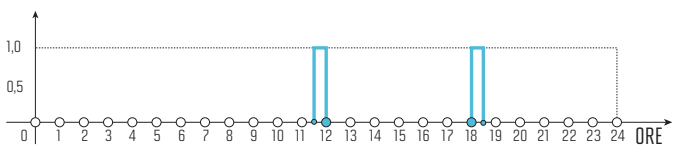
BAGNO 1:

Giorni alla settimana: tutti
Ore totali: 1 ora
- 8:00-8:30/21:30-22:00



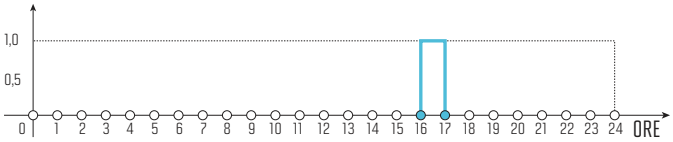
BAGNO 2:

Giorni alla settimana: tutti
Ore totali: 1 ora
- 11:30-12:00/18:00-18:30

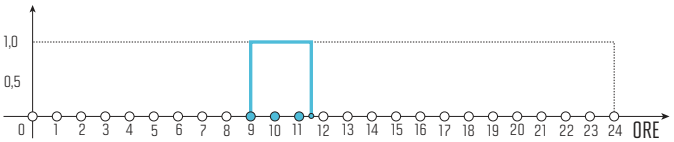


FUORI CASA:

Giorni alla settimana:
Martedì,Giovedì,Sabato,Domenica
Ore totali: 1
- 16:00-17:00



Giorni alla settimana:
Lunedì,Mercoledì,Venerdì
Ore totali: 2,5
- 9:00-11:30

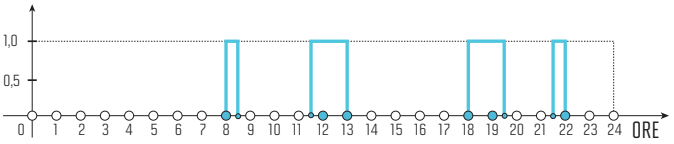


SCHEDULE ACS

Il valore 1 corrisponde al periodo di tempo nel quale l'acqua calda viene utilizzata, mentre il valore 0 a quando non viene utilizzata.
Si è ipotizzato che l'utilizzo di acqua calda avvenga durante i periodi in cui l'occupante si trova in bagno o in cucina.

CUCINA:

Giorni alla settimana: Tutti
Ore totali: 6
- 8:00-8:30 / 11:30-13:00
18:00-19:30 / 21:30-22:00

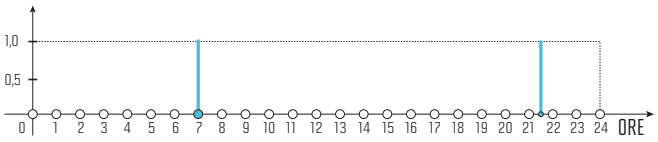


Un'ulteriore richiesta del programma, al fine di calcolare il fabbisogno energetico totale, è quella del tempo di apertura delle finestre. Anche in questo caso, non avendo i dati reali, sono state ipotizzate delle schedule di apertura/chiusura delle finestre. L'ipotesi avanzata era che tutte le finestre venivano aperte due volte al giorno, per 6 minuti alla volta, come consigliato da Wienke nel libro "Aria, Calore, Luce. Il comfort ambientale negli edifici", nel quale viene evidenziato come per una corretta ventilazione naturale bisogna "aprire le finestre interamente per 4-10 minuti (…) due volte al giorno" [32, p.41].
La prima volta che si è deciso di far aprire le finestre è di mattina, dalle ore 7:00 alle 7:06, mentre la seconda è alla sera dalle ore 21:30 alle ore 21:36.

SCHEDULE FINESTRE

Il valore 1 corrisponde all'aperura delle finestre, mentre il valore 0 alla chiusura.

Giorni alla settimana: tutti
Ore/minuti totali: 12 min
- 7:00-7:06 / 21.30-21:36



Anche in questo caso, come per gli elettrodomestici, questa regola di apertura-chiusura delle finestre non potrà mai essere corrispondente alla realtà, proprio perché ogni occupante sia comporta in maniera diversa.

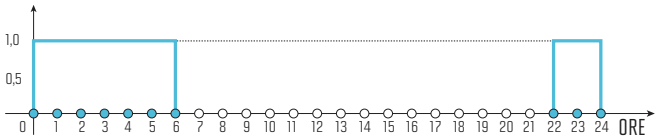
Per questo motivo, quindi, è stato necessario effettuare una semplificazione. In ogni caso, una volta effettuato il calcolo del fabbisogno energetico, è stato confermato dal programma che il tasso di ricambio d'aria dell'ambiente è sufficiente, e che i risultati ottenuti, in termini di risparmio energetico, si avvicinano molto ai dati reali. Dunque, anche questa strategia si è rivelata efficace.

L'ultimo parametro inputato nel programma riguarda l'apertura e la chiusura delle tapparelle. Queste, essendo degli elementi totalmente oscuranti e non essendo elettriche, si è ipotizzato che vengano chiuse di notte, ovvero dalle 22:00 alle 6:00 e aperte di giorno, ovvero dalle 6:00 alle 22:00.

SCHEDULE TAPPARELLE

Il valore 1 corrisponde alla chiusura delle tapparelle, mentre il valore 0 all'apertura.

Giorni alla settimana: tutti
Ore/minuti totali: 8 ore
- 22:00-6:00



4.2_ CONFRONTO TRA I CONSUMI REALI E I CONSUMI GENERATI DAL PROGRAMMA

Il calcolo finale copre il periodo che va dal 01/01/15 al 31/12/15. Questa scelta è stata fatta in modo tale da avere un confronto diretto con i dati di consumo reale dell'appartamento forniti. Come precedentemente affermato il confronto tra i dati reali e i dati di uscita del programma è stato fondamentale perché, avendo ipotizzato alcuni dati di input del modello, ha permesso di controllare l'accuratezza del calcolo effettuato.
Il risultato finale dei consumi legati al riscaldamento è stato di 7204 kWh mentre quello legato al consumo dell'elettricità è stato di 2255 kWh (Figura 4.5).

CONFRONTO DATI REALI-RISULTATI DEL MODELLO

	DATI REALI (kWh)	RISULTATI MODELLO (kWh)
FABBISOGNO ENERGETICO RISCALDAMENTO	**7123**	**7204**
FABBISOGNO ENERGETICO ELETTRICITA'	1436+ n.d.	2255
PRODUZIONE PANNELLI SOLARI	n.d.	3091

Figura 4.5

Poiché però il caso studio è dotato di un impianto di pannelli fotovoltaici, il programma ha effettuato anche il calcolo a scomputo dell'energia da questi prodotta e poi venduta. Il totale dell'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici in un anno è di 3091 kWh e quella venduta è di 2180 kWh.
Per capire quanto effettivamente l'occupante paghi in bolletta bisogna sottrarre al totale dell'energia prodotta quella venduta, ovvero 3091 kWh-2180 kWh = 911 kWh e sottrarre questi kWh a quelli del consumo annuo di elettricità, ovvero 2255 kWh -911 kWh = 1344 kWh. Il consumo annuo netto di elettricità è dunque di 1344 kWh (Figura 4.6).

ANALISI DEI DATI DI PRODUZIONE DEI PANNELLI SOLARI

PRODUZIONE PANNELLI SOLARI	3091	kWh	
ENERGIA PANNELLI SOLARI VENDUTA	2180	kWh	
ENERGIA A COPERTURA DELLA BOLLETTA	3091-2180=	**911**	kWh

FABBISOGNO ENERGETICO NETTO DI ELETTRICITA'	2255-911=	**1344 kWh**

Figura 4.6

Per quanto riguarda la produzione di energia da parte dei pannelli fotovoltaici, come affermato in precedenza, non si è in possesso dei dati reali. Per controllare, quindi, che i risultati siano verosimili, è stata condotta un'indagine bibliografica che ha confermato che la produzione media annua di un impianto della potenza di 1,8 kWh a Roma si aggira attorno ai 3000 kWh/anno. Un'ulteriore conferma della verosimiglianza di questo dato, deriva dal confronto con il consumo elettrico reale del caso studio. Questo, infatti, è uguale a 1436 kWh/anno. Per comprendere l'accuratezza dei dati ottenuti è stato il calcolato il Mean Bias Error (MBE). Tale valore è risultato pari al 6,19 %, valore accettabile considerati i parametri riportati nei documenti di partenza.
Successivamente è stato calcolato il Mean Bias Error (MBE) anche sui dati di consumo per il riscaldamento. In questo caso i consumi reali erano di 7123 kWh mentre quelli ricavati dal calcolo erano di 7204 kWh, con un MBE pari al 1,13% (Figura 4.7).

	DATI REALI (kWh)	RISULTATI MODELLO (kWh)	MEAN BIAS ERROR (MBE)		
FABBISOGNO ENERGETICO RISCALDAMENTO	7123	7204	((7204-7123)/7123)X100=	**1,1**	%
FABBISOGNO ENERGETICO NETTO DI ELETTRICITA'	1436	1344	((1344-1436)/1436)X100=	**-6,4**	%

Figura 4.7

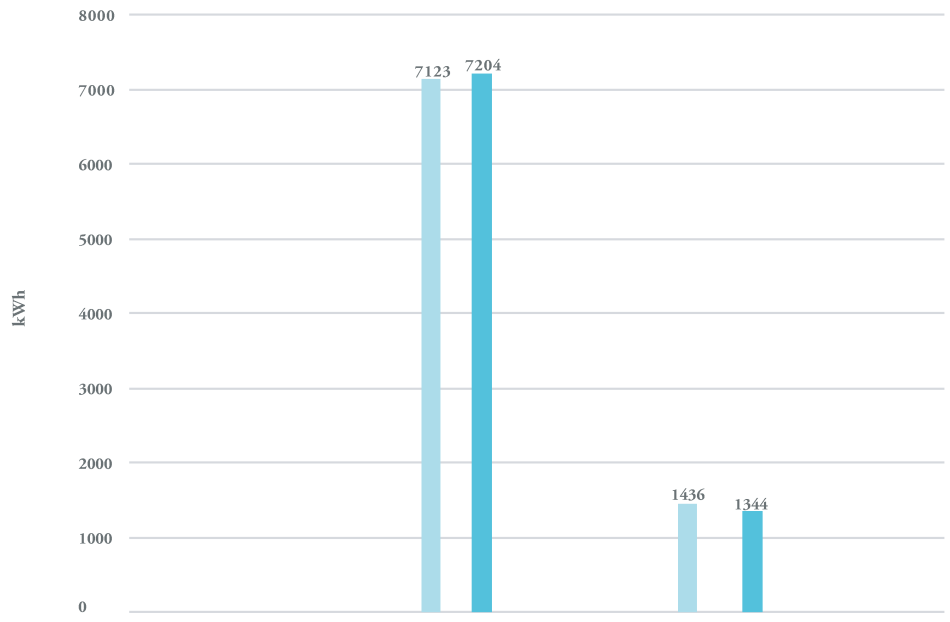


Figura 4.8_Grafico di confronto tra i dati reali e i risultati del modello di base

Il modello ottenuto è stato considerato sufficientemente accurato per continuare la sperimentazione e, dunque, per testare il funzionamento delle nuove logiche di gestione e controllo che sono state sviluppate.

5. SVILUPPO DELLA LOGICA DI CONTROLLO

5.1_BACS: DEFINIZIONE DELLE REGOLE DI PROGETTAZIONE DELLA LOGICA

L'obiettivo della seguente parte di sperimentazione è stato quello di progettare delle logiche di controllo e di automazione per una *Smart Energy Home* e di implementarle sul modello precedentemente creato al fine di stabilire il risparmio energetico ottenibile dalla sola gestione. Tali sistemi di automazione prendono il nome di BACS, ovvero *Building Automation and Control System* [2].
Per comprendere al meglio come progettare questi sistemi, si è partiti dall'analisi del funzionamento di quelli realmente esistenti sul mercato. I BACS sono generalmente composti da 4 elementi: un sistema di supervisione, ovvero l'unità centrale del sistema all'interno della quale sono scritte le logiche di controllo; un sistema di automazione, composto da un computer che traduce la logica in un segnale; i sistemi di campo, ovvero i sensori e gli attuatori; e in fine un sistema di trasmissione dei segnali, che può essere cablato o wireless. Generalmente un sistema BACS è in grado di controllare e automatizzare:
- l'illuminazione
- la termoregolazione
- la ventilazione
- il controllo delle prese
- il controllo degli accessi
- il controllo degli allarmi
- l'antintrusione

La finalità di questi sistemi, dunque, non è solamente legata al risparmio energetico, ma secondo le logiche che si impostano, si può decidere di massimizzare il comfort termico, la qualità dell'aria o la sicurezza dell'utente [2]. Questi controlli e automatizzazioni avvengono principalmente secondo due logiche. La prima logica si basa su dei set-point impostati, ovvero se il set-point viene superato il sistema ordina l'esecuzione di una determinata azione di bilanciamento. La seconda logica si basa su uno schema prestabilito di azioni in funzione di un modello standard. Solitamente nei sistemi BACS il controllo delle varie funzioni lavora in maniera autonoma, pur utilizzando la stessa rete di trasmissione dati. Ad esempio, il sistema di termoregolazione lavora in modo autonomo da quello della ventilazione. Questa indipendenza dei sistemi di controllo, al fine del risparmio energetico, è un punto debole del sistema che, invece, dovrebbe essere capace di stabilire le interazioni tra le singole applicazioni e determinare "un'azione di ottimizzazione globale [2].
I BACS possono funzionare principalmente tramite un sistema completamente automatico o tramite un sistema d'interazione con l'utente [2].
Nella presente sperimentazione, avente come obiettivo quello di stabilire il risparmio energetico ottenibile con dei sistemi BACS, si è deciso di assumere come priorità della logica quella del risparmio energetico. Per questo motivo si è scelto un sistema completamente automatizzato, al fine di limitare al massimo la possibilità di errore o di scelta da parte dell'utente. Questa decisione è stata presa con la consapevolezza del fatto di incorrere in una semplificazione che non tiene conto dell'aspetto psicologico dell'occupante, ma ciò e stato fatto al fine di comprendere quali siano le massime potenzialità energetiche di questi sistemi. Inoltre, se fosse stato preso in considerazione l'aspetto psicologico dell'occupante al fine del calcolo, non sarebbe stata sufficiente una logica legata a dei parametri fisici standard, ma sarebbe stato necessario studiare un sistema probabilistico per ogni tipo di azione prevista [27].

Se, però, si dovesse applicare la logica progettata al caso reale, questa in ogni caso potrebbe essere adattata all'interazione con l'utente. Un qualsiasi comando autonomo di questa logica, infatti, potrebbe essere facilmente trasformato in un feedback che il sistema fornisce all'occupante, tramite l'interfaccia utente, lasciandogli libera scelta di agire oppure no. In quest'ottica applicativa, un'ulteriore potenzialità dello sviluppo di una logica completamente automatizzata può essere quella della determinazione di Benchmark di riferimento. Questi, infatti, potrebbero essere applicati al caso reale, grazie all'utilizzo della tecnologia persuasiva, per stimolare l'occupante ad avere un comportamento energeticamente efficiente.
La logica studiata durante questa sperimentazione è stata progettata in due fasi. Nella prima fase (fase 1), ci si è concentrati sulla gestione automatica delle tapparelle, delle luci, delle finestre e del riscaldamento. Nella seconda fase (fase 2), invece, ci si è concentrati sulla gestione dei carichi degli elettrodomestici seguendo i principi del *Demad-Resonse*. Questa divisione è stata effettuata perché le due parti di logica verranno progettate in maniera leggermente differente. Le azioni delle componenti che verranno controllate nella prima fase, infatti, hanno dei risvolti sui parametri fisici del confort abitativo, mentre le azioni delle componenti della seconda fase agiscono solamente sulla domanda energetica.

5.2_FASE 1: PROGETTAZIONE DEGLI ALGORITMI DI CONTROLLO

Nella prima fase di progettazione della logica, come precedentemente affermato, ci si è concentrati sulla gestione automatica delle tapparelle, delle luci, delle finestre e del riscaldamento. Solitamente nei BACS, i controlli automatici di queste componenti funzionano in modo autonomo. Nello sviluppo della nostra logica, invece, si è voluto progettare un unico sistema di automazione in modo tale da ottimizzare al massimo la gestione generale. Per fare ciò è stato necessario definire un ordine di priorità delle azioni in modo tale che i comandi della logica generale non entrassero mai in contraddizione. L'ordine di priorità scelto è il seguente (Figura 5.1):
- salvaguardia della salute dell'occupante tramite il sistema di ventilazione e dunque il monitoraggio della qualità dell'aria interna (IAQ).
- salvaguardia del comfort termico dell'occupante tramite la termoregolazione.
- salvaguardia del comfort visivo dell'occupante tramite il sistema d'illuminazione.

ORDINE DI PRIORITA' DELLA LOGICA			
n.	Obiettivo	Azione	Salvaguardia
1°	QUALITA' DELL'ARIA INTERNA (IAQ)	VENTILAZIONE	SALUTE
2°	COMFORT TERMO-IGROMETRICO	TERMOREGOLAZIONE	COMFORT
3°	COMFORT VISIVO	ILLLUMINAZIONE	COMFORT

Figura 5.1_Ordine di priorità della logica

Questo ordine di priorità è stato utilizzato anche dal Politecnico di Torino nel Report/Rds/2015/020, poiché è considerato dai ricercatori il più adeguato per la destinazione d'uso residenziale [2].
La logica progettata, dunque, ha come obiettivo quello di mantenere le condizioni di comfort interno con la minima spesa energetica possibile e seguendo questo ordine di priorità.

Il primo passo per la definizione della logica è stato quello di precisare tutte le azioni possibili derivanti dai sistemi che si è deciso di controllare, e di capire su quali parametri queste azioni vadano ad agire (Figura 5.2).

AZIONI DEL SISTEMA	COMFORT
Regolazione sistema schermate	COMFORT TERMICO
	COMFORT LUMINOSO
Spegnimento e regolazione luci arificiali	COMFORT VISIVO
Apertura/chiusura finestre	QUALITA' DELL'ARIA
	COMFORT TERMICO
Accensione spegnimento e regolazione impianto di riscaldamento	COMFORT TERMICO

Figura 5.2_Azioni del sistema VS Comfort

Una volta definito ciò, nell'ottica della costruzione di una logica di sistema, sono stati invertiti i parametri al fine di comprendere da quante azioni possa dipendere una singola condizione di comfort.
Queste sono state, inoltre, elencate nell'ordine di priorità precedentemente stabilito, in modo tale da comprendere quali siano le azioni prioritarie (Figura 5.3).

COMFORT	AZIONI DEL SISTEMA
QUALITA' DELL'ARIA	Apertura/chiusura finestre
COMFORT TERMICO	Accensione, spegnimento e regolazione impianto di riscaldamento, apertura/Chiusura finestre, regolazione sistema schermante
COMFORT VISIVO	Spegnimento e regolazione luci artificiali, regolazione sistema schermante

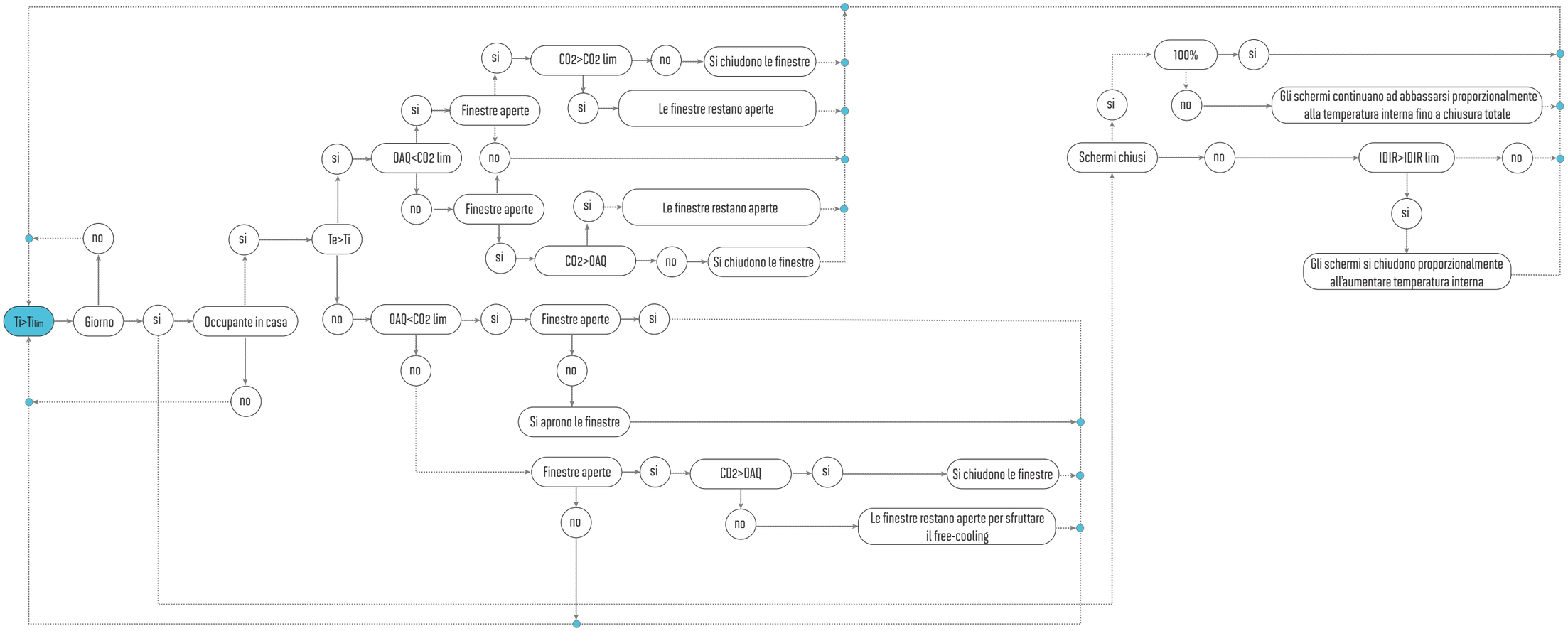
Figura 5.3_ Comfort VS Azioni del sistema

I parametri fisici che definiscono le condizioni di comfort, precedentemente elencate, sono:
-Qualità dell'aria: misura del livello interno di ppm di CO2. Al fine del mantenimento della qualità dell'aria interna è necessario che il livello di CO2 non sia mai superiore al livello di CO2 limite stabilito, CO2>CO2 lim (CO2 set point).
-Comfort termico: misura della temperatura interna Ti. Al fine del mantenimento del comfort termico interno è necessario che Ti non sia mai superiore o inferiore al livello di Ti limite stabilito, Ti<Ti lim, Ti>Ti lim (Ti set point)
- Comfort visivo: misura del livello di illuminamento interno Lux. Al fine del mantenimento del comfort luminoso interno è necessario che i Lux presenti non siano mai inferiori al livello di Lux lim stabilito, Lux<Lux lim (Lux set point)

Nel caso in cui questi limiti venissero superati, le azioni di gestione dei vari sistemi, comandate dalle logiche di controllo, inizierebbero a funzionare con l'obiettivo di ristabilire la situazione di comfort. Di seguito sono riportati gli algoritmi sviluppati per regolare le azioni del sistema in caso di superamento di ognuno dei valori limite precedentemente stabiliti:

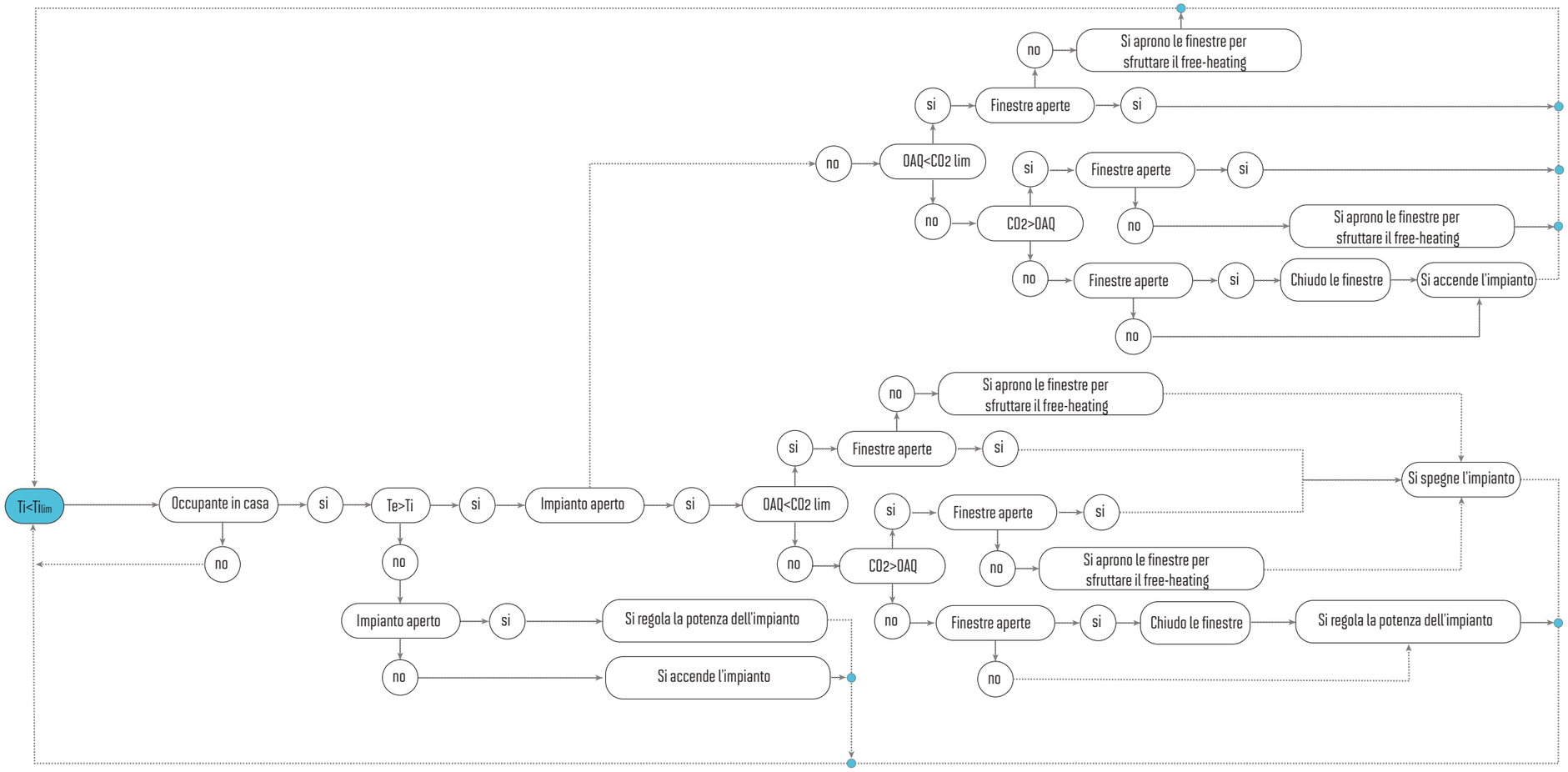
1. algoritmi atti a mantenere i set point impostati per la temperatura interna, d'estate e d'inverno.
2. algoritmi atti a mantenere il set point impostato per la qualità dell'aria, d'estate e d'inverno.
3. algoritmi atti a mantenere il set point impostato per la qualità luminosa, d'estate e d'inverno.

1.1_ESTATE- VARIABILE MISURATA: TEMPERATURA - IL SENSORE DI TEMPERATURA RISCONTRA UN VALORE DI TEMPERATURA SUPERIORE AL VALORE LIMITE IN STAGIONE ESTIVA



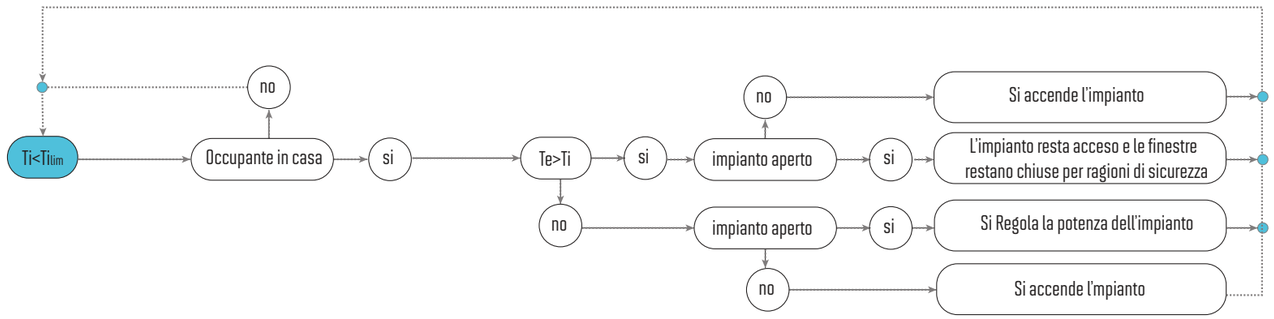
Te= Temperatura esterna
Ti= Temperatura interna
Ti lim= set-point temperatura interna
CO2= livello di ppm di CO2 interni
CO2 lim= set-point livello di ppm di CO2 interni
IDIR= livello di radiazione solare diretta incidente sulla finestra
IDIR lim= set-point livello di radiazione solare diretta incidente sulla finestra
OAQ= Out Air Quality, livello di ppm di CO2 esterni

1.2 _INVERNO- VARIABILE MISURATA: TEMPERATURA -IL SENSORE DI TEMPERATURA RISCONTRA UN VALORE DI TEMPERATURA MINORE AL VALORE LIMITE IN STAGIONE INVERNALE DI GIORNO



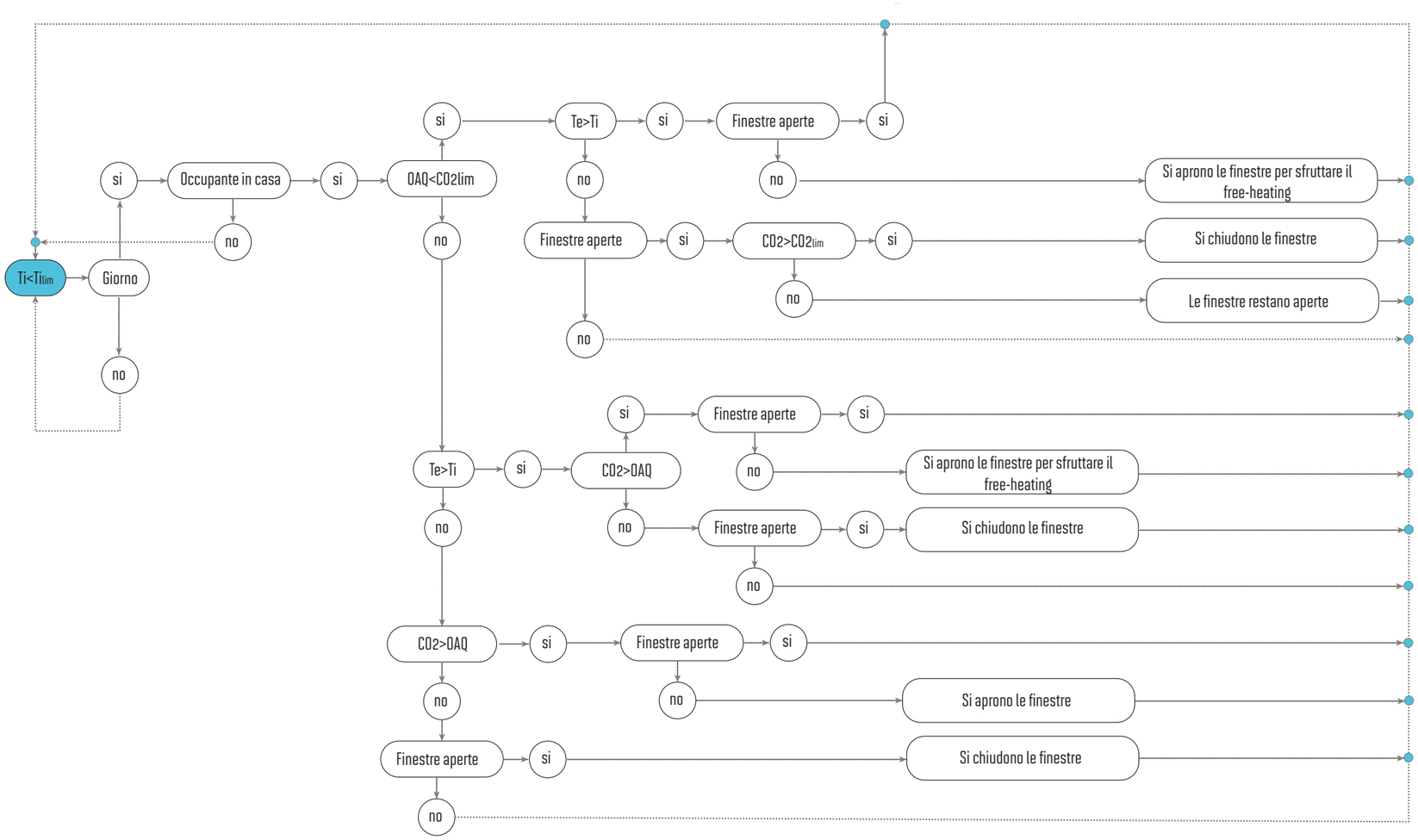
Te= Temperatura esterna
Ti= Temperatura interna
Ti lim= set-point temperatura interna
CO2= livello di ppm di CO2 interni
CO2 lim= set-point livello di ppm di CO2 interni
IDIR= livello di radiazione solare diretta incidente sulla finestra
IDIR lim= set-point livello di radiazione solare diretta incidente sulla finestra
OAQ= Out Air Quality, livello di ppm di CO2 esterni

1.3 _INVERNO- VARIABILE MISURATA: TEMPERATURA - IL SENSORE DI TEMPERATURA RISCONTRA UN VALORE DI TEMPERATURA MINORE AL VALORE LIMITE IN STAGIONE INVERNALE DI NOTTE



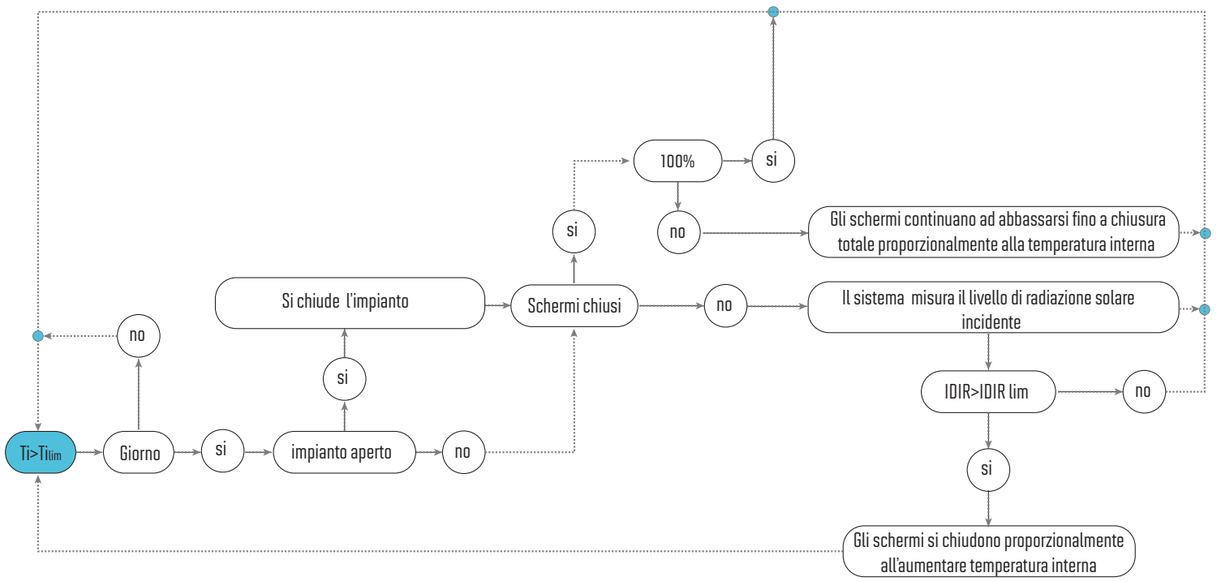
Te= Temperatura esterna
Ti= Temperatura interna
Ti lim= set-point temperatura interna
CO2= livello di ppm di CO2 interni
CO2 lim= set-point livello di ppm di CO2 interni
OAQ= Out Air Quality, livello di ppm di CO2 esterni

1.4_ESTATE- VARIABILE MISURATA: TEMPERATURA - IL SENSORE DI TEMPERATURA RISCONTRA UN VALORE DI TEMPERATURA MINORE AL VALORE LIMITE IN STAGIONE ESTIVA



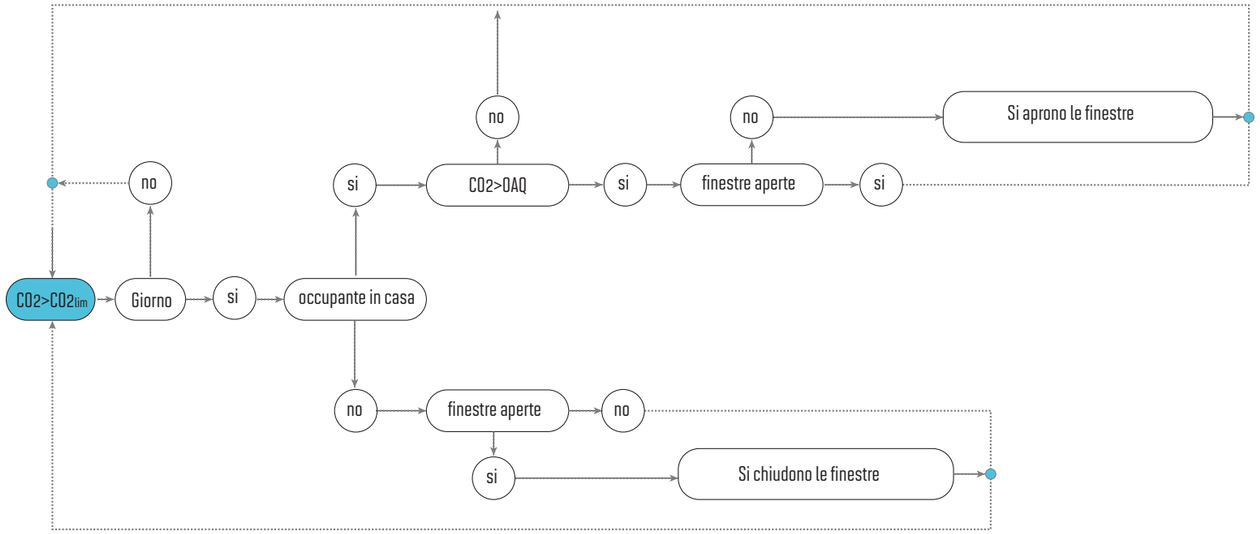
Te= Temperatura esterna
Ti= Temperatura interna
Ti lim= set-point temperatura interna
CO2= livello di ppm di CO2 interni
CO2 lim= set-point livello di ppm di CO2 interni
OAQ= Out Air Quality, livello di ppm di CO2 esterni

1.5 _INVERNO- VARIABILE MISURATA: TEMPERATURA - IL SENSORE DI TEMPERATURA RISCONTRA UN VALORE DI TEMPERATURA MAGGIORE AL VALORE LIMITE IN STAGIONE INVERNALE



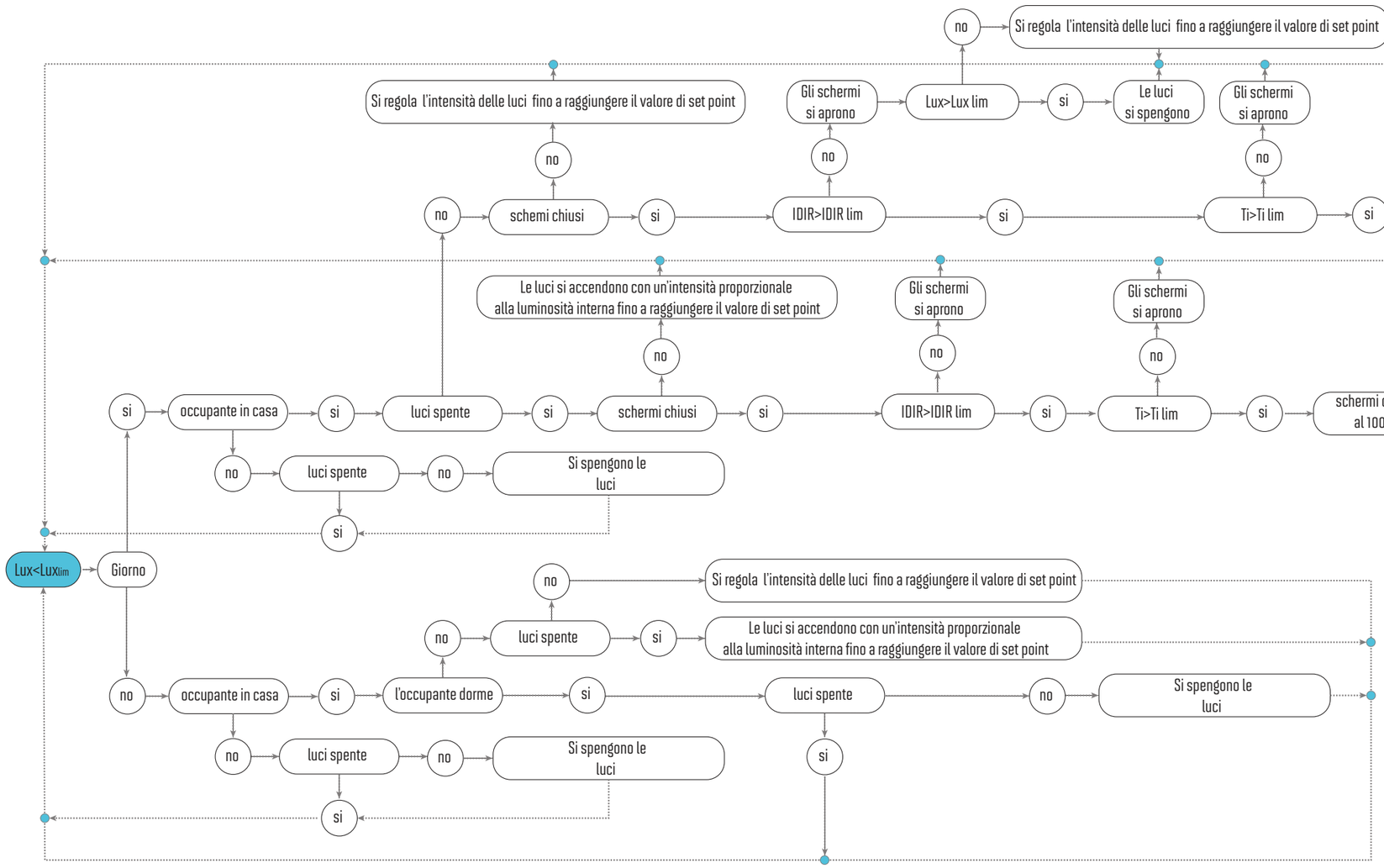
Ti= Temperatura interna
Ti lim= set-point temperatura interna
IDIR= livello di radiazione solare diretta incidente sulla finestra
IDIR lim= set-point livello di radiazione solare diretta incidente sulla finestra

2.1_ IL SENSORE DI CO_2 RISCONTRA UN VALORE DI CONCENTRAZIONE DI INQUINANTE SUPERIORE AL VALORE LIMITE



CO2= livello di ppm di CO2 interni
CO2 lim= set-point livello di ppm di CO2 interni
OAQ= Out Air Quality, livello di ppm di CO2 esterni

3.1_ IL SENSORE DI ILLUMINAMENTO RISCONTRA UN VALORE DI ILLUMINAMENTO INFERIORE AL VALORE LIMITE



Lux= livello di illuminamento interno
Lux lim= set-point livello di illuminamento
Ti lim= set-point temperatura interna
IDIR= livello di radiazione solare diretta incidente sulla finestra
IDIR lim= set-point livello di radiazione solare diretta incidente sulla finestra

Per la progettazione di queste logiche è stato necessario analizzare diverse fonti bibliografiche, tra cui il Report Rds/2015/021 redatto dal Politecnico di Torino [2], e i seguenti articoli:

- A. M. Atzeri et al. "*Energy performance of shading devices for thermal and lighting comfort in offices*" [24];
- A. M. Atzeri et al. "I*nternal versus external shading devices performance in office buildings*" [25];
- C.Aghemo et al. "*Managment and monitoring of public buildings through ITC based system: Control rules for energy saving with lighting and HVAC sevices*" [26];
- S. D'Oca et al. " *Effect of termostat and windows opening occupant behavior models on energy use in homes*" [27];
- V. Fabi et al. "*Influece of occupant's heating set-point preferences on indoor environmental quality and heating demand in residential buildings*" [7];
- Makonin et al. " *A Smarter Smart Home: case studies of Ambient Intelligence*" [28];
- Q. Hu et al. "*Hardware Design of Smart Home Energy Management System With Dynamic Price Response*" [29];

5.2.1_ DAGLI ALGORITMI DI CONTROLLO ALLA SIMULAZIONE DINAMICA

Una volta definiti gli algoritmi generali della logica, e dunque come i vari sistemi controllati cooperano insieme al fine di mantenere il comfort interno cercando di limitare gli sprechi energetici dovuti alla gestione, si è dovuto capire come impostarli sul programma Ida-Ice per effettuare il calcolo del risparmio energetico.
Il software in questione ragiona in maniera opposta rispetto agli algoritmi progettati. Questo, infatti, impone di creare una singola logica per ogni singolo componente controllato.
Si è partiti, dunque, dagli alberi decisionali generali. Questi sono stati scomposti fino ad ottenere quattro logiche di controllo separate: una per i sistemi schermanti, una per le luci, una per le finestre e una per il riscaldamento. Le logiche all'interno del programma sono state imputate sotto forma di funzione matematica f(x) che fornisce come risultato un valore compreso tra 1 e 0 a seconda del comando. Ciò significa che il software richiede di definire fin dal principio tutte le variabili che predicono una determinata azione, ad esempio tutte i motivi per cui il sistema schermante dovrebbe abbassarsi oppure alzarsi.
Per questo motivo, qui di seguito, si è deciso di analizzare le varie logiche componente per componente, definendo per ognuno i vari set-point e i vari sistemi di controllo. È stato possibile compiere questo passaggio grazie agli alberi decisionali costruiti in precedenza, i quali hanno permesso di tenere sempre sotto controllo le varie interazioni tra le singole componenti.
Come precedentemente affermato, il programma richiede di costruire le logiche sotto forma di funzioni. Queste possono essere determinate in due modi: tramite la tabella della verità oppure tramite operatori matematici.

TABELLA DELLA VERITA'

OPERATORI BOOLEANI

NOT

A	X
0	1
1	0

Il segnale che passa è opposto a quello della variabile

AND

A	B	X
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Il segnale passa solo se tutte e due le variabili di partenza sono vere

OR

A	B	X
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Il segnale passa se o una variabile o l'altra è vera o se tutte e due sono vere

NAND

A	B	X
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

NAND è uguale a NOT AND quindi il segnale passa se o una variabile o l'altra è vera o se tutte e due sono false

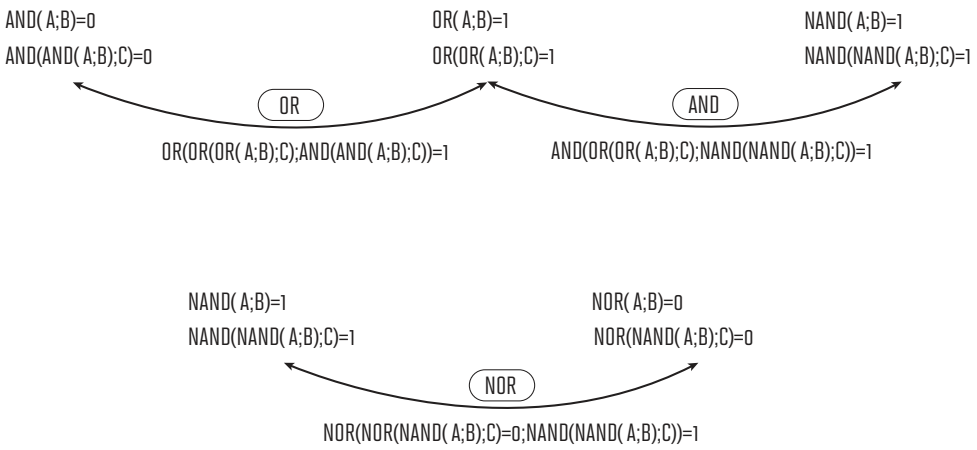
NOR

A	B	X
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

NOR è uguale a NOT OR quindi il segnale passa se tutte e due le variabili sono false

ESEMPIO DI UTILIZZO

A= VERO=1 B=FALSO=0
C= VERO=1



È importante, inoltre, evidenziare che dovendo scrivere queste singole logiche per un modello di un caso reale, queste saranno inevitabilmente più specifiche, rispetto agli algoritmi iniziali, e maggiormente legate agli aspetti fisici del caso studio.

5.2.2_SCHERMI OSCURANTI

Per quanto riguarda la definizione della logica di controllo riguardante il sistema oscurante sono state prese in considerazione diverse ipotesi.
Nella prima ipotesi si è deciso di implementare la logica di controllo sulle tapparelle esistenti, ovvero un sistema totalmente oscurante. Questa scelta è stata effettuata principalmente per testare le logiche senza apporre alcuna modifica al caso studio. A sostegno di ciò, inoltre nell'ISTEA 2015 è stato redatto un articolo a cura di G.L. Dell'Osso et al. "La gestione dei carichi termici estivi mediante sistemi di Building Automation" [33], nel quale è stato illustrato un caso studio dove vengono mantenute come sistema schermante delle tapparelle totalmente oscuranti.
All'inizio del nostro esperimento si è deciso di ipotizzare una logica di abbassamento delle tapparelle proporzionale, fino a chiusura totale (Figura 5.4). Ciò è stato fatto principalmente per riuscire a testare il massimo risultato ottenibile in termini di contenimento dell'innalzamento della temperatura interna.

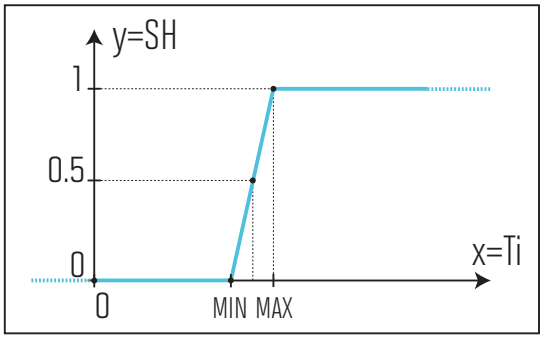


Figura 5.4_Grafico della funzione di proporzionalità

Nel caso dei sistemi schermanti la logica proporzionale lavora in funzione della variazione della temperatura interna. Questo è stato fatto perché la variazione della temperatura interna è direttamente proporzionale alla radiazione diretta del sole incidente sulla finestra, grandezza sulla quale l'ombreggiatura agisce per regolare la quantità di energia entrante nel nostro sistema. Inoltre in questo caso la temperatura interna è il parametro per il quale si determina il comfort dell'occupante e dunque la spesa energetica necessaria a raggiungerlo.

Equazione della retta di proporzionalità tra temperatura interna (x) e chiusura delle tapparelle (y)
x<MIN y=0
x>MAX y=1

y=(x-MIN)/MAX-MIN

Essendo, però, le tapparelle degli elementi completamente oscuranti, nella condizione di chiusura totale causavano un illuminamento interno pari a 0 lux, obbligando così l'utente ad aprire la luce. Per ovviare a questo problema sono state prese in considerazione due ipotesi.
La prima ipotesi, indicata dalla letteratura e più in particolare dall'articolo di G.L. Dell'Osso et al. [33], è stata quella di imporre un limite di abbassamento delle tapparelle quando l'occupante è in stanza, in modo tale che l'illuminamento interno sia sufficiente a garantire le condizioni di comfort visivo stabilite dalla UNI EN ISO 15251 e dalla UNI 10380. Il limite di abbassamento delle tapparelle è stato scelto tramite un'analisi parametrica effettuata con il software Ida-Ice. Questa analisi è stata condotta nel giorno più caldo del 2015 ovvero il 20 luglio (dato fornitoci dal software Ida-Ice), poiché è stato ipotizzato che in quella giornata fosse stata necessaria la massima chiusura degli schermi e dunque si fossero verificate le maggiori problematiche legate al comfort visivo. La stanza che si è deciso di analizzare è il soggiorno. Sono stati ipotizzati 3 livelli di chiusura: il primo al 50%, il secondo al 75%, mentre il terzo al 100%. L'obiettivo, dunque, è stato quello di capire quale fosse

la chiusura necessaria per garantire l'illuminamento interno minimo di 300 Lux (livello medio della "prestazione visiva per compiti semplici" dato dalla normativa UNI 10380). Dalla tabella in figura 5.5 e dai seguenti grafici (Figura 5.6 - Figura 5.7) si deduce che la chiusura massima necessaria per garantire l'illuminamento minimo interno sia quella del 75%. Questa, infatti, garantisce un illuminamento durante le ore di occupazione che va da 312 Lux a 606 Lux, senza far innalzare in modo significativo la temperatura inetrna. Si è così definito il limite massimo del 75% di abbassamento delle tapparelle quando l'occupante è presente in stanza.

ORE	50% MAX CHIUSURA (1)				75% MAX CHIUSURA (2)				100% MAX CHIUSURA (3)				DT°(75%-100%)
	CHIUSURA		lux	°C	CHIUSURA		lux	°C	CHIUSURA		lux	°C	
1	1,00	1,00	0,0	25,69	1,00	1,00	0,00	25,66	1,00	1,00	0,00	25,64	0,02
2	1,00	1,00	0,0	25,62	1,00	1,00	0,00	25,59	1,00	1,00	0,00	25,57	0,02
3	1,00	1,00	0,0	25,53	1,00	1,00	0,00	25,51	1,00	1,00	0,00	25,48	0,03
4	1,00	1,00	0,0	25,42	1,00	1,00	0,00	25,40	1,00	1,00	0,00	25,38	0,02
5	1,00	1,00	0,0	25,33	1,00	1,00	0,00	25,30	1,00	1,00	0,00	25,29	0,01
6	0,50	0,50	19,5	25,24	0,50	0,50	19,52	25,22	0,50	0,50	19,52	25,20	0,02
7	0,00	0,00	117,2	23,54	0,00	0,00	117,20	23,52	0,00	0,00	117,20	23,51	0,01
8	0,00	0,00	303,4	22,41	0,00	0,00	303,40	22,40	0,00	0,00	303,40	22,39	0,01
9	0,30	0,00	457,5	23,65	0,30	0,00	457,70	23,64	0,30	0,30	455,10	23,64	0,00
10	0,65	0,34	377,6	24,57	0,64	0,34	379,00	24,55	0,63	0,63	378,00	24,55	0,00
11	0,70	0,70	246,9	24,82	0,70	0,70	249,50	24,81	0,68	0,68	253,00	24,78	0,03
12	0,86	0,86	127,7	25,53	0,86	0,86	126,40	25,52	0,85	0,85	125,10	25,51	0,01
13	1,00	1,00	7,5	26,42	1,00	1,00	4,69	26,41	1,00	1,00	1,00	26,41	0,00
14	1,00	1,00	9,1	26,76	1,00	1,00	5,60	26,75	1,00	1,00	1,00	26,75	0,00
15	0,75	0,75	419,6	26,89	0,88	0,88	312,20	26,84	1,00	1,00	2,00	26,85	0,00
16	0,50	0,50	891,4	26,95	0,75	0,75	606,30	26,86	1,00	1,00	2,00	26,85	0,01
17	0,75	0,75	481,8	26,97	0,88	0,88	350,30	26,91	1,00	1,00	2,00	26,84	0,07
18	1,00	1,00	3,7	26,83	1,00	1,00	3,10	26,79	1,00	1,00	3,00	26,76	0,03
19	1,00	1,00	8,8	26,63	1,00	1,00	6,20	26,60	1,00	1,00	2,00	26,57	0,03
20	1,00	0,50	103,1	26,35	1,00	0,50	100,50	26,32	1,00	1,00	97,80	26,29	0,03
21	0,50	0,00	116,5	25,91	0,50	0,00	116,20	25,88	0,50	0,50	116,60	25,86	0,02
22	0,50	0,50	20,1	25,49	0,50	0,50	20,06	25,47	0,50	0,50	20,05	25,41	0,06
23	1,00	1,00	0,0	25,62	1,00	1,00	0,00	25,60	1,00	1,00	0,00	25,53	0,07
24	1,00	1,00	0,0	25,76	1,00	1,00	0,00	25,73	1,00	1,00	0,00	25,70	0,03

Figura 5.5_Analisi parametrica per determinare il limite di abbassamento delle tapparelle tale da consentire un illuminamento naturale

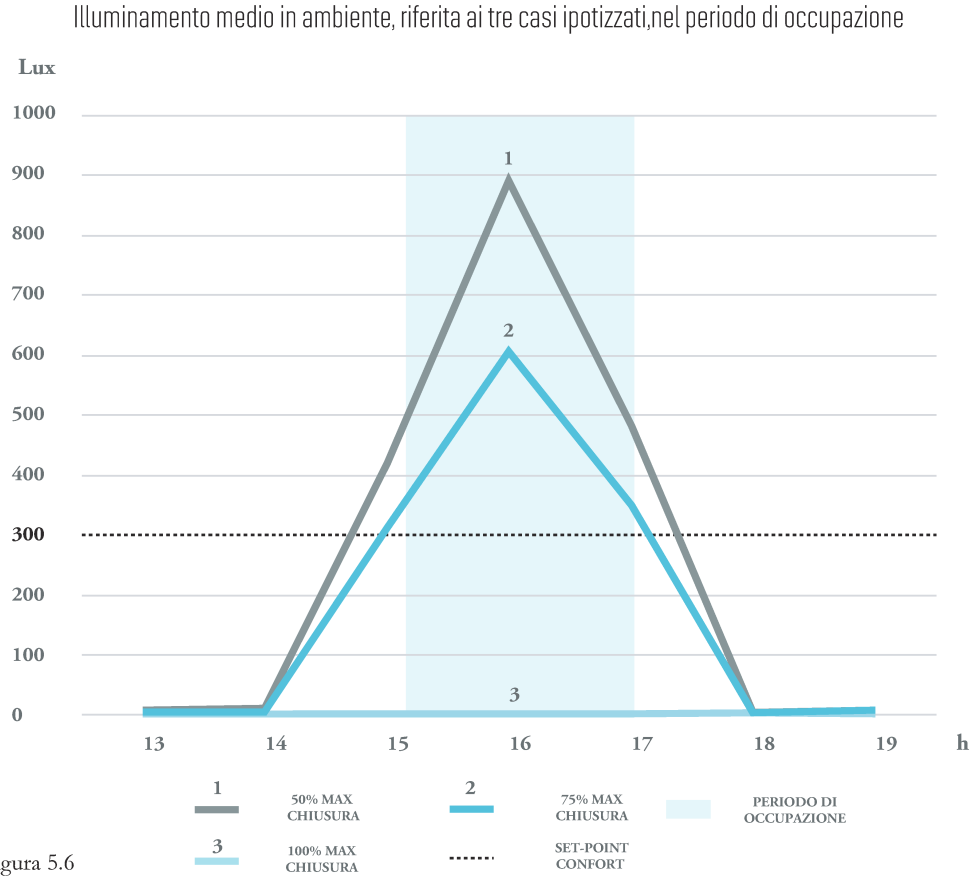


Figura 5.6

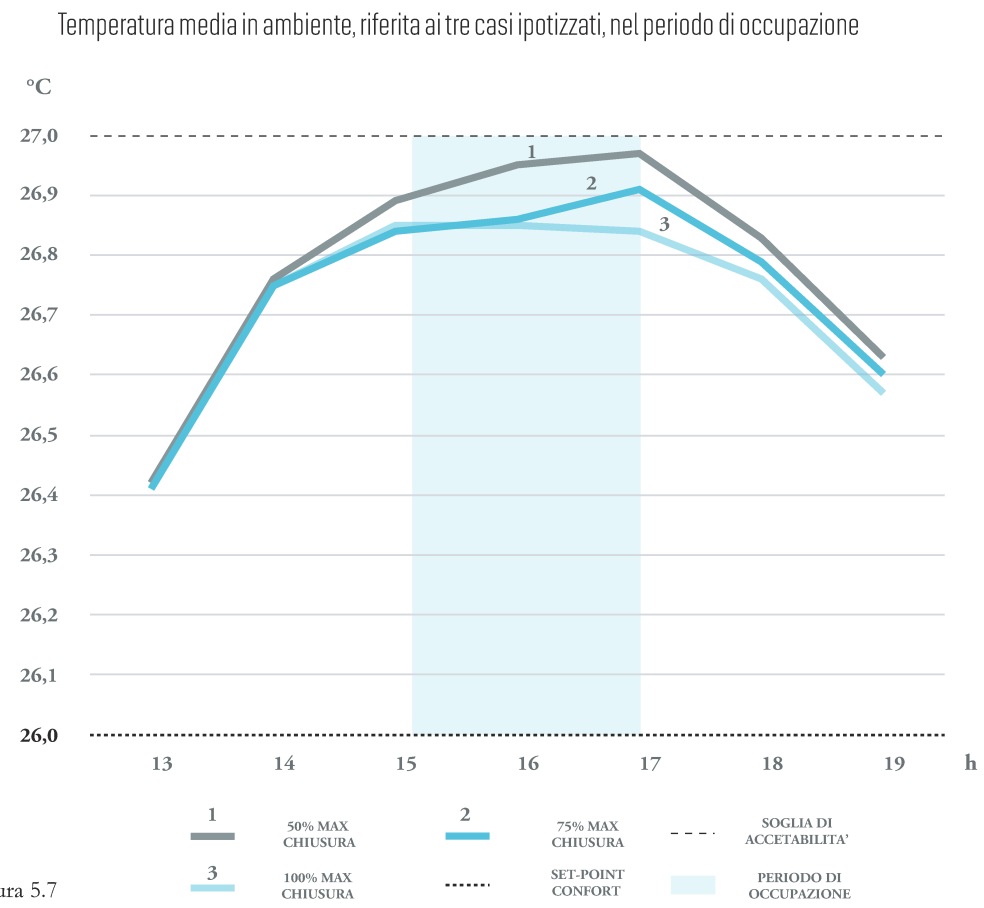


Figura 5.7

La seconda ipotesi è stata quella di prevedere l'installazione di tende a rullo esterne filtranti. Queste, infatti, pur essendo completamente chiuse garantiscono il passaggio di una quota di luce naturale sufficiente a mantenere le condizioni di comfort visivo stabilite dalla UNI EN ISO 15251 e dalla UNI 10380. Dopo numerose analisi e prove svolte con il programma su vari tipi di tende, si è deciso di utilizzare il modello Polyscreen 351 della Vertisol [41]. Questa, come si può vedere dalla tabella in figura 5.8 e dai seguenti grafici (Figura 5.9 - Figura 5.10), pur essendo una tenda con media riflessione e bassa trasmissione solare (Figura 5.11), garantisce un buon livello di illuminamento interno, che nelle ore di occupazione va da 342 lux a 410 lux, senza però far innalzare in maniera significativa la temperatura. Per questo motivo, in questo caso, si è deciso di mantenere la logica proporzionale fino a chiusura totale.

ORE	CHIUSURA		POLYSCREEN 650	GENERIC SHAD.	POLYSCREEN 351	TAPPARELLE	POLYSCREEN 650	GENERIC SHAD.	POLYSCREEN 351	TAPPARELLE
			lux	lux	lux	lux	°C	°C	°C	°C
1	1,00	1,00	0,00	0,00	0,0	0,00	25,62	25,56	25,67	25,64
2	1,00	1,00	0,00	0,00	0,0	0,00	25,54	25,48	25,60	25,57
3	1,00	1,00	0,00	0,00	0,0	0,00	25,44	25,37	25,50	25,48
4	1,00	1,00	0,00	0,00	0,0	0,00	25,34	25,26	25,39	25,38
5	1,00	1,00	0,00	0,00	0,0	0,00	25,25	25,16	25,30	25,29
6	0,50	0,50	19,51	16,81	19,5	19,52	25,16	25,07	25,21	25,20
7	0,00	0,00	117,20	100,50	117,2	117,20	23,49	23,44	23,52	23,51
8	0,00	0,00	303,50	260,20	303,5	303,40	22,38	22,37	22,40	22,39
9	0,30	0,00	458,00	398,00	463,8	455,10	23,62	23,62	23,65	23,64
10	0,64	0,34	395,40	355,10	427,1	378,00	24,54	24,53	24,58	24,55
11	0,69	0,69	284,60	266,80	340,9	253,00	24,78	24,77	24,83	24,78
12	0,85	0,85	171,20	171,30	258,9	125,10	25,50	25,49	25,55	25,51
13	1,00	1,00	72,47	92,78	211,6	1,00	26,41	26,40	26,44	26,41
14	1,00	1,00	97,25	133,70	281,2	1,00	26,74	26,73	26,78	26,75
15	1,00	1,00	119,80	178,40	342,6	2,00	26,84	26,82	26,88	26,85
16	1,00	1,00	137,20	213,80	391,0	2,00	26,82	26,81	26,87	26,85
17	1,00	1,00	142,10	229,80	410,0	2,00	26,80	26,79	26,86	26,84
18	1,00	1,00	128,40	211,40	375,0	3,00	26,71	26,70	26,78	26,76
19	1,00	1,00	95,44	156,20	273,9	2,00	26,52	26,49	26,58	26,57
20	1,00	0,50	140,50	157,00	219,7	97,80	26,24	26,21	26,30	26,29
21	0,50	0,00	123,40	113,90	136,1	116,60	25,83	25,81	25,88	25,86
22	0,50	0,50	20,06	17,18	20,1	20,05	25,38	25,37	25,47	25,41
23	1,00	1,00	0,00	0,00	0,0	0,00	25,49	25,47	25,59	25,53
24	1,00	1,00	0,00	0,00	0,0	0,00	25,67	25,62	25,73	25,70

Figura 5.8_Analisi paramentrica per la scelta degli schermi solari

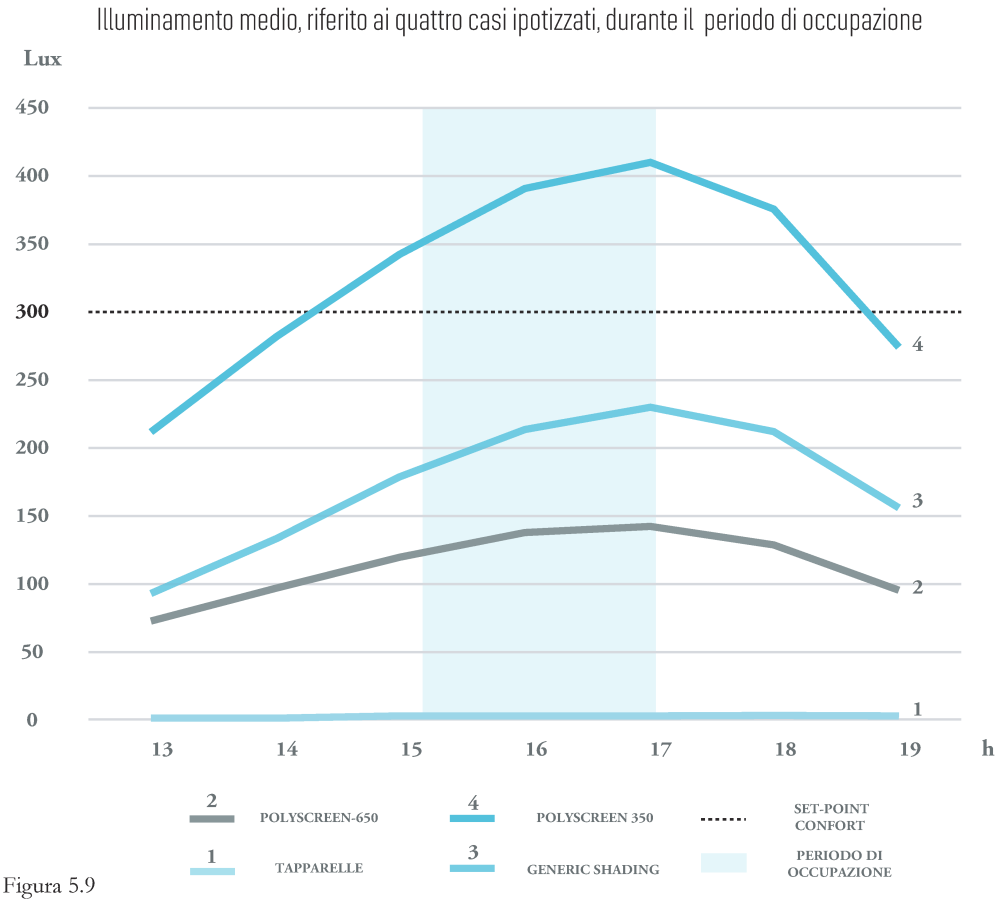


Figura 5.9

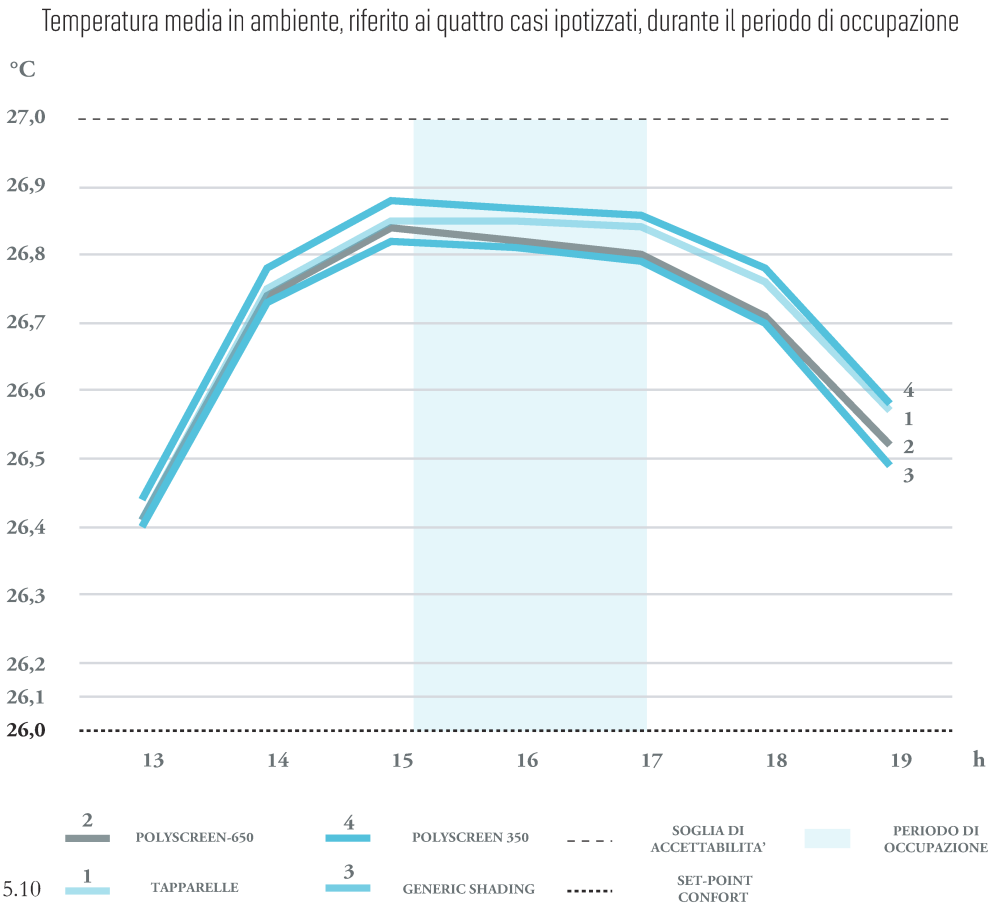


Figura 5.10

Caratteristiche tecniche schermo solare scelto(Polyscreen 351 White)

NAME	DESCRIPTION	τ	ρ_F	ρ_B	τ_V	ρ_Vf	ρ_Vv	ε_F	ε_v	Lambda
Polyscreen 301 white	80% PVC + 20% PES, White Pearl	0.1321	0.6023	0.6023	0.098	0.6892	0.6892	0.89	0.89	0.3

Manufacturer	Data-Source	Role	Intsoad-Hole-Ratio	Dis_τ	Dis_ρ_f	Dis_ρ_b	τ_Lw	Thickness
Vertisol International	Vertisol	(ROLLER-SHADE SCREEN-SHADE)	0.01	0.8644	1.0	1.0	0.01	0.3

Figura 5.11

Definite le due ipotesi di partenza per le logiche degli elementi schermanti si sono studiate ed elencate tutte le variabili che potessero portare alla chiusura o all'apertura degli schermi sia per la prima ipotesi che per la seconda, e si sono dunque definite le due logiche di controllo.
Per fare ciò ci si è basati sugli algoritmi principali precedentemente definiti estrapolando solo le nozioni necessarie alla costruzione della logica degli elementi schermanti.

IPOTESI 1 _TAPPARELLE_DESCRIZIONE LOGICA E VARIABILI:

ESTATE

- Le tapparelle si abbassano proporzionalmente all'aumentare della temperatura interna quando viene superato il set-point della temperatura stessa e quando viene superato il set-point della radiazione solare diretta incidente sulla finestra.
Le tapparelle iniziano ad abbassarsi, dunque, quando la temperatura interna (Ti) supera la temperatura interna limite imposta per l'estate (Ti>Ti lim) e la radiazione solare diretta incidente sulla finestra (IDIR) è maggiore della radiazione solare diretta incidente sulla finestra imposta (IDIR>IDIR lim). Le tapparelle da Ti lim in poi si chiudono proporzionalmente all'aumentare della temperatura interna fino a chiusura totale, quando la temperatura raggiunge la Ti max impostata per l'estate. La chiusura totale avviene solo se l'occupante (Occ) non è presente in stanza. In caso contrario la chiusura massima della tapparella, ovvero quando la temperatura interna raggiunge Ti max , è del 75% , in modo tale da permettere l'entrata della luce naturale all'interno stanza.

INVERNO

- Le tapparelle si abbassano proporzionalmente all'aumentare della temperatura interna quando viene superato il set-point della temperatura stessa e quando viene superato il set-point della radiazione solare diretta incidente sulla finestra.
Le tapparelle iniziano ad abbassarsi, dunque, quando la temperatura interna (Ti) supera la temperatura interna limite imposta per l'inverno (Ti>Ti lim) e la radiazione solare diretta incidente sulla finestra (IDIR) è maggiore della radiazione solare diretta incidente sulla finestra imposta (IDIR>IDIR lim). Le tapparelle da Ti lim in poi si chiudono proporzionalmente all'aumentare della temperatura interna fino a chiusura totale, quando la temperatura raggiunge la Ti max impostata per l'inverno. La chiusura totale avviene solo se l'occupante (Occ) non è presente in stanza. In caso contrario la chiusura massima della tapparella, ovvero quando la temperatura interna raggiunge Ti max , è del 75% , in modo tale da permettere l'entrata della luce naturale all'interno stanza.

- ESTATE-INVERNO

Le tapparelle si abbassano durante tutto il periodo notturno.

IPOTESI 2_TENDE ESTERNE FILTRANTI A RULLO_DESCRIZIONE LOGICA E VARIABILI:

ESTATE

- Le tende esterne si abbassano proporzionalmente all'aumentare della temperatura interna quando viene superato il set-point della temperatura stessa e quando viene superato il set-point della radiazione solare diretta incidente sulla finestra.
Le tende esterne iniziano ad abbassarsi, dunque, quando la temperatura interna (Ti) supera la temperatura interna limite imposta per l'estate (Ti>Ti lim) e la radiazione solare diretta incidente sulla finestra (IDIR) è maggiore della radiazione solare diretta incidente sulla finestra limite imposta (IDIR>IDIR lim). Le tende, come precedentemente affermato, da Ti lim in poi si chiudono proporzionalmente all'aumentare della temperatura interna fino a chiusura totale, quando la temperatura raggiunge la Ti max impostata per l'estate.

INVERNO

- Le tende esterne si abbassano proporzionalmente all'aumentare della temperatura interna quando viene superato il set-point della temperatura stessa e quando viene superato il set-point della radiazione solare diretta incidente sulla finestra.
Le tende esterne iniziano ad abbassarsi, dunque, quando la temperatura interna (Ti) supera la temperatura interna limite imposta per l'inverno (Ti>Ti lim) e la radiazione solare diretta incidente sulla finestra (IDIR) è maggiore della radiazione solare diretta incidente sulla finestra imposta (IDIR>IDIR lim). Le tende, come precedentemente affermato, da Ti lim in poi si chiudono proporzionalmente all'aumentare della temperatura interna fino a chiusura totale, quando la temperatura raggiunge la Ti max impostata per l'inverno.

ESTATE-INVERNO

- Le tende esterne si abbassano durante tutto il periodo notturno.

Definite le due logiche di controllo e le variabili di input necessarie, a questo punto della sperimentazione si sono definiti i set-point specifici per il sistema degli schermi oscuranti.
Questi sono stati ricavati a partire dalle normative (Figura 5.12) e successivamente sono stati adattati alla logica utilizzata. Nel caso della definizione del valore della radiazione solare diretta incidente sulla finestra limite (IDIR lim), non essendoci nessuna normativa che la regola, è stata svolta sia un'analisi parametrica che un'analisi bibliografica.

VALORI FORNITI DALLA NORMATIVA:		Condizione di Comfort da norma UNI EN 15251 European Standard e UNI EN ISO 7730
ESTATE	Temperatura interna	23°C<Ti<26°C
INVERNO	Temperatura interna	20°C<Ti<24°C

Figura 5.12_Valori confort normativa

DEFINIZIONE DEI SET-POINT PER LA TEMPERATURA INTERNA

ESTATE → OBIETTIVO DELLA LOGICA → Cercare di non superare mai il valore di temperatura limite previsto dalla norma → Ti max=26°C

→ Si è previsto, dunque, nella logica, che le schermature inizino ad abbassarsi in modo proporzionale all'aumentare della temperatura a partire da 24 °C, in modo tale da limitare proporzionalmente l'entrata della radiazione solare . Le schermature, infatti, continuano ad abbassarsi fino a raggiungere la massima chiusura alla temperatura di 26°C ovvero la temperatura limite imposta dalla normativa. → SET POINT IMPOSTATO → Ti lim>24°C

Gli schermi iniziano a chiudersi

INVERNO → OBIETTIVO DELLA LOGICA → Cercare di non superare mai il valore di temperatura limite previsto dalla norma → Ti max=24°C

→ Si è previsto, dunque, nella logica, che le schermature inizino ad abbassarsi in modo proporzionale all'aumentare della temperatura a partire da 22 °C, in modo tale da limitare proporzionalmente l'entrata della radiazione solare . Le schermature, infatti, continuano ad abbassarsi fino a raggiungere la massima chiusura alla temperatura di 24°C ovvero la temperatura limite imposta dalla normativa. → SET POINT IMPOSTATO → Ti lim>22°C

Gli schermi iniziano a chiudersi

DEFINIZIONE DEL SET-POINT DELLA RADIAZIONE SOLARE DIRETTA INCIDENTE SULLA FINESTRA

ANALISI PARAMETRICA E BIBLIOGRAFIA

L'analisi parametrica effettuata ha come obiettivo quello di definire il livello adeguato di radiazione solare diretta dopo il quale gli schermi devono iniziare ad abbassarsi. Questa analisi è stata condotta nel giorno più caldo del 2015 ovvero il 20 luglio (dato fornito dal software Ida-Ice). Ciò è stato fatto perché si ipotizza che in quella giornata ci sia stata la massima chiusura degli schermi. La stanza che si è deciso di analizzare è quella che si trova nel caso peggiorativo, ovvero il soggiorno. Questa, infatti, presenta una superficie vetrata maggiore rispetto alle altre stanze e ha due finestre con esposizione solare ed orientamento differenti.

A questo punto, al fine dell'analisi, sono stati definiti tre diversi valori di set-point di radiazione solare diretta: un valore basso, 50 W/m2, un valore medio 150 W/m2, e un valore alto, 300 W/m2. I riferimenti bibliografici legati alla scelta di questi parametri sono due articoli: "*Energy performance of shading devices for thermal and lighting comfort in offices*", A. M. Atzeri et al. [24], e "*Internal versus external shading devices performance in office buildings*", A. M. Atzeri et al. [25].

Impostati i diversi valori di set-point sono stati eseguiti i calcoli sul software Ida-Ice per mettere a confronto il livello di chiusura degli schermi, il livello di illuminamento interno e la temperatura interna di ognuno di questi.Dalle tabelle (Figura 5.13) e dai grafici (Figure 5.14, 5.15, 5.16, 5.17) di seguito riportati si deduce che:

- il valore di set-point di 50 W/m^2 porta ad un'accuratezza e ad un livello di precisione del programma troppo basso. Il comando di chiusura delle due finestre, infatti, coincide perfettamente pur essendo queste orientate ed esposte in maniera differente. Questo set-point, inoltre, porta ad una chiusura totale o parziale degli schermi per tutto l'arco della giornata.
- il valore di set-point di 300 W/m^2 causa una reticenza nella chiusura degli schermi portando ad un innalzamento della temperatura interna anche di 0,3 °C rispetto ai valori conseguiti utilizzando il set point di 150 W/m^2. Inoltre è stato dimostrato che se l'occupante si trova esposto ad una radiazione solare tra i 200 W/m^2 e i 300 W/m^2 prova una sensazione di discomfort [25].
- il valore di set-point di 150 W/m^2 è quello più equilibrato sia in termini di illuminamento interno sia in termini di controllo della temperatura.

Il set-point scelto è stato dunque **150 W/m2**

Questo valore viene, inoltre, confermato e utilizzato anche negli articoli precedentemente elencati.

ORE	CHIUSURA 50W/m2		**50 W/m2**	CHIUSURA 150W/m2		**150 W/m2**	(150-50) lux	**50 W/m2**	**150 W/m2**	(150-50) °C
	finestra 1	finestra 2	lux	finestra 1	finestra 2	lux		°C	°C	
1	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00	0,0	0,0	25,54	25,56	0,02
2	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00	0,0	0,0	25,46	25,48	0,02
3	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00	0,0	0,0	25,35	25,37	0,02
4	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00	0,0	0,0	25,24	25,26	0,02
5	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00	0,0	0,0	25,14	25,16	0,02
6	1,00	1,00	16,9	0,50	0,50	16,8	-0,1	25,05	25,07	0,02
7	1,00	1,00	100,5	0,00	0,00	100,5	0,0	23,42	23,44	0,02
8	0,50	0,50	260,2	0,00	0,00	260,2	0,0	22,36	22,37	0,01
9	0,30	0,30	302,4	0,30	0,00	398,0	95,6	23,60	23,62	0,02
10	0,63	0,63	255,9	0,64	0,34	355,1	99,2	24,50	24,53	0,03
11	0,68	0,68	265,5	0,69	0,69	266,8	1,3	24,74	24,77	0,03
12	1,00	1,00	173,6	0,85	0,85	171,3	-2,3	25,47	25,49	0,02
13	1,00	1,00	92,8	1,00	1,00	92,8	0,0	26,38	26,40	0,02
14	1,00	1,00	133,7	1,00	1,00	133,7	0,0	26,72	26,73	0,01
15	1,00	1,00	178,4	1,00	1,00	178,4	0,0	26,81	26,82	0,01
16	1,00	1,00	213,6	1,00	1,00	213,8	0,2	26,80	26,81	0,01
17	1,00	1,00	229,6	1,00	1,00	229,8	0,2	26,78	26,79	0,01
18	1,00	1,00	211,0	1,00	1,00	211,4	0,4	26,69	26,70	0,01
19	1,00	1,00	155,4	1,00	1,00	156,2	0,8	26,48	26,49	0,01
20	1,00	1,00	81,9	1,00	0,50	157,0	75,1	26,18	26,21	0,03
21	0,50	0,50	39,3	0,50	0,00	113,9	74,6	25,78	25,81	0,03
22	0,50	0,50	17,2	0,50	0,50	17,2	0,0	25,39	25,37	-0,02
23	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00	0,0	0,0	25,49	25,47	-0,02
24	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00	0,0	0,0	25,60	25,62	0,02

ORE	CHIUSURA 150W/m2		**150 W/m2**	CHIUSURA 300W/m2		**300 W/m2**	(300-150) lux	**150 W/m2**	**300 W/m2**	(300-150) °C
	finestra 1	finestra 2	lux	finestra 1	finestra 2	lux		°C	°C	
1	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00	0,0	0,0	25,56	25,82	0,26
2	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00	0,0	0,0	25,48	25,74	0,26
3	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00	0,0	0,0	25,37	25,62	0,25
4	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00	0,0	0,0	25,26	25,50	0,24
5	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00	0,0	0,0	25,16	25,40	0,24
6	0,50	0,50	16,8	0,50	0,50	16,8	0,0	25,07	25,31	0,24
7	0,00	0,00	100,5	0,00	0,00	100,5	0,0	23,44	23,60	0,16
8	0,00	0,00	260,2	0,00	0,00	260,2	0,0	22,37	22,46	0,09
9	0,30	0,00	398,0	0,00	0,00	434,9	36,9	23,62	23,71	0,09
10	0,64	0,34	355,1	0,00	0,00	582,5	227,4	24,53	24,71	0,18
11	0,69	0,69	266,8	0,00	0,00	687,3	420,5	24,77	25,08	0,31
12	0,85	0,85	171,3	0,00	0,00	764,0	592,7	25,49	25,79	0,30
13	1,00	1,00	92,8	0,00	0,00	908,7	815,9	26,40	26,67	0,27
14	1,00	1,00	133,7	0,00	0,50	700,3	566,6	26,73	26,98	0,25
15	1,00	1,00	178,4	0,00	1,00	416,8	238,4	26,82	27,02	0,20
16	1,00	1,00	213,8	0,50	1,00	359,9	146,1	26,81	27,00	0,19
17	1,00	1,00	229,8	1,00	1,00	252,6	22,8	26,79	26,96	0,17
18	1,00	1,00	211,4	1,00	1,00	231,6	20,2	26,70	26,87	0,17
19	1,00	1,00	156,2	1,00	0,50	374,2	218,0	26,49	26,74	0,25
20	1,00	0,50	157,0	0,50	0,00	417,2	260,2	26,21	26,51	0,30
21	0,50	0,00	113,9	0,00	0,00	174,6	60,7	25,81	26,04	0,23
22	0,50	0,50	17,2	0,50	0,50	17,2	0,0	25,37	25,55	0,18
23	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00	0,0	0,0	25,47	25,69	0,22
24	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00	0,0	0,0	25,62	25,86	0,24

Figura 5.13_Analisi parametrica per stabilire il valore di set-point per la radiazione solare diretta.

Grafico apertura/chiusura schermi oscuranti nel tempo, con set-point 50 W/m²

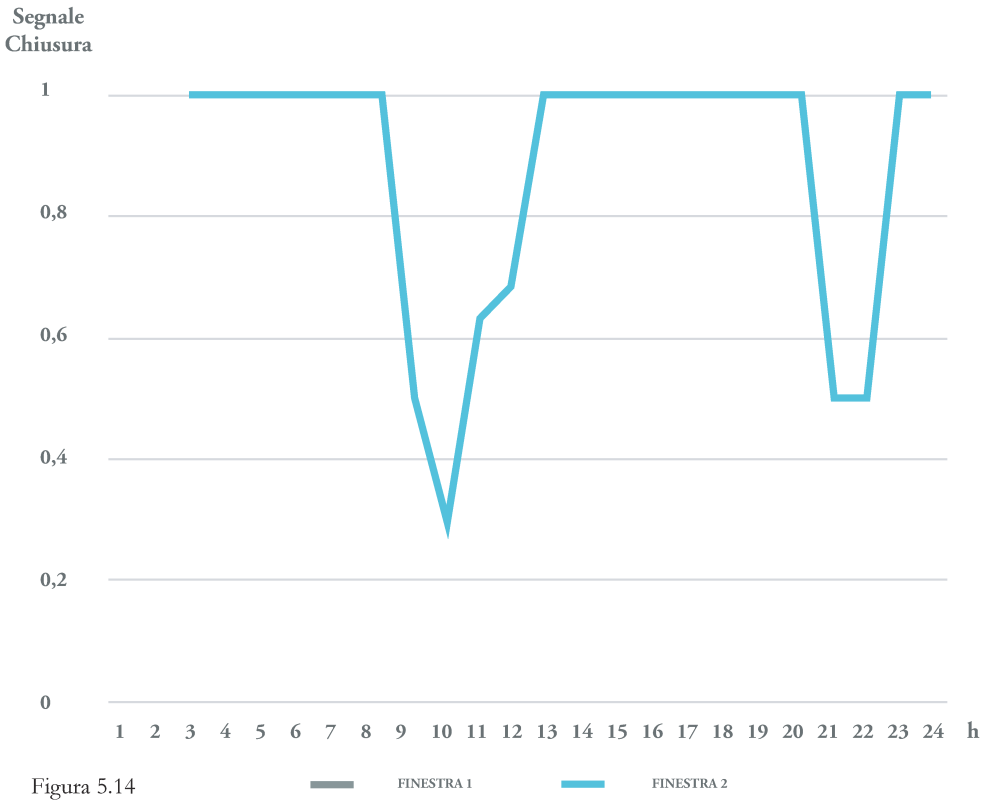


Figura 5.14

Grafico apertura/chiusura schermi oscuranti nel tempo, con set-point 150 W/m²

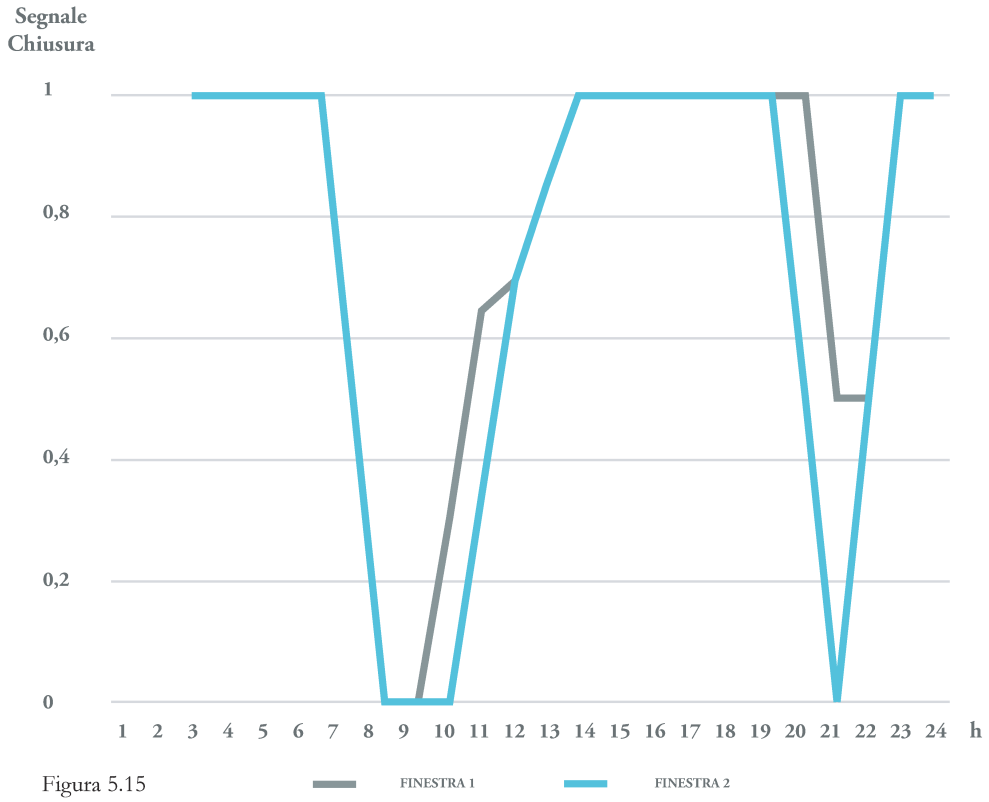


Figura 5.15

Grafico apertura/chiusura schermi oscuranti nel tempo, con set-point 300 W/m²

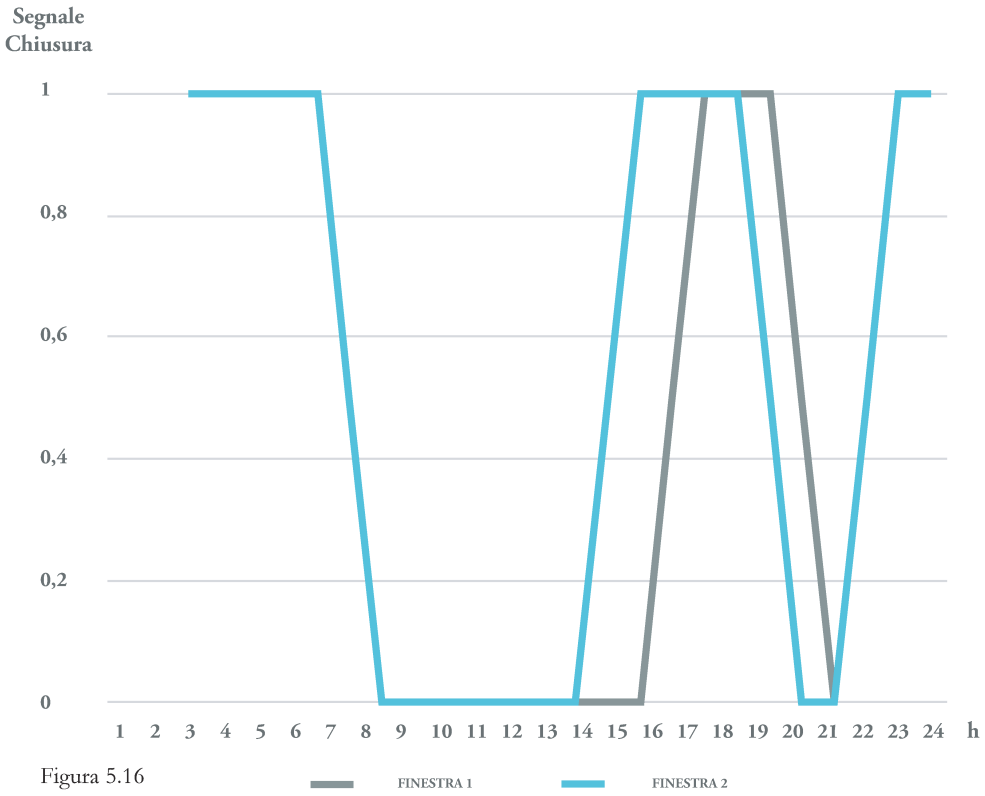


Figura 5.16

Temperatura media in ambiente riferita ai tre casi ipotizzati

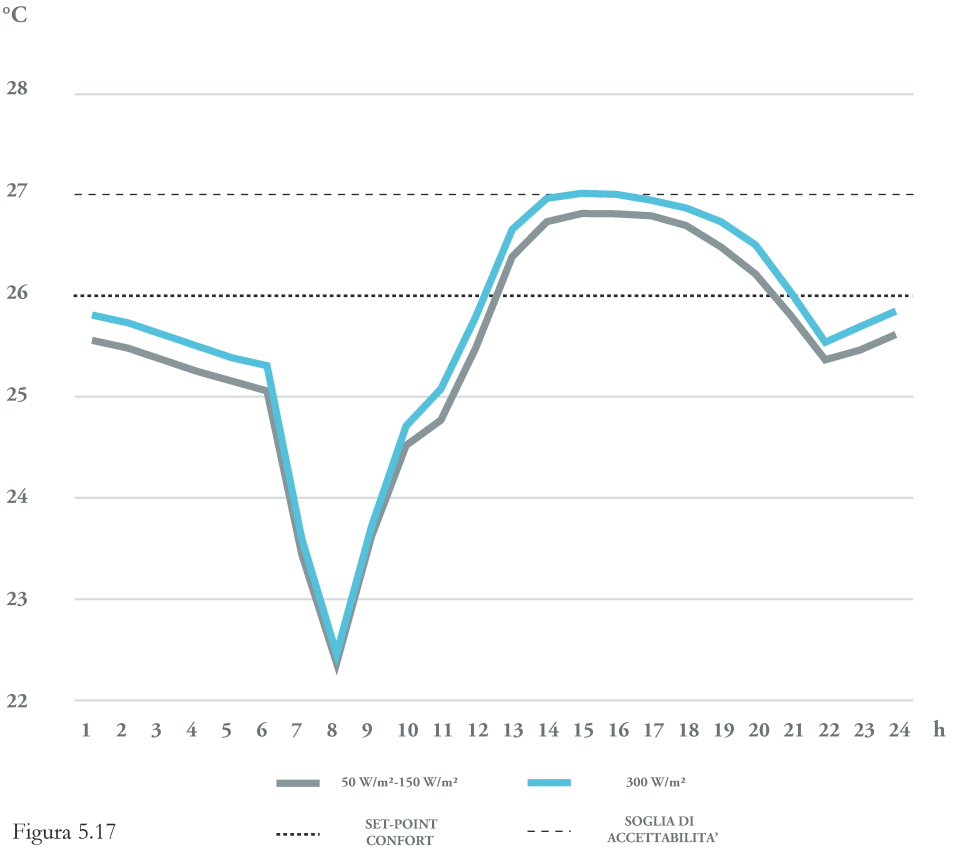
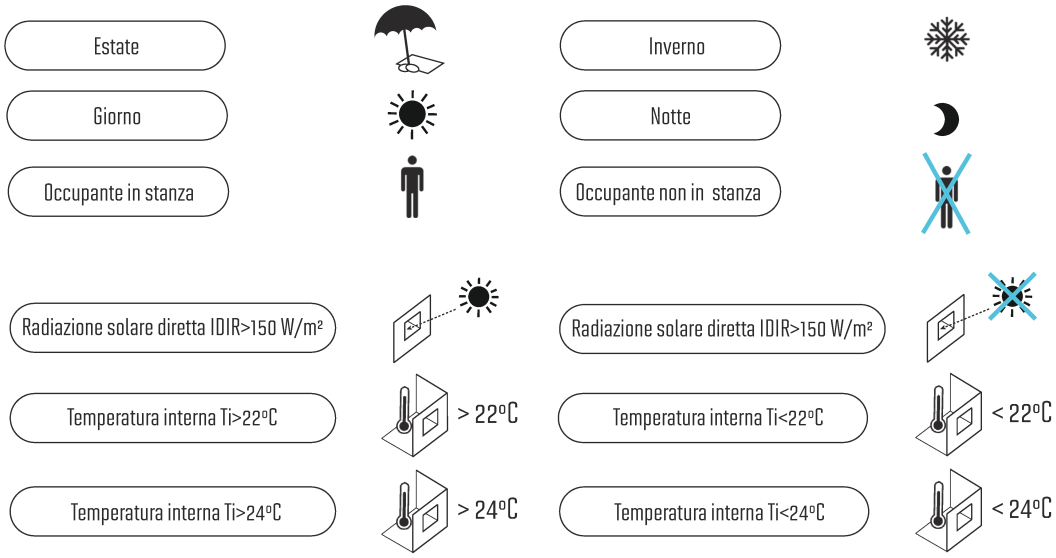


Figura 5.17

VARIABILI UTILIZZATE PER LA COSTRUZIONE DELLA LOGICA , COMPLETE DEI VALORI DI SET-POINT

Le variabili utilizzate per la costruzione della logica, quindi, sono
1)Estate-Inverno
2)Giorno-Notte
3)Occupante in stanza- Occupante non in stanza
4) Radiazione solare diretta incidente sulla finestra IDIR lim>150 W/m^2
5)Temperatura interna limite Ti lim>24°C (estate)
6) Temperatura interna limite Ti lim> 22°C (inverno)

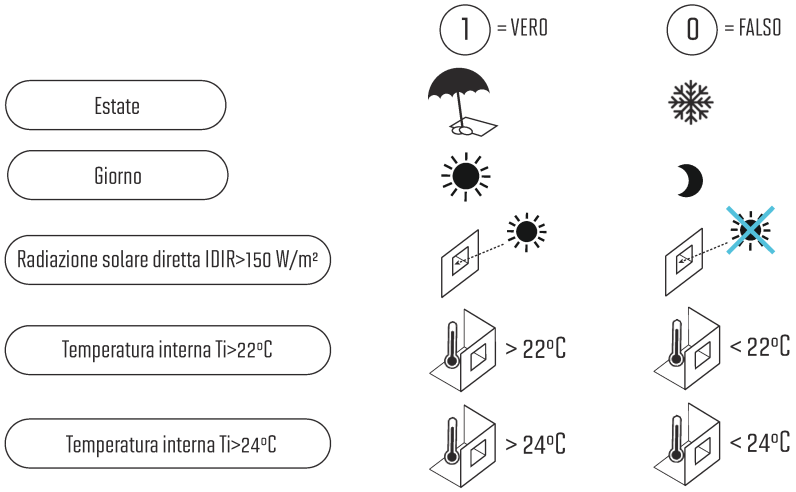


La variabile "occupante in stanza" o "occupante non in stanza" è determinante solo per la logica dell'ipotesi 1 , ovvero quella con le tapparelle.

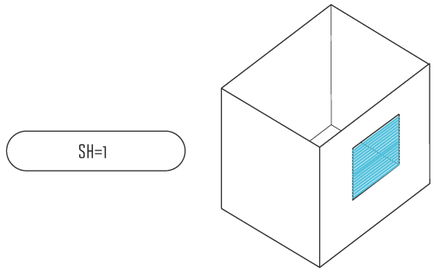
Si è deciso di analizzare prima la logica dell'ipotesi 2, al fine di facilitare l'esposizione.
L'ipotesi 2 infatti, essendo indipendente dalla presenza dell'occupante in stanza, rappresenta anche una parte di logica dell'ipotesi 1 ovvero quella in cui l'occupante non è presente in stanza che non servirà ripetere.

SINTESI GRAFICA DELLA LOGICA DELL'IPOTESI 2_TENDE ESTERNE FILTRANTI A RULLO

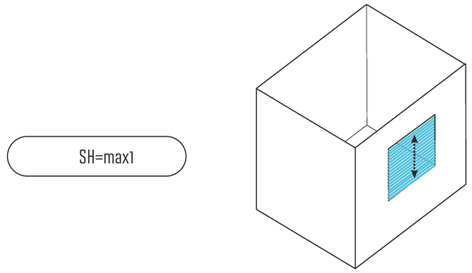
Questa sintesi grafica è stata eseguita nell'ottica di impostare le logiche sul programma Ida-Ice. Per questo motivo le variabili di ingresso sono state tradotte nel linguaggio del programma, ovvero in valori 0 e 1, e sono stati definiti i possibili output della logica.



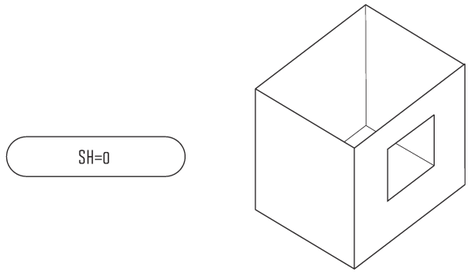
POSSIBILI OUTPUT DI ABBASSAMENTO DELLE TAPPARELLE A SECONDA DEI VALORI DELLE VARIABILI DI INPUT



SH= 1 _ Segnale di chiusura totale

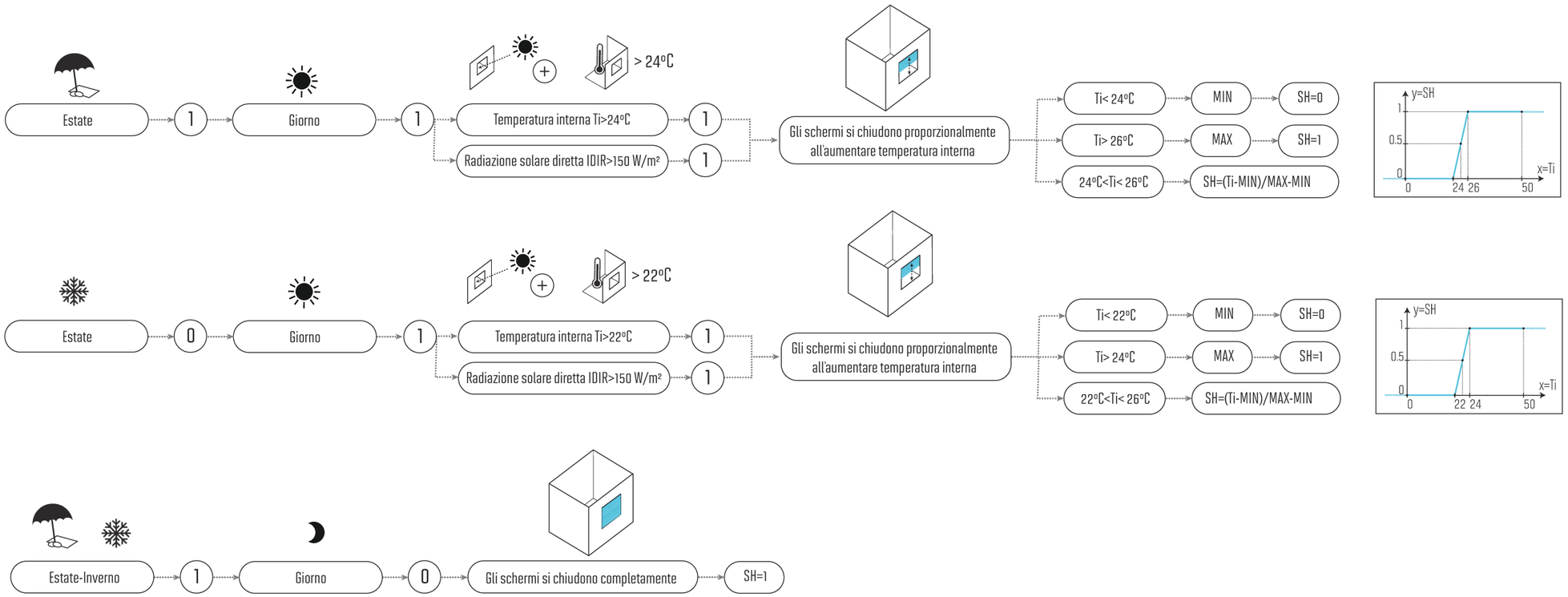


SH= max 1 _ Segnale di chiusura proporzionale fino ad un massimo del 100%



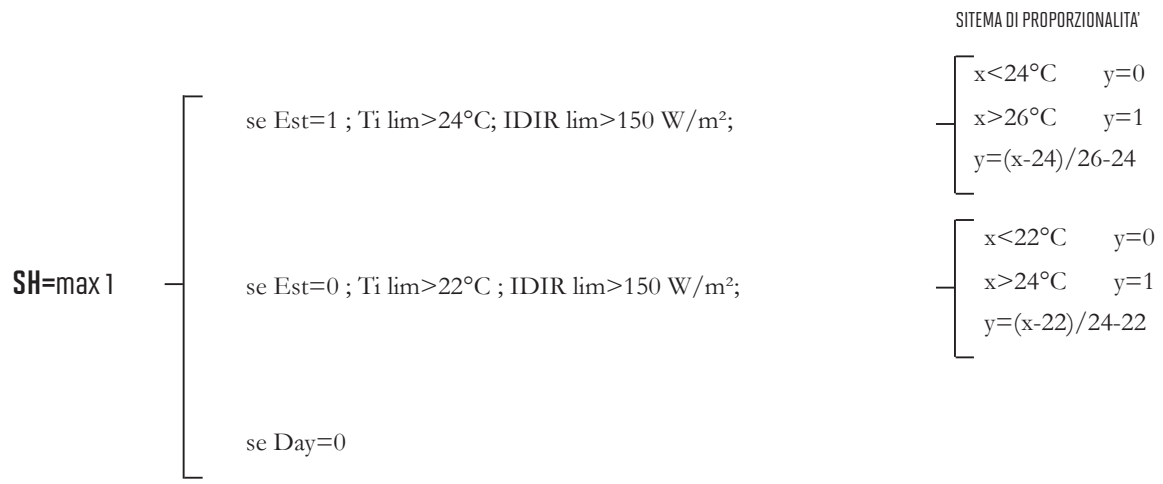
SH= 0_ Segnale di apertura

LOGICA PROPORZIONALE DI ABBASSAMENTO FINO AL 100% DI CHIUSURA



SINTESI MATEMATICA DELLA LOGICA DELL'IPOTESI 2_TENDE ESTERNE A RULLO FILTRANTI

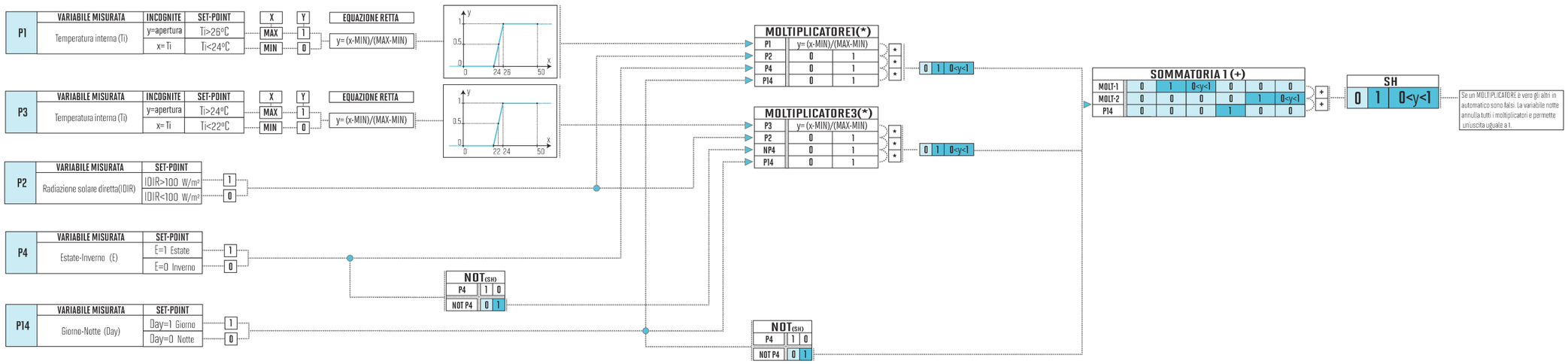
Una volta capito il funzionamento della logica dal punto di vista grafico, si è tradotta in un sistema matematico per riuscire ad impostarla sul software.



VARABILI PER LA SCRITTURA DELLA LOGICA SUL PROGRAMMA IDA-ICE

P1) Temperatura interna (Ti>24°C e Ti<26°C)
P2) Radiazione solare diretta (IDIR>150 W/m^2)
P3) Temperatura interna (Ti>22 °C e Ti<24°C)
P4) Estate (Est=1)
P14) Periodo della giornata (Day=1)

SCHEMA DI SCRITTURA DELLA LOGICA SUL PROGRAMMA IDA-ICE (Operatori matematici)



DETERMINAZIONE DELLA FUNZIONE DELLA LOGICA IMPLEMENTATA:

La funzione di questa logica è stata scritta con operatori matematici.
P1) Variabile misurata: Temperatura interna (Ti>24°C e Ti<26°C)
Ti>24°C e Ti<26°C allora y=(x-24)/26-24 dove (x) è il valore della temperatura esterna e (y) è il vaolore di apertura delle tapparelle.

Ti<24°C allora 0
Ti>26°C allora 1

P2) Variabile misurata: Radiazione solare diretta (IDIR>150 W/m^2)
IDIR>100 allora 1
IDIR<100 allora 0

P4) Variabile misurata: Estate (Est=1)
Est=1 allora 1 (estate)
Est=0 allora 0 (inverno)

P14) Variabile misurata: Periodo della giornata (Day=1)
Day=1 allora giorno
Day=0 allora notte

COMANDO MOLTIPLICATORE1 (*)= uscite tra 0 e 1
COMANDO MOLTIPLICATORE 1=(P2*P4*P14*(x-24)/26-24))

P3) Variabile misurata: Temperatura interna (Ti>22°C e Ti<24°C)
Ti>22°C e Ti<24°C allora y=(x-22)/24-22 dove (x) è il valore della temperatura esterna e (y) è il vaolore di apertura delle tapparelle.

Ti<22°C allora 0
Ti>24°C allora 1

P2) Variabile misurata: Radiazione solare diretta (IDIR>100)
IDIR>150 W/m^2 allora 1
IDIR<150 W/m^2 allora 0

P4) Variabile misurata: Inverno (Est=1)
Est=1 allora 1 (estate)
Est=0 allora (not(Est))=1 (inverno)

P14) Variabile misurata: Periodo della giornata (Day=1)
Day=1 allora giorno
Day=0 allora notte ((Not)Day) notte =1

COMANDO MOLTIPLICATORE 2 (*)= uscite tra 0 e 1
COMANDO MOLTIPLICATORE 2=(P2*(NOT(P4))*P14*(x-22)/24-22))

P14) Variabile misurata: Periodo della giornata (Day=1)
Day=1 allora giorno
Day=0 allora notte ((Not)Day) notte =1

COMANDO SOMMATORIA 1(+)= COMANDO MOLTIPLICATORE 1 + COMANDO MOLTIPLICATORE 2 + (NOT(P14))

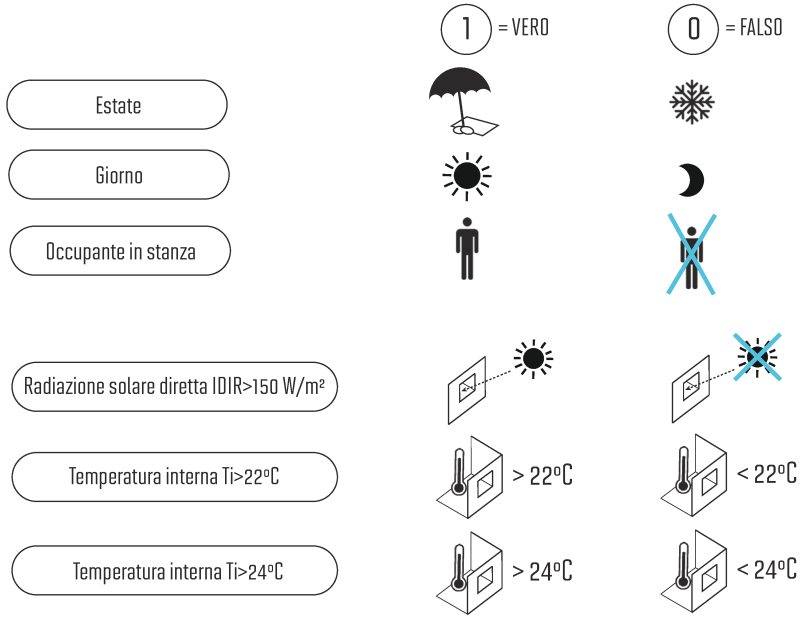
FUNZIONE CHIUSURA TAPPARELLE DA IMPLEMENTARE SUL PROGRAMMA IDA-ICE:

Sh=(fx)= (P2*P4*P14*(x-24)/26-24)) + (P2*(NOT(P4))*P14*(x-22)/24-22)) + (NOT(P14))

RISULTATI POSSIBILI= o 0 o 1, oppure variabili tra 0 e 1 a seconda della temperatura interna

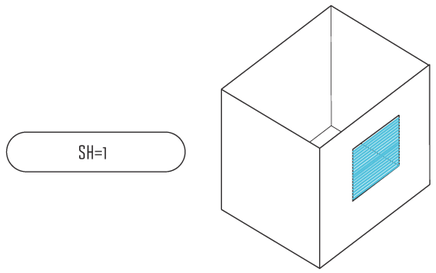
SINTESI GRAFICA DELLA LOGICA DELL'IPOTESI 1_TAPPARELLE

Questa sintesi grafica è stata fatta nell'ottica di impostare le logiche sul programma Ida-Ice. Per questo motivo le variabili di ingresso sono state tradotte nel linguaggio del programma, ovvero in valori 0 e 1, e sono stati definiti gli output possibili della logica.

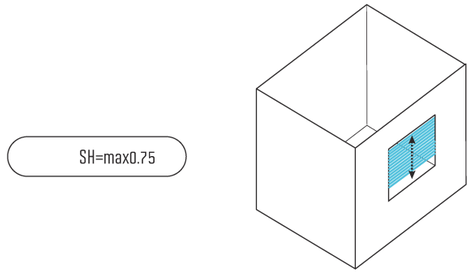


In questo caso verrà rappresentata solo la parte di logica nella quale l'occupante è in stanza, poiché nel caso in cui l'occupante non fosse in stanza la logica è la stessa dell'ipotesi 2.

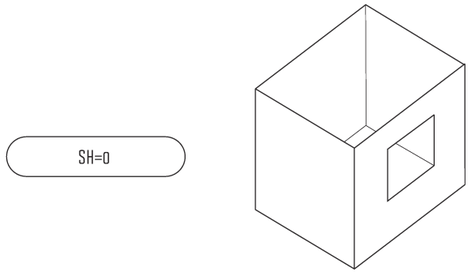
POSSIBILI OUTPUT DI ABBASSAMENTO DELLE TAPPARELLE A SECONDA DEI VALORI DELLE VARIABILI DI INPUT



SH= 1 _ Segnale di chiusura totale

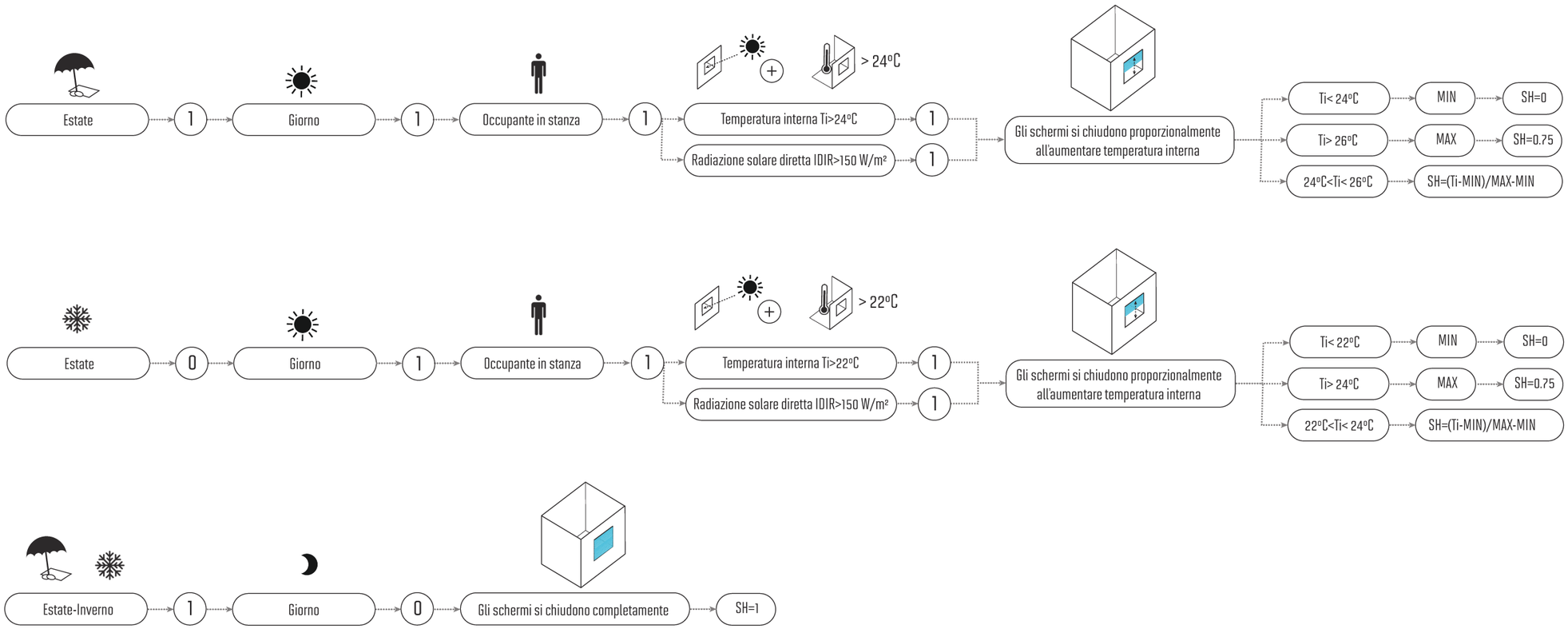


SH= max 0.75 _ Segnale di chiusura proporzionale fino ad un massimo del 75%



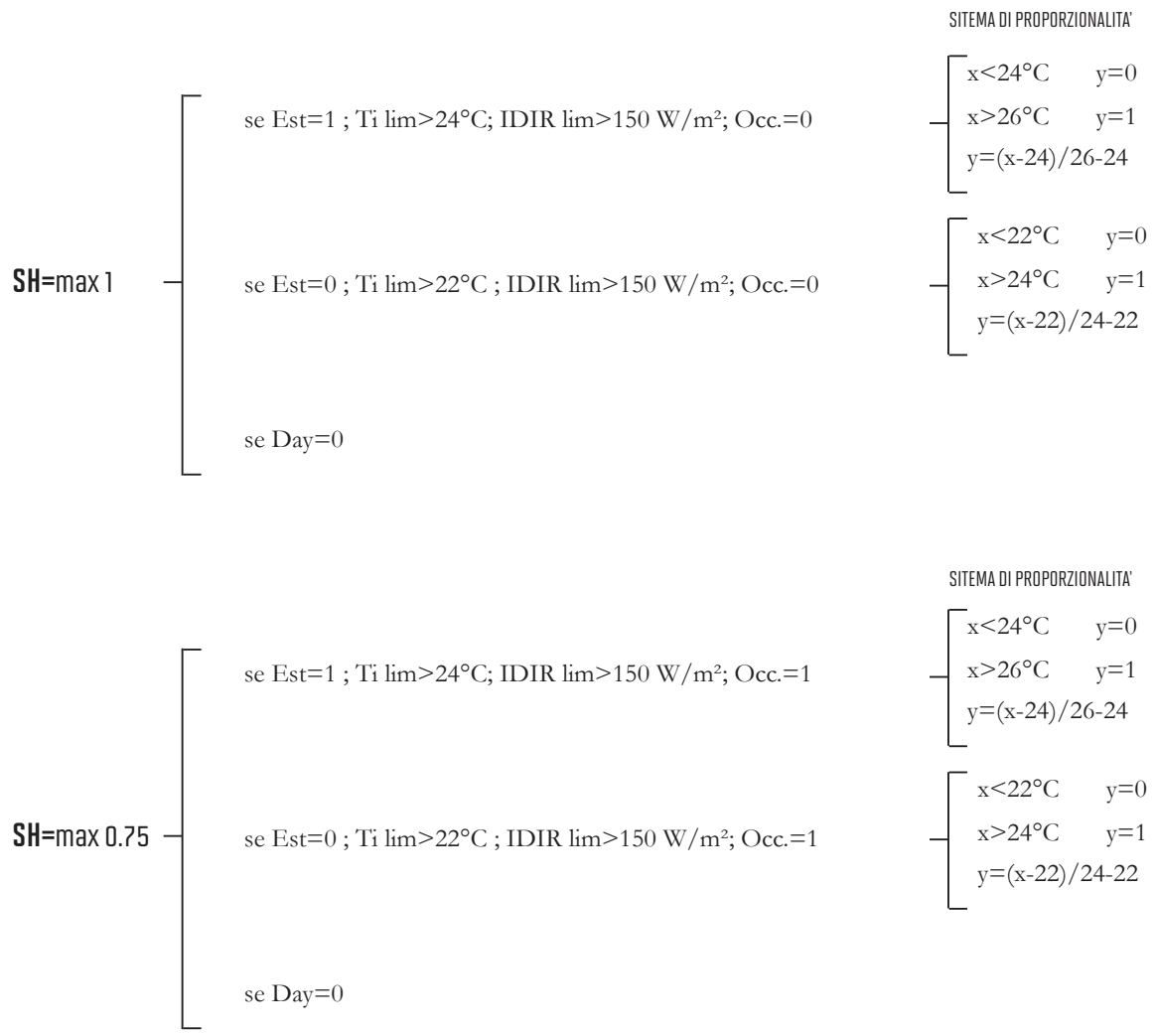
SH= 0_ Segnale di apertura

LOGICA PROPORZIONALE DI ABBASSAMENTO FINO AL 75% DI CHIUSURA



SINTESI MATEMATICA DELLA LOGICA DELL'IPOTESI 1_TAPPARELLE

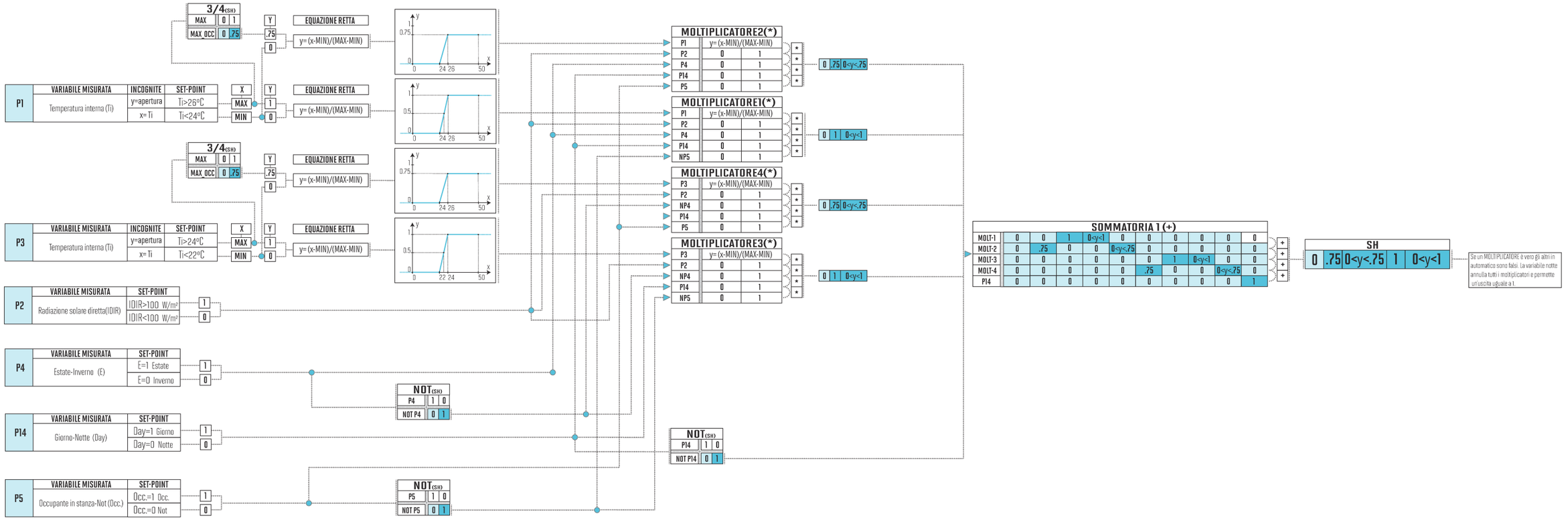
Una volta capito il funzionamento della logica dal punto di vista grafico, si è tradotta in un sistema matematico per riuscire ad impostarla sul software.



VARABILI PER LA SCRITTURA DELLA LOGICA SUL PROGRAMMA IDA-ICE

P1) Temperatura interna (Ti>24°C e Ti<26°C)
P2) Radiazione solare diretta (IDIR>150 W/m^2)
P3) Temperatura interna (Ti>22 °C e Ti<24°C)
P4) Estate (Est=1)
P5) Occupante (Occ=1)
P14) Periodo della giornata (Day=1)

SCHEMA DI SCRITTURA DELLA LOGICA SUL PROGRAMMA IDA-ICE (Operatori matematici)



DETERMINAZIONE DELLA FUNZIONE DELLA LOGICA IMPLEMENTATA:

La funzione di questa logica è stata scritta con operatori matematici.
P1) Variabile misurata: Temperatura interna (Ti>24°C e Ti<26°C)
Ti>24°C e Ti<26°C allora y=(x-24)/26-24 dove (x) è il valore della temperatura esterna e (y) è il vaolore di apertura delle tapparelle.
Ti<24°C allora 0
Ti>26°C allora 1

P2) Variabile misurata: Radiazione solare diretta (IDIR>150 W/m^2)
IDIR>150 W/m^2 allora 1
IDIR<150 W/m^2 allora 0

P4) Variabile misurata: Estate (Est=1)
Est=1 allora 1 (estate)
Est=0 allora 0 (inverno)

P5) Variabile misurata: Occupante (Occ=1)
Occ=1 allora 1 se (not(Occ))=1 allora 0 (occupante in stanza)
Occ=0 allora (not(Occ))=1 (occupante non in stanza)

P14) Variabile misurata: Periodo della giornata (Day=1)
Day=1 allora giorno
Day=0 allora notte

COMANDO MOLTIPLICATORE 1(*)= uscite tra 0 e 1 (se l'occupante non è presente, il moltiplicatore2 si annulla)
COMANDO MOLTIPLICATORE 1=(P2*P4*P14*(NOT(P5))*(x-24)/26-24))

P5) Variabile misurata: Occupante (Occ=1)
Occ=1 allora 1 (occupante in stanza)
Occ=0 allora 0 (occupante non in stanza)

P1) Variabile misurata: Temperatura interna (Ti>24°C e Ti<26°C)
Ti>24°C e Ti<26°C allora y=(x-24)/26-24 dove (x) è il valore della temperatura esterna e (y) è il vaolore di apertura delle tapparelle. Se l'occupante è in stanza il valore massimo di apertura tapparelle è 0.75.

Ti<24°C allora 0
Ti>26°C allora 0.75

2) Variabile misurata: Radiazione solare diretta (IDIR>150 W/m^2)
IDIR>150 W/m^2 allora 1
IDIR<150 W/m^2 allora 0

P4) Variabile misurata: Estate (Est=1)
Est=1 allora 1 (estate)
Est=0 allora 0 (inverno)

P14) Variabile misurata: Periodo della giornata (Day=1)
Day=1 allora giorno
Day=0 allora notte

COMANDO MOLTIPLICATORE 2 (*)= uscite tra 0 e 0.75 (se l'occupante è presente, il moltiplicatore1 si annulla)
COMANDO MOLTIPLICATORE 2 =(P2*P4*P5*P14*((x-24)/26-24))

P3) Variabile misurata: Temperatura interna (Ti>22°C e Ti<24°C)
Ti>22°C e Ti<24°C allora y=(x-22)/24-22 dove (x) è il valore della temperatura esterna e (y) è il vaolore di apertura delle tapparelle.
Ti<22°C allora 0
Ti>24°C allora 1

P2) Variabile misurata: Radiazione solare diretta (IDIR>100)
IDIR>150 W/m^2 allora 1
IDIR<150 W/m^2 allora 0

P4) Variabile misurata: Inverno (Est=1)
Est=1 allora 1 (estate)
Est=0 allora (not(Est))=1 (inverno)

P5) Variabile misurata: Occupante (Occ=1)
Occ=1 allora 1 se (not(Occ))=1 allora 0 (occupante in stanza)
Occ=0 allora (not(Occ))=1 (occupante non in stanza)

P14) Variabile misurata: Periodo della giornata (Day=1)
Day=1 allora giorno
Day=0 allora notte ((Not)Day) notte =1

COMANDO MOLTIPLICATORE 3 (*)= uscite tra 0 e 1 (se l'occupante non è presente, il moltiplicatore4 si annulla)
COMANDO MOLTIPLICATORE 3 =(P2*(NOT(P4))*(NOT(P5))*P14*(x-22)/24-22))

P5) Variabile misurata: Occupante (Occ=1)
Occ=1 allora 1 (occupante in stanza)
Occ=0 allora 0 (occupante non in stanza)

P3) Variabile misurata: Temperatura interna (Ti>22°C e Ti<24°C)
Ti>22°C e Ti<24°C allora y=(x-22)/24-22 dove (x) è il valore della temperatura esterna e (y) è il vaolore di apertura delle tapparelle. Se l'occupante è in stanza il valore massimo di apertura tapparelle è 0.75
Ti<22°C allora 0
Ti>24°C allora 0.75

P2) Variabile misurata: Radiazione solare diretta (IDIR>100)
IDIR>150 W/m^2 allora 1
IDIR<150 W/m^2 allora 0

P4) Variabile misurata: Inverno (Est=1)
Est=1 allora 1 (estate)
Est=0 allora (not(Est))=1 (inverno)

P14) Variabile misurata: Periodo della giornata (Day=1)
Day=1 allora giorno
Day=0 allora notte

COMANDO MOLTIPLICATORE 4 (*)= uscite tra 0 e 0.75 (se l'occupante non è presente, il moltiplicatore 3 si annulla)
COMANDO MOLTIPLICATORE 4 =(P2*(NOT(P4)*P5*P14*(x-22)/24-22))

P14) Variabile misurata: Periodo della giornata (Day=1)
Day=1 allora giorno
Day=0 allora notte ((Not)Day) notte =1

COMANDO SOMMATORIA 1(+)= COMANDO MOLTIPLICATORE 1 + COMANDO MOLTIPLICATORE 2 + COMANDO MOLTIPLICATORE 3 + COMANDO MOLTIPLICATORE 4+(NOT(P14))

FUNZIONE CHIUSURA TAPPARELLE DA IMPLEMENTARE SUL PROGRAMMA IDA-ICE:

Sh=(fx)= (P2*P4*P14*(NOT(P5))*(x-24)/26-24)) + (P2*P4*P5*P14*((x-24)/26-24)) + (P2*(-NOT(P4))*(NOT(P5))*P14*(x-22)/24-22)) + (P2*(NOT(P4)*P5*P14*(x-22)/24-22))
+ (NOT(P14))

RISUTATI POSSIBILI= o 0 o 1 o 0.75, oppure variabili tra 0 e 1 o tra 0 e 0.75 a seconda della temperatura interna e della presenza o assenza dell'occupante in stanza

DISPOSITIVI NECESSARI PER L'APPLICAZIONE DELLA LOGICA AL CASO REALE

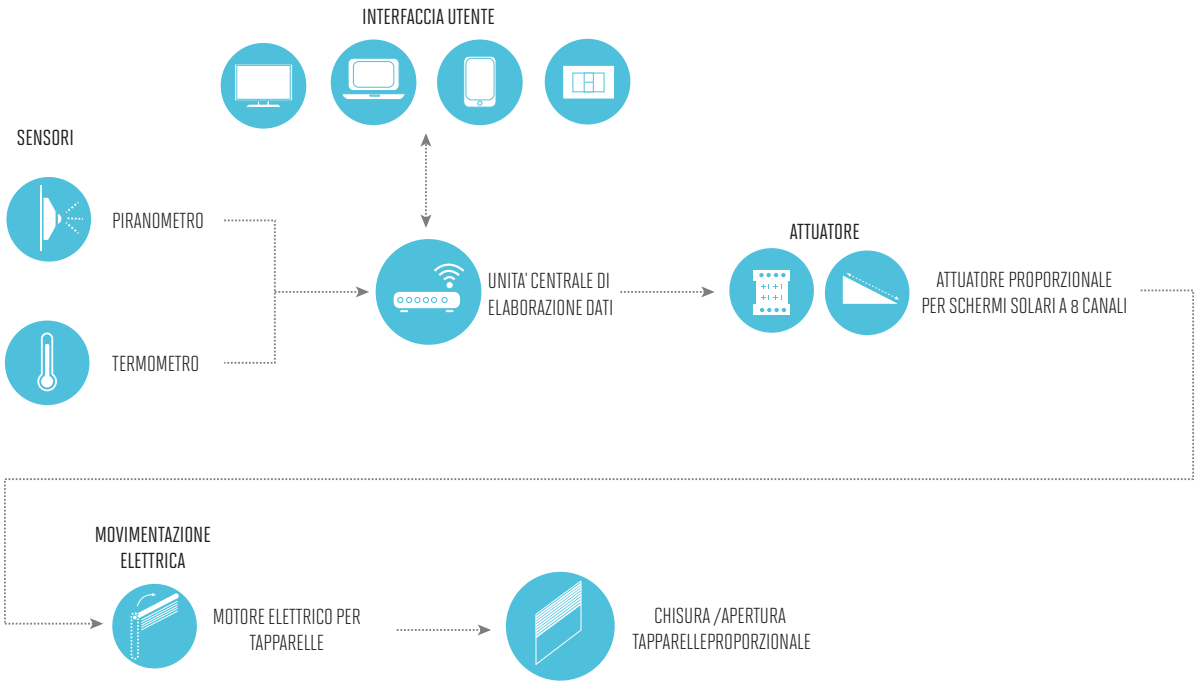
Immaginando di applicare questa singola logica sul caso reale sarebbero necessari diversi dispositivi:

- due sensori
- un'unità centrale
- uno o più sistemi di interfaccia utente
- un attuatore
- una movimentazione elettrica

I due sensori necessari sono un piranometro e un termometro interno. Il primo serve per misurare la radiazione solare esterna incidente sulla parete, mentre il secondo per misurare la temperatura interna. I dati raccolti da questi due sensori vengono inviati all'unità centrale che ha il compito di immagazzinarli e rielaborarli. La rielaborazione di questi dati avviene tramite le logiche progettate, le quali vengono scritte e programmate all'interno dell'unità. Una volta avvenuta la lettura dei dati l'unità centrale ha il compito, se necessario, di inviare un segnale all'attuatore. Quest'ultimo può essere considerato come un interruttore che permette una determinata azione. Nel caso degli schermi solari è necessario un attuatore che oltre ad azionare il motore elettrico della tapparella sia anche in grado gestire un'apertura e una chiusura proporzionale a seconda del segnale inviato dall'unità centrale. Nel nostro caso studio, per implementare questa logica sarebbe necessario installare una movimentazione elettrica per le tapparelle. L'occupante può controllare tutti questi passaggi e interagire con il sistema tramite i sistemi di interfaccia utente (computer, televisione, smartphone, interruttori).

Il mezzo di trasmissione del segnale tra i vari apparecchi può essere di due tipi: via cavo, wired, oppure senza cavo, wireless a seconda del sistema che si decide di installare. Il sistema di comunicazione dati tra i vari dispositivi, invece, dipende dal protocollo scelto. Questo, per far si che i dati vengano trasmessi correttamente da dispositivo a dispositivo, deve essere lo stesso per tutti gli apparecchi.
È importante, inoltre, specificare che gli attuatori da utilizzare con il sistema precedentemente decritto devono essere controllabili da remoto e dunque avere un sistema di comunicazione IP, Bus o Ethernet.

SCHEMA DEI DISPOSITIVI NECESSARI AL FUNZIONAMENTO DELLA LOGICA



5.2.3_SISTEMA DI ILLUMINAMENTO

Per quanto concerne la definizione della logica di controllo riguardante il sistema luminoso sono state prese in considerazione due ipotesi.
Nella prima ipotesi si è deciso di implementare la logica di controllo sul sistema luminoso esistente inserendo un attuatore switch on/ off per ogni terminale, in grado di controllare l'apertura/chiusura delle luci da remoto. Ciò è stato fatto nell'ottica di mantenere le stesse lampadine presenti nel caso studio.
Nella seconda ipotesi invece si è deciso di cambiare il sistema luminoso esistente installando delle lampadine dimmerabili, ovvero in grado di regolare la loro emissione luminosa a comando, ed un attuatore switch on/ off su ognuna. Questa scelta è stata effettuata per permettere al sistema di controllo di modulare l'intensità della luce in modo proporzionale all'illuminamento interno, limitando così al massimo lo spreco di energia (Figura 5.18). Questo sistema è stato inoltre utilizzato negli studi condotti da C.Agemo et al. [26] e nelle logiche di controllo progettate dal Politecnico di Torino per il report Rds/2015/020 [2].

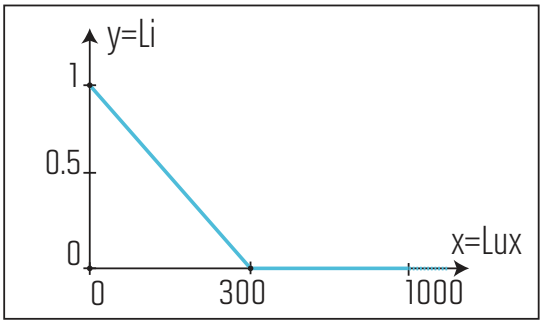


Figura 5.18_Grafico della funzione di proporzionalità

Nel caso del sistema luminoso la logica proporzionale lavora in funzione alla diminuzione dell'illuminamento interno. Questa, dunque, lavora in maniera opposta a quella del sistema schermante, ovvero se l'illuminamento scende al di sotto di un valore di soglia le luci si accendono e aumentano la loro intensità luminosa al diminuire dell'illuminamento interno. Quando l'illuminamento interno è pari a 0 Lux allora l'intensità luminosa della lampadina è massima.

Equazione della retta di proporzionalità tra il livello di illuminamento interno (x) e intensità della luce artificiale (y)
x>MAX y=0
x=MIN y=1

y=(x-MAX)/MIN-MAX

Definite le due ipotesi di partenza per la logica del sistema luminoso si sono studiate ed elencate tutte le variabili che potessero portare all'accensione o alla chiusura delle luci e si è dunque definita la logica di controllo. Questa è la stessa per tutte e due le ipotesi, solo che la prima logica non è proporzionale, ovvero le luci potranno essere o accese 1 o spente 0, mentre la seconda logica è proporzionale e dunque le luci potranno modulare la loro intensità luminosa tra 0 e 1 come riportato in figura 1.
Per fare ciò ci si è basati sugli algoritmi principali precedentemente definiti ricavando solo le nozioni necessarie alla costruzione della logica per il sistema luminoso.

IPOTESI 1-LUCI NON DIMMERABILI_DESCRIZIONE LOGICA E VARIABILI:

ESTATE-INVERNO

- Le luci si accendono quando la quantità di illuminamento (Lux) all'interno della stanza è minore del valore di illuminamento limite imposto (Lux lim) e quando l'occupante è presente in stanza. Se l'occupante non è in stanza le luci non si accendono.

-Quando l'occupante dorme le luci sono spente

IPOTESI 2-LUCI DIMMERABILI_DESCRIZIONE LOGICA E VARIABILI:

ESTATE-INVERNO

- Le luci si accendono quando la quantità di illuminamento (Lux) all'interno della stanza è minore del valore di illuminamento limite imposto (Lux lim) e quando l'occupante è presente in stanza. Se l'occupante non è in stanza le luci non si accendono.

-Quando l'occupante dorme le luci sono spente

Definite le due logiche di controllo e le variabili di input necessarie, si sono definiti i set-point specifici per il sistema di illuminamento.
Questi sono stati ricavati tramite la normativa Uni 10380, che indica per le prestazioni visive semplici valori di illuminamento tra 200 Lux e 400 Lux, e tramite due fonti bibliografiche, ovvero l'articolo "Effect of thermostat and window opening occupant behavior models on energy use in homes" scritto da Simona D'Oca et al.[27], e dal libro "Aria, Calore e Luce. Il comfort ambientale degli edifici"[32] di Uwe Wienke, che consigliano valori di illuminamento tra 100 Lux e 500 Lux. (Figura 5.19)

		Valore ricavato dalla normativa UNI 10380 e dalle fonti bibliografiche [27][32][2] per prestazioni visive semplici
ESTATE INVERNO	Valore di illuminamento interno limite Lux lim	tra 100- 200 Lux e 400-500 Lux

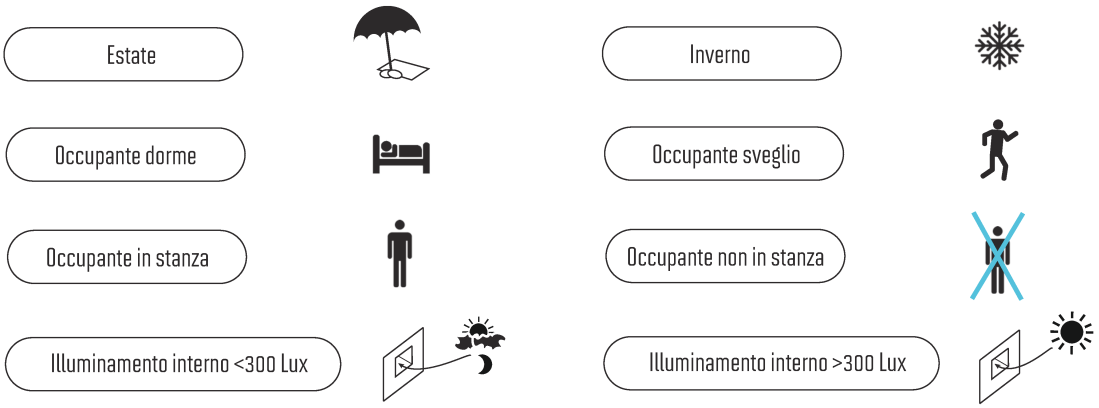
Figura 5.19_Valori confort normativa.

Per questo motivo, al fine della ricerca, servendo un unico valore di set-point è stato scelto come valore di illuminamento limite il valore medio di **300 Lux**

Questo valore è stato inoltre scelto come set-point anche nello studio del Politecnico di Torino per il report Rds/2015/020 [2].

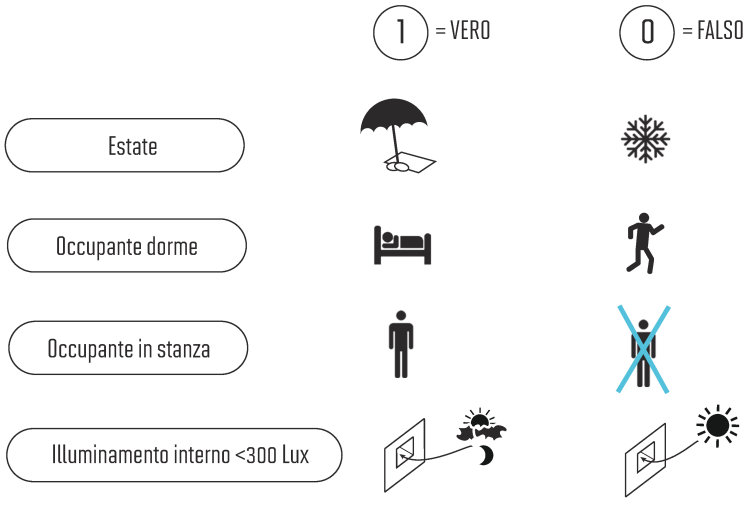
VARIABILI UTILIZZATE PER LA COSTRUZIONE DELLA LOGICA , COMPLETE DEI VALORI DI SET-POINT

Le variabili utilizzate per la costruzione della logica, dunque, sono:
1) Estate-Inverno
2) Occupante dorme-Occupante sveglio
3) Occupante in stanza- Occupante non in stanza
4) Illuminamento interno Lux lim<300 Lux

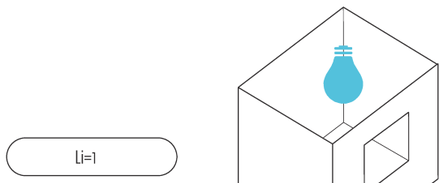


SINTESI GRAFICA DELLE VARIABILI PER L'MPLEMENTAZIONE DELLA LOGICA

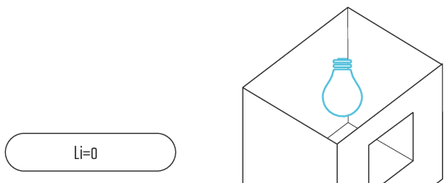
Questa sintesi grafica è stata fatta nell'ottica di impostare le logiche sul programma Ida-Ice. Per questo motivo le variabili di ingresso sono state tradotte nel linguaggio del programma, ovvero in valori 0 e 1, e sono stati definiti gli output possibili della logica.
In questo caso le variabili delle due ipotesi restano le stesse poichè l'unica differenza tra le due logiche è che una non è proporzionale mentre l'altra si.



IPOTESI 1_ NON PROPORZIONALE_POSSIBILI OUTPUT DI APERTURA DELLE LUCI A SECONDA DEI VALORI DELLE VARIABILI DI INPUT

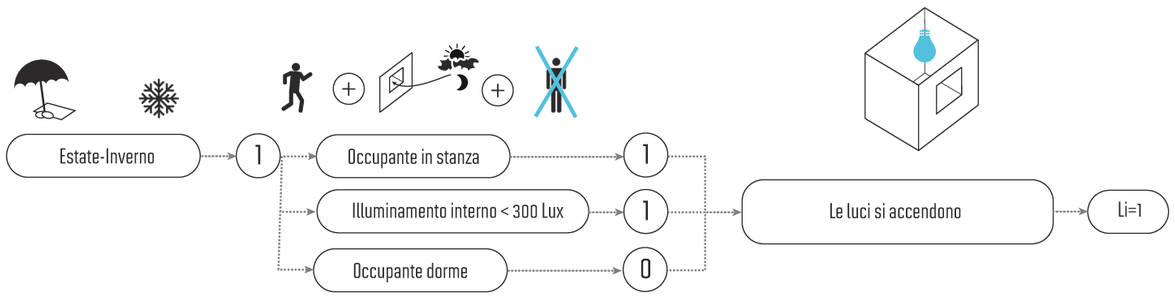


LI= 1 _ Segnale di apertura



LI= 0 _ Segnale di chiusura

LOGICA NON PROPORZIONALE DI APERURA/CHIUSURA LUCI



SINTESI MATEMATICA DELLA LOGICA DELL'IPOTESI 1_APERTURA DELLE LUCI

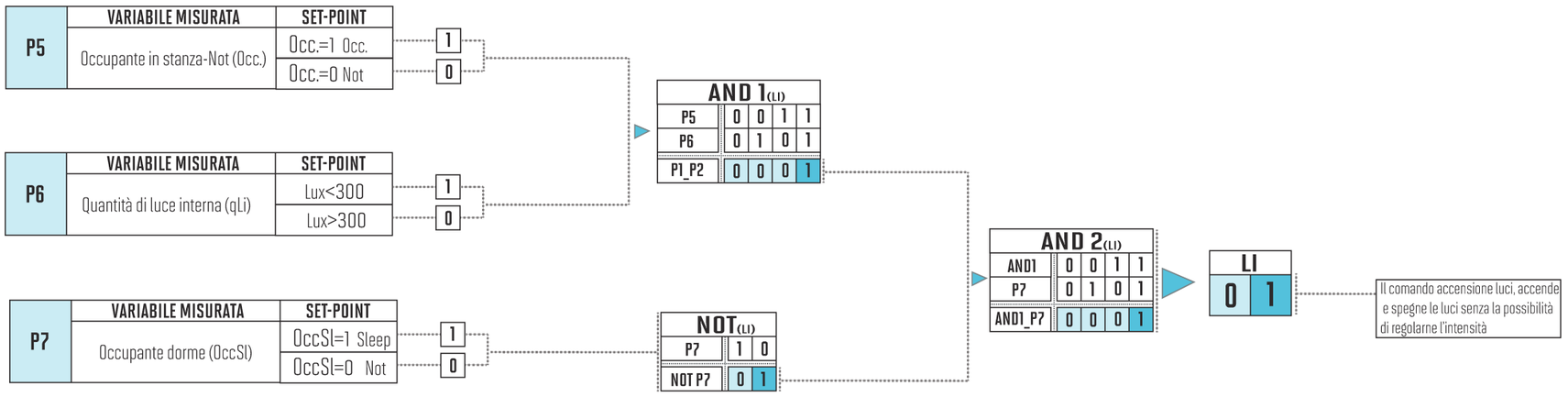
Una volta capito il funzionamento della logica dal punto di vista grafico, si è tradotta in un sistema matematico per riuscire ad impostarla sul software.

SH=1 ⟶ Li=1 se Lux lim<300 Lux ;Occ.=1; OccSl=0

VARABILI PER LA SCRITTURA DELLA LOGICA SUL PROGRAMMA IDA-ICE

P5)Occupante (Occ=1)
P6)Quantità di luce interna (Lux lim<300 Lux)
P7) Occupante dorme (OccSl=1)

SCHEMA DI SCRITTURA DELLA LOGICA SUL PROGRAMMA IDA-ICE (Tabella della verità)



DETERMINAZIONE DELLA FUNZIONE DELLA LOGICA IMPLEMENTATA:

La funzione di questa logica è stata scritta tramite la tabella della verità.

P5)Variabile misurata:Occupante (Occ=1)
Occ=1 allora 1 (occupante in stanza)
Occ=0 allora 0 (occupante non in stanza)

P6)Variabile misurata:Quantità di luce interna (Lux lim<300 Lux)
Lux lim<300 Lux allora 1
Lux lim>300 Lux allora 0

AND1(P5,P6) ;1;0 : il comando di accensione LI=1 passa solo se entrambe le variabili misurate sono vere, ovvero=1

(P5)	0,0,1,1
(P6)	0,1,0,1
(P5,67)	0,0,0,1

P7)Variabile misurata: Occupante dorme (OccSl=1)
OccSl= 1 allora 1 (occupante dorme) (not(OccSl))=0
OccSl= 0 allora 0 (occupante non dorme)

AND2(AND1(P5,P6), (NOT(P7))) ;1;0 : il comando di accensione LI=1 passa solo se entrambe le variabili misurate sono vere, ovvero=1

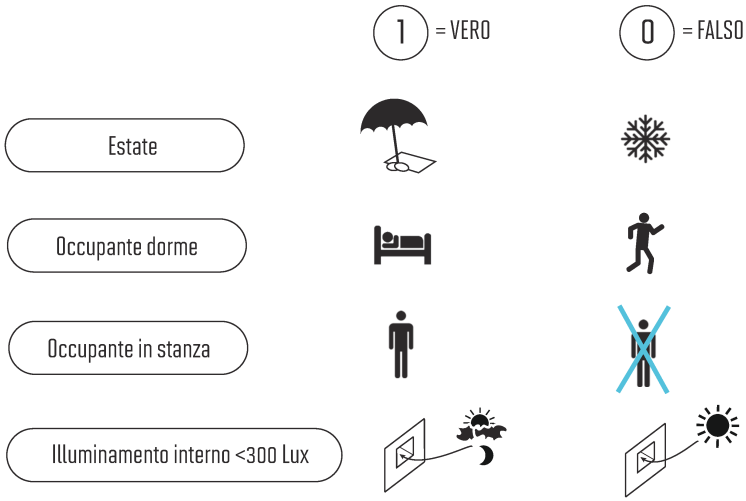
AND1(P5,P6)	0,0,1,1
(NOT(P7))	0,1,0,1
(AND1(P5,P6), (NOT(P7)))	0,0,0,1

FUNZIONE ACCENSIONE DELLE LUCI DA IMPLEMENTARE SUL PROGRAMMA IDA-ICE:

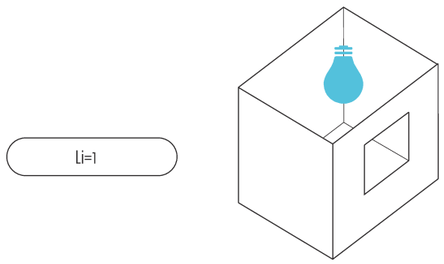
LI=(fx)= AND2(AND1(P5,P6), (NOT(P7)))

RISUTATI POSSIBILI= 1 ; 0

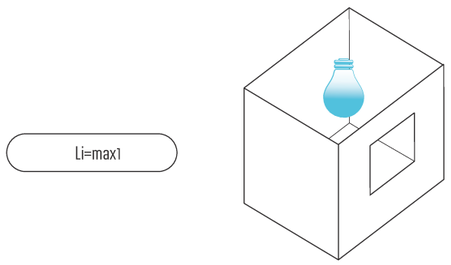
SINTESI GRAFICA DELLE VARIABILI PER L'MPLEMENTAZIONE DELLA LOGICA



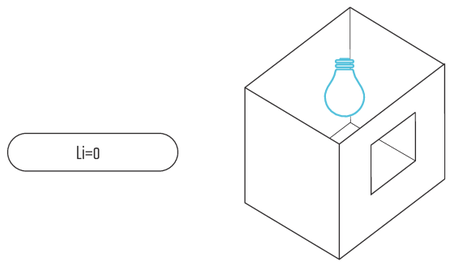
IPOTESI 2_PROPORZIONALE_POSSIBILI OUTPUT DI APERTURA DELLE LUCI A SECONDA DEI VALORI DELLE VARIABILI DI INPUT



LI= 1 _ Segnale di accensione



LI= max 1 _ Segnale di accensione proporzionale fino ad un massimo del 100%



LI= 0 _ Segnale di chiusura

LOGICA PROPORZIONALE DI APERURA/CHIUSURA LUCI

SINTESI MATEMATICA DELLA LOGICA DELL'IPOTESI 2_APERTURA DELLE LUCI

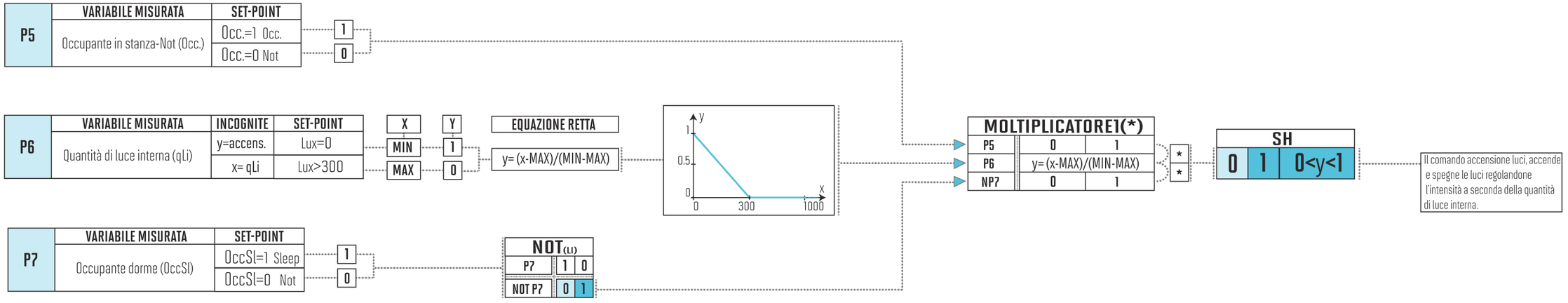
Una volta capito il funzionamento della logica dal punto di vista grafico, si è tradotta in un sistema matematico per riuscire ad impostarla sul software.

SH=max 1 — Li=1 se Lux lim<300 Lux ;Occ.=1; OccSl=0 —
- x>300 Lux y=0
- x=0 Lux y=1
- y=(x-300)/0-300

VARABILI PER LA SCRITTURA DELLA LOGICA SUL PROGRAMMA IDA-ICE

P5)Occupante (Occ=1)
P6)Quantità di luce interna (Lux lim<300 Lux)
P7) Occupante dorme (OccSl=1)

SCHEMA DI SCRITTURA DELLA LOGICA PROPORZIONALE SUL PROGRAMMA IDA-ICE (Operatori matematici)



DETERMINAZIONE DELLA FUNZIONE DELLA LOGICA IMPLEMENTATA:

La funzione di questa logica è stata scritta tramite operatori matematici.

P5)Variabile misurata:Occupante (Occ=1)
Occ=1 allora 1 (occupante in stanza)
Occ=0 allora 0 (occupante non in stanza)

P6)Variabile misurata:Quantità di luce interna (Lux lim<300 Lux)

Lux lim<300 Lux e Lux>0 allora y=(x-300)/0-300 dove (x) è il valore della quantità di luce interna e (y) è il valore di intensità della luce artificiale.

Lux=0 allora 1
Lux lim>300 allora 0

P7)Variabile misurata: Occupante dorme (OccSl=1)
OccSl= 1 allora 1 (occupante dorme) (not(OccSl))=0
OccSl= 0 allora 0 (occupante non dorme)

COMANDO MOLTIPLICATORE 1(*)= uscite tra 0 e 1

COMANDO MOLTIPLICATORE1=(P5*(NOT(P7))*(x-300)/0-300))

FUNZIONE ACCENSIONE DELLE LUCI DA IMPLEMENTARE SUL PROGRAMMA IDA-ICE:

LI=(fx)= (P5*(NOT(P7))*(x-300)/0-300))

RISUTATI POSSIBILI= o 0 o 1, oppure variabili tra 0 e 1

DISPOSITIVI NECESSARI PER L'APPLICAZIONE DELLA LOGICA AL CASO REALE

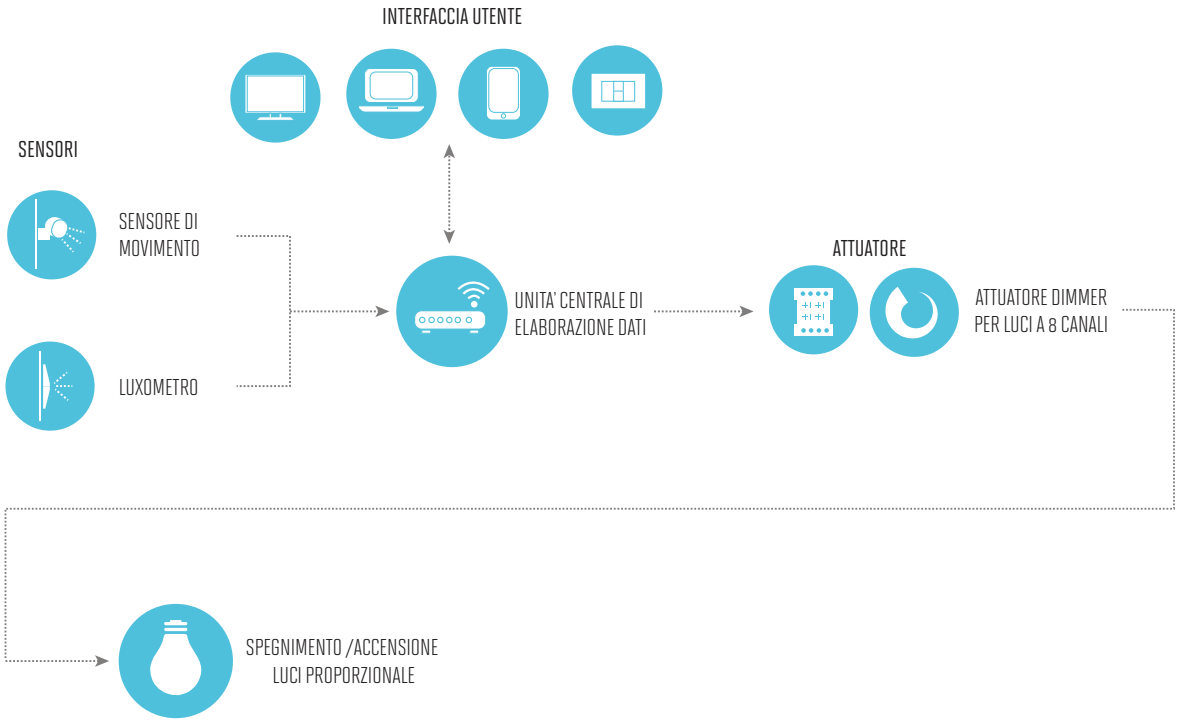
Immaginando di applicare questa singola logica sul caso reale sarebbero necessari diversi dispositivi:

- due sensori
- un'unità centrale
- uno o più sistemi di interfaccia utente
- un attuatore

I due sensori necessari sono un luxometro e un sensore di movimento. Il primo serve per misurare la luminosità interna, mentre il secondo per determinare la presenza in stanza dell'occupante. I dati raccolti da questi due sensori vengono inviati all'unità centrale che ha il compito di immagazzinarli e rielaborarli. La rielaborazione di questi dati avviene tramite le logiche progettate, le quali vengono scritte e programmate all'interno dell'unità. Una volta avvenuta la lettura dei dati l'unità centrale ha il compito, se necessario, di inviare un segnale all'attuatore. Quest'ultimo può essere considerato come un interruttore che permette una determinata azione. Nel caso delle luci è necessario un attuatore che oltre ad accendere e spegnere le luci sia anche in grado di regolare l'intensità luminosa (dimmer) a seconda del segnale inviato dall'unità centrale mediante. L'occupante può controllare tutti questi passaggi e interagire con il sistema tramite i sistemi di interfaccia utente (computer, televisione, smartphone, interruttori).

Il mezzo di trasmissione del segnale tra i vari apparecchi può essere principalmente di due tipi: via cavo, wired, oppure senza cavo, wireless a seconda del sistema che si decide di installare. Il sistema di comunicazione dati tra i vari dispositivi, invece, dipende dal protocollo scelto. Questo, per far si che i dati vengano trasmessi correttamente da dispositivo a dispositivo, deve essere lo stesso per tutti gli apparecchi.
È importante, inoltre, specificare che gli attuatori da utilizzare con il sistema precedentemente descritto devono essere controllabili da remoto e dunque avere un sistema di comunicazione IP, Bus o Ethernet.

SCHEMA DEI DISPOSITIVI NECESSARI AL FUNZIONAMENTO DELLA LOGICA



5.2.4_SISTEMA DI APERTURA/CHIUSURA FINESTRE

Per quanto riguarda la definizione della logica di controllo riguardante l'apertura e la chiusura delle finestre si è deciso di ipotizzare l'utilizzo di una tecnologia che permette l'apertura e la chiusura automatica. Questa scelta è stata fatta al fine di semplificare e rendere più realistici i calcoli con il programma. Se non si fosse fatto così, infatti, come spiegato nel capitolo precedente, si sarebbe dovuto costruire un modello probabilistico complesso basato su dati statistici [27].
Ciò non toglie, però, che in un caso reale questa logica possa essere attuata anche senza l'automatismo di apertura e chiusura delle finestre. Si potrebbe, infatti, trasformare facilmente l'ordine di apertura automatica da parte della logica, in un feedback all'utente dove gli viene consigliata l'apertura. In questo modo però, inserendo la componente personale e psicologica della persona, non si può prevedere se questa aprirà la finestra oppure no, e questo rende impossibile effettuare una previsione energetica tramite un calcolo deterministico.
Si è inoltre deciso di ipotizzare questo tipo di automatismo poiché esistono già vari esempi di applicazioni di questo tipo, come ad esempio nelle aule dell'Università dell'*Enterprise Center a Norwich*, nel Regno Unito.
Un'ulteriore ipotesi effettuata è stata quella di impostare l'apertura delle finestre sempre fino ad apertura totale. Ciò è stato fatto con l'obiettivo di massimizzare il ricambio d'aria quando necessario, e di ridurre al minimo il tempo di apertura delle finestre e lo spreco di energia.
Dunque la logica che si andrà a definire non sarà una logica proporzionale, e le possibili azioni del sistema saranno due: 0 finestra chiusa, 1 finestra aperta. Questa metodologia ci è stata consigliata dal libro "Aria, Calore e Luce. Il comfort ambientale degli edifici" scritto da Uwe Wienke [32]. In questo libro viene specificato come per una ventilazione efficace, in termini di ricambio d'aria e risparmio energetico, sia consigliabile aprire le finestre completamente e per un periodo di tempo ristretto. Un comportamento opposto potrebbe, infatti, portare ad un basso tasso di ricambio dell'aria, alla necessità di prolungare nel tempo l'apertura delle finestre e dunque al raffreddamento delle strutture interne.

Definita l'ipotesi di partenza per la logica sulle finestre, si sono studiate ed elencate tutte le variabili che potessero portare alla chiusura o all'apertura di queste, e si è chiarita la logica di controllo.
Per fare ciò ci si è basati sugli algoritmi principali precedentemente definiti estrapolando solo le nozioni necessarie alla costruzione della logica dell'apertura/chiusura finestre.

FINESTRE_DESCRIZIONE LOGICA E VARIABILI:

ESTATE-INVERNO

- Le finestre si aprono quando c'è una bassa qualità dell'aria interna, ovvero quando la quantità di ppm di CO2 presenti nell'aria interna (CO2) supera la quantità di ppm di CO2 interna limite imposta (CO2 lim). Qualora si verificasse la situazione che all'esterno la qualità dell'aria (OAQ) sia peggiore di quella limite interna (CO2 lim), le finestre non si aprono. Quest'ultima variabile è prioritaria su tutte le altre.
- Le finestre si aprono se e solo se l'occupante è presente in casa.
- Le finestre si aprono solo durante giorno (di notte le tapparelle sono abbassate e le finestre sono chiuse per ragioni di sicurezza).

ESTATE

- Le finestre si aprono quando la temperatura interna (Ti) è maggiore di quella esterna (Te), e se la temperatura interna (Ti) è maggiore della temperatura interna minima limite imposta nel periodo estivo (Ti lim) per il comfort dell'occupante. Inoltre per far si che le finestre si aprano, la quantità di ppm di CO2 nell'aria esterna (OAQ lim) deve essere minore della quantità di ppm di CO2 limite interna imposta (CO2 lim).

INVERNO

- Le finestre si aprono quando l'umidità relativa interna (UR) supera il 70% e quando l'occupante non è in camera, in modo tale da aumentare il comfort abitativo. In questo modo, infatti, l'occupante non deve subire in maniera diretta l'aria fredda, invernale, che entra in stanza. Inoltre per far si che la finestra si apra, la quantità di ppm di CO2 nell'aria esterna(OAQ lim) deve essere minore della quantità di ppm di CO2 limite interna imposta (CO2 lim).
- Le finestre si aprono quando la temperatura esterna (Te) è maggiore della temperatura esterna limite imposta (Te lim) e la temperatura interna (Ti) è minore del valore della temperatura interna limite imposto (Ti lim). Questa regola si rende utile nelle mezze stagioni, ovvero quando la temperatura esterna (Te) è, alle volte, superiore di quella interna (Ti) ma c'è comunque bisogno di riscaldare l'ambiente interno, per raggiungere o mantenere le condizioni di set-point della temperatura interna (Ti) (questa logica corrisponde, come vedremo, alla chiusura dell'impianto, se la temperatura esterna (Te) supera il valore della temperatura esterna limite imposta (Te lim). Inoltre per far si che la finestra si apra, la quantità di ppm di CO2 nell'aria esterna (OAQ lim) deve essere minore della quantità di ppm di CO2 limite interna imposta (CO2 lim). (Dunque, nella logica dello spegnimento dell'impianto troveremo che questo si spegne solo se la qualità dell'aria esterna (OAQ) è sufficientemente buona).

Si è deciso di applicare questa logica in tutte le stanze in maniera indifferenziata, poiché si è supposto che nei bagni e nella cucina, il principale ricambio d'aria avvenga grazie ai sistemi di estrazione meccanica installati. Nel caso che questi sistemi non riuscissero a produrre un'ricambio d'aria sufficiente allora la logica entrerebbe in funzione. L'unica modifica effettuata rispetto la logica generale è stata imposta nei bagni dove si è deciso che, durante la stagione invernale, le finestre possono aprirsi soltanto se l'occupante non è in stanza.

Definita la logica di controllo e le variabili di input necessarie, si sono definiti i set-point specifici per il sistema di apertura/chiusura finestre.
Questi sono stati ricavati a partire dalla norma UNI EN 15 251 European Standard, sulla condizione di comfort (Figura 5.20).

		Condizione di Comfort da norma UNI EN 15251
ESTATE INVERNO	Qualità dell'aria interna	350 ppm< CO_2 < 500 ppm
INVERNO	Umidità Relativa UR	40% < UR < 70%
ESTATE	Temperatura interna	23°C<Ti<26°C
INVERNO	Temperatura interna	20°C<Ti<24°C

Figura 5.20_Valori confort normativa

Per quanto riguarda la qualità dell'aria la norma definisce, per edifici adibiti ad uso abitativo, valori di concentrazione di ppm di CO2 tra i 350 ppm e i 500 ppm. In questo caso, si è deciso di assumere come valore limite un valore intermedio di **400 ppm** di CO2.

Per quanto riguarda l'umidità relativa, durante il periodo invernale, la norma definisce come valori di comfort i valori tra il 40% e il 70% di UR. Per questo motivo si è preso come valore limite l'estremo superiore del **70 %** di umidità relativa.

Per quanto riguarda i set-point di temperatura per l'apertura e la chiusura delle finestre sono stati presi gli estremi dei valori di comfort imposti dalla normativa necessari per la determinazione della logica. Come valore di temperatura minima interna estiva, infatti, si è deciso di assumere la temperatura di **23°C**

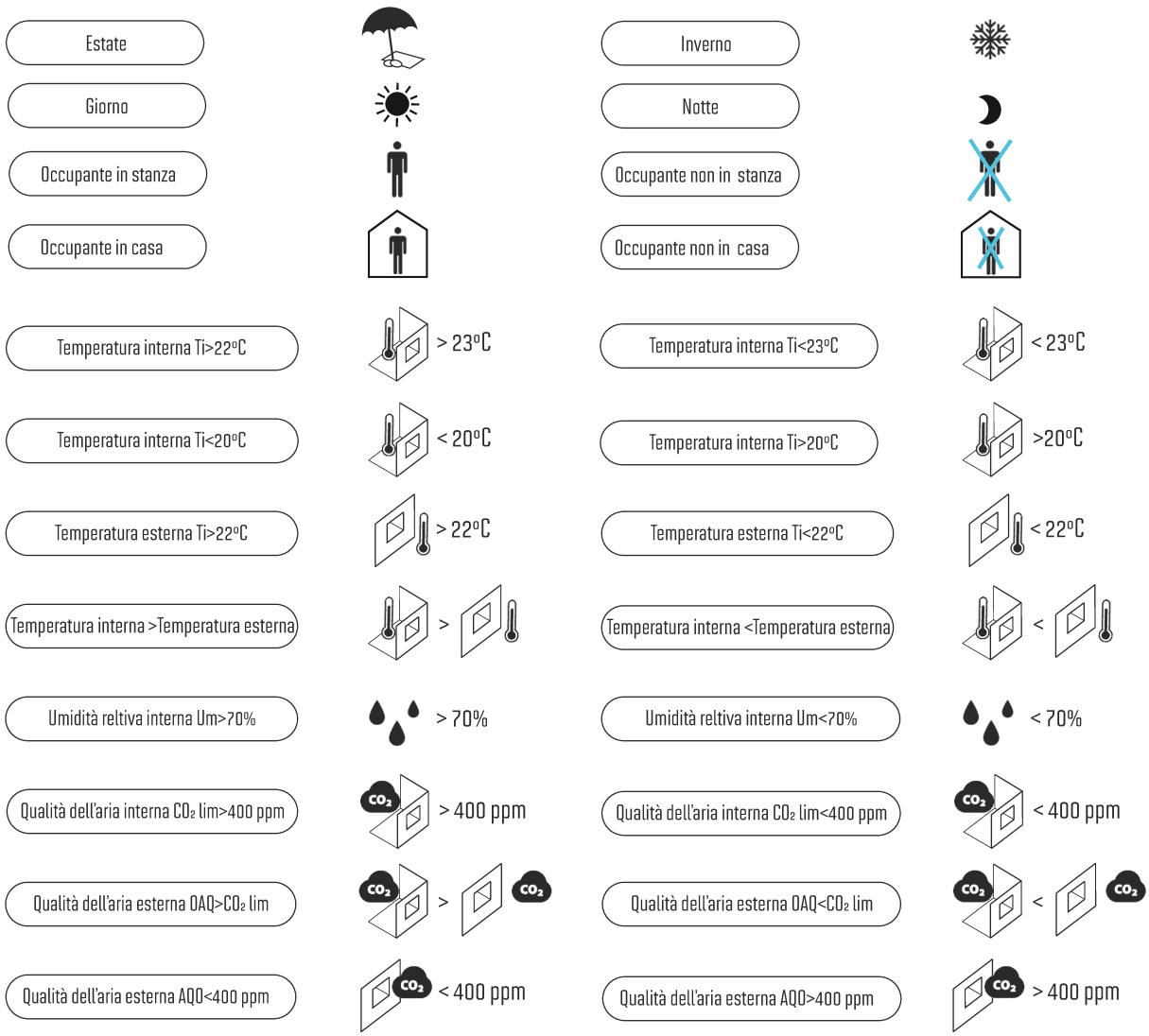
mentre come valore di temperatura minima interna invernale si è deciso di assumere la temperatura di **20°C**

Per il set-point della temperatura esterna, invece, è stato preso il valore di temperatura minima interna invernale, ovvero 20°C e si è aggiunta una banda di sicurezza di 2°C , per assicurarsi di poter sfruttare al meglio il fenomeno del free heating (ovvero di utilizzare il calore dell'aria esterna per scaldare l'ambiente interno). Il set-point della temperatura esterna è dunque di **22°C**

VARIABILI UTILIZZATE PER LA COSTRUZIONE DELLA LOGICA , COMPLETE DEI VALORI DI SET-POINT

Le variabili utilizzate per la costruzione della logica, dunque, sono:

1)Estate-Inverno
2)Giorno-Notte
3)Occupante in stanza- Occupante non in stanza
4)Occupante in casa- Occupante non in casa
5)Temperatura interna limite Ti lim>23°C (estate)
6) Temperatura interna limite Ti lim>20°C (inverno)
7) Temperatura esterna limite Te lim>22°C
8) Umidità relativa UR = 70%
9) Qualità dell'aria interna CO2 lim>400 ppm
10) Qualità dell'aria esterna CO2 lim>OAQ
11) Qualità dell'aria esterna OAQ lim>400 ppm



Tra tutte queste variabili non è stato possibile implementare sul programma Ida-Ice quella del controllo della qualità dell'aria esterna poiché su software non è presente un database contenente i dati reali sull'andamento della quantità di ppm di CO2 in ambiente esterno.
Per questa ragione si è dovuta effettuare una semplificazione al fine del calcolo, riscrivendo una nuova logica senza tener conto di questa variabile.

FINESTRE_DESCRIZIONE LOGICA E VARIABILI_SEMPLIFICATA:

ESTATE-INVERNO

- Le finestre si aprono quando c'è una bassa qualità dell'aria interna, ovvero quando la quantità di ppm di CO2 presenti nell'aria interna (CO2) supera la quantità di ppm di CO2 interna limite imposta (CO2 lim).
- Le finestre si aprono se e solo se l'occupante è presente in casa.
- Le finestre si aprono solo durante giorno (di notte le persiane sono abbassate e le finestre sono chiuse per ragioni di sicurezza).

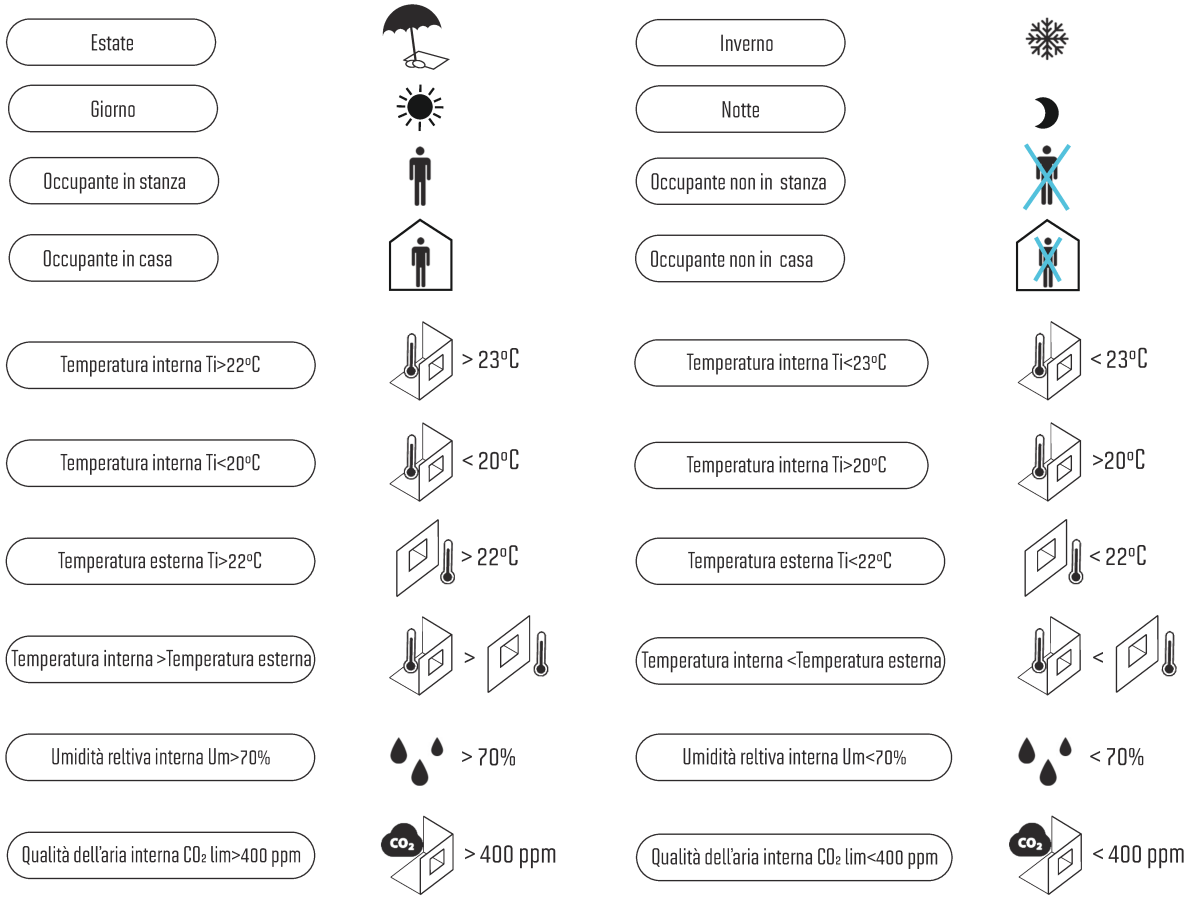
ESTATE

- Le finestre si aprono quando la temperatura interna (Ti) è maggiore di quella esterna (Te), e se la temperatura interna (Ti) è maggiore della temperatura interna minima limite imposta nel periodo estivo (Ti lim) per il comfort dell'occupante.

INVERNO

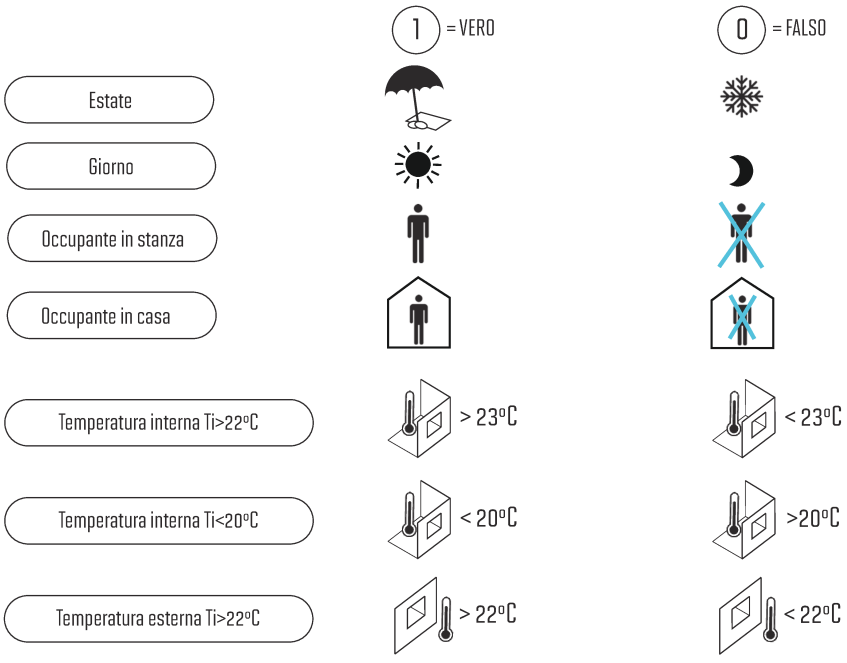
- Le finestre si aprono quando l'umidità relativa interna (UR) supera il 70% e quando l'occupante non è in camera, in modo tale da aumentare il comfort abitativo. In questo modo, infatti, l'occupante non deve subire in maniera diretta l'aria fredda, invernale, che entra in stanza.
- Le finestre si aprono quando la temperatura esterna (Te) è maggiore della temperatura esterna limite imposta (Te lim) e la temperatura interna (Ti) è minore del valore della temperatura interna limite imposto (Ti lim). Questa regola si rende utile nelle mezze stagioni, ovvero quando la temperatura esterna (Te) è, alle volte, superiore di quella interna (Ti) ma c'è comunque bisogno di riscaldare l'ambiente interno, per raggiungere o mantenere le condizioni di set-point della temperatura interna (Ti) (questa logica corrisponde, come vedremo, alla chiusura dell'impianto, se la temperatura esterna (Te) supera il valore della temperatura esterna limite imposta (Te lim).

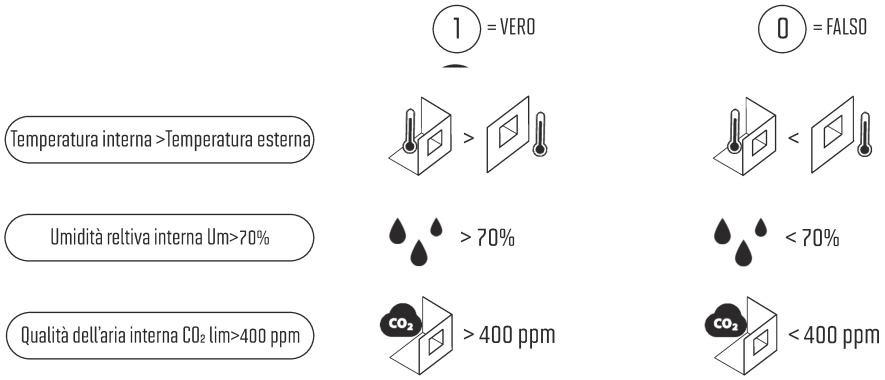
Definita la nuova logica di controllo si sono risistemate le variabili di input necessarie.
Le variabili utilizzate per la costruzione della logica finale, dunque, sono:
1) Estate-Inverno
2) Giorno-Notte
3) Occupante in stanza- Occupante non in stanza
4) Occupante in casa- Occupante non in casa
5) Temperatura interna limite Ti lim=23°C (estate)
6) Temperatura interna limite Ti lim=20°C (inverno)
7) Temperatura esterna limite Te lim=22°C
8) Umidità relativa UR = 70%
9) Qualità dell'aria interna CO2 lim=400 ppm



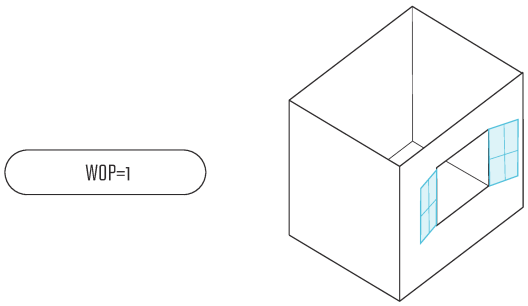
SINTESI GRAFICA DELLE VARIABILI PER L'MPLEMENTAZIONE DELLA LOGICA

Questa sintesi grafica è stata fatta nell'ottica di impostare le logiche sul programma Ida-Ice. Per questo motivo le variabili di ingresso sono state tradotte nel linguaggio del programma, ovvero in valori 0 e 1, e sono stati definiti gli output possibili della logica.

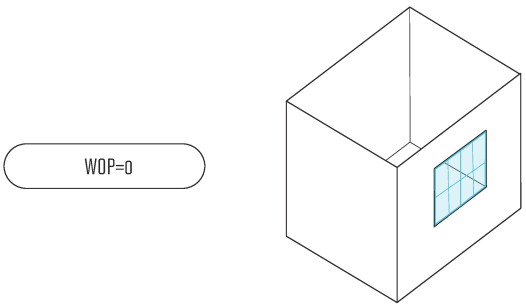




POSSIBILI OUTPUT DI APERTURA /CHIUSURA DELLE FINESTRE A SECONDA DEI VALORI DELLE VARIABILI DI INPUT

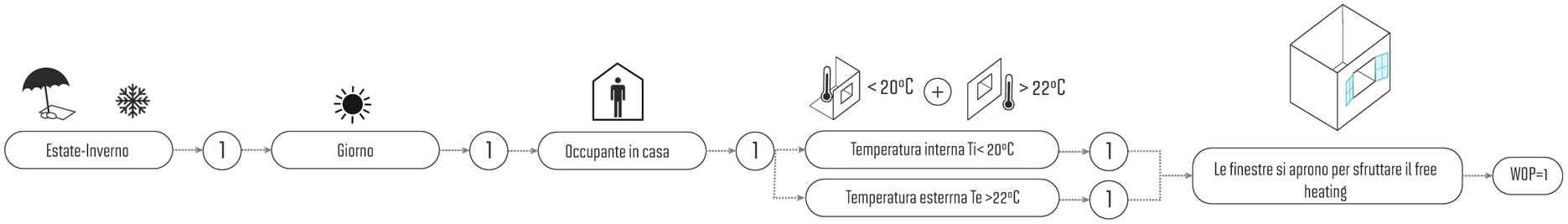


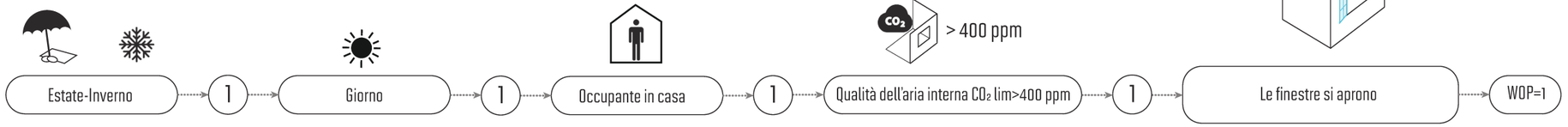
WOP= 1 _ Segnale di apertura finestre

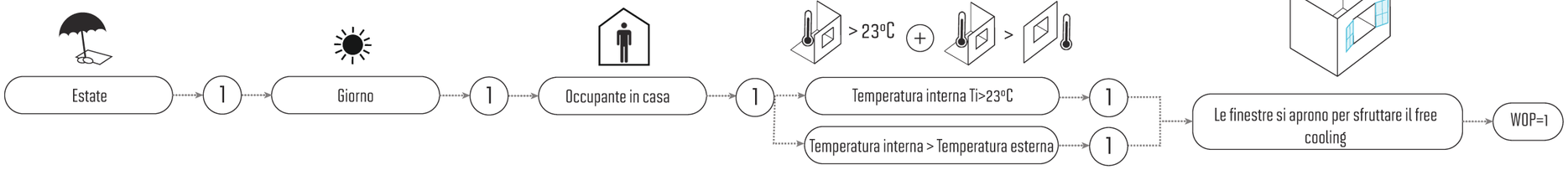


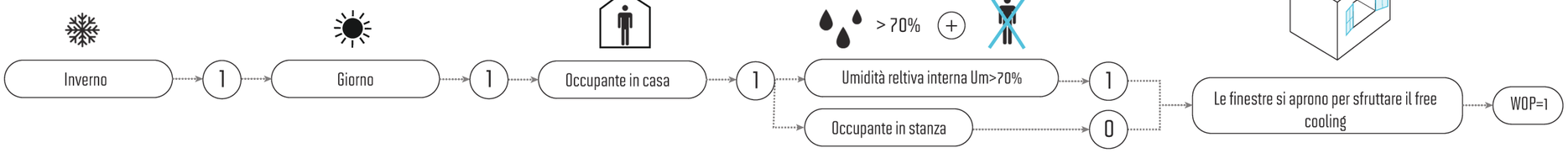
WOP= 0_ Segnale di chiusura

LOGICA DI APERURA/CHIUSURA FINESTRE









SINTESI MATEMATICA DELLA LOGICA

Una volta capito il funzionamento della logica dal punto di vista grafico, si è tradotta in un sistema matematico per riuscire ad impostarla sul software.

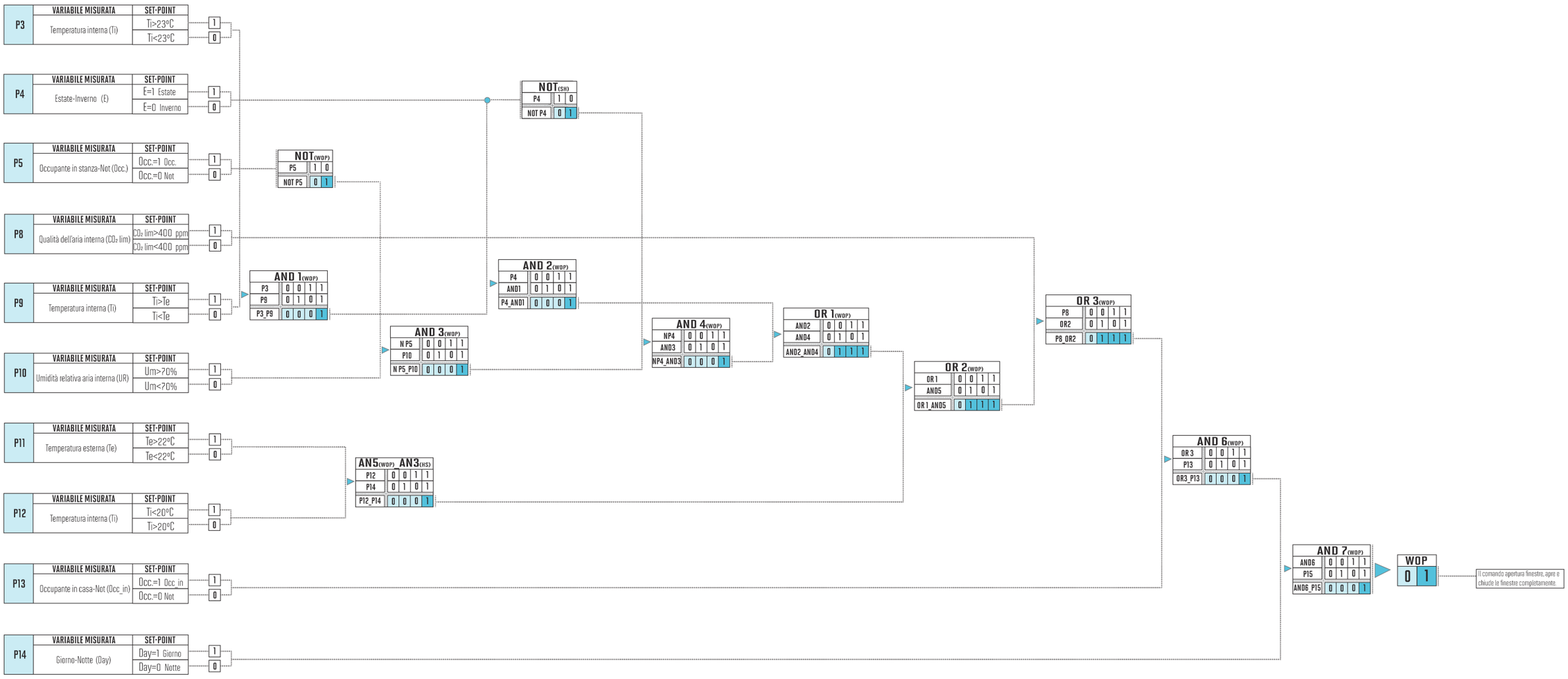
WOP= max 1

- se AQI>400 ppm CO2; Occ_in=1 ; Day=1
- se Est=1 ; Ti>Te ; Ti>23°C; Occ_in=1 ; Day=1
- se Est=0 ; Um>70% ; Occ.=0; Occ_in=1 ; Day=1
- se Te>21 °C ; Ti<20°C ; Occ_in=1 ; Day=1

VARABILI PER LA SCRITTURA DELLA LOGICA SUL PROGRAMMA IDA-ICE

P3) Temperatura interna (Ti>23°C)
P4) Estate (Est=1)
P5) Occupante (Occ=1)
P8) Qualità dell'aria interna(CO_2lim>400 ppm)
P9) Temperatura interna (Ti>Te)
P10) Umidità relativa interna dell'aria (UR>70%)
P11) Temperatura esterna (Te>22°C)
P12) Temperatura interna (Ti<20°C)
P13) Occupante in casa (Occ_in=1)
P14) Periodo della giornata (Day=1)

SCHEMA DI SCRITTURA DELLA LOGICA SUL PROGRAMMA IDA-ICE (Tabella della Verità)



DETERMINAZIONE DELLA FUNZIONE DELLA LOGICA IMPLEMENTATA:

La funzione di questa logica è stata scritta tramite la tabella della verità.

P9) Variabile misurata: Temperatura interna (Ti>Te)
Ti>Te allora 1
Ti<Te allora 0

P3) Variabile misurata: Temperatura interna (Ti>23°C)
Ti>23 °C allora 1
Ti<23 °C allora 0

AND1(P9,P3) ;1;0
Il comando di apertura Wop=1 passa solo se entrambe le variabili misurate sono vere, ovvero=1
(P9) 0,0,1,1
(P3) 0,1,0,1
(P9,P3) 0,0,0,1

P4) Variabile misurata: Estate (Est=1)
Est=1 allora 1 (estate=0)
Est=0 allora (not(Est))=1 (inverno)

AND2(AND1(P9,P3),P4) ;1;0
Il comando di apertura Wop=1 passa solo se entrambe le variabili misurate sono vere, ovvero=1
(P9,P3) 0,0,1,1
(P4) 0,1,0,1
(AND1(P9,P3),P4) 0,0,0,1

P10) Variabile misurata: Umidità relativa interna dell'aria (UR>70%)
UR>70% allora 1
UR<70% allora 0

P5) Variabile misurata: Occupante (Occ=1)
Occ=1 allora 1 (occupante in stanza =0)
Occ=0 allora (not(occ))=1 (occupante non in stanza)

AND3(P10,P5) ;1;0
Il comando di apertura Wop=1 passa solo se entrambe le variabili misurate sono vere, ovvero=1
(P10) 0,0,1,1
(P5) 0,1,0,1
(P10,P5) 0,0,0,1

P4) Variabile misurata: Inverno (Est=1)
Est=1 allora 1 (estate)
Est=0 allora (not(Est))=1 (inverno)

AND4(AND3(P10,P5),P4) ;1;0
Il comando di apertura Wop=1 passa solo se entrambe le variabili misurate sono vere, ovvero=1
AND3(P10,P5) 0,0,1,1
(P4) 0,1,0,1
(AND3(P10,P5),P4) 0,0,0,1

OR1(AND4(AND3(P10,P5),P4), AND2(AND1(P9,P3),P4)) ;1;0
Il comando di apertura Wop=1 passa se una delle due variabili misurate e vera o se entrambe le variabili misurate sono vere.
AND4(AND3(P10,P5),P4) 0,0,1,1
AND2(AND1(P9,P3),P4) 0,1,0,1
(AND4(AND3(P10,P5),P4), AND2(AND1(P9,P3),P4)) 0,1,1,1

P11) Variabile misurata: Temperatura esterna (Te>22°C)
Te>22°C allora 1
Te<22°C allora 0

P12) Variabile misurata: Temperatura interna (Ti<20°C)
Ti<20°C allora 1
Ti>21°C allora 0

AND5(P11,P12) ;1;0
Il comando di apertura Wop=1 passa solo se entrambe le variabili misurate sono vere, ovvero=1
(P11) 0,0,1,1
(P12) 0,1,0,1
(P11,P12) 0,0,0,1

OR2(OR1(AND4(AND3(P10,P5),P4), AND2(AND1(P9,P3),P4)),AND5(P11,P12));1;0
Il comando di chiusura Wop=1 passa se una delle due variabili misurate e vera o se entrambe le variabili misurate sono vere.

OR1(AND4(AND3(P10,P5),P4), AND2(AND1(P9,P3),P4)) 0,0,1,1
AND5(P11,P12) 0,1,0,1
(OR1(AND4(AND3(P10,P5),P4), AND2(AND1(P9,P3),P4)),AND5(P11,P12)) 0,1,1,1

P8) Variabile misurata: Qualità dell'aria (CO_2 lim>400 ppm)
AQI>400 ppm allora 1
AQI<400 ppm allora 0

OR3(OR2(OR1(AND4(AND3(P10,P5),P4),AND2(AND1(P9,P3),P4)),AND5(P11,P12)),P8) ;1;0
Il comando di apertura Wop=1 passa se una delle due variabili misurate e vera o se entrambe le variabili misurate sono vere.

OR2(OR1(AND4(AND3(P10,P5),P4), AND2(AND1(P9,P3),P4)),AND5(P11,P12))	0,0,1,1
(P8)	0,1,0,1
(OR2(OR1(AND4(AND3(P10,P5),P4), AND2(AND1(P9,P3),P4)),AND5(P11,P12)),P8)	0,1,1,1

P13) Variabile misurata: Occupante in casa (Occ_in=1)
Occ_in=1 allora occupante in casa dunque 1
Occ_in=0 allora occupante non in casa dunque 0

AND6(OR3(OR2(OR1(AND4(AND3(P10,P5),P4),AND2(AND1(P9,P3),P4)),AND5(P11,P12)),P8),P13) ;1;0
Il comando di apertura Wop=1 passa solo se entrambe le variabili misurate sono vere, ovvero=1

OR3(OR2(OR1(AND4(AND3(P10,P5),P4),AND2(AND1(P9,P3),P4)),AND5(P11,P12)),P8)	0,0,1,1
(P13)	0,1,0,1
(OR3(OR2(OR1(AND4(AND3(P10,P5),P4),AND2(AND1(P9,P3),P4)),AND5(P11,P12)),P8),P13)	0,0,0,1

P14) Variabile misurata: Periodo della giornata (Day=1)
Day=1 allora giorno dunque 1
Day=0 allora notte dunque 0

AND7(AND6(OR3(OR2(OR1(AND4(AND3(P10,P5),P4),AND2(AND1(P9,P3),P4)),AND5(P11,P12)),P8),P13),P14) ;1;0
Il comando di apertura Wop=1 passa solo se entrambe le variabili misurate sono vere, ovvero=1

AND6(OR3(OR2(OR1(AND4(AND3(P10,P5),P4),AND2(AND1(P9,P3),P4)),AND5(P11,P12)),P8),P13)	0,0,1,1
(P14)	0,1,0,1
(AND6(OR3(OR2(OR1(AND4(AND3(P10,P5),P4),AND2(AND1(P9,P3),P4)),AND5(P11,P12)),P8),P13),P14)	0,0,0,1

FUNZIONE APERTURA FINESTRE DA IMPLEMENTARE SUL PROGRAMMA IDA-ICE:

Wop=(fx)=AND7(AND6(OR3(OR2(OR1(AND4(AND3(P10,P5),P4),AND2(AND1(P9,P3),P4)),AND5(P11,P12)),P8),P13),P14)

RISUTATI POSSIBILI= 1 ; 0

DISPOSITIVI NECESSARI PER L'APPLICAZIONE DELLA LOGICA AL CASO REALE

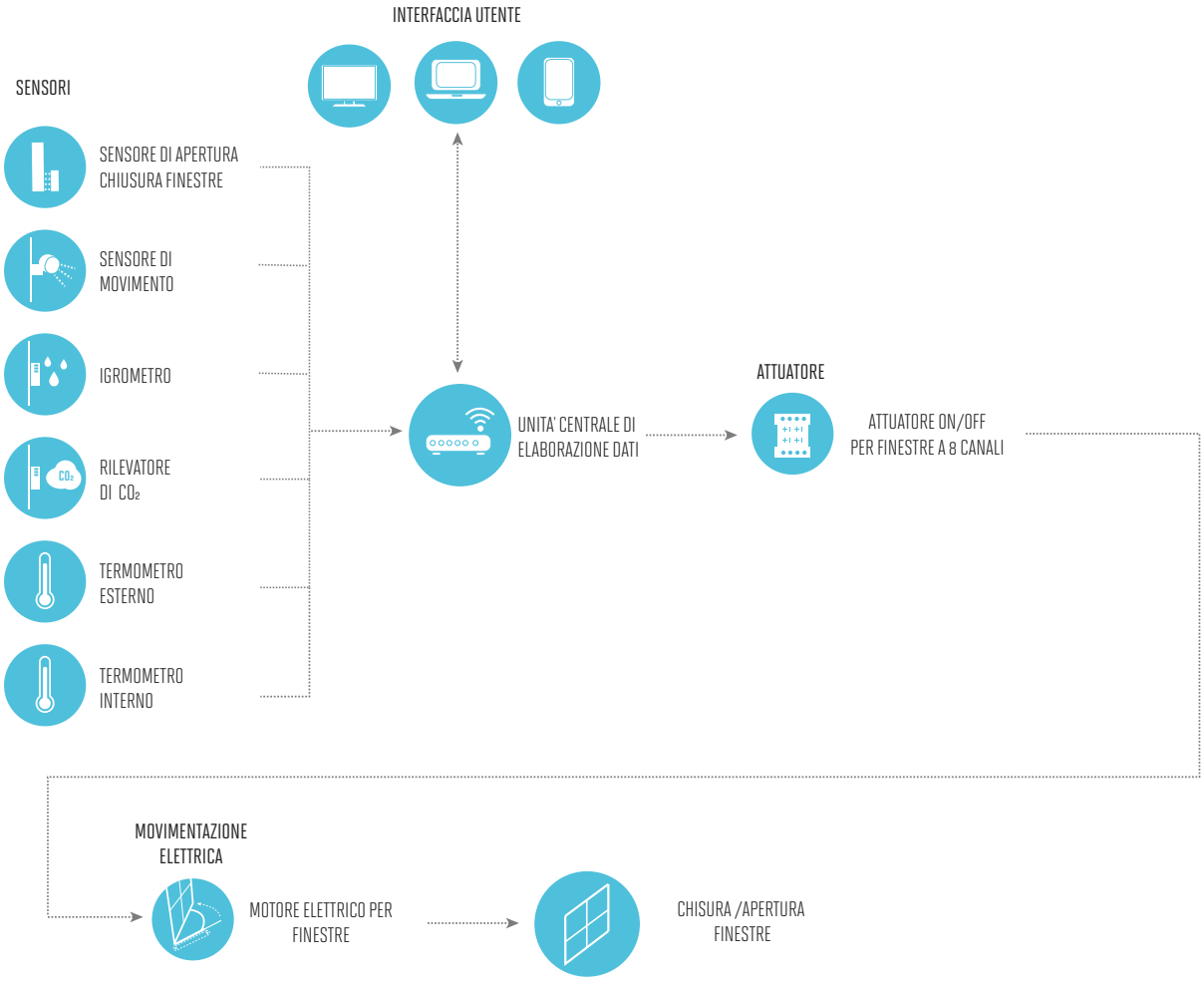
Immaginando di applicare questa singola logica sul caso reale sarebbero necessari diversi dispositivi:

- sei sensori
- un'unità centrale
- uno o più sistemi di interfaccia utente
- un attuatore
- una movimentazione elettrica

I sei sensori necessari sono un sensore di apertura/chiusura finestre, un sensore di rilevamento del movimento, un igrometro, un rilevatore di CO2, un termometro interno e uno esterno.
Il sensore di apertura/chiusura finestre serve per permettere al sistema di capire se le finestre sono aperte oppure chiuse. Il sensore di rilevamento del movimento serve per capire se la persona è in stanza o se la persona è in casa. L'igrometro serve per misurare l'umidità dell'aria, mentre in sensore di CO2 la sua qualità. I due termometri servono, infine, uno per misurare la temperatura dell'aria interna, mentre l'altro la temperatura dell'aria esterna. I dati raccolti da questi sei sensori vengono inviati all'unità centrale che ha il compito di immagazzinarli e rielaborarli. La rielaborazione di questi dati avviene tramite le logiche progettate, le quali vengono scritte e programmate all'interno dell'unità. Una volta avvenuta la lettura dei dati l'unità centrale ha il compito, se necessario, di inviare un segnale all'attuatore. Quest'ultimo può essere considerato come un interruttore che permette una determinata azione. Nel caso delle finestre è necessario un attuatore on/off che azioni il motore elettrico della finestra a seconda del segnale inviato dall'unità centrale. Nel nostro caso studio, per implementare questa logica sarebbe necessario installare una movimentazione elettrica per le finestre. L'occupante può controllare tutti questi passaggi e interagire con il sistema di controllo tramite i sistemi di interfaccia utente (computer, televisione, smartphone, interruttori).

Il mezzo di trasmissione del segnale tra i vari apparecchi può essere principalmente di due tipi: via cavo, wired, oppure senza cavo, wireless a seconda del sistema che si decide di installare. Il sistema di comunicazione dati tra i vari dispositivi, invece, dipende dal protocollo scelto. Questo, per far si che i dati vengano trasmessi correttamente da dispositivo a dispositivo, deve essere lo stesso per tutti gli apparecchi.
È importante, inoltre, specificare che gli attuatori da utilizzare con il sistema precedentemente descritto devono essere controllabili da remoto e dunque avere un sistema di comunicazione IP, Bus o Ethernet.

SCHEMA DEI DISPOSITIVI NECESSARI PER IL FUNZIONAMENTO DELLA LOGICA



5.2.5_SISTEMA DI CONTROLLO IMPIANTO DI RISCALDAMENTO

Per quanto concerne la definizione della logica di controllo riguardante il sistema di riscaldamento, questa è stata sviluppata sia grazie all'aiuto delle fonti bibliografiche, elencate nel paragrafo precedente, sia grazie al programma Ida-Ice.
Per l'impianto di riscaldamento si può parlare di due livelli di gestione:
il primo, più generale, legato a quando aprire l'impianto o a quando chiuderlo; il secondo, più specifico, legato a come modulare la potenza della caldaia al fine del raggiungimento della temperatura di set-point.
Questo secondo livello di gestione dipende dal tipo di caldaia installata.
Principalmente esistono due sistemi di controllo per le caldaie: on-off oppure proporzionale. Nel primo sistema se il termostato ordina l'apertura del impianto la caldaia si accende e lavora con la massima potenza fino al raggiungimento del set point. Nel secondo sistema, invece, se il termostato ordina l'apertura del impianto la caldaia si accende e modula la sua potenza, in proporzione a delle variabili stabilite (che cambiano da caldaia a caldaia), fino al raggiungimento del set point.
Grazie all'utilizzo dei controller preimpostati di Ida-Ice è stato possibile scegliere le variabili secondo le quali far modulare la potenza della caldaia.
Utilizzando, infatti, il controller Termostat si è imposto che la potenza della caldaia si moduli in funzione della temperatura esterna e della temperatura interna utilizzando la curva di termoregolazione di Roma. Ciò significa che all'aumentare della temperatura esterna e all'avvicinarsi al valore di set-point della temperatura interna la potenza della caldaia diminuisce in funzione della curva di termoregolazione di Roma (Figura 5.21).

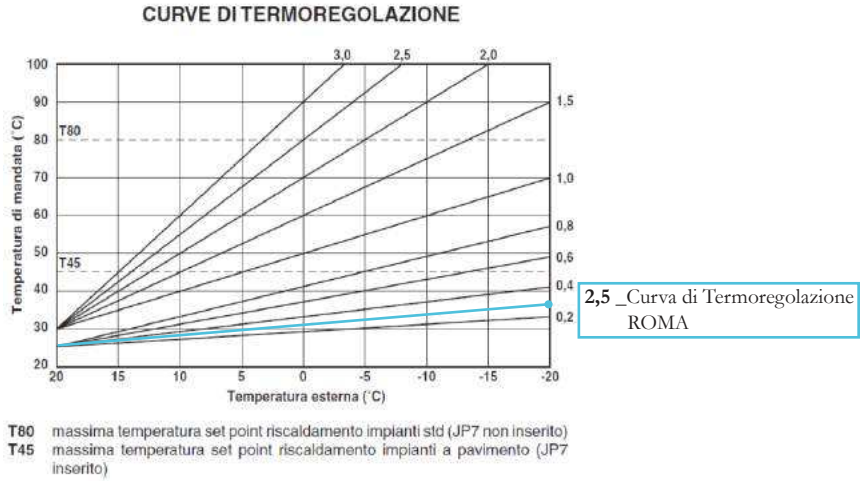


Figura 5.21_Curve di termoregolazione

Una volta definito il controller proporzionale, fornitoci direttamente dal software, si sono studiate ed elencate tutte le variabili che potessero portare alla chiusura o all'apertura dell'impianto, e si è chiarita la logica di controllo.
Per fare ciò ci si è basati sugli algoritmi principali precedentemente definiti estrapolando solo le nozioni necessarie alla costruzione della logica dell'accensione/chiusura impianto.

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO_DESCRIZIONE LOGICA E VARIABILI:

INVERNO-PERIODO DI RISCALDAMENTO ROMA (1 Novembre-15 Aprile)

- Il riscaldamento si accende, in maniera proporzionale ai parametri della temperatura esterna (Te) e della temperatura interna (Ti) grazie al comando Termostat del software ida-ice, quando durante il giorno la temperatura interna (Ti) è minore del valore della temperatura interna limite imposta (Ti lim).
- Il riscaldamento si accende, in maniera proporzionale ai parametri della temperatura esterna (Te) e della temperatura interna (Ti) grazie al comando Termostat del software ida-ice, quando durante la notte la temperatura interna (Ti) è minore del valore della temperatura interna limite imposta (Ti lim).
- Il riscaldamento si spegne se la temperatura esterna (Te) è maggiore del valore della temperatura esterna limite imposta (Te lim) e se la temperatura interna (Ti) è minore del valore della temperatura interna limite imposta (Ti lim) (in modo tale da sfruttare la temperatura esterna per riscaldare l'ambiente: free-heating). Inoltre la qualità dell'aria esterna (OAQ) deve essere sufficientemente buona per aprire le finestre, ovvero i ppm di CO2 contenuti nell'aria esterna devono essere inferiori al valore di ppm di CO2 limite imposto per l'aria interna (CO2 lim).

Definita la logica di controllo e le variabili di input necessarie, si sono definiti i set-point specifici per il sistema di accensione dell'impianto.
Questi sono stati ricavati a partire dalla norma UNI EN 15 251 European Standard, sulla condizione di comfort (Figura 5.22).

		Condizione di Comfort da norma UNI EN 15251
INVERNO GIORNO	Temperatura interna	20°C<Ti<24°C
INVERNO NOTTE	Temperatura interna	18°C<Ti<20°C
ESTATE INVERNO	Qualità dell'aria interna	350 ppm< CO_2 < 500 ppm

Figura 5.22_Valori confort normativa

Per quanto riguarda i set-point di temperatura per l'apertura dell'impianto sono stati presi due valori, uno per la notte e uno per il giorno. La normativa definisce, infatti, che il valore minimo per la temperatura interna durante il periodo notturno è di **18°C** mentre durante il periodo diurno è di **20°C**

Per quanto riguarda il set-point della temperatura esterna, invece, è stato preso il valore di temperatura minima interna invernale, ovvero 20°C e si è aggiunta una banda di sicurezza di 2°C , per

assicurarsi di poter chiudere l'impianto e aprire le finestre per sfruttare al meglio il fenomeno del free heating. Il set-point della temperatura esterna impostato è dunque di **22°C**

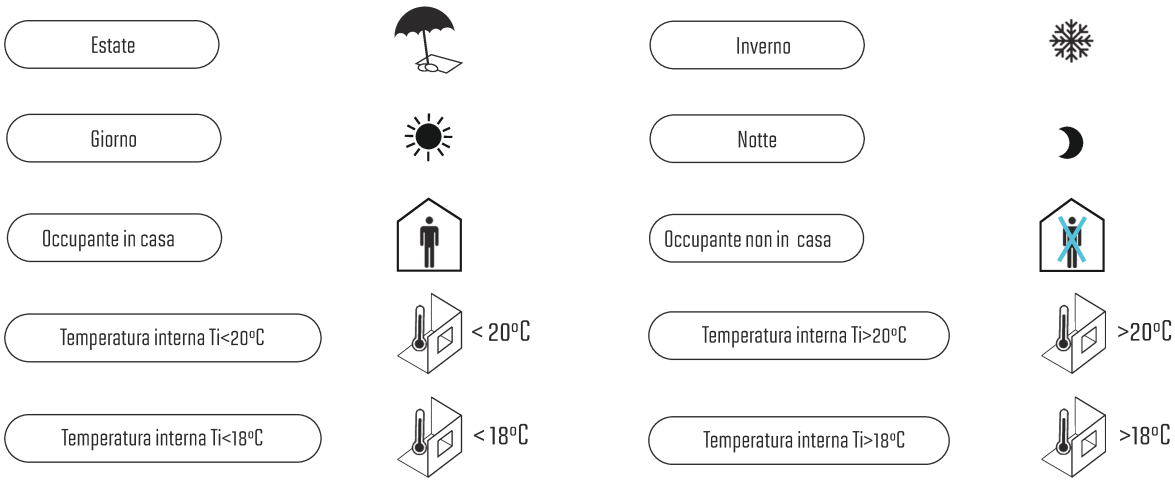
Per quanto riguarda, invece, il set-point della qualità dell'aria esterna si è assunto come valore limite di ppm di CO2 il valore precedentemente imposto per la qualità dell'aria interna ovvero **400 ppm** (valore medio tra i valori consigliati dalla normativa). Ciò è stato fatto poiché assume un senso aprire le finestre solo se la qualità dell'aria esterna è migliore della qualità dell'aria interna.
Si è deciso di applicare questa logica in tutte le stanze in maniera indifferenziata. L'unica eccezione è stata fatta sui valori di set-point della temperatura interna del bagno per i quali si è deciso di alzare il valore di 2°C sia per la notte che per il giorno.

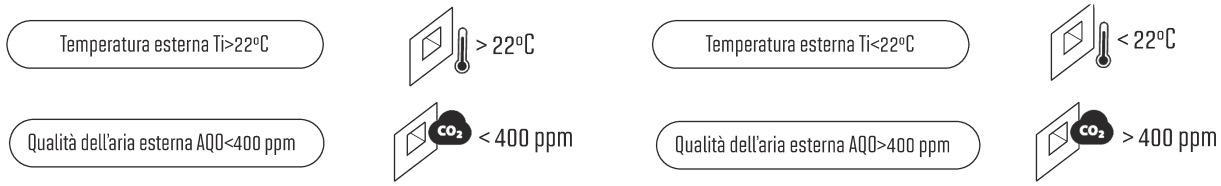
Il set-point notturno per i bagni e dunque di **20°C**

mentre quello diurno è di **22°C**

VARIABILI UTILIZZATE PER LA COSTRUZIONE DELLA LOGICA , COMPLETE DEI VALORI DI SET-POINT

Le variabili utilizzate per la costruzione della logica, dunque, sono:
1)Estate-Inverno
2)Giorno-Notte
3)Occupante in casa- Occupante non in casa
4)Temperatura interna limite Ti lim=20°C (giorno)
5) Temperatura interna limite Ti lim=18°C (notte)
6) Temperatura esterna limite Te lim=22°C
7) Qualità dell'aria esterna OAQ lim=400 ppm





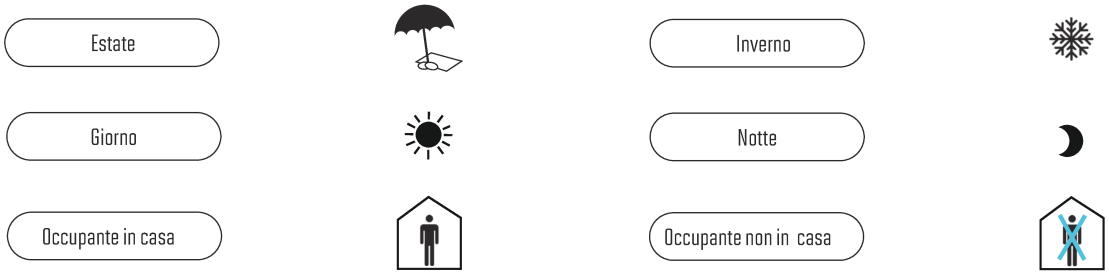
Tra tutte queste variabili non è stato possibile implementare sul programma Ida-Ice quella del controllo della qualità dell'aria esterna poiché sul software non è presente un database contenente i dati reali sull'andamento della quantità di ppm di CO2 in ambiente. Per questa ragione si è dovuta effettuare una semplificazione al fine del calcolo, riscrivendo una nuova logica senza tener conto di questa variabile.

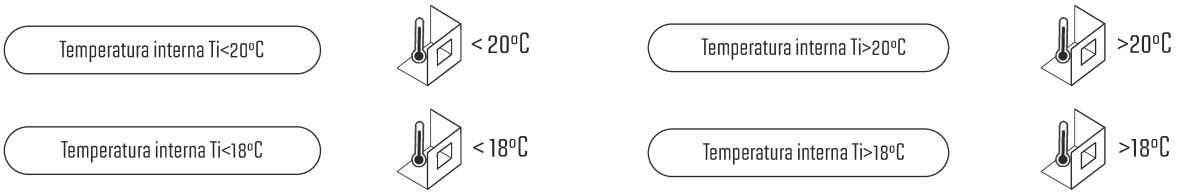
IMPIANTO DI RISCALDAMENTO_DESCRIZIONE LOGICA E VARIABILI_SEMPLIFICATA:

INVERNO-PERIODO DI RISCALDAMENTO ROMA (1 Novembre-15 Aprile)

- Il riscaldamento si accende, in maniera proporzionale ai parametri della temperatura esterna (Te) e della temperatura interna (Ti) grazie al comando Termostat del software ida-ice, quando durante il giorno la temperatura interna (Ti) è minore del valore della temperatura interna limite imposta (Ti lim).
- Il riscaldamento si accende, in maniera proporzionale ai parametri della temperatura esterna (Te) e della temperatura interna (Ti) grazie al comando Termostat del software ida-ice, quando durante la notte la temperatura interna (Ti) è minore del valore della temperatura interna limite imposta (Ti lim).
- Il riscaldamento si spegne se la temperatura esterna (Te) è maggiore del valore della temperatura esterna limite imposta (Te lim) e se la temperatura interna (Ti) è minore del valore della temperatura interna limite imposta (Ti lim) (in modo tale da sfruttare la temperatura esterna per riscaldare l'ambiente_ free heating).

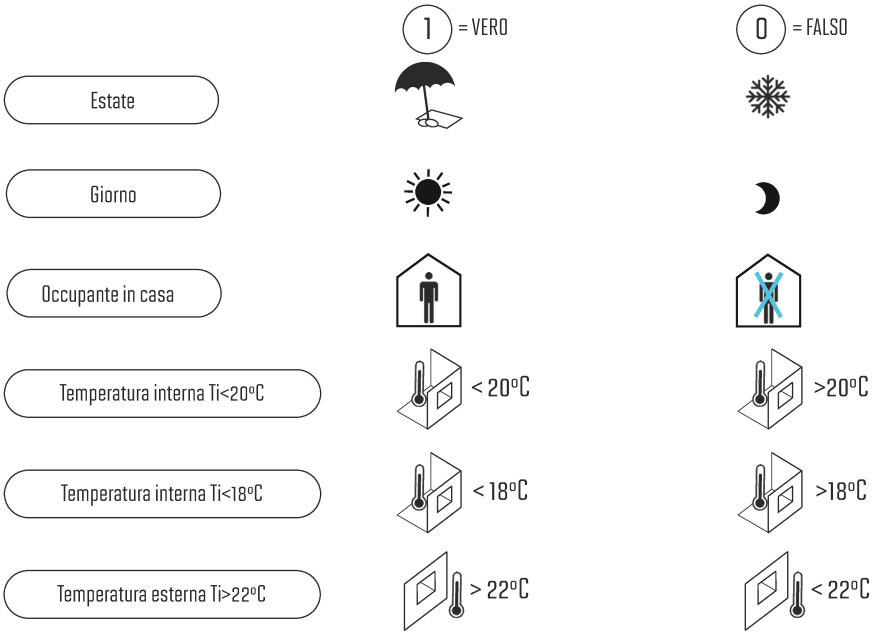
Definita la nuova logica di controllo si sono risistemate le variabili di input necessarie.
Le variabili utilizzate per la costruzione della logica finale, dunque, sono:
1)Estate-Inverno
2)Giorno-Notte
3)Occupante in casa- Occupante non in casa
4)Temperatura interna limite Ti lim=20°C (giorno)
5) Temperatura interna limite Ti lim=18°C (notte)
6) Temperatura esterna limite Te lim=22°C



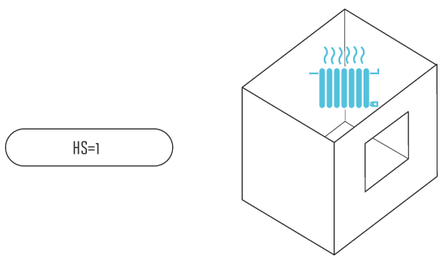


SINTESI GRAFICA DELLE VARIABILI PER L'MPLEMENTAZIONE DELLA LOGICA

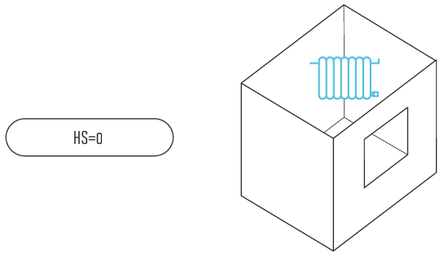
Questa sintesi grafica è stata fatta nell'ottica di impostare le logiche sul programma Ida-Ice. Per questo motivo le variabili di ingresso sono state tradotte nel linguaggio del programma, ovvero in valori 0 e 1, e sono stati definiti gli output possibili della logica.



POSSIBILI OUTPUT DI ACCENSIONE /CHIUSURA DELL'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO A SECONDA DEI VALORI DELLE VARIABILI DI INPUT

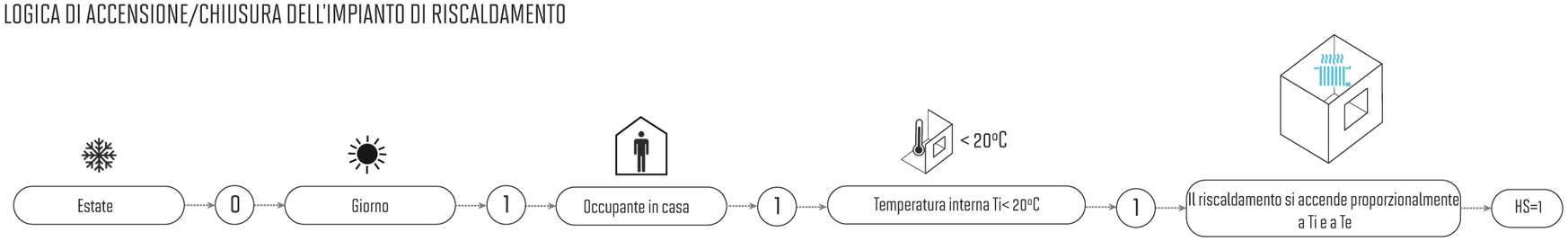


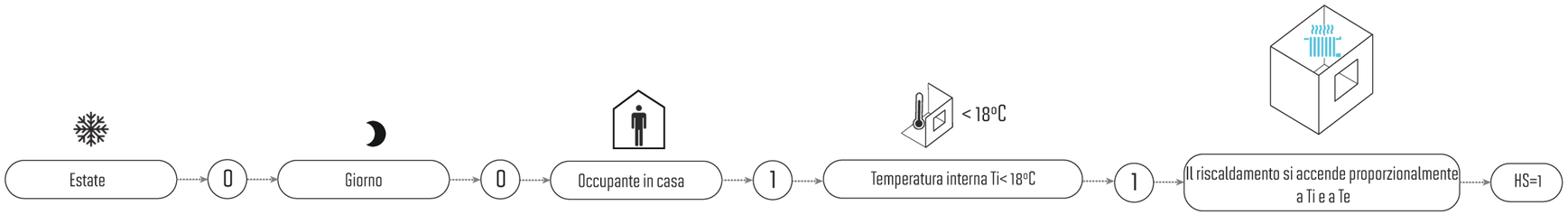
HS= 1 _ Segnale di accensione

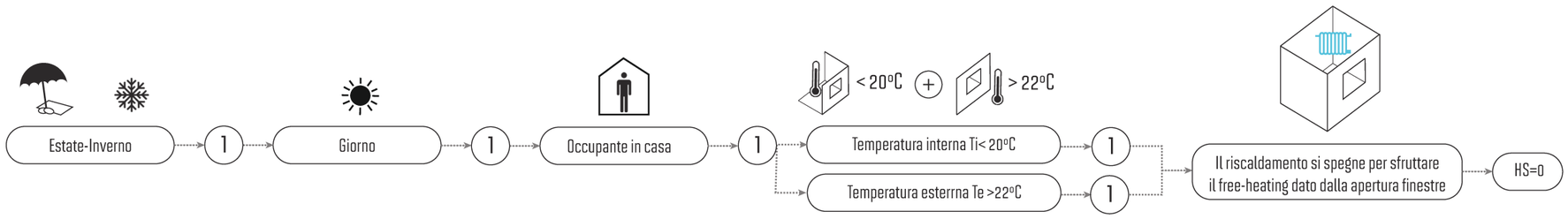


HS= 0 _ Segnale di chiusura

LOGICA DI ACCENSIONE/CHIUSURA DELL'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO







SINTESI MATEMATICA DELLA LOGICA

Una volta capito il funzionamento della logica dal punto di vista grafico, si è tradotta in un sistema matematico per riuscire ad impostarla sul software.

HS=max 1

- se Ti<20°C ; Day=1 ; Occ_in=1
- se Ti<18°C ; Day=0 ; Occ_in=1

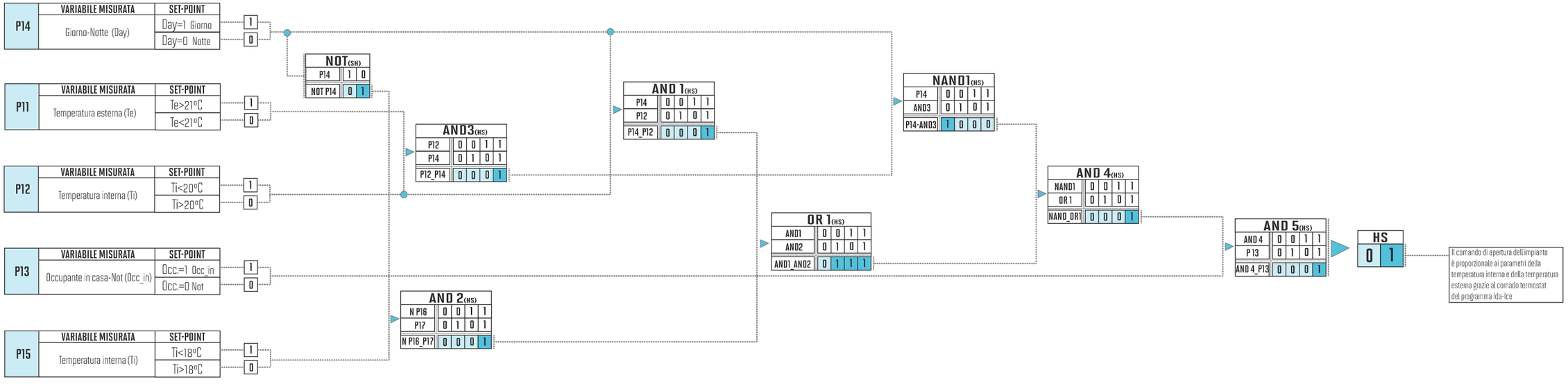
HS= 0

- se Te>22°C; Ti<20°C; Occ_in=1; day=1

VARABILI PER LA SCRITTURA DELLA LOGICA SUL PROGRAMMA IDA-ICE

P11) Temperatura esterna (Te>22°C)
P12) Temperatura interna (Ti<20°C)
P13) Occupante in casa (Occ_in=1)
P14) Periodo della giornata (Day=1)
P15) Temperatura interna(Ti<18°C)

SCHEMA DI SCRITTURA DELLA LOGICA SUL PROGRAMMA IDA-ICE (Tabella della Verità)



DETERMINAZIONE DELLA FUNZIONE DELLA LOGICA IMPLEMENTATA:

La funzione di questa logica è stata scritta tramite la tabella della verità.

P12) Variabile misurata: Temperatura interna (Ti<20°C)
Ti<20 °C allora 1
Ti>20 °C allora 0

P14) Variabile misurata: Periodo della giornata (Day=1)
Day=1 allora giorno dunque 1
Day=0 allora notte dunque 0

AND1(P12,P14) ;1;0
Il comando di apertura impianto Hs=1 passa solo se entrambe le variabili misurate sono vere, ovvero=1
(P12) 0,0,1,1
(P14) 0,1,0,1
(P12,P14) 0,0,0,1

P15) Variabile misurata: Temperatura interna (Ti<18)
Ti<18 allora 1
Ti>18 allora 0

P14) Variabile misurata: Periodo della giornata (Day=1)
Day=1 allora giorno dunque 1
Day=0 allora (not(Day)) notte 1

AND2(P15,NOT(P14)) ;1;0
Il comando di apertura impianto Hs=1 passa solo se entrambe le variabili misurate sono vere, ovvero=1
(P15) 0,0,1,1
NOT(P14) 0,1,0,1
(P15,NOT(P14)) 0,0,0,1

OR1(AND1(P12,P14),AND2(P15,NOT(P14))) ;1;0
Il comando di apertura impianto=1 passa se una delle due variabili misurate e vera o se entrambe le variabili misurate sono vere.
AND1(P12,P14) 0,0,1,1
AND2(P15,NOT(P14)) 0,1,0,1
(AND1(P12,P14),AND2(P15,NOT(P14))) 0,1,1,1

P11) Variabile misurata: Temperatura esterna (Te>22 °C)
Te>22 °C allora 1
Te<22 °C allora 0

P12) Variabile misurata: Temperatura interna (Ti<20 °C)
Ti<20 °C allora 1
Ti>20 °C allora 0

AND3(P11,P12) ;1;0
Il comando di chiusura impianto Hs=0 passa solo se entrambe le variabili misurate sono vere, ovvero=1.
(P11) 0,0,1,1
(P12) 0,1,0,1
(P11,P12) 0,0,0,1

P14) Variabile misurata: Periodo della giornata (Day=1)
Day=1 allora giorno dunque 1
Day=0 allora notte dunque 0

NAND1(AND3(P11,P12),P14) ;1;0
Il comando di chiusura impianto Hs=0 passa solo se entrambe le variabili misurate sono vere, ovvero=1 . Con il comando NOTAND poi si trasforma il comando di apertura in comando di chiusura. Infatti, con questa logica di controllo, due imput 1 corrispondono ad un output 0.
AND3(P11,P12) 0,0,1,1
(P14) 0,1,0,1
(AND3(P11,P12),P14) 1,1,1,0

AND4(OR1(AND1(P12,P14),AND2(P15,NOT(P14))), NAND1(AND3(P11,P12),P14)) ;1;0
Il comando apertura impianto Hs=1 passa solo se entrambe le variabili misurate sono vere, ovvero=1
OR1(AND1(P12,P14),AND2(P15,NOT(P14))) 0,0,1,1
NAND1(AND3(P11,P12),P14) 0,1,0,1
(OR1(AND1(P12,P14),AND2(P15,NOT(P14))), NAND1(AND3(P11,P12),P14)) 0,0,0,1

P13) Variabile misurata: Occupante in casa (Occ_in=1)
Occ_in=1 allora occupante in casa dunque 1
Occ_in=0 allora occupante non in casa dunque 0

AND5(AND4(OR1(AND1(P12,P14),AND2(P15,NOT(P14))), NAND1(AND3(P11,P12),P14)), P13) ;1;0
Il comando apertura impianto Hs=1 passa solo se entrambe le variabili misurate sono vere, ovvero=1
AND4(OR1(AND1(P12,P14),AND2(P15,NOT(P14))), NAND1(AND3(P11,P12),P14)) 0,0,1,1
(P13) 0,1,0,1
(AND4(OR1(AND1(P12,P14),AND2(P15,NOT(P14))), NAND1(AND3(P11,P12),P14)), P13) 0,0,0,1

FUNZIONE APERTURA IMPIANTO DA IMPLEMENTARE SUL PROGRAMMA IDA-ICE:

Hs=(fx)=AND5(AND4(OR1(AND1(P12,P14),AND2(P15,NOT(P14))),NAND1(AND3(P11,P12),P14)), P13)

RISUTATI POSSIBILI= o 0 o 1 , oppure variabili tra 0 e 1 a seconda dei set point impostati

DISPOSITIVI NECESSARI PER L'APPLICAZIONE DELLA LOGICA AL CASO REALE

Immaginando di applicare questa singola logica sul caso reale sarebbero necessari diversi dispositivi:

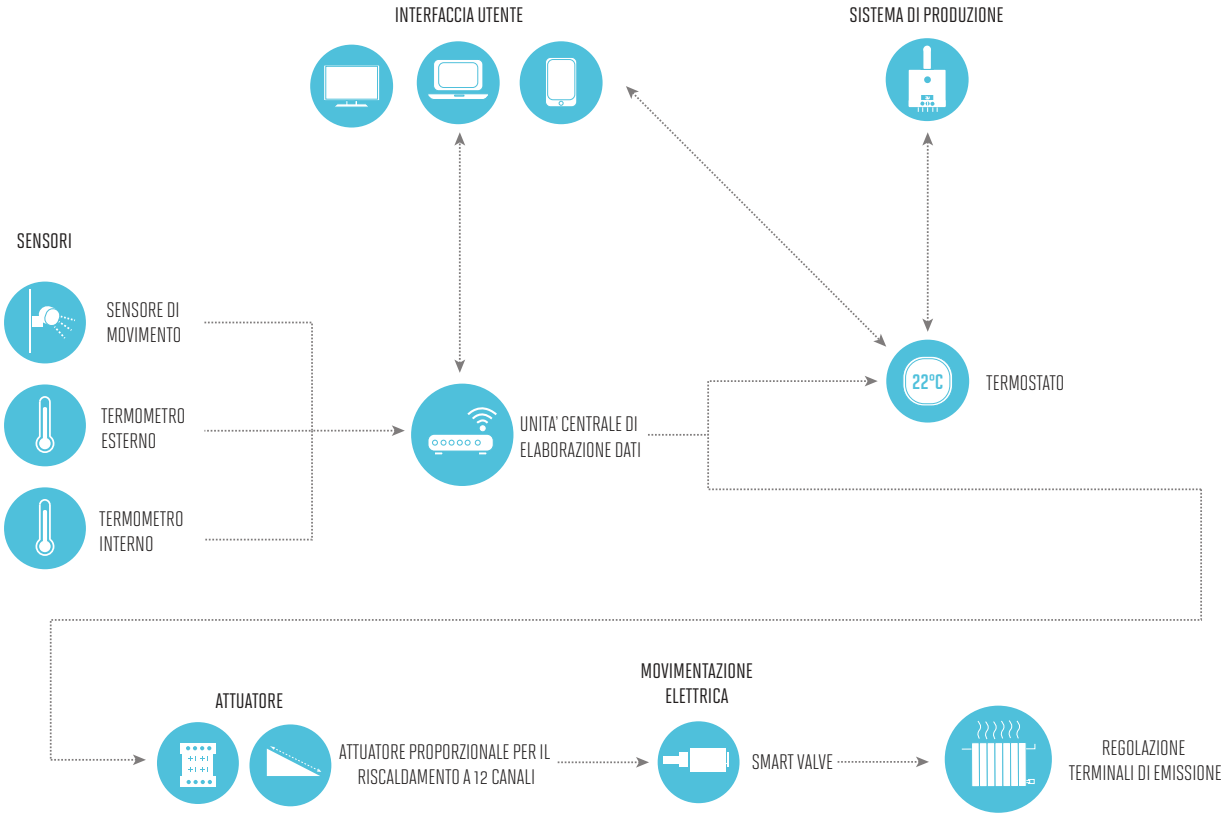
- tre sensori
- un'unità centrale
- un crono-termostato e altri sistemi di interfaccia utente
- un attuatore
- una movimentazione elettrica (smart-valve)

I tre sensori necessari sono un sensore di rilevamento del movimento, un termometro interno e uno esterno. Il sensore di rilevamento del movimento serve per capire se la persona è in stanza o se la persona è in casa. I due termometri, invece, servono uno per misurare la temperatura dell'aria interna, mentre l'altro la temperatura dell'aria esterna. I dati raccolti da questi tre sensori vengono inviati all'unità centrale che ha il compito di immagazzinarli e rielaborarli. La rielaborazione di questi dati avviene tramite le logiche progettate, le quali vengono scritte e programmate all'interno dell'unità. Una volta avvenuta la lettura dei dati, l'unità centrale, se necessario, ha due compiti:
- Il primo è quello di inviare un segnale al cronotermostato che serve sia da interfaccia utente che da attuatore. Il cronotermostato, infatti, invia dei comandi alla caldaia (sistema di generazione), facendola lavorare proporzionalmente a seconda dei dati che gli sono stati inviati dall'unità centrale.
- Il secondo è quello di inviare un segnale all'attuatore delle smart-valve. In questo caso è necessario installare un attuatore che azioni le valvole in modo proporzionale a seconda dei dati che gli sono stati inviati dall'unità centrale.

L'occupante può controllare tutti questi passaggi e interagire con il sistema di controllo tramite i sistemi di interfaccia utente (computer, televisione, smartphone, interruttori) e, per quanto riguarda il controllo della temperatura, anche tramite il crono-termostato.

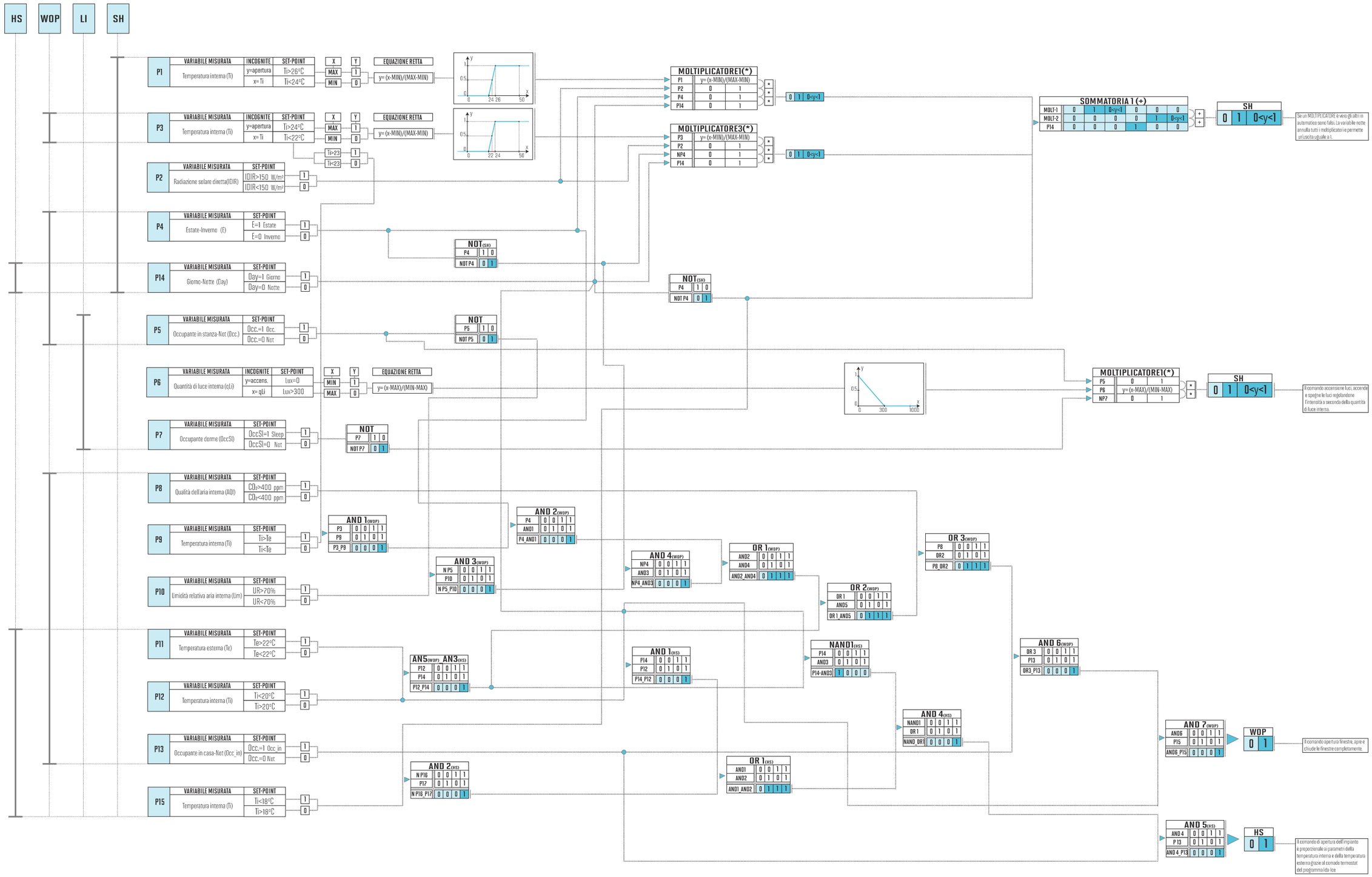
Il mezzo di trasmissione del segnale tra i vari apparecchi può essere principalmente di due tipi: via cavo, wired, oppure senza cavo, wireless a seconda del sistema che si decide di installare. Il sistema di comunicazione dati tra i vari dispositivi, invece, dipende dal protocollo scelto. Questo, per far si che i dati vengano trasmessi correttamente da dispositivo a dispositivo, deve essere lo stesso per tutti gli apparecchi.
È importante, inoltre, specificare che gli attuatori da utilizzare con il sistema precedentemente descritto devono essere controllabili da remoto e dunque avere un sistema di comunicazione IP, Bus o Ethernet.

SCHEMA DEI DISPOSITIVI NECESSARI PER IL FUNZIONAMENTO DELLA LOGICA



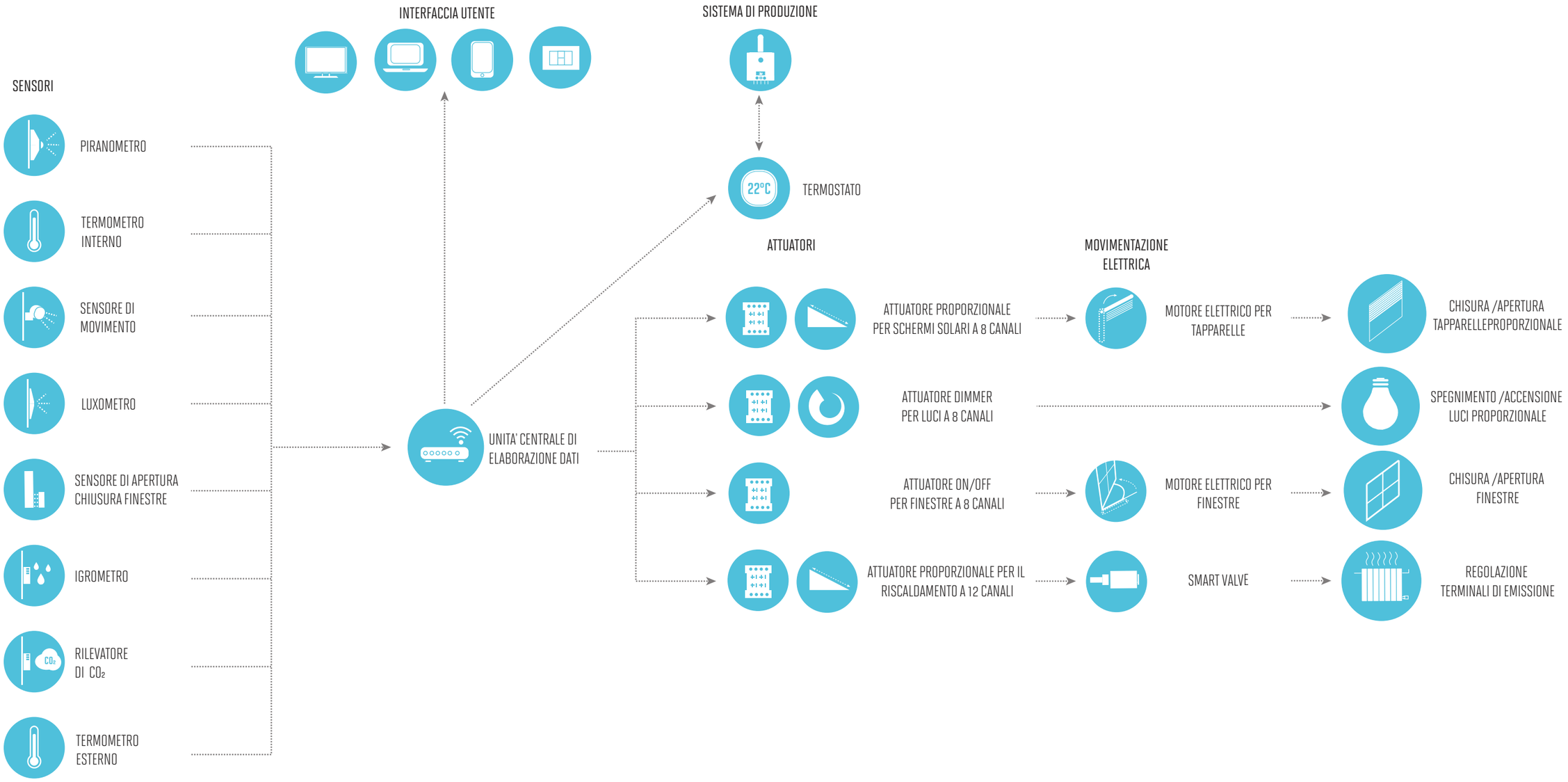
5.2.6_SCHEMA DI SCRITTURA GENERALE DELLA LOGICA IMPLEMENTATA (TABELLA DELLA VERITÀ)

Dopo aver progettato e implementato sul software tutte le logiche dei singoli sistemi è stato disegnato uno schema di scrittura generale di tutta la prima logica al fine di controllare che le interazioni tra i vari sistemi, previste in partenza, venissero rispettate.
Il calcolo di simulazione per il fabbisogno energetico totale è stato effettuato con la logica per l'illuminazione proporzionale, e dunque con la possibilità di controllare la luminosità delle lampadine, e con la logica per le schermature solari delle tende esterne a rullo.


HS
WOP
LI
SH
P1
VARIABILE MISURATA
INCOGNITE
SET-POINT
Temperatura interna (Ti)
y=apertura
x= Ti
Ti>26°C
Ti<24°C
X
Y
MAX
MIN
EQUAZIONE RETTA
y= (x-MIN)/(MAX-MIN)
P3
Temperatura interna (Ti)
y=apertura
x= Ti
Ti>24°C
Ti<22°C
Ti>23
Ti<23
P2
Radiazione solare diretta(IDIR)
IDIR>150 W/m²
IDIR<150 W/m²
P4
Estate-Inverno (E)
E=1 Estate
E=0 Inverno
P14
Giorno-Notte (Day)
Day=1 Giorno
Day=0 Notte
P5
Occupante in stanza-Not (Occ.)
Occ.=1 Occ.
Occ.=0 Not
P6
Quantità di luce interna (qLi)
y=accens.
x= qLi
Lux=0
Lux>300
EQUAZIONE RETTA
y= (x-MAX)/(MIN-MAX)
P7
Occupante dorme (OccSl)
OccSl=1 Sleep
OccSl=0 Not
P8
Qualità dell'aria interna (AQI)
CO2>400 ppm
CO2<400 ppm
P9
Temperatura interna (Ti)
Ti>Te
Ti<Te
P10
Umidità relativa aria interna (Um)
UR>70%
UR<70%
P11
Temperatura esterna (Te)
Te>22°C
Te<22°C
P12
Temperatura interna (Ti)
Ti<20°C
Ti>20°C
P13
Occupante in casa-Not (Occ. in)
Occ.=1 Occ. in
Occ.=0 Not
P15
Temperatura interna (Ti)
Ti<18°C
Ti>18°C
MOLTIPLICATORE1(*)
MOLTIPLICATORE3(*)
NOT(SH)
NOT
AND 1(WOP)
AND 2(WOP)
AND 3(WOP)
AND 4(WOP)
OR 1(WOP)
OR 2(WOP)
OR 3(WOP)
AN5(WOP) AN3(HS)
AND 1(HS)
NAND1(HS)
AND 6(WOP)
AND 7(WOP)
AND 2(HS)
OR 1(HS)
AND 4(HS)
AND 5(HS)
SOMMATORIA 1 (+)
SH
WOP
HS
Se un MOLTIPLICATORE è vero gli altri in automatico sono falsi. La variabile notte annulla tutti i moltiplicatori e permette un'uscita uguale a 1.
Il comando accensione luci, accende e spegne le luci regolandone l'intensità a seconda della quantità di luce interna.
Il comando apertura finestre, apre e chiude le finestre completamente.
Il comando di apertura dell'impianto è proporzionalle ai parametri della temperatura interna e della temperatura esterna grazie al comando termostat del programma Ida-Ice

SCHEMA GENERALE DEI DISPOSITIVI NECESSARI PER IL FUNZIONAMENTO DELLA LOGICA

Dopo aver decritto graficamente la logica nella sua completezza, è stato fatto uno schema generale dei dispositivi che sarebbero necessari per implementare sul caso reale tutti i sistemi di controllo precedentemente progettati ed analizzati.



5.2.7_ANALISI DEL COSTO DEI DISPOSITIVI NECESSARI PER L'INSTALLAZIONE DELLA LOGICA DI CONTROLLO

Determinato il numero e la tipologia di dispositivi necessari per implementare la logica sul caso reale è stata condotta un'analisi dei costi relativa al prezzo dei sensori, degli attuatori, dell'unità centrale e delle movimentazioni elettriche, prendendo come esempio i prodotti di alcune tra le ditte più importanti nel settore delle tecnologie Smart. Nel seguente testo si è deciso di mantenere l'anonimato delle aziende in modo tale da non publicizzarle. Per correttezza, però, sono state riportate le fonti bibliografiche dalle quali sono stati reperiti i prezzi utilizzati come esempio per l'analisi.
Si sono dunque ipotizzate due tipologie di impianto:
- la prima utilizzando un sistema cablato wired, con dispositivi rispondenti al protocollo KNX.
- la seconda utilizzando un sistema misto, wireless per i sensori e wired per gli attuatori, sempre rispondenti al protocollo KNX.
Nella prima tipologia di impianto ipotizzato si è deciso di utilizzare i sensori e gli attuatori di un'unica ditta, ovvero la ditta A . Questa è stata presa ad esempio perchè è un'azienada molto conosciuta nell'ambito di queste tecnologie e perchè il materiale tecnico e i listini dei prezzi sono liberamente consultabili [58]. Si è deciso, inoltre, di ipotizzare l'utilizzo di apparecchi provenienti da un'unica ditta in modo tale da essere sicuri di ottenere una perfetta comunicabilità tra i vari dispositivi del sistema. I prodotti di questa azienda utilizzano un sistema wired e comunicano tramite il protocollo KNX . La ditta A inoltre offre un'ampissima scelta di dispositivi che permette una libera progettazione della logica di controllo.
Nella seconda tipologia di impianto ipotizzato si è deciso, invece, di utilizzare sensori e attuatori di varie ditte emergenti nel mercato delle tecnologie Smart. Queste ditte propongono un'offerta mirata, ponendo grande attenzione al design dei loro oggetti e alla loro facilità d'uso. I prodotti di queste aziende spesso utilizzano un sistema wireless e lavorano utilizzando il protocollo KNX.
La problematica di utilizzare questo tipo di prodotti sta nella specificità della loro offerta. Spesso, infatti, gli articoli di queste aziende sono poco flessibili e non lasciano spazio ad una libera progettazione del sistema. Per esempio, una tra le aziende più conoscite in questo settore, ditta B, produce un sensore di movimento che è anche un luxometro e un termometro, un sensore per la CO2 ma non un sensore per l'umidità. Per la progettazione della nostra logica, dunque, si è reso necessario immaginare di utilizzare un igrometro di un'altra azienda. Questa promiscuità dei sensori potrebbe portare a dei problemi di comunicabilità che potrebbero compromettere il funzionamento generale del sistema. Un altro esempio della specificità di questi prodotti ci deriva da un azienda, ditta C, che produce termostati e valvole termostatiche intelligenti, ma nessun tipo di sensore o attuatore. L'utilizzo dei prodotti di questo tipo di aziende, dunque, rende difficile la libera progettazione di un sistema di controllo se non unendo dispositivi di marche diverse. Il vantaggio proveniente dall'installazione di questo tipo di prodotti è invece di tipo economico. Questi sistemi, infatti, spesso sono meno costosi di quelli utilizzati nella prima ipotesi, più accattivanti e più facili da utilizzare.

Prima tipologia di impianto ipotizzato_Tabella dei costi

SENSORI	Prodotto	Prezzo Unitario €	Soggiorno	Cucina	Camera 1	Camera 2	Camera 3	Bagno 1	Bagno 2	Numero tot.	Pezzo Totale €	
Termometro interno Igrometro Rilevatore di CO2	(Ditta A) AMUN 716 KNX [58]	250	1	1	1	1	1	1	1	7	1750	
Luxometro Rilevatore di movimento	(Ditta A) PresenceLight 360 [58]	150	1	1	1	1	1	1	1	7	1050	
Rilevatore apertura/chiusura finestre	(Ditta A) MTN670802 [58]	80	2	1	1	1	1	1	1	8	640	
Piranometro Termometro esterno	(Ditta A) Luna 131 S KNX [58]	295	0	0	0	0	0	0	0	2	590	
TOTALE SENSORI											**4030**	€
ATTUATORI												
Attuatore schermi solari	(Ditta A) JM 8 T-KNX: 8 Canali[58]	415								1	415	
Attuatore dimmer luci	(Ditta A) DM 8 S-KNX: 8 Canali[58]	600								1	600	
Attuatore aperura/chiusura finestre	(Ditta A) RM 8 S-KNX: 8 Canali[58]	250								1	250	
Attuatore riscaldamento-smart valve	(Ditta A)HM 12 T-KNX: 12 Canali[58]	350								1	350	
TOTALE ATTUATORI											**1615**	€
MOVIMENTAZIONE ELETTRICA												
Motore elettrico tapparella	(Ditta D)[63]	150	2	1	1	1	1	1	1	8	1200	
Motore elettrico apertura chiusura finestre	(Ditta D) Power Chain[63]	200	2	1	1	1	1	1	1	8	1600	
Smart Valve	(Ditta A) Cheoos Drive[58]	215	2	1	1	1	1	1	1	8	1720	
TOTALE MOVIMENTAZIONE ELETTRICA											**4520**	€
Crono-termostato	(Ditta A)[58]	250								1	**250**	€
Sistema centrale	(Ditta E)(Processore,Dysplay,Telecomando)[61]	3000									**3000**	€

TOTALE SISTEMA		**13415**	€

Figura 5.23_Tabella dei costi della prima tipologia di impianto ipotizzato. In questo caso sono stati presi come immagine esemplificativa del mercato i prodotti della ditta A [58].

Il costo totale di tutti i dispositivi che bisognerebbe installare per l'implementazione della logica progettata ammonta a 13415 €.
I sensori, gli attuatori e il termostato sono tutti della ditta A e i costi sono stati ricavati dal listino prezzi del 2017, presente sul loro sito internet [58].
Come si può vedere nella tabella in figura (Figura 5.23), inoltre, è stato calcolato anche il prezzo delle movimentazioni elettriche che permetterebbero una totale automazione della logica. L'unità centrale portata ad esempio è un prodotto americano molto conosciuto (Figura 5.23).

Seconda tipologia di impianto ipotizzato_Tabella dei costi

SENSORI	**Prodotto**	**Prezzo Unitario €**	**Soggiorno**	**Cucina**	**Camera 1**	**Camera 2**	**Camera 3**	**Bagno 1**	**Bagno 2**	**Numero tot.**	**Pezzo Totale €**	
Termometro interno Rilevatore di movimento Luxometro	(Ditta B) Motion Sensor[59]	70	1	1	1	1	1	1	1	7	490	
Igrometro	(Ditta F)[62]	90	1	1	1	1	1	1	1	7	630	
Rilevatore di CO2	(Ditta B) CO2 sensor[59]	80	1	1	1	1	1	1	1	7	560	
Rilevatore apertura/chiusura finestre	(Ditta B) Windows sensor[59]	60	2	1	1	1	1	1	1	8	480	
Piranometro Termometro esterno	(Ditta A) Luna 131 S KNX[58]	295	0	0	0	0	0	0	0	2	590	
TOTALE											**2750**	€
ATTUATORI												
Attuatore schermi solari	(Ditta A) JM 8 T-KNX: 8 Canali[58]	415								1	415	
Attuatore dimmer luci	(Ditta A) DM 8 S-KNX: 8 Canali[58]	600								1	600	
Attuatore aperura/chiusura finestre	(Ditta A) RM 8 S-KNX: 8 Canali[58]	250								1	250	
TOTALE											**1265**	€
MOVIMENTAZIONE ELETTRICA												
Motore elettrico tapparella	(Ditta D)[63]	150	2	1	1	1	1	1	1	8	1200	
Motore elettrico apertura chiusura finestre	(Ditta D) Power Chain[63]	200	2	1	1	1	1	1	1	8	1600	
Smart Valve	(Ditta A) Cheoos Drive[58]	79	2	1	1	1	1	1	1	8	632	
TOTALE MOVIMENTAZIONE ELETTRICA											**3432**	€
Crono-termostato	(Ditta C)[60]	250								1	**250**	€
Sistema centrale	(Ditta E)(Processore,Dysplay,Telecomando)[61]	3000									**3000**	€

TOTALE SISTEMA		**10697**	€

Figura 5.24_Tabella dei costi della prima tipologia di impianto ipotizzato. In questo caso sono stati presi come immagine esemplificativa del mercato i prodotti delle ditte B, F, C e A.

Il costo totale di tutti i dispositivi che bisognerebbe installare per l'implementazione della logica progettata, in questo secondo caso, ammonta a **10697 €**.
I sensori utilizzati sono della ditta B [59], della ditta F [62] e della ditta A [58]. Per quanto riguarda gli attuatori invece sono rimasti gli stessi dell'ipotesi precedente.
In questa seconda ipotesi è stato inoltre utilizzato il sistema della ditta C [60] per il riscaldamento. Ciò ha permesso di non conteggiare nel calcolo totale l'attuatore delle valvole termostatiche poichè il comando di movimentazione, con questo sistema, viene inviato via wireless direttamente dal termostato. Questo sistema ha però imposto l'utilizzo delle smart-valve della stessa azienda. Le altre movimentazioni elettriche e il sistema centrale sono rimaste le stesse dell'ipotesi precedente.
Con questi cambiamenti è stato possibile risparmiare 2718 € a discapito però di una minor affidabilità del sistema e di una minor flessibilità (Figura 5.24).

5.2.7_ANALISI DEI RISULTATI

Dopo aver studiato e definito tutte le precedenti logiche, e dopo averle impostate sul modello di base, ottenendo il modello implementato, è stato possibile effettuare il calcolo del fabbisogno energetico totale.

Questo calcolo è stato effettuato durante tutta la durata del 2015. Ottenuti i risultati, si sono dunque confrontati con quelli del modello dello stato di fatto al fine di comprendere la misura del risparmio energetico ottenuto.

Come prima cosa sono stati analizzati i risultati del fabbisogno energetico totale per il riscaldamento e per l'elettricità.

Il risultato del fabbisogno energetico per il riscaldamento del modello implementato è di 6051 kWh, quello del modello dello stato di fatto è di 7204 kWh (Figura 5.26).

Il risultato del fabbisogno energetico per l'energia elettrica del modello implementato è di 1259 kWh, quello del modello dello stato di fatto è di 1344 kWh (Figura 5.27). (In entrambi i casi è considerato lo scomputo dell'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici)

Il risparmio energetico ottenuto per il riscaldamento è dunque di 7204 - 6051= **1153 kWh,** corrispondente al 16 % del totale; il risparmio energetico ottenuto per l'energia elettrica è di 1344 - 1259= **85 kWh** corrispondente al 7,3% del totale (Figura 5.25).

	DATI MODELLO STATO DI FATTO (kWh)	DATI MODELLO IMPLEMENTAZIONE - 1 (kWh)	PERCENTUALE DI RISPARMIO	
FABBISOGNO ENERGETICO RISCALDAMENTO	7204	**6051**	**16**	%
FABBISOGNO ENERGETICO ELETTRICITA'	1344	**1259**	**7,3**	%

Figura 5.25

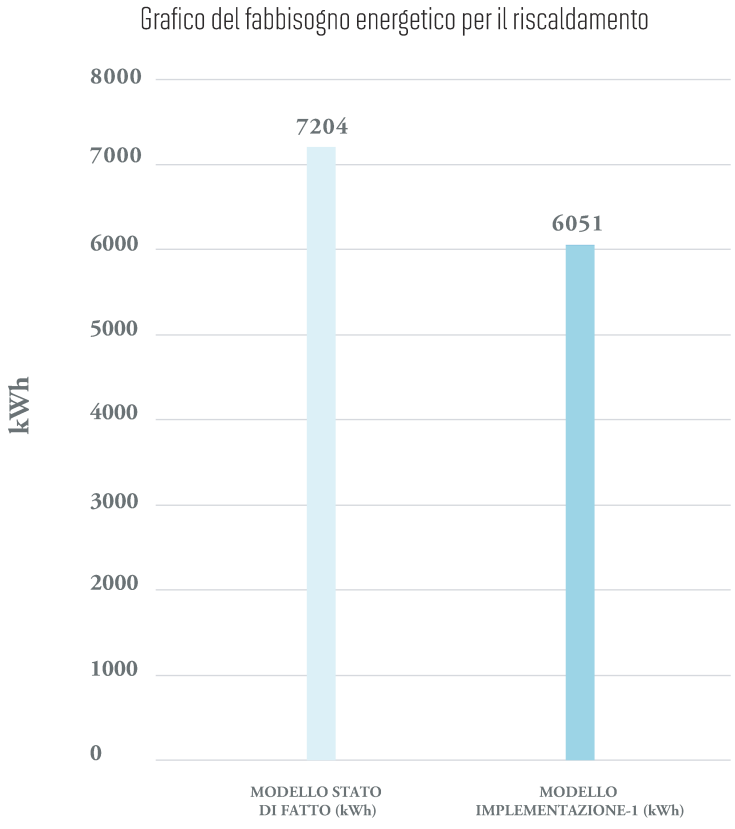


Figura 5.26

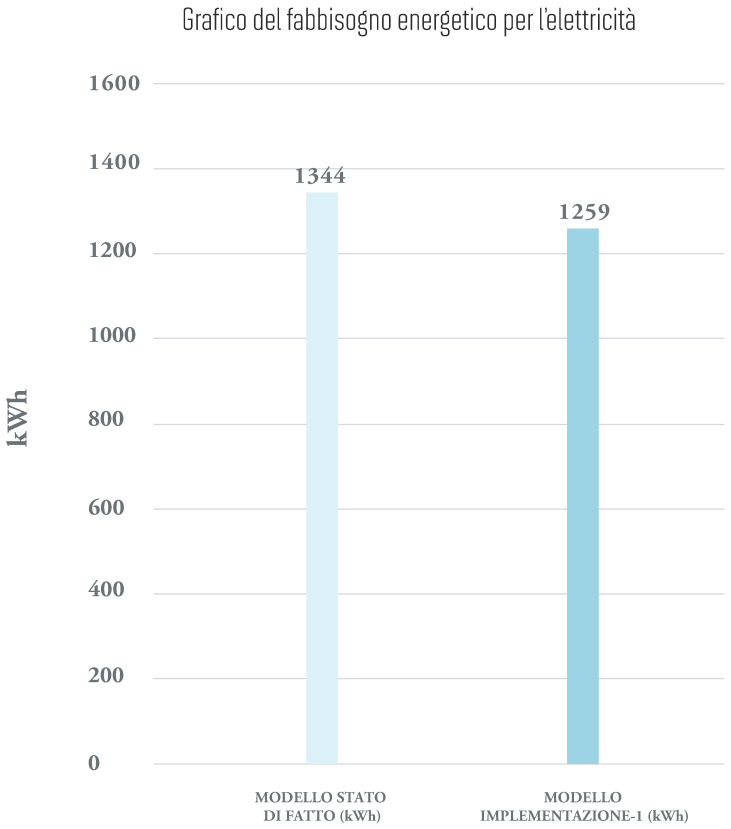


Figura 5.27

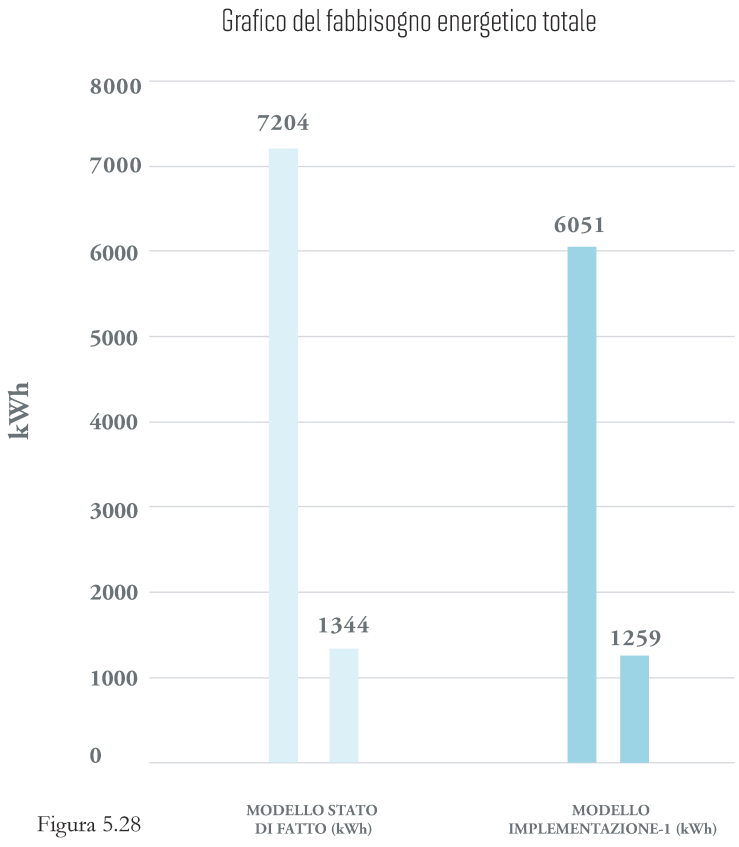


Figura 5.28

Il risparmio energetico totale per il riscaldamento è dunque del **16 %**, mentre quello dell'elettricità è del **7,3%.**

Successivamente, invece, è stata condotta un'analisi di confronto più specifica dove si è analizzato il contributo energetico portato da ogni singola logica implementata.
Sul 16 % del risparmio totale per il riscaldamento, il 6,4% è stato portato dalla logica di controllo progettata per l'aperura e la chiusura delle finestre, mentre il 9,4% dalla logica di controllo progettata per l'accensione e lo spegnimento dell'impianto (Figura 5.29)

	DATI MODELLO STATO DI FATTO (kWh)	DATI MODELLO IMPLEMENTAZIONE FINESTRE (kWh)	PERCENTUALE DI RISPARMIO	
FABBISOGNO ENERGETICO RISCALDAMENTO	7204	**6742**	**6,4**	**%**

	DATI MODELLO STATO DI FATTO (kWh)	DATI MODELLO IMPLEMENTAZIONE IMPIANTO (kWh)	PERCENTUALE DI RISPARMIO	
FABBISOGNO ENERGETICO RISCALDAMENTO	7204	**6512**	**9,5**	**%**

Figura 5.29_Contributo energetico delle singole logiche di controllo sul fabbisogno energetico per il riscaldamento.

Per quanto riguarda invece il bilancio termico sensibile per la sola ventilazione, mentre nel modello di base si disperdevano 2385 kWh , con la nuova logica si è riusciti a risparmiare il 9,5% arrivando ad una dispersione pari a 2165 kWh (Figura 5.30).

	DATI MODELLO STATO DI FATTO (kWh)	DATI MODELLO IMPLEMENTAZIONE FINESTRE (kWh)	PERCENTUALE DI RISPARMIO	
ENERGIA DISPERSA PER VENTILAZIONE	2385	**2165**	**9,5**	**%**

Figura 5.30_Quota di risparmio sul bilancio termico sensibile per la sola ventilazione

Il risparmio elettrico dovuto invece alla singola logica dell'illuminazione, essendo per ora l'unica logica implementata riguardante il consumo di elettricità, equivale a quella totale del 7,3%.
Per quanto riguarda il risparmio energetico dovuto agli schermi solari questo non è quantificabile in termini di kWh poiché nella casa non è presente un impianto di condizionamento e dunque il risparmio energetico estivo non è quantificabile. E' stato però possibile analizzare i risvolti positivi che questo tipo di intervento ha portato in termini di contenimento della temperatura interna, grazie ad un'analisi parametrica che si è deciso di effettuare (Figura 5.31) (Figura 5.32).
Questa è stata fatta nel soggiorno, il giorno più caldo dell'anno, ovvero il 20 luglio 2015 (dato fornito dal software Ida-Ice), ipotizzando l'utilizzo delle tende filtranti a rullo esterne.

Dati di illuminamento e temperatura del modello implementato

ORE	CHIUSURA		Lux	°C
1	1,00	1,00	0,0	25,67
2	1,00	1,00	0,0	25,60
3	1,00	1,00	0,0	25,50
4	1,00	1,00	0,0	25,39
5	1,00	1,00	0,0	25,30
6	0,50	0,50	19,5	25,21
7	0,00	0,00	117,2	23,52
8	0,00	0,00	303,5	22,40
9	0,30	0,00	463,8	23,65
10	0,64	0,34	427,1	24,58
11	0,69	0,69	340,9	24,83
12	0,85	0,85	258,9	25,55
13	1,00	1,00	211,6	26,44
14	1,00	1,00	281,2	26,78
15	1,00	1,00	342,6	26,88
16	1,00	1,00	391,0	26,87
17	1,00	1,00	410,0	26,86
18	1,00	1,00	375,0	26,78
19	1,00	1,00	273,9	26,58
20	1,00	0,50	219,7	26,30
21	0,50	0,00	136,1	25,88
22	0,50	0,50	20,1	25,47
23	1,00	1,00	0,0	25,59
24	1,00	1,00	0,0	25,73

Figura 5.31

Dati di illuminamento e temperatura del modello dello stato di fatto

ORE	CHIUSURA		Lux	°C
1	1,00	1,00	0,00	25,95
2	1,00	1,00	0,00	25,84
3	1,00	1,00	0,00	25,75
4	1,00	1,00	0,00	25,63
5	1,00	1,00	0,00	25,52
6	0,50	0,50	10,13	25,43
7	0,00	0,00	94,51	23,95
8	0,00	0,00	260,90	22,9
9	0,00	0,00	437,30	23,84
10	0,00	0,00	587,80	24,78
11	0,00	0,00	693,30	25,62
12	0,00	0,00	766,00	26,25
13	0,00	0,00	911,50	26,81
14	0,00	0,00	1138,70	27,49
15	0,00	0,00	1335,70	27,90
16	0,00	0,00	1579,10	28,37
17	0,00	0,00	2045,20	27,76
18	0,00	0,00	2205,00	27,15
19	0,00	0,00	1392,10	27,08
20	0,00	0,00	514,20	26,75
21	0,00	0,00	171,70	26,19
22	0,50	0,50	19,62	25,57
23	1,00	1,00	0,00	25,59
24	1,00	1,00	0,00	25,83

Figura 5.32

Temperatura media in ambiente

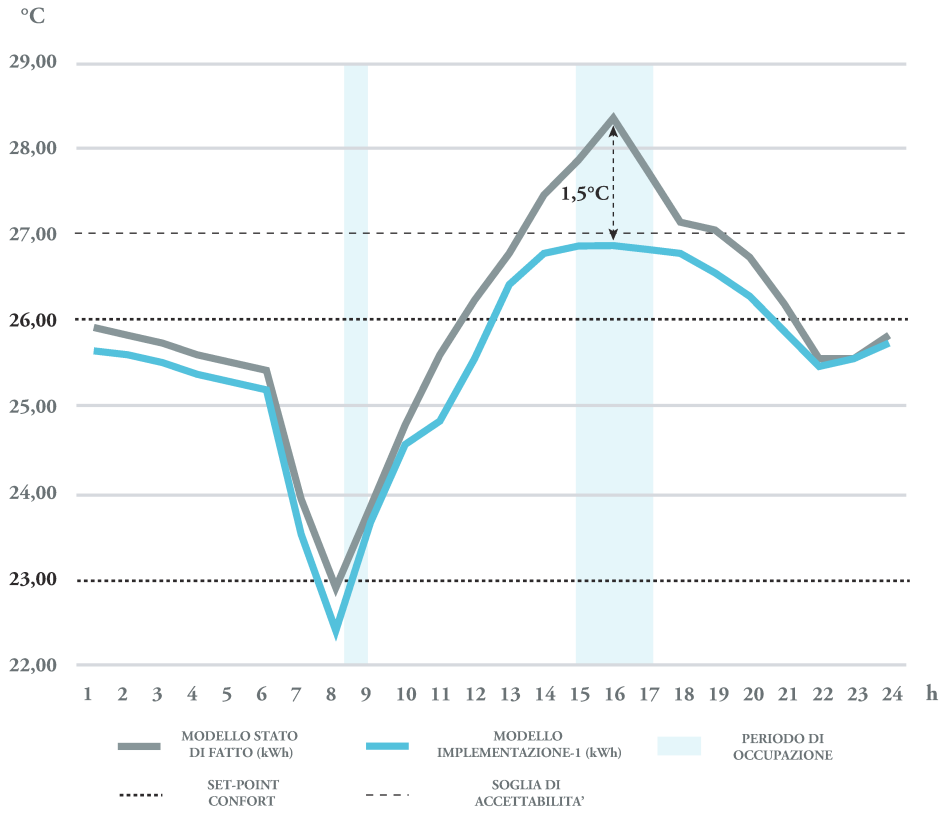


Figura 5.33

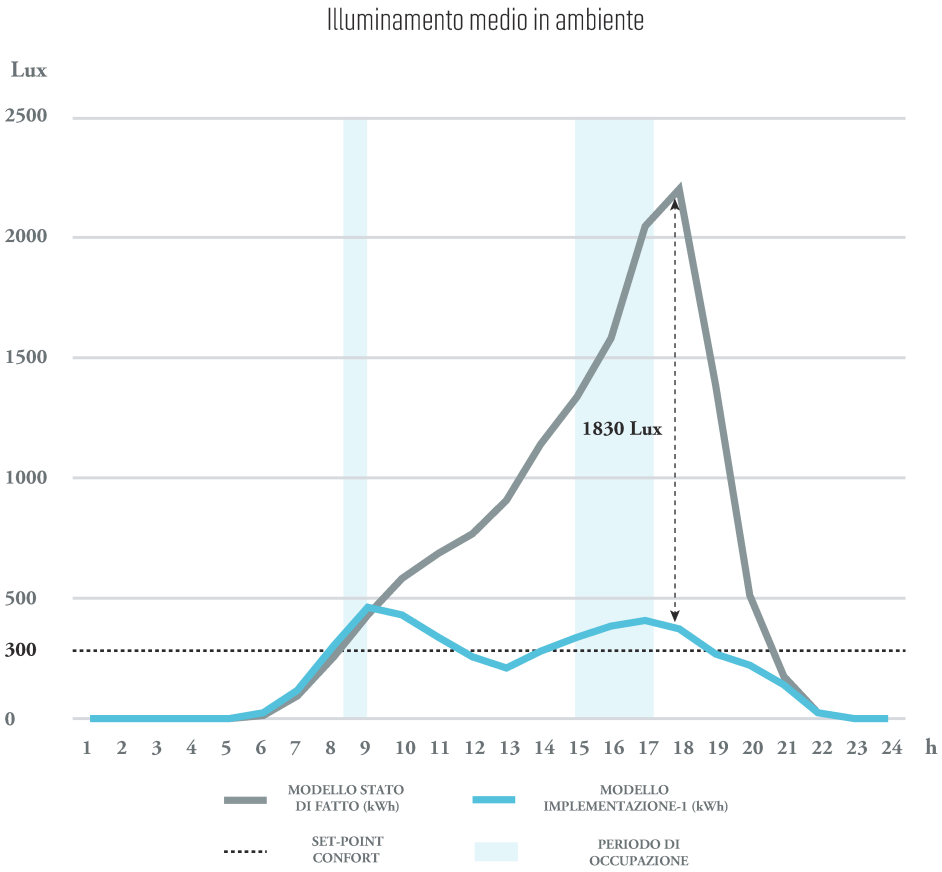


Figura 5.34

Dall'analisi emerge che con la nuova logica implementata si riesce a diminuire la temperatura interna fino ad un massimo di 1,5°C nel periodo di occupazione, mantenendo comunque la condizione minima di comfort visivo interno (Figura 5.33) (Figura 5.34).

Un altro tipo di analisi che si è deciso di effettuare è stato quello legato al comfort interno. Anche in questo caso è stata condotta un'analisi parametrica al fine di stabilire se, dopo l'implementazione delle logiche, i principali parametri di comfort interno come la qualità dell'aria, la temperatura, l'umidità relativa e la luminosità fossero peggiorati oppure migliorati.
L'analisi è stata condotta sia per l'estate (Figura 5.39) che per l'inverno (Figura 5.35). Per il periodo estivo è stata presa la giornata del 20 luglio 2015, mentre per il periodo invernale è stata presa la giornata del 21 gennaio 2015. La stanza presa in esame è il soggiorno.

ANALISI EFFETTUATA DURANTE IL PERIODO INVERNALE

A) MODELLO STATO DI FATTO			
ORE	°C	ppm CO2	UR,%
1	19,06	530,60	48,93
2	18,94	548,30	47,42
3	18,88	558,80	46,43
4	18,84	568,60	45,93
5	18,80	575,20	45,62
6	19,19	573,50	43,99
7	18,93	499,60	42,19
8	18,99	435,50	40,09
9	19,95	463,90	38,19
10	20,10	470,50	38,27
11	20,02	451,90	38,74
12	20,02	478,20	39,79
13	20,05	517,90	41,26
14	20,06	552,80	42,46
15	20,07	599,10	43,59
16	20,12	627,10	44,87
17	20,10	625,30	46,04
18	20,01	610,70	46,73
19	19,95	611,50	47,46
20	19,94	617,10	48,18
21	19,87	561,70	48,40
22	19,79	468,70	48,44
23	19,59	433,70	48,96
24	19,27	472,50	50,58

B) MODELLO IMPLEMENTATO-1			
ORE	°C	ppm CO2	UR,%
1,00	19,18	375,60	50,95
2,00	19,03	383,40	48,84
3,00	18,95	386,50	47,36
4,00	18,90	392,60	46,65
5,00	18,83	399,40	46,27
6,00	18,76	407,00	45,98
7,00	19,17	380,50	43,44
8,00	19,84	353,60	40,37
9,00	20,24	350,60	39,18
10,00	19,72	327,20	40,22
11,00	19,02	295,60	41,92
12,00	19,59	287,80	41,20
13,00	20,21	314,90	40,98
14,00	20,26	344,60	42,08
15,00	20,28	361,40	43,00
16,00	20,39	385,10	43,88
17,00	20,45	397,20	44,84
18,00	20,34	354,30	45,67
19,00	20,22	338,70	46,52
20,00	20,14	361,70	47,40
21,00	20,22	366,90	47,52
22,00	20,30	337,00	47,44
23,00	19,94	298,80	48,47
24,00	19,47	325,80	50,47

Confronto tra i principali parametri di comfort

TEMPERATURA		
A	B	
°C	°C	(B-A)
19,06	19,18	0,12
18,94	19,03	0,09
18,88	18,95	0,07
18,84	18,90	0,06
18,80	18,83	0,03
19,19	18,76	-0,43
18,93	19,17	0,24
18,99	19,84	0,85
19,95	20,24	0,29
20,10	19,72	-0,38
20,02	19,02	-1,00
20,02	19,59	-0,43
20,05	20,21	0,16
20,06	20,26	0,20
20,07	20,28	0,21
20,12	20,39	0,27
20,10	20,45	0,35
20,01	20,34	0,33
19,95	20,22	0,27
19,94	20,14	0,20
19,87	20,22	0,35
19,79	20,30	0,51
19,59	19,94	0,35
19,27	19,47	0,20

IAQ		
A	B	
ppm CO2	ppm CO2	(B-A)
530,60	375,60	**-155,00**
548,30	383,40	**-164,90**
558,80	386,50	**-172,30**
568,60	392,60	**-176,00**
575,20	399,40	**-175,80**
573,50	407,00	**-166,50**
499,60	380,50	**-119,10**
435,50	353,60	**-81,90**
463,90	350,60	**-113,30**
470,50	327,20	**-143,30**
451,90	295,60	**-156,30**
478,20	287,80	**-190,40**
517,90	314,90	**-203,00**
552,80	344,60	**-208,20**
599,10	361,40	**-237,70**
627,10	385,10	**-242,00**
625,30	397,20	**-228,10**
610,70	354,30	**-256,40**
611,50	338,70	**-272,80**
617,10	361,70	**-255,40**
561,70	366,90	**-194,80**
468,70	337,00	**-131,70**
433,70	298,80	**-134,90**
472,50	325,80	**-146,70**

UR		
A	B	
UR,%	UR,%	(B-A)
48,93	50,95	2,02
47,42	48,84	1,42
46,43	47,36	0,93
45,93	46,65	0,72
45,62	46,27	0,65
43,99	45,98	1,99
42,19	43,44	1,25
40,09	40,37	0,28
38,19	39,18	0,99
38,27	40,22	1,95
38,74	41,92	3,18
39,79	41,20	1,41
41,26	40,98	-0,28
42,46	42,08	-0,38
43,59	43,00	-0,59
44,87	43,88	-0,99
46,04	44,84	-1,20
46,73	45,67	-1,06
47,46	46,52	-0,94
48,18	47,40	-0,78
48,40	47,52	-0,88
48,44	47,44	-1,00
48,96	48,47	-0,49
50,58	50,47	-0,11

Figura 5.35

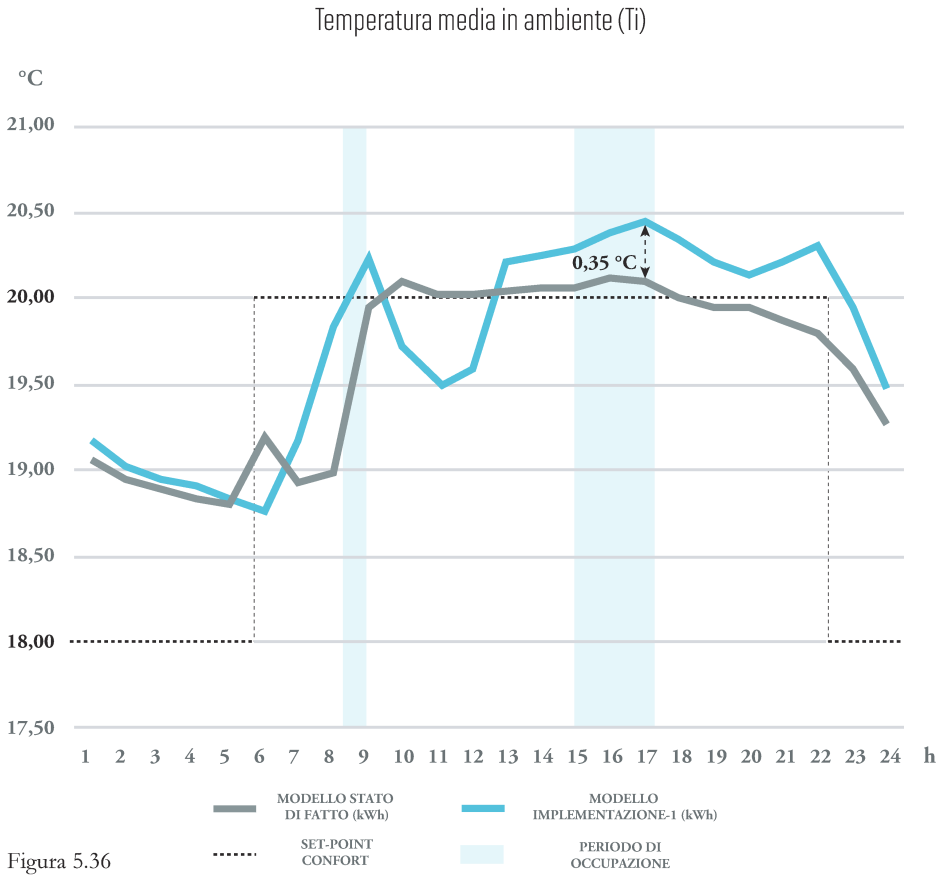


Figura 5.36

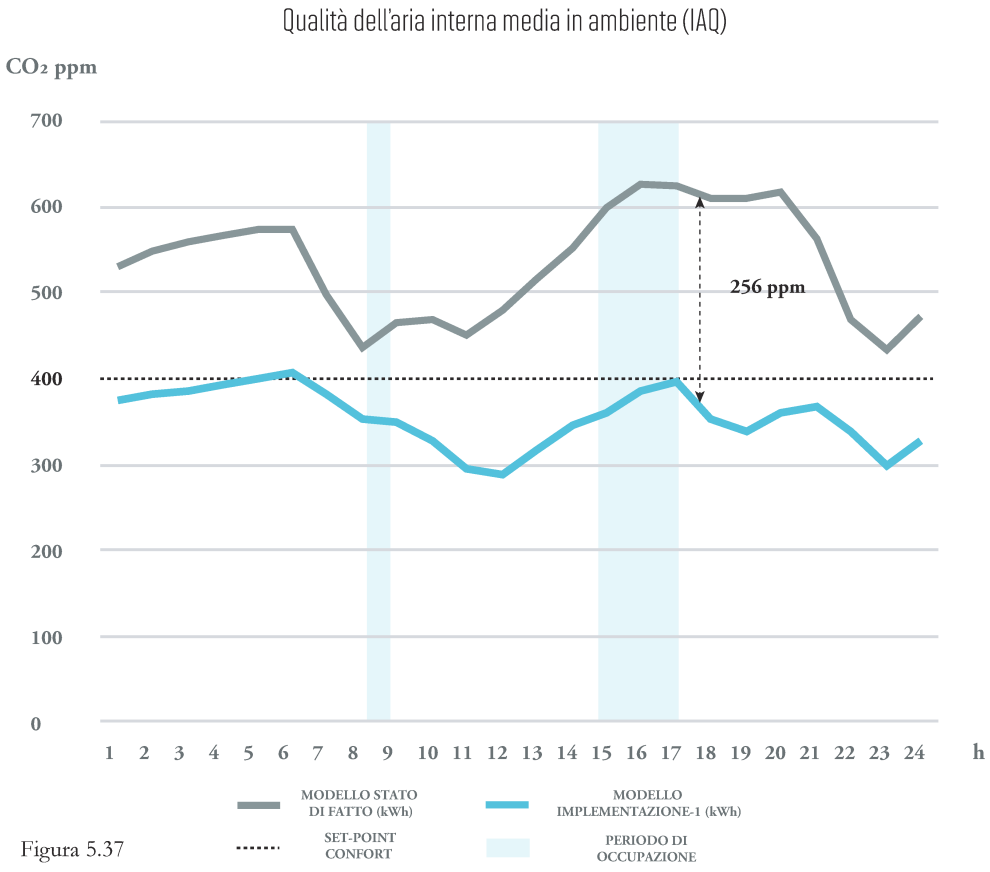


Figura 5.37

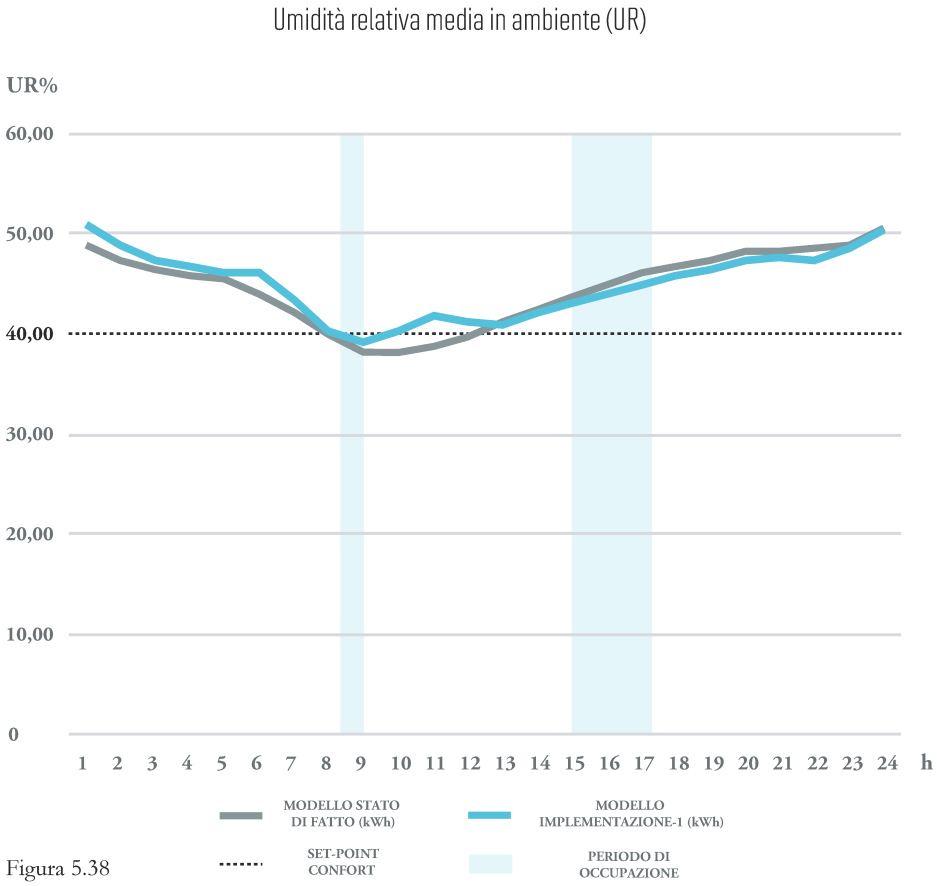


Figura 5.38

Per il periodo invernale, dall'analisi si evince che con il sistema di ventilazione studiato si è riusciti ad ottenere una maggior qualità dell'aria interna, arrivando ad abbassare i ppm di $C0_2$ quasi della metà e stabilizzandoli sotto il livello di soglia, senza intaccare in alcun modo il comfort termo-igrometrico. Questo è un chiaro indicatore del funzionamento della logica. Si è riusciti, infatti, a aumentare la qualità dell'aria interna e dunque il comfort dell' occupante, diminuendo il consumo energetico totale (Figura 5.36) (Figura 5.37) (Figura 5.38).

Per quanto riguarda il comfort visivo non è stato riportato alcun dato poiché i sistemi schermanti, nella giornata del 21 gennaio, non sono mai entrati in azione e dunque i risultati erano gli stessi per tutti e due i modelli.

ANALISI EFFETTUATA DURANTE IL PERIODO ESTIVO

A) MODELLO STATO DI FATTO			
ORE	°C	ppm CO2	UR,%
1	25,95	573,30	77,01
2	25,84	591,30	76,36
3	25,75	600,60	75,79
4	25,63	606,10	74,96
5	25,52	611,20	73,88
6	25,43	606,60	72,24
7	23,95	534,80	68,34
8	22,90	471,80	64,01
9	23,84	494,50	62,07
10	24,78	537,90	61,88
11	25,62	571,20	62,70
12	26,25	586,30	64,66
13	26,81	590,20	67,27
14	27,39	599,10	69,40
15	27,40	614,50	71,42
16	27,23	605,30	73,19
17	27,16	579,40	74,42
18	27,15	579,60	75,30
19	27,08	596,00	76,53
20	26,75	603,20	78,74
21	26,19	591,30	81,40
22	25,57	533,10	83,27
23	25,59	509,20	83,86
24	25,83	552,90	83,90

B) MODELLO IMPLEMENTATO-1			
ORE	°C	ppm CO2	UR,%
1	25,67	551,90	79,33
2	25,60	573,30	78,55
3	25,50	587,60	77,96
4	25,39	597,40	77,06
5	25,30	609,60	75,80
6	25,21	617,10	74,14
7	23,52	508,60	73,35
8	22,40	402,20	72,33
9	23,65	408,30	69,09
10	24,58	419,90	66,47
11	24,83	418,10	65,88
12	25,55	406,50	69,85
13	26,44	402,20	73,96
14	26,78	402,50	74,01
15	26,88	405,40	76,89
16	26,87	406,90	80,17
17	26,86	414,40	82,14
18	26,78	411,80	80,75
19	26,58	404,50	79,17
20	26,30	406,10	82,87
21	25,88	404,90	85,96
22	25,47	403,90	87,52
23	25,59	441,30	87,32
24	25,73	503,70	86,32

Confronto tra i principali parametri di comfort

TEMPERATURA		
A	B	
°C	°C	(B-A)
25,95	25,67	-0,28
25,84	25,60	-0,24
25,75	25,50	-0,25
25,63	25,39	-0,24
25,52	25,30	-0,22
25,43	25,21	-0,22
23,95	23,52	-0,43
22,90	22,40	-0,50
23,84	23,65	-0,19
24,78	24,58	-0,20
25,62	24,83	-0,79
26,25	25,55	-0,70
26,81	26,44	-0,37
27,49	26,78	-0,71
27,90	26,88	-1,02
28,37	26,87	**-1,50**
27,76	26,86	-0,90
27,15	26,78	-0,37
27,08	26,58	-0,50
26,75	26,30	-0,45
26,19	25,88	-0,31
25,57	25,47	-0,10
25,59	25,59	0,00
25,83	25,73	-0,10

IAQ		
A	B	
ppm CO2	ppm CO2	(B-A)
573,30	551,90	-21,40
591,30	573,30	-18,00
600,60	587,60	-13,00
606,10	597,40	-8,70
611,20	609,60	-1,60
606,60	617,10	10,50
534,80	508,60	-26,20
471,80	402,20	-69,60
494,50	408,30	**-86,20**
537,90	419,90	**-118,00**
571,20	418,10	**-153,10**
586,30	406,50	**-179,80**
590,20	402,20	**-188,00**
599,10	402,50	**-196,60**
614,50	405,40	**-209,10**
605,30	406,90	**-198,40**
579,40	414,40	**-165,00**
579,60	411,80	**-167,80**
596,00	404,50	**-191,50**
603,20	406,10	**-197,10**
591,30	404,90	**-186,40**
533,10	403,90	**-129,20**
509,20	441,30	**-67,90**
552,90	503,70	-49,20

UR		
A	B	
UR,%	UR,%	(B-A)
77,01	72,33	-4,68
76,36	71,55	-4,81
75,79	70,96	-4,83
74,96	70,06	-4,90
73,88	68,80	-5,08
72,24	67,14	-5,10
68,34	66,35	-1,99
64,01	65,33	1,32
62,07	62,09	0,02
61,88	59,47	-2,41
62,70	58,88	-3,82
64,66	62,85	-1,81
67,27	66,96	-0,31
69,40	67,01	-2,39
71,42	69,89	-1,53
73,19	73,17	-0,02
74,42	75,14	0,72
75,30	73,75	-1,55
76,53	72,17	-4,36
78,74	75,87	-2,87
81,40	78,96	-2,44
83,27	80,52	-2,75
83,86	80,32	-3,54
83,90	79,32	-4,58

Figura 5.39

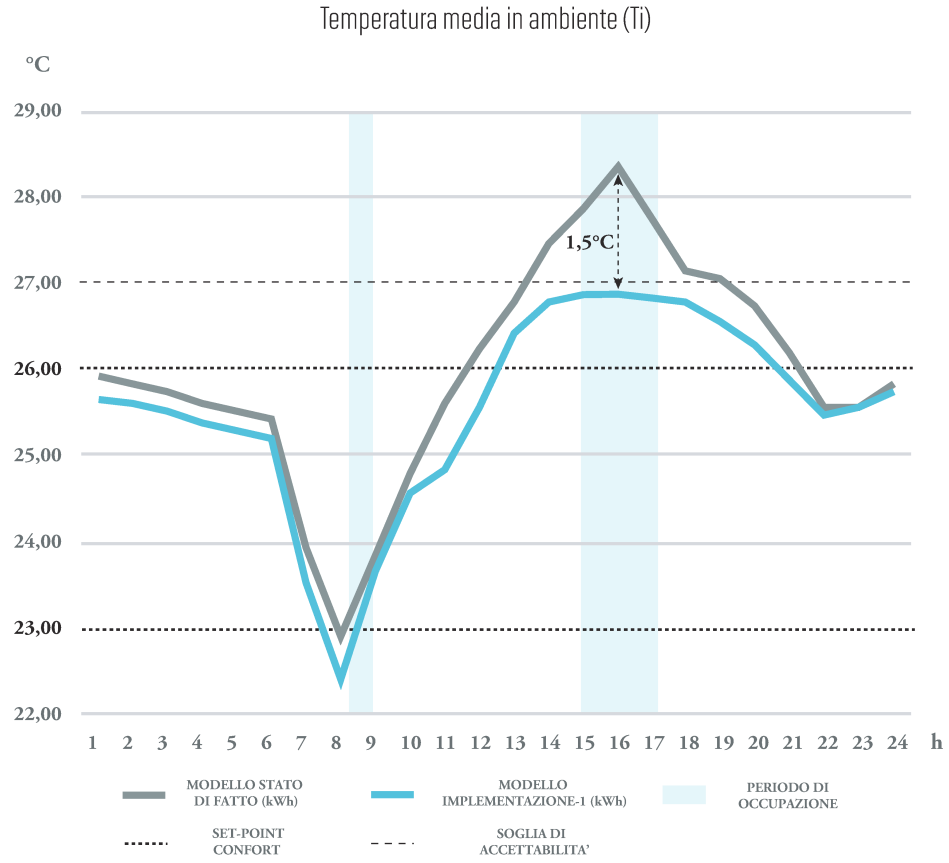


Figura 5.40

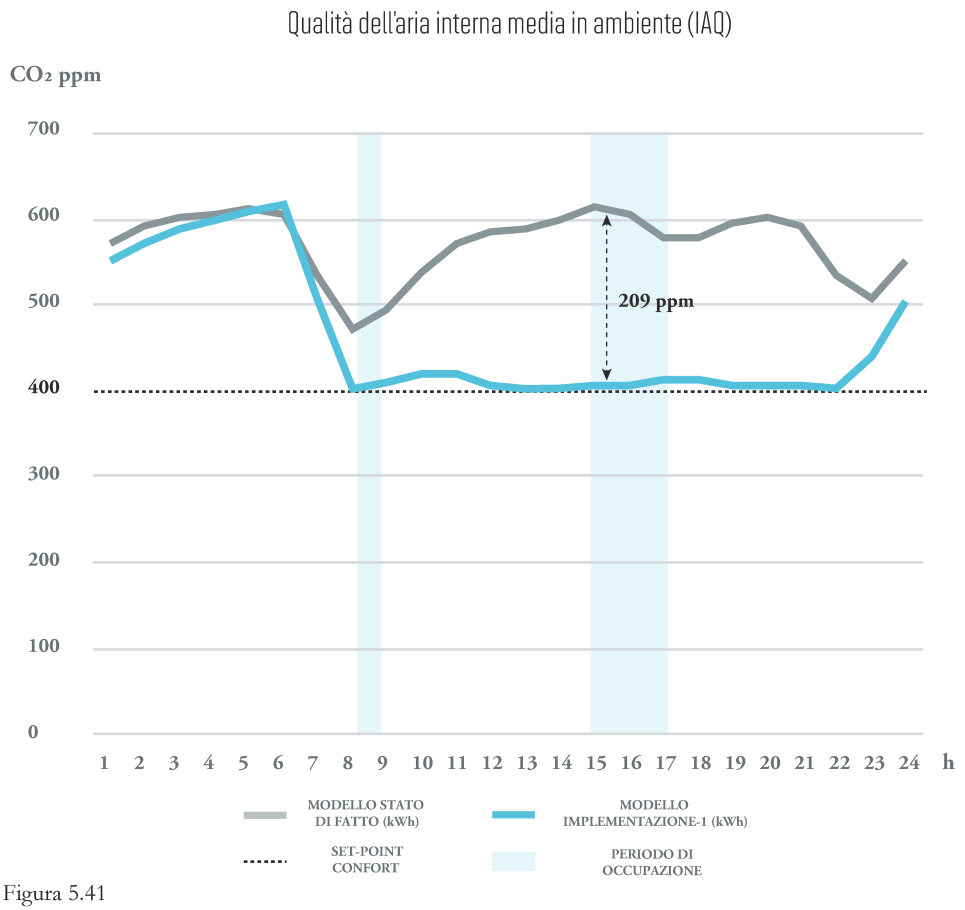


Figura 5.41

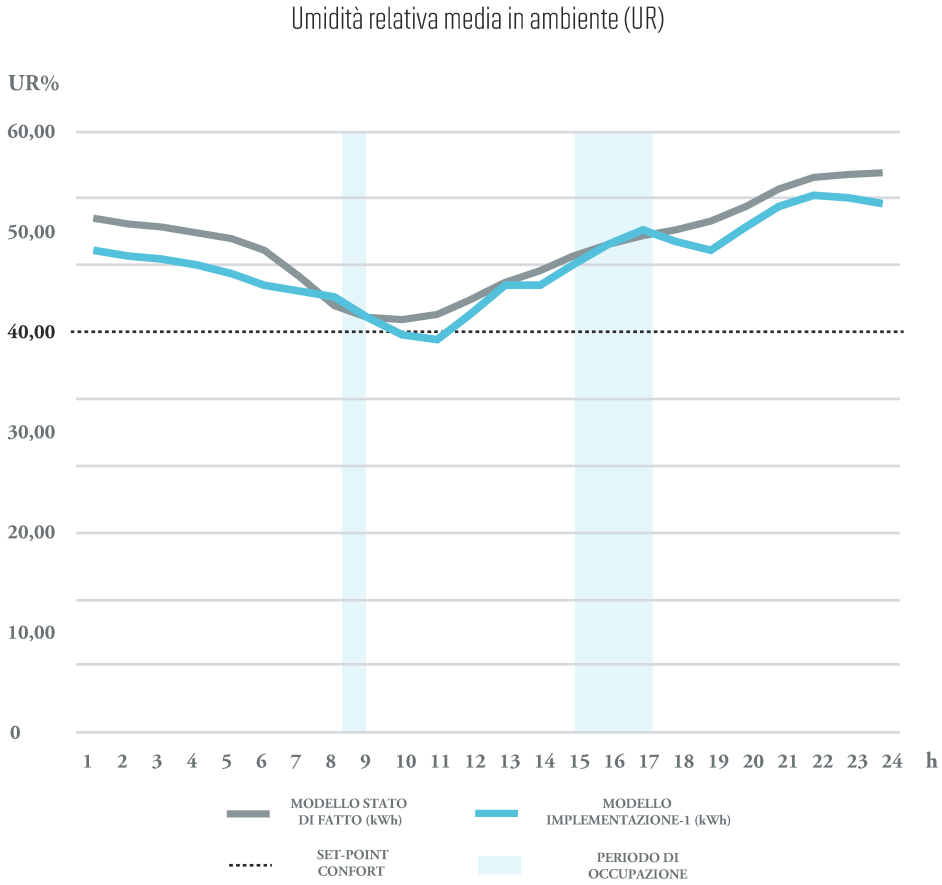


Figura 5.42

Per il periodo estivo, dall'analisi si evince che grazie alle logiche studiate si è riusciti ad abbassare la temperatura interna fino a 1,5°C durante il periodo di occupazione (Figura 5.40) e che, ancora una volta, con il sistema di ventilazione studiato si è riusciti ad ottenere una maggior qualità dell'aria interna. I ppm di $C0_2$, infatti, sono stati quasi dimezzati e si sono stabilizzati subito sopra il livello di soglia (Figura 5.41). Tutto ciò è stato fatto senza intaccare il comfort igrometrico (Figura 5.42) e luminoso. Quest'ultimo, infatti, durante il periodo di occupazione resta sempre sopra il limite di soglia (come conferma il grafico sull'illuminamento a pagina 179, figura 5.34). I risultati, dunque,confermano il funzionamento della logica anche nel periodo estivo. In questo caso, infatti, si è riusciti ad abbassare la temperatura interna facendola passare da una situazione di discomfort (da normativa) ad una situazione all'interno del limite di accettazione, ad aumentare la qualità dell'aria interna e a mantenere la quota minima di illuminamento.

Una volta determinato il risparmio energetico in termini di kWh, e il miglioramento della situazione di comfort interno mediante l'analisi parametrica, si è effettuato il calcolo del risparmio economico ottenibile con l'installazione di queste tecnologie e queste logiche (Figura 5.43).
Si è dunque effettuata la trasformazione da kWh di fabbisogno energetico a Euro.
Per quanto riguarda il fabbisogno energetico dovuto al riscaldamento si è preso il valore di consumo in kWh, 6051 kWh, e lo si è prima trasformato in m3 di Gas, dividendolo per il potere calorifero di quest'ultimo (6051 kWh /9,3 kWh/m3) e dopo moltiplicandolo per il prezzo del Gas a m3 (6051 kWh /9,3 kWh/m^2) x 0,96 € , ottenendo così il costo pari a 624,62 €.
Per quanto riguarda il fabbisogno energetico dovuto all'elettricità si è preso il valore di consumo in kWh, 1259 kWh e lo si è moltiplicato per il prezzo dell'elettricità al kWh (1259 kWh x 0,2 €), ottenendo così il costo pari a 251,80 €, per un totale di spesa energetica pari a 876,42 € (624,62 €+251,80 €).

	SPESA MODELLO STATO DI FATTO €	SPESA MODELLO IMPLEMENTAZIONE-1 €	QUOTA DI RISPARMIO	
FABBISOGNO ENERGETICO RISCALDAMENTO	743,64	**624,62**	**119,02**	**€**
FABBISOGNO ENERGETICO ELETTRICITA'	268,80	**251,80**	**17,00**	**€**
FABBISOGNO ENERGETICO TOTALE	1012,44	**876,42**	**136,02**	**€**

Figura 5.43_Tabella calcolo del risparmio economico

Il risparmio monetario totale ottenuto dunque, considerando che il costo del fabbisogno energetico per il riscaldamento del modello di base era pari a 743,64 €, mentre quello per il fabbisogno elettrico era di 268,80 € per un totale di 1012,44 €, è di 136,02 € all'anno (Figura 5.41), ovvero del **13,5 %**.

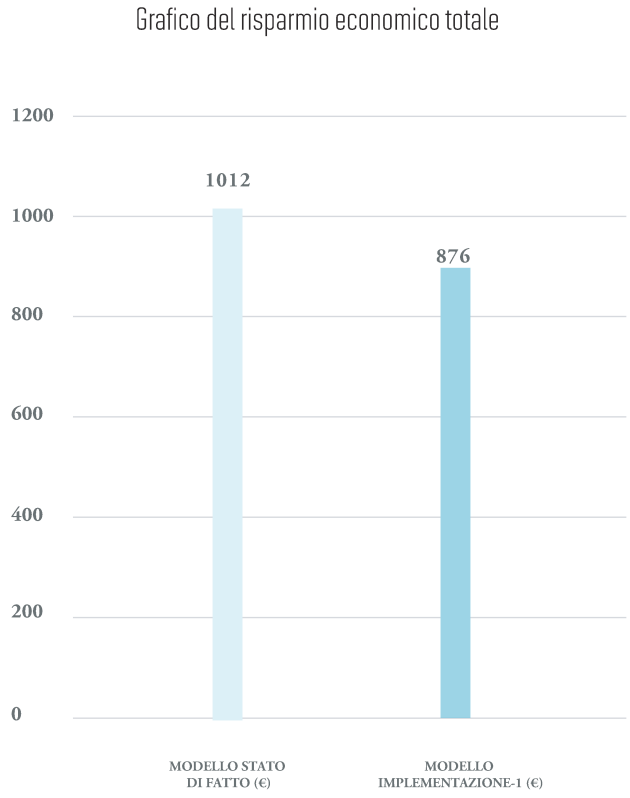
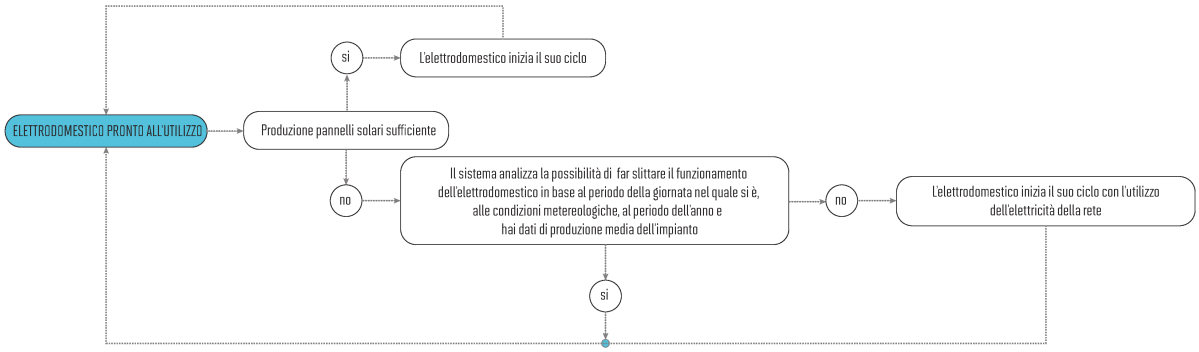


Figura 5.44

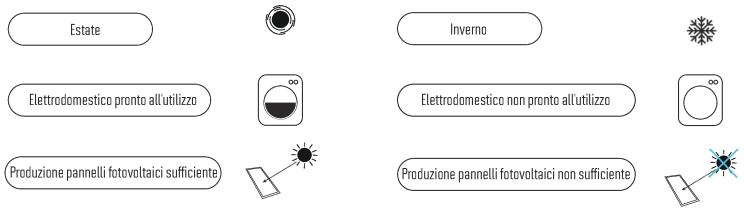
5.3 FASE 2: PROGETTAZIONE DELL'ALGORITMO DI CONTROLLO

La seconda logica è stata sviluppata seguendo il principio del *Demand Response*, ovvero quello della progettazione dell'uso dell'energia elettrica nel tempo al fine di ridurre i carichi di picco. Nella sperimentazione è stato possibile creare questa logica grazie alla presenza di alcuni elettrodomestici programmabili e ad un impianto di pannelli fotovoltaici. Grazie al software è stato infatti possibile impostare che alcuni degli apparecchi, all'interno dell'abitazione, funzionassero anche grazie all'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici.
In termini pratici il programma, dato il numero di cicli settimana di alcuni elettrodomestici, precedentemente impostato, sposta questi cicli, in termini di tempo, durante la massima produzione dei pannelli fotovoltaici. Nel caso in cui la produzione di energia data dai pannelli non fosse sufficiente per effettuare il numero di cicli impostato, questi avvengono normalmente tramite l'uso dell'energia elettrica fornita dalla rete. Il numero dei cicli totale, dunque, rimarrà invariato ma, con l'obiettivo di sfruttare al massimo l'energia rinnovabile, cambierà il periodo della giornata in cui questi avverranno.
Gli elettrodomestici sottoposti a questa logica nel nostro caso studio sono stati la lavatrice e la lavastoviglie, ovvero gli unici apparecchi programmabili, presenti all'interno dell'abitazione.
Di seguito viene riportato l'algoritmo sviluppato per la presente logica, progettata grazie all'analisi e allo studio del Report Rds/2015/021 redatto dal politecnico di Torino [2].



5.3.1_DALL'ALGORITMO DI CONTROLLO ALLA SIMULAZIONE DINAMICA

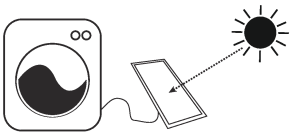
VARIABILI UTILIZZATE PER L'IMPLEMENTAZIONE DELLA LOGICA SUL PROGRAMMA



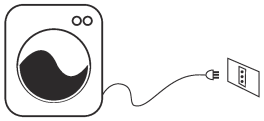
SINTESI GRAFICA DELLE VARIABILI PER L'MPLEMENTAZIONE DELLA LOGICA

Questa sintesi grafica è stata fatta nell'ottica di impostare le logiche sul programma Ida-Ice. Per questo motivo le variabili di ingresso sono state tradotte nel linguaggio del programma, ovvero in valori 0 e 1, e sono stati definiti gli output possibili della logica.

POSSIBILI OUTPUT A SECONDA DELLE VARIABILI DI INPUT

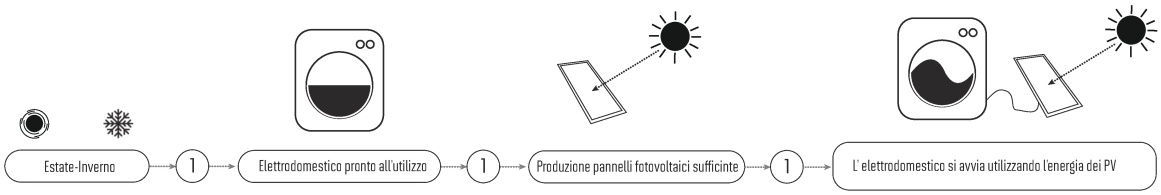


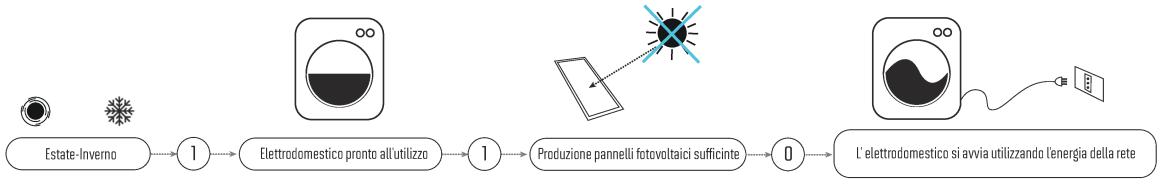
L' elettrodomestico utilizza l'energia elettrica derivante dai pannelli fotovoltaici (PV)



L' elettrodomestico utilizza l'energia elettrica derivante dalla rete

LOGICA PER GLI ELETTRODOMESTICI PROGRAMMABILI_DEMAND RESPONSE





5.4_ANALISI DEI RISULTATI FINALI: FASE 1 - FASE 2

Dopo aver progettato ed implementato il sistema di slittamento dei carichi elettrici dovuti agli elettrodomestici è stato effettuato il calcolo del fabbisogno energetico totale, sia con la prima logica che con la seconda logica.

I risultati ottenuti da questa seconda logica, ovviamente, vanno ad agire solamente sul risparmio energetico legato al consumo dell'elettricità (Figura 5.47).

Il risultato del fabbisogno energetico dovuto all'elettricità passa infatti da un valore di 1259 kWh, del modello implementato 1, al valore di 958 kWh, del modello implementato 2 con un risparmio energetico del 19,5% (Figura 5.46), che sommato al risparmio precedentemente ottenuto, con la logica di controllo delle luci, raggiunge risparmio totale sull'energia elettrica del 26,3 % (Figura 5.45) (Figura 5.48).

	DATI MODELLO STATO DI FATTO (kWh)	DATI MODELLO IMPLEMENTAZIONE-1 (kWh)	DATI MODELLO IMPLEMENTAZIONE-2 (kWh)	PERCENTUALE DI RISPARMIO	
FABBISOGNO ENERGETICO RISCALDAMENTO	7204	6051	**6051**	**16**	%
FABBISOGNO ENERGETICO ELETTRICITA'	1344	1259	**958**	**26,3**	%

Figura 5.45_Tabella calcolo del risparmio energetico totale

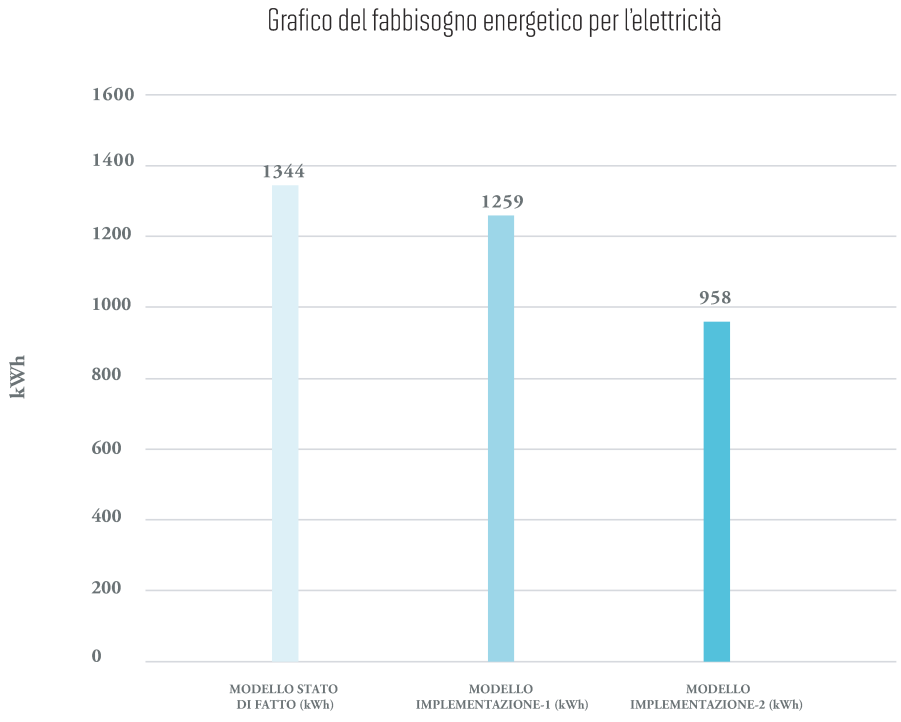


Figura 5.46

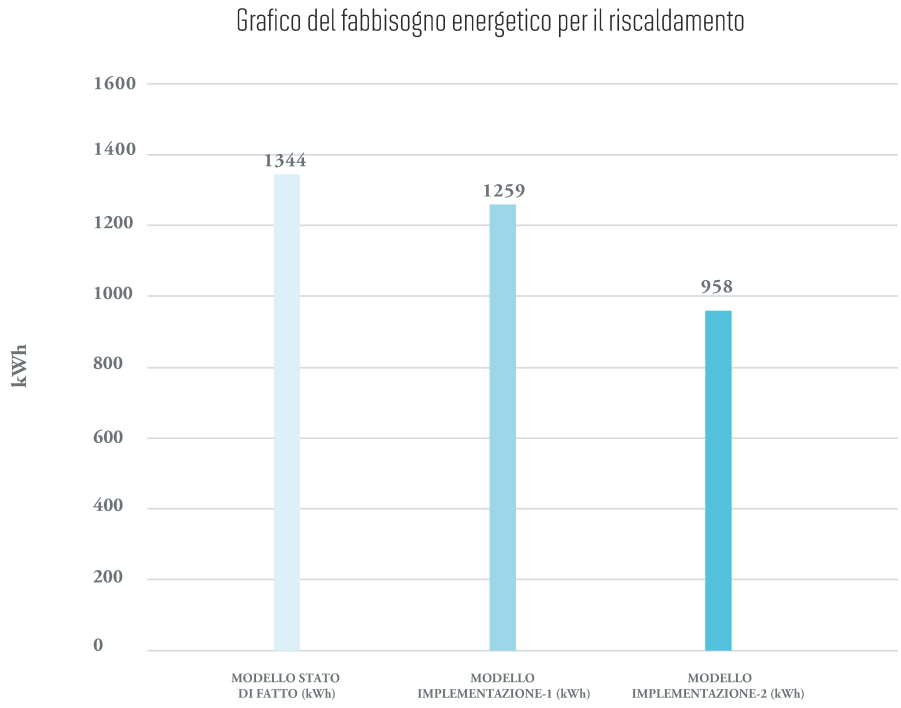


Figura 5.47

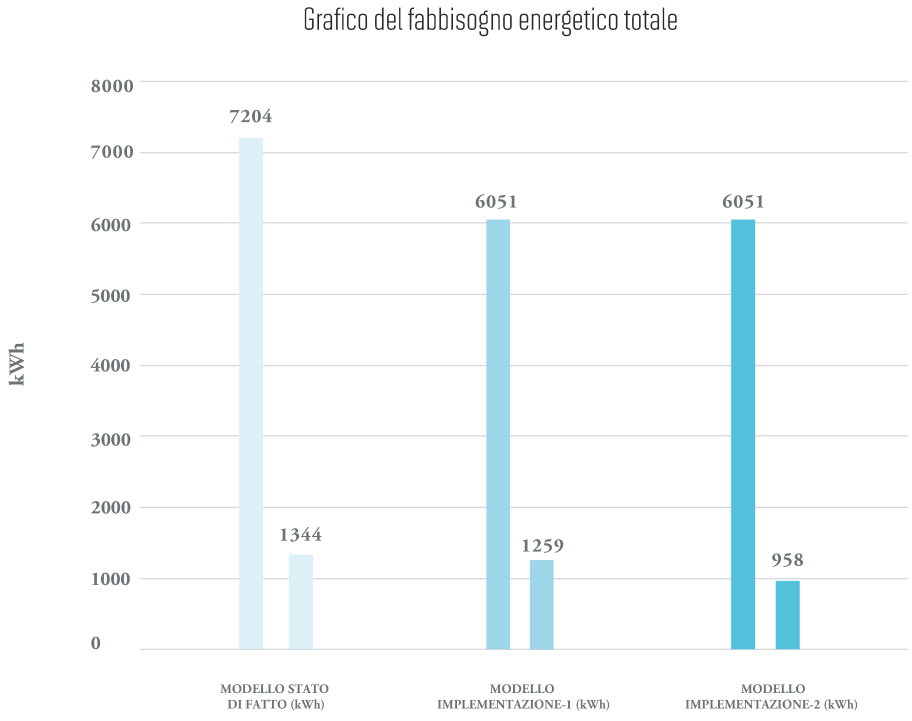


Figura 5.48

Il risparmio energetico totale possibile per il riscaldamento resta dunque del **16 %**, mentre quello dell'elettricità passa al **26 %.**

Una volta determinato il risparmio energetico in termini di kWh , si è effettuato il calcolo del risparmio economico ottenibile con il modello di implementazione 2. (che comprende il modello di implementazione 1).
Si è effettuata la trasformazione da kWh di fabbisogno energetico per l'elettricità a Euro.
Dunque 958 kWh moltiplicati per il prezzo dell'energia elettrica pari a 0,2 €, che è uguale a 958 kWh x 0,2 € , corrisponde a 191,60 €
Sommando questo valore al costo del fabbisogno energetico per il riscaldamento, ovvero 816,22 €, si ottiene il costo energetico totale all'anno ottenibile con il modello di implementazione 2.
Se si sottrae questo valore, al costo energetico totale annuo del modello dello stato di fatto, si ottiene il risparmio energetico totale. Dunque sottraendo 816,22 € a 1012,44 € si ottiene un risparmio energetico di 196,22 € (Figura 5.49) (Figura 5.50), ovvero del 19,5% della spesa totale iniziale.

	SPESA MODELLO STATO DI FATTO €	SPESA MODELLO IMPLEMENTAZIONE-1 €	DATI MODELLO IMPLEMENTAZIONE-2 €	QUOTA DI RISPARMIO	
FABBISOGNO ENERGETICO RISCALDAMENTO	743,64	624,62	**624,62**	**119,02**	€
FABBISOGNO ENERGETICO ELETTRICITA'	268,80	251,80	**191,60**	**77,20**	€
FABBISOGNO ENERGETICO TOTALE	1012,44	−	**816,22**	**196,22**	€

Figura 5.49_Tabella calcolo del risparmio economico totale

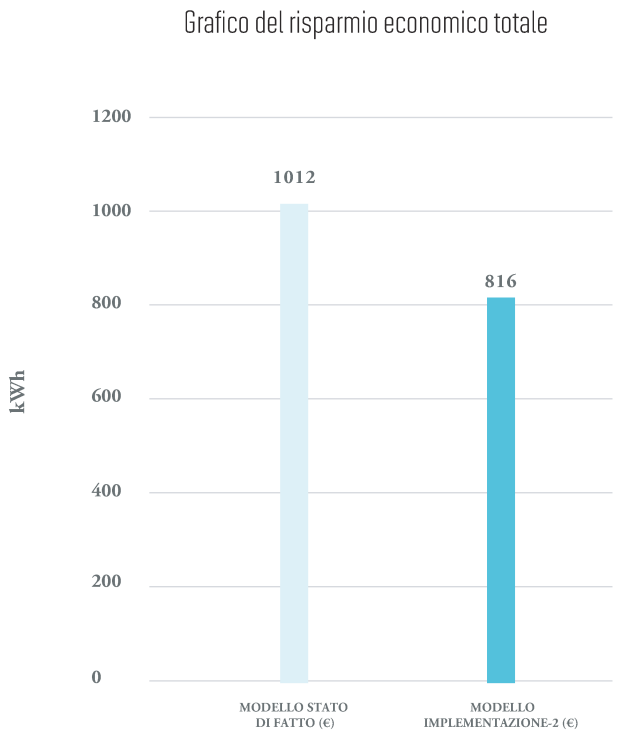


Figura 5.50

Il risparmio monetario totale ottenuto è del **19,5 %**

I risultati ottenuti mettono in luce il funzionamento delle logiche di controllo progettate. Con queste, infatti, si è riusciti a risparmiare sul fabbisogno energetico dell'appartamento oltre che a innalzare il livello di comfort abitativo.
Inoltre, queste percentuali di risparmio energetico sono in linea con quelle della letteratura dove si attesta che un sistema di automazione per gli edifici possa produrre un risparmio energetico che oscilla tra il 15% e il 30 %.

5.4.1_LIMITI E PROSPETTIVE FUTURE

LIMITI

Il limite principale dell'esperimento effettuato riguarda il tipo di appartamento e il tipo di utenza presi in esame. Lo studio, infatti, ha analizzato un piccolo appartamento abitato da un'unica persona in pensione.
Il problema di questa tipologia di caso studio deriva dal fatto che è già di per sé poco energivoro e che gli sprechi di energia, essendo dovuti ad un'unica persona, sono limitati. Dovendo dunque calcolare il risparmio energetico ottenibile, tramite dei sistemi di gestione automatica, il risultato per questo caso studio sarà sicuramente sottodimensionato rispetto ad altri casi abitativi, come quelli di famiglie più numerose, di case più grandi o con ritmi di vita più vari.
Partendo, infatti, da una spesa energetica pari a 1012,44 Euro all'anno si è riusciti a risparmiare il 19,5%, ovvero 196,22 Euro. Questo risparmio, da un punto di vista prettamente economico, nel nostro caso reale, non giustificherebbe la spesa dell'intervento. Se però la spesa energetica di partenza fosse più elevata e l'efficienza del sistema restasse intorno al 20 %, il risparmio economico diventerebbe più ingente.
Un altro limite dovuto alla tipologia del caso applicativo, è stata quella di aver testato queste logiche su un unico appartamento. Se si fossero, infatti, applicati questi sistemi all'intero edificio il risparmio totale sarebbe stato più elevato e la spesa di partenza meno onerosa. In letteraura troviamo studi in cui è stato dimostrato che la gestione energetica dei carichi di picco applicata ad un edificio o addirittura ad un network di edifici potrebbe portare a risparmi energetici fino al 30%.

PROSPETTIVE FUTURE

L'esperimento condotto può essere considerato come la base di partenza per testare i sistemi di gestione automatica di un edificio su una scala più ampia. Questo caso studio, infatti, è servito per verificare il funzionamento delle logiche di controllo progettate su un edificio reale e per capire la loro efficienza ed efficacia. Compreso che il risparmio energetico ottenuto, seppur leggermente sottostimato, si aggira intorno al 20 % , questo permette di immaginarsi diverse prospettive future.
Si potrebbe infatti sperimentare:
- casi applicativi di queste logiche su abitazioni di maggiore superficie, e quindi con una spesa energetica maggiore;
- casi applicativi di queste logiche con diversi tipi di profili di utenza;
- casi applicativi di queste logiche su un intero edificio;
- casi applicativi di queste logiche su un Network di edifici;

Queste ultime due possibili sperimentazioni sono di sicuro le più importanti in una prospettiva futura. Queste, infatti, permetterebbero di testare il risparmio energetico dovuto alla gestione, ad una scala molto più ampia, moltiplicandone le possibilità e l'efficacia.

6. CONCLUSIONI

6_CONCLUSIONI

Lo scopo della presente ricerca è stato quello di progettare e testare il funzionamento di una logica di controllo ed automazione all'interno di un appartamento al fine di accertare se quest'ultima possa procurare all'occupante un risparmio energetico e, contemporaneamente, un miglioramento del comfort abitativo anche nell'ottica di un futuro inserimento all'interno di un gateway residenziale.
La sperimentazione ha preso come caso studio un appartamento di 86 m^2, abitato da un unico utente in pensione. Conosciuti i dati costruttivi, impiantistici e di consumo energetico totale annuo dell'appartamento è stato possibile costruire, tramite il software Ida-Ice, un modello matematico in grado di simulare lo stato di fatto.
L'accuratezza del modello di simulazione ottenuto è molto elevata con un *Mean Bias Error* (MBE) sul fabbisogno energetico per il riscaldamento pari al 1,1%, e un MBE sul fabbisogno energetico per l'elettricità pari al 6,4%.
Ciò vuol dire che i dati provenienti dal modello simulato si discostano molto poco dai dati reali, permettendo la progettazione di una logica di controllo e gestione affdabile.
Nello specifico la logica di controllo è stata creata con l'obiettivo di generare un sistema omogeneo di interazioni per mantenere un determinato stato di comfort risparmiando contemporaneamente energia.
Con l'obiettivo di facilitare la sperimentazione, la logica di controllo è stata suddivisa in due fasi: la prima (fase1) contenente tutti i sistemi che, dal punto di vista della gestione, possono modificare i parametri di comfort abitativo come la ventilazione, la termoregolazione e l'illuminazione; la seconda (fase2) riguardante l'uso degli elettrodomestici.
La prima fase è stata studiata per far in modo che le diverse azioni cooperino insieme al fine di raggiungere l'obiettivo del risparmio energetico. Per fare ciò stato necessario definire un ordine di priorità, al quale ci sì è attenuti per l'intera sperimentazione. Questo mette al primo posto la salute della persona attraverso il controllo della qualità dell'aria, al secondo posto il comfort termico dell'occupante attraverso la termoregolazione, e al terzo posto il comfort visivo.
Determinata la prima parte della logica, intesa come un unico sistema generale, si è deciso di implementarla sul programma Ida-Ice al fine di simularne l'efficacia.
Per fare ciò, a causa del software, è stato necessario scomporre la prima fase in quattro singole logiche: una per l'apertura/chiusura finestre, una per il controllo delle schermature solari, una per l'accensione/spegnimento luci e una per l'accensione/spegnimento impianto. Queste quattro logiche, pur essendo state implementate singolarmente, grazie allo studio effettuato in partenza, mantengono il loro carattere interattivo.
Dopo aver riscritto e implementato le singole logiche sul programma Ida-Ice è stato possibile effettuare la prima simulazione per testare il funzionamento complessivo della prima fase.
I risultati ottenuti mettono in evidenza un risparmio sul fabbisogno energetico per il riscaldamento pari al 16 % ed un risparmio sul fabbisogno energetico per l'elettricità pari al 7,3%.
Inoltre, grazie ad un'analisi parametrica, è stato possibile definire un tendenziale miglioramento del comfort abitativo sia in stagione invernale che in stagione estiva. Nello specifico, d'estate, grazie all'utilizzo delle schermature solari si è riusciti ad ottenere un abbassamento della temperatura interna anche di 1,5°C , mantenendo comunque la condizione minima di comfort visivo interno.

D'inverno, invece, con il sistema di ventilazione studiato, si è riusciti ad ottenere una miglior qualità dell'aria interna senza intaccare in alcun modo il comfort termo igrometrico. Complessivamente con questa prima parte di logica, dal punto di vista economico, si è riusciti a risparmiare il 13,5% per un totale di € 136,00 all'anno.
Dopo aver simulato e verificato la prima fase della logica, si è studiata e implementata anche la seconda fase al fine di testare quale sia la massima potenzialità di risparmio che il sistema di controllo può riuscire a fornire complessivamente.
La seconda parte della logica, studiata in modo autonomo, è stata sviluppata seguendo il principio del *Demand Response*, ovvero quello della progettazione dell'uso dell'energia elettrica nel tempo al fine di ridurre i carichi di picco. Nella sperimentazione è stato possibile creare questa parte di logica grazie alla presenza di alcuni elettrodomestici programmabili e ad un impianto di pannelli fotovoltaici.
Dopo aver progettato il sistema di slittamento dei carichi elettrici dovuti agli elettrodomestici si è deciso di implementare questa parte di logica sul programma e di effettuare la seconda simulazione.
I risultati ottenuti mettono in evidenza un risparmio sul fabbisogno energetico per l'elettricità pari al 19,7 %, che sommato al risparmio ottenuto con la prima fase della logica pari al 7,3% raggiunge il 26,3 % di risparmio complessivo sul consumo di energia elettrica totale.
Riassumendo, grazie all'utilizzo della logica di controllo si entrambe le fasi si è riusciti ad ottenere un risparmio sul fabbisogno energetico per il riscaldamento pari al 16 % e un risparmio sul fabbisogno energetico per l'elettricità pari al 26,3 %. Dal punto di vista economico questo risparmio energetico si traduce in un risparmio economico totale del 19,5 % pari a € 196, 22 su un consumo totale complessivo pari a € 1020,00 all'anno.
È quindi provato che con la logica utilizzata si riesce a risparmiare sul fabbisogno energetico dell'appartamento innalzando contemporaneamente il livello del confort abitativo. Le percentuali del risparmio energetico ottenute inoltre, sono in linea con quelle della letteratura secondo la quale un sistema di automazione per gli edifici può produrre un risparmio energetico oscillante tra il 15% e il 30 %.
È infine importante precisare che maggiore è il consumo energetico dell'edificio migliori sono i risultati economici ottenibili con l'applicazione della logica di controllo analizzata, ragion per cui il presente elaborato può essere considerato un valido punto di partenza nella prosecuzione dei test su una più ampia scala.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1]. N. Balta-Ozkana, B. Botelerb, O.Amerighic,"European smart home market development: Public views on technical and economic aspects across the United Kingdom, Germany and Italy", Energy Research & Social Science 3 (2014), 65–77;
[2]. A.Capozzoli, S.P.Corgnati, V.Fabi, F.Lauro, G. Spigliantini, "Sviluppo di metodologie di aggregazione e benchmarking dei dati energetici di rete di edificie modelli di feedback per il coinvolgimento degli utenti residenziali".Report Rds/2015/21, Dipartimento Energia, Politecnico di Torino;
[3]. Rivista mensile, "Casabella 881", Gennaio 2018, Mondadori, Milano;
[4]. Rivista mensile, "Casabella 878", Ottobre 2017 , Mondadori, Milano;
[5]. M. De Benedetti, A. Pracchi, "Antologia dell'architettura moderna. Testi, manifesti, utopie ", Zanichelli, Bologna 2010;
[6]. M. Ehrenhard , B. Kijl, L. Nieuwenhuis,"Market adoption barriers of multi-stakeholder technology: Smart homes for the aging population", Technological Forecasting & Social Change, 89 (2014), 306–315;
[7]. V.Fabi, R.Vinther Andersen, S. Paolo Corgnati,"Influence of occupant's heating set point preferences on indoor environmental quality and heating demand in residential buildings", HVAC&R Research, 2013;
[8]. A. Federici, C. Martini, " Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2017 (RAEE)", pubblicato dalla Agenzia Nazionale Efficienza Energetica (ENEA);
[9]. "Guida ANIT Nazionale. Regole per l'efficienza energetica degli edifici. Guida ANIT di approfondimento tecnico", pubblicata dalla Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e Acustico, Maggio 2016;
[10]. J .H. van Houwelingen, W. F. van Raaij,"The Effect of Goal-Setting and Daily Electronic Feedback on In-Home Energy Use", Journal of Consumer Research, Vol. 16 No. 1 (1989), pp. 98-105;
[11]. S. Iaconesi, O. Persico "HOME Seminar. Uno Smart Agent all'università" Seminario performativo transdisciplinare, Politecnico di Torino, Università degli Studi di Torino, 2 novembre 2017;
[12]. M. Rihar, N. Hrovatin, J. Zoric,"Household valuation of smart-home functionalities in Slovenia",Utilities Policy, 33 (2015,) 42-53;
[13]. L.Rizzi,"Automation and occupant behaviour for energy savings in buildings. Application to a real nZeb: Cortau House".Tesi di laurea, Politecnico di Torino, Facoltà di Architettura, Corso di Laurea Magistrale in Arcghitettura Costruzione e Città, Anno accademmico 2015-2016;
[14]. S. Vandi,"Smart Home: stato dell'arte della tecnologia", Tesi di laurea, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Scuola di Ingegneria ed architettura, Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica, Informatica e Telecomunicazioni, Anno acccademico 2013-2014, Sessione II;
[15]. F.Viganò,"La certificazione energetica nelle Regioni Italiane", Convegno-Fiera KILIMAHOUSE 2006, Bolzano, gennaio 2006;
[16]. World Commission on Environment and Development (WCED). 1987. Our Common Future, Oxford and New York: Oxford University Press;
[17]. D.P.Wyon, "Enhancing productivity while reducing energy use in buildings", Proceedings of the Conference 'E-Vision 2000' at the Department of Energy Washington DC, Washington DC: RAND Corporation (2001);

[18]. Latouche S., "La scommessa della crescita", Feltrinelli Ed. (collana serie Bianca),2007;
[19]. Prugh T., Costanza R., Daly H.E., The Local Politics of Global Sustainability", Island Pr., 1999;
[20]. Sneddona C., Howarth R. B., "Sustainable development in a post-Brundtland world, Ecological Economics 57,2006;
[21]. Roseneau J., "Globalization and governance: bleak prospects for sustainability. Internationale Politik und Gesellschaft 3, 2003;
[22]. E. Fabrizio, V. Monetti ,"Methodologies and Advancements in the Calibration of Building Energy Models",Energies, Università degli Studi di Torino, Politecnico di torino, ISSN 1996-1073;
[23]. G.Comodi, A.fonti, "Sviluppo di un similatore rete di edifici residenziali e implementazione preliminare di un modello di smart district".Report Rds/2015/21,Università Politecnica delle Marche;
[24]. A. Atzeri, G.Pernigotto, F.Cappelletti, A. Gasparella, "Energy performance of shading devices for thermal and lighting comfort in offices",Proceedings of the BSA,2013
[25]. A.Atzeri, F.Cappelletti, A. Gasparella,"Internal versus external shading devices performance in office buildings",Energy Procedia,2014-Elsevier;
[26]. C.Aghemo, J.Virgone, G.V.Fracastoro, A.Pellegrino, L.Blaso, J.Savoyat, Kevyn Johannes, "Managment and monitoring of public buildings through ITC based system: Control rules for energy saving with lighting and HVAC sevices", Frontiers of Architectural,2013-Elsevier;
[27]. S. D'Oca, V. Fabi, SP. Corgnati, RK. Andersen, " Effect of termostat and windows opening occupant behavior models on energy use in homes",Building Simulation,2014-Springer;
[28]. S.Makonin, L.Bartram, " A Smarter Smart Home: case studies of Ambient Intelligence", IEEE Pervasive Computing,2013;
[29]. Q. Hu, F. Li, "Hardware Design of Smart Home Energy Management System With Dynamic Price Response", IEEE Transaction on Smart Grid, 2013;
[30]. MICENE- Misura dei consumi di Energia elettrica in 110 abitazioni italiane-Curve di carico dei principali elettrodomestici e apparecchi di illuminazione-Dipartimento di energetica Milano, Settembre 2004;
[31]. N. Saito,"The concept of an ecological smart home network,Ecological Design of Smart Home,(2015), pp. 3-16. NetworksWoodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials.
[32]. Uwe Wienke, "Aria, Calore, Luce. Il comfort ambientale negli edifici", Roma, Tipografia DEI del genio civile,2005
[33]. G.L. Dell'Osso, F.Iannone, A.Pierucci, A.Rinaldi, S.Vacca, "La gestione dei carichi termici estivi mediante sistemi di Building Automation", Automation in Construction, DICATECh, Politecnico di Bari, ISTEA, 2015

SITOGRAFIA

[34]. http://www.regione.piemonte.it/
[35]. http://www.ericsson.com/
[36]. http://www.senseable.mit.edu/
[37]. https://www.youtube.com/watch?v=tJtDyeseW10
[38]. http://www.bmw.com/
[39]. http://www.seat.com/
[40]. http://www.pubblicitàprogresso.com/
[41]. http://www.Vertisol.com/
[42]. https://wccftech.com/apples-video-shows-home-app-ios-10-capable/
[43]. https://designtoimprovelife.dk/google-to-buy-nest-labs-for-3-2-billion/
[44]. https://www.homecontrols.com/Fibaro-Z-Wave-Motion-Sensor-Gen5-FBFGMSZW5
[45]. http://pro.gewiss.com/irj/go/km/docs/docPortaleProfessionale/Italia/Default/Area%20Prodotti/Focuson/DOMOTICS_ThermoICE.html
[46]. https://za.pinterest.com/pin/730849845751486854/
[47]. http://www.melablog.it/post/63441/philips-hue-recensione-della-lampadina-a-led-connessa-alliphone
[48]. http://www.artwave.it/architettura/progettisti/antonio-santelia-larchitettura-futurista/
[49]. http://freemaninrealworld.altervista.org/larchitettura-futuristra/
[50]. https://umbertocao.com/2017/04/03/verso-quale-citta/
[51]. http://www.archidiap.com/opera/la-casa-elettrica/
[52]. https://www.visitdenmark.it/it/danimarca/noleggia-una-bici
[53]. http://www.zeroundicipiu.it/2009/09/19/carlorattiassociati-digital-water-pavillon/
[54]. http://www.carloratti.com/project/digital-water-pavilion/
[55]. http://casabellaweb.eu/the-magazine/year-annata-2018-lxxxii/
[56]. http://www.auto.it/widget/utility/2016/04/05-97603/prima_pagina_auto_maggio_2016/
[57]. http://www.melablog.it/post/62837/iwatch-anticipato-dal-termometro-nest
[58]. https://www.theben.it
[59]. https://www.fibaro.com
[60]. https://www.tado.com
[61]. http://www.control4.it
[62]. http://www.vimarperte.it
[63]. http://www.geze.it