



## Ricerca di Sistema elettrico

Sviluppo di metodologie di aggregazione e benchmarking dei dati energetici di rete di edifici e modelli di feedback per il coinvolgimento degli utenti residenziali

A. Capozzoli, S. P. Corgnati, V. Fabi, F. Lauro G. Spigliantini

## SVILUPPO DI METODOLOGIE DI AGGREGAZIONE E BENCHMARKING DEI DATI ENERGETICI DI RETE DI EDIFICI E MODELLI DI FEEDBACK PER IL COINVOLGIMENTO DEGLI UTENTI RESIDENZIALI

A. Capozzoli, S. P. Corgnati, V. Fabi, F. Lauro, G. Spigliantini (Politecnico di Torino, Dipartimento Energia)

Settembre 2016

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano

Obiettivo: Smart Home Network

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Sviluppo di metodologie di aggregazione e benchmarking dei dati energetici di rete di edifici e modelli di feedback per il coinvolgimento degli utenti residenziali".

Responsabile scientifico ENEA: Sabrina Romano

Responsabile scientifico Politecnico di Torino: Proff. Stefano Corgnati e Alfonso Capozzoli



## Indice

1	INTRODUZIONE .....	6
2	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	6
2.1	ATTIVITÀ B1: SMART HOME NETWORK .....	6
2.1.1	<i>Definizioni delle variabili da monitorare .....</i>	20
2.1.2	<i>Metodologie di analisi e aggregazione dei dati .....</i>	37
2.1.3	<i>Sviluppo di algoritmi di controllo e data fusion .....</i>	50
2.1.4	<i>Definizione delle tipologie di feedback .....</i>	80
2.1.5	<i>Definizione dei benchmark di riferimento.....</i>	92
2.1.6	<i>Tecniche di engagement del comportamento dell'utente in ambito residenziale .....</i>	105
3	CONCLUSIONI.....	110
4	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	113
5	BIBLIOGRAFIA CONSULTATA .....	115
6	CURRICULUM VITAE DEGLI AUTORI DEL RAPPORTO TECNICO .....	116
	ALFONSO CAPOZZOLI .....	116
	STEFANO PAOLO CORGNATI .....	116
	VALENTINA FABI.....	117
	FIGURELLA LAURO .....	117
	GIORGIA SPIGLIANTINI.....	117

## Sommario

L'attività svolta nel programma di ricerca del PAR 2015 si è delineata intorno alla sperimentazione riferita all'obiettivo "Smart Home Network" del progetto "Sviluppo di un modello integrato di Smart District Urbano". Il lavoro svolto dal Politecnico di Torino è stato strutturato in sei attività, ciascuna delle quali è illustrata nel presente documento.

La prima attività svolta ha riguardato una revisione critica di letteratura sul tema delle Smart Home con particolare riferimento agli aspetti energetici. Tutti gli aspetti legati alla nascita, lo sviluppo, i servizi offerti e l'interazione con gli utenti sono stati oggetto di approfondita ricerca e analisi di letteratura internazionale. Tale attività è stata propedeutica a definire da un lato il livello e il dettaglio dei servizi da offrire agli utenti per la sperimentazione da condurre nelle prossime annualità e, dall'altro, la rete di variabili, sensori ed attuatori da implementare in diversi kit di sperimentazione caratterizzati da diversi livelli di dettaglio (Attività 2.1.1). La ricerca in campo, infatti, si pone tra gli scopi anche quello di definire l'efficacia diagnostica del sistema e dell'architettura di monitoraggio a partire da diversi set di variabili monitorate e/o attuatori installati.

Una seconda attività (Attività 2.1.2) ha affrontato il tema di come i dati provenienti dalla rete di sensori ed attuatori dei diversi kit possono essere aggregati ed elaborati per ottenere degli indicatori sintetici sia di consumo che di qualità micro-climatica dell'ambiente interno.

L'attività 2.1.3 si è invece concentrata sullo sviluppo di logiche alla base di algoritmi di controllo finalizzati a ottimizzare la prestazione energetica della Smart Home o la qualità dell'ambiente interno attraverso meccanismi di attuazione o messaggi di feedback inviati all'utente. Sono stati infatti introdotti tre diversi livelli di automatismo corrispondenti a tre livelli di dettaglio del sistema in termini di controllo automatico e coinvolgimento dell'utente all'interno della Smart Home.

L'Attività 2.1.4 si è invece focalizzata sul sistema di feedback e informazioni da fornire agli utenti per un loro efficace coinvolgimento in un processo di apprendimento. I feedback individuati sono legati ai temi della sostenibilità e dell'energia utilizzata in ambito residenziale.

L'Attività 2.1.5 ha affrontato la fondamentale questione relativa all'individuazione di processi efficaci di benchmarking dei consumi energetici per reti di edifici in termini sia di identificazione degli indicatori prestazionali che di individuazione di profili di consumo tipologici (aspetto di fondamentale importanza per la diagnostica del sistema).

Infine, l'Attività 2.1.6 ha analizzato le diverse tecniche di comunicazione persuasiva potenzialmente implementabili per considerare l'utente non un soggetto passivo all'interno del sistema di automazione, ma un agente attivo che, se opportunamente coinvolto e istruito, possa risultare efficace rispetto all'obiettivo di riduzione dei consumi.

Le diverse attività svolte vanno quindi a costituire un quadro ben strutturato sul tema dello "Smart Home network". Il quadro emerso dalle attività svolte si aggiunge a quello presente in letteratura affrontando nuove linee di ricerca che vedono l'introduzione dell'utente come un vero e proprio agente attivo nell'abitazione "intelligente". Come nelle precedenti esperienze dei PAR, le ricerche condotte e i risultati ottenuti hanno permesso di approfondire i temi oggetto di studio e hanno aperto nuovi stimoli per proseguire indagini nei settori oggetto di questi studi, sempre più centrali nella ricerca nazionale e internazionale indirizzate verso la gestione e il controllo energeticamente efficiente degli edifici.

## 1 Introduzione

Nell'ambito del presente accordo di programma tra ENEA e Politecnico di Torino, l'attività di ricerca e sviluppo si concentra sul tema "Smart Home network" attraverso nuove linee di ricerca che, partendo dallo stato dell'arte sugli aspetti energetici delle case "intelligenti", vedono l'utente come parte attiva di esse. L'obiettivo ultimo è individuare criteri innovativi che vedono l'analisi del comportamento dell'occupante come opportunità e mezzo per la gestione energetica efficiente degli edifici residenziali definiti come "Smart Home".

In prima analisi è necessario individuare kit di strumentazione (sensori ed attuatori) a partire dalla definizione delle variabili di interesse per il monitoraggio e il controllo di una Smart Home, prevedendo diversi livelli di dettaglio e diversi livelli di coinvolgimento dell'utente. Successivamente, la definizione di opportune elaborazioni dei dati provenienti dai suddetti kit rappresenta un passo fondamentale per ottenere degli indicatori efficaci della prestazione di consumo e di comfort.

In un'altra linea di ricerca l'obiettivo è la definizione di logiche di controllo rapportate ai tre diversi livelli di automazione offerti dai kit predefiniti con l'obiettivo di ottimizzare le prestazioni di consumo e di comfort della Smart Home attraverso l'individuazione di una soglia ottimale tra livello di automazione ed educazione degli utenti con opportuni messaggi di feedback. Risulta a tale scopo fondamentale l'analisi delle modalità, tipologie di feedback e informazioni da fornire agli utenti per un loro efficace coinvolgimento in un processo di apprendimento finalizzato alla sostenibilità in ambito residenziale. A partire dai dati raccolti attraverso i kit definiti in precedenza, un ulteriore aspetto da approfondire riguarda lo sviluppo di regole di "data fusion" che hanno lo scopo di fornire informazioni relative alle abitudini dell'utenza in termini di modalità d'uso dei sistemi energetici e della dinamica di occupazione dell'edificio.

La definizione dei principali benchmark di consumo a livello residenziale in termini sia di identificazione di indicatori prestazionali che di profili di carico tipologici rappresenta un'altra linea di ricerca fondamentale da analizzare. L'importanza della definizione di tali benchmark risiede nel fatto che essi possono assumere un ruolo chiave nel processo diagnostico del comportamento dell'utente in relazione agli usi finali e dei sistemi di controllo presenti nella Smart Home in funzione del livello di coinvolgimento dell'utente stesso.

Infine lo studio dei meccanismi di coinvolgimento degli occupanti più efficaci nel processo di riduzione dei consumi energetici della Smart Home risulta cruciale, considerando che, come evidenziato anche in letteratura, la partecipazione e l'educazione degli utenti come parte attiva del sistema di automazione risulta un'importante leva per il risparmio energetico.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

### 2.1 Attività B1: Smart Home Network

#### 1-INTRODUZIONE AL TEMA "SMART HOME"

La Smart Home viene concepita con l'obiettivo di mettere in campo tecnologie in grado di migliorare la qualità della vita dell'essere umano in ambienti antropizzati. Generalmente, ciò avviene integrando tecnologie già esistenti al fine di inserire nuove funzionalità e migliorare la gestione di alcuni aspetti operativi dell'edificio. In particolare, essa consente una gestione coordinata, integrata ed automatizzata di impianti tecnologici (come i sistemi di condizionamento o di sicurezza), reti informatiche e reti di comunicazione.

L'automazione dei processi può essere resa possibile in due modi: tramite una gestione programmata da parte degli utenti, oppure dalla reazione automatica del sistema a determinati parametri ambientali prestabiliti o a logiche di controllo. Il contatto tra gli utenti ed il sistema di controllo dell'edificio (generalmente una o più unità computerizzate) avviene generalmente tramite sistemi di interfaccia di vario tipo, da semplici pulsanti a dispositivi di riconoscimento vocale. Essendo rivolto ad un pubblico ampio e non specializzato, facilità di utilizzo e comprensibilità costituiscono prerogative fondamentali di un sistema di

questo tipo. Una Smart Home può declinarsi in un sistema domotico, ossia un sistema in grado di gestire diversi aspetti del funzionamento di un'abitazione avvalendosi di una serie di tecnologie e prodotti informatici che mettono in campo automazioni per controllare impianto elettrico, apparecchiature ed elettrodomestici dell'edificio. Riferendosi alla Smart Home, si mette in evidenza un'ulteriore peculiarità che questi sistemi possono vantare: la possibilità di avere un sistema "intelligente" in quanto sempre "connesso". In questo senso, dunque, in una Smart Home il sistema non è circoscritto all'edificio, ma completato da uno o più dispositivi di comunicazione con il mondo esterno per la sua supervisione e controllo da remoto. Inoltre, le informazioni relative all'abitazione sono sempre disponibili e messe in rete, spesso utilizzando la connessione internet.

## 2-BREVE EXCURSUS SU NASCITA E SVILUPPO DELLA DOMOTICA

Data la sua natura multidisciplinare, tracciare un profilo storico della Smart Home risulta complesso. Tuttavia è possibile individuare alcuni fattori influenzanti la nascita e lo sviluppo, oltre che la diffusione del prodotto, fino ai giorni nostri.

Innanzitutto alla base dello sviluppo degli impianti tesi al comfort dell'essere umano troviamo l'elettrificazione del territorio e delle abitazioni. Il primo esempio di "automazione domestica" della storia risale all'inizio del XX Secolo, quando William Penn Powers fondò a Chicago la Power Regulator Company (antenata dell'odierna Siemens): un'industria di regolatori di temperatura. Pochi anni dopo, sempre a Chicago, nacque il primo grand hotel dotato di impianto di condizionamento dell'aria automatico. In Italia, la casa elettrica venne presentata da SCAEM alla IV Esposizione delle arti decorative ed industriali di Monza nel 1930. Questo prototipo, in quegli anni largamente fuori dalla portata del semplice acquirente, rappresentava abbastanza fedelmente l'evoluzione cui si sarebbe assistito nel dopoguerra [1]. Effettivamente, negli anni del boom economico seguiti alla seconda guerra mondiale, lo sviluppo delle teorie razionaliste sulla dotazione dell'alloggio "moderno" ed una maggiore capacità di spesa della popolazione hanno portato gradualmente ad incrementare le dotazioni tecnologiche delle nostre abitazioni. Ciò è stato possibile, ovviamente, anche grazie allo sviluppo dell'industria manifatturiera e alla possibilità di produrre elettrodomestici su larga scala. Nel 1966 venne commercializzato ECHO IV (Electronic Computing House Operator), il primo dispositivo di controllo dell'automazione in grado di gestire la temperatura in ogni ambiente della casa, controllare la lista della spesa e gestire l'accensione e spegnimento degli elettrodomestici. Nonostante la sua commercializzazione, il prezzo proibitivo fece sì che non venisse venduto neanche un esemplare. Negli stessi anni (1970), la Pico Electronics in Scozia produsse l'X10, uno dei primi e più utilizzati standard industriali. Esso utilizza le onde convogliate (in inglese PLC-Power Line Communication) per la segnalazione ed il controllo. Ancora oggi, nonostante siano stati sviluppati moltissimi altri standard e metodi di comunicazione, questa tecnologia rimane una delle più popolari anche in ambiente domestico [1].

Il passaggio da casa "elettrica" ad "elettronica" invece è dovuto alla nascita dell'informatica e della telematica, ossia allo sviluppo di hardware e software e l'avvento di internet. Da un lato abbiamo la diffusione di oggetti elettronici, dall'altro l'implementazione, anche in ambiente domestico, di processi di automazione prima diffusi solo in ambiente industriale. L'enorme sviluppo di queste discipline le ha rese protagoniste, intorno agli anni '80, del processo che ha portato a concepire un edificio in grado di offrire servizi interattivi (e non più solo passivi) conformi allo stile dei propri utilizzatori. Probabilmente il primo progetto di una vera e propria "casa intelligente" è stato sviluppato a cavallo tra gli anni '70 ed '80: si tratta della casa Ahwatukee, frutto dell'innovazione tecnologica dei microchip. Seguirono negli anni successivi diversi altri esempi prevalentemente in area asiatica. Negli anni '90 poi, l'unione tra tecnologie di automazione ed informatica diede luogo a novità come la robotica e la telefonia mobile. In quegli anni la domotica identificava tutte le tecnologie ed applicazioni informatiche o robotiche applicabili in ambiente domestico. I principali fruitori di tali strumenti furono appassionati o persone con disabilità. A partire da quel periodo, lo sviluppo di questo settore ha visto un'accelerazione notevole che, però, non ha goduto dello stesso trend in termini di adozione nelle abitazioni.

Nel seguito si tenterà di chiarire qual è lo stato dell'arte attuale, le tecnologie disponibili ed i meccanismi che, ad oggi, sono stati riconosciuti come barriere o *drivers* per la loro adozione sul mercato [1].

### 3- LA DEFINIZIONE DI SMART HOME, SMART NETWORK, NETWORK OF SMART BUILDINGS E SMART CITY

Ad oggi, non è possibile individuare una definizione univoca di Smart Home; in letteratura ne troviamo diversi esempi: di seguito saranno citate alcune definizioni con l'intento di delineare un panorama inclusivo e comprendere la varietà di accezioni possibili di questa particolare categoria di edifici.

Attualmente, la maggior parte delle definizioni di Smart Home riportano come obiettivo principale la possibilità, da parte degli utenti, di comunicare ed interagire con il sistema edificio. Nella definizione seguente, l'obiettivo dichiarato di una Smart Home sembrerebbe essere proprio quello sopra citato. Secondo *Nazmiye et al.* [2] infatti, 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. Altre definizioni enfatizzano invece la capacità del sistema di "rispondere" direttamente agli stimoli percepiti sulla base del comportamento degli utenti all'interno dell'edificio. È il caso di *De Silva et al.*[3]: in questo articolo si ritiene che l'"intelligenza" dell'ambiente, così come l'automazione dei controlli, abbia l'obiettivo di rispondere al comportamento degli utenti fornendo diversi servizi.

Se nei primi casi citati pare che la vocazione primaria di una Smart Home riguardi quasi esclusivamente l'interazione con gli utilizzatori, altre definizioni offrono visioni più ampie. Nell'articolo di *Rihar et al.* [4] ad esempio, si mette l'accento sulla presenza di dispositivi *high-tech* accessibili e controllabili da remoto per migliorare i servizi di comfort degli occupanti, ma anche necessità di sicurezza ed efficienza energetica. In altri casi, l'"intelligenza" degli edifici viene direttamente collegata alla gestione dell'energia. *Isshiki et al.* [5] dichiarano che l'obiettivo della Smart Home consiste nell'offrire un sistema di gestione dell'energia all'interno delle case che massimizzi l'efficienza elettrica ed ottimizzi i controlli degli elettrodomestici. In ultimo, altri si sono concentrati maggiormente sulla possibilità di creare *network*. *Saito et al.*[6] ad esempio, rimarcano l'alto livello tecnologico delle Smart Home affermando, però, che la tecnologia più importante è il *network* in quanto "sistema di utilizzo di informazioni sull'edificio" da parte dei sistemi dell'edificio stesso così come da parte degli utenti. La possibilità di reperire informazioni con velocità ed affidabilità insomma risulta la componente più importante per una Smart Home. Anche in un articolo di *Ehrenhard et al.* [7], il concetto di Smart Home viene descritto come l'utilizzo di *Information and Communication Technology* (ICT) all'interno degli edifici per favorire l'interoperabilità tra i dispositivi domestici ed i servizi all'interno di un ambiente costruito.

Parlando di **Smart Network** all'interno di una Smart Home quindi, ci si riferisce ad un sistema in grado di connettere e coordinare i diversi dispositivi tecnologici della casa (elettrodomestici, dispositivi, sensori) e le informazioni da essi derivanti (generalmente in tempo reale). Secondo *Nazmiye B.A. et al.*[2], la presenza o meno del network permette addirittura di distinguere una Smart Home da una semplice "casa ad alto contenuto tecnologico" dotata di dispositivi all'avanguardia che, però, non comunicano tra di loro e con gli utenti. È importante che il sistema di network sia costituito in maniera tale che tutti i componenti (sensori, dispositivi eccetera) siano integrati in maniera tale che possano comunicare efficacemente [6]. A questo proposito, è bene specificare che uno Smart Home Network è composto da due elementi: un elemento di connessione fisica dei componenti (ad esempio una connessione via radio o via cavo) ed un "linguaggio di comunicazione" tramite il quale i vari componenti possono comunicare e scambiare informazioni.

Il tema della "connessione" non è però rilevante solo a livello di singolo edificio. Ad un livello di scala superiore, ad esempio, viene utilizzato anche per la creazione di **Network of Smart Buildings** (o **Smart District**). In questi termini, la gestione di informazioni e controlli non riguarda soltanto l'unità singola (che continuerà ad esistere), ma anche un livello "superiore" che cerca di integrare più unità secondo obiettivi di livello distrettuale. Ovviamente la logica di utilizzo dei dati a questo livello sarà diversa da quella enunciata precedentemente per la singola residenza [5]. Tali Network di Smart Buildings possono anche essere collegati a reti "intelligenti" di gestione dell'energia come le **Smart Grids**. Con un ulteriore salto di scala si può giungere, infine, al contesto di **Smart City**. In questi termini la logica di comunicazione e gestione sarà

ovviamente più ampia, o addirittura andrà ad interessare anche settori diversi dall'ambiente costruito come il sistema dei trasporti ed il sistema sanitario per ottimizzare i servizi a livello cittadino.

In base a quanto detto, potremmo concludere che dal livello di Smart Home alla Smart City il sistema è sostanzialmente caratterizzato da due peculiarità: la raccolta e la gestione integrata di varie tipologie di informazione ed un obiettivo comune, che è generalmente l'utilizzo di tali informazioni per offrire servizi (di controllo) di vario genere in base al contesto considerato.

#### 4- SMART HOME: SERVIZI E COMPONENTI DEL SISTEMA

Come precedentemente affermato, la maggior parte delle definizioni di Smart Home mette in evidenza la possibilità di connettere (tramite network) diversi dispositivi, elettrodomestici e sensori. Inoltre un punto cruciale del sistema Smart Home è la finalità: offrire servizi che rispondano (in maniera più o meno automatica) alle necessità degli occupanti in termini di comfort o funzionalità. D'altra parte l'opportuna elaborazione delle informazioni acquisite può consentire la razionalizzazione dei consumi energetici dell'edificio.

Negli ultimi decenni la ricerca sulle Smart Home ha portato a molte novità che interessano diversi settori ed interessi. In generale, la domotica dovrebbe permettere di controllare tutti i servizi domestici per realizzare operazioni più o meno complesse combinando i diversi sistemi semplici connessi e controllati in modo "intelligente". Attualmente è possibile tracciare una categorizzazione dei vari servizi inclusi nel concetto di Smart Home:

1. **Controllo dello stato di salute.** Si monitorano e riconoscono le azioni dei residenti per valutare il loro stato di salute. La configurazione di questo sistema dipende dai "destinatari" del servizio. Esso sarà configurato diversamente a seconda che essi siano anziani, malati o bambini.
2. **Collezione o consultazione di multimedia.** Questo servizio, più legato alla sfera dell'intrattenimento, prevede l'archiviazione di varie tipologie di file multimediali (fotografie, filmati).
3. **Servizio di sicurezza e sorveglianza.** In questo caso le informazioni reperite in ambiente vengono analizzate per ottenere informazioni che possono sollevare allarmi in caso di rilevato pericolo. In questa categoria sono compresi sistemi antifurto, ma anche sistemi di rilevazione fumi o sostanze pericolose in ambiente.
4. **Controllo dei dispositivi ed elettrodomestici per l'efficienza energetica.** Questa accezione di Smart Home è relativamente recente rispetto alle precedenti e riguarda tutti quei sistemi in grado di gestire l'utilizzo di energia all'interno della casa con l'obiettivo di massimizzare l'efficienza e ridurre i consumi.

La presenza di sistemi di automazione all'interno dell'edificio offre benefici di natura trasversale che vanno dalla riduzione dell'impatto ambientale dell'edificio al miglioramento delle condizioni di sicurezza. Il sistema non è solo in grado di regolare il "funzionamento" dell'edificio, ma anche di archiviare dati utilizzabili, ad esempio, da un energy manager, per individuare strategie di riduzione dei consumi e dei costi aumentando efficienza energetica e comfort degli occupanti.

In base a quanto detto, la domotica permette di gestire, sulla base di informazioni acquisite, diversi aspetti dell'abitazione. Si può dunque gestire l'ambiente in termini di temperatura, illuminazione, riscaldamento dell'acqua sanitaria e distribuzione dell'energia elettrica. Secondo criteri simili è possibile anche gestire l'avviamento degli apparecchi elettrici come la lavastoviglie, il forno, i frigoriferi ed il ferro da stiro. A questo punto è utile provare a delineare quali sono le componenti di questo sistema. Esse sono già state (almeno in parte) citate, ma di seguito si tenterà di ricostruirne un quadro al fine di comprendere il funzionamento generale di una Smart Home secondo passaggi progressivi.

Innanzitutto, come già accennato, il sistema prevede la raccolta di alcune informazioni dall'ambiente domestico. La natura ed il numero di **variabili** monitorate varia in base ai futuri servizi da offrire all'utenza. Ad esempio monitorando temperatura, umidità relativa e livello di CO<sub>2</sub> in ambiente, si misurano 3 variabili.

Per avere un controllo climatico, si monitoreranno variabili diverse (almeno in gran parte) rispetto a quelle utilizzate per i servizi di assistenza all'anziano o al malato. Tutte le informazioni rilevate, però, entreranno a far parte del sistema informativo generale. Gli strumenti utilizzati per "racogliere informazioni" in ambiente sono i **sensori**. Esistono diversi tipi di sensori in base alla variabile che sono in grado di rilevare.

Una volta raccolta l'informazione, è necessaria la sua trasmissione ad un dispositivo di "raccolta", spesso identificato come **unità centrale**. Essa rappresenta il fulcro del sistema domotico, poiché ha il compito di elaborare i segnali provenienti in input dai vari sensori e dalle interfacce utente presenti nella casa, oltre che gestire i dispositivi periferici. L'unità centrale potrebbe essere costituita, ad esempio, da un pc dedicato o da una centralina domotica che utilizza un sistema operativo embedded. Un sistema embedded è un sistema di elaborazione dati specializzato, integrato in un dispositivo fisico in modo da controllarne le funzioni tramite un apposito programma software dedicato: un esempio è il sistema di controllo dello smart-phone. L'unità centrale quindi è una sorta di "mente" del sistema in grado di archiviare ed elaborare i dati ottenuti (le informazioni descritte in precedenza) e di conseguenza inviare "comandi" alle varie apparecchiature di interesse in base ai servizi da fornire ed alcune regole prefissate.

Esiste un altro tipo di informazione che può giungere all'unità centrale: essa proviene dalle cosiddette **interfacce utente**. Le interfacce sono dispositivi che permettono agli utenti dell'edificio di interagire con il sistema; in questo caso l'informazione che arriva al sistema non è il risultato di un monitoraggio ma, più facilmente, una "richiesta", un comando operato dall'utente. Poiché i destinatari di queste tecnologie sono nella grandissima maggioranza inesperti, la facilità di utilizzo di questi dispositivi è un requisito fondamentale per la loro scelta. In particolare è importante che siano in grado di permettere all'utente di operare facilmente il proprio comando e, d'altra parte, non indurlo in errore. Sempre parlando di interazione con gli utenti, un altro strumento fondamentale è il **gateway residenziale**. Una Smart Home necessita di vari servizi anche all'esterno dell'ambiente abitativo: comunicazione internet con i dispositivi, collegamento al sistema di sicurezza e comunicazioni di emergenza sono solo alcuni dei servizi necessari. Il gateway è il sistema che permette la connessione con la rete di comunicazione esterna.

Molte delle definizioni di Smart Home viste in precedenza mettono in evidenza come uno degli obiettivi principali di un sistema domotico sia offrire servizi agli utenti, o comunque rispondere (in maniera più o meno automatica) alle loro necessità. Una volta raccolte le informazioni dall'ambiente e portate all'unità centrale, dovranno essere elaborate per dare luogo ad "azioni" che possono essere di natura informativa o automatismi. Questo meccanismo di controllo avviene grazie ad **algoritmi** sviluppati appositamente per i diversi servizi offerti. Vi sarà, ad esempio, un algoritmo che elabora i dati necessari al controllo dell'illuminazione dell'ambiente, così come un altro sarà dedicato al controllo della temperatura (ed i sistemi di riscaldamento e raffrescamento), al lancio degli allarmi in caso di situazioni pericolose, ecc. Ovviamente le "decisioni" prese dagli algoritmi dovranno tenere conto delle interazioni degli utenti con il sistema di controllo.

Le operazioni appena descritte riguardano il sistema di controllo della Smart Home. In base ai servizi richiesti e, di conseguenza, alla progettazione degli algoritmi, alcune situazioni richiederanno delle azioni. Ad esempio, se il sistema di controllo dell'illuminazione è progettato per accendere la luce quando in ambiente non è più garantito un illuminamento prestabilito, nel caso in cui il sensore apposito rilevi il non soddisfacimento di questo requisito l'algoritmo stabilirà la necessità di accendere la luce e, di conseguenza, l'attivazione dell'illuminazione artificiale. I dispositivi che ricevono questa tipologia di comandi sono detti **attuatori**, responsabili di tradurre i segnali ricevuti in azioni sui dispositivi connessi ed i circuiti di interfaccia.

Per completare un breve panorama sul funzionamento di una Smart Home è necessario fare cenno ad un altro elemento la cui tipologia ed affidabilità determina il funzionamento adeguato dell'intero sistema: i **mezzi trasmissivi**. Il sistema di comunicazione trasmette informazioni e comandi tra tutti i componenti del sistema (compresi gli utenti e le apparecchiature) e rappresenta, in un certo senso, il sistema "nervoso" dell'edificio. In generale è possibile distinguere tra mezzi trasmissione che fanno uso di cavi (in inglese *wired*) e mezzi che utilizzano vari tipi di segnale senza utilizzo di cablaggio (*wireless*).

I mezzi trasmissivi più utilizzati in domotica sono i seguenti:

- **Onde convogliate o powerline:** questa tecnologia utilizza la rete di alimentazione elettrica come mezzo trasmissivo sovrapponendo un segnale di frequenza elevata (di varia entità) al trasporto di corrente elettrica. La separazione dei due segnali avviene filtrando le frequenze utilizzate. Il vantaggio di questo sistema sta nella possibilità di utilizzare la linea elettrica esistente; di contro si ha però una scarsa velocità di trasmissione e spesso problemi di interferenza (superabili talvolta con filtri di linea).
- **Radiofrequenza:** questo mezzo è basato sull'utilizzo di onde radio e rappresenta un metodo tutto sommato semplice, in grado di ridurre al minimo i costi di installazione. Di solito si utilizza un segnale elettrico o un'onda elettromagnetica ad alta frequenza propagata nello spazio attraverso mezzi tenui come l'atmosfera o nel vuoto. Questo tipo di segnale è molto potente e non necessita di molti ripetitori per coprire l'intera abitazione, anzi è necessario prendere precauzioni per evitare la trasmissione ad abitazioni vicine. Un possibile ostacolo all'utilizzo di questa tecnologia, invece, si incontra nella sua standardizzazione: le bande di frequenza utilizzate di solito variano da nazione a nazione.
- **Infrarossi:** questo metodo di trasmissione non prevede cablaggio, ma è caratterizzato dal vincolo di direzionalità del segnale e da una forte attenuazione in caso di ostacoli tra trasmettitore e ricevitore. Utilizzando questo metodo appare fondamentale una standardizzazione del segnale per il pericolo inquinamento del segnale dovuto a sovrapposizioni.
- **Bus di linea (o doppino ritorto):** è il mezzo di trasmissione più semplice, anche se richiede maggiore lavoro in fase di installazione per la posa dei cavi. Il segnale, infatti, viene in questo caso trasmesso tramite una coppia di conduttori dedicati. La tecnica di per sé è molto flessibile e si presta soprattutto per abitazioni molto ampie.
- **Fibra ottica:** in questo caso il segnale viene trasmesso tramite un segnale luminoso che viaggia all'interno di una guida d'onda. Il filamento interno è di materiale vetroso o polimerico e conduce, appunto, il segnale luminoso (spesso infrarosso). Il vantaggio di questo sistema è costituito dalla velocità di trasmissione del segnale e la totale immunità dai disturbi elettrici o elettromagnetici; la resistenza e la flessibilità dei cavi li rende particolarmente adatti per trasporti su grandi distanze, mentre sono molto meno usuali per le installazioni domestiche.

Una volta scelto il mezzo di trasmissione del segnale, un altro passaggio fondamentale riguarda il linguaggio attraverso cui si esprime il dato: per questo esistono diversi **protocolli di comunicazione**. Con l'avanzare della tecnologia e dei mezzi trasmissivi si è avuta una notevole evoluzione anche in termini di standard e protocolli di comunicazione. Ovviamente in base al mezzo utilizzato si avranno diverse opzioni tra cui scegliere, inoltre molte apparecchiature sul mercato sono programmate per trasmettere/ricevere dati secondo linguaggi specifici. Per questo, quando si progetta un sistema di domotica, è indispensabile scegliere componenti in grado di "dialogare".

Di seguito, a titolo esemplificativo, sono riportati alcuni protocolli e standard utilizzati in domotica:

- **EIB (European Installation Bus):** è uno standard fondato dall'EIBA nel 1990, a Bruxelles, pensato per soluzioni di home e building automation. Può essere utilizzato su diversi mezzi trasmissivi tra cui powerline, doppino, infrarossi e radiofrequenza e permette di collegare un numero altissimo di dispositivi. La velocità di trasmissione varia molto in base al mezzo utilizzato.
- **Z-Wave:** si tratta di un protocollo utilizzato per connessioni wireless progettato appositamente per i sistemi di domotica. Nato nel 2001 da una start-up, il protocollo nasce con l'obiettivo di permettere l'interoperabilità di prodotti di diversi costruttori ed una comunicazione bidirezionale tra i dispositivi abilitati. Il mezzo di trasmissione utilizzato sono le onde radio (si opera attorno ai 900 MHz); data la frequenza utilizzata si evitano interferenze con sistemi Wi-Fi e Bluetooth.
- **BACnet (Building Automation and Control NETWORK):** è un protocollo di comunicazione per la domotica e le reti di controllo. In particolare, è un protocollo standard di ASHRAE, ANSI e ISO 16484-5. Le applicazioni previste riguardano sistemi di controllo per impianti di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, controllo dell'illuminazione, sicurezza ambientale ed antifurto.

- **KNX (Konnex):** è uno standard di building automation aperto nato dalla convergenza di tre standard che lo hanno preceduto (EHS, EIB e BatiBUS). Lo scopo per cui è nato è offrire uno standard unico in grado di uniformare tutte le tecnologie riguardanti la domotica, sostenere la standardizzazione di una piattaforma e garantire l'interoperabilità dei dispositivi. In particolare il sistema funziona tramite dei data-point Konnex, ossia delle variabili standardizzate per la rappresentazione di varie funzioni del sistema. Utilizzando queste variabili standardizzate è possibile che prodotti di diversi produttori dialoghino tranquillamente tramite un Bus Konnex. Questo standard prevede l'utilizzo di diversi mezzi trasmissivi combinabili a seconda delle esigenze tra cui Twisted Pair, Power Line a diverse frequenze, frequenze radio (868MHz) ed Ethernet.

#### **5-DIFFUSIONE DELLA SMART HOME: DISPONIBILITÀ A PAGARE DEGLI ACQUIRENTI, FATTORI INFLUENZANTI DI TIPO SOCIALE (SOCIAL DRIVERS E SOCIAL BARRIERS)**

Nonostante i decenni di sperimentazioni e sviluppo, la domotica non ha ancora avuto una diffusione davvero ampia. In letteratura diversi studi hanno tentato di delineare un quadro di motivazioni legate a questa ancora relativamente scarsa diffusione così come, invece, quali aspetti sarebbero probabilmente da migliorare per incoraggiare il mercato in direzione delle Smart Home.

Diversi studi hanno previsto una forte crescita del mercato delle Smart Home entro il 2020 [4]. In particolare, si prevede che, per motivi legati allo sviluppo del mercato elettrico e della necessità di gestione dei picchi a livello europeo, si abbia, in un primo tempo, la necessità di "connettere" il maggior numero di edifici alle future Smart Grids. In un secondo tempo si prevede invece che i sistemi di automazione dell'edificio vengano implementati gradualmente investendo in dispositivi "intelligenti".

Secondo *Rihar et al.* [4], la disponibilità a pagare degli acquirenti (in inglese *Willingness to pay*) per determinati prodotti o servizi legati alle Smart Home dipende da diversi fattori:

- La possibilità di ottenere un risparmio economico di gestione;
- La percezione di utilità legata alle informazioni sull'utilizzo dell'energia;
- La consapevolezza ambientale dell'acquirente;
- L'intenzione di cambiare le proprie abitudini ed il proprio comportamento all'interno della propria casa;
- La fiducia nel trattamento "sicuro" dei propri dati (in termini di privacy).

Il progetto di una Smart Home dovrebbe sempre tenere in considerazione le effettive necessità degli acquirenti, perché sono loro a stabilire quanto sarebbero disposti a pagare per un certo servizio. Questo significa che i prodotti sul mercato dovrebbero essere più flessibili ed adattabili possibile, per cercare di intercettare le necessità ed offrire all'utilizzatore finale soltanto i servizi cui è interessato. Secondo il medesimo studio, circa la metà dei consumatori che attualmente non usufruisce di prodotti specifici o servizi da parte del proprio fornitore di energia elettrica sarebbe interessata all'adozione di servizi per la gestione energetica della propria casa. Nonostante ciò, si ritiene che ad oggi l'alto prezzo di tali servizi scoraggi gli acquirenti. Inoltre, accanto ai cosiddetti termostati "smart", si ritiene che i consumatori mostrino una forte preferenza per il monitoraggio real-time dei propri consumi energetici. Alcuni progetti pilota hanno mostrato che, anche solo tramite il monitoraggio dei propri consumi, i consumatori sarebbero in grado di realizzare un significativo risparmio di energia [8]. Le implicazioni in termini ambientali dello smart metering, degli smart devices ed anche della Smart Home vengono generalmente percepite come una "effetto positivo" compreso in un più ampio pacchetto di benefici, ma rimane ancora poco chiaro se esso rappresenti o meno un elemento di incoraggiamento all'acquisto sul mercato.

La Smart Home è caratterizzata, come descritto in precedenza, dalla possibilità di integrare e far comunicare i diversi dispositivi, sensori ed apparecchiature della casa creando un network. In questo modo, si ritiene che la qualità della vita degli abitanti possa essere potenzialmente migliorata offrendo nuovi servizi prima non realizzabili, oppure un miglior controllo e gestione dei servizi esistenti (si pensi ai suddetti meccanismi di controllo dei propri consumi energetici).

Nonostante ciò, alcuni studi si sono occupati di comprendere quali siano i principali elementi di "ostacolo" alla diffusione sul mercato delle Smart Home. Nello studio di *Nazmiye et al.* [2] ad esempio, si mette in evidenza che, probabilmente, uno degli elementi principali di avversione verso la Smart Home riguarda l'intrusione nella privacy domestica ed, in generale, la troppa intrusività di queste tecnologie. D'altra parte, uno dei maggiori fattori di incoraggiamento è rappresentato proprio dalla possibilità di ridurre i propri consumi energetici ed adottare sistemi che permettano di ottenere un reale risparmio economico. È possibile elencare alcune "questioni aperte" cui il mercato delle Smart Home dovrebbe sicuramente rispondere [2]:

1. **Implementare la Smart Home in edifici esistenti.** Sebbene attualmente le tecnologie Smart vengano implementate principalmente in edifici di nuova costruzione o in caso di riprogettazione molto spinta dell'esistente, è dimostrato che le persone preferirebbero convertire la propria casa in un ambiente Smart piuttosto che acquistarne una nuova [2]. Ad oggi, gli alti costi di installazione di questi sistemi li rendono accessibili solo ad una ristretta fascia di mercato, anche perché sono concepiti principalmente come interventi di forte incidenza sull'edificio, non integrabili "progressivamente". Poiché in Europa la percentuale di edifici esistenti (in molti casi storici) sostituiti da quelli di nuova costruzione è bassissima (inferiore all'1% annuo), è piuttosto evidente che la sfida stia nell'implementazione delle tecnologie Smart in edifici già esistenti. Inoltre, da un punto di vista prettamente sociale, è auspicabile che gli edifici si adattino progressivamente al cambiamento di esigenze della società.
2. **Interoperabilità dei sistemi.** Con "interoperabilità" si intende la capacità di diversi sistemi di interagire efficacemente. Questo aspetto riguarda principalmente gli sviluppatori ed i venditori delle tecnologie per Smart Home. Attualmente infatti, non è detto che dispositivi Smart siano in grado di scambiare informazioni e lavorare effettivamente in maniera coordinata ed affidabile. La letteratura recente individua due possibili soluzioni a questo problema: da un lato abbiamo la possibilità di creare (ed adottare) uno standard/protocollo di comunicazione universale per gli Smart devices, dall'altro lo sviluppo di un gateway in grado di connettere e "tradurre" protocolli diversi per rendere interoperabili dispositivi prima non comunicanti.
3. **Affidabilità del sistema.** Questo aspetto è strettamente legato al punto precedente. In generale, la possibilità di mancata comunicazione o errori nel sistema Smart Home lo rende poco affidabile agli occhi del consumatore. L'affidabilità, inoltre, fa riferimento all'effettiva capacità di questi sistemi di rispondere ai bisogni specifici dell'utilizzatore. Effettuando un investimento di questo tipo infatti, il consumatore si aspetta che il sistema si dimostri all'altezza delle aspettative.
4. **Privacy e sicurezza.** Una delle principali prerogative di una Smart Home sta nella possibilità di offrire servizi "personalizzati", specifici, in base allo stile di vita dell'utilizzatore. A tal fine, il sistema deve raccogliere alcune informazioni che riguardano, ad esempio, periodi di occupazione, utilizzo di energia e bollette, acquisti e, a seconda dei servizi presenti, perfino i gusti musicali. Spesso i consumatori si dimostrano diffidenti perché percepiscono questi sistemi troppo intrusivi. Inoltre, questo problema risulta accentuato quando si crea un network tra più unità abitative, perché si teme che l'utilizzo di tali informazioni a livello distrettuale metta a rischio la propria sicurezza.
5. **Costi.** Come accennato in precedenza, la percezione generale da parte del consumatore è che la Smart Home rappresenti un sistema riservato ad una fascia di mercato molto ristretta. La stessa percezione è manifestata anche nei confronti delle apparecchiature Smart, quindi i singoli elettrodomestici da acquistare. Inoltre, secondo le teorie dell'economia comportamentale, le persone sono disposte ad investire in tecnologie ad alto costo solo se ne vedono da subito gli effettivi benefici. Se quindi fosse possibile fornire al consumatore un dato certo di risparmio in bolletta ottenibile dall'adozione di un certo sistema, egli sarebbe più facilmente disposto ad investire [2].
6. **Facilità di utilizzo.** Come accennato in precedenza, il potenziale acquirente di una Smart Home ha un profilo molto vario, ma in generale non è considerabile un "esperto". Per questo, l'intuitività dei

sistemi di interazione tra l'utente e la Smart Home dovrebbe essere massima. Ad oggi, gli acquirenti manifestano una certa difficoltà nell'utilizzo di questi sistemi.

7. **Ruolo della politica e del governo.** Secondo *Ehrenhard M. et al.*[9], il ruolo del governo per la diffusione della Smart Home non dovrebbe essere sottovalutato. Politiche efficaci, infatti, potrebbero coadiuvare ed incentivare il mercato, regolare i finanziamenti e salvaguardare la privacy del cittadino.

## 6- SMART ENERGY HOME

Negli ultimi anni, uno dei principali obiettivi delle politiche riguardanti l'Efficienza Energetica (EE) è stato promuovere l'utilizzo di dispositivi più efficienti. I Building Automation Controls (BACs), ossia tutti i sistemi di controllo automatico degli edifici, hanno un ruolo fondamentale per l'effettiva efficienza e sostenibilità in esercizio degli edifici. Le prestazioni degli edifici dipendono dalla loro configurazione geometrica e strutturale, dagli impianti e dagli utilizzatori. La Smart Home, così come i sistemi di automazione degli impianti degli edifici, può avere un'incidenza su tutti e tre gli aspetti. In precedenza, la gestione degli impianti e dei consumi energetici dell'edificio sono stati citati come solo uno dei servizi offribili dalla tecnologia Smart Home, per questo riferendosi esclusivamente ai servizi di tipo "energetico" si potrebbe parlare di Smart Energy Home. Solo negli ultimi anni il termine "Smart" ha cominciato ad essere associato alla possibilità di gestire i consumi energetici degli edifici e sono nati dei sistemi di Home Energy Management System (HEMS), ossia dei dispositivi che hanno l'obiettivo di massimizzare l'efficienza energetica (in termini di uso di energia) agendo sul controllo di apparecchiature ed elettrodomestici.

Un sistema di Smart Energy Home è contraddistinto da due obiettivi principali: il miglioramento delle condizioni di comfort all'interno dell'ambiente ed il controllo dei diversi dispositivi e degli impianti per una gestione energetica efficiente. Questo avviene identificando e cercando l'eliminazione degli sprechi energetici, utilizzando l'energia solo in quantità necessaria e quando serve, ed implementando un efficace sistema di controllo. Un controllo efficace di tutti i sistemi di riscaldamento, raffrescamento e ventilazione infatti è indispensabile per creare un ambiente salubre e confortevole per gli occupanti.

Sebbene può risultare ovvio che edifici nuovi e tecnologicamente molto avanzati richiedano un sistema di controllo sofisticato, in verità anche gli edifici più tradizionali possono beneficiare di sistemi di controllo. D'altro canto, l'utilizzo di sistemi di controllo sofisticati non è l'unico modo per ridurre i consumi. Un utilizzo più oculato degli impianti già presenti in un edificio può risultare ugualmente efficace. Un approccio di questo tipo, ad esempio, potrebbe essere adottato in quegli edifici che, per motivi storici o culturali, non possono beneficiare di sistemi più complessi. Il miglioramento dell'efficienza energetica richiede, innanzi tutto, la conoscenza dei consumi di energia. Già solo un adeguato monitoraggio e la conoscenza dei propri consumi permetterebbe di diminuire significativamente l'utilizzo di energia dei dispositivi della casa.

È possibile individuare dei **servizi specifici relativi ad una Smart Energy Home** ed individuare due "campi d'azione" del sistema. Da un lato si potrà agire sui cosiddetti "usi finali dell'energia", ossia i componenti responsabili di un utilizzo energetico, dall'altro si ha la necessità di prendere in considerazione e gestire adeguatamente i parametri che qualificano la qualità dell'ambiente interno ed il comfort degli occupanti. In particolare come usi finali dell'energia si intendono gli impianti di riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, ventilazione, le apparecchiature elettriche e l'acqua potabile. Per quanto riguarda invece il comfort, si possono individuare diverse aree di competenza: le condizioni termo-igrometriche dell'aria, il comfort visivo, la qualità dell'aria ed il comfort acustico.

La gestione di questi due aspetti riguardanti l'energia nell'edificio prevede l'utilizzo dei componenti della Smart Home citati in precedenza, quindi la configurazione del sistema avverrà nella maniera seguente:

1. Definizione delle **variabili da monitorare in ambiente**. Per gli usi finali così come per la valutazione e gestione delle condizioni di comfort si sceglieranno alcune grandezze da monitorare. Ad esempio, per quanto riguarda il comfort termo-igrometrico, potrebbe essere valutata la temperatura interna e l'umidità in ambiente. In maniera simile, per quanto riguarda il riscaldamento, si potrebbe voler valutare l'energia termica utilizzata per garantire la temperatura impostata nel termostato.

2. Scelta dei **sensori**. In base alle variabili stabilite in precedenza, dovranno essere scelti dei sensori che ne permettono la misurazione.
3. Una volta raccolta l'informazione, in base al **mezzo di trasmissione** ed il **protocollo** adottato essa verrà trasmessa all'**unità centrale** dove verrà valutata ed archiviata. La "valutazione" avverrà tramite **algoritmi** studiati appositamente per ogni "azione" prevista dal sistema. Ad esempio, se un sensore rileva che la temperatura interna dell'ambiente non soddisfa il requisito imposto dall'utente nel termostato, l'informazione verrà inviata all'unità centrale dove un algoritmo provvederà ad inviare il comando di accensione del riscaldamento (se l'utente ha stabilito che in quel dato momento il riscaldamento deve effettivamente funzionare).
4. Nel caso in cui sia necessaria un'azione, l'algoritmo invia l'informazione ad un **attuatore** che agisce direttamente sul sistema interessato.

Dovendo costruire un sistema di Smart Energy Home dunque, per ogni uso finale e per ogni categoria di comfort potranno essere stabilite da un lato le variabili da monitorare, dall'altro i provvedimenti e gli automatismi che il sistema potrà mettere in campo. Ovviamente più il sistema sarà ricco di servizi (e quindi di strumenti a supporto) maggiore sarà l'investimento iniziale. È importante però sottolineare che non vi sono limiti di implementazione, quindi un acquirente potrebbe dapprima adottare un sistema relativamente semplice e poi aggiungere componenti nel tempo in base alla propria volontà e disponibilità economica. Quanto detto è assolutamente valido a livello teorico, tuttavia sul mercato non tutti i sistemi di domotica sono implementabili o facilmente implementabili: i sistemi che prevedono cablature, ad esempio, potrebbero in molti casi essere di difficile implementazione, inoltre quando si decide di aggiungere nuovi componenti e servizi i prodotti aggiunti devono essere compatibili con il sistema pre-esistente (in termini di protocollo di comunicazione).

Parlando di Smart Energy Home, un altro tema di enorme importanza riguarda il suo inserimento all'interno di un'eventuale **Smart Grid**, ossia un insieme di edifici "connessi" da un network riguardante il loro utilizzo di energia. Il mercato europeo dell'elettricità sta attuando una transizione da un sistema nazionale di tipo centralizzato e fondato sui combustibili fossili ad un sistema più decentralizzato, interconnesso e basato sull'energia da fonti rinnovabili. In questo panorama gli edifici divengono attori attivi: all'interno di una Smart Grid, anziché solo utilizzare energia presa dalla rete, essi possono produrre, immagazzinare o fornire energia anche agli altri edifici della rete. Essendo presente un sistema di gestione della domanda, si avrà un rapporto di richiesta e fornitura flessibile, che però richiederà l'inserimento, a livello dell'edificio, di sistemi di gestione ed accumulo dell'energia. Ovviamente, questo genere di tecnologie sarà reso dialogante con il sistema Smart Home ed i suoi componenti. Una delle principali motivazioni per cui vengono create le Smart Grid è la riduzione della domanda di energia. Il prezzo dell'energia nel futuro dipenderà sempre di più dalla sua disponibilità, per cui il dialogo con gli altri edifici di una Smart Grid sarà fondamentale. All'interno di una Smart Home si cercherà quindi il massimo equilibrio tra la domanda di energia e la sua fornitura, cercando di diminuire i costi e sfruttare al massimo le rinnovabili. Grazie al monitoraggio e la gestione automatica o semi-automatica dei dispositivi, la domanda di energia potrà essere gestita nel tempo. Aggregando la domanda e fornitura di diversi edifici ed accumulando l'energia prodotta in situ (da rinnovabili) sarà possibile monitorare e controllare i consumi, oltre che favorire il massimo sfruttamento delle rinnovabili e, di conseguenza, ridurre al minimo i costi energetici per i singoli proprietari.

In base a quanto detto, quindi, una Smart Energy Home dovrebbe essere in grado di rendere l'utilizzo di energia più efficiente possibile basandosi sul monitoraggio di ciò che avviene all'interno (lo stile di vita degli occupanti), monitorando l'ambiente e, di conseguenza, operando dei controlli che agiscono sui sistemi elettrici e termici (se presenti), riducendo gli sprechi e massimizzando il comfort. In base a quanto detto sulla Smart Grid inoltre, il singolo consumatore può divenire parte attiva del mercato energetico. Ciò può avvenire solo tramite un sistema adeguato di controllo che, oltre all'acquisizione dei dati, permetta anche una loro rielaborazione (tramite gli algoritmi prima citati), pianificando quindi l'utilizzo di energia in base alle esigenze dell'utente ma anche in base alle richieste della rete ed il prezzo dell'energia.

A questo proposito, gli **HEMS** permettono di monitorare e controllare tutte le apparecchiature elettriche domestiche, oltre che gli eventuali sistemi di produzione ed accumulo dell'energia. In tal modo l'utente è in

grado non solo di gestire da remoto le proprie apparecchiature, ma anche tenere conto in tempo reale dei consumi e memorizzare i dati per fare analisi a posteriori ed elaborare strategie di efficienza.

Secondo *Bin Zhou et al.* [10], un HEMS può essere generalmente composto dalle seguenti componenti:

1. **Smart HEMS center:** l'unità centrale del sistema di gestione energetica.
2. **Smart meters:** i sensori del sistema, ossia contatori di energia avanzati in grado di reperire e trasmettere informazioni provenienti dalla rete di distribuzione come dalle apparecchiature, oltre che misurare il consumo elettrico da rete, comunicare il costo all'utenza e supportare eventuali sistemi di accumulo.
3. **Sistema di comunicazione:** in base al sistema trasmissivo scelto è possibile poi scegliere ulteriormente un protocollo che sia compatibile con altri eventuali componenti della Smart Home che non riguardano la gestione energetica.
4. **Apparecchiature elettriche:** per precisione è bene distinguere tra apparecchiature non pianificabili (come il frigo o la televisione) ed apparecchiature pianificabili, come la lavatrice. Inoltre, quando parliamo di apparecchiature Smart ci riferiamo alla possibilità che esse possano rispondere ad un controllo remoto (proveniente ad esempio dall'HEMS), ossia senza l'azione diretta dell'utente.

Una delle principali potenzialità di un HEMS risiede nella possibilità di gestire la domanda energetica proveniente dalle apparecchiature (**Demand Response**). Ciò significa che il consumo di elettricità del consumatore può essere variato attraverso un'adeguata progettazione della domanda energetica, ossia dell'utilizzo di energia (per diverse funzioni) all'interno dell'edificio. Il nuovo paradigma del sistema elettrico porterà all'affermazione della "casa intelligente", in grado di colloquiare con le Utility per recepire gli stimoli di Demand Response, gestire intelligentemente i carichi ed ottimizzare generazione e autoconsumo tramite gli accumuli. Lo scenario futuro per i Paesi Europei prevede un aumento della penetrazione elettrica, coerentemente con un sistema ad alto tasso di rinnovabili elettriche distribuite, con conseguente disponibilità di energia in eccesso a costo nullo.

Negli ultimi anni, l'integrazione di programmi di **Demand Side Management (DSM)** è stata relativamente poco diffusa nei mercati energetici europei. Il DSM può essere definito come un ampio insieme di azioni che possono venire intraprese dal cliente in risposta a condizioni particolari nel sistema energetico (come ad esempio: periodi di congestione e di picco o prezzi elevati). È necessario favorire la diffusione di tecnologie innovative quali pompa di calore, storage e auto elettrica, eliminando gli ostacoli attuali (es. limiti di potenza e tariffe crescenti coi consumi) che possano promuovere l'adozione di tecnologie di DSM. La gestione della domanda oggi avviene principalmente in due modi alternativi: da un lato è possibile che il consumatore possa ricevere incentivi per ridurre la domanda nei momenti di carenza di offerta (in questo caso si parla di programma *Incentive Based*). In alternativa, è possibile gestire la domanda basandosi sulla variazione del prezzo dell'energia in rete, programmando di conseguenza, ad esempio, il funzionamento degli elettrodomestici. In questo caso, si parla di programma *Price Based* [53, 54].

I programmi che si basano su **incentivi** includono misure di controllo diretto del carico, programmi di interruzione di carico, capacity markets e servizi ancillari. I consumatori solitamente ricevono pagamenti, riduzioni di bollette o sconti per la loro partecipazione a tali misure, anche a seconda del volume di riduzione di carico. Nei programmi di controllo diretto del carico è prevista la possibilità di spegnere remotamente le apparecchiature o i macchinari dei partecipanti sulla base di un breve preavviso. Nei programmi di interruzione di carico ai consumatori finali viene chiesto di ridurre i consumi fino ad un valore predefinito. Coloro che non rispondono a tale richiesta incorrono in penalità. Le misure di capacity markets vengono offerte a quei consumatori che hanno la possibilità di impegnarsi a fornire pre-specificate riduzioni di carico in corrispondenza di contingenze di sistema. I partecipanti di solito ricevono un avviso il giorno precedente e vengono penalizzati se non rispondono alla richiesta di riduzione di carico. I servizi ancillari infine permettono ai consumatori di fare un'offerta su tagli nello spot market. Quando le offerte vengono accettate i partecipanti vengono pagati l'equivalente del prezzo dello spot market per il loro impegno a rimanere in stand-by.

Le **misure di prezzo** si fondano su tariffe dinamiche che variano a seconda del costo reale dell'elettricità. L'obiettivo ultimo di queste misure è di appiattire il più possibile la curva di domanda tramite l'offerta di prezzi più bassi durante i periodi non di picco e di prezzi più alti durante i periodi di picco. Tra queste misure si annoverano le tariffe biorarie, il Critical Peak Pricing (che viene utilizzato per un numero limitato di giorni o ore all'anno durante situazioni critiche dal punto di vista del sistema), il Time Of Use (che cambia generalmente su base giornaliera con blocchi fissi di tasso di prezzo) e il Real Time Pricing (in cui i prezzi cambiano rapidamente, generalmente su base oraria, e riflettono il costo reale dell'elettricità nel mercato wholesale; i clienti sono informati circa i prezzi il giorno o l'ora precedente).

Nonostante il numero crescente di esperienze in anni recenti – soprattutto nell'Europa settentrionale – e la diffusione di tariffe biorarie in Francia, Italia e Spagna, in Europa il DSM è cresciuto lentamente. La possibilità di gestire il carico di energia rinnovabile prodotta dall'utente residenziale e consumata in modo flessibile su larga scala può essere remunerativa sia a beneficio del piccolo cliente residenziale, sia in favore dei grandi produttori/consumatori di energia elettrica.

Il *Demand Response* quindi è una riduzione della domanda dovuta alla progettazione dell'utilizzo dell'energia per la riduzione del carico di picco. E' proprio in questo modo che, secondo quanto detto in precedenza, il consumatore potrebbe divenire personaggio attivo del mercato energetico ed ottimizzare i propri costi energetici. La gestione della domanda avviene, come ogni controllo all'interno della Smart Home, tramite **algoritmi** specifici che tengono in considerazione elementi come l'andamento del prezzo dell'energia nel tempo, quindi il picco di utilizzo in rete. In letteratura è possibile trovare diversi esempi di sperimentazione di algoritmi per la gestione della domanda energetica. Per chiarire la funzione di tali algoritmi in un sistema di Demand Response verrà preso in considerazione un lavoro di sperimentazione di *Mahamood A. et al.* [11]. In questo articolo si è elaborato un sistema per la riduzione dei costi energetici tramite il coordinamento dei diversi carichi elettrici presenti in un alloggio. Questo sistema prevede, coerentemente con quanto descritto in precedenza, un'unità di gestione dell'energia, smart meter, un sistema di comunicazione tra tutte le apparecchiature ed un'unità di accumulo di energia presente nell'edificio. L'algoritmo è stato sviluppato con l'obiettivo di far slittare il funzionamento delle diverse apparecchiature in maniera tale che esso avvenga "fuori picco", ossia quando la domanda di energia di rete non è massima. In termini pratici, ciò significa che un consumatore avvierà un elettrodomestico quando lo ritiene opportuno; in seguito, il sistema di gestione proporrà un momento di avvio più opportuno o un intervallo di funzionamento conveniente. L'algoritmo che gestisce questo processo è in questo caso articolato in 9 step successivi e prende in considerazione, tra le altre cose, il prezzo dell'energia, la verifica della domanda (verifica se ci si trova o meno in un momento di picco) e lo stato dell'accumulo di energia. L'algoritmo viene anche programmato per tenere in considerazione una potenza massima ammessa all'interno dell'edificio ed un intervallo di tempo massimo tollerabile per l'avviamento dell'apparecchiatura. Ovviamente, una volta che il sistema ha fornito l'orario o l'intervallo di funzionamento consigliato, l'utente è libero di seguire o meno le indicazioni del sistema.

## 7- DOMOTICA E STANDARD: LA NORMA EN15232

La norma di riferimento per i sistemi di automazione negli edifici (in termini energetici) è la EN 15232:2007, dal titolo "Prestazione energetica degli edifici-Incidenza dell'automazione, della regolazione e della gestione tecnica degli edifici", aggiornata nel Febbraio 2012. Essa mira ad incoraggiare e fornire strumenti efficaci per l'inserimento di sistemi di controllo ed automazione negli edifici (sia in ambito residenziale che terziario) per la riduzione dei consumi energetici in termini di impianti di climatizzazione ed illuminazione. Questa norma è stata elaborata sia per la valutazione degli edifici esistenti che per la progettazione del nuovo. In particolare, per quanto riguarda gli edifici esistenti, vengono definiti i metodi per la valutazione del risparmio energetico conseguibile tramite l'inserimento di sistemi di gestione e controllo degli impianti suddetti e la definizione di quattro diverse classi di efficienza energetica BACS (Building Automation and Control Systems) che valutano il grado di automazione degli edifici.

Le classi di efficienza, da D ad A (in ordine crescente), sono le seguenti:

- **Classe D\_ Non Energy Efficient.** In questa categoria sono annoverati tutti gli impianti tecnici privi di automazione.
- **Classe C\_ Standard.** Impianti automatizzati con sistemi di controllo tradizionali o BUS. Questa classe è considerata il requisito minimo di riferimento.
- **Classe B\_ Advanced.** Appartengono a questa classe gli impianti controllati con sistemi di automazione avanzati dotati anche di funzioni di gestione degli impianti tecnici specifici.
- **Classe A\_ High Energy Performance.** La classe A comprende impianti il cui livello di precisione ed accuratezza del controllo e degli automatismi è tale da garantire elevate prestazioni energetiche all'impianto.

All'interno della norma vengono anche proposti due metodi per il calcolo delle prestazioni energetiche ottenibili tramite l'implementazione di un sistema di controllo ed automazione degli impianti.

- **Metodo dettagliato (o statistico).** Per questa valutazione è necessaria una conoscenza dettagliata degli impianti e dei sistemi di controllo, automazione e gestione utilizzati per l'edificio ed i sistemi energetici. In particolare, per ogni impianto si valuta l'impatto di ogni funzione di controllo (che corrisponde ad una delle classi prima descritte).
- **Metodo dei fattori BACS.** Questa procedura di calcolo, di tipo tabellare, è più rapida ed adatta alle fasi di progettazione preliminari di un edificio. In questo caso non sono richieste informazioni particolari sulle funzioni di automazione e controllo se non la classe BACS dello stato di fatto e quella da implementare. L'impatto dei sistemi di controllo ed automazione permette di stimare l'eventuale risparmio energetico (secondo una stima). Tale impatto viene quantificato secondo un fattore BACS di riferimento appropriato. I fattori  $f_{BACS,h}$ ,  $f_{BACS,c}$ ,  $f_{BACS,DHW}$  vengono utilizzati per i fabbisogni di energia termica per riscaldamento, raffrescamento ed acqua calda sanitaria. Il fattore  $f_{BACS,el}$ , invece, viene utilizzato per il fabbisogno di energia elettrica per ventilazione, illuminazione ed i dispositivi ausiliari. Tramite questi fattori è possibile stimare un risparmio energetico indicativo (espresso in termini percentuali) basato sul passaggio dalla classe di riferimento a quella "di progetto". Questo tipo di calcolo viene svolto quando non si è a conoscenza del consumo attuale dell'edificio. Nel caso in cui, invece, tale consumo sia noto, questo metodo permette di calcolare un risparmio energetico in termini assoluti [kWh]. Inoltre, noto il costo dell'energia in [€/kWh], è possibile svolgere una semplice valutazione economica stimando il risparmio annuo ottenibile ed il tempo di ritorno dell'investimento. Ovviamente, la norma riporta un metodo di calcolo dei fattori BACS. In breve, il loro calcolo viene effettuato tramite il confronto tra il consumo energetico previsto per un locale di riferimento (standard) cui si applicano, progressivamente, le funzionalità dei sistemi di automazione che corrispondono alle diverse classi BACS a partire dalla classe C, considerata di riferimento. La metodologia permette di considerare diversamente edifici con diverse destinazioni d'uso.

## 8- SMART HOME: IL RUOLO DEGLI OCCUPANTI

Come chiarito in precedenza dalle diverse definizioni, gli occupanti rivestono un ruolo centrale quando si parla di Smart Home: innanzi tutto, uno dei principali fini di questo sistema è offrire servizi in grado di rispondere alle esigenze degli utilizzatori; inoltre, dal punto di vista ambientale, l'obiettivo è cercare le condizioni di massimo comfort termo-igrometrico, visivo ed acustico. A ciò, si unisce anche la necessità di mantenere un ambiente salubre in termini di inquinamento dell'aria (da anidride carbonica, fumi ed altri inquinanti presenti all'interno degli edifici).

Il comportamento umano è altamente imprevedibile: sono necessarie tecniche di monitoraggio di vario tipo per giungere ad una sua comprensione [3]. Per questo motivo, una delle maggiori sfide di un sistema domotico è comprendere quali effettivamente siano le abitudini e le preferenze degli occupanti, per configurare la propria Smart Home in maniera tale da offrire i servizi necessari a garantire le condizioni di comfort desiderate. I sistemi di automazione degli edifici non dovrebbero soltanto informare gli occupanti

delle condizioni presenti in ambiente, ma anche offrire un certo grado di controllo, quando e se appropriato. In questi termini possiamo parlare di Smart Controls, ossia strumenti che permettono agli occupanti di modulare il proprio utilizzo di energia. Come accennato in precedenza, l'energia all'interno di una Smart Home dovrebbe essere utilizzata solo quando e in quantità necessaria. Spesso, il comportamento degli occupanti all'interno degli edifici fa sì che **l'effettivo fabbisogno di energia per l'edificio si discosti molto da quello calcolato in fase di progettazione**. Ciò significa che, dal punto di vista energetico, l'edificio non sfrutta al massimo le proprie possibilità. Ciò accade, almeno in parte, perché, secondo la teoria del comfort adattativo, quando un individuo non è in condizione di comfort agisce in maniera tale da ristabilirlo [12]. Per ridurre la differenza tra consumi previsti e consumi effettivi, i sistemi di auto-apprendimento della Smart Home dovrebbero modulare i propri algoritmi di controllo in base alle preferenze degli occupanti, in maniera tale che essi siano portati il meno possibile ad "aggiustare" il proprio ambiente tramite azioni che potrebbero causare sprechi energetici.

La progettazione di una Smart Home dovrebbe prevedere un **sistema di informazione e "feedback"** per gli occupanti, in maniera tale che essi possano prendere coscienza dei propri consumi e dell'effetto del proprio comportamento sull'efficienza energetica dell'edificio. Con "feedback" si intende un'informazione riguardante il risultato di un processo o 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 [13,14]. Negli ultimi anni, l'interesse nei confronti dei sistemi di feedback in tempo reale ha visto uno sviluppo sempre maggiore, sia in ambito residenziale che terziario. Diversi studi hanno dimostrato che feedback molto rapidi agli occupanti possono contribuire a migliorare le condizioni di comfort e la soddisfazione nei confronti dei sistemi di riscaldamento, raffrescamento, eccetera [15,16]. Secondo *Leaman et al.* [17] inoltre, un'interazione veloce con i sistemi dell'edificio è importante anche in termini di percezione delle condizioni di comfort. Anche un sistema di feedback che confermi agli occupanti che gli impianti di riscaldamento e raffrescamento stanno effettivamente funzionando è fondamentale, perché contribuisce a ridurre la percezione di ritardo tra l'input di un controllo e l'effettivo cambiamento dell'ambiente secondo quanto richiesto [18].

Come noto, il sistema Smart Home è caratterizzato dalla raccolta di una grandissima quantità di informazioni provenienti dall'ambiente come dai sistemi impiantistici. Secondo quanto appena evidenziato in merito agli occupanti, queste informazioni potrebbero essere efficacemente utilizzate per produrre diagnosi e benchmark. Fissando dei **Key Performance Indicators (KPIs)**, ossia degli indicatori in grado di esprimere sinteticamente alcuni aspetti di funzionamento dell'edificio, gli impianti possono essere valutati considerando la massimizzazione dell'efficienza energetica ed il mantenimento di condizioni di comfort più vicine possibile alla soddisfazione degli occupanti. I KPIs potrebbero essere utilizzati anche per individuare delle mancanze nel sistema di controllo di apparecchiature e dispositivi. Questo processo di inclusione dell'utente prevede un approccio strategico per capire al meglio quali siano le necessità ed offrire il servizio richiesto secondo modalità ottimali dal punto di vista sia economico che energetico.

La **Tecnologia Persuasiva** [19,15] è una recente proposta atta ad indurre dei cambiamenti nel comportamento degli utenti. L'idea di base è influenzare e cambiare le abitudini ed il comportamento degli utenti attraverso l'interazione con la tecnologia, la progettazione di programmi e l'analisi dei dati. Questa disciplina afferisce da un lato alle scienze tecnologiche informatiche (internet, computer games eccetera) e dall'altro alle tecniche persuasive di tipo psicologico. In termini pratici, essa si pone l'obiettivo di sviluppare modelli di feedback in grado di migliorare la comprensione del dato così come l'interazione con l'utente. A livello subconscio inoltre, si punta alla persuasione e l'apprendimento di nuove (e virtuose) abitudini per la conservazione dell'energia. La tecnologia persuasiva è basata sull'utilizzo dei feedback: in letteratura è possibile trovare diversi studi riguardanti i feedback per il risparmio energetico ed il comportamento in diversi ambiti come la psicologia, l'interazione umana con il computer e la tecnologia ingegneristica [20]. Una delle tipologie più diffuse di feedback è l'informazione sul proprio utilizzo di energia, solitamente facendo confronti con situazioni passate. Poiché pochi individui hanno la consapevolezza del proprio utilizzo di energia e il suo impatto, dei promemoria periodici potrebbero aiutare a consumare di meno o cambiare il proprio comportamento.

La Smart Home è in grado di mettere in campo una serie di automatismi sulla base di algoritmi prestabiliti. In questo senso, potremmo parlare di uno Smart Behaviour dell'edificio. Focalizzando l'attenzione sulle necessità e la percezione di comfort degli occupanti, sarebbe auspicabile che tale Smart Behaviour fosse coerente con le caratteristiche dell'ambiente richieste dagli occupanti. Attualmente, i sistemi impiantistici dell'edificio sono programmati per assicurare determinate condizioni di comfort sulla base di indici prestabiliti (in termini igrometrici, visivi, di qualità dell'aria ed uditivi). In letteratura però, è ormai riconosciuto che vi sono molti fattori influenzanti la sensazione di comfort e la soddisfazione degli occupanti. Tra queste abbiamo le condizioni ambientali (come il clima), fattori sociali (l'individuo si trova in un ufficio singolo oppure in open-space) e fattori fisiologici (età, genere). Un altro importante fattore influenzante la soddisfazione degli occupanti è la **sensazione di controllo sull'ambiente**. Sia in ambito sociologico che psicologico è noto che la sensazione di controllo costituisca un forte elemento per prevedere il comfort ed il benessere fisico e psicologico delle persone. Inoltre, la sensazione di controllo è spesso presa in considerazione per i modelli di accettazione tecnologica ed i benchmark legati alla soddisfazione degli occupanti [21]. In base a quanto detto quindi, una Smart Home completamente automatizzata e non inclusiva nei confronti dell'occupante non rappresenta la soluzione più opportuna. La ricerca futura, in effetti, si sta dirigendo piuttosto nella direzione del giusto compromesso tra automazione e libertà di azione dell'utente.

### 2.1.1 Definizioni delle variabili da monitorare

Lo scopo di questa attività è stato quello di individuare le variabili energetiche e ambientali connesse agli occupanti delle abitazioni. In particolare, per ogni variabile identificata vengono definiti gli strumenti con i quali esse possono essere misurate in modo tale da poter ottenere informazioni sulla prestazione energetica dell'edificio, il grado di comfort e il comportamento degli occupanti. Vengono in particolare definiti tre kit di sperimentazione, ciascuno dei quali caratterizzato da un effort in termini di costo e sensoristica diversi, con l'obiettivo di identificare le informazioni e i servizi ottenibili in diversi scenari di Smart Home. L'obiettivo diventa quindi quello di ottenere e fornire informazioni capaci di ottimizzare il risparmio energetico e al contempo educare gli utenti. Tali informazioni vengono ottenute tramite dati provenienti dai sensori appartenenti a diversi scenari di automazione ed engagement. Lo scenario ideale sarebbe che tali informazioni definiscano il kit minimo con il quale ottenere il massimo risultato in termini di risparmio energetico e il minimo costo dell'installazione, ad esempio utilizzando solamente il concetto di comfort ed evidenziare così l'efficacia dei feedback legati all'uso di energia.

Per definire il flusso di informazioni da ottenere e fornire agli utenti nella sperimentazione, si è preso come riferimento ciò che avviene nel caso della Building Automation. In questi sistemi le logiche di ottimizzazione dei processi di controllo procedono per singole applicazioni: illuminazione, impianto di ventilazione, impianto di riscaldamento, etc. Il possibile risparmio energetico, conseguente all'ottimizzazione del controllo, è la sommatoria dei risparmi ottenuti per le singole applicazioni. Nel mondo fisico, tuttavia, le applicazioni interagiscono fortemente tra loro. Se per esempio viene aperta una finestra per migliorare la qualità dell'aria, questo determinerà anche un flusso termico che influenzerà il comfort termico dell'utente, ed in particolare la temperatura dell'aria in ambiente. influenzerà il comfort termico dell'utente, ed in particolare la temperatura dell'aria in ambiente.

Al fine di ottenere un risparmio energetico derivante dall'automazione e coinvolgimento dell'utente, bisogna evidenziare però che la parte di comunicazione e coinvolgimento delle persone risulta cruciale e fondamentale per la buona riuscita del progetto. In particolare, l'obiettivo finale deve andare al di là della sommatoria dei singoli risparmi: sarà dunque cruciale sviluppare un piano di comunicazione in grado di valutare le interazioni tra le singole applicazioni e valutare un'azione di ottimizzazione globale. Ovviamente le informazioni saranno dettate anche da logiche di ottimizzazione diverse da quelle del solo risparmio energetico, ad esempio per la massimizzazione della qualità dell'aria o del comfort termico.

L'analisi condotta ha lo scopo, quindi, di analizzare secondo un approccio sistematico volto alla verifica della prestazione energetica del sistema edificio impianto oggetto di indagine, tutte le principali grandezze ambientali ed energetiche che è possibile monitorare specificando le informazioni che ne possono derivare

per fini diagnostici. Viene presentata dapprima un'analisi critica sulla normativa tecnica e sulla letteratura di settore circa tutte le indicazioni di natura metrologica, metodologica e procedurale per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla valutazione della qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica, alle grandezze energetiche e al monitoraggio dei principali fluidi vettori.

## 1 - GRANDEZZE AMBIENTALI INTERNE

Le grandezze ambientali da monitorare sono state scelte sulla base di tre elementi:

- Obiettivi del monitoraggio;
- Caratteristiche dell'edificio/impianto;
- Disponibilità economica.

Incrociando le esigenze che derivano da questi tre elementi si sono identificati gli indici di caratterizzazione della qualità ambientale che si vogliono calcolare in fase di sperimentazione in campo e di conseguenza si sono individuate le grandezze da misurare.

### *ELENCO DELLE GRANDEZZE AMBIENTALI INTERNE PRESE IN CONSIDERAZIONE PER LA MISURA:*

- $t_a$  – Temperatura dell'aria [°C]
- $t_{mr}$  – Temperatura media radiante [°C] (può essere calcolata dalle misure di temperatura globotermometrica, di temperature piane radianti o di temperature superficiali ed i fattori di vista)
- $t_g$  – Temperatura globotermometrica [°C]
- $t_p$  – Temperatura piana radiante [°C]
- $t_s$  – Temperatura superficiale [°C]
- $t_{nwb}$  – Temperatura a bulbo umido (con ventilazione naturale) [°C]
- R.H. – Umidità relativa [%]
- $p_a$  – Pressione parziale del vapore [kPa]
- $v_a$  – Velocità dell'aria [ $ms^{-1}$ ]
- E – Illuminamento [lux]
- L – Luminanza [ $cd\ m^{-2}$ ]
- $L_s$  – Livello sonoro [dB]
- CO<sub>2</sub> – Concentrazione di CO<sub>2</sub> [ppm]
- VOC – Concentrazione di componenti organiche volatili [ppm]

A seguito dell'analisi condotta, si evince che le grandezze ambientali utili alla sperimentazione in campo sono relativamente poche, tuttavia la strumentazione atta alla loro misura risulta essere spesso delicata e costosa.

Molte delle grandezze individuate da sole non sono in grado di descrivere o qualificare una caratteristica dell'ambiente interno, tuttavia se combinate attraverso adeguati algoritmi possono essere in grado di descrivere accuratamente l'ambiente occupato (questo è particolarmente vero per il microclima). Gli indici dipendono dunque sempre dalla misura di almeno una grandezza, ma non tutte le grandezze elencate possono essere assunte anche come descrittori o indici di qualità ambientale.

Le grandezze basilari utilizzabili come descrittori dell'ambiente interno sono:

$t_a$ – Temperatura dell'aria	<b>Qualità termica</b>
R.H. – Umidità Relativa	<b>Qualità igrometrica</b>
E – Illuminamento	<b>Qualità luminosa</b>
$L_p$ – Livello di pressione sonora	<b>Qualità acustica</b>
CO <sub>2</sub> – Concentrazione di biossido di carbonio	<b>Qualità dell'aria</b>

Si può quindi concludere che la temperatura dell'aria, l'illuminamento, il livello sonoro e la concentrazione di CO<sub>2</sub> rappresentano il set di grandezze ambientali minime la cui misura può essere utile, in prima istanza, per descrivere rispettivamente l'ambiente termico, luminoso, acustico e la qualità dell'aria interna.

## 2 - GRANDEZZE AMBIENTALI ESTERNE

La sperimentazione in campo deve prevedere, oltre alla misura dei consumi energetici e delle grandezze ambientali interne, anche la misura di alcune grandezze ambientali esterne.

Queste devono essere misurate per due ragioni principali:

- Perché rappresentano delle forzanti del sistema energetico;
- Perché rappresentano dei valori di confronto rispetto alle grandezze interne.

I consumi per il riscaldamento degli edifici dipendono significativamente dal valore di temperatura dell'aria esterna, che può fungere direttamente da indicatore oppure può essere la misura fondamentale di un indice più elaborato come i gradi giorno (HDD o GG). La temperatura dell'aria esterna è al contempo un valore che può essere direttamente confrontato con quello di temperatura interna, nel caso di edifici ventilati naturalmente, per valutare la qualità dell'ambiente termico. Altre grandezze come l'irraggiamento solare sono invece unicamente delle forzanti del sistema energetico, che nella stagione di riscaldamento agiscono riducendo i consumi del sistema, mentre in estate li incrementano.

Le grandezze ambientali esterne possono essere monitorate in prossimità dell'edificio attraverso una centralina dedicata, oppure essere raccolte da una centralina meteorologica standard, identificabile attraverso l'identificatore di stazione del WMO (World Meteorological Organization). Le misure fatte in prossimità dell'edificio sono le più significative, poiché in grado di cogliere delle variazioni dovute al microclima nelle vicinanze dell'oggetto del monitoraggio.

### ELENCO DELLE GRANDEZZE MISURABILI:

T<sub>e</sub> – Temperatura dell'aria esterna [°C]

T<sub>w</sub> – Temperatura di rugiada [°C]

R.H. – Umidità relativa [%]

p<sub>a</sub> – Pressione atmosferica [Pa]

v<sub>a</sub> – Velocità del vento [ms<sup>-1</sup>]

I – Irradianza solare [W m<sup>-2</sup>]

A – Albedo [%]

E – Illuminamento esterno [lux]

L<sub>s</sub> – Livello sonoro esterno [dB]

CO<sub>2</sub> – Concentrazione di CO<sub>2</sub> [ppm]

## 3 - GRANDEZZE ENERGETICHE

La misura delle grandezze energetiche permette di ottenere informazioni che, se ben analizzate, facilitano le decisioni di gestione di tutti i sistemi energetici dell'edificio. Queste decisioni sicuramente hanno effetto sui costi associati alle richieste energetiche, sul costo delle apparecchiature e sulla prestazione energetica globale del sistema edificio impianto.

A livello più basso tutti i tipi di strumenti di misura forniscono in uscita variabili legate alle risorse energetiche o ai vettori energetici (energia, acqua, gas naturale) richieste da un edificio. Oltre a questo livello base strumenti di misura molto più sofisticati forniscono il vantaggio di funzionalità aggiuntive quali la misura della domanda elettrica, la misura della qualità della potenza o l'individuazione di perdite sui circuiti. Per i sistemi elettrici, gli strumenti di misura possono essere installati sia a livello centralizzato per verificare la richiesta di energia dell'intero edificio che a livello di quadro (per esempio per disaggregare il

dato relativo alla richiesta di energia elettrica per l'illuminazione o per un particolare uso associato a un circuito o, ad un livello più dettagliato, per misurare la richiesta energetica di una singola macchina (per esempio un motore o una pompa di calore). Per l'acqua, il gas ed altri fluidi associati a specifiche applicazioni dell'edificio, gli strumenti di misurazione sono installati sui circuiti in linea e possono essere caratterizzati da diverse tecnologie.

Ogni tipologia di misuratore ha un propria prestazione. I principali indicatori sono di seguito elencati:

**Accuratezza** – differenza tra il valore misurato e quello reale;

**Precisione** – capacità di riprodurre lo stesso valore (per esempio di temperatura, potenza, portata in volume) a seguito di più misure dello stesso parametro nelle stesse condizioni al contorno.

### ENERGIA ELETTRICA

Di seguito sono elencati i più comuni parametri di misura, focalizzando l'attenzione su quelli la cui misura offre grosse potenzialità per il miglioramento dell'efficienza energetica nominale ed in esercizio dei sistemi elettrici a servizio dell'edificio.

- **Corrente:** La misura del flusso di energia elettrica in un conduttore e usualmente misurata con un amperometro o con un trasformatore.
- **Tensione:** La misura del potenziale elettrico tra due punti in un circuito e usualmente misurata con un voltmetro o un trasformatore
- **Potenza apparente:** La misura del grado apparente di energia fornito da un carico elettrico. Essa è definita come il prodotto dell'energia per la tensione.
- **Potenza:** La misura della potenza reale fornita da un carico elettrico. La potenza reale sarà sempre minore o uguale della potenza apparente
- **Potenza reattiva:** Rappresenta la misura della potenza reattiva ed è molto utilizzata per l'identificazione delle esigenze di correzione del fattore di potenza
- **Fattore di potenza:** Rappresenta il rapporto tra la potenza reale e la potenza apparente ed è definita come il coseno dell'angolo tra la tensione e la corrente. Per i carichi con componenti reattive, per esempio i motori, la corrente e la tensione non sono in fase comportando un fattore di potenza minore dell'unità. Un fattore di potenza significativamente minore di 1 (per esempio minore o uguale a 0,85) può comportare un sovraccarico dei componenti a causa della loro necessità di compensare il bilancio risultante dal fattore di potenza improprio.

### FONTI ENERGETICHE PRIMARIE

#### GAS

Il monitoraggio del gas naturale presenta caratteristiche uniche e particolari se confrontato con la misura della portata di altri fluidi. Le proprietà fisiche del gas naturale in particolare e la relazione dinamica esistente tra temperatura e pressione, può sicuramente essere causa di inaccuratezze, per cui è necessario ricorrere ad una opportuna compensazione in fase di misura. Al fine di condurre una buona misura della portata di gas naturale è necessario misurare contestualmente anche la temperatura e la pressione del fluido.

In generale la misura della portata di gas è espressa in Nm<sup>3</sup>. Al fine di equalizzare l'effetto della variazione di densità quando si effettua la misura, le condizioni di misura sono riferite a condizioni standard di temperatura e pressione, per cui gli strumenti di misura utilizzati devono compensare la variazione di densità esistente tra le condizioni reali di misura e le condizioni standard per definire accuratamente il dato in Nm<sup>3</sup>. In alcune applicazioni il misuratore di gas viene installato prima di dispositivi di regolazione della pressione e poi sono calibrati per quella pressione.

### ENERGIA TERMICA

## VAPORE

Per il vapore solitamente è misurata una portata volumetrica, e anche se la misura è condotta con attenzione, le proprietà fisiche del vapore possono inficiare la capacità di misurare e definire con una buona accuratezza la portata in volume. Il vapore è definito come un fluido compressibile, per cui una riduzione di pressione comporta una riduzione di densità e viceversa, così come con la temperatura. Mentre la temperatura e la pressione possono mantenersi su livelli abbastanza costanti lungo le linee di distribuzione, in alcune altre applicazioni questo non è sempre vero.

## FLUIDO VETTORE CALDO O FREDDO

La misura dell'energia termica è effettuata sulla base della misura della portata e della temperatura in mandata e in ritorno del fluido termovettore attraverso un contatore di calore che consta di tre componenti fondamentali:

- un sensore o misuratore di portata (i più comuni sono del tipo a turbina, magnetico, a ultrasuoni);
- una coppia di sensori di temperatura (in genere Pt 100 o Pt 500 o Pt 1000);
- un'unità di calcolo.

Il misuratore di portata consente di rilevare la portata del fluido termovettore mentre i sensori di temperatura vengono posti uno sulla tubazione di mandata e l'altro sulla tubazione di ritorno al fine di misurare la differenza di temperatura del fluido termovettore tra l'ingresso e l'uscita del circuito utilizzatore.

L'unità di calcolo invece elabora le grandezze misurate per calcolare la differenza tra l'entalpia del fluido in ingresso e l'entalpia del fluido in uscita e considerando la portata in massa del fluido vettore, restituisce l'energia termica ceduta all'utenza.

Di solito un contatore di energia termica fornisce anche le seguenti altre informazioni:

- l'energia totalizzata;
- il volume totalizzato;
- le temperature d'ingresso e uscita del fluido termovettore.
- potenza;
- portata;
- valore di impulso;
- ore di funzionamento;
- codici di errore;
- baud-rate per lo scambio dei dati;
- indirizzo M-bus;
- valore di picco della potenza con data e ora;
- valore di picco della portata con data e ora.

## ACQUA POTABILE

Le proprietà fisiche legate all'acqua potabile si prestano a una grande varietà di tecnologie per la sua misura. Poiché il monitoraggio dell'acqua potabile è generalmente connesso con la valutazione della portata in volume e non del contenuto energetico trasportato, possono essere utilizzati anche contatori di più basso costo e di minore qualità. Le variabili da considerare nella scelta del contatore riguardano la progettazione, l'accuratezza richiesta, la portata minima di progetto, il campo di portata compatibile con l'accuratezza richiesta.

In generale la misura della portata volumetrica di un fluido in un circuito chiuso è calcolata sfruttando la relazione esistente tra velocità e la sezione del condotto. Finché la sezione del condotto è costante ed è nota, la portata del fluido può essere valutata attraverso la misura della velocità di passaggio.

#### 4 - DEFINIZIONE DEI KIT

Sulla base della classificazione fatta sopra circa i possibili approcci di conduzione della misura è possibile pensare a un ordine gerarchico che a secondo dello scopo può consentire di massimizzare i vantaggi connessi al monitoraggio e minimizzarne i costi. Sono quindi state riportate in Tabella 1 le variabili necessarie all'analisi della sperimentazione e nella tabella seguente (Tabella 2) i tre diversi scenari di sperimentazione, caratterizzati da numero di variabili, costo, servizi offerti crescenti.

**Tabella 1\_ Servizi, Variabili, Sensori ed Attuatori**

SERVIZIO		VARIABILI	SENSORE (per variabile)	ATTUATORE (per servizio)
<b>USI ENERGETICI FINALI</b>	Riscaldamento (RI)	1-Temperatura mandata 2-Temperatura ritorno 3-Portata fluido termovettore 4- Portata di Gas 5-Energia Termica Globale 6-Energia termica per locale	1,2-Termoresistenza 3-Misuratore di portata di fluido 4-Misuratore portata di gas (contatore) 5-Contabilizzatore di calore 5.1-Ripartitore di calore 6-Contabilizzatore di calore per ogni terminale	A1-Cronotermostato con comando sul generatore di calore A2-Smart Valve
	Raffrescamento (RA)	7-Temperatura mandata 8-Temperatura ritorno 9-Portata fluido termo vettore 10-Energia frigorifera Globale 11-Energia frigorifera per locale 12-Energia elettrica associata alla pompa di calore	7,8-Termoresistenza 9-Misuratore di portata di fluido 10-Contatore 11-Contabilizzatore di calore 11.1-Contabilizzatore di calore per ogni terminale 12-Multimetro	A1,A2 (in base al sistema impiantistico)
	Ventilazione (VE)	13-Portata di aria immessa (In caso di Ventilazione Meccanica)	13- Misuratore di portata dell'aria	A3-Switch On/off del sistema di riscaldamento/raffrescamento in base ad apertura finestre A4-Inverter sul ventilatore in base al livello di numero di occupanti e/o CO <sub>2</sub> interna (se presente VMC)
	Illuminazione (ILL)	14-Intensità di corrente 15-Tensione	14-20-Multimetro 14,15- Contatore Elettricità	A5-Switch On/off + dimmerdelle luci in base a sensore illuminazione

		16-Potenza apparente 17-Potenza attiva 18-Energia Attiva 19-Fattore di potenza 20-Picco di potenza		interna ed occupazione
	Apparecchiature Elettriche (APP)	21-Energia Attiva 22-Potenza attiva	21,22-Smart Plug	A6-Smart Plug elettrodomestici A7-Relé che sgancia linee in base a programmazione o sovraccarichi
	Acqua potabile (ACQ)	23-Portata		
<b>COMFORT</b>	Termo-Igrometrico (TI)	1-Temperatura aria Interna 2-Temperatura Aria Esterna 3-UR Interna 4-Velocità Aria	1,2-Termocoppia 3-Igrometro 4-Anemometro	A1,A2
	Visivo (VI)	5-Illuminamento 6-Irradiazione Solare Esterna	5-Luxmetro 6-Piranometro	A5 A8-Attuatore schermi solari se presenti
	Qualità dell'aria (IAQ)	7-CO <sub>2</sub>	7-Cella elettrochimica; NDIR 8-Contatto porte/finestre	A3 A4
	Acustico (AC)	8-Livello sonoro continuo equivalente	8-Fonometro Integratore	
<b>SECURITY</b>	Anti-effrazione (EFFR)	1-Occupazione 2-Serramento aperto o chiuso	1-Sensore occupazione 2-Contatto porte/finestre	A9-Allarme antieffrazione
	Sicurezza ambientale (AMB)	3-CO <sub>2</sub> interna ed esterna 4-Fumo 5-Monossido di carbonio	3- Cella elettrochimica; NDIR 4-Rilevatore di fumo 5-Rilevatore di CO 6-Rilevatore allagamento	A10-Allarme ambientale
<b>AGING &amp; ASSISTED LIVING</b>	Monitoraggio attività utente (safety)	1-Utilizzo energia elettrica	1-Smart Plug 2-Sensore di movimento (video, audio, infrarossi)	A11-Sistema di allarme di safety (familiari, servizi sanitari)

In questa tabella sono riportate le variabili monitorate (tramite i sensori riportati nella Tabella 1) e gli attuatori previsti per ogni KIT. Le variabili sono citate tramite un codice alfanumerico la cui prima parte si

riferisce al servizio offerto e la seconda al numero di variabile citata (ad esempio RI1 è riferito alla temperatura di mandata per il servizio di Riscaldamento). Per quanto riguarda gli attuatori, anch'essi sono riferiti alla Tabella 1.

**Tabella 2\_ Definizione dei Kit**

KIT	SERVIZIO	VARIABILI	ATTUATORI
<b>KIT 1 (FULL OPTIONAL)</b>	ENERGIA	RI1-6; RA7-12; ILL 14-20; APP 21-22 (per le apparecchiature principali); ACQ 23	A1, A2, A3, A4, A5, A7
	COMFORT	TI1-4; VI5-6; IAQ7; AC8 (in ogni ambiente dell'unità abitativa)	A1, A2, A3, A4, A5, A8
	SICUREZZA	EFFR1-2; AMB3-6	A9, A10
	AGING & ASSISTED LIVING	1	A11
<b>KIT 2 (MEDIUM)</b>	ENERGIA	RI1-5; RA7-10 e 12; ILL 14-20; APP 21-22 (per le apparecchiature principali); ACQ 23	A1, A2, A5, A6, A7
	COMFORT	TI1-3; VI5-6 (solo in ambienti principali)	A1, A2, A5
	SICUREZZA	EFFR1; AMB 3,4	A9, A10
<b>KIT 3 (BASE)</b>	ENERGIA	RI4; RA12; ILL 14-15; APP 21-22 (per una sola apparecchiatura); ACQ 23	A1, A5, A6
	COMFORT	TI 1-2; VI5 (solo per un punto significativo dell'unità)	A1, A5
	SICUREZZA	EFFR1	A9

Per ciascuno degli scenari definiti, sono state dunque identificate le variabili ambientali ed energetiche da monitorare per ottenere i dati necessari a condurre opportune elaborazioni. I sensori più idonei per accuratezza e tempi di acquisizione sono stati selezionati sulla base delle variabili da esaminare e al grado di dettaglio diagnostico che si vuole perseguire (Tabella 3).

**Tabella 3\_ Caratteristiche dei sensori**

SENSORE	GRANDEZZA MISURATA	UNITÀ DI MISURA	INTERVALLO DI MISURA	RISOLUZIONE	ACCURATEZZA MINIMA	FREQUENZA ACQUISIZIONE
<b>Termocoppia</b>	Temperatura Aria interna	°C	10°C÷40°C	≤0.05°C	±0,5°C	15minuti /1ora
<b>Termocoppia</b>	Temperatura Aria esterna	°C	-40°C÷80°C	≤0.05°C	±0,5°C	15minuti /1ora
<b>Igrometro</b>	Umidità relativa interna	%	5%÷95%	≤0.05%	±3%	15minuti /1ora
<b>Igrometro</b>	Umidità relativa	%	5%÷95%	≤0.05%	±3%	15minuti /1ora

	esterna					
<b>Anemometro</b>	Velocità dell'aria interna	m/s	0m/s÷60m/s	≤0.01m/s	±0,5m/s	15minuti /1ora
<b>Anemometro</b>	Velocità del vento	m/s	0m/s÷60m/s	≤0.01m/s	±0,5m/s	15minuti /1ora
<b>Luxmetro</b>	Illuminamento interno	lux	0lux÷2000lux	1lux	≤5%	15minuti /1ora
<b>Luxmetro</b>	Illuminamento esterno	lux	0lux÷200000lux	1lux	≤3%	15minuti /1ora
<b>Piranometro</b>	Irradiazione solare esterna	W/m <sup>2</sup>	0W7m <sup>2</sup> ÷2000W/m <sup>2</sup> Nel campo spettrale 0,3μm-3μm	≤1W/m <sup>2</sup>	±15W/m <sup>2</sup>	15minuti /1ora
<b>Cella elettrochimica; Non-dispersive Infrared technology (NDIR)</b>	CO <sub>2</sub> aria interna	ppm	0ppm÷2000ppm	≤1ppm	Cella elettrochimica ±3ppm; NDIR ±50ppm	15minuti /1ora
<b>NDIR</b>	CO <sub>2</sub> aria esterna	ppm	0ppm÷2000ppm	≤1ppm	Cella elettrochimica ±3ppm; NDIR ±50ppm	15minuti /1ora
<b>Fonometro Integratore</b>	Livello sonoro continuo equivalente	dB				15minuti /1ora
<b>Termoresistenza</b>	Delta termico fluido termovettore	°C	-20°C÷20°C	≤0,05°C	±(0,5+3Δθ <sub>min</sub> /Δθ)	15minuti /1ora
<b>Misuratore di portata di fluido termovettore</b>	Portata fluido termovettore	L/h	Variabile	≤1L/h	±5% (classe III)	15minuti /1ora
<b>Contatore di calore</b>	Energia Termica	kWh	Variabile	≤1kWh	±(4+4Δθ <sub>min</sub> /Δθ+0,05q <sub>p</sub> /q) classe II	15minuti /1ora
<b>Contatore acqua potabile</b>	Portata di acqua potabile	L/h	Variabile	≤1L/h	±5% (classe III)	15minuti /1ora
<b>Multimetro</b>	Intensità di corrente	A	÷	≤	±0,5%	15minuti /1ora
	Tensione	V	÷	≤	±0,5%	15minuti /1ora
	Potenza apparente	VA	÷	≤	±	15minuti /1ora

Potenza Attiva	W	÷	≤	±1%	15minuti /1ora
Energia Attiva	Wh	÷	≤	Valore massimo di energia misurata per ogni singola fase 4294,9MWh	15minuti /1ora
Fattore di potenza	-	÷	≤	±	15minuti /1ora
Picco di potenza	KW		≤	±	15minuti /1ora

A questi sensori, legati alla misura dell'energia e delle variabili ambientali all'interno dell'edificio, si aggiungono i seguenti: Rilevatore di fumo, Rilevatore di CO, Sensore di allagamento, Sensore di occupazione (e di movimento eventualmente), Sensore apertura/chiusura finestre e smart plug, che per la misura di corrente e potenza integra un amperometro ed un microprocessore per il calcolo della potenza. Negli **schemi** seguenti (da Figura 1 a Figura 15) è possibile avere una lettura più intuitiva di quello che ogni Kit prevede in termini di variabili da monitorare, sensori ed attuatori da installare. In particolare, riguardo l'uso finale del riscaldamento, si è effettuata una distinzione tra edifici con impianto autonomo o centralizzato a distribuzione orizzontale ed impianto centralizzato a montanti verticali. Questa operazione è stata necessaria perché le variabili monitorabili, così come i sensori e gli attuatori installabili, variano in base alla configurazione dell'impianto. Ad esempio, se con un impianto autonomo o a distribuzione orizzontale è possibile quantificare direttamente l'energia termica globale per unità abitativa, ciò è possibile solo in maniera indiretta se l'impianto è centralizzato a montanti verticali (tramite un ripartitore di calore).

**KIT1\_Full optional**

Quali **VARIABILI** monitorare?  
**USI ENERGETICI FINALI**



**Figura 1 \_ Variabili da monitorare per il kit "full optional": usi finali dell'energia.**

## KIT1\_Full optional

Quali **VARIABILI** monitorare?  
PARAMETRI COMFORT, SERVIZIO SECURITY ED ASSISTED LIVING

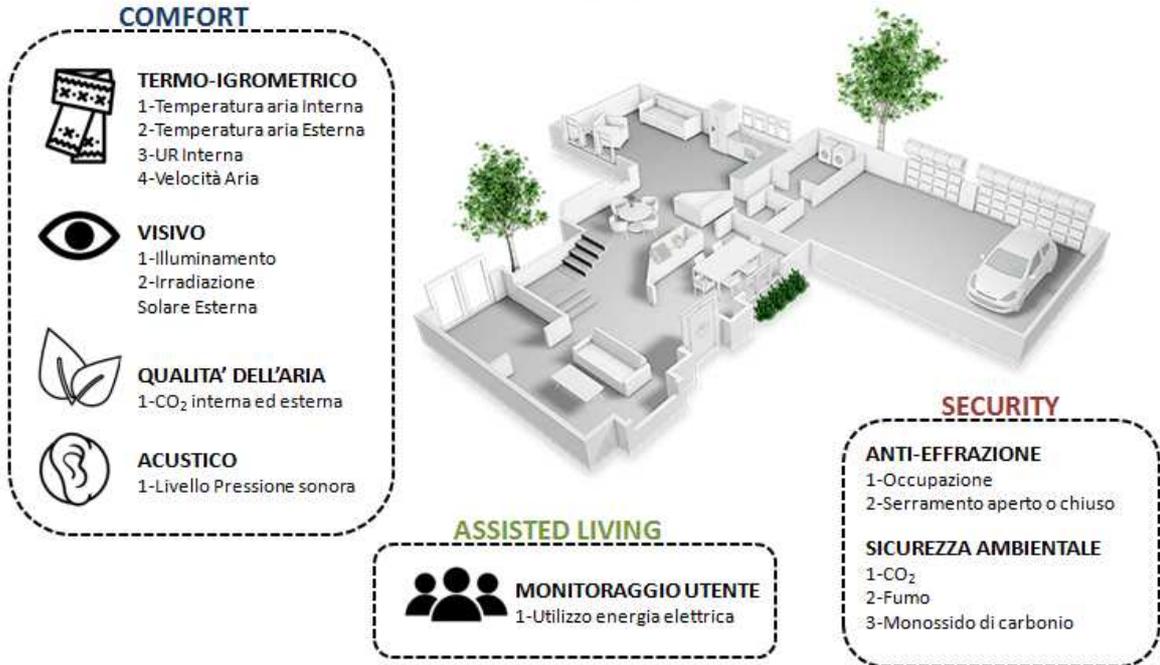


Figura 2 \_ Variabili da monitorare per il kit "full optional": parametri di comfort, *assisted living* e sicurezza.

## KIT1\_Full optional

Quali **SENSORI** utilizzare?  
USI ENERGETICI FINALI



Figura 3 \_ Sensori da utilizzare nel Kit "full optional" per gli usi finali dell'energia.

**KIT1\_Full optional**

$N_{sens}=13$

Quali **SENSORI** utilizzare?  
PARAMETRI COMFORT, SERVIZIO SECURITY ED ASSISTED LIVING

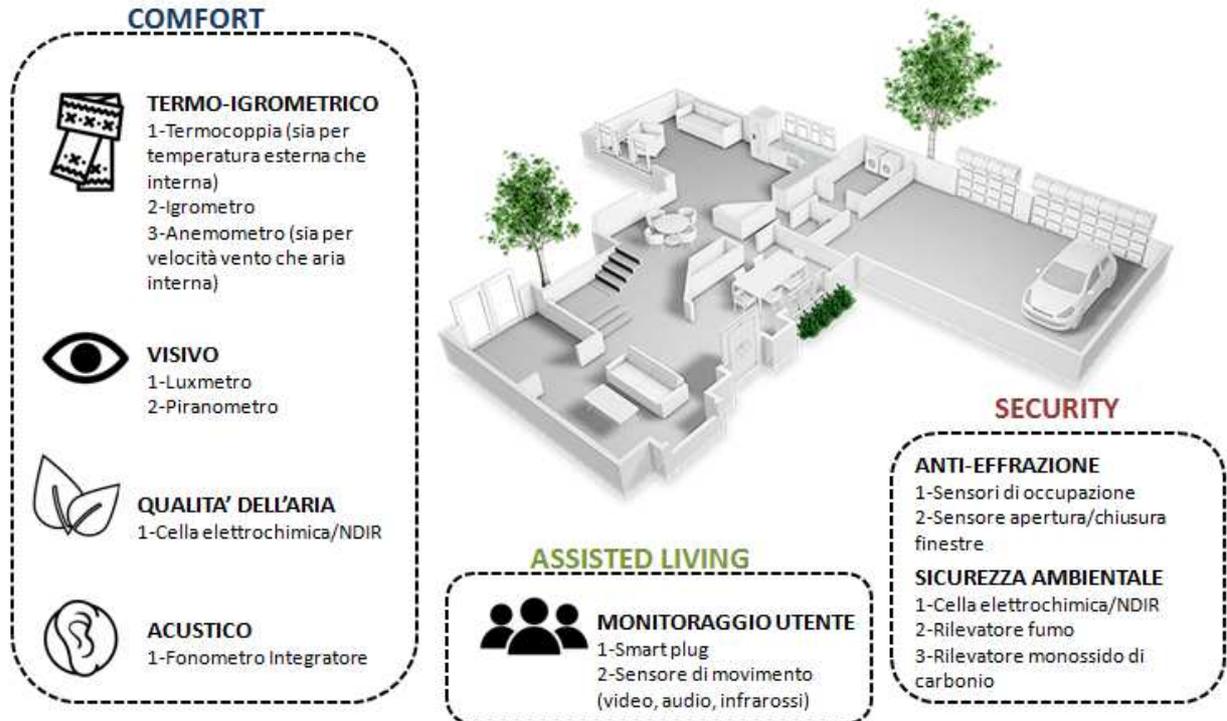


Figura 4 \_ Sensori da utilizzare nel Kit "full optional" per parametri di comfort, assisted living e sicurezza.

**KIT1\_Full optional**

Quali **ATTUATORI** utilizzare?

**USI ENERGETICI FINALI**



**COMFORT**

- VISIVO**
- 1-Attuatore schermi solari se presenti

**ASSISTED LIVING**

- MONITORAGGIO UTENTE**
- 1- Sistema di allarme di safety (familiari, servizi sanitari)

**SECURITY**

- ANTI-EFFRAZIONE**
- 1- Allarme antieffrazione
- SICUREZZA AMBIENTALE**
- 1- Allarme ambientale

Figura 5 \_ Attuatori da utilizzare nel Kit "full optional".

## KIT 2\_Medium

Quali **VARIABILI** monitorare?  
USI ENERGETICI FINALI



Figura 6 \_ Variabili da monitorare per il kit "Medium":usi finali dell'energia.

## KIT 2\_Medium

Quali **VARIABILI** monitorare?  
PARAMETRI COMFORT, SERVIZIO SECURITY ED ASSISTED LIVING

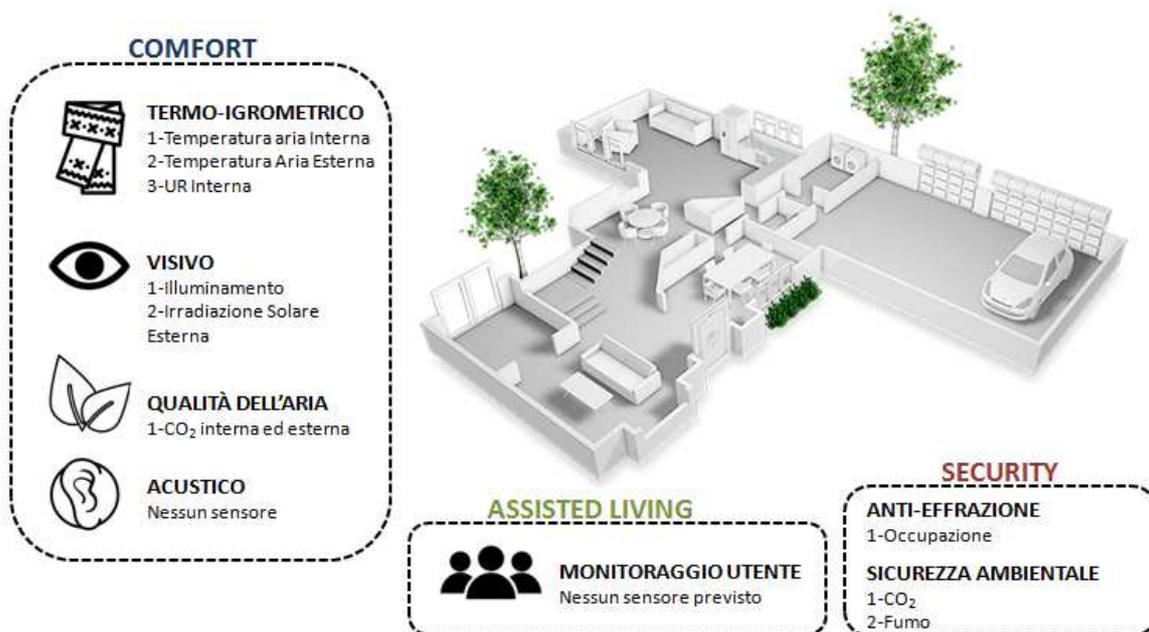


Figura 7 \_ Variabili da monitorare per il kit "Medium":parametri di comfort, assisted living e sicurezza.

## KIT 2\_Medium

Quali **SENSORI** utilizzare?  
**USI ENERGETICI FINALI**

• Impianto autonomo/centralizzato a distribuzione orizzontale  
 $N_{sens}=12$   
• Impianto centralizzato a montanti  
 $N_{sens}=10$

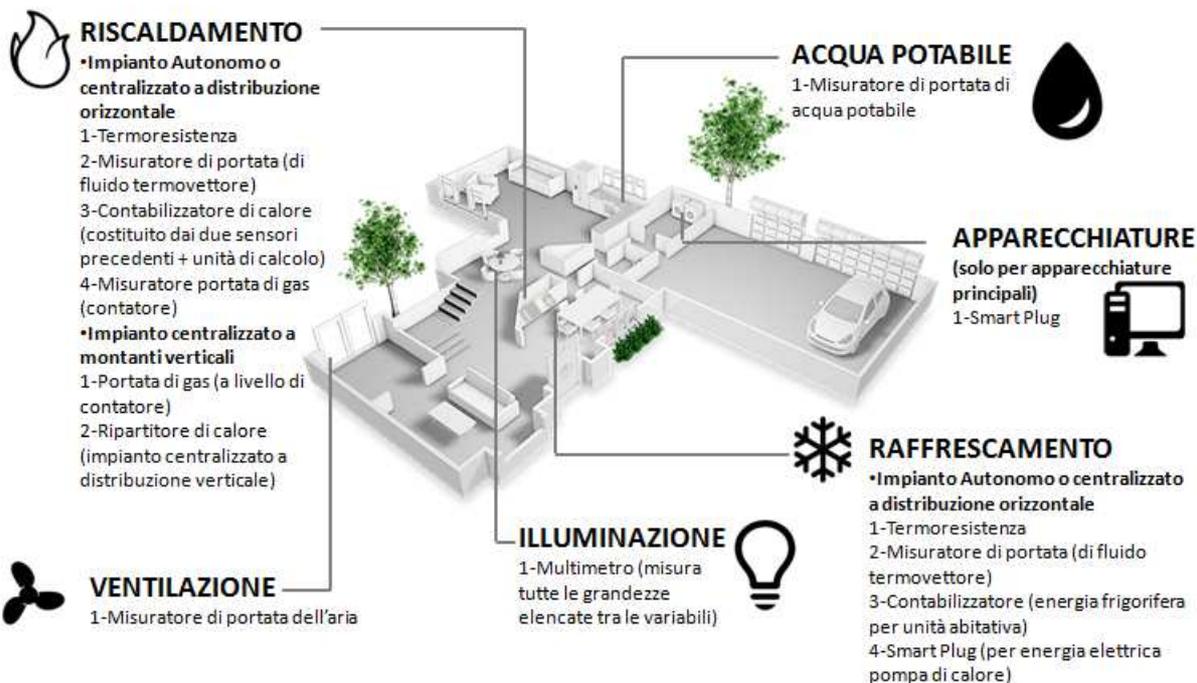


Figura 8 \_ Sensori da utilizzare nel Kit "Medium" per gli usi finali dell'energia.

## KIT 2\_Medium

Quali **SENSORI** utilizzare?  
**PARAMETRI COMFORT, SERVIZIO SECURITY ED ASSISTED LIVING**

$N_{sens}=7$

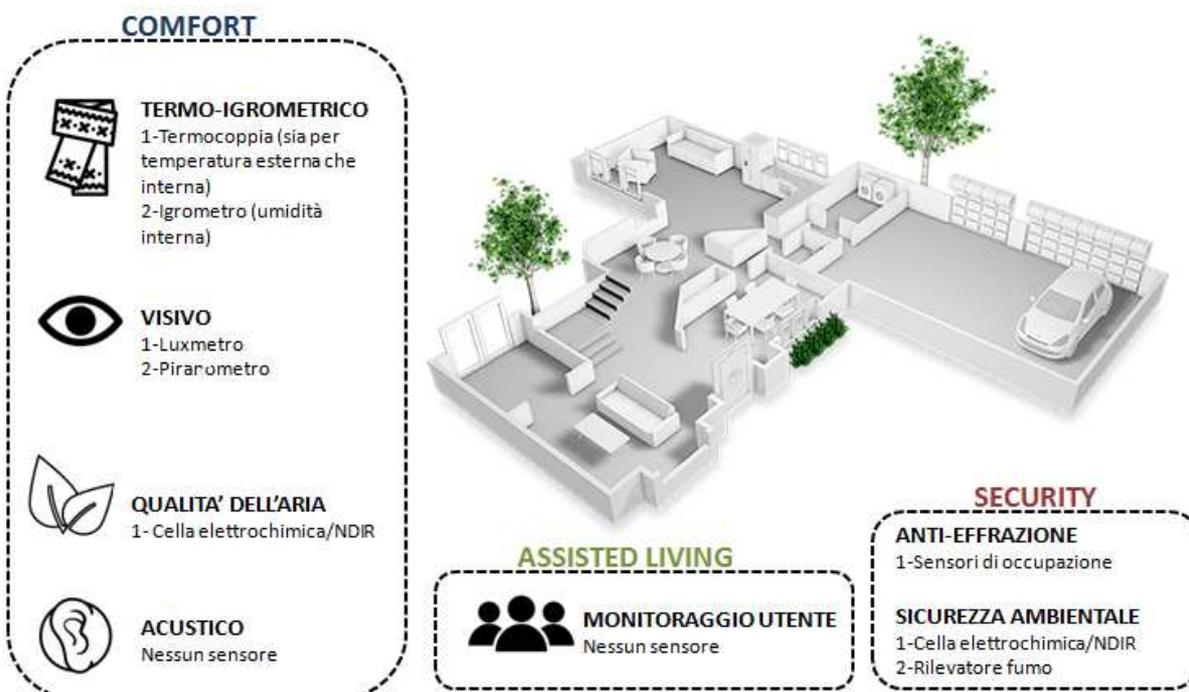


Figura 9\_Sensori da utilizzare nel Kit "Medium" per parametri di comfort, assisted living e sicurezza.

## KIT 2\_ Medium

Quali **ATTUATORI** utilizzare?

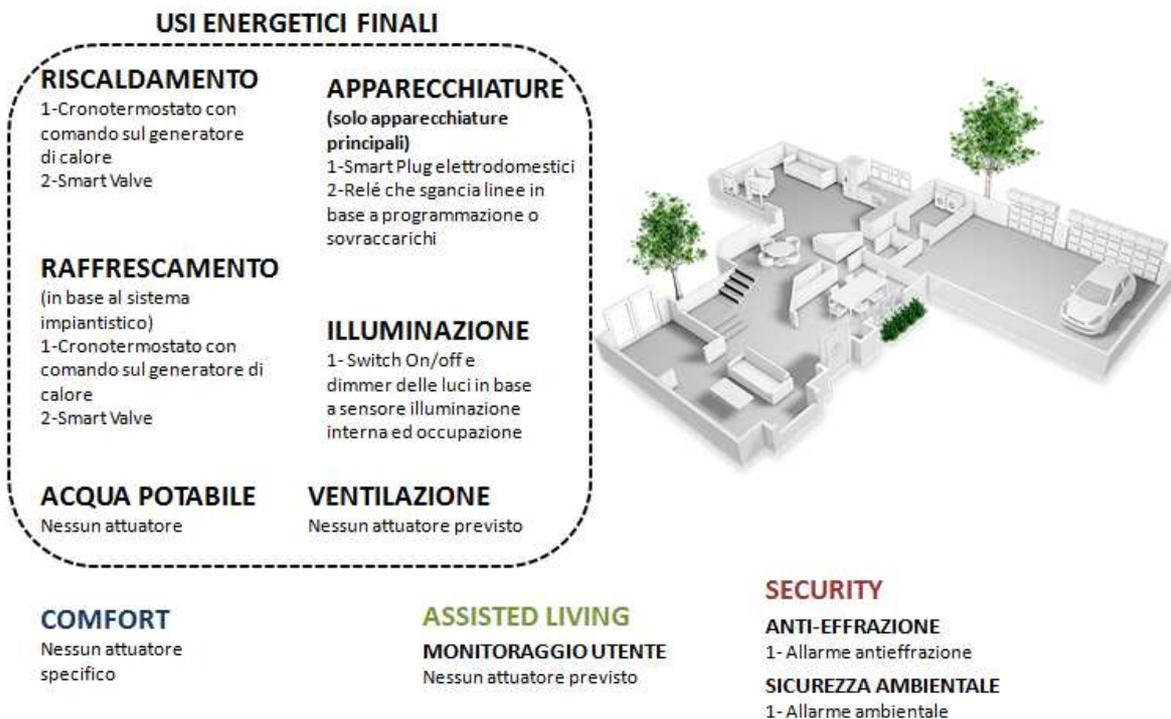


Figura 10\_ Attuatori da utilizzare per il Kit "Medium".

**KIT 3\_Base**

Quali **VARIABILI** monitorare?  
USI ENERGETICI FINALI PER  
VETTORI ENERGETICI

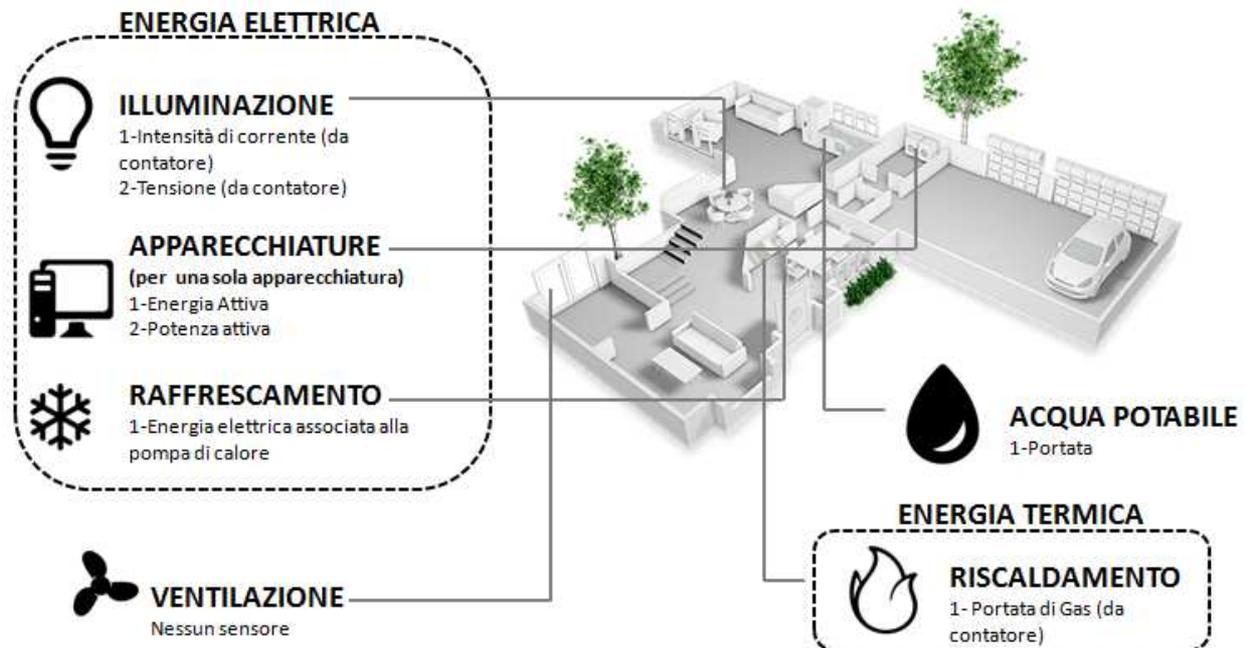


Figura 11\_Variabili da monitorare per il kit "Base": usi finali dell'energia.

**KIT 3\_Base**

Quali **VARIABILI** monitorare?  
PARAMETRI COMFORT, SERVIZIO SECURITY ED  
ASSISTED LIVING

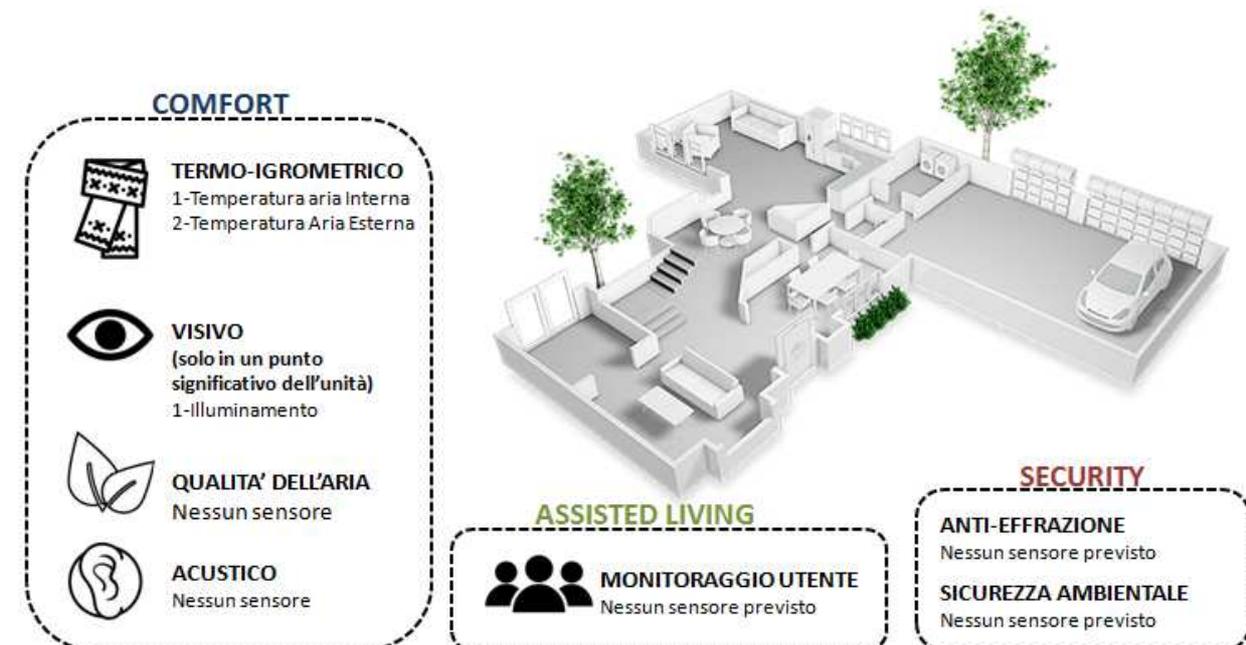


Figura 12\_Variabili da monitorare per il kit "Base": parametri di comfort, assisted living e sicurezza.

**KIT 3\_Base**

Quali **SENSORI** utilizzare?  
PARAMETRI COMFORT, SERVIZIO SECURITY ED ASSISTED LIVING

$N_{sens}=3$

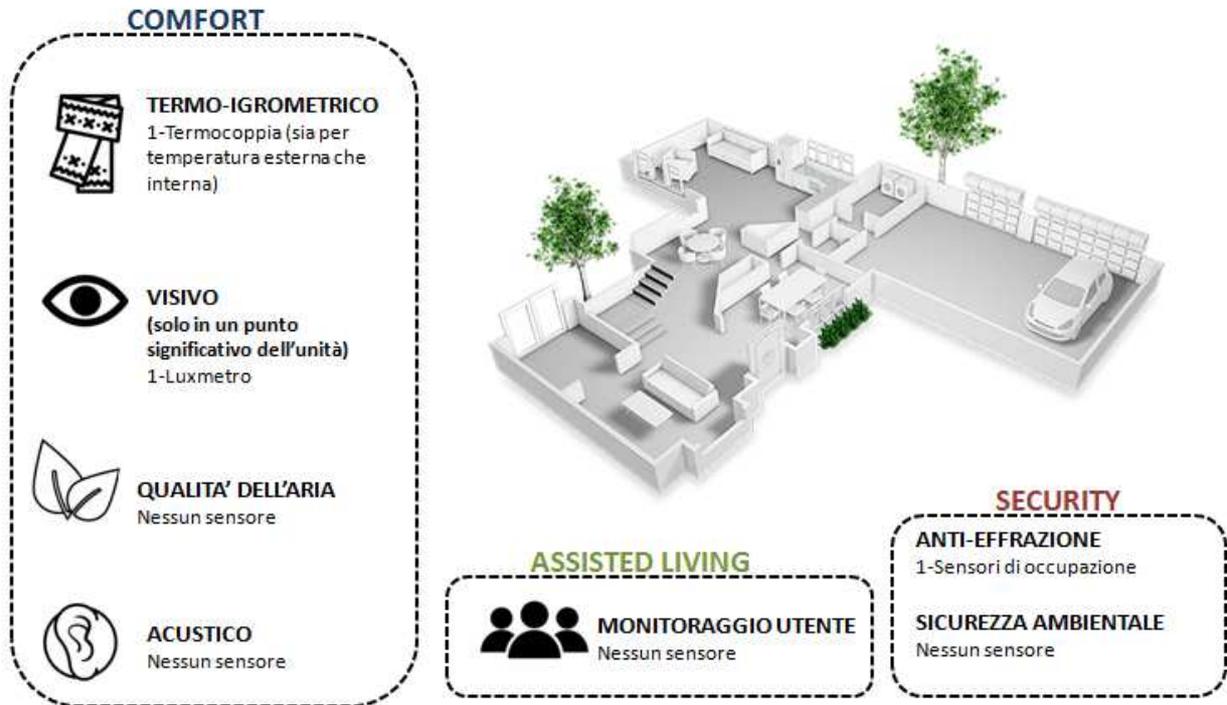


Figura 13\_Sensori da utilizzare nel Kit "Base" per gli usi finali dell'energia.

**KIT 3\_Base**

Quali **SENSORI** utilizzare?  
USI ENERGETICI FINALI

\*Impianto autonomo/centralizzato a distribuzione orizzontale  
 $N_{sens}=5$   
\*Impianto centralizzato a montanti  
 $N_{sens}=7$

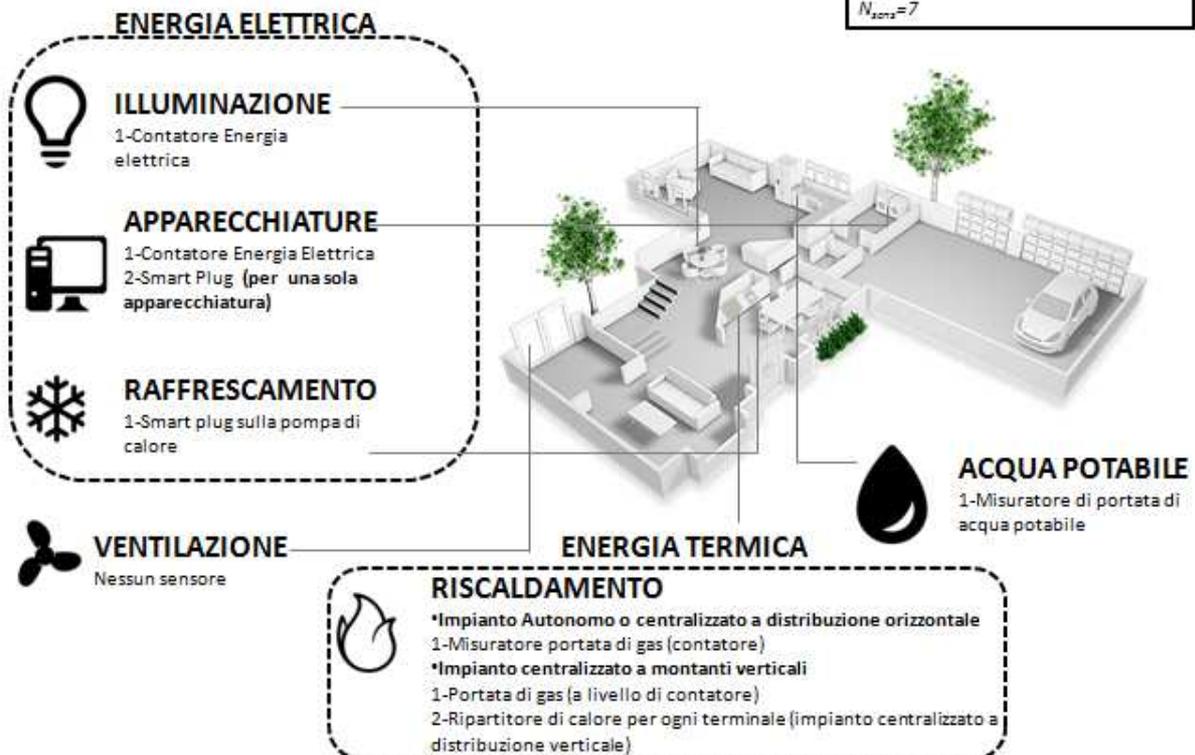
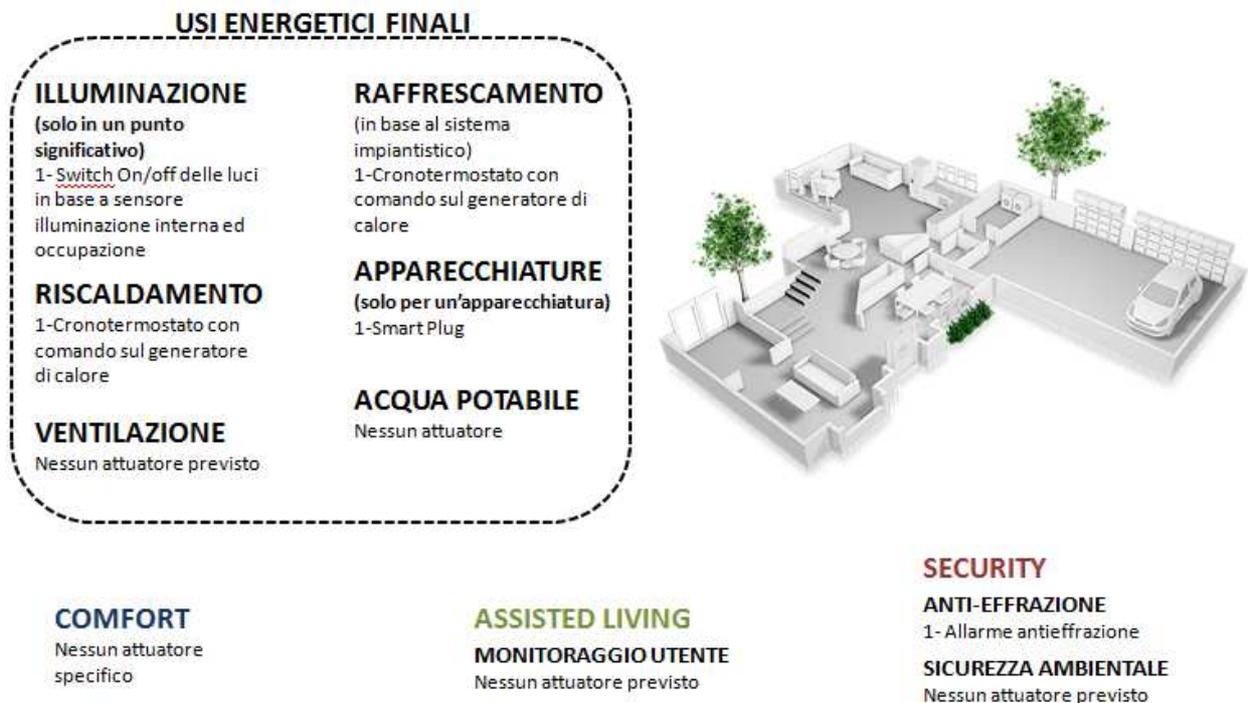


Figura 14\_Sensori da utilizzare nel Kit "Base" per parametri di comfort, assisted living e sicurezza.

**KIT 3\_Base**

*Quali **ATTUATORI** utilizzare?  
USI ENERGETICI FINALI*



**Figura 15\_Attuatori da utilizzare per il Kit "Base".**

**2.1.2 Metodologie di analisi e aggregazione dei dati**

La prestazione energetica degli edifici è valutata attraverso diversi approcci che si differenziano per complessità di analisi e precisione dei risultati ottenuti nelle diverse fasi di vita di un edificio. Molteplici sono i motivi che spingono gli operatori energetici ad analizzare il “comportamento” dell’edificio mediante misure, ma in ogni caso è essenziale una corretta rappresentazione delle grandezze misurate, mentre un'uniformità di metodo è auspicabile al fine di descrivere delle quantità che seppure sono assolute risultano confrontabili.

L’obiettivo del procedimento descritto consiste nel caratterizzare la prestazione energetica degli edifici attraverso la determinazione del consumo energetico, della domanda di energia elettrica e dell'energia autoprodotta in complessi di edifici esistenti. Le quantità energetiche prestazionali definite nel presente documento formano una base utile alla valutazione della prestazione energetica ma è da prevedersi un'estensione o una riduzione delle stesse da stabilire di volta in volta a seconda del caso specifico trattato. Evidenziare le grandezze misurabili produce l’effetto di creare una base di dati comune e condivisa e risultati confrontabili con valori di riferimento al fine, ad esempio, di verificare il raggiungimento di obiettivi minimi di prestazione.

In sintesi, questa sezione del documento mira a:

- definire l’approccio metodologico utile per elaborare i dati provenienti dal monitoraggio e stesura di indici sintetici;
- proporre un format standard volto alla raccolta di una base di dati consistente.

Si riportano di seguito una collezione di indicatori di prestazione energetica degli edifici: per ogni indicatore viene fornita una spiegazione relativamente alla funzionalità dello stesso, il metodo di calcolo e le relative unità di misura. Inoltre, per ogni indicatore, sono indicate l’applicabilità rispetto alla destinazione d’uso e il periodo temporale al quale si può applicare.

Gli indicatori si dividono in quattro sezioni:

- 1- Indicatori della prestazione energetica totale dell'edificio
- 2- Indicatori delle prestazioni elettriche
- 3- Indicatori delle prestazioni termiche
- 4- Indicatori del consumo di acqua potabile

Inoltre, a partire dalle variabili ambientali monitorate, la qualità climatica dell'ambiente interno verrà valutata. Si sono dunque identificati i principali indici di caratterizzazione della qualità ambientale che si intendono calcolare. Tali indici sono suddivisi in altre 4 sezioni:

- 5 – Indicatori della qualità termo-igrometrica
- 6 – Indicatori della qualità luminosa
- 7- Indicatori della qualità acustica
- 8- Indicatori della qualità dell'aria

### 1- Indicatori della prestazione energetica totale dell'edificio

#### ENERGIA PRIMARIA (EP)

L'energia primaria è definibile come il potenziale energetico presentato dai vettori e fonti energetiche non rinnovabili nella loro forma naturale. Il Dlgs 192/05 definisce come unico indicatore prestazionale energetico il "Fabbisogno di Energia Primaria", che consente di sommare più flussi e/o vettori energetici. L'energia primaria dipende sia dal fabbisogno di energia di un edificio, sia dal tipo di combustibile o vettore utilizzato per produrre energia, sia dall'efficienza di produzione. Questo indicatore, secondo il progetto di norma europeo EN 15315:2007, è calcolato con la seguente equazione:

$$EP = \sum_i Q_i * f_{FPI} \tag{1}$$

Dove:

$Q_i$ = Consumo di ogni vettore energetico, tenendo conto del rispettivo rendimento;

$f_{FPI}$  = Fattore di energia primaria dell'i-esimo vettore energetico.

Si riportano in Tabella 4 i valori assunti a livello nazionale e in Tabella 5 i valori secondo la normativa internazionale (EN 15068:2007, Annex E).

L'energia primaria viene espressa tramite il seguente indice sintetico e può essere giornaliero, settimanale, mensile o annuale. Nel caso annuale l'indice viene espresso tramite le equazioni espresse di seguito:

$$\frac{kWh}{anno}, \frac{kWh}{m^2 anno}, \frac{kWh}{m^3 anno}$$

**Tabella 4. Fattori di conversione in energia primaria nazionali**

VETTORE ENERGETICO	FATTORE DI ENERGIA PRIMARIA $F_{FPI}$
Carbone	1,2
Petrolio	1,1
Gas naturale	1,1
Biomasse	1,1
Rifiuti solidi urbani	1
Fonti rinnovabili	1
Mix elettrico nazionale	2,37

**Tabella 5. Fattori di energia primaria secondo EN 15068:2007**

VETTORE ENERGETICO	FATTORE DI ENERGIA PRIMARIA $F_{FPI}$	
	Non renewable	Total
Fuel oil	1,35	1,35

Gas	1,36	1,36
Antracite	1,19	1,19
Lignite	1,40	1,40
Coke	1,53	1,53
Wood shavings	0,06	1,06
Log	0,09	1,09
Beech log	0,07	1,07
Fir log	0,10	1,10
Electricity from Hydraulic power plant	0,50	1,50
Electricity from Nuclear power plant	2,80	2,80
Electricity from coal power plant	4,05	4,05
Electricity mix	3,14	3,31

### TONNELLATE EQUIVALENTI DI PETROLIO (TEP)

Tale indice è anche definito “Tonne of Oil Equivalent Density” ( $ED_{TEP}$ ) quando normalizzato rispetto a dati volumetrici.

Le tonnellate equivalenti di petrolio sono una grandezza con una doppia natura: a rigore sono una massa (1 tep = 1000 kg di petrolio), ma possono anche essere visti come energia (1 tep energia sviluppata dalla combustione di 1 tonnellata di petrolio), passando attraverso il potere calorifico convenzionale del petrolio:  $H_{i,p} = 41860 \text{ kJ/kg}$ . L’energia sviluppata dalla combustione di 1 t di petrolio vale quindi 41.86 GJ.

La legge n. 10/91 “Norme per l’attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia”, all’art. 19, prevede che tutti i consumatori di energia, sia privati che pubblici, che superino una certa soglia di consumo annuo (calcolato in tep e in termini di energia primaria) debbano nominare un tecnico responsabile per la conservazione e l’uso razionale dell’energia (Energy Manager), il cui nominativo deve essere comunicato al Ministero dell’Industria, del Commercio e dell’Artigianato, oggi Ministero delle Attività produttive. Le soglie sono in realtà due: 10000 tep/anno per i soggetti del settore industriale e 1000 tep/anno per i soggetti di tutti gli altri settori: civile, terziario, dei trasporti.

Questo indicatore viene espresso tramite il seguente indice sintetico a livello annuale:

$$Tep; \frac{Tep}{m^2 \text{anno}}; \frac{Tep}{m^3 \text{anno}}$$

Si riportano in Tabella 6 i coefficienti di conversione in TEP per i principali combustibili e vettori energetici secondo la circolare MISE del 18.12.2014 e in Tabella 7 secondo la circolare 219/F del 1992.

**Tabella 6. Coefficienti di conversione in TEP secondo circolare MISE del 18.12.2014**

VETTORE ENERGETICO	FATTORE DI CONVERSIONE	
Gasolio	1t	1,017 tep
Olio combustibile	1t	1,010 tep
Gas di petrolio liquefatto (GPL)	1t	1,099 tep
Benzina	1t	1,051 tep
Oli vegetali	1t	0,880 tep
Legna macinata fresca (cippato)	1t	0,200 tep
Pellet	1t	0,401 tep
Gas naturale	1000 Nm <sup>2</sup>	0,820 tep
Gas naturale liquefatto	1t	1,079 tep
Biogas	1000 Nm <sup>2</sup>	0,550 tep
Energia elettrica proveniente dalla rete	1 MWh	0,187 tep

--	--	--

**Tabella 7. Coefficienti di conversione in TEP secondo circolare 219/F 1992**

VEETTORE ENERGETICO	FATTORE DI CONVERSIONE	
Carbon fossile	1t	0,740 tep
Carbone di legna	1t	0,750 tep
Antracite e prodotti antracinosi	1t	0,700 tep
Legna da ardere	1t	0,450 tep
Lignite	1t	0,250 tep
Olio combustibile	1t	0,980 tep

**EMISSIONI DI BIOSSIDO DI CARBONIO (CO<sub>2</sub>)**

Tale indice è anche definito "Target Emission Rate"(TER). La produzione di un kWh elettrico può avvenire utilizzando diverse fonti d'energia. Ogni fonte può essere caratterizzata da un fattore che indica quanti kg di CO<sub>2</sub> vengono immessi nell'atmosfera per produrre 1 kWh elettrico (questi fattori hanno delle variazioni che dipendono dall'efficienza della singola centrale e da quella della rete di distribuzione). Ogni nazione possiede un mix di centrali elettriche che utilizzano diverse fonti d'energia, quindi il valore dei kgCO<sub>2</sub>/kWh sarà diverso per ogni nazione. Questo fattore può essere utilizzato per calcolare i kg di CO<sub>2</sub> di emissioni evitate nell'ambiente nel paese in cui è installato l'impianto. Il gas CO<sub>2</sub> presente nell'atmosfera è la principale causa dell'effetto serra che influisce direttamente sull'aumento della temperatura terrestre e sui cambiamenti climatici correlati.

Questo indicatore viene espresso tramite il seguente indice sintetico a livello annuale:

$$kg\ CO_2; \frac{kg\ CO_2}{m^2\ anno}; \frac{kg\ CO_2}{m^3\ anno}$$

Da 2003/87/CE (scambio quote di emissione di gas serra) e dalla deliberazione 14/2009 del Ministero dell'Ambiente) i kg di CO<sub>2</sub> prodotta equivalgono a quanto segue:

$$t\ CO_2\ equivalenti\ di\ gas\ "x" = C_{Co} * F_{em} * F_{oss} \tag{2}$$

Dove:

C<sub>Co</sub> = Consumo di combustibile;

F<sub>em</sub> = Fattore di emissione;

F<sub>oss</sub> = Fattore di ossidazione.

Per la combustione vale la seguente regola [14]:

$$Emissione\ di\ CO_2 = \dot{Q}_{Co} * p_c * F_{em} * F_{oss} \tag{3}$$

Dove:

$\dot{Q}_{Co}$  = Flusso di combustibile [t o Nm<sup>3</sup>];

p<sub>c</sub> = potere calorifico netto.

Si riportano in Tabella 8 i coefficienti di conversione secondo la normativa internazionale (EN 15603:2007, Annex E).

**Tabella 8. Coefficienti di conversione in CO<sub>2</sub> secondo EN 15603:2007. Il fattore di conversione k rappresenta la quota di CO<sub>2</sub> prodotta per ogni MWh di energia primaria prodotti da ciascun vettore energetico.**

VEETTORE ENERGETICO	FATTORE DI CONVERSIONE "K"
	Kg/MWh
Fuel Oil	330

Gas	277
Antracite	394
Lignite	433
Coke	467
Wood shavings	4
Log	14
Beech log	13
Fir log	20
Electricity from Hydraulic power plant	7
Electricity from Nuclear power plant	16
Electricity from coal power plant	1340
Electricity mix UCPTÉ	617

## 2- Indicatori delle prestazioni elettriche dell'edificio

I seguenti indicatori possono essere applicati per valutare il comportamento energetico di un edificio dal punto di vista:

- dei consumi energetici elettrici totali;
- dell'illuminazione;
- della forza motrice;
- del condizionamento;
- degli ausiliari (per raffrescamenti locali, per circolazione acqua, per umidificazione, per ventilazione ecc);
- della produzione di acqua calda (per riscaldamento e/o post riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria).

Gli indici possono essere dunque calcolati per ogni differente uso finale.

### ENERGIA ELETTRICA (EE)

L'indicatore definisce l'Energia Elettrica, misurata al punto di prelievo dell'elettricità POD, relativa ad un determinato periodo di tempo. Questo indicatore viene calcolato con la seguente relazione:

$$EE = \sum_{i=0}^n PE \quad (4)$$

Dove:

PE= Potenza elettrica media oraria [W<sub>e</sub>]

n= numero di ore del periodo considerato [-]

L'energia elettrica può essere valutata a livello giornaliero, settimanale, mensile o annuale. L'indice sintetico viene espresso tramite [16]:

$$kWh_e$$

### ENERGIA ELETTRICA SPECIFICA (EE<sub>s</sub>)

L'indicatore definisce l'Energia Elettrica, misurata al POD, relativa ad un determinato periodo di tempo e normalizzata sulla Superficie netta o sul Volume lordo. Viene valutata tramite la seguente relazione:

$$EE_s = \frac{\sum_{i=0}^n PE}{s} \quad (5) \quad \text{oppure} \quad EE_s = \frac{\sum_{i=0}^n PE}{v} \quad (6)$$

Dove:

PE= Potenza elettrica media oraria [W<sub>e</sub>]

n= numero di ore del periodo considerato [-]

s= Superficie utile netta [m<sup>2</sup>]

v= volume lordo [m<sup>3</sup>]

L'energia elettrica può essere valutata a livello giornaliero, settimanale, mensile o annuale tramite l'indice sintetico:

$$\frac{kWh_e}{m^2} \quad \text{oppure} \quad \frac{kWh_e}{m^3}$$

**PERCENTUALE D'USO ENERGIA ELETTRICA "ELECTRIC ENERGY USE RATIO" (EE<sub>UR</sub>)**

L'indicatore indica il rapporto tra la potenza elettrica media realmente utilizzata all'interno di un edificio e la potenza nominale installata. Tale indicatore permette di verificare, in termini percentuali, la variazione di utilizzo dei carichi elettrici in diversi periodi dell'anno o tra anni consecutivi. Viene valutata tramite la seguente relazione:

$$EE_{UR} = \frac{\overline{PE_U}}{PE_I} \quad (7)$$

Dove:

$\overline{PE_U}$  = Potenza elettrica media utilizzata [W<sub>e</sub>]

PE<sub>I</sub> = Potenza elettrica nominale installata [W<sub>e</sub>]

s= Superficie utile netta [m<sup>2</sup>]

v= volume lordo [m<sup>3</sup>]

L'energia elettrica può essere valutata a livello giornaliero, settimanale, mensile o annuale. L'indice sintetico viene espresso tramite:

$$\frac{W_e}{W_e} \quad [\%]$$

**PERCENTUALE D'USO ENERGIA ELETTRICA (EE<sub>OR</sub>)**

E' un indicatore numerico del consumo totale di Energia Elettrica di un edificio. Si basa sul consumo energetico effettivo misurato per un periodo di 12 mesi rispetto alle prestazioni di un edificio tipico dello stesso tipo.

Una costruzione che utilizza esattamente la stessa energia dell'edificio benchmark avrà un EE<sub>OR</sub> = 1.

Viene valutata con le seguente equazione:

$$EE_{OR} = \frac{EE_{tot}}{S} * \frac{100}{EE_{tot\ ref}/S} \quad [\%] \quad (8)$$

Dove:

EE<sub>tot</sub> = Consumo di Energia Elettrica dell'edificio [kWh]

S = Superficie netta dell'edificio [m<sup>2</sup>]

$EE_{tot\ ref}/S$  = Consumo di Energia Elettrica di riferimento, specifico rispetto all'unità di superficie [kWh/m<sup>2</sup>]

L'energia elettrica può essere valutata a livello giornaliero, settimanale, mensile o annuale.

**ENERGIA ELETTRICA NORMALIZZATA RISPETTO AL NUMERO DI OCCUPANTI (EE<sub>UR</sub>)**

L'indicatore si riferisce all'energia utilizzata dal reale numero di occupanti presenti nella zona/edificio. Viene valutata tramite la seguente relazione:

$$EE_{D\ occ} = \frac{\overline{EE_S}}{N_{occ}} \quad (9)$$

Dove:

$\overline{EE_S}$  = Energia media utilizzata durante l'orario di occupazione, normalizzata rispetto alla superficie netta utile dell'edificio [ $W_e/m^2$ ]

$N_{occ}$  = Numero di occupanti [-]

L'energia elettrica può essere valutata a livello giornaliero, settimanale, mensile o annuale. L'indice sintetico viene espresso tramite:

$$\frac{kWh_e}{m^2\ occ}$$

### 3- Indicatori delle prestazioni termiche dell'edificio

#### ENERGIA TERMICA (ET)

L'energia termica, all'interno degli edifici, può riferirsi al riscaldamento, raffrescamento, post riscaldamento e acs (totale)  $ETTOT$ . In alternativa, si può riferire al solo riscaldamento  $ET_{risc}$ , al solo raffrescamento  $ET_{raffr}$ , al solo post riscaldamento  $ET_{p-risc}$  o alla sola produzione di acqua calda sanitaria  $ET_{acs}$ .

La domanda di energia termica relativa alla climatizzazione di un edificio viene stimata sulla base di un bilancio termico dell'ambiente delimitato dall'involucro edilizio, mentre il consumo può essere misurato attraverso contabilizzatori di calore. L'indicatore ET viene calcolato con la seguente relazione:

$$ET = \sum_{i=0}^n PT \quad (10)$$

Dove:

PT = Potenza termica media oraria [ $W_t$ ]

n = numero di ore del periodo considerato [-]

L'energia termica ET può essere valutata a livello giornaliero, settimanale, mensile o annuale. L'indice sintetico viene espresso tramite:

$$kWh_t$$

#### ENERGIA TERMICA NORMALIZZATA ( $ET_N$ )

L'energia termica per condizionamento può essere normalizzata rispetto ai Gradi Giorno di riscaldamento, in periodo invernale, e di raffrescamento, in periodo estivo.

Viene valutata tramite la seguente relazione:

$$ET_N = \frac{\sum_{i=0}^n PT}{GG} = \frac{ET}{GG} \quad (11)$$

Dove:

ET = Energia Termica [ $kWh_t$ ]

PT = Potenza Termica [ $W_t$ ]

n = numero di ore del periodo considerato [-]

GG = Gradi Giorno [ $^{\circ}C$ ]

#### GG<sub>r</sub> Gradi Giorno Invernali/ di Riscaldamento.

Per Gradi Giorno di riscaldamento si intende la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente

interno, fissata convenzionalmente per ogni nazione, e la temperatura media esterna giornaliera. L'unità di misura utilizzata è il grado giorno (GG).

La norma UNI EN ISO 15927-6:2008 definisce i  $GG_I$  come:

$$GG_I = \sum_{e=1}^n (T_0 - T_e) \quad (12)$$

Dove:

$n$ = numero di giorni del periodo convenzionale di riscaldamento ( $90 \leq n \leq 65$ )

$T_0$ = Temperatura ambiente convenzionale. In Italia il DPR 412/1993, fissa convenzionalmente la temperatura ambiente a 20 °C.

$T_e$ = Temperatura esterna media giornaliera ( $T_e < T_0$ ).

$GG_E$  Gradi Giorno Estivi/ di Raffrescamento.

In periodo estivo i GG non si possono basare solo sulla temperatura esterna e, per tale motivo, è consigliabile applicare un calcolo che valuti la temperatura percepita.

NB.: il metodo proposto di seguito uno dei metodi proposti in letteratura per il calcolo dei GG, ma non è ancora attualmente normato.

$$GG_E = H_{med} - T_{sp} \quad (13)$$

Dove:

$H_{med}$ = temperatura percepita media giornaliera dell'ambiente esterno (Humidex medio giornaliero)

$$H_{med} = T + \frac{5}{9} * (6,11 * \frac{UR}{100} * 10^{\frac{7,5 T}{237,7 T - 10}} - 10) \quad (14)$$

Dove:

$T$ = Temperatura esterna

$T_{sp}$ = Temperatura di set-point degli ambienti interni, da assumersi pari a 25°C (si faccia riferimento alle norme UNI 10339 e 10349 per la definizione della temperatura di set point).

Un'ulteriore tipo di normalizzazione può essere effettuato utilizzando i Gradi Giorno Reali  $GG_r$ (misurati) e i Gradi Giorno Convenzionali  $GG_c$ (definiti secondo normativa).

Quindi:

$$ET_N = ET * \frac{GG_c}{GG_r} = \sum_{i=0}^n PT * \frac{GG_c}{GG_r} \quad (15)$$

L'energia termica normalizzata può essere valutata a livello giornaliero, settimanale, mensile o annuale tramite l'indice sintetico:

$$\frac{kWh_t}{GG}$$

In questo caso l'unità di misura dell'indicatore di energia termica normalizzato è il kWh<sub>t</sub>.

**ENERGIA TERMICA SPECIFICA (ET<sub>s</sub>)**

L'indicatore definisce l'Energia Termica, relativa ad un determinato periodo di tempo e normalizzata sulla Superficie netta o sul Volume lordo.

Viene valutata tramite la seguente relazione:

$$ET_s = \frac{ET}{s} = \frac{\sum_{i=0}^n PT}{s} \quad (16) \quad \text{oppure} \quad ET_s = \frac{ET \sum_{i=0}^n PT}{V} \quad (17)$$

Dove:

ET= Energia Termica [kWh<sub>t</sub>]

PT= Potenza termica [W<sub>t</sub>]

n= numero di ore del periodo considerato [-]

s= Superficie utile netta [m<sup>2</sup>]

v= volume lordo [m<sup>3</sup>]

L'energia elettrica può essere valutata a livello giornaliero, settimanale, mensile o annuale. Questo indice viene valutato tramite:

$$\frac{kWh_t}{m^2} \text{ oppure } \frac{kWh_t}{m^3}$$

#### ENERGIA TERMICA SPECIFICANORMALIZZATA (ET<sub>SN</sub>)

L'indicatore definisce l'Energia Termica, relativa ad un determinato periodo di tempo e normalizzata sulla Superficie netta o sul Volume lordo e ai Gradi Giorno.

Viene valutata tramite la seguente relazione:

$$ET_s = \frac{ET_s}{GG} = \frac{\sum_{i=0}^n PT}{s * GG} \quad (18) \quad \text{oppure} \quad ET_s = \frac{ET_s \sum_{i=0}^n PT}{GG \quad V * GG} \quad (19)$$

Dove:

ET<sub>S</sub>= Energia Termica Specifica [kWh<sub>t</sub>/m<sup>2</sup> o kWh<sub>t</sub>/m<sup>3</sup>]

PT= Potenza termica [W<sub>t</sub>]

n= numero di ore del periodo considerato [-]

s= Superficie utile netta [m<sup>2</sup>]

v= volume lordo [m<sup>3</sup>]

GG = Gradi Giorno [°C]

Un'ulteriore tipo di normalizzazione può essere effettuato utilizzando i Gradi Giorno Reali GG<sub>r</sub>(misurati) e i Gradi Giorno Convenzionali GG<sub>c</sub>(definiti secondo normativa).

Quindi:

$$ET_{SN} = ET_s * \frac{GG_c}{GG_r} = \frac{\sum_{i=0}^n PT}{s} * \frac{GG_c}{GG_r} \quad (20)$$

Oppure:

$$ET_{SN} = ET_s * \frac{GG_c}{GG_r} = \frac{\sum_{i=0}^n PT}{V} * \frac{GG_c}{GG_r} \quad (21)$$

In questo caso l'unità di misura dell'indicatore di energia termica normalizzato è :

$$\frac{kWh_t}{m^2} \quad \text{o} \quad \frac{kWh_t}{m^3}$$

#### PERCENTUALE D'USO ENERGIA TERMICA(ET<sub>OR</sub>)

E' un indicatore numerico del consumo totale di Energia Termica (o di Combustibile) di un edificio. Si basa sul consumo energetico effettivo misurato per un periodo di 12 mesi rispetto alle prestazioni di un edificio tipico dello stesso tipo. Una costruzione che utilizza esattamente la stessa energia dell'edificio benchmark avrà un ORET = 1.

Viene valutata con le seguente equazione:

$$ET_{OR} = \frac{ET}{S} * \frac{100}{ET_{tot\ ref}/S} \quad [\%] \quad (22)$$

Dove:

ET= Consumo di Energia Termica dell'edificio [kWh<sub>t</sub>]

S = Superficie netta dell'edificio [m<sup>2</sup>]

$ET_{tot\ ref}/S$  = Consumo di Energia Termica di riferimento, specifico rispetto all'unità di superficie [kWh/m<sup>2</sup>]

Se gli edifici in questione, caso studio ed edificio di riferimento, sono situati in differenti zone termiche, allora la formula da considerare è la seguente:

$$ET_{OR} = \frac{ET * \frac{GG_R}{GG_C}}{S} * \frac{100}{(ET_{ref} * \frac{GG_C}{GG_R})/S} \quad [\%] \quad (23)$$

Dove:

GG<sub>R</sub> = Gradi Giorno reali [°C]

GG<sub>C</sub> = Gradi Giorno Convenzionali [°C]

La percentuale d'uso dell'energia termica può essere valutata a livello giornaliero, settimanale, mensile o annuale.

#### 4- Indicatori del consumo di acqua potabile

##### CONSUMO DI ACQUA POTABILE (CAP)

Tale indice rappresenta il consumo di acqua potabile in un determinato periodo.

Viene valutato come:

$$CAP = \sum_{i=0}^n CAP_x \quad [m^3] \quad (24)$$

Dove:

CAP<sub>x</sub> = Consumo orario di Acqua Potabile [m<sup>3</sup>]

n= numero di ore del periodo considerato [-]

Questo indicatore può essere valutato a livello giornaliero, settimanale, mensile o annuale.

##### CONSUMO DI ACQUA POTABILE SPECIFICO (CAP<sub>s</sub>)

L'indicatore definisce il consumo di acqua potabile relativa ad un determinato periodo di tempo e normalizzata rispetto alla Superficie netta o al Volume lordo dell'edificio, oppure rispetto al numero di occupanti.

Viene stimato tramite la seguente relazione:

$$CAP_s = \frac{\sum_{i=0}^n CAP_x}{S} \quad (25)$$

oppure

$$CAP_s = \frac{\sum_{i=0}^n CAP_x}{V} \quad (26)$$

oppure

$$CAP_s = \frac{\sum_{i=0}^n CAP_x}{Occ} \quad (27)$$

Dove:

CAP<sub>x</sub> = Consumo orario di Acqua Potabile [m<sup>3</sup>]

n= numero di ore del periodo considerato [-]

s= Superficie utile netta [m<sup>2</sup>]

v= volume lordo [m<sup>3</sup>]

Occ= numero di occupanti [-]

Questo indicatore può essere calcolato a livello giornaliero, settimanale, mensile o annuale. L'indice viene espresso tramite:

$$\frac{m^3}{m^2} \quad \text{oppure} \quad \frac{m^3}{m^3} \quad \text{oppure} \quad \frac{m^3}{occ}$$

## 5- Indicatori della qualità termoigrometrica

Per definire le condizioni di comfort termoigrometrico è necessario considerare due parametri individuali (tasso metabolico e resistenza termica dell'abbigliamento) e quattro parametri ambientali (temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria ed umidità relativa). E' possibile mantenere in equilibrio il bilancio termico del corpo umano attraverso differenti combinazioni dei parametri individuali ed ambientali. Tuttavia, il benessere termoigrometrico può essere raggiunto solo quando le condizioni ambientali ricadono in uno stretto intervallo di valori, legati a loro volta ad un ristretto intervallo di temperatura media della pelle e di percentuale di sudore.

### VOTO MEDIO PREVISTO (PMV)

Tale indicatore combina tutti gli scambi di calore, sensibile e latente, tra corpo umano ed ambiente in un unico indice, che esprime la sensazione termica plausibilmente percepita dall'utente.

La relazione che intercorre tra la temperatura media della pelle ed il tasso metabolico e tra la perdita di calore per evaporazione ed il tasso metabolico è stata derivata ed inserita nella doppia equazione di bilancio termico. Viene valutato tramite la seguente equazione:

$$PMV = [0,303 * \exp(-0,036 * M) + 0,028] * I_{cl} \quad [-] \quad (28)$$

Dove:

M= Flusso Metabolico [W/m<sup>2</sup>]

I<sub>cl</sub>= Isolamento dell'abbigliamento [m<sup>2</sup>K/ W]

I valori del Flusso metabolico e della resistenza termica dell'abbigliamento si possono assumere a partire da quanto riportato nella normativa internazionale (UNI EN ISO 7730).

Quest'ultima equazione stabilisce quali combinazioni tra i parametri individuali (livello di attività e resistenza termica dell'abbigliamento) e quelli ambientali (temperatura dell'aria, temperatura media radiante, umidità relativa, velocità dell'aria) determinano il raggiungimento del comfort termico.

### PERCENTUALE DI PERSONE INSODDISFATTE (PPD)

Tale indice mette in relazione il PMV e gli insoddisfatti. L'equazione relativa all'indice PMV infatti stabilisce le condizioni termiche ambientali al verificarsi delle quali la maggior percentuale possibile di persone risulta essere soddisfatta. Il PPD si basa sull'assunzione che le persone che esprimono un voto pari a +2, +3, -2, o -3 sulla scala di sensazione termica siano insoddisfatte e sulla semplificazione che esso stesso sia simmetrico rispetto all'asse di neutralità termica (PMV = 0). Ad un ambiente caratterizzato da un -0.5 < PMV < 0.5 corrisponderà una percentuale di persone insoddisfatte pari al 10%. Gli indici correlati PMV-PPD sono utilizzati negli attuali standard normativi e definiscono le diverse categorie per classificare l'ambiente termico.

Viene valutato tramite la seguente equazione:

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0,3353 * PMV^4 + 0,2179 * PMV^2)] [%] \quad (29)$$

Dove:

M= Flusso Metabolico [W/m<sup>2</sup>]

I<sub>ci</sub>= Isolamento dell'abbigliamento [m<sup>2</sup>K/ W]

#### TEMPERATURA OPERATIVA

Tale indice corrisponde alla media della temperatura media radiante e di quella dell'aria, pesate mediante i corrispondenti coefficienti di scambio termico. Viene stimata con la seguente equazione:

$$T_o = \frac{(h_c * t_a + h_r * t_{rad})}{h_c + h_r} [^{\circ}\text{C}] \quad (30)$$

Dove:

h<sub>c</sub> = Coefficiente di scambio termico convettivo [Wm<sup>2</sup>/K]

h<sub>r</sub> = Coefficiente di scambio termico radiativo [Wm<sup>2</sup>/K]

t<sub>a</sub> = Temperatura dell'aria [°C]

t<sub>rad</sub> = Temperatura media radiante [°C]

In questa espressione vengono considerate tre grandezze fisiche: la temperatura dell'aria, quella media radiante e la velocità dell'aria. Le prime due sono indicate in modo esplicito, mentre la terza, a causa dell'influenza che ha su di esso, è implicitamente espressa nel coefficiente di scambio termico convettivo, h<sub>c</sub>. Tale indice integra l'effetto della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante ma ignora l'effetto delle correnti d'aria e dell'umidità.

## 6- Indicatori della qualità visiva

### ILLUMINAMENTO

Il livello di illuminamento viene considerato l'indice del livello di radiazione luminosa sul piano di lavoro. Rappresenta il rapporto tra il flusso luminoso incidente su una superficie elementare e l'area della superficie elementare stessa.

Si esprime in:

$$E \text{ [lux]}$$

### FATTORE DI LUCE DIURNA

Si tratta di un indice del livello di illuminazione naturale negli ambienti interni. Fornisce un valore adimensionale, costante nel tempo, che caratterizza le condizioni di illuminamento interno rispetto all'esterno. Viene valutato tramite la relazione:

$$\text{FLD}_m = \frac{E_{in}}{E_{out}} [\%] \quad (31)$$

Dove:

E<sub>in</sub> = Livello di illuminamento dell'ambiente interno [lux]

E<sub>out</sub> = Livello di illuminamento dell'ambiente esterno [lux]

## 7- Indicatori della qualità acustica

### LIVELLO DI PRESSIONE SONORA

Si tratta di un indice del livello di rumore presente in ambiente. Si esprime tramite la seguente relazione:

$$L_p = 10 \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \frac{p}{p_0} \text{ [dB]}$$

Dove:

$p$  = pressione sonora in esame [Pa]

$p_0$  = pressione di riferimento, assunta pari a  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa, corrispondente alla soglia di udibilità a 1000 Hz [Pa]

## 8- Indicatori della qualità dell'aria

### LIVELLO DI CONCENTRAZIONE DI INQUINANTE

Il valore della concentrazione di biossido di carbonio può essere indicato come indicatore indiretto della qualità dell'aria e del tasso di occupazione. Si esprime come:

CO<sub>2</sub> [ppm]

### 2.1.3 Sviluppo di algoritmi di controllo e data fusion

#### 2.1.3.1 La modellazione della logica di controllo

Nei seguenti paragrafi verrà esposto il tema della modellazione della logica di controllo e di come, quindi, la modellazione energetica degli edifici possa connettersi con sistemi di controllo avanzati.

Quando la modellazione energetica viene applicata al tema della Building Automation, è necessario distinguere tra due differenti tipi di modello:

- **Modello dell'edificio**, ovvero il modello matematico che rappresenta il comportamento dell'edificio;
- **Modello della logica di controllo/attuazione**, ovvero il modello matematico che rappresenta la logica di controllo/attuazione di uno o più elementi regolabili (impianti termici, illuminazione artificiale, apertura finestre, porte, etc.).

Il modello dell'edificio descrive la risposta dell'involucro edilizio e della sua massa termica ad alcune sollecitazioni ambientali. Rappresenta quindi il comportamento passivo dell'edificio. Quando viene modellata una componente attiva, ad esempio un qualsiasi impianto, è sempre necessario prevedere una logica di funzionamento e creare un modello anche per quest'ultima. Se una variabile controllata dall'impianto eccede taluni limiti, l'impianto risponde con un'azione, che sarà simulata dal modello secondo una rappresentazione matematica.

I due modelli sono quindi strettamente correlati, poiché il modello della logica di controllo agisce sugli output del modello dell'edificio, il quale a sua volta dovrà tenere conto delle azioni simulate per calcolare le condizioni di equilibrio, tipicamente di natura dinamica, conseguenza delle stesse azioni. Nel caso della Building Automation il tema diviene particolarmente complesso poiché i modelli di logica di controllo tendono a crescere considerevolmente, talvolta interagendo non solo con il modello dell'edificio ma anche tra loro. Generalmente, tali sistemi di automazione e controllo integrato degli impianti vengono definiti BACS.

#### Come funziona un BACS

BACS è l'acronimo di Building Automation and Control System, con esso viene indicato un sistema di gestione integrato di una serie di automatismi. Nel caso in cui il sistema venga applicato al settore residenziale, si parla più comunemente di Domotica, tuttavia le logiche di funzionamento sono del tutto analoghe, cambiando unicamente alcune delle funzioni implementate.

Un BACS è quindi composto da:

- **Sistema di supervisione (Livello 1)**, si tratta del "cervello del sistema";
- **Automazione (Livello 2)**, costituito dalle stazioni di automazione, dai controllori ambiente, dai *repeater*, dai router e dai PC per la gestione differenziata degli impianti;
- **Campo (Livello 3)**, ovvero le sonde, i trasmettitori, le valvole e gli attuatori che comprendono tutti gli elementi controllati elettronicamente che agiscono sulle componenti edilizie o di impianto, rispondendo a dei comandi generati dal sistema;
- **Rete di trasmissione dei segnali**, si tratta di una rete cablata o wireless (BUS, LAN, WLAN, WI-FI) che trasmette i valori rilevati dai sensori posti in ambiente o sistema impiantistico e li invia al sistema di supervisione e da questo invia i segnali di comando agli attuatori (essa può essere un'unica rete o divisa tra rete di rilevazione rete di attuazione);

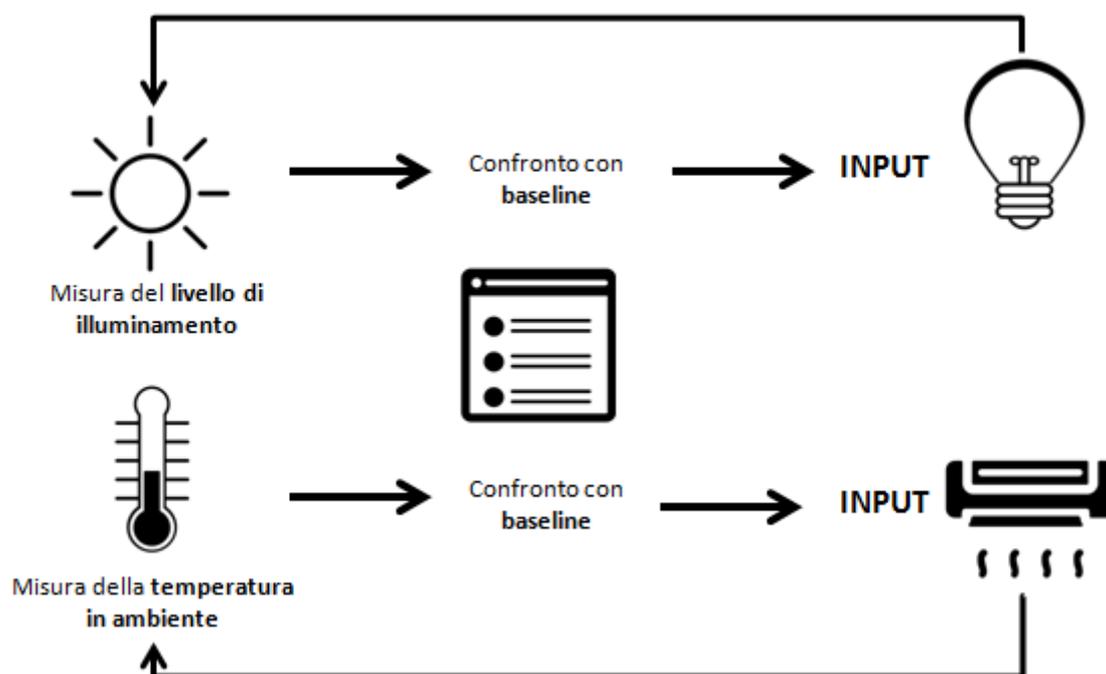
Alla base del funzionamento del Sistema di Automazione esiste dunque un software che deve essere progettato per qualsiasi esigenza di supervisione e controllo ed in grado di adattarsi ai prodotti di domotica

e *Building Automation* presenti sul mercato. Esso deve tipicamente essere in grado di gestire le seguenti funzionalità:

- i. Illuminazione, dimmerazione e regolazione illuminamento ambientale;
- ii. Termoregolazione;
- iii. Ventilazione e qualità dell'aria;
- iv. Controllo accessi;
- v. Controllo prese;
- vi. Controllo allarmi;
- vii. Antintrusione;

I sistemi di *Building Automation* funzionano attraverso due logiche di riferimento, talvolta integrate attraverso una logica di priorità:

- i. Logica 1: misura di una grandezza fisica – confronto con un valore baseline o benchmark – azione di controllo (Figura 2);
- ii. Logica 2: schedule prestabilita (giorno, ora...)o programmato in funzione di un modello di benchmark.



**Figura 16\_ Esempificazione del funzionamento della logica di attuazione 1, per il controllo dell'illuminazione e della temperatura interna**

Il controllo delle varie funzioni, pur utilizzando la stessa rete di trasmissione dati e la stessa “intelligenza artificiale”, funziona tipicamente in maniera separata, o per meglio dire parallela.

L’ottimizzazione del sistema viene intesa come ottimizzazione delle singole funzioni separatamente, ed il risparmio energetico che ne può conseguire corrisponde alla sommatoria dei risparmi ottenibili per le singole funzioni.

### **Il modello della logica di controllo**

Come anticipato in precedenza, i sistemi di Building Automation oggi disponibili applicano logiche di ottimizzazione dei processi di controllo procedendo per singole applicazioni: illuminazione, impianto di ventilazione, riscaldamento, raffrescamento etc. Il possibile risparmio energetico conseguente all’ottimizzazione del controllo è la sommatoria dei risparmi ottenuti per le singole applicazioni. Nel mondo fisico tuttavia, le applicazioni interagiscono fortemente tra loro. Se per esempio viene aperta una finestra per migliorare la qualità dell’aria, questo determinerà anche un flusso termico che influenzerà il comfort termico dell’utente, ed in particolare la temperatura dell’aria in ambiente.

Al fine di ottenere un risparmio energetico che vada al di là della sommatoria dei singoli risparmi è dunque necessario sviluppare un sistema in grado di valutare le interazioni tra le singole applicazioni e valutare un’azione di ottimizzazione globale. Ovviamente il sistema può essere settato anche secondo logiche di ottimizzazione diverse da quella del risparmio energetico, ad esempio per la massimizzazione della qualità dell’aria o del comfort termico. Un’ulteriore “applicazione” di cruciale importanza è quella dipendente dall’azione degli occupanti, che si è dimostrato avere un’influenza significativa sui consumi finali degli edifici. Nell’ottica di un sistema di Building Automation questa applicazione non è controllabile, tuttavia può essere assunta come input o forzante del sistema stesso. Procedere allo sviluppo di un modello che integri tutte le applicazioni utilizzate per la costruzione del modello energetico dell’edificio non è semplice e deve indubbiamente passare attraverso la costruzione di un modello dell’edificio e un modello della sua logica di controllo.

Esistono due configurazioni di massima per la definizione della logica di controllo:

- i. Funzionamento in automatico del sistema (assenza dell’azione dell’utente);
- ii. Funzionamento del sistema in interazione con l’azione dell’utente.

Il sistema sarà dotato di una serie di configurazioni standard che comprendono una serie di valori di set-point:

- i. Morning warmup;
- ii. Occupied
- iii. Unoccupied
- iv. Night-time set back

Al fine avere logiche di risparmio energetico o massimizzazione del comfort, è necessario prevedere ulteriori serie di livelli, più dettagliate, per la fase “occupied”. Rifacendosi per esempio alla norma UNI EN 15251, si potrebbero ipotizzare dei sotto-livelli per temperatura (T), Umidità Relativa (UR) ed illuminamento (E).

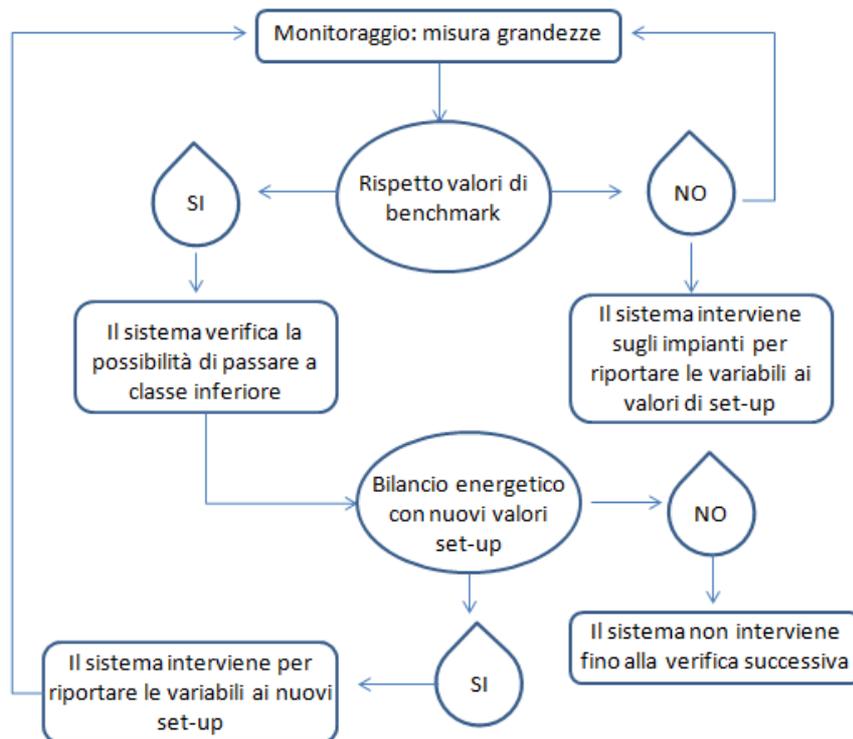
Esempio: Utente presente (stagione riscaldamento)	Classe I (es.: T:21°C; U.R.:50%; E: 300 lux) Classe II (es.: T:20°C; U.R.:60%; E: 250 lux) Classe III (es.: T:18°C; U.R.:70%; E: 200 lux)
--	---

Una volta ottenuta una condizione stabile, il sistema deve essere impostato per verificare la possibilità/convenienza di passare ad un livello che garantisca un maggior risparmio (una classe inferiore, secondo quanto riportato in precedenza). In presenza invece di un comando dell’utente, il sistema deve procedere a sostituire le variabili monitorate con le nuove variabili di set-point, e verificare l’effetto sui consumi energetici. Verrà quindi mandato un segnale di allarme all’utente, informandolo sulle probabili conseguenze della sua azione, che l’utente dovrà confermare. Dopo un certo intervallo di tempo, stabilito in base alle caratteristiche del locale, dell’impianto, della destinazione d’uso e delle caratteristiche degli occupanti, il sistema tornerà a funzionare in automatico verificando la possibilità/convenienza di passare ad un diverso livello di set-point.

Lo schema riportato in Figura 17 rappresenta la sequenza logica che può essere adottata nel caso in cui non ci sia azione dell'utente. In Figura 18 è invece riprodotta la sequenza logica delle operazioni che si può applicare per gestire tutte le applicazioni, tenendo in considerazione l'interazione tra il sistema e l'azione dell'utente.

Lo schema di funzionamento rappresentato in Figura 17 prevede innanzi tutto la misura delle variabili prestabilite a monte. Confrontando i valori ottenuti dalle misurazioni con valori di set-up oppure con valori di benchmark, il sistema agisce diversamente. Se tali valori vengono rispettati, si valuta l'opportunità di passare ad una classe inferiore in modo da ottenere un risparmio energetico, se invece tali valori non sono rispettati l'impianto si attiva per far sì che siano soddisfatti. Nel caso in cui si valuti l'opportunità di passare ad una classe inferiore, si svolge un bilancio energetico per stabilire se sia effettivamente opportuno intervenire tramite l'impianto (se il bilancio è soddisfatto) o meno (se non lo è).

Per quanto riguarda invece lo schema di Figura 18, esso prevede l'intervento dell'utente nella logica di controllo. In particolare, l'attivazione si ha con l'utente che modifica i valori di set-point. A questo punto il sistema elabora un nuovo bilancio energetico (basato sui nuovi valori di set-point). Se il bilancio è soddisfatto gli impianti vengono attivati per portare le variabili ai nuovi valori di set-point, altrimenti il sistema invia un messaggio di Warning all'utente, che può decidere se agire in ogni caso (sullo schema indicato dalla risposta "yes") oppure effettivamente rinunciare all'attivazione dell'impianto accogliendo il warning (sullo schema la risposta "No"). Nel caso in cui l'impianto si attivi per ottenere i nuovi valori di set-up avverrà di nuovo un monitoraggio che prevede il rispetto delle grandezze prestabilite o dei valori di benchmark. Se le grandezze risultano verificate l'impianto non verrà attivato, altrimenti verrà attivato per soddisfare i valori stabiliti.



**Figura 17\_ Algoritmo della logica di funzionamento del sistema in assenza dell'azione dell'utente**

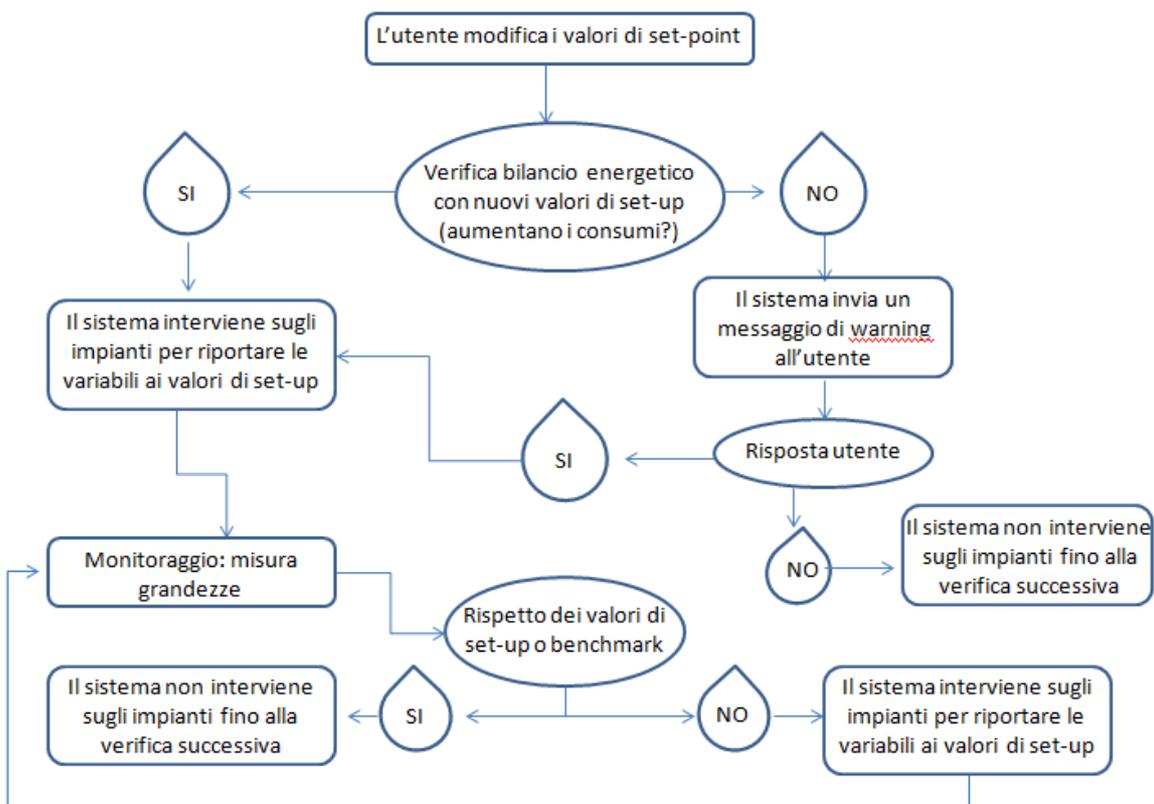


Figura 18\_Algoritmo della logica di funzionamento del sistema in presenza dell'azione dell'utente

Nelle seguenti tabelle vengono riportati dei valori di set-point per le quattro configurazioni standard indicate, che si possono considerare come riferimento per la destinazione d’uso residenziale. I valori sono ricavati dalla normativa tecnica ed adattati alle tipiche condizioni operative. Quando il sistema verrà testato sarà possibile modificare tali set-point in funzione delle reali caratteristiche degli edifici.

Tabella 9. Ipotesi di partenza per i valori di set-point nelle quattro configurazioni standard ipotizzate

		T [°C]	U.R. [%]	E [lux]	CO <sub>2</sub> est - CO <sub>2</sub> int [ppm]	
<b>Morning warmup</b>	Heating	24	50	0	800	
	Cooling	22	60	0	800	
<b>Occupied</b>	Heating	Class I	21	50	300	350
		Class II	20	60	250	500
		Class III	18	70	200	800
	Cooling	Class I	25	60	300	350
		Class II	26	70	250	500
		Class III	27	70	200	800
<b>Unoccupied</b>	Heating	18	70	100	800	
	Cooling	27	70	100	800	
<b>Night-time setback</b>	Heating	16	60	0	1000	
	Cooling	30	60	0	800	

Nella fase di modellazione del sistema di controllo devono inoltre essere imposte delle priorità tra le diverse applicazioni. In linea di principio per la destinazione d’uso residenziale deve valere la seguente logica di priorità (scala decrescente):

- i. Ventilazione – Qualità dell’aria interna (IAQ);
- ii. Termoregolazione – Comfort termico;
- iii. Umidificazione/deumidificazione;
- iv. Illuminazione – Comfort visivo.

Questa è solamente una scala di priorità indicativa, infatti per particolari applicazioni come quella dei soffitti radianti freddi, l’umidificazione/deumidificazione avrà un valore prioritario, onde evitare fenomeni di condensazione superficiale. È possibile infine raggruppare le azioni che il sistema può compiere e la loro influenza sulle singole applicazioni esaminate, individuando quali sono le azioni maggiormente critiche, poiché influenzanti più applicazioni in contemporanea.

**Tabella 10. Relazioni esistenti tra applicazioni ed azioni del sistema di controllo**

Applicazione	Azione
Comfort visivo	Accensione, spegnimento e regolazione luci artificiali
	Regolazione schermi esterni (posizione)
Qualità dell’aria	Apertura chiusura finestra – Regolazione velocità impianto di ventilazione meccanica
Comfort termico	Accensione, spegnimento e regolazione impianto di riscaldamento
	Regolazione schermi esterni (posizione)
	Accensione, spegnimento e regolazione luci artificiali
	Apertura chiusura finestra

**Tabella 11. Relazioni esistenti tra azioni del sistema di controllo ed applicazioni**

Azione	Applicazione
Accensione, spegnimento e regolazione luci artificiali	Comfort visivo
	Comfort termico
Regolazione schermi esterni	Comfort visivo
	Comfort termico
Apertura chiusura finestra	Qualità dell’aria
	Comfort termico
<b>Accensione, spegnimento e regolazione impianto di riscaldamento/raffrescamento</b>	<b>Comfort termico</b>

Dalla lettura delle Tabelle 10 e 11 risulta evidente che l’applicazione influenzata dal maggior numero di azioni, per la quale sarà pertanto più difficile mantenere dei valori di set-point prestabiliti, è la termoregolazione, ovvero il controllo del comfort termico. Le azioni hanno invece tutte la stessa importanza, influenzando ciascuna una o due applicazioni.

### 2.1.3.2 Sviluppo degli algoritmi di controllo

Sulla base delle opportunità di monitorare diversi gruppi di variabili nei kit definiti, sono stati categorizzati tre diversi livelli di automatismo. Lo studio procede dunque su due diverse strategie di ricerca volte a:

- 1) identificare l’efficacia diagnostica sulla base del numero di variabili monitorate (da cui sono stati elaborati 3 diversi kit di sensori ed attuatori);
- 2) definire l’efficacia della soglia ottimale del livello di automazione e educazione degli utenti. Da questa necessità sono stati associati ai 3 kit identificati 3 diversi livelli di automazione. In particolare al kit “Full optional” è stato associato il più alto livello di automazione (“High level automation”), al kit “Medio” è stato associato un minor livello di automazione inserendo nel processo il coinvolgimento attivo dell’utente (“Medium level automation”), infine al kit “Base” è stato associato un elevato livello di coinvolgimento dell’utente nel processo.

L'interazione con gli utenti e l'invio dei feedback segue un criterio temporale tale per cui le comunicazioni si ripetono fino a quando non vengono eseguite, ma vengono visualizzate dagli utenti con una colorazione differente per evidenziare l'urgenza della comunicazione. La differente colorazione avviene in base al tempo che intercorre tra il suggerimento dell'azione, il successivo avvertimento e la sua esecuzione. Si propone di utilizzare tre diversi colori ad ognuno dei quali associare un significato differente:

- **verde:** l'azione è segnalata una prima volta;
- **giallo:** l'azione viene segnalata dopo i primi 45 minuti trascorsi dal primo segnale verde;
- **rosso:** l'azione viene suggerita con warning dopo ulteriori 45 minuti trascorsi dal primo segnale giallo.

Di seguito vengono dunque riportati gli algoritmi sviluppati per ciascun livello di automazione, suddivisi per i tre campi di comfort stabiliti: Comfort visivo, Qualità dell'aria, Comfort Termico. In particolare, tutti gli algoritmi definiti nel seguito vedono come requisito fondamentale per il loro avvio il segnale positivo dal sensore di occupazione, ovvero che gli utenti siano effettivamente nella stanza in cui viene riscontrata un'anomalia di comfort. Nel caso in cui gli algoritmi seguenti vadano in conflitto, si segue la logica di priorità precedentemente descritta per la destinazione d'uso residenziale.

In considerazione del numero limitato di azioni generate dagli alberi e del lungo periodo di interazione previsto dal progetto, gli alert dovrebbero cercare di rendere il messaggio verso l'utente, nei due livelli di automazione che lo prevedono, sempre più confidenziale, aiutando l'utente a familiarizzare con il progetto e ad assimilare comportamenti ecosostenibili.

In quest'ottica è ipotizzabile un'evoluzione dei messaggi come segue:

- Primi 3 mesi di interazione: messaggi semplici e chiari che spieghino all'utente le azioni da svolgere;
- Secondi 3 mesi di interazione: messaggi più diretti, puntando sulla confidenza degli utenti nei confronti delle azioni da compiere;
- Ultimi 3 mesi di sperimentazione: messaggi solerti, che prevedono una partecipazione attiva dell'utente, una certa familiarità con la terminologia e con le azioni suggerite.

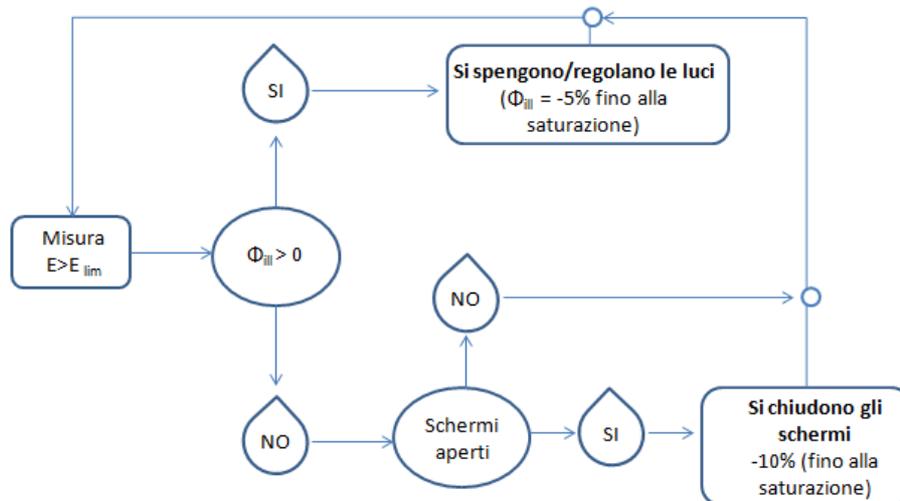
Di seguito vengono riportati gli algoritmi suddivisi nelle stagioni di riscaldamento e raffrescamento. Gli algoritmi di controllo di seguito presentati agiscono con un intervallo di controllo dell'ordine di 45 minuti. Nella notazione adottata il blocco iniziale degli algoritmi è rappresentato dal blocco relativo alla misura della grandezza che si desidera controllare (posizionato sempre sulla sinistra negli schemi che seguono).

## High level automation

### Algoritmi legati al Comfort visivo

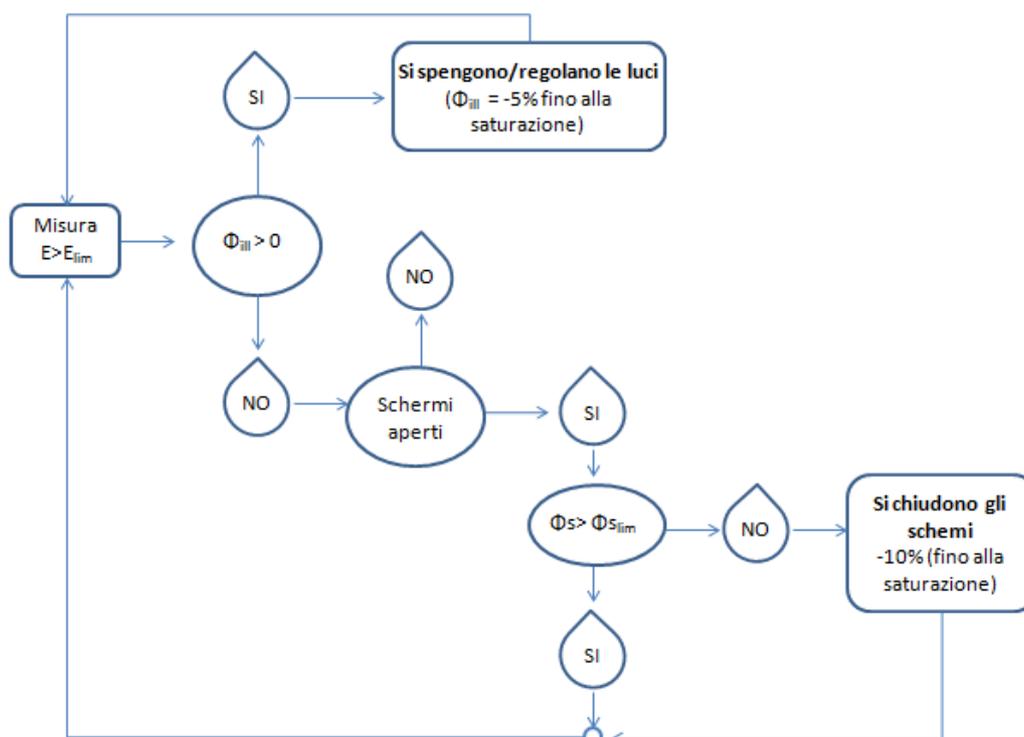
- **Il sensore di illuminamento riscontra un valore di *illuminamento superiore al valore limite in stagione invernale.***

In questo caso si possono verificare due situazioni. Nella prima modalità di controllo viene privilegiato il comfort dell'utente. L'algoritmo pertanto procede alla verifica che il valore di illuminamento superiore al limite non sia dovuto all'accensione delle luci artificiali. Nel caso risultino accese, comanda il loro spegnimento. Nel caso in cui le luci artificiali siano invece spente, si verifica la posizione dello schermo solare: nel caso sia aperto, l'algoritmo comanda la chiusura (secondo passi discendenti del 10%). Si riporta di seguito l'algoritmo nel settaggio "Comfort Mode".



**Figura 29\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso di illuminamento superiore al valore limite in stagione invernale. Comfort Mode.**

Se invece viene privilegiato il bilancio energetico del locale, si tiene conto degli apporti gratuiti forniti dalla radiazione solare entrante. L’algoritmo pertanto, dopo aver verificato che il valore di illuminamento superiore al limite non sia dovuto all’accensione delle luci artificiali e alla posizione dello schermo solare, valuta se l’apporto solare sia utile al risparmio energetico. Si verifica dunque che la radiazione solare esterna sia superiore ad un valore soglia ( $150 \text{ W/m}^2$ ) in stagione invernale. In tal caso, lo schermo rimane aperto, altrimenti l’algoritmo comanda la chiusura dello schermo solare con un passo del 10% ogni volta che la verifica del valore dell’illuminamento viene effettuata. Si riporta di seguito l’algoritmo nel settaggio “Energy Mode”.



**Figura 20\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso di illuminamento superiore al valore limite in stagione invernale. Energy Mode.**

- Il sensore di illuminamento riscontra un valore di *illuminamento inferiore al valore limite in stagione invernale*.

In questo caso la necessità è riportare il valore di illuminamento all'interno dell'ambiente ai valori limite o di preferenza dell'utente. L'algoritmo pertanto verifica che gli schermi solari siano aperti. Qualora non lo fossero totalmente (100%), il sistema comanda la loro apertura. Se invece si rileva che gli schermi sono già totalmente aperti, si procede con la verifica delle luci artificiali. Se sono già accese, si incrementa l'intensità del flusso luminoso con un passo del 5%, mentre se sono spente si comanda l'accensione.

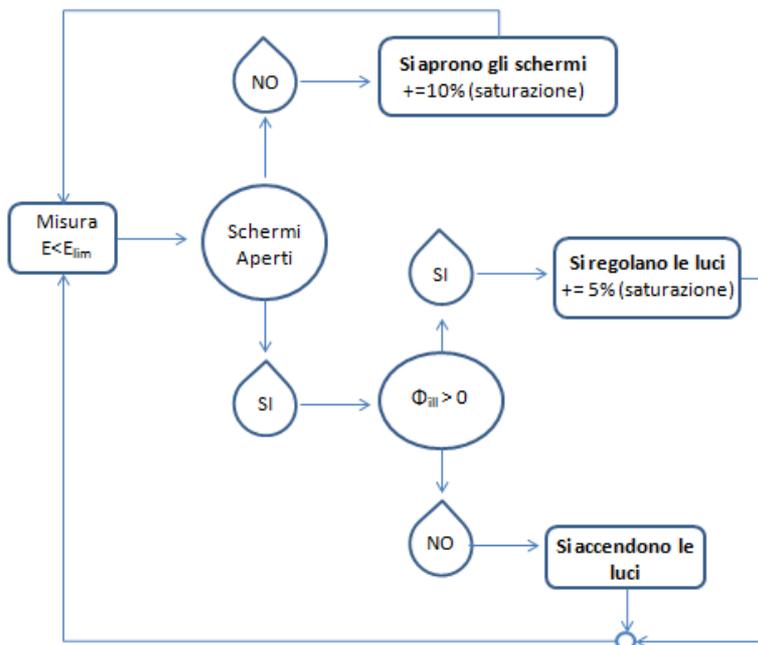


Figura 21\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso di illuminamento inferiore al valore limite in stagione invernale.

- Il sensore di illuminamento riscontra un valore di *illuminamento superiore al valore limite in stagione estiva*.

In questo caso la verifica del valore di illuminamento in ambiente viene seguita immediatamente dalla verifica delle luci artificiali: se sono accese il sistema comanda il loro spegnimento con un passo del 5% mentre se sono spente verifica la posizione dello schermo solare. Se aperto, l'algoritmo comanda la chiusura graduale con un passo del 10%.

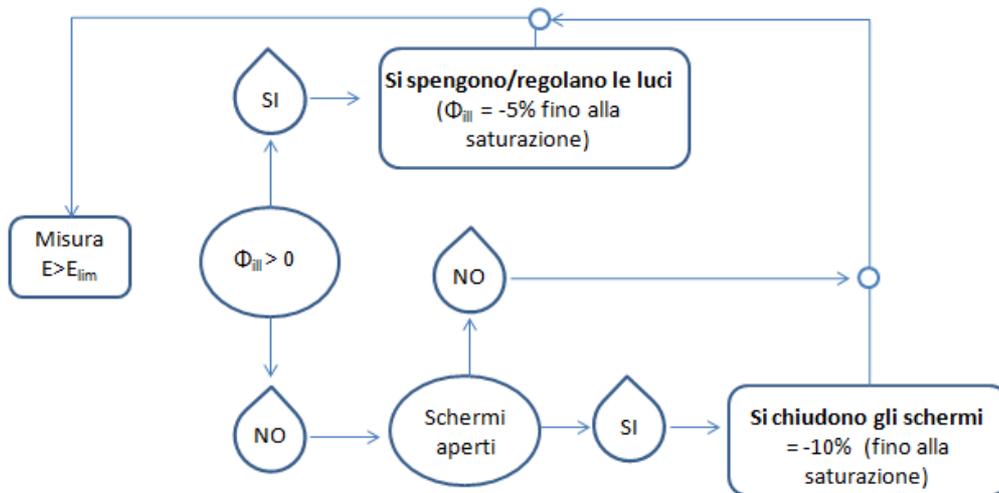


Figura 22\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso di illuminamento superiore al valore limite in stagione estiva.

- Il sensore di illuminamento riscontra un valore di *illuminamento inferiore al valore limite in stagione estiva*.

In questo caso alla verifica del valore di illuminamento in ambiente segue la verifica del bilancio degli apporti solari gratuiti. In maniera semplificata, si valuta se la radiazione solare esterna sia superiore ad un valore limite (che in stagione estiva si pone uguale a 300W/m<sup>2</sup>). In tal caso, l'algoritmo comanda l'accensione graduale delle luci artificiali (ricalcolando il valore di illuminamento con l'incremento del 5% delle luci artificiali). Altrimenti, si comanda l'apertura degli schermi solari incrementando via via la loro apertura con un passo del 10%.

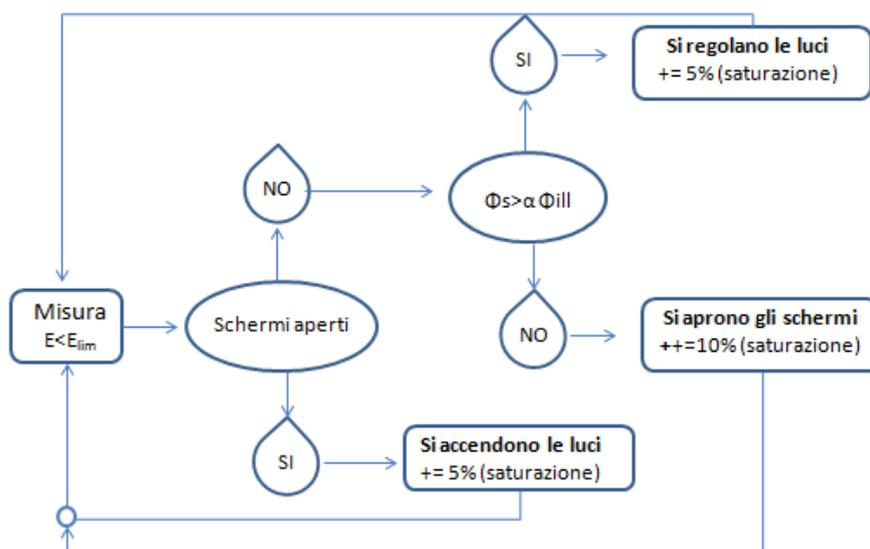


Figura 23\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso di illuminamento inferiore al valore limite in stagione estiva.

#### Algoritmi legati alla Qualità dell'aria

- Il sensore di CO<sub>2</sub> riscontra un valore di *concentrazione di inquinante superiore al valore limite in assenza di impianto di ventilazione meccanica*.

In questo caso la verifica che il sistema deve fare è legata alla concentrazione di inquinante esterno. Nel caso in cui la quantità di inquinante interno sia superiore al valore di inquinante esterno, il sistema comanda lo spegnimento del sistema di riscaldamento/raffrescamento e apre le finestre.

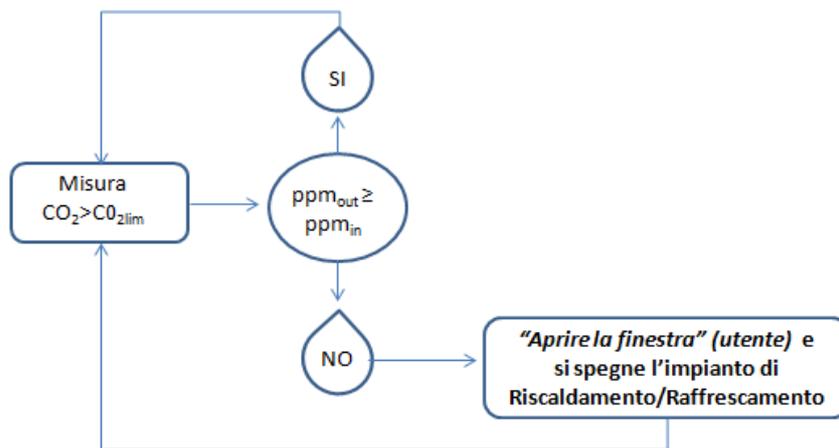


Figura 24\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso concentrazione di inquinante superiore al valore limite in assenza di ventilazione meccanica.

- Il sensore di CO<sub>2</sub> riscontra un valore di **concentrazione di inquinante inferiore al valore limite in assenza di impianto di ventilazione meccanica.**

In questo caso il sistema non agisce in quanto i parametri della qualità ambientale sono rispettati.



Figura 25\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso concentrazione di inquinante inferiore al valore limite in assenza di ventilazione meccanica.

- Il sensore di CO<sub>2</sub> riscontra un valore di **concentrazione di inquinante superiore al valore limite in presenza di impianto di ventilazione meccanica.**

In questo caso la verifica che il sistema deve fare è legata alla concentrazione di inquinante esterno e alla velocità del ventilatore. Se questo fosse spento, il sistema comanda la sua accensione, altrimenti lo fa girare alla massima velocità.

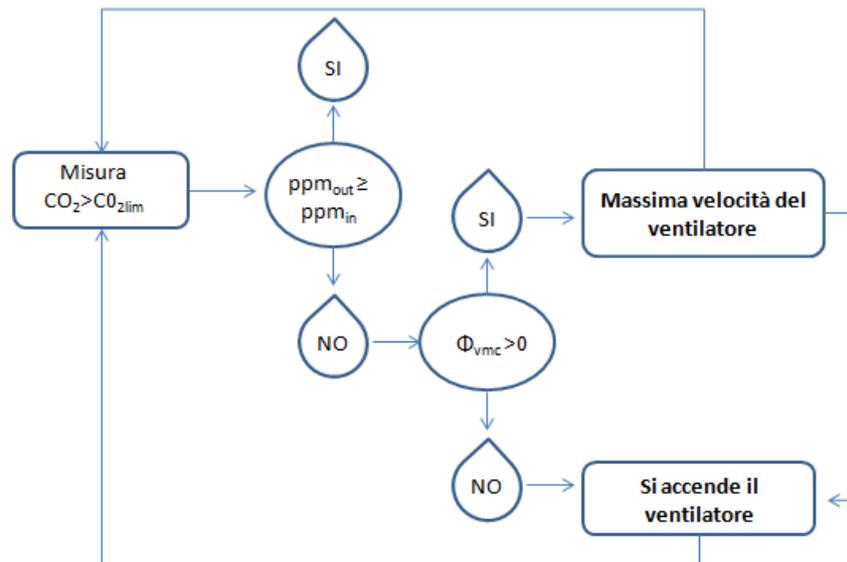


Figura 26\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso concentrazione di inquinante superiore al valore limite in presenza di ventilazione meccanica.

- Il sensore di CO<sub>2</sub> riscontra un valore di *concentrazione di inquinante inferiore al valore limite in presenza di impianto di ventilazione meccanica.*

In questo caso il sistema regola la velocità del ventilatore sulla base del valore di CO<sub>2</sub> dell'aria interna.

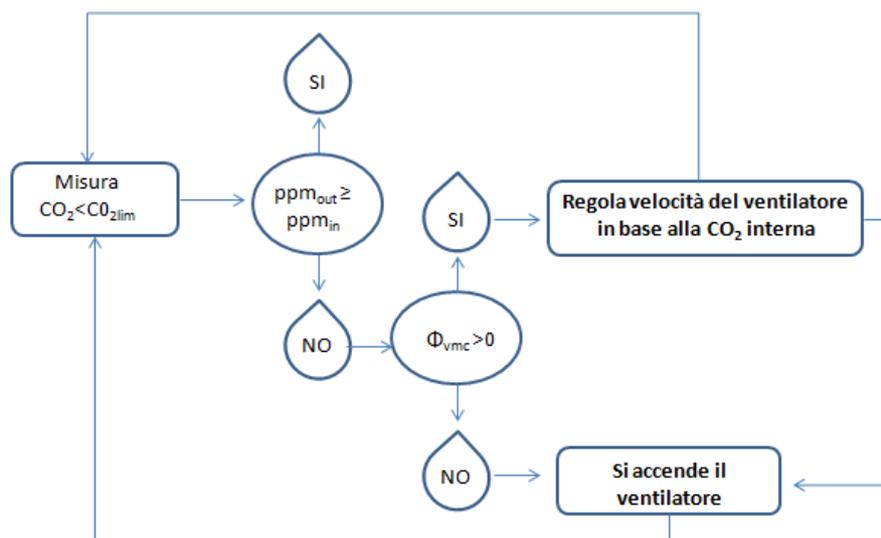


Figura 27\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso concentrazione di inquinante inferiore al valore limite in presenza di ventilazione meccanica.

#### Algoritmi legati al Comfort Termico

- Il sensore di temperatura riscontra un valore di *temperatura superiore al valore limite in stagione invernale.*

Se il sistema di controllo riscontra che in ambiente vi è una temperatura superiore al valore limite, verifica che l'impianto di riscaldamento sia acceso o spento. Qualora fosse acceso, si comanda lo spegnimento, se

invece è già spento, si verifica se la temperatura esterna è superiore di almeno 3°C a quella interna. Se la temperatura esterna è inferiore a quella interna allora si eseguono due verifiche in parallelo per massimizzare l'apporto del *freecooling*. Pertanto, si verifica se la finestra è aperta o chiusa e, nel caso in cui fosse chiusa, si consiglia di aprire la finestra. Allo stesso tempo, si verifica anche la posizione dello schermo solare: se è aperto il sistema lo chiude gradualmente fino a chiusura completa. Nel caso contrario (per cui la temperatura esterna sia superiore all' interna), si invia un *warning* all'utente chiedendo di chiudere la finestra.

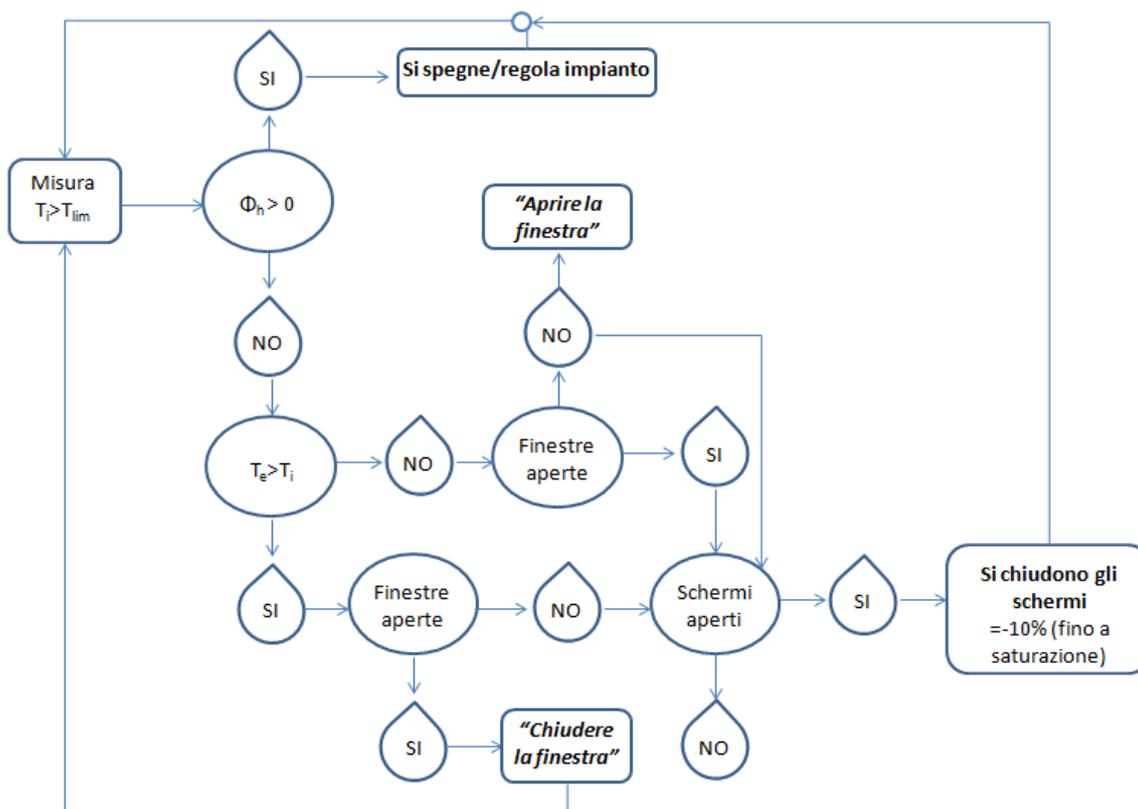


Figura 28\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso di temperatura interna maggiore della temperatura limite in inverno.

- Il sensore di temperatura riscontra un valore di *temperatura inferiore al valore limite in stagione invernale*.

In questo caso, la prima verifica che il sistema deve fare è se la temperatura esterna è superiore di almeno 3°C a quella interna, per poter usufruire di eventuali apporti gratuiti dall'esterno. In tal caso, se le finestre sono chiuse, si consiglia di aprirle. Di solito, in stagione invernale, la temperatura esterna risulta inferiore a quella interna. In questo caso, il sistema consiglia di chiudere la finestra se è aperta e prosegue con la verifica con la verifica dell'accensione dell'impianto di riscaldamento. Se questo risulta già acceso, il sistema invia un *warning* di regolazione (dopo aver verificato che gli schermi solari siano aperti). Se invece la potenza termica di riscaldamento è nulla, il sistema accende l'impianto.

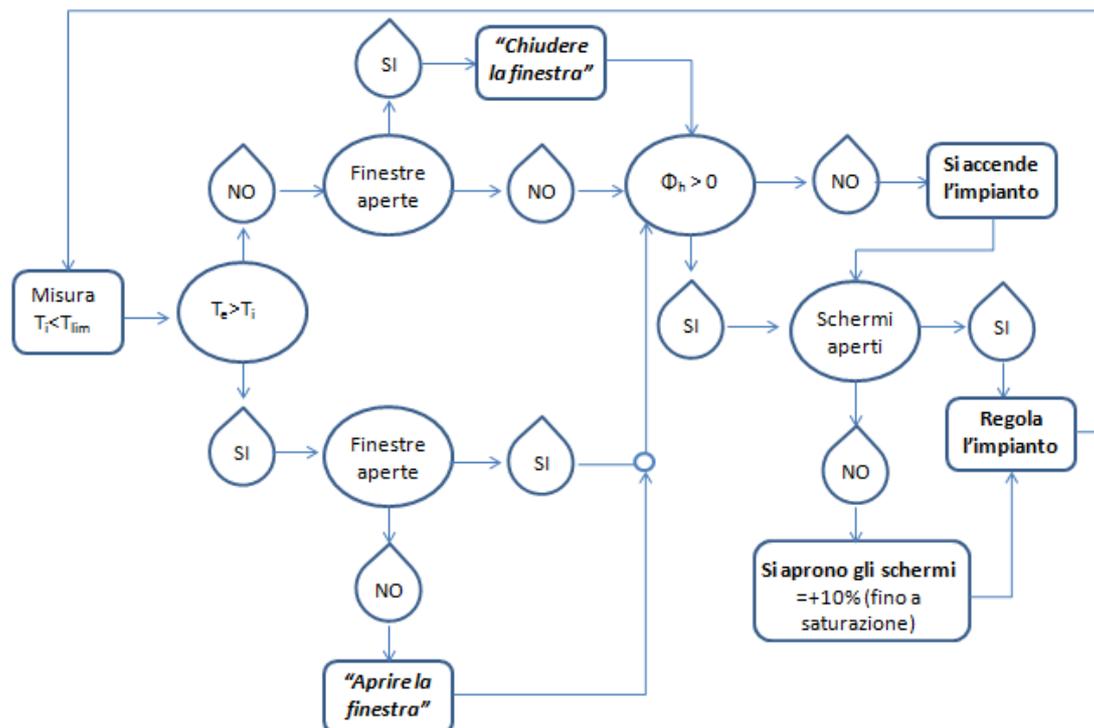


Figura 29\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso di temperatura interna minore della temperatura limite in inverno.

- Il sensore di temperatura riscontra un valore di *temperatura superiore al valore limite in stagione estiva*.

In stagione estiva, se la temperatura interna è superiore a quella fissata come limite, si procede con la verifica della differenza tra temperatura esterna ed interna. Se la temperatura esterna è maggiore di almeno 3 °C rispetto a quella interna e le finestre sono aperte, si invia un messaggio all'utente chiedendo di chiudere la finestra. A valle di quest'operazione, o se le finestre sono già chiuse, si verifica se gli schermi sono aperti. nel caso in cui lo siano, si comanda la loro chiusura e si accende l'impianto (se è spento). Se gli schermi solari sono già chiusi, si accende l'impianto (se è spento).

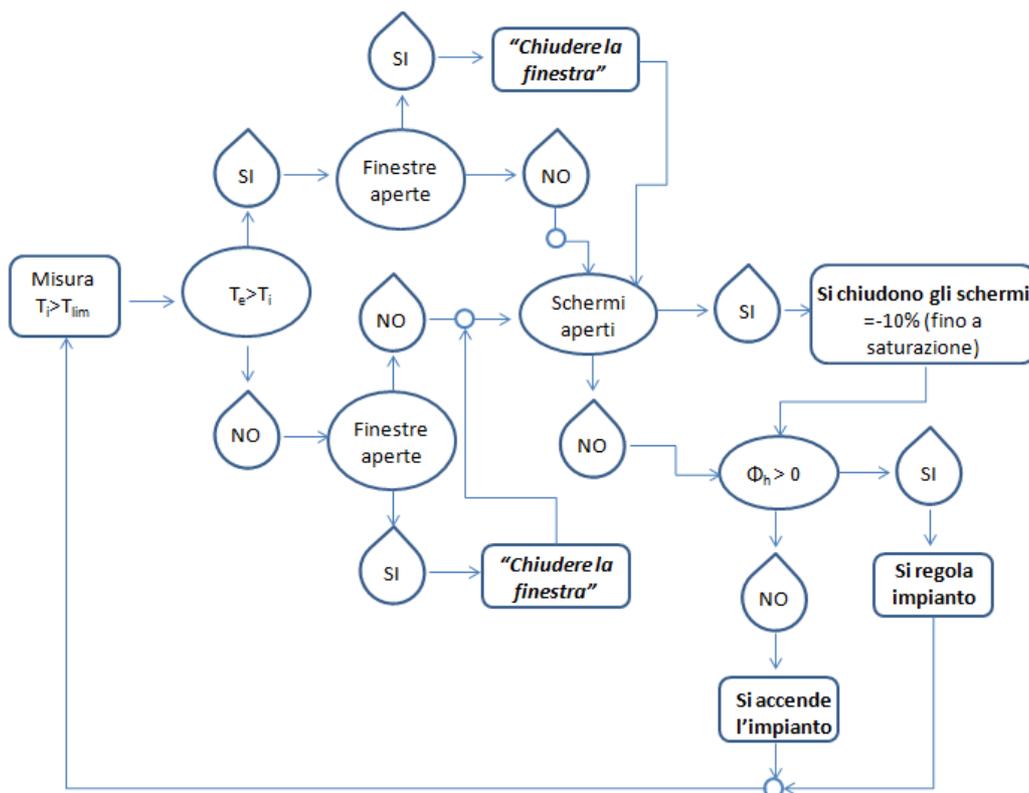


Figura 30\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso di temperatura interna maggiore della temperatura limite in estate.

- Il sensore di temperatura riscontra un valore di temperatura inferiore al valore limite in stagione estiva.

Se il sistema verifica che la temperatura interna è inferiore a quella limite e l'impianto risulta acceso, si comanda il suo spegnimento o la sua regolazione. Nel caso in cui l'impianto risulti spento, si verifica lo stato degli schermi e, se chiusi, si comanda la loro apertura. A valle di questa operazione e se gli schermi erano già aperti, si verifica lo stato delle finestre e della temperatura esterna. In particolare, se le finestre risultano chiuse e la temperatura esterna minore di quella interna, si invia un messaggio all'utente chiedendo di aprire la finestra. Se le finestre risultano aperte e la temperatura esterna è minore di quella interna si invia un messaggio all'utente per chiudere la finestra.

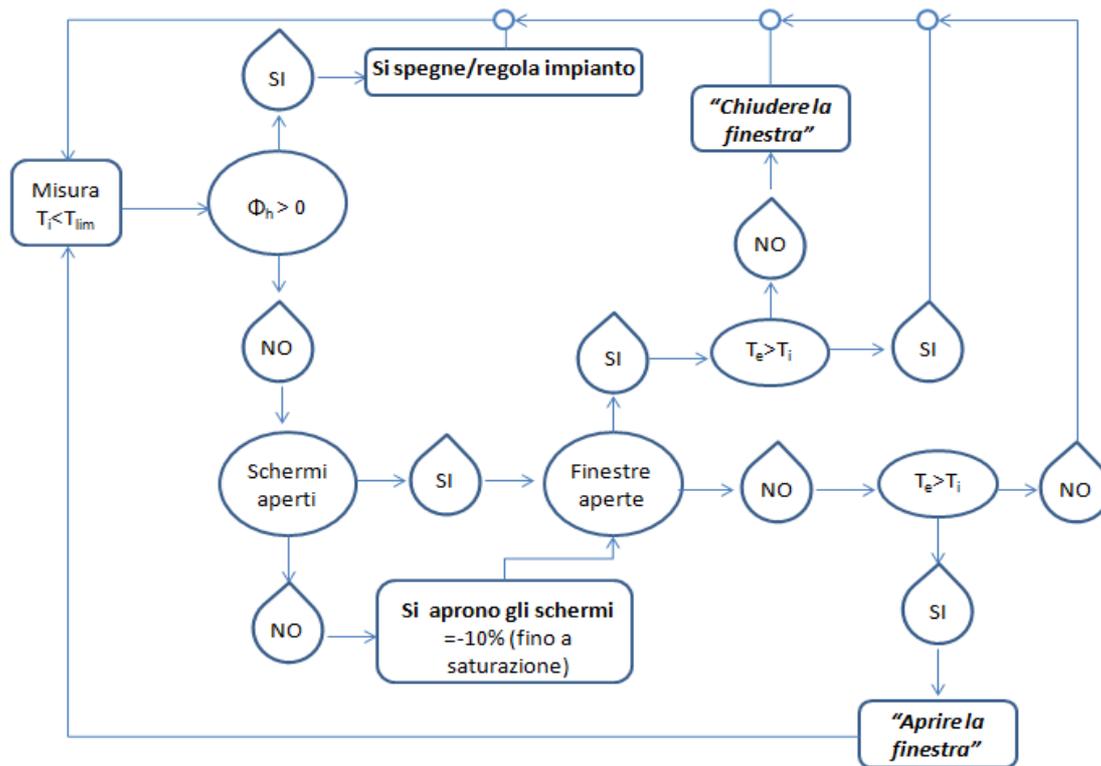


Figura 31\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso di temperatura interna minore della temperatura limite in estate.

## Medium level automation

Gli algoritmi sviluppati nel caso di livello di automazione medio tengono conto del fatto che il livello di dettaglio spaziale utilizzato per il posizionamento dei sensori è limitato ai 2 ambienti più significativi dell'abitazione. Generalmente, in ambito residenziale, si fa riferimento a camera da letto e soggiorno. Pertanto, le attuazioni comandate dai segnali di illuminamento, temperatura e concentrazione di inquinanti, devono intendersi riferite a tali ambienti.

### Algoritmi legati al Comfort visivo

- **Il sensore di illuminamento riscontra un valore di *illuminamento superiore al valore limite in stagione invernale.***

Analogamente al più elevato livello di automazione, anche in questo caso si possono verificare due situazioni. Nella prima modalità di controllo viene privilegiato il comfort dell'utente. L'algoritmo pertanto procede alla verifica che il valore di illuminamento superiore al limite non sia dovuto all'accensione delle luci artificiali. Nel caso fossero accese, procede con il loro spegnimento. Nel caso in cui le luci artificiali siano invece spente, non essendoci in questo caso sensori di posizione degli schermi solari, si coinvolge l'utente consigliandogli di chiudere gli schermi solari se sono aperti (viene inviato un *warning*).

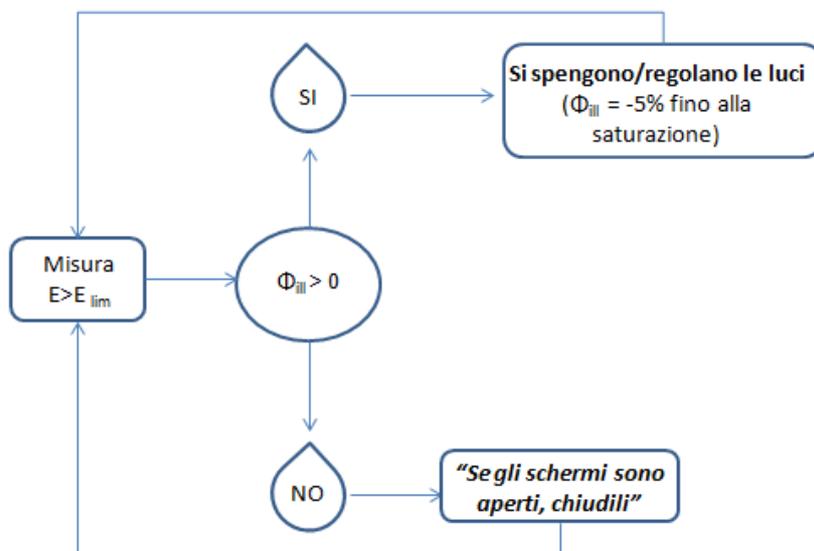


Figura 32\_ Algoritmo di funzionamento del sistema Medium Level Automation in caso di Illuminamento in ambiente superiore al limite in inverno. Comfort Mode.

Se si privilegia il bilancio energetico del locale, si tiene conto degli apporti gratuiti forniti dalla radiazione solare entrante. L’algoritmo pertanto dopo la verifica che il valore di illuminamento superiore al limite non sia dovuto all’accensione delle luci artificiali si chiede all’utente di verificare la posizione dello schermo solare. Nel caso gli schermi siano aperti, il sistema verifica che la radiazione solare esterna non sia superiore ad un valore soglia di 150 W/m<sup>2</sup> in stagione invernale. In tal caso, si consiglia agli utenti di chiudere lo schermo solare gradualmente per privilegiare l’apporto solare gratuito e si procede con una nuova verifica del valore dell’illuminamento.

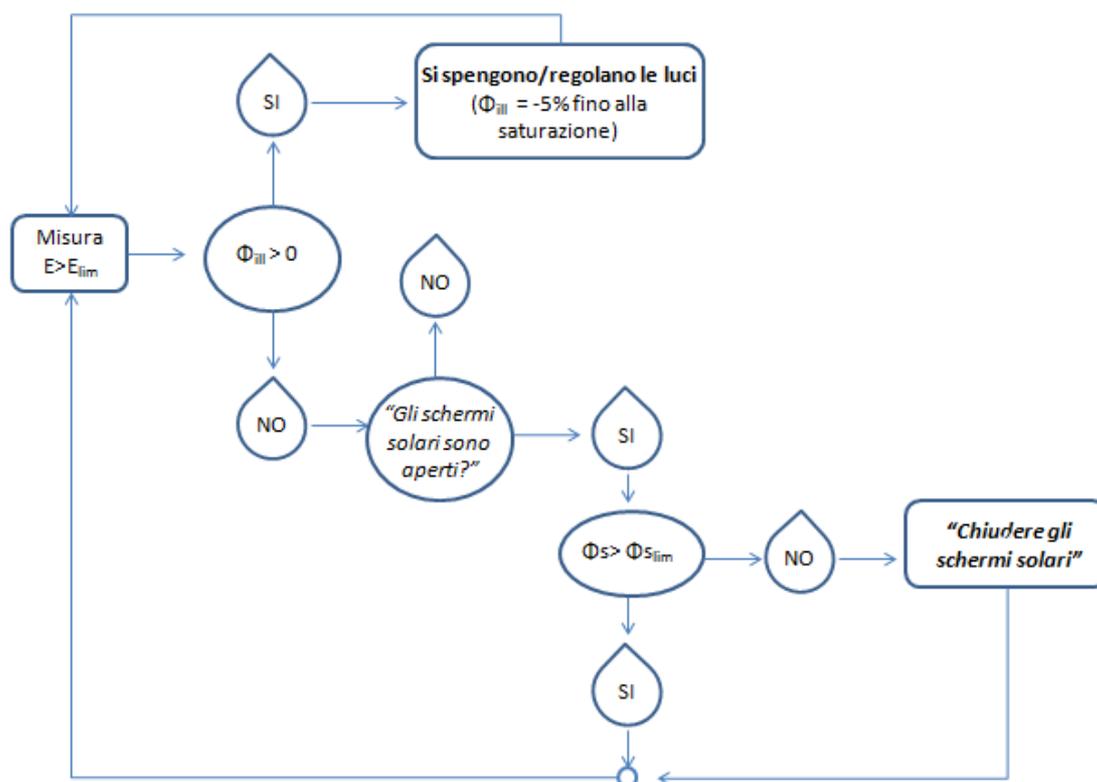
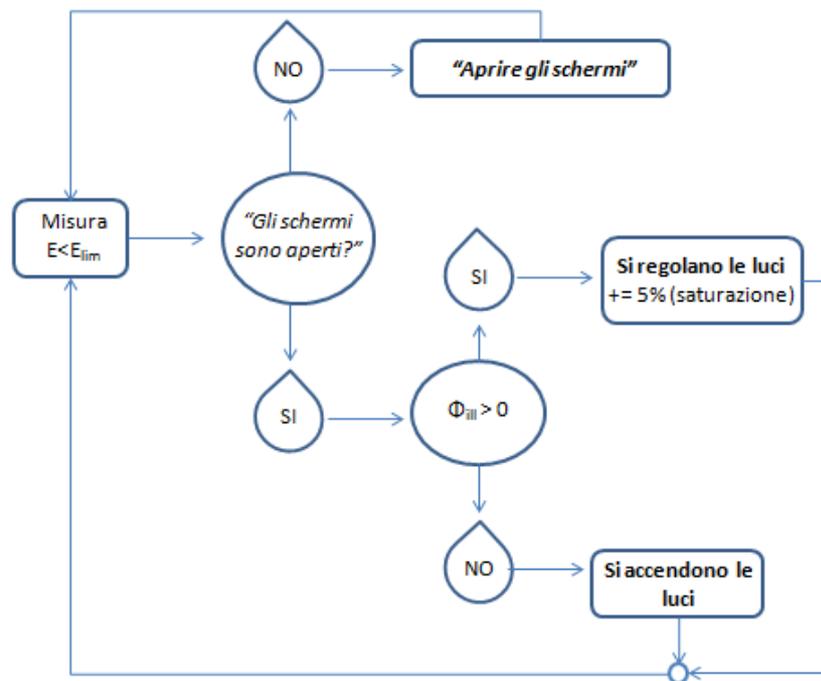


Figura 33\_ Algoritmo di funzionamento del sistema Medium Level Automation in caso di Illuminamento in ambiente superiore al limite in inverno. Energy Mode.

- **Il sensore di illuminamento riscontra un valore di *Illuminamento inferiore al valore limite in stagione invernale.***

In questo caso la necessità risulta quella di riportare il valore di illuminamento all'interno dell'ambiente ai valori limite o ai valori di preferenza dell'utente. L'algoritmo pertanto procede inviando agli utenti un *alert* per chiedere se gli schermi sono aperti. Qualora non lo fossero il sistema consiglia di aprirli. Se invece l'utente risponde che sono già aperti, si procede con la verifica delle luci artificiali. Se sono già accese, si incrementa l'intensità del flusso luminoso del 5% alla volta, se sono spente si accendono.



**Figura 34\_ Algoritmo di funzionamento del sistema Medium Level Automation in caso di Illuminamento in ambiente inferiore al limite in inverno.**

- **Il sensore di illuminamento riscontra un valore di *Illuminamento superiore al valore limite in stagione estiva.***

In questo caso la verifica del valore di illuminamento in ambiente viene seguita dalla verifica delle luci artificiali: se sono accese il sistema comanda lo spegnimento (con un passo del 5% fino a saturazione), se sono spente si invia un *warning* all'utente consigliando di chiudere gli schermi solari (nel caso in cui siano aperti).

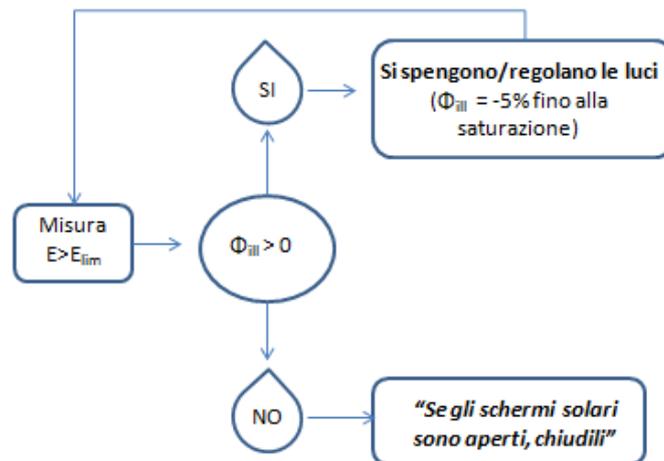


Figura 35\_ Algoritmo di funzionamento del sistema Medium Level Automation in caso di Illuminamento in ambiente superiore al limite in estate.

- Il sensore di illuminamento riscontra un valore di *Illuminamento inferiore al valore limite in stagione estiva.*

In questo caso alla verifica del valore di illuminamento in ambiente segue un *alert* rivolto all'utente per chiedere se gli schermi solari sono aperti o chiusi. Se chiusi, si valuta se la radiazione solare esterna sia superiore ad un valore limite (che in stagione stiva si pone uguale a 300W/m<sup>2</sup>). In tal caso, il sistema comanda l'accensione delle luci artificiali per limitare l'apporto solare che, in estate, risulta nocivo. Le luci vengono accese gradualmente con un passo del 5% fino a saturazione. Nel caso in cui la radiazione solare esterna sia inferiore al limite stabilito, si consiglia all'utente di aprire gli schermi solari. Nel caso in cui gli schermi solari fossero aperti fin dall'inizio, il sistema comanda l'accensione graduale delle luci artificiali (sempre con un passo del 5% fino a saturazione).

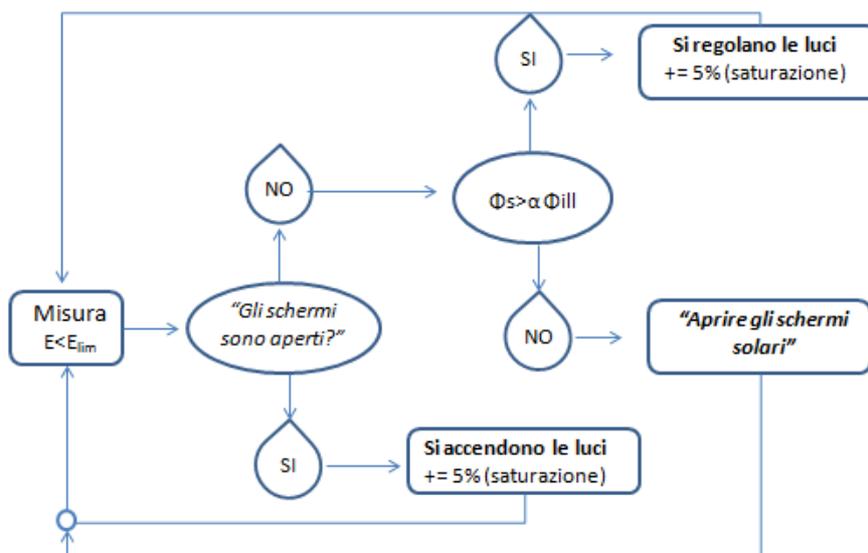
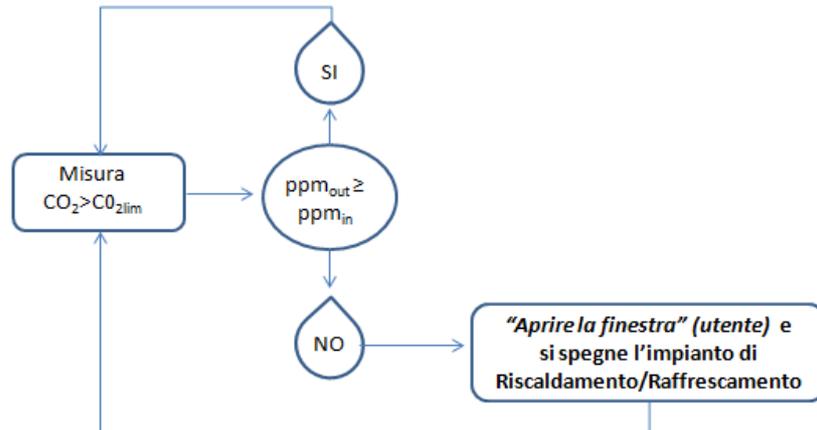


Figura 36\_ Algoritmo di funzionamento del sistema Medium Level Automation in caso di Illuminamento in ambiente inferiore al limite in estate.

Algoritmi legati alla Qualità dell'aria

- Il sensore di CO<sub>2</sub> riscontra un valore di **concentrazione di inquinante superiore al valore limite in assenza di impianto di ventilazione meccanica.**

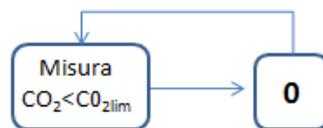
In questo caso la verifica che il sistema deve fare è legata alla concentrazione di inquinante esterno. Nel caso in cui la quantità di inquinante interno sia superiore al valore di inquinante esterno, il sistema comanda lo spegnimento del sistema di riscaldamento/raffrescamento e apre le finestre.



**Figura 37\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso concentrazione di inquinante superiore al valore limite in assenza di ventilazione meccanica.**

- Il sensore di CO<sub>2</sub> riscontra un valore di **concentrazione di inquinante inferiore al valore limite in assenza di impianto di ventilazione meccanica.**

In questo caso il sistema non agisce in quanto i parametri della qualità ambientale sono rispettati.



**Figura 38\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso concentrazione di inquinante inferiore al valore limite in assenza di ventilazione meccanica.**

- Il sensore di CO<sub>2</sub> riscontra un valore di **concentrazione di inquinante superiore al valore limite in presenza di impianto di ventilazione meccanica.**

In questo caso la verifica che il sistema deve fare è legata alla concentrazione di inquinante esterno e alla velocità del ventilatore. Se questo fosse spento, il sistema comanda la sua accensione, altrimenti lo fa girare alla massima velocità.

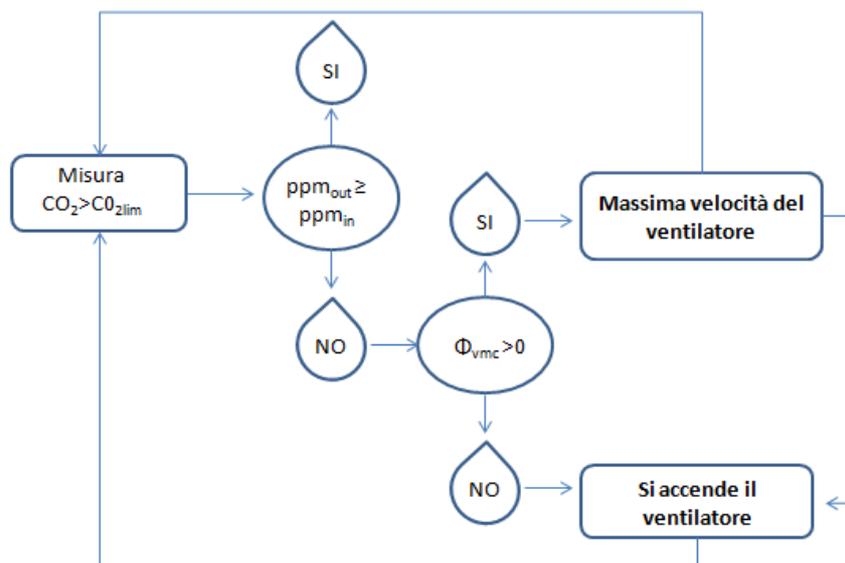


Figura 39\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso concentrazione di inquinante superiore al valore limite in presenza di ventilazione meccanica.

- Il sensore di CO<sub>2</sub> riscontra un valore di *concentrazione di inquinante inferiore al valore limite in presenza di impianto di ventilazione meccanica.*

In questo caso il sistema regola la velocità del ventilatore sulla base del valore di CO<sub>2</sub> dell’aria interna.

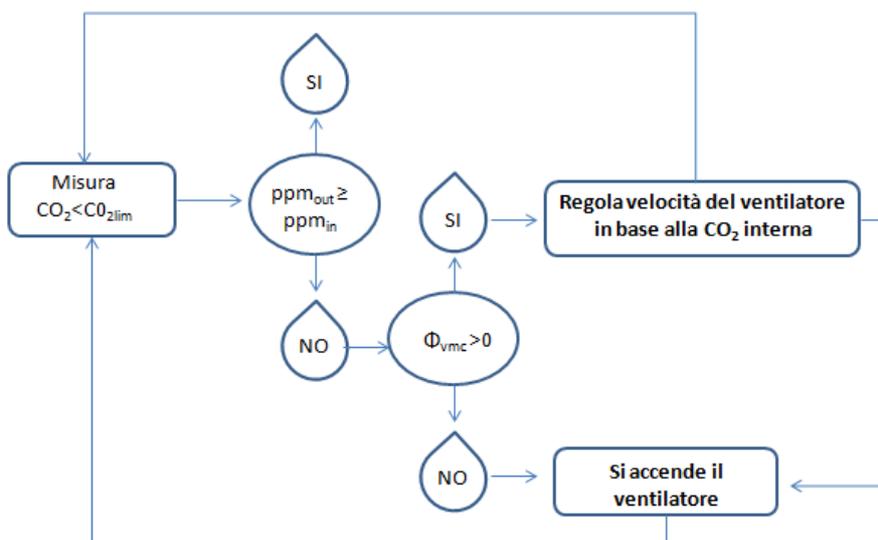


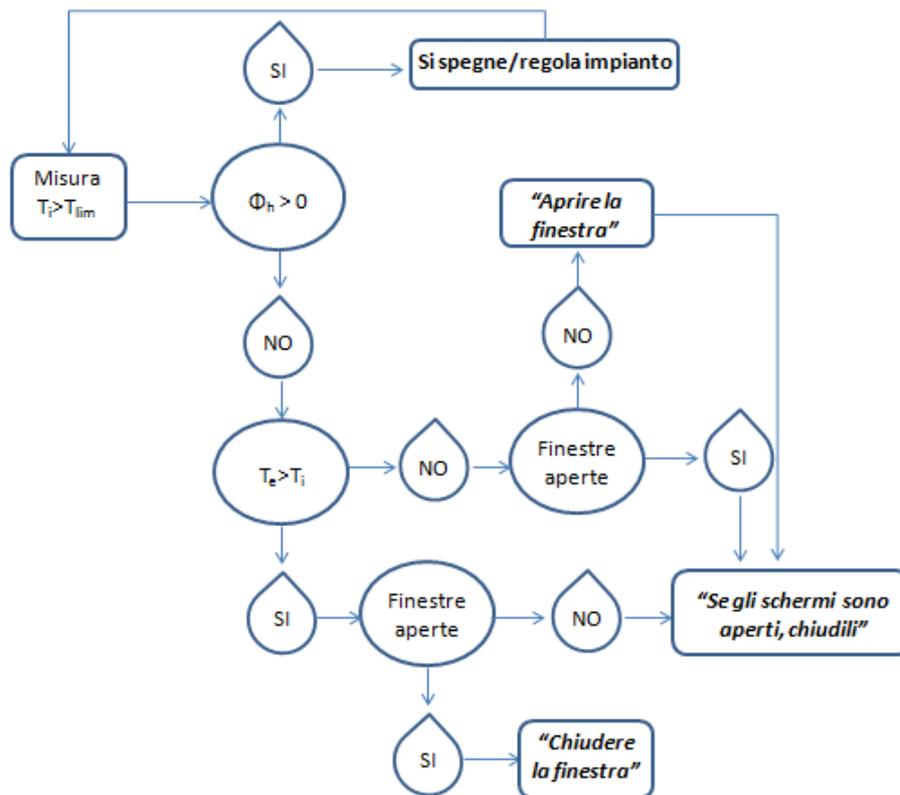
Figura 40\_ Algoritmo di funzionamento del sistema High Level Automation in caso concentrazione di inquinante inferiore al valore limite in presenza di ventilazione meccanica.

Algoritmi legati al Comfort Termico

- Il sensore di temperatura riscontra un valore di *temperatura superiore al valore limite in stagione invernale.*

Se il sistema di controllo riscontra che in ambiente vi è una temperatura superiore al valore limite, verifica innanzi tutto se l’impianto di riscaldamento sia acceso o spento. Qualora fosse acceso, si comanda lo

spegnimento o la sua regolazione. Se invece è già spento, si confrontano la temperatura esterna e la temperatura interna. Se la temperatura esterna è inferiore a quella interna, si invia un *warning* all'utente chiedendo di chiudere la finestra qualora fosse aperta. Nel caso fosse chiusa, si invia un *warning* all'utente chiedendo di chiudere gli schermi solari (qualora fossero aperti). Se invece la temperatura esterna è maggiore di quella interna, si invia un *warning* all'utente chiedendo di aprire la finestra nel caso fosse chiusa. Nel caso fosse già aperta, si invia un *warning* chiedendo di chiudere gli schermi nel caso fossero aperti.



**Figura 41\_ Algoritmo di funzionamento del sistema Medium Level Automation in caso di temperatura in ambiente superiore al limite in inverno.**

- **Il sensore di temperatura riscontra un valore di temperatura inferiore al valore limite in stagione invernale.**

Nel caso in cui il sistema di controllo verifichi che la temperatura interna sia inferiore al valore limite, si controlla se la temperatura esterna sia maggiore della temperatura esterna di almeno 3 °C. In caso affermativo, viene inviato un *warning* all'utente chiedendo di aprire le finestre nel caso fossero chiuse. Nel caso fossero già aperte, si verifica se l'impianto richiede o meno energia. In caso affermativo, viene inviato un *warning* all'utente chiedendo di aprire gli schermi. Nel caso in cui l'impianto fosse spento, l'algoritmo comanda l'accensione, viene contestualmente inviato un *warning* per l'apertura degli schermi solari. Se la temperatura esterna risultasse inferiore alla temperatura interna di almeno 2°C, si invia un *warning* all'utente chiedendo di chiudere la finestra (nel caso fosse aperta). Diversamente, si verifica se l'impianto è in funzione o meno e si prosegue come sopra specificato.

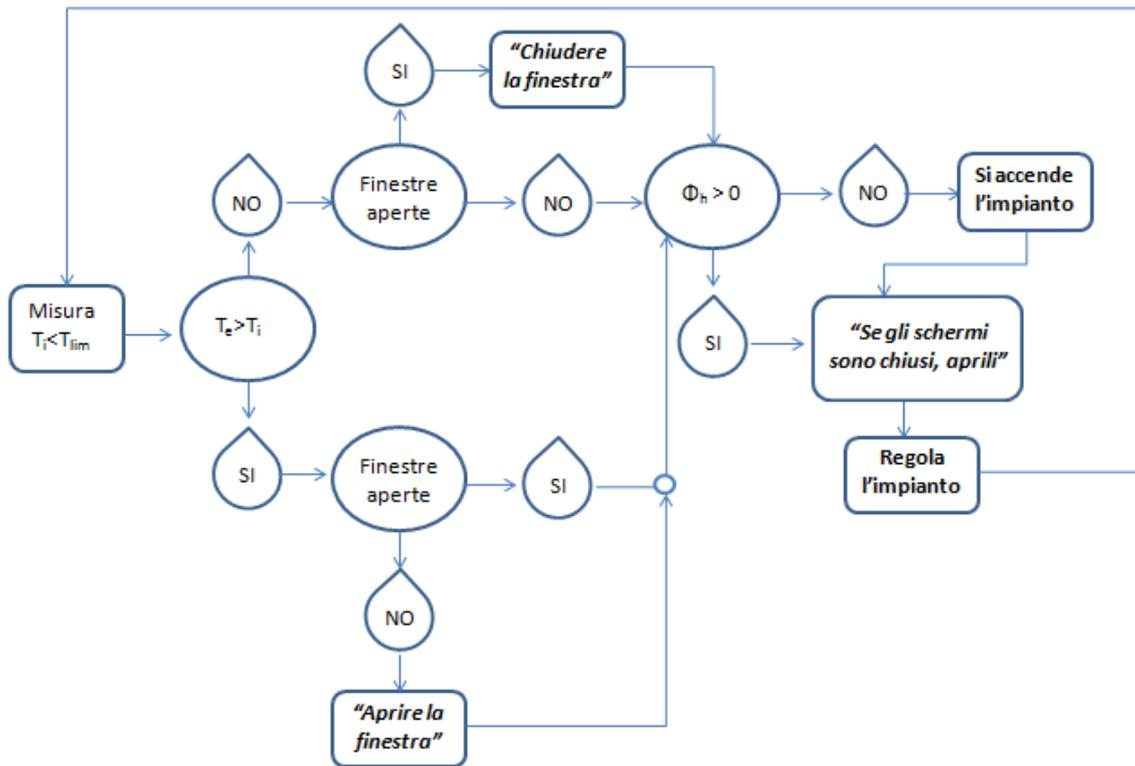


Figura 42\_ Algoritmo di funzionamento del sistema Medium Level Automation in caso di temperatura in ambiente inferiore al limite in inverno.

- Il sensore di temperatura riscontra un valore di *temperatura superiore al valore limite in stagione estiva*.

Se il sistema di regolazione riscontra nella stagione estiva che la temperatura interna è superiore a quella limite, viene condotta una verifica di confronto tra la temperatura esterna ed interna. Se la temperatura esterna è inferiore di almeno 3 °C a quella interna, si invia un *warning* all'utente per chiudere la finestra (nel caso in cui fosse aperta). A valle dell'invio di questo messaggio, o nel caso la finestra risulti già chiusa, si verifica che il flusso solare incidente esterno sia maggiore di un valore limite. In caso affermativo, viene inviato un *warning* all'utente per chiudere gli schermi (nel caso fossero aperti). A valle di questo messaggio, o anche nel caso in cui il flusso solare fosse inferiore a quello limite, si verifica il funzionamento dell'impianto. Se acceso, si comanda la sua regolazione, se spento si comanda la sua accensione. Se la temperatura esterna è maggiore di quella interna, viene inviato un *warning* all'utente per aprire la finestra (nel caso fosse chiusa). A valle di questa operazione, o anche se la finestra risultasse già aperta, si verifica il flusso solare esterno e si procede come sopra descritto.

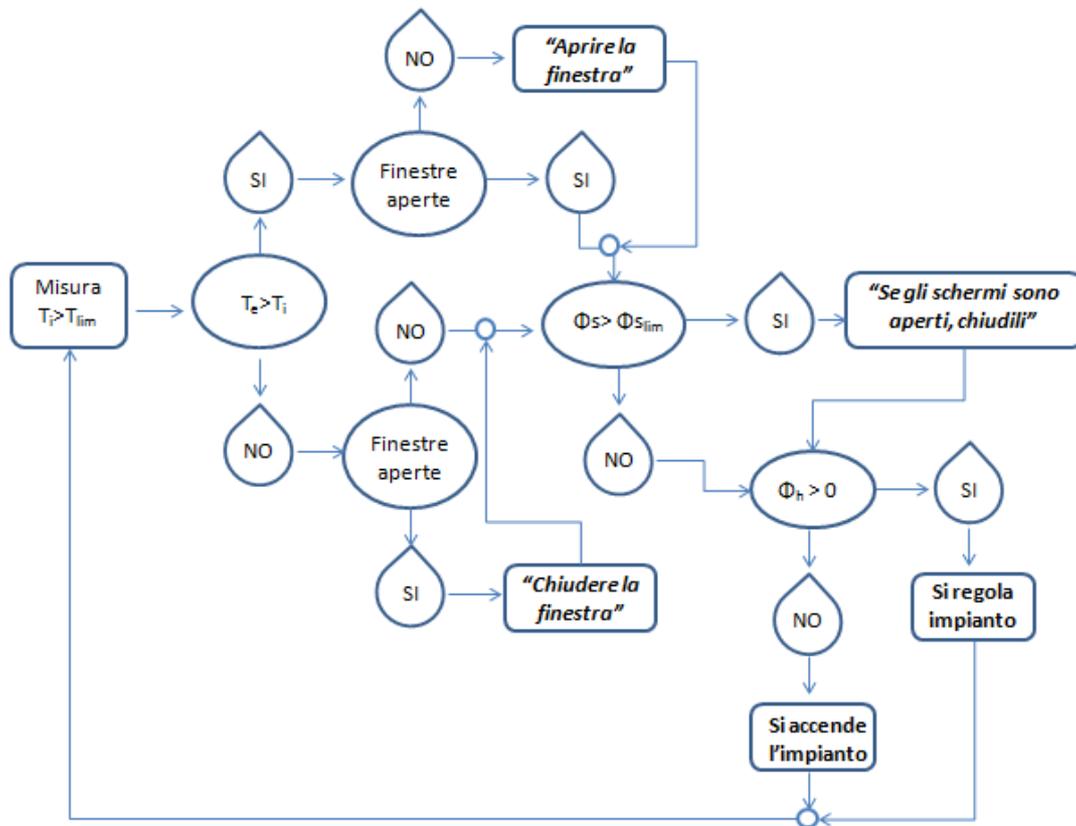


Figura 43\_ Algoritmo di funzionamento del sistema Medium Level Automation in caso di temperatura in ambiente superiore al limite in estate.

- Il sensore di temperatura riscontra un valore di *temperatura inferiore al valore limite in stagione estiva*.

Nel caso in cui il sistema di controllo verifiche che la temperatura interna è minore di quella limite, viene condotta una verifica sullo stato dell'impianto. Se acceso, si comanda il suo spegnimento o la sua regolazione. Se spento, si invia un messaggio di *warning* all'utente chiedendo di aprire gli schermi. Dopo questa operazione, si verifica lo stato delle finestre. Nel caso fossero chiuse e la temperatura esterna fosse minore di quella interna, si invia un *warning* all'utente per aprire la finestra. Nel caso fossero aperte invece, e la temperatura esterna risultasse minore di quella interna, si invia un messaggio all'utente per chiudere la finestra.

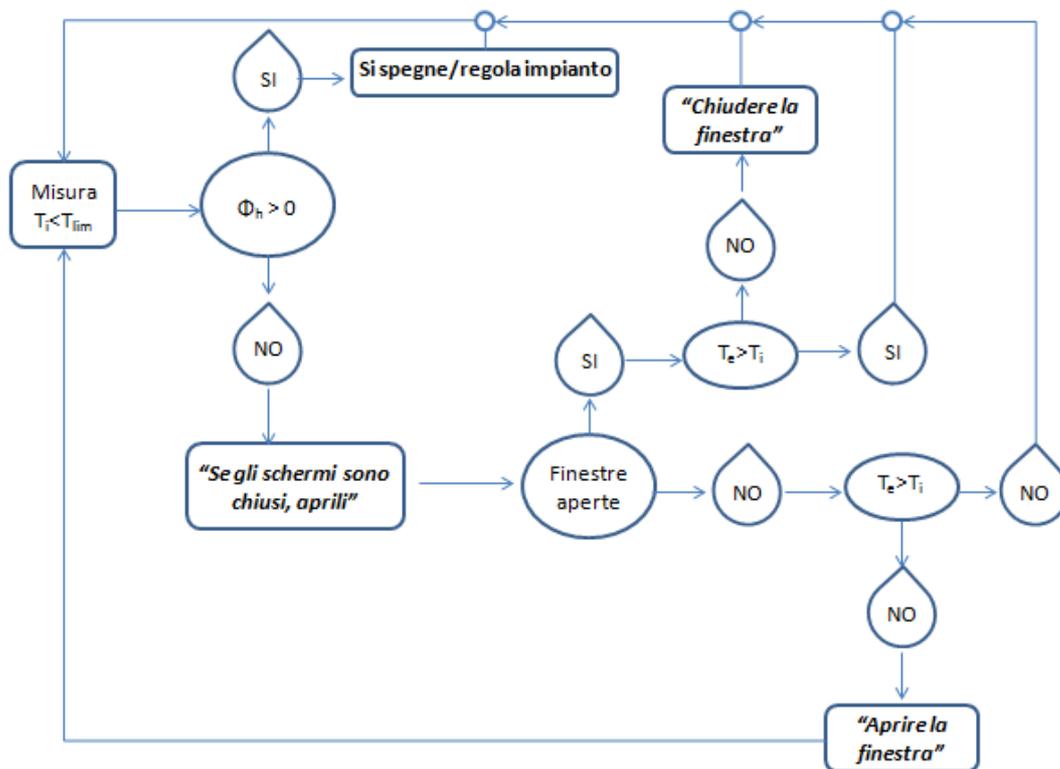


Figura 44\_ Algoritmo di funzionamento del sistema Medium Level Automation in caso di temperatura in ambiente inferiore al limite in estate.

**Low level automation**

Algoritmi legati al Comfort visivo

- Il sensore di illuminamento riscontra un valore di *illuminamento superiore al valore limite in stagione invernale ed estiva.*

A differenza dei primi due livelli di automazione, in questo caso se l'illuminamento rilevato dal sensore in ambiente è superiore all'illuminamento limite, l'algoritmo comanda innanzi tutto lo spegnimento delle luci artificiali. Inoltre, non essendo in questo caso previsti sensori di posizione degli schermi solari, si invia un *warning* all'utente chiedendo di chiudere gli schermi solari (nel caso in cui siano aperti).

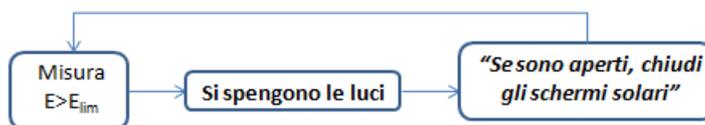


Figura 45\_ Algoritmo di funzionamento del sistema Low Level Automation in caso di illuminamento in ambiente superiore al limite sia in inverno che in estate.

- Il sensore di illuminamento riscontra un valore di *illuminamento inferiore al valore limite in stagione invernale ed estiva.*

In questo caso la necessità risulta quella di riportare il valore di illuminamento all'interno dell'ambiente al valore limite o ai valori di preferenza dell'utente. L'algoritmo pertanto procede al coinvolgimento degli utenti, mandando loro un *warning* chiedendo di aprire gli schermi solari qualora fossero chiusi. In parallelo

inoltre, il sistema comanda l'accensione o regolazione delle luci artificiali con un passo del 5% fino a saturazione.

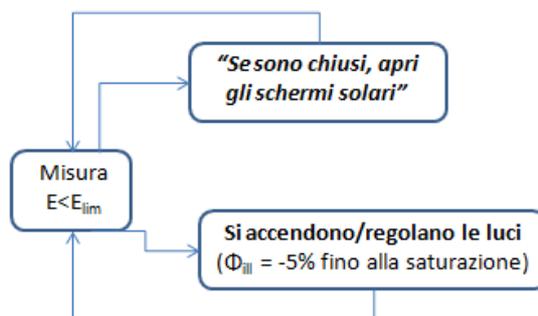


Figura 46\_ Algoritmo di funzionamento del sistema Low Level Automation in caso di illuminamento in ambiente inferiore al limite sia in inverno che in estate.

#### Algoritmi legati al Comfort Termico

- Il sensore di temperatura riscontra un valore di **temperatura superiore al valore limite in stagione invernale.**

Se il sistema di controllo riscontra che in ambiente vi è una temperatura superiore al valore limite, chiede all'utente di verificare se l'impianto di riscaldamento sia acceso o spento. Qualora fosse acceso, si consiglia di spegnerlo, se invece è già spento, e la temperatura esterna è superiore alla temperatura interna, il sistema consiglia agli utenti di aprire la finestra.

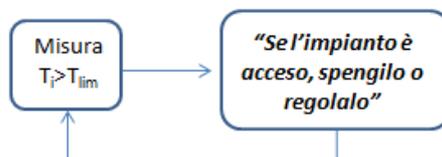


Figura 47\_ Algoritmo di funzionamento del sistema Low Level Automation in caso di temperatura in ambiente superiore al limite stabilito in inverno.

- Il sensore di temperatura riscontra un valore di **temperatura inferiore al valore limite in stagione invernale.**

In questo caso, il sensore della temperatura interna rileva che essa è inferiore al limite prefissato. Il sistema quindi verifica se la temperatura esterna è maggiore di quella interna di almeno 3 °C. In tal caso, si invia un *warning* all'utente chiedendo di aprire la finestra e spegnere l'impianto. Se invece la temperatura esterna non è superiore a quella interna il *warning* inviato all'utente consiglia di verificare che l'impianto sia acceso, gli schermi solari aperti e di chiudere la finestra.

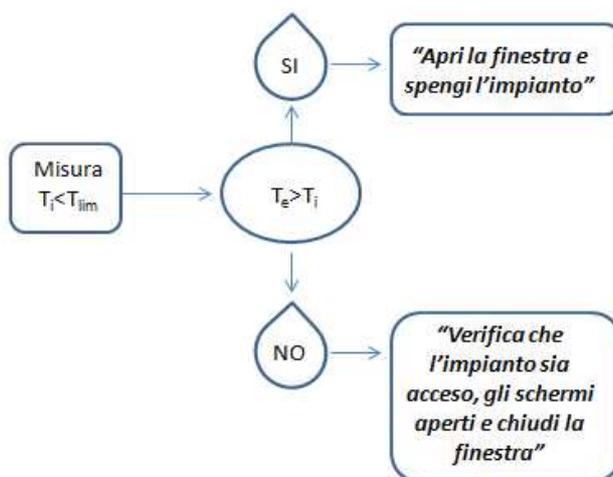


Figura 48\_ Algoritmo di funzionamento del sistema Low Level Automation in caso di temperatura in ambiente inferiore al limite stabilito in inverno.

- Il sensore di temperatura riscontra un valore di *temperatura superiore al valore limite in stagione estiva.*

Se il sistema di controllo riscontra che in ambiente vi è una temperatura superiore al valore limite in stagione estiva, si verifica se la temperatura esterna è maggiore di quella interna di almeno 3 °C. Se sì, si invia un *warning* all'utente chiedendo di aprire la finestra e spegnere o regolare l'impianto. Se no, il *warning* consiglia di chiudere la finestra ed accendere l'impianto.

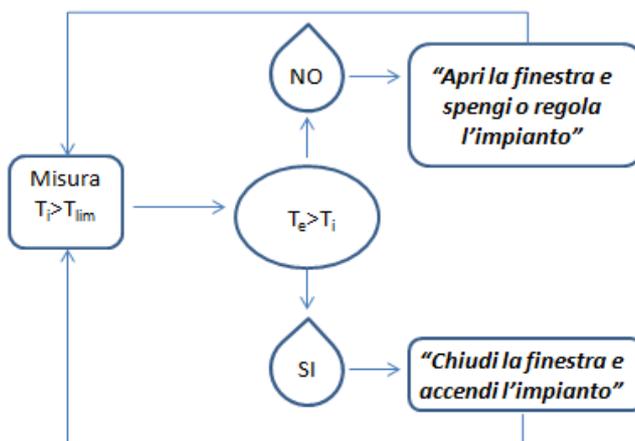
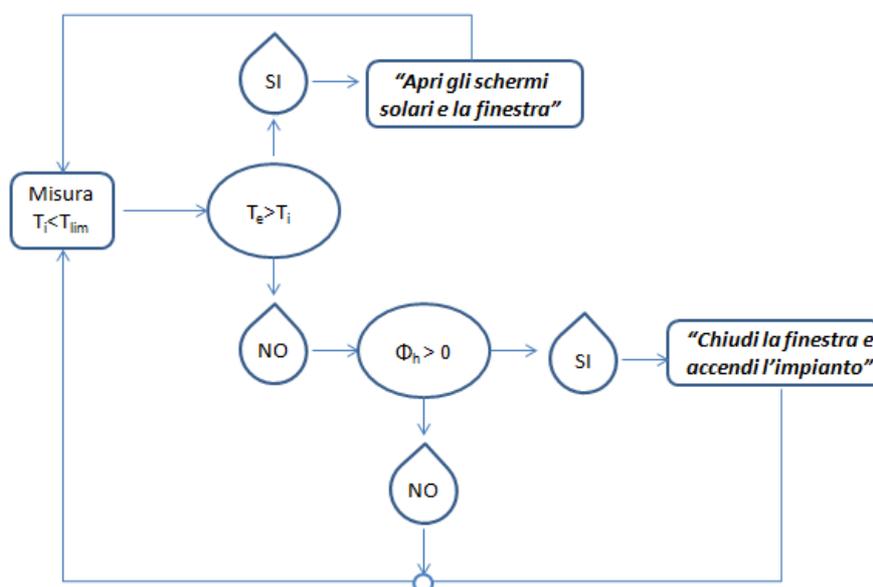


Figura 49\_ Algoritmo di funzionamento del sistema Low Level Automation in caso di temperatura in ambiente superiore al limite stabilito in estate.

- Il sensore di temperatura riscontra un valore di *temperatura inferiore al valore limite in stagione estiva.*

Nella stagione di raffrescamento se il valore della temperatura dell'aria misurata in ambiente risulta inferiore alla valore limite, il sistema controlla se la temperatura esterna è maggiore di almeno 3 °C rispetto a quella interna. Se sì, viene inviato all'utente un *warning* che consiglia di aprire gli schermi solari e la finestra. Diversamente, si controlla lo stato dell'impianto di raffrescamento tramite la smart plug sulla

pompa di calore (se presente). Nel caso in cui l'impianto sia acceso, un warning all'utente consiglia di chiudere la finestra e accendere l'impianto.



**Figura 50\_ Algoritmo di funzionamento del sistema Low Level Automation in caso di temperatura in ambiente inferiore al limite stabilito in estate.**

### High – Medium - Low level automation

Attraverso gli automatismi e/o gli *alert* della piattaforma generati dagli algoritmi spiegati nel seguito si può incoraggiare gli utenti a spegnere tutte le apparecchiature elettriche durante le ore di non occupazione, ma anche ad accendere più consapevolmente i dispositivi (gestendo ad esempio lo stand-by). Gli *alert* generati dagli alberi decisionali verranno utilizzati in *post-analysis*, facendo cioè dei confronti tra le misurazioni di potenza effettuate durante un periodo di tempo di riferimento e i le potenze stimate: le comunicazioni verranno infatti date agli utenti il mattino del giorno successivo (misurando l'energia consumata durante le ore di non occupazione, notte o weekend), o a fine giornata (misurando il consumo giornaliero).

Di seguito vengono descritti gli alberi decisionali che utilizzano come variabile di partenza la potenza attiva media delle *smart plug* installate nelle abitazioni. Ovviamente, i valori di riferimento della potenza nelle ore non occupate e nelle ore occupate variano a seconda degli apparecchi installati all'interno dei diversi casi pilota. Si vuole precisare, inoltre, che i valori posti come riferimento potranno essere suscettibili a variazioni, perché non è possibile dall'inizio tracciare un pattern di comportamento dell'utenza. Le apparecchiature e i dispositivi installati all'interno dei casi di studio sono da definire durante il corso della sperimentazione, con conseguenti cambiamenti dei valori di potenze installate e di energia consumata.

#### Algoritmi legati al consumo per dispositivi elettrici e stand-by

Gli algoritmi descritti in seguito fanno riferimento al segnale che viene restituito dal sensore di occupazione. Infatti, il loro obiettivo è stimare la potenza elettrica utilizzata rispetto ad un valore che viene preso come riferimento, all'inizio della sperimentazione, per il dispositivo collegato ad una singola *smart plug* o come un valore totale derivante da più dispositivi (più *smart plug*).

- **il valore della potenza attiva media misurata durante il periodo di occupazione è superiore al valore massimo stimato.**

Nel caso in cui il sensore di occupazione dia un valore positivo, quindi gli utenti siano attivi all'interno dell'abitazione, il sistema analizza il valore della potenza assorbita e fa partire l'albero decisionale in Figura 51. Se viene registrato dal sistema che il valore di potenza attiva media assorbita risulta superiore al valore limite stimato l'azione suggerita agli utenti sarà di non tenere più dispositivi elettrici accesi di quanti se ne abbia effettivamente bisogno. La comunicazione per l'utente sarà incentrata sul messaggio che nelle di occupazione è stato misurato un elevato consumo di energia elettrica, suggerendo l'azione di spegnere ciò che non è necessario.

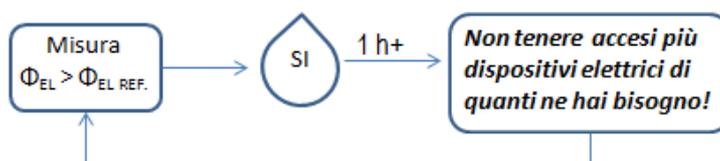


Figura 51\_ Algoritmo di funzionamento per l'utilizzo dell'energia elettrica dei dispositivi superiore al valore massimo stimato durante le ore di occupazione.

- **Il valore della potenza attiva media misurata durante i periodi di non occupazione è superiore al valore massimo previsto dai valori di stand-by stimati.**

Se il sensore di occupazione non registra presenze all'interno dell'ambiente o movimento (ore notturne), il sistema fa partire l'albero in Figura 52. Il sistema registra che il valore di potenza assorbita risulta superiore al valore limite stimato, pertanto l'azione suggerita o il giorno dopo oppure dopo 5 ore (pari a mezza giornata) sarà ricordare agli utenti di non dimenticare i dispositivi elettrici accesi. La comunicazione per l'utente sarà incentrata sul fatto che nelle ore di non occupazione (o notturne) è stato misurato un elevato valore di potenza assorbita legata all'accensione o allo stand-by dei dispositivi elettrici/elettronici.

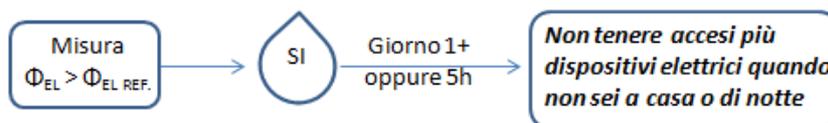


Figura 52\_ Algoritmo di funzionamento per l'utilizzo dell'energia elettrica dei dispositivi superiore al valore massimo stimato durante le ore di non occupazione e notturne.

### 2.1.3.3 Sviluppo di regole di data fusion

In questa Sezione si descrive l'utilità di definire delle regole di "data fusion" al fine di estrarre e dedurre informazioni relative alle abitudini dell'utenza in termini di modalità d'uso dei sistemi energetici e della dinamica di occupazione dell'edificio e delle sue zone. Tali regole si basano sull'elaborazione delle variabili monitorate dai Kit presentati nella Sezione 2.1.1.

In particolare è stata individuata una regola di *data fusion* per la stima della presenza degli occupanti all'interno di una Smart Home sulla base delle grandezze fornite dal Kit di Monitoraggio 3 (Base). La regola è estendibile ed applicabile anche nei casi in cui la Smart Home sia dotata di uno dei Kit di Monitoraggio più sofisticati (Medio e Alto).

L'obiettivo è quello di ottenere una strategia robusta di individuazione della presenza di occupanti in un'abitazione sulla base di più sorgenti informative, al fine di poter definire con un maggiore grado di certezza se in casa ci sia o meno qualcuno. La singola sorgente informativa può infatti in alcuni casi (e.g. malfunzionamenti, errori di acquisizione, limiti tecnologici) non rilevare presenza anche se effettivamente in casa risulta esserci occupazione. Per tali ragioni questo tipo di strumento può risultare molto utile negli ambiti applicativi dell'Assisted Living.

Il Kit di Monitoraggio 3 (Base) è così composto:

- Contatore Energia Elettrica Generale
- 1 Smart Plug (per una sola apparecchiatura)
- 1 Smart Plug sulla pompa di calore (split per il raffrescamento)
- 1 Misuratore di portata di acqua potabile
- 1 Contatore portata di gas (riscaldamento autonomo o centralizzato a distribuzione orizzontale)
- 1 Contatore portata di gas e 1 Ripartitore di calore per ogni terminale (riscaldamento impianto centralizzato a distribuzione verticale)
- 1 Termocoppia (temperatura esterna e interna)
- 1 Luxmetro
- Sensori di occupazione

Nell'ambito della regola di data fusion a cui si fa riferimento, le grandezze monitorate che sono state considerate significative ai fini dell'elaborazione della stima della presenza sono le seguenti:

- Energia Elettrica Generale (da Contatore);
- Consumo di un'apparecchiatura monitorato tramite Smart Plug;
- Consumo della pompa di calore (split per il raffrescamento) monitorato tramite Smart Plug;
- Presenza rilevata dai sensori di occupazione.

Si è ipotizzato che la Smart Plug per una sola apparecchiatura monitori lo stato di un televisore e che le informazioni relative ai diversi sensori di presenza presenti nell'abitazione convogliano in un'unica sorgente informativa, la quale indica presenza se almeno uno dei sensori a sua volta rileva presenza.

Si definiscono quindi le seguenti variabili booleane che rappresentano le grandezze di interesse:

- P1 = Consumo Generale (1 Alto, 0 Basso);
- P2 = Consumo TV (1 TV On, 0 TV Off);
- P3 = Consumo Split (1 Split On, 0 Split Off);
- P4 = *Sensore occupazione 1 OR ... OR Sensore occupazione n* (1 presenza, 0 assenza).

Si osserva che, in presenza di dati reali su cui poter applicare la regola di data fusion, è possibile stabilire dei criteri a soglia per definire il consumo Generale come "alto" o "basso", o, meglio, adottare delle funzioni di membership che definiscano quanto il consumo possa essere considerato "alto" o "basso". In quest'ultimo caso la variabile P1 non è più una variabile booleana ma una variabile fuzzy in grado di rappresentare con valori compresi tra 0 e 1 il grado di verità di valore di consumo Generale "alto"/"basso". L'applicazione di questo tipo di logica sfumata (logica fuzzy) [50, 51, 52] permette di superare i limiti della logica booleana che definisce una proprietà solo come vera (valore 1) o come falsa (valore 0).

Definite le grandezze di interesse è possibile ricavare una tabella di verità (Tabella 12) utile all'individuazione di un indicatore sintetico di stima della presenza degli occupanti. A tal fine si assume che nell'abitazione non vi sia nessuno nei due seguenti casi:

- consumo generale "basso", TV e split spenti e sensori di occupazione che non rilevino nessuno;
- consumo generale "alto", TV e split spenti e sensori di occupazione che non rilevino nessuno.

**Tabella 12. Tabella di verità per la stima della presenza**

P1	P2	P3	P4	Presenza
0	0	0	0	0

0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	1
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

Esplicitando con qualche passaggio il valore della variabile di output "Presenza" rispetto alle variabili di input P1, P2, P3, P4, tale indicatore risulta essere espresso dalla seguente regola di data fusion:

**Presenza = (P1 OR P2 OR P3 OR P4) AND (NOT(P1) OR P2 OR P3 OR P4)**

Tra gli sviluppi futuri della prossima annualità saranno definite delle regole di data fusion utili all'individuazione dell'opportuno riferimento di benchmark di consumo per specifico uso finale. La definizione si baserà sui profili temporali dei consumi monitorati per usi finali (e.g. split per il raffrescamento, luci), sulle variabili monitorate nell'abitazione e sulle corrispondenti condizioni al contorno (e.g. condizioni meteo, ora e tipo di giorno). Capire a quale benchmark di riferimento appartiene uno specifico profilo temporale di consumo costituisce una fase preliminare essenziale allo step successivo di confronto tra profilo reale di consumo e profilo di benchmark, basato sulla valutazione di opportuni indici. L'importanza di tale confronto risiede nel fatto che esso può assumere un duplice scopo diagnostico in funzione del livello di coinvolgimento dell'utente:

- diagnostica del comportamento anomalo dell'occupante in relazione al particolare uso finale;
- diagnostica di anomalie relative al sistema di controllo del particolare uso finale.

I benchmark di riferimento di possibile interesse sono presentati in Sezione 2.1.5.

#### 2.1.4 Definizione delle tipologie di feedback

I primi studi sui feedback di tipo energetico sono stati condotti negli anni 1970-1980 soprattutto nell'ambito delle scienze sociali. Il feedback è stato visto prevalentemente come un "intervento", un'interruzione del normale ordine delle cose. Per esempio, un primo esperimento tipico di uso di feedback consisteva nel postare una nota nella cucina del consumatore mostrando il suo consumo del giorno precedente paragonandolo con un livello di riferimento. Questo tipo di feedback è stato spesso interpretato come un rinforzo comportamentale atto alla motivazione dell'individuo, visto relativamente passivo e essenzialmente motivato da premi e punizioni. Questi studi hanno stabilito che l'uso di feedback può avere un effetto misurabile sul comportamento. Van Houwelingen [22] e Van Raaij [23] hanno delineato 3 funzioni principali del feedback:

- Funzione di istruzione: i soggetti imparano a conoscere il rapporto esistente tra la quantità di energia che usano e il loro comportamento.

- Formazione dell'abitudine: i soggetti mettono in pratica le informazioni che hanno avuto e possono sviluppare un cambiamento nelle loro abitudini di routine.
- Interiorizzazione del comportamento: quando le persone sviluppano nuove abitudini dopo poco tempo esse cambiano anche le loro abitudini per adattarsi al nuovo comportamento.

Wyon[23] ha proposto i “principi delle 3 –i” nella responsabilizzazione degli utenti, affermando che attraverso “Insight (conoscenza)”, “Information (informazioni)” e “Influence (influenza)” è possibile consentire agli utenti degli edifici di avere un effetto positivo sugli edifici. In particolare, gli utenti possono essere coinvolti tramite informazioni di tipo precedente l'azione o conseguenti l'azione. Le informazioni precedenti descrivono dei modi pratici per ridurre il consumo energetico, possono essere anche in forma di opuscoli o volantini, mentre le informazioni conseguenti l'azione dell'utente sono direttamente connesse con il comportamento dell'utente, portandolo a conoscenza dei risultati “energetici” delle azioni appena compiute.

Le tipologie di feedback sono state categorizzate in 6 gruppi dall'Electric Power Research Institute (EPRI) [24]:

1. Standard billing
2. Enhanced billing
3. Estimated feedback
4. Daily/weekly feedback
5. Real-time feedback
6. Appliance-level real-time feedback

Di seguito si riportano il tipo e la frequenza delle informazioni fornite per ciascuna categoria definita.

#### *Categoria 1 - Standard Billing*

- Frequenza: mensile o bi-mensile (scenario di baseline per i feedback).
- Tipologia di informazione fornita: informazioni essenziali sui kWh consumati, il costo dell'energia per kWh, il corrispondente costo totale. Vengono forniti talvolta diagrammi riportanti il paragone storico mensile dei consumi.

#### *Categoria 2 - Enhanced Billing*

- Frequenza: mensile o bi-mensile con integrazione trimestrale.
- Tipologia di informazione fornita: informazioni essenziali come per la categoria 1, ma generalmente contengono anche metriche comparative con altri utenti o con lo storico dei consumi e suggerimenti mirati (è necessaria dunque la conoscenza dell'utente e delle appliances presenti nell'edificio).

#### *Categoria 3 - Estimated Feedback*

- Frequenza: variabile, ma le informazioni devono essere fornite all'utente sulla base di una base continua per essere considerate feedback.
- Tipologia di informazione fornita: stima del tipico utilizzo di energia nell'edificio, stima del possibile consumo energetico delle diverse appliances, consigli e suggerimenti specifici per gli utenti. Si basa dunque sull'analisi sui dati forniti dall'utente per fare delle stime.
- Differenza con la categoria 2: gli utenti forniscono informazioni attraverso un server web e servono per implementare gli algoritmi di stima.

#### *Categoria 4 - Daily/Weekly Feedback*

- Frequenza: variabile, più frequente che mensile. In generale, si tratta di informazioni successive rispetto alle azioni degli utenti, di solito vengono fornite il giorno dopo o la settimana dopo (non sono informazioni real time).

- Tipologia di informazione fornita: come in categoria 2 o 3.
- Differenza con la categoria 2: feedback più frequenti.
- Differenza con la categoria 3: si basa su misurazioni e non di stime, gli utenti quindi non sono chiamati a dare informazioni per ottenere dei risultati.

#### *Categoria 5 – Real-time Feedback*

- Frequenza: real-time o near real-time.
- Tipologia di informazione fornita: possono essere informazioni di costo energetico come nella categoria 2 o più dettagliate, anche segnalando regime dinamico dei prezzi.
- Differenza con le categorie 2-4: si tratta di feedback real-time.

#### *Categoria 6 – Appliance-level Real-time Feedback*

- Frequenza: real-time or near-real-time (i.e., inferiore ai 30 secondi).
- Tipologia di informazione fornita: informazioni basate sul monitoraggio del consumo di ogni singola appliance della stanza/edificio in aggiunta alle formazioni sui consumi totali come nelle categorie precedenti.

L'attività di ricerca in oggetto mira a dotare gli utenti di uno strumento efficiente capace di renderli consapevoli del loro comportamento energetico mediante un sistema persuasivo di monitoraggio in tempo reale e di comunicazione di feedback. In questo modo ogni componente del nucleo familiare potrà comprendere e gestire al meglio il proprio profilo di energia oraria, giornaliera, mensile o annuale. Come noto, il consumo di energia può essere ridotto fornendo ai diversi utenti informazioni più accurate e personalizzate sul proprio comportamento.

Per raggiungere l'obiettivo sono stati definiti diversi **KPI (Key Performance Indicator)**, ossia degli indicatori delle prestazioni energetiche con il quale ogni individuo potrà visualizzare alcuni potenziali miglioramenti nell'uso dell'energia e fare dei progressi verso degli obiettivi strategici rivolti al raggiungimento del massimo risparmio ottenibile.

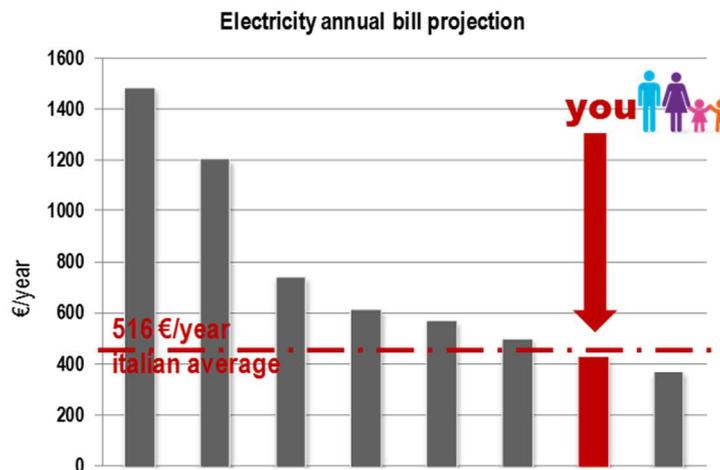
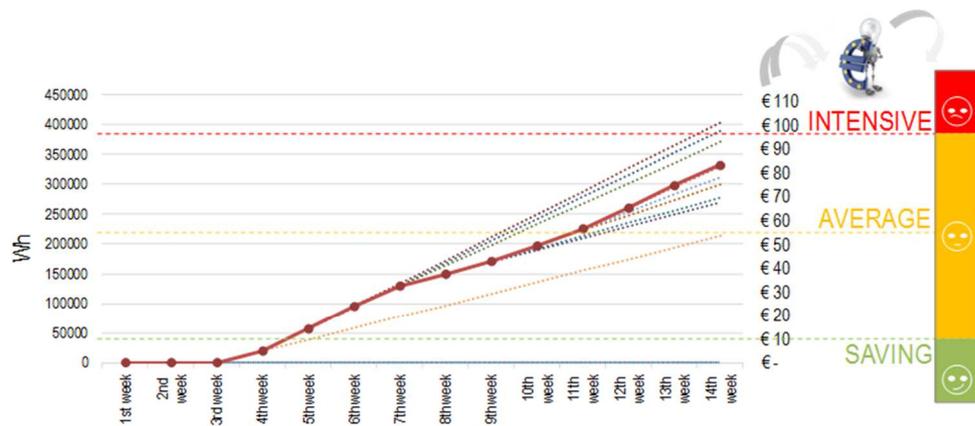
I consumi energetici dei diversi casi di studio devono essere analizzati su due fronti comparando i valori di riferimento forniti dagli studi di settore e di letteratura con i dati del monitoraggio del singolo sperimentatore. Si tratta di uno strumento funzionale sia per i consumatori sia per le aziende, o i decisori di policies, nel fare progressi verso obiettivi strategici e nell'identificazione di potenziali miglioramenti nel comportamento degli utenti legato all'uso dell'energia.

In questa attività vengono identificati 2 diversi tipi di KPI prestazionali:

- **KPI quantitativi:** indicatori che possono essere presentati come numeri (es.: kWh/m<sup>2</sup> ; €/anno)
- **KPI qualitativi:** indicatori che non possono essere presentati come numeri (es.: profilo di comportamento energetico)

I **KPI quantitativi** sono indicatori di tipo numerico (es. kWh/anno; €/anno). Tramite queste informazioni, l'utente avrà la possibilità di conoscere e quindi di confrontare i valori dei consumi energetici su base giornaliera, settimanale, mensile e annuale. In questo modo l'interno nucleo familiare sarà stimolato nel migliorare il proprio impiego dell'energia termica ed elettrica giorno per giorno.

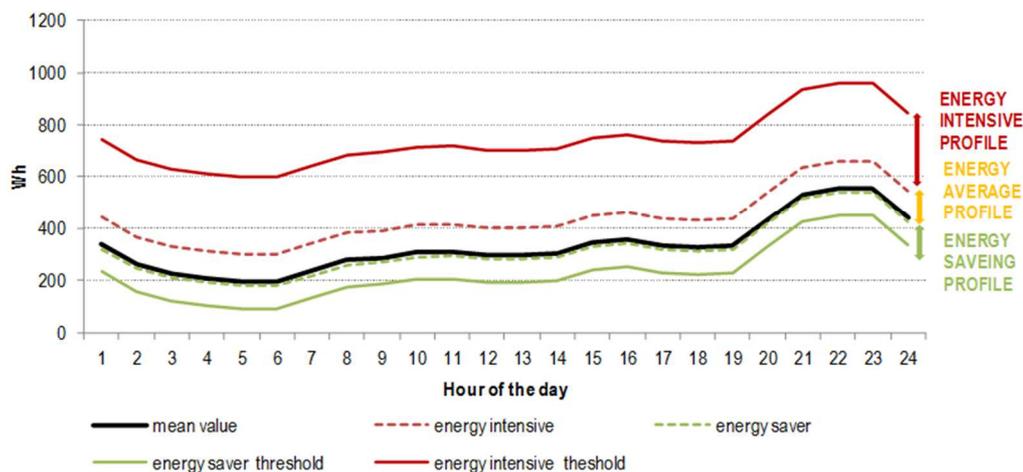
I KPI quantitativi vengono definiti sulla base dei **kWh/m<sup>2</sup>** e dei **m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> di gas naturale consumati**. Una **proiezione settimanale del consumo energetico** verrà indicata come semplice tendenza lineare.

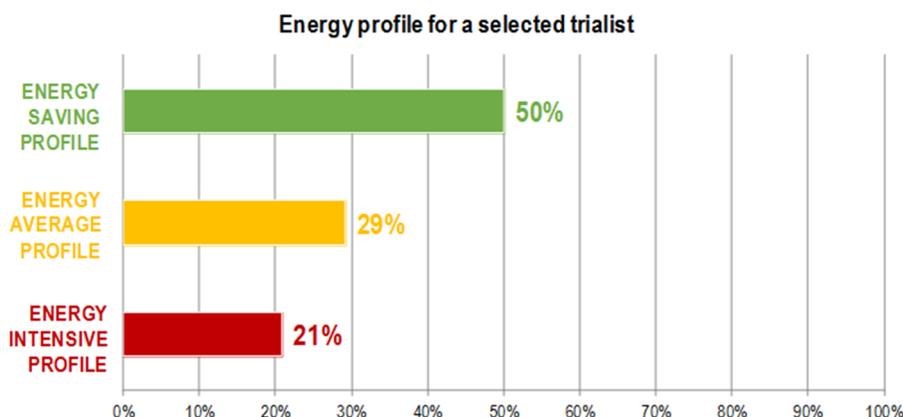


**Figura 53. KPI quantitativo. Diversi esempi di proiezione del consumo di energia e della bolletta energetica.**

I **KPI qualitativi** rappresentano gli andamenti orari, giornalieri, settimanali, mensili o annuali dei consumi elettrici e termici. Attraverso l'analisi di questi consumi energetici sarà possibile classificare i profili degli utenti. Il confronto dei consumi elettrici e termici degli utenti con opportuni valori di riferimento risulta essere efficace al fine di classificare dei profili di utenti relativi al consumo di energia, ad esempio: "**utente risparmiatore**", "**utente nella media**" o "**utente intensivo**". I valori di riferimento possono derivare da studi esistenti fornendo valori medi nazionali, o dai dati passati di monitoraggio dei consumi energetici dell'utente stesso.

**Buffer Acceptability Ranges (BAR) for typical consumption patterns**





**Figura 54. KPI qualitativi. Buffer intervalli di accettabilità (BAR) per il tipico modello di consumo (in alto) e profilo energetico per singolo sperimentatore in base al consumo di energia elettrica durante i giorni feriali e il fine settimana (in basso).**

Lo studio relativo ai feedback da fornire agli utenti, si pone come obiettivo una semplice rappresentazione delle informazioni relative all’andamento dei consumi e comunque del posizionamento del singolo utente all’interno del gruppo di sperimentatori. L’obiettivo principale è infatti quello di, attraverso processi più o meno automatici di controllo dei consumi, portare l’utente al massimo risparmio ottenibile, anche in un’ottica di “gamification”.

Conoscendo dunque l’obiettivo ultimo, l’utente avrà a disposizione tre diversi KPI:

- ✓ **Indice elettrico di stile di vita →IEE**
- ✓ **Indice termico di stile di vita→ITE**
- ✓ **Indice energetico di stile di vita→IE²**

In seguito vengono dettagliati gli algoritmi che permettono di inviare delle informazioni in forma di KPI agli utenti per ottenere il massimo dell’efficacia dal sistema. Il primo indice permette di conoscere i consumi di energia elettrica, il secondo quelli di energia termica ed infine l’ultimo KPI determina i consumi energetici totali dell’abitazione. Ogni consumo energetico potrà essere espresso sia in termini energetici sia monetari. Questi indicatori verranno riportati in termini quantitativi e qualitativi.

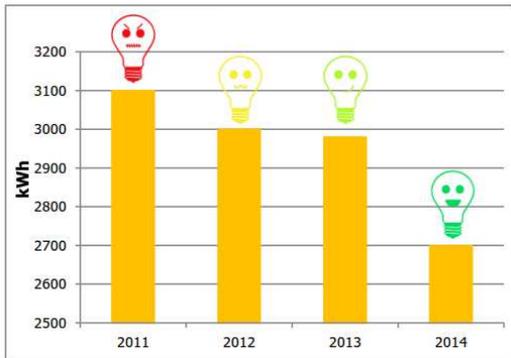
**Indice elettrico di stile di vita →IEE**

**Annuale**

Fornisce un’indicazione di consumo di energia elettrica su base annuale. I dati sono confrontabili con quelli degli anni precedenti.

**Tabella 13. Definizione dell’indice elettrico di stile di vita a livello annuale**

<b>IEE<sub>y</sub> [kWh]</b>	$IEE_y = \sum_0^n P_m$
	dove: P <sub>m</sub> = Potenza elettrica media oraria n = 8760 (ore totali in un anno)
	$IE_y = E_f - E_i$
	oppure: dove: E <sub>f</sub> = Energia finale E <sub>i</sub> = Energia Iniziale

<b>Scopo</b>	riporta l'ammontare di energia elettrica nel corso di un anno															
<b>Dati da utilizzare</b>	<p>Potenza elettrica [kW] (se presenti più dati di potenza monitorati all'interno della stessa ora, tali dati vanno mediati per avere un Potenza media oraria)</p> <p>Energia elettrica misurata dal contatore principale [kWh], nel caso in cui si preferisca calcolare l'energia di un determinato periodo come differenza tra valore di fine misura e valore di inizio misura, considerando che il contatore di energia elettrica restituisce una lettura progressiva dei consumi.</p>															
<b>Restituzione informazione</b>	<p>Dato numerico. In caso di più annualità comparazione tra i diversi anni tramite istogramma con indicatore iconografico della performance energetica ottenuta (come nell'esempio).</p>  <table border="1"> <caption>Data from kWh consumption chart</caption> <thead> <tr> <th>Anno</th> <th>Consumo [kWh]</th> <th>Icona</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2011</td> <td>~3100</td> <td>Angry face</td> </tr> <tr> <td>2012</td> <td>~3000</td> <td>Happy face</td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>~2980</td> <td>Happy face</td> </tr> <tr> <td>2014</td> <td>~2700</td> <td>Neutral face</td> </tr> </tbody> </table>	Anno	Consumo [kWh]	Icona	2011	~3100	Angry face	2012	~3000	Happy face	2013	~2980	Happy face	2014	~2700	Neutral face
Anno	Consumo [kWh]	Icona														
2011	~3100	Angry face														
2012	~3000	Happy face														
2013	~2980	Happy face														
2014	~2700	Neutral face														
<b>IEEys [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<p>Indice normalizzato rispetto alla superficie dell'unità abitativa</p> $IEE_{ys} = \frac{IEE_y}{S}$ <p>dove: S = Superficie unità abitativa</p>															
<b>Scopo</b>	riporta l'ammontare di energia elettrica nel corso di un anno, specifica rispetto alla superficie dell'unità abitativa															
<b>Dati da utilizzare</b>	Dati per il calcolo di IEEy Superficie unità abitativa [m <sup>2</sup> ]															
<b>Restituzione informazione</b>	Dato numerico. In caso di più annualità, comparazione come indicato per IEEy.															

**Mensile**

Fornisce un'indicazione di consumo di energia elettrica su base mensile. I dati sono confrontabili con quelli dei mesi precedenti o degli anni precedenti.

**Tabella 14. Definizione dell'indice elettrico di stile di vita a livello mensile**

<b>IEE<sub>m</sub> [kWh]</b>	$IEE_m = \sum_0^n P_m$ <p>dove:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- n = numero di ore del mese specifico</li> <li>- P<sub>m</sub> = Potenza elettrica media oraria</li> </ul> <p>oppure:</p> $IEE_m = E_f - E_i$
------------------------------	---

	<p>dove:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ef = Energia alle ore 24:00 dell'ultimo giorno del mese</li> <li>- Ei = Energia alle ore 00:00 del primo giorno del mese</li> </ul>
<b>Scopo</b>	Riporta l'ammontare di energia elettrica nel corso di un mese
<b>Dati da utilizzare</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potenza elettrica [kW] (se presenti più dati di potenza monitorati all'interno della stessa ora, tali dati vanno mediati per avere un <i>Potenza media oraria</i>).</li> <li>- Energia elettrica misurata dal contatore principale [kWh], nel caso in cui si preferisca calcolare l'energia di un determinato mese come differenza tra valore di fine misura e valore di inizio misura, considerando che il contatore di energia elettrica restituisce una lettura progressiva dei consumi.</li> </ul>
<b>Restituzione informazione</b>	<p>Dato numerico. Per più mensilità comparazione con il valore dell'indicatore mensile e quello dei mesi precedenti.</p> <p>In caso di più annualità comparazione tra il valore dell'indicatore mensile e l'indicatore dello stesso mese dell'anno precedente, nonché comparazione dell'energia cumulata fino al mese specifico dell'anno in corso rispetto al precedente (come nell'esempio in figura).</p>
<b>IEE<sub>ms</sub> [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<p>Indice specifico rispetto alla superficie dell'unità abitativa</p> $IEE_{ms} = \frac{IEE_m}{S}$ <p>dove:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- S = Superficie unità abitativa</li> </ul>
<b>Scopo</b>	riporta l'ammontare di energia elettrica nel corso di un mese, specifica rispetto alla superficie dell'unità abitativa
<b>Dati da utilizzare</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dati per il calcolo di IEE<sub>m</sub></li> <li>- Superficie unità abitativa [m<sup>2</sup>]</li> </ul>
<b>Restituzione informazione</b>	Dato numerico.

In caso di più mensilità e annualità, comparazione come indicato per il caso *IEEy*.

## Indice termico di stile di vita → IET

### Annuale

Fornisce una stima dell'energia termica ceduta dai sistemi di riscaldamento in ambiente, valutata su base annuale. I dati sono confrontabili con quelli degli anni precedenti.

**Tabella 15. Definizione dell'indice termico di stile di vita a livello annuale**

<p>IET<sub>y</sub> [kWh]</p>	$IET_y = \sum_1^n ET$ <p>dove:</p> <p>ET = Energia Termica ceduta in ambiente n = numero di mesi di riscaldamento</p>
<p><b>Scopo</b></p>	<p>Riporta l'energia termica (stimata) ceduta in ambiente dal sistema di riscaldamento all'interno dell'unità abitativa in riferimento al periodo temporale di un anno.</p>
<p><b>Dati da utilizzare</b></p>	<p>Nel caso di pannelli radianti a pavimento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- On off di ogni sezione del circuito.</li> <li>- Superfici delle stanze servite da ogni circuito.</li> <li>- Superficie Totale.</li> <li>- Fabbisogno di riferimento (ricavabile dal progetto Tabula) sulla base della tipologia edilizia e dell'anno di costruzione.</li> <li>- Gradi giorno reali (sommatoria di Temperature interne - Temperature esterne).</li> <li>- Gradi giorno convenzionali.</li> </ul> <p>Nel caso di radiatori con valvole termostatiche smart:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Valore di apertura delle valvole di ogni singolo radiatore.</li> <li>- Superfici delle stanze servite da ogni radiatore.</li> <li>- Superficie totale.</li> <li>- Fabbisogno di riferimento (ricavabile dal progetto Tabula) sulla base della tipologia edilizia e dell'anno di costruzione.</li> <li>- Gradi giorno reali (sommatoria di Temperature interne - Temperature esterne).</li> <li>- Gradi giorno convenzionali.</li> </ul>
<p><b>Metodo per il calcolo dell'energia termica ceduta in ambiente:</b></p>	<p><u>Pannelli radianti:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcolo delle ore totali (per ogni mese) di utilizzo dell'impianto per i singoli ambienti misurati</li> <li>- Ricerca dell'ambiente in cui l'impianto è attivo per più ore e assunzione di tale valore come «utilizzo standard»</li> <li>- Calcole della riduzione delle ore utilizzo degli impianti nei restanti ambienti rispetto al valore assunto come standard</li> <li>- Definizione per ogni ambiente di un «coefficiente di risparmio» pesato sulle ore di utilizzo degli impianti e sulle superfici degli ambienti stessi</li> </ul>

$$K_x = \frac{S_x}{S_t} * \left( \frac{h_x}{h_s} \right)$$

dove:

$K_x$  = Coefficiente di risparmio dell'ambiente considerato

$S_x$  = Superficie dell'ambiente considerato

$S_t$  = Superficie totale dell'unità abitativa

$h_x$  = Ore reali di utilizzo dell'impianto nell'ambiente considerato nell'arco di un anno

$h_s$  = Ore standard mensili di utilizzo dell'impianto nell'arco di un anno

- Definizione di un coefficiente di risparmio per l'intera unità abitativa

$$K_t = \sum (K_{x1} + K_{x2} + \dots K_{xn})$$

dove:

$K_t$  = Coefficiente di risparmio di tutta l'unità abitativa

- Ricerca di un caso di letteratura che possa essere confrontato con il caso studio e individuazione di un Fabbisogno di riscaldamento di riferimento ( da progetto Tabula)
- Ripartizione del fabbisogno identificato per ogni mese in funzione dei Gradi Giorno della città di riferimento allo scopo di definire il fabbisogno standard del caso studio
- Calcolo dell'indicatore  $IET_y$

$$IET_y = Q_{Hrif} + K_t * Q_{Hrif}$$

dove:

$Q_{Hrif}$  = fabbisogno termico di riferimento (da TABULA)

#### Valvole termostatiche:

- Verifica, per ogni ambiente in cui è inserita la valvola termostatica, del picco massimo di apertura della valvola nell'arco di ogni mese ( $A_{max}$ ).
- Calcolo del 50% del picco massimo di apertura delle valvole per ogni radiatore ( $A_{max}/2$ ).
- Calcolo delle ore totali (mensili) di apertura delle valvole per ogni ambiente e moltiplicazione per ( $A_{max}/2$ ), ipotizzando così l'utilizzo standard di un sistema di riscaldamento a radiatori senza valvole termostatiche.
- Calcolo della differenza, ora per ora, tra il ( $A_{max}/2$ ) e il valore di Apertura delle valvole rilevato (A) e somma di tali valori per ogni mese
- Definizione per ogni ambiente di un «coefficiente di risparmio» pesato sulla riduzione di apertura delle valvole termostatiche rispetto al caso di riferimento e sulle superfici degli ambienti stessi

	$K_x = \frac{S_x}{S_t} * \sum_1^j \left( \frac{A_{max}}{2} - A \right)$ <p>dove:</p> <p><math>K_x</math> = Coefficiente di risparmio dell'ambiente considerato  <math>S_x</math> = Superficie dell'ambiente considerato  <math>S_t</math> = Superficie totale dell'unità abitativa  <math>A_x</math> = valore puntuale rilevato di apertura della valvola  <math>A_{max}</math> = valore massimo di apertura della valvola nell'arco di ogni mese  <math>j</math> = numero giorni del mese</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Definizione di un coefficiente di risparmio per l'intera unità abitativa</li> </ul> $K_t = \sum (K_{x1} + K_{x2} + \dots K_{xn})$ <p>dove:</p> <p><math>K_t</math> = Coefficiente di risparmio di tutta l'unità abitativa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ricerca di un caso di letteratura che possa essere confrontato con il caso studio e individuazione di un Fabbisogno di riscaldamento di riferimento ( da progetto Tabula)</li> <li>- Ripartizione del fabbisogno identificato per ogni mese in funzione dei Gradi Giorno della città di riferimento allo scopo di definire il fabbisogno standard del caso studio</li> <li>- Calcolo dell'indicatore <math>IET_y</math></li> </ul> $IET_y = Q_{Hrif} + K_t * Q_{Hrif}$ <p>dove:</p> <p><math>Q_{Hrif}</math> = fabbisogno termico di riferimento (da TABULA)</p>
<p><b>Restituzione informazione</b></p>	<p>Dato numerico.</p> <p>In caso di più annualità comparazione tra i diversi anni tramite istogramma (come nell'esempio dell'indice <math>IEE_y</math>, ma riportante sulle ordinate non più un consumo misurato ma un energia termica stimata).</p>
<p><b>ELHI<sub>ys</sub></b> <b>[kWh/m<sup>2</sup>]</b></p>	<p><i>Indice specifico normalizzato rispetto alla superficie dell'unità abitativa</i></p> $IET_{ys} = \frac{IET_y}{S_t}$ <p>dove:</p> <p><math>S_t</math> = Superficie totale dell'unità abitativa</p>
<p><b>Scopo</b></p>	<p>Riporta l'ammontare di energia termica stimata nel corso di un anno, specifica rispetto alla superficie dell'unità abitativa</p>
<p><b>Dati da utilizzare</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dati per il calcolo di <math>IET_y</math></li> <li>- Superficie totale dell'unità abitativa [m<sup>2</sup>]</li> </ul>

<b>Restituzione informazione</b>	Dato numerico. In caso di più annualità, comparazione come indicato per $IET_y$ .
----------------------------------	--

**Mensile**

Fornisce una stima dell'energia termica ceduta dai sistemi di riscaldamento in ambiente, valutata su base mensile. I dati sono confrontabili con quelli dei mesi precedenti o degli anni precedenti.

**Tabella 16. Definizione dell'indice termico di stile di vita a livello mensile**

<b><math>IET_m</math> [kWh]</b>	$IET_m = \sum_0^n ET$ <p>dove:</p> <p><math>ET =</math> Energia Termica ceduta in ambiente <math>n =</math> numero di ore del mese in esame</p>
<b>Scopo</b>	Riporta l'energia termica (stimata) ceduta in ambiente dal sistema di riscaldamento all'interno dell'unità abitativa in riferimento al periodo temporale di un anno.
<b>Dati da utilizzare</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dati per il calcolo di <math>IET_y</math></li> </ul> <p>Il metodo è lo stesso proposto per il caso annuale, soffermandosi però alla valutazione mensile.</p>
<b>Restituzione informazione</b>	Dato numerico. Rappresentazione grafica come per il caso di $IET_m$ , riportando sulle ordinate non più un consumo misurato ma un energia termica stimata.

<b><math>IET_{ms}</math> [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<p>Indice specifico normalizzato rispetto alla superficie dell'unità abitativa</p> $IET_{ms} = \frac{IET_m}{S_t}$ <p>dove:</p> <p><math>S_t =</math> Superficie totale dell'unità abitativa</p>
<b>Scopo</b>	Riporta l'ammontare di energia termica stimata, nel corso di un mese, specifica rispetto alla superficie dell'unità abitativa
<b>Dati da utilizzare</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dati per il calcolo di <math>IET_m</math></li> <li>- Superficie totale dell'unità abitativa [m<sup>2</sup>]</li> </ul>
<b>Restituzione informazione</b>	Dato numerico. In caso di più mensilità e annualità, comparazione come indicato per $IET_m$ .

**Indice energetico di stile di vita → IE<sup>2</sup>**

**Annuale**

Fornisce una stima della riduzione percentuale sul consumo annuale o mensile di energia dell'abitazione.

**Tabella 17. Definizione dell'indice energetico di stile di vita a livello annuale**

<b>IE<sup>2</sup><sub>y</sub> [%]</b>	$IE^2 = \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{IEE_y}{IEE_{yrif}} * 0.17 \right) + \left( \frac{IET_y}{IET_{yrif}} * 0.68 \right) + 0.15 \right] \right\} * 100$ <p>dove :</p> <p>IEE<sub>y</sub> = Indice elettrico di stile di vita annuale  IEE<sub>yrif</sub> = Indice elettrico di stile di vita annuale di riferimento  IET<sub>y</sub> = Indice termico di stile di vita annuale  IET<sub>yrif</sub> = Indice termico di stile di vita annuale di riferimento  0.17 = Quota di energia primaria destinata a consumi di energia elettrica nel residenziale (<i>Fonte ENEA</i>)  0.68 = Quota di energia primaria destinata a consumi di energia termica per riscaldamento nel residenziale  0.15 = Quota di energia primaria destinata a consumi di energia termica per usi cucina e acqua calda sanitaria nel residenziale</p>
<b>Scopo</b>	Riporta la percentuale di riduzione sul dato di energia annuale.
<b>Dati da utilizzare</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si considerano gli indicatori precedentemente ottenuti sia per l'uso dell'energia elettrica sia per l'uso dell'energia termica.</li> <li>- Devono altresì essere presi in considerazione i rispettivi valori di riferimento di letteratura forniti.</li> </ul>
<b>Restituzione informazione</b>	Dato numerico.

**Tabella 18. Definizione dell'indice energetico di stile di vita a livello mensile**

<b>IE<sup>2</sup><sub>m</sub> [%]</b>	$IE^2 = \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{IEE_m}{IEE_{mrif}} * 0.17 \right) + \left( \frac{IET_m}{IET_{mrif}} * 0.68 \right) + 0.15 \right] \right\} * 100$ <p>dove :</p> <p>IEE<sub>m</sub> = Indice elettrico di stile di vita mensile  IEE<sub>mrif</sub> = Indice elettrico di stile di vita mensile di riferimento  IET<sub>m</sub> = Indice termico di stile di vita mensile  IET<sub>mrif</sub> = Indice termico di stile di vita mensile di riferimento  0.17 = Quota di energia primaria destinata a consumi di energia elettrica nel residenziale (<i>Fonte ENEA</i>)</p>
---------------------------------------	---

	<p>0.68 = Quota di energia primaria destinata a consumi di energia termica per riscaldamento nel residenziale</p> <p>0.15 = Quota di energia primaria destinata a consumi di energia termica per usi cucina e acqua calda sanitaria nel residenziale</p>
<b>Scopo</b>	Riporta la percentuale di riduzione sul dato di energia mensile.
<b>Dati da utilizzare</b>	<p>- Si considerano gli indicatori precedentemente ottenuti sia per l'uso dell'energia elettrica sia per l'uso dell'energia termica.</p> <p>- Devono altresì essere presi i rispettivi valori di riferimento di letteratura forniti ripartiti su base mensile.</p>
<b>Restituzione informazione</b>	Dato numerico.

### 2.1.5 Definizione dei benchmark di riferimento

Questa attività prevede l'analisi dei profili tipici di consumo di utenti residenziali, con particolare riferimento alle curve di carico dei principali elettrodomestici. In questo scenario l'attività del Politecnico si è configurata attraverso la definizione dei profili tipici delle famiglie italiane categorizzandole per nucleo familiare, caratteristiche delle abitazioni e potenza installata, per identificare i principali scenari di fabbisogno energetico definiti per "famiglia tipo" con le curve di carico dei principali elettrodomestici presenti in abitazione o servizi energetici. In particolare sono state proposte le curve di carico per:

- Apparecchi per la produzione di fluido freddo (carico critico);
- Apparecchi per l'illuminazione (carico critico qualora non siano presenti dispositivi per la dimmerazione, carico regolabile altrimenti);
- Lavabiancheria e lavastoviglie (carico trasferibile);
- Apparecchi audiovisivi e personal computer (generalmente carico critico).

Per tale attività sono stati rivisitati ed adattati i precedenti studi condotti sul tema: lo studio MICENE [27] condotto dal Politecnico di Milano nell'ambito di un più esteso progetto europeo (EURECO) nel 2004 e il Progetto Pangea condotto in collaborazione tra il Politecnico di Torino e Telecom Italia nel 2013 e nel 2014. Tali progetti sono serviti e serviranno da test e verifica per le attività specifiche del progetto.

La definizione di benchmark di riferimento è un importante strumento di analisi preliminare che permette di valutare rapidamente l'eventuale presenza di anomalie nei consumi di edifici con medesime caratteristiche. Alla luce dell'evoluzione del mercato dell'energia in ottica DSM e Demand Response, i benchmark di riferimento assumono anche da questo punto di vista un'importanza strategica per la gestione automatica più efficace dei carichi energetici, quale reale strumento operativo nella realizzazione di programmi di gestione della domanda di energia elettrica.

Le misure di Demand Response sono alla base delle strategie di gestione energetica che ottimizzano i consumi e le risorse di distretti urbani (terziari o residenziali) al fine di minimizzare i costi economici associati allo scambio di energia tra distretto e Grid/mercato wholesale. Un distretto generalmente comprende:

- **Elementi di carico** (e.g. edifici o gruppi di edifici anche con diverse caratteristiche);
- **Elementi di generazione di tipo rinnovabile** (e.g. pannelli solari, turbine a vento);
- **Elementi di storage** (e.g. batterie, veicoli elettrici).

In funzione della misura in cui gli elementi di carico presenti nel distretto possono essere controllati, la domanda può essere raggruppata in tre categorie [55]:

- **Carico critico:** corrisponde ai dispositivi non controllabili, la cui richiesta deve essere soddisfatta per la sicurezza e il comfort dell'utente;
- **Carico regolabile:** corrisponde ai dispositivi controllabili. Quando necessario il livello di consumo di questi dispositivi può essere diminuito da remoto per uno specifico intervallo di tempo al fine di evitare problemi di gestione del carico;
- **Carico trasferibile** ("shiftabile"): corrisponde ai dispositivi con una domanda trasferibile nell'orizzonte di tempo considerato.

Il processo di ottimizzazione di distretto si basa sulle previsioni e.g. per le successive 24 ore dei profili di consumo globale e delle condizioni al contorno quali: previsioni meteo, quindi previsioni di generazione da fonti rinnovabili; previsioni relative alla mobilità dei veicoli elettrici, quindi previsioni di storage; previsioni di prezzo dell'energia fornite dal Provider. Il risultato di questo processo di ottimizzazione è un programma ottimizzato da far seguire a tutti i componenti del distretto nelle successive 24 ore. La definizione dei benchmark di riferimento degli usi finali in ambito residenziale può giocare quindi un ruolo chiave nella previsione dei profili di consumo atteso di distretto da utilizzare in ambito demand-response.

### Consumi elettrici tipici

Tra i metodi del clustering è rilevante il confronto tra i consumi elettrici effettivi degli utenti e i valori di benchmark in modo tale da poter stilare una classificazione dei profili di utenti come "saver" (utente risparmiatore), "average" (utente medio) o "intensive" (utente dispendioso). I valori di riferimento (benchmark) possono riferirsi a studi svolti precedentemente che forniscono valori medi nazionali (benchmarking verticale) oppure da dati di monitoraggio del passato (benchmarking orizzontale) correlati a specifici profili di utenti (tipologia di famiglia). Se si usano dei valori di benchmark, chiaramente i loro margini devono essere definiti in modo cauto. Infatti, se un obiettivo è raggiungibile troppo facilmente gli effetti potrebbero essere limitati, mentre se l'obiettivo è irrealistico si potrebbe provocare un disagio significativo nel suo raggiungimento. Utili valori di benchmark di tipo verticale per i tipici consumi di energia domestici in Italia sono forniti dall'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG) e dall'Istituto nazionale di statistica (ISTAT):

- AEEG definisce che il consumo tipico di energia elettrica in una famiglia italiana (potenza installata di 3kW) è di 2700 kWh/anno.
- Il consumo di energia elettrica media in termini economici viene fissato dall'AEEG a 516 €/anno.
- ISTAT stabilisce invece che il tipico consumo di energia elettrica in Italia per persona è di 1200 kWh/persona.

Basandosi sui risultati di tante ricerche nel campo [25, 26], la creazione dei benchmark orizzontali per un consumo tipico di energia di un gruppo omogeneo di utenti (tipologia di famiglia) risulta essere un compromesso tra valori di riferimento generali e medi forniti da indagini nazionali e valori molto specifici provenienti da dati reali di monitoraggio. Inoltre, diverse ricerche bibliografiche [27, 28] evidenziano il fatto che però anche le tipologie familiari simili, sia dal punto di vista delle caratteristiche dell'edificio e del nucleo familiare, possono avere tendenze di consumo energetico differenti rendendo così incerto la definizione di valori di benchmark coerenti. Il consumo di energia elettrica annuale (Figura 55), la bolletta elettrica annuale (Figura 56) e il consumo per persone di ogni famiglia viene confrontata con nuclei familiari simili e con i valori medi nazionali per uso domestico (2700 kWh/anno e 516 €/anno) in base ai valori forniti dall'AEEG ed i valori medi nazionali per persona (1200 kWh/persona\*anno) definiti dall'ISTAT.

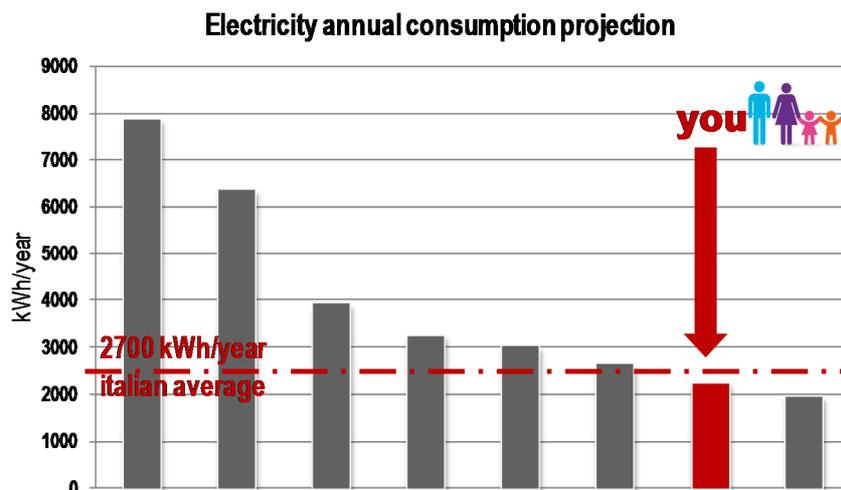


Figura 55\_ Il consumo di energia elettrica annuale di un nucleo familiare di 4 persone e il confronto sia con trialisti simili sia con i valori di riferimento nazionali (AEEG).

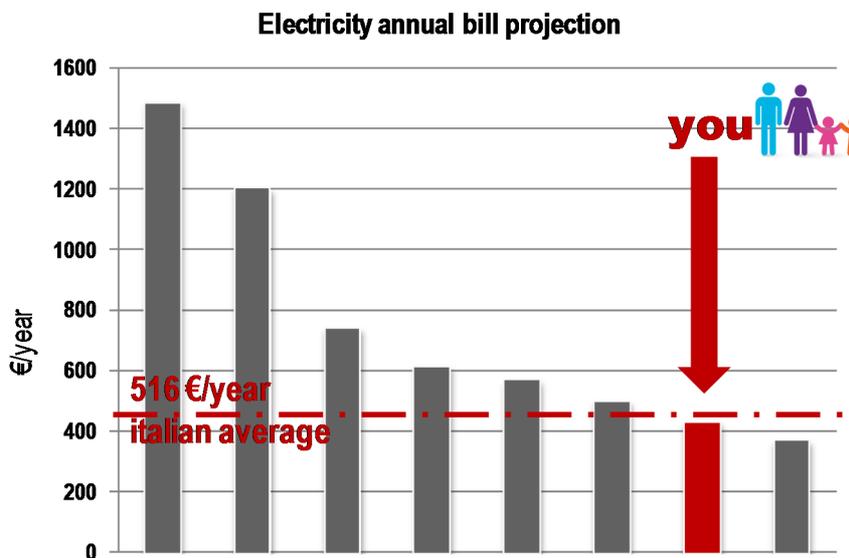


Figura 56\_ La bolletta elettrica annuale di un nucleo familiare di 4 persone e il confronto sia con trialisti simili sia con i valori di riferimento nazionali (AEEG).

La conoscenza delle curve di carico degli usi finali elettrici, presupposto alla corretta progettazione degli interventi sopra descritti, permette di individuare e di intervenire su quegli usi finali il cui contributo ai picchi della rete risulti più elevato. Il monitoraggio degli elettrodomestici e dei sistemi di illuminazione finalizzato alla valutazione delle curve di carico per un campione rappresentativo è molto oneroso. Questo perché il modo ideale di operare richiederebbe di monitorare i consumi per periodi molto lunghi, almeno di un anno, con la conseguente necessità di avere a disposizione un numero assai elevato di strumenti di misura. La curva di carico rappresenta l'andamento della richiesta di potenza nel tempo: la curva di carico giornaliera media, di una categoria di apparecchio utilizzatore (ad esempio la lavabiancheria), rappresenta l'andamento medio giornaliero, dalle ore 0:00 alle ore 24:00, della richiesta di potenza di tutti gli apparecchi utilizzatori monitorati per tale categoria.

Essa è stata tracciata calcolando, per ciascuno dei 144 intervalli in cui è stato suddiviso il giorno, dapprima la media per ciascuno degli apparecchi (per l'intera campagna di misure) e in seguito la media complessiva rispetto a tutti gli apparecchi. La curva di carico giornaliera media così risultante, tende ad avere valori di potenza molto bassi, se paragonati alle potenze nominali degli apparecchi in questione.

Questo dipende dal fatto che gli apparecchi non vengono usati contemporaneamente da tutti gli utenti. La scelta di rappresentare graficamente in forma di istogramma, invece che di linea continua, le curve di carico, così calcolate, nasce dalla volontà di rendere manifesta la discretizzazione temporale operata.

### **Apparecchi per il freddo**

Sulla base degli studi di letteratura effettuati, gli apparecchi per il freddo sono categorizzati in 4 tipologie, di seguito riportate:

- frigocongelatori: apparecchi per il freddo a 2 porte con scomparto per cibi congelati a 4 stelle,
- frigoriferi: apparecchi per il freddo a 1 porta con o senza cella per cibi congelati,
- congelatori orizzontali: apparecchi a 1 porta esclusivamente per cibi congelati, con sportello apribile dall'alto,
- congelatori verticali: apparecchi a 1 porta esclusivamente per cibi congelati, con sportello apribile frontalmente.

- ✓ **Il consumo medio annuo per un frigocongelatore è pari a 637 kWh/anno, di un frigorifero 354 kWh/anno, mentre di un congelatore 568 kWh/anno.**

Naturalmente le curve di carico giornaliere medie degli apparecchi per il freddo non hanno picchi accentuati: i cicli di funzionamento, infatti, sono ben distribuiti quando si considera un grande numero di apparecchi per un certo numero di giorni. Questo non ci porta a trascurare il contributo, alla domanda complessiva di potenza, da parte degli apparecchi per il freddo, ma a considerarlo sostanzialmente costante nell'arco delle 24 ore.

L'andamento delle curve di carico per frigocongelatori e congelatori sono riportate rispettivamente nella Figura 57 e nella Figura 58. Nella curva di carico dei frigocongelatori, Figura 57, si noterà, comunque, un picco appena accennato durante le ore serali e un secondo nelle ore di pranzo, come possibile conseguenza dell'incremento delle aperture da parte degli utenti.

Riportiamo nella tabella seguente i valori medi della potenza assorbita, dalle diverse tipologie di apparecchi per il freddo, costantemente lungo tutto l'arco di una giornata, così come risultanti dalla campagna di misure condotta dal progetto MICENE (2004) [27].

**Tabella 19. Valori di potenza giornaliera media dei principali apparecchi per il freddo.**

Apparecchio	Potenza giornaliera media
<b>Frigocongelatore</b>	64.8 W
<b>Frigorifero</b>	32 W
<b>Congelatore</b>	59.6 W

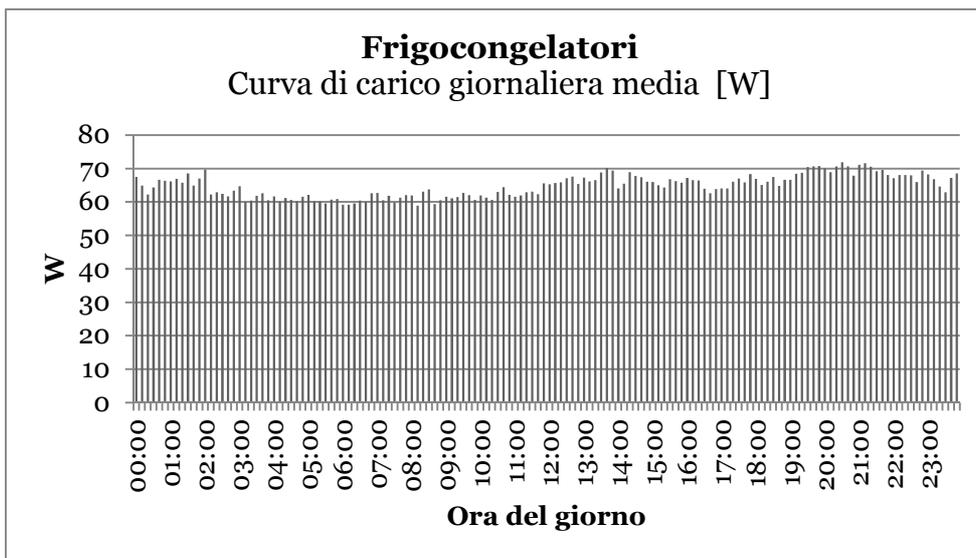


Figura 57. Frigocongelatori – Curva di carico giornaliera media. Il valore della potenza assorbita è circa costante.

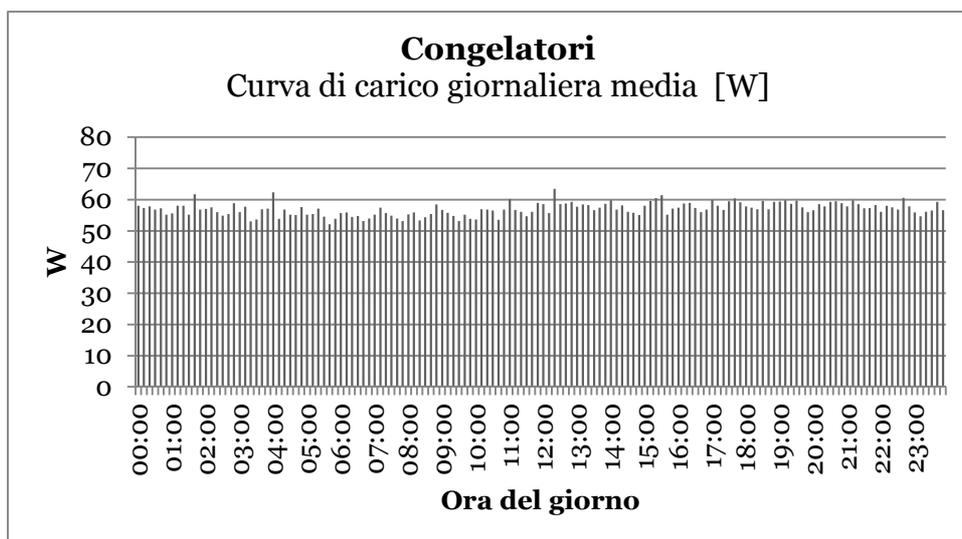


Figura 58. Congelatori - Curva di carico giornaliera media. Il valore della potenza assorbita è circa costante

### **illuminazione**

I sistemi di illuminazione costituiscono una porzione rilevante dei consumi di energia elettrica nel settore residenziale. L'andamento della curva di carico giornaliera media permette di ricavare informazioni importanti sull'efficacia della riduzione della potenza per l'illuminazione grazie all'introduzione di tecnologie energeticamente più efficienti.

Le sorgenti di luce maggiormente presenti nelle abitazioni sono di quattro tipi:

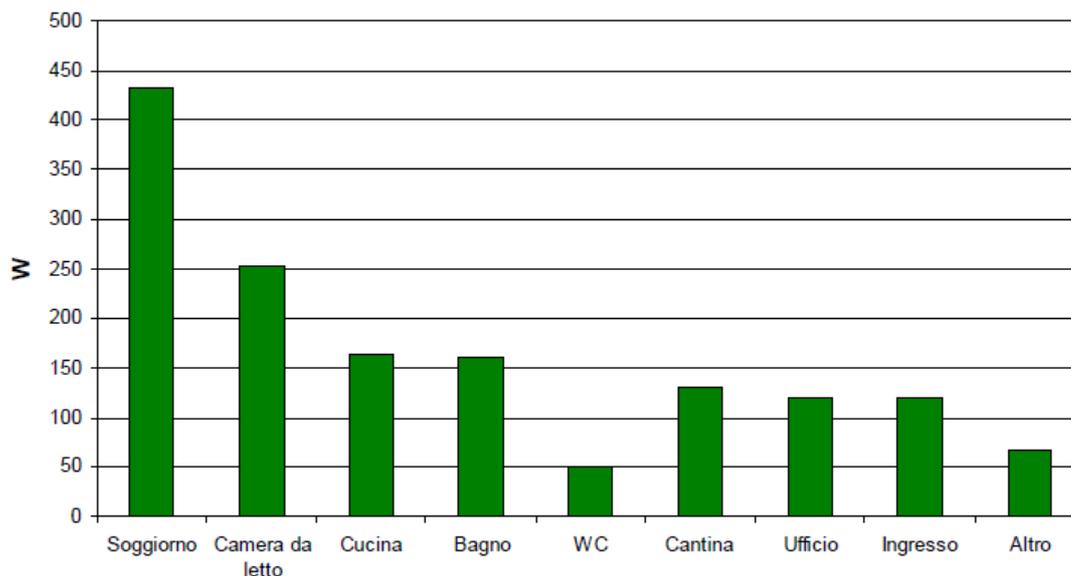
- lampade a incandescenza, tipologia maggiormente diffusa nel settore residenziale;
- lampade alogene;
- lampade fluorescenti;
- lampade compatte fluorescenti (CFL)

✓ **Il consumo annuale medio dovuto all'illuminazione è pari a 375 kWh.**

La Figura 59 mostra la potenza installata per tipo di stanza. La stanza avente la potenza installata maggiore risulta essere il soggiorno, dove vi è grande diffusione di lampade alogene, seguito da stanze da letto e da

cucina. Si nota inoltre che i consumi più elevati sono dovuti alle sorgenti di luce installate in soggiorno; questo perché il soggiorno, oltre ad essere il locale con la più alta potenza installata, è il luogo in cui le luci rimangono accese per un numero elevato di ore.

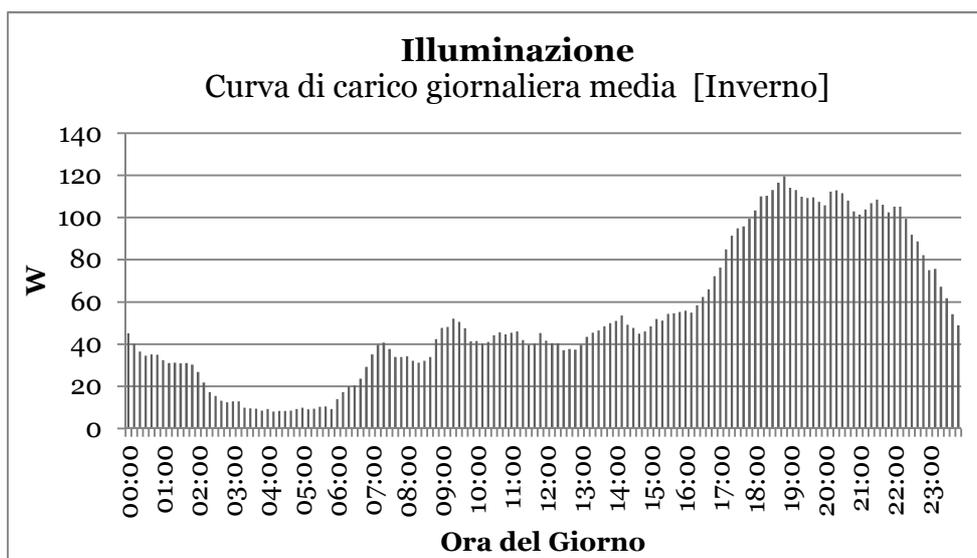
**Illuminazione - Potenza media installata per tipo di stanza**



**Figura 59. Progetto MICENE: Distribuzione della tipologia delle sorgenti luminose presenti nel campione per tipo di locale.**

Le Figure 60, 61, 62 mostrano l'andamento della curva di carico giornaliera media dei sistemi per l'illuminazione suddivisa per tre periodi dell'anno. Ai fini delle nostre analisi sono stati individuati tre periodi:

- periodo invernale: dicembre-marzo,
- periodo autunnale - primaverile: settembre–novembre; marzo-maggio
- periodo estivo: giugno-settembre.



**Figura 60. Illuminazione - Curva di carico giornaliera media relativa al periodo invernale.**

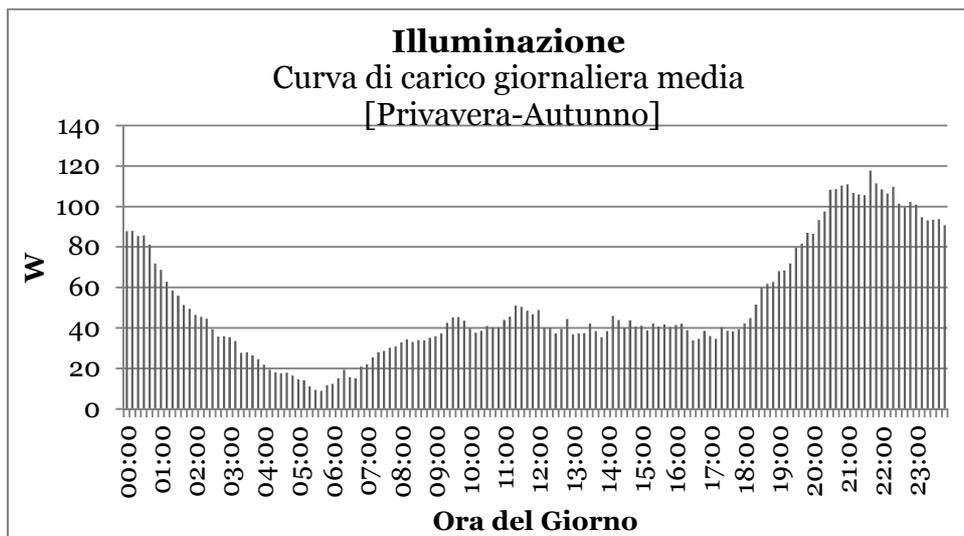


Figura 61. Illuminazione - Curva di carico giornaliera media relativa al periodo primaverile e autunnale.

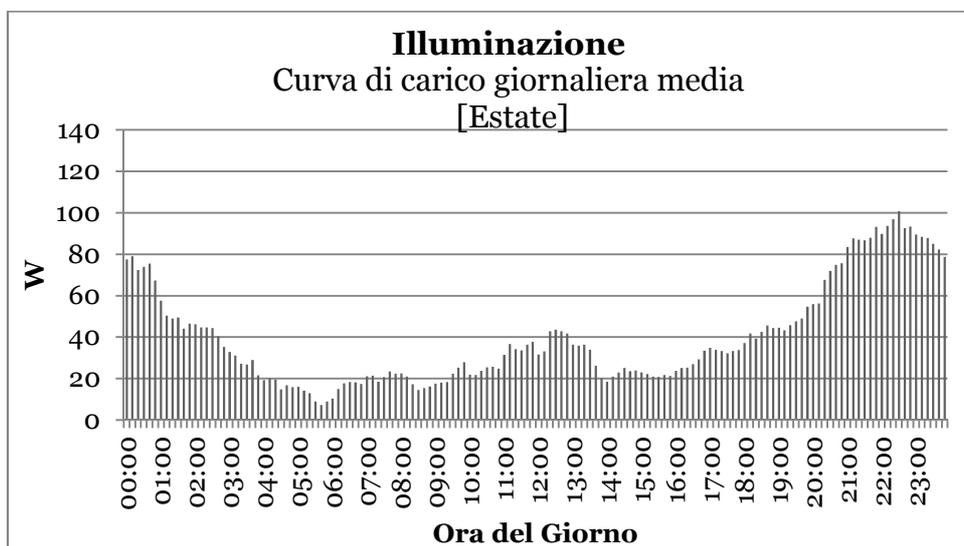


Figura 62. Illuminazione - Curva di carico giornaliera media relativa al periodo estivo.

### **Lavabiancheria e lavastoviglie**

Lavabiancheria e lavastoviglie sono elettrodomestici oramai largamente diffusi nelle abitazioni. La lavabiancheria, a differenza della lavastoviglie, è presente nella quasi totalità delle abitazioni. Naturalmente il consumo di una lavabiancheria dipende fortemente dal tipo di ciclo di lavaggio che viene scelto e soprattutto dalla temperatura selezionata (gran parte dell'energia, infatti, viene impiegata per scaldare l'acqua).

- ✓ **Nel progetto MICENE, il consumo medio annuo misurato per le lavabiancheria è pari a 224 kWh/anno.**

La Figura 63 mostra l'andamento della curva media giornaliera della potenza assorbita dalle lavabiancheria. Si evidenzia un picco principale alle 10:00 del mattino (circa 90 W). Un secondo picco, più basso, è rilevato nell'intervallo orario 15:00-16:00 (circa 45 W). Le figure 64 e 65 mostrano la stessa curva mediata, rispettivamente, sui giorni feriali e sui giorni festivi. L'andamento della curva di carico relativa ai giorni feriali ricalca quello della figura 63 (media su tutti i giorni dell'anno). Nei giorni festivi, invece, si riscontra lo spostamento del picco principale (centrato sulle ore 12:00) e di quello secondario (ore 16:00). Si riscontra,

inoltre, un incremento della potenza assorbita intorno alle 19:00. Le curve mostrano che l'uso delle lavabiancheria è prevalente durante il giorno.

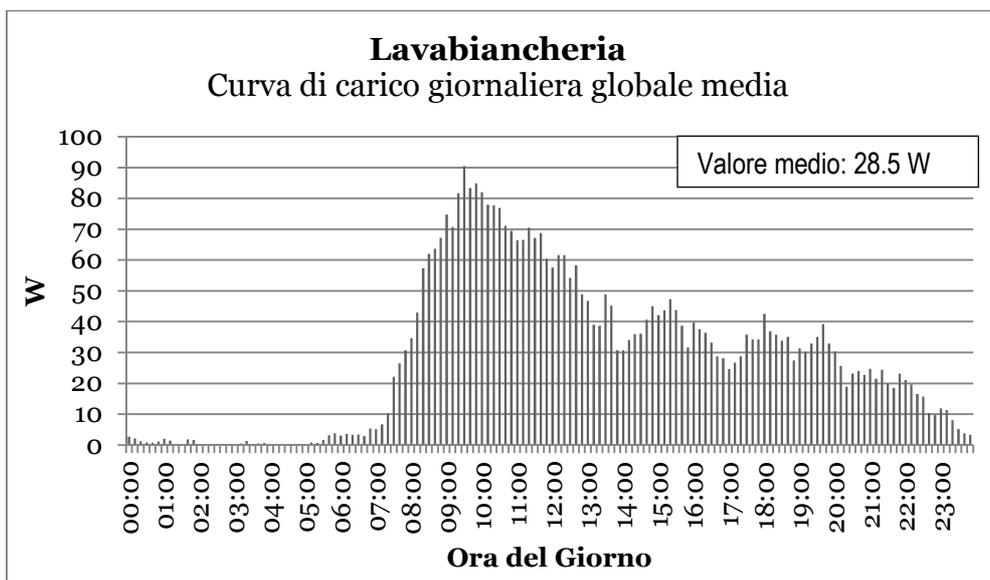


Figura 63. Lavabiancheria - Curva di carico giornaliera media relativa a tutti i giorni dell'anno.

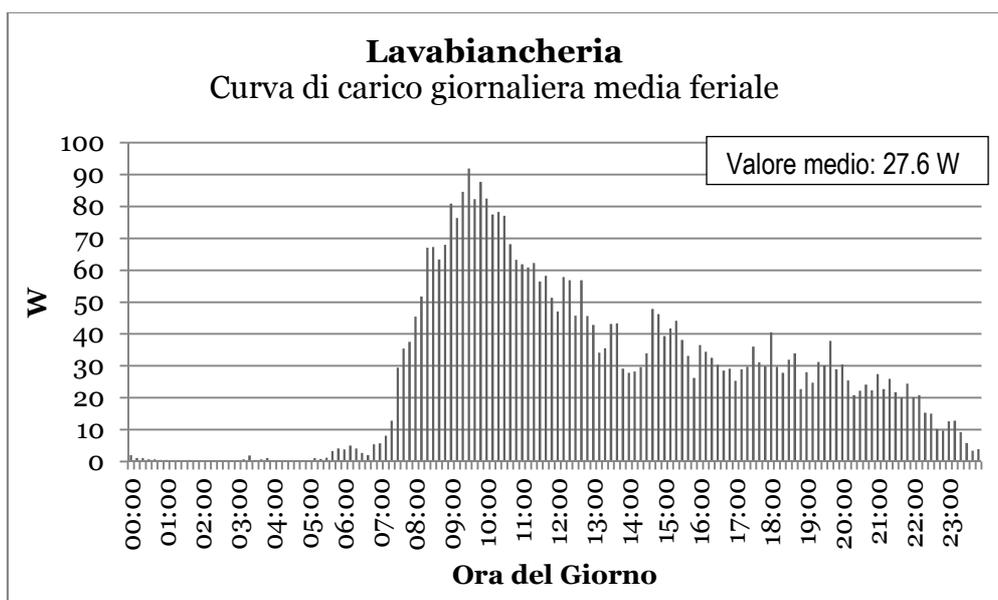


Figura 64. Lavabiancheria - Curva di carico giornaliera media relativa ai giorni feriali.

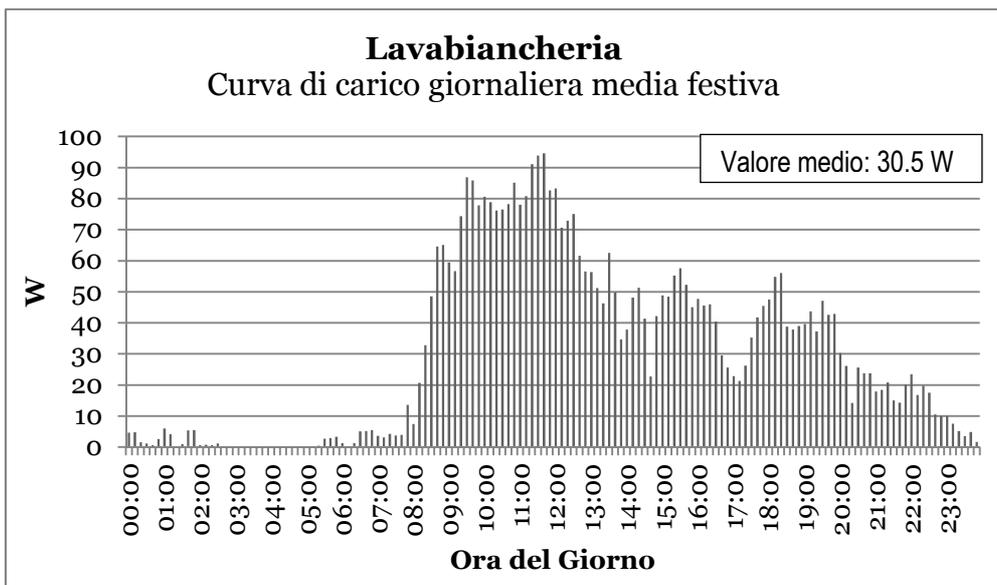


Figura 65. Lavabiancheria – Curva di carico giornaliera media relativa ai giorni festivi.

- ✓ Il consumo medio annuale stimato dai dati del progetto MICENE per le lavastoviglie è pari a 369 kWh/anno, con un numero medio di cicli all’anno pari a 255.

Dal momento che i consumi delle lavastoviglie dipendono fortemente dalle abitudini degli utenti, le informazioni a disposizione non ci permettono di verificare se il valore di 255 cicli/anno sia realmente rappresentativo dell’utilizzo medio dei possessori di lavastoviglie in Italia, anche se la consistenza e la distribuzione del campione indicano una probabile rappresentatività del dato.

In ogni caso quello che appare in modo chiaro è un consumo medio di 1.45 kWh/ciclo.

La Figura 66 mostra l’andamento della curva di carico giornaliera media delle lavastoviglie. Le Figure 67 e 68 mostrano la stessa curva relativa ai giorni feriali e ai giorni festivi. La curva di carico giornaliera media presenta tre picchi: un picco principale, individuato nell’intervallo fra le 22:00 e le 23:00; un picco secondario, individuato fra le 15:00 e le 16:00; e il picco della mattina, centrato sulle 10:00. La curva mediata sui giorni feriali rispecchia l’andamento di quella generale, mentre per i giorni festivi la posizione dei due picchi è invertita (il picco principale cade nell’intervallo 15:00-16:00).

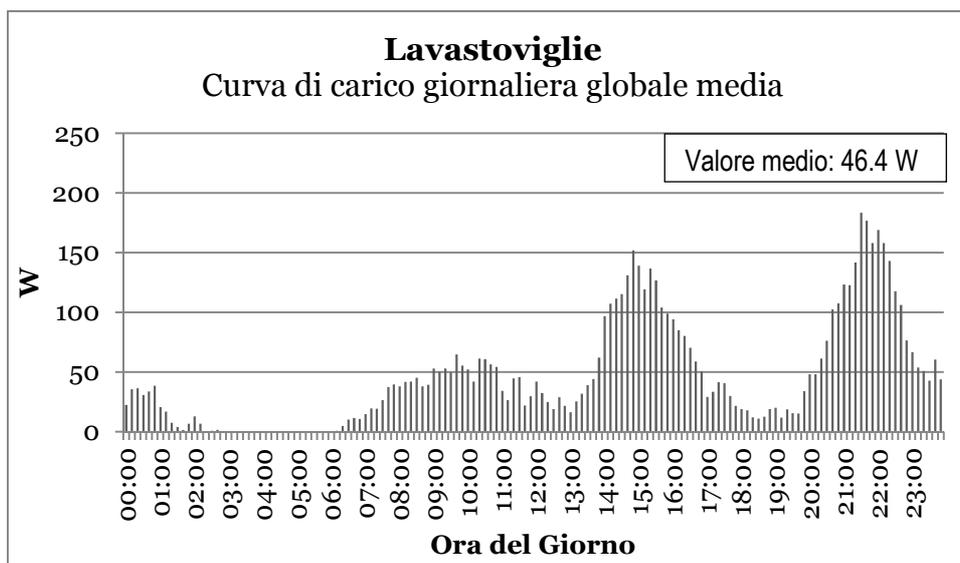


Figura 66. Lavastoviglie – Curva di carico giornaliera media relativa a tutti i giorni dell’anno.

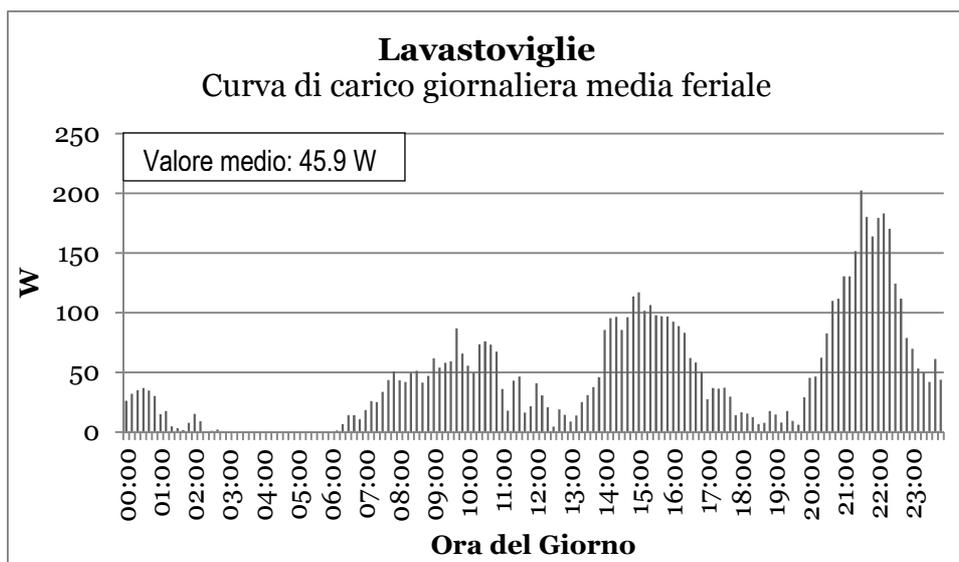


Figura 67. Lavastoviglie – Curva di carico giornaliera media relativa ai giorni feriali.

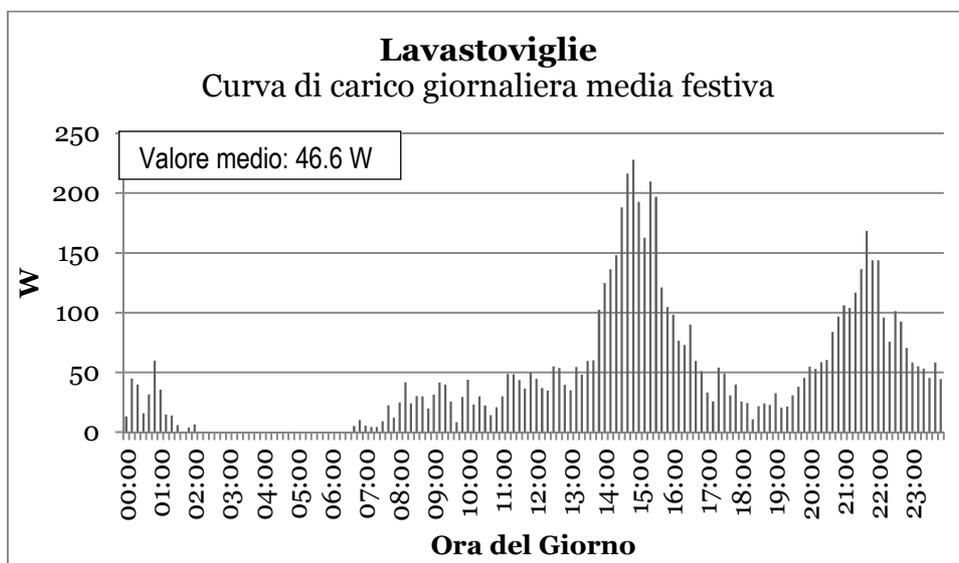


Figura 68. Lavastoviglie – curva di carico giornaliera media relativa ai giorni festivi.

### **Apparecchi audiovisivi e personal computer**

Nel caso degli apparecchi audiovisivi generalmente si prende in considerazione il principale sito audiovisivo, composto di regola da televisore, videoregistratore ed altri apparecchi come decoder o consolle playstation. I valori di riferimento indicano che la potenza media assorbita da un sito audiovisivo è risultata pari a 160 W nelle condizioni di utilizzo. Il valore massimo è di 305 W, mentre il valore minimo è di 40 W (corrispondente alla sola presenza di un impianto HiFi). Il valore medio annuo di consumo del principale sito audiovisivo è pari a 355 kWh/anno, mentre il valore massimo è pari a 1000 kWh/anno (sito che comprende 2 televisori e un impianto HiFi). La classe dominante è quella compresa fra 200 e 300 kWh/anno. La Figura 69 mostra la curva di carico giornaliera media per i televisori, il cui andamento ricalca quello generale per i siti audiovisivi.

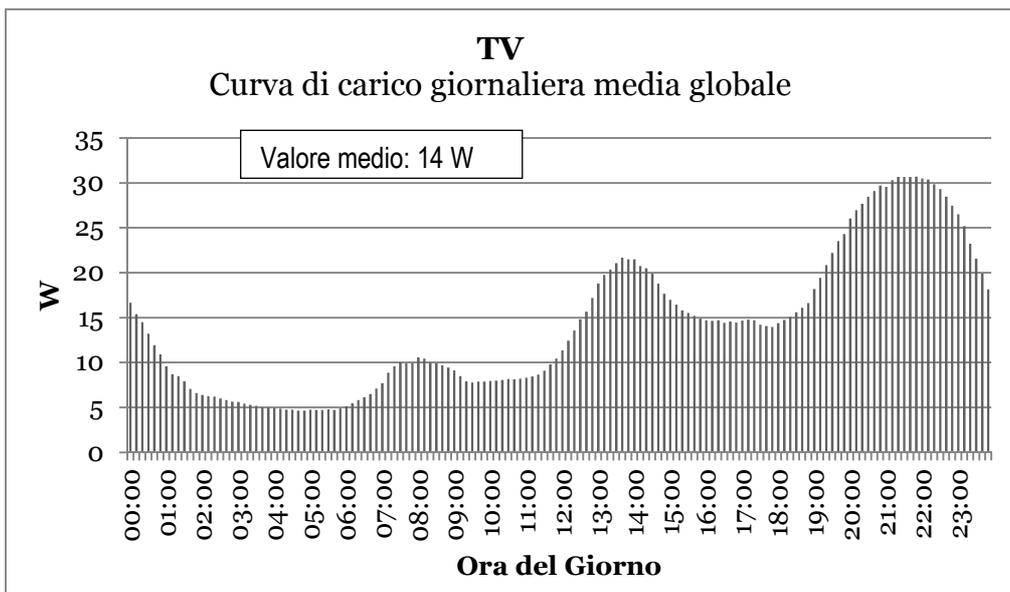


Figura 69. Televisori – Curva di carico giornaliera media.

I personal computer hanno conosciuto una larghissima diffusione negli ultimi anni, comportando un aumento non trascurabile del consumo di energia elettrica nel settore residenziale. Le postazioni di lavoro in ambito residenziale comprendono, nella maggior parte dei casi, l'unità centrale del PC, un monitor, una stampante e un modem. In alcuni casi erano presenti anche scanner, casse, ecc.

- ✓ Il consumo medio annuo per i personal computer è pari a 132 kWh/anno. La classe dominante è quella relativa all'intervallo 50-100 kWh/anno.

La Figura 70 mostra la curva di carico oraria media per le postazioni di lavoro con pc. La curva evidenzia un picco della domanda di potenza alle 19:00.

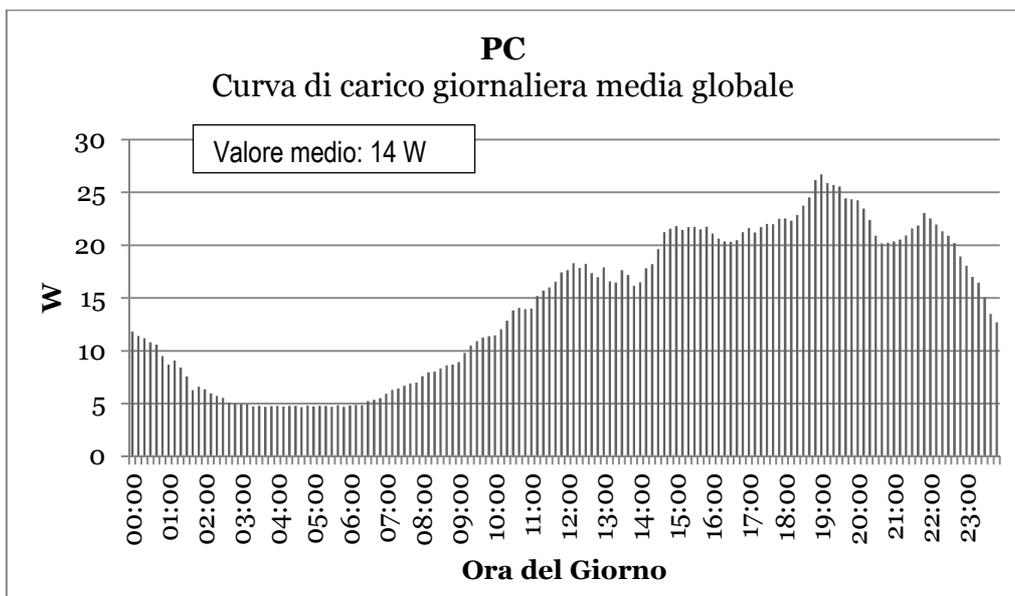
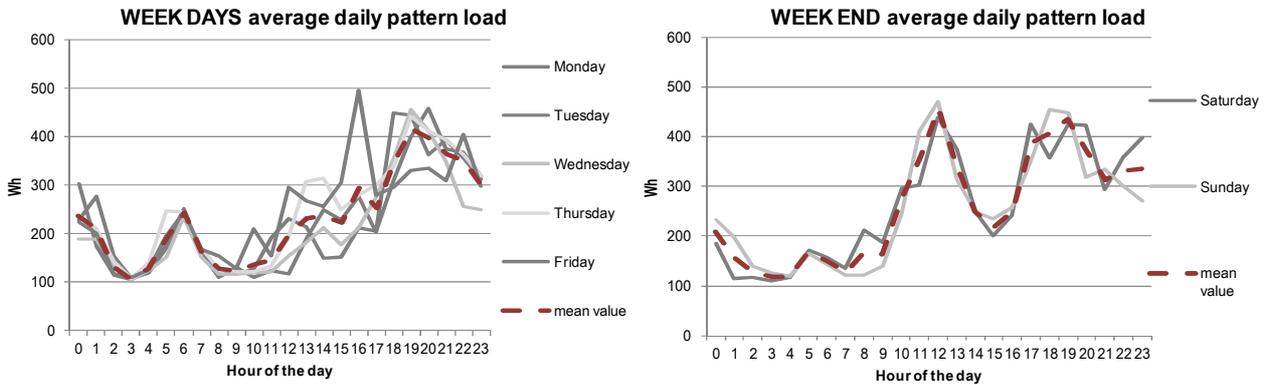


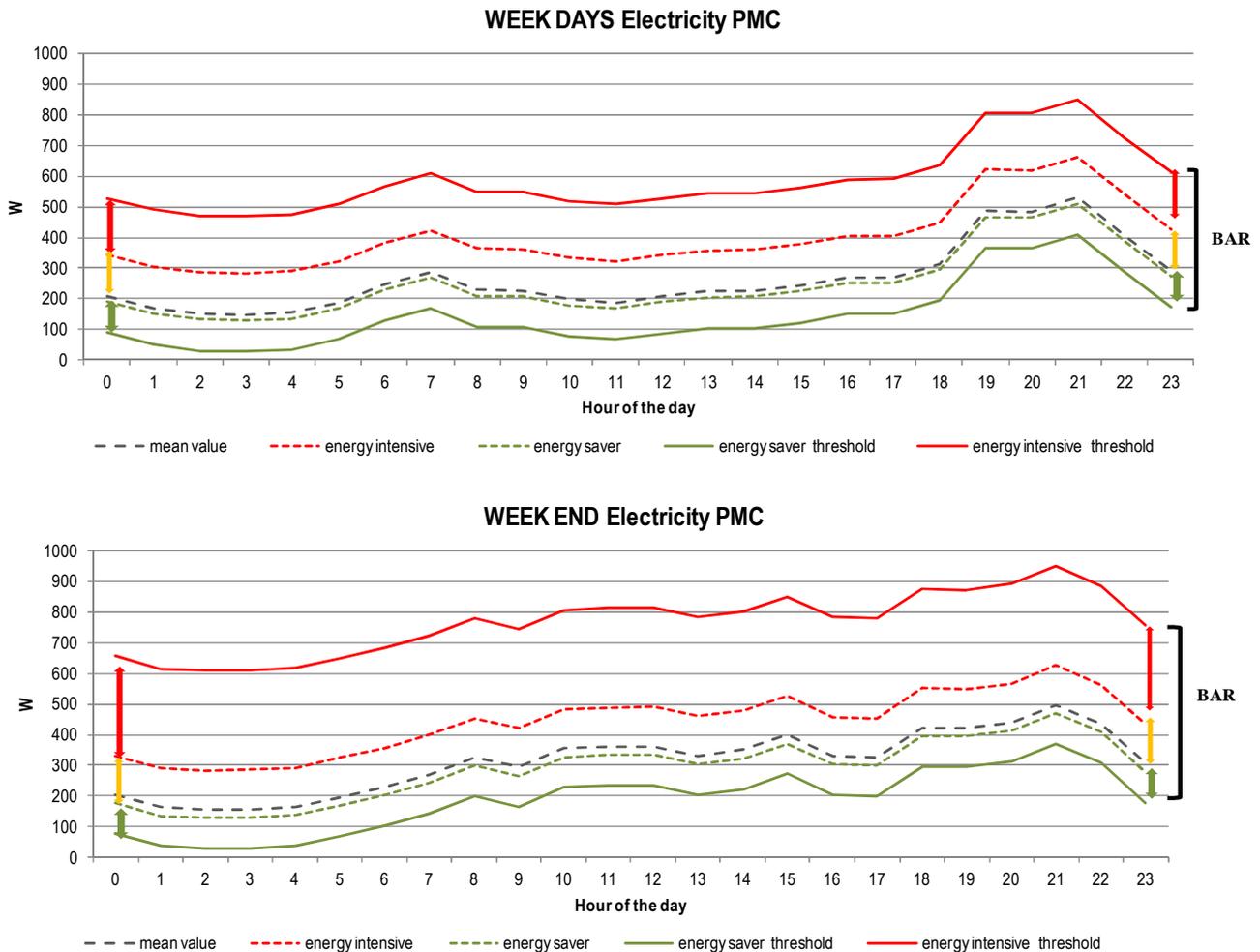
Figura 70. Personal computer - Curva di carico giornaliera media.

2.1.5.1. Creazione di profilo di consumo elettrico tipico per famiglia tipo

I dati granulari (intervallo 10 minuti) provenienti dal il progetto PANGEA sono stati analizzati per la creazione di set di profili di utente tipo, sulla base del cluster del nucleo familiare. Per ogni cluster di famiglia tipo, i dati di consumo di energia elettrica dei singoli elettrodomestici e del carico elettrico totale, sono stati analizzati per la creazione di profili di consumo tipici: giorno tipo, mese tipo, anno tipo. Un esempio di curva di carico tipica per l'uso della lavatrice durante i giorni lavorativi e durante il weekend, in un nucleo familiare composto da coppia senza figli, è riportato nella Figura 71.

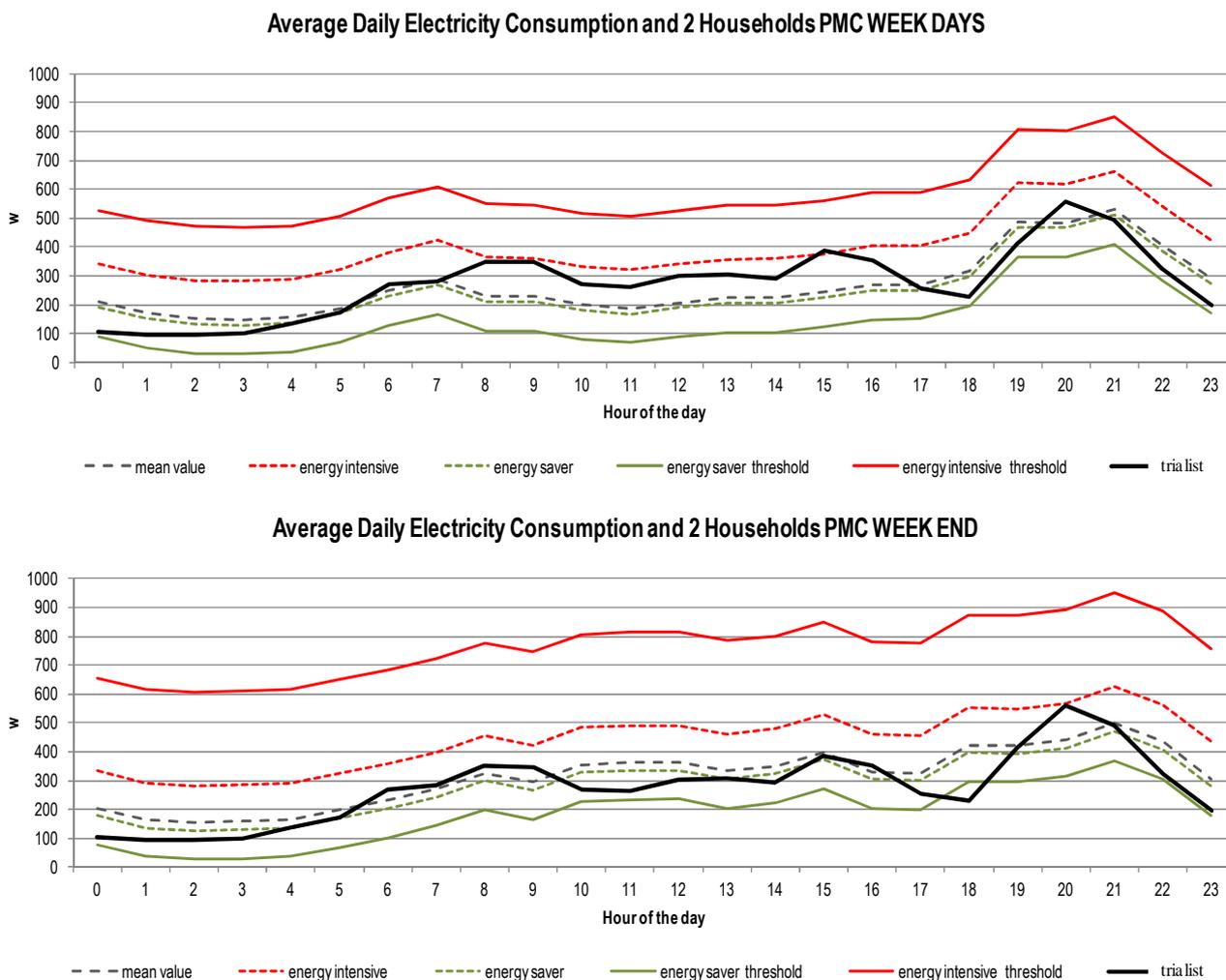


**Figura 71. Curva di carico tipica per l'uso della lavatrice nei giorni lavorativi/weekend, in coppia senza figli**



**Figura 72. Indici previsionali di consumo PMC (Predicted Mean Consumption) per famiglia tipo**

A questi dati, il progetto PANGEA ha applicato tecniche di analisi statistica per la creazione di indici previsionali di consumo PMC (Predicted Mean Consumption). Tali indici previsionali sono rappresentativi della curva di carico più frequente – e dunque prevedibile – per una specifica tipologia familiare. Sulla base della deviazione standard rispetto al valore “medio” di consumo dei dati di monitoraggio, sono stati identificati range di accettabilità denominati BAR (Buffer Acceptability Range) per la descrizione di profili di consumo energetico “intenso” o “risparmioso”. Oltre i valori limite definiti per ciascuna delle famiglie tipo, un eccessivo scostamento delle curve di carico dei singoli utenti è indicativo di anomalie nel consumo elettrico, o nel funzionamento degli apparecchi elettrici in ambito domestico (Figura 73).



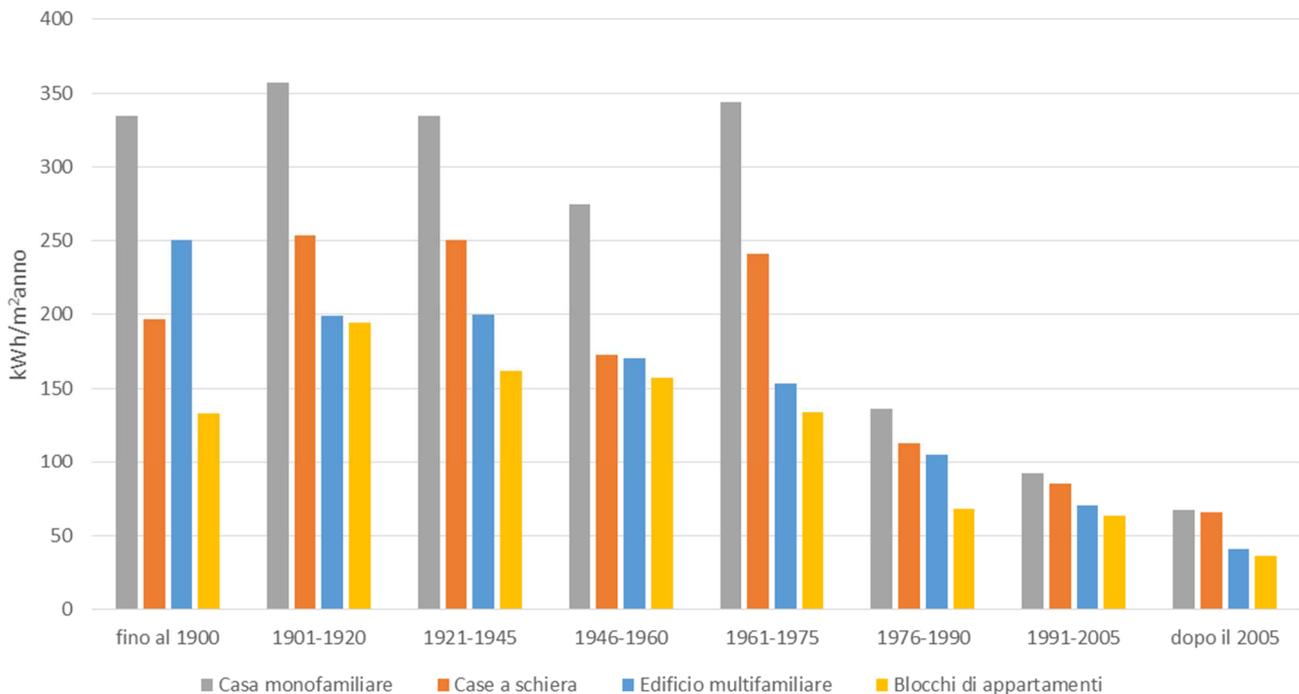
**Figura 73. Comparazione delle curve di carico tipiche con gli Indici previsionali di consumo PMC (Predicted Mean Consumption)**

I profili di consumo per famiglia tipo così definiti, oltre che i trend descritti dagli indici previsionali, potranno poi essere utilizzati per la definizione di scenari di fabbisogno energetico.

### 2.1.5.2. Consumi termici di riferimento

I consumi termici degli edifici variano in modo significativo a seconda le tipologie di abitazione e il loro anno di costruzione. Per questo motivo i valori di benchmark fanno riferimento al **fabbisogno annuo netto di energia termica ( $Q_{H,nd}$ ) per il riscaldamento** (Figura 74) forniti dal progetto TABULA (Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana)[29] elaborato dal Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino. Questo progetto ha individuato i consumi termici medi tipici di diversi tipi di abitazione in base all’anno di

costruzione. In particolare si fa riferimento alle seguenti tipologie edilizie residenziali: case monofamiliari, case a schiera, edifici multifamiliari e blocchi di appartamenti. Per quanto riguarda invece l'anno di costruzione è stata stilata una scansione temporale che va dai primi del '900 fino agli edifici nuovi.



**Figura 74. Fabbisogno annuo netto di energia termica per il riscaldamento (QH,nd) nelle diverse tipologie di abitazione per anno di costruzione (Tabula).**

### 2.1.6 Tecniche di engagement del comportamento dell'utente in ambito residenziale

Nonostante sia esplicita l'importanza di orientare i modelli di consumo verso un'ottica più sostenibile, vi è ancora un divario tra la teoria e la realtà [30]. Molti paesi, sulla base del piano d'azione *Sustainable Consumption and Production* (SCP) approvato il 4 Dicembre 2008 dalla Commissione Europea ai fini di diffondere politiche di produzione e consumo sostenibile, stanno sviluppando tipologie di programmi differenti per il raggiungimento di tali obiettivi, tra cui programmi di educazione ambientale in ambito residenziale. I cambiamenti comportamentali, però, non dipendono dalla semplice trasmissione delle conoscenze. Il nostro agire è il risultato dell'interazione di differenti fattori interni ed esterni, legati a competenze, emozioni, norme sociali percepite, background culturale [31; 32; 33; 34]. Inoltre, non è sempre chiaro quale sia il comportamento più corretto per ogni situazione specifica. Storicamente, i governi hanno cercato di modificare il comportamento, ad esempio tramite l'aumento dei prezzi dell'energia, delle aliquote fiscali, oppure imponendo l'uso di nuove tecnologie. Avremo, tuttavia, modifiche comportamentali durature soltanto quando i cittadini valuteranno positivamente i pro e i contro, non tramite semplici fattori esterni imposti. Un esempio ne è la riduzione del consumo di carburante durante le crisi petrolifere, che comportarono un aumento dei prezzi: quando i prezzi ritornarono ai livelli precedenti, il consumo tornò ad aumentare. Tali modifiche comportamentali, quindi, non erano che la conseguenza di prezzi più alti. Per cambiare veramente le abitudini occorre introdurre nuovi valori capaci di raggiungere tutti i livelli della società.

L'educazione è in grado di influenzare il comportamento dei cittadini, di informarli sulle questioni ambientali e sulle politiche energetiche da utilizzare per favorire taluni cambiamenti nelle loro abitudini. L'insegnamento fine a se stesso però, limitandosi a dire cosa è giusto o non giusto fare, non comporta risultati efficaci relativamente a modifiche comportamentali in merito alla sostenibilità [35], l'educazione ambientale dovrebbe invece concentrarsi sulla capacità di azione, su abilità e attitudini per affrontare in modo efficace i problemi della sostenibilità da un punto di vista pratico [36]. Dal momento che le persone

imparano dalla propria esperienza [37], se gli utenti non hanno alcuna esperienza nell'affrontare i problemi del mondo reale, non potranno acquisire nessuna capacità di azione. Nel processo di insegnamento-apprendimento, infatti, si tiene spesso conto di due approcci: quello basato su modelli pedagogici, riguardanti l'acquisizione diretta di competenze e conoscenze, e quello basato su modelli psicologici, che si ispirano alla teoria del comportamento. In generale, i sistemi didattici per la sensibilizzazione alla sostenibilità ambientale si sviluppano attraverso varie fasi. Questi sistemi inizialmente forniscono conoscenze e competenze che stimoleranno gli utenti a farsi una propria opinione in merito alle tematiche energetico-sostenibili e in seguito li condurranno a prendere decisioni e ad agire sul piano concreto.

È auspicabile che i processi di educazione siano corroborati anche da metodologie psicologiche che possano stimolare l'interesse degli utenti in un contesto sociale. In particolare, è molto valida la metodologia denominata "apprendimento basato su progetti", mediante la quale gli utenti analizzano la situazione, cercano risposte e forniscono soluzioni. Il metodo psicologico, definito anche "pedagogia dell'impegno", ha dimostrato una notevole importanza, soprattutto se preceduto da una buona preparazione. Anche in questo caso, la principale ambizione del processo è incoraggiare i singoli individui ad assumersi le responsabilità e a padroneggiare gli argomenti, in modo che siano essi stessi a cambiare il comportamento, interiorizzando i valori fondamentali del progetto a cui partecipano [38].

### **Engagement come fenomeno partecipativo**

Il termine, mutuato dal marketing e in generale dalle teorie della comunicazione integrata d'impresa, in questo contesto definisce l'impegno civile, intendendo quell'insieme di azioni individuali e collettive volte a definire e affrontare problematiche energetiche e ambientali ai fini di un futuro più sostenibile. Alla base del successo di ogni programma di engagement vi è la partecipazione degli utenti che contribuisce al raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità preposti. L'International Association for Public Participation (IAP2), dopo un confronto internazionale durato due anni in merito al *civic engagement*, ha individuato quali sono gli aspetti della partecipazione pubblica, definendone i suoi valori fondanti. Tali aspetti possono essere considerati la base del successo anche relativamente a programmi di engagement ambientale per questo progetto.

1. La partecipazione pubblica si basa sulla convinzione che coloro che sono interessati a o da una decisione abbiano il diritto o di essere coinvolti nel processo di assunzione della decisione stessa.
2. La partecipazione pubblica include la promessa che il contributo del pubblico eserciterà effettivamente un'influenza sulla decisione finale.
3. La partecipazione pubblica promuove decisioni sostenibili riconoscendo e comunicando le esigenze e gli interessi di tutti i partecipanti, inclusi coloro che assumono le decisioni finali.
4. La partecipazione pubblica ricerca e facilita il coinvolgimento di coloro che sono potenzialmente interessati da una decisione.
5. La partecipazione pubblica ricerca il contributo dei partecipanti nel progettare le modalità con cui partecipano.
6. La partecipazione pubblica fornisce ai partecipanti le informazioni necessarie affinché possano partecipare in modo significativo.
7. La partecipazione pubblica comunica ai partecipanti come il loro contributo abbia influenzato la decisione finale.

L'engagement, dunque, è un ambiente sociale in cui si attivano percorsi di formazione ed educazione dove ciò che conta non è il tempo dedicato al percorso, ma il livello di partecipazione che esso riesce ad ottenere [39]; è uno spazio che genera valore, in cui si incontrano le esigenze degli utenti e gli obiettivi del progetto, dove gli utenti che prendono parte ad un processo decisionale hanno più possibilità di sviluppare la loro azione; è una dinamica attiva, varia di intensità a seconda delle persone coinvolte e dei momenti; è immediatezza, tanto più i risultati sono visibili e immediati, tanto più sarà alto il livello di coinvolgimento e il senso di soddisfazione e fiducia che gli studenti possono provare; è un processo che si autoalimenta:

usufruire di un servizio, di un oggetto, alla cui definizione e creazione si è preso parte attiva, aumenta il livello di appagamento e rende molto probabile che si rinnovi l'impegno; è metodo le cui linee di lavoro variano nel tempo perché, sottoposte a continua verifica, richiedono di essere modificate.

### La tecnologia persuasiva: general overview

L'utilizzo dei computer come tecnologia persuasiva (*CAPT-ology*"captologia") è una recente proposta per indurre dei cambiamenti nel comportamento umano attraverso la tecnologia. La *CAPT-ology* mira a modificare le impostazioni della mente, le attitudini ed i comportamenti degli utenti tramite l'interazione "dispositivo tecnologico-utente", la progettazione del programma e la ricerca/analisi insieme ad altri mezzi escludendo la presenza di qualsiasi tipo di coercizione. La disciplina della computazione persuasiva rientra nell'ambito di applicazione sia delle tecnologie informatiche (internet, giochi per il computer e così via) sia della persuasione psicologica (il cambio del movente di azione, l'attitudine ed i comportamenti). La comunicazione persuasiva ha una piuttosto ampia gamma di applicazioni, tra cui l'influenza nel campo morale, la coltivazione delle abitudini sportive, così come anche l'igiene personale e la salute.

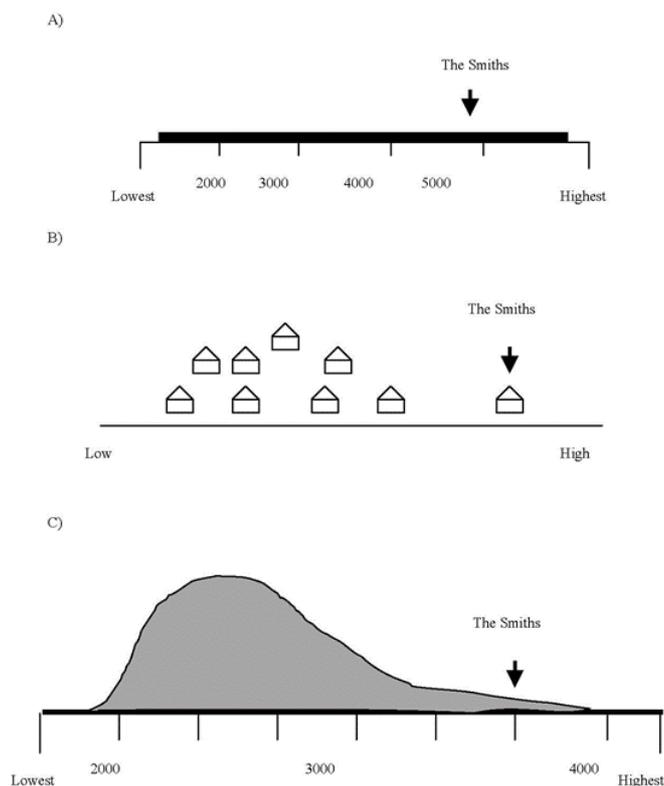
I modelli attuali di feedback sul consumo di elettricità trasmettono solamente le informazioni monitorate in forma di dataset e grafici statistici. Al fine di aumentare l'intensità di trasmissione delle informazioni di feedback per un migliore effetto sul comportamento energeticamente virtuoso, diversi studi hanno sviluppato dei modelli persuasivi di feedback che enfatizzano e migliorano la visualizzazione delle informazioni, l'intensità di interazione con l'utente e la persuasione subconscia degli occupanti. Questi studi prevedono che gli utenti potrebbero essere persuasi a praticare comportamenti che ridurrebbe il consumo di energia elettrica, se la persuasione è sufficientemente efficace. Pertanto, il processo di persuasione deriva dalle caratteristiche e dalle tendenze dell'utente.

Secondo Fogg [40], la tecnologia persuasiva può essere definita come una tecnologia che è stata progettata per cambiare le attitudini o gli comportamenti degli utenti attraverso la persuasione e l'influenza sociale. Il feedback è definito come un'informazione riguardante il risultato di un processo o un'azione che può essere utilizzata per modificare o controllare un altro processo o sistema, soprattutto evidenziando la differenza tra la i risultati desiderati e quelli effettivi. Ci sono stati vari studi sui feedback legati al risparmio energetico ed a comportamenti generali in diversi campi, come per esempio la psicologia, sulle interazioni uomo - computer e sulla tecnologia ingegneristica. Pertanto, il feedback gioca un ruolo fondamentale nell'implementare la consapevolezza sull'energia, sul risparmio energetico e sulle motivazioni necessarie nei vari ambienti domestici e soprattutto nelle case per studenti. Perciò la tecnologia persuasiva è il concetto, l'interfaccia del feedback in tempo reale viene impiegato per l'implementazione e la sostenibilità di questo concetto al fine di formare un sistema convincente. Il feedback può essere descritto come "il meccanismo che dirige l'attenzione verso un obiettivo specifico". La forma più comune di feedback informa i partecipanti sul loro consumo di energia, spesso facendo dei confronti con il passato. Poiché la maggior parte delle persone ha una scarsa consapevolezza circa il loro consumo di energia o il suo impatto, l'utilizzo di promemoria periodici sul consumo energetico possono rendere l'uso dell'energia più consapevole ed aiutare ad implementare azioni finalizzate al risparmio energetico. Oltre a ciò, conoscere il proprio modo d'uso dell'energia elettrica può aumentare la consapevolezza nell'intraprendere azioni virtuosi per risparmiare energia. Se gli individui percepiscono il loro impatto come trascurabile, potrebbero non comportarsi in maniera virtuosa. Di conseguenza, rendere un individuo più consapevole del proprio consumo di energia può contribuire in maniera significativa al risparmio energetico globale.

### Strategie della comunicazione persuasiva

Dalla letteratura riguardante le informazioni di feedback emerge poca chiarezza su come si può al meglio raggiungere il potenziale di risparmio energetico nell'ambito residenziale. Il raggiungimento di obiettivi e di valori di riferimento (*benchmark*) può contribuire in modo significativo a svolgere una vasta gamma di comportamenti sociali, accademici e cognitivi. Inoltre, se viene mostrato agli utenti quanta energia stanno consumando rispetto agli altri occupanti, proveranno una sensazione di soddisfazione se stanno facendo

meglio degli altri consumatori. Per questo motivo il design della visualizzazione sul dispositivo elettrico (*display*) potrebbe essere sviluppato in modo tale da sfruttare l'ambizione competitiva dell'utente, facendo partecipare i nuclei familiari ad una sorta di competizione energetica (*energy race*). Se agli utenti vengono fornite delle informazioni su quanta energia essi consumano, paragonando statisticamente questi dati con quelli degli altri consumatori con caratteristiche simili (numero di persone, età, dimensione dell'abitazione, ecc.), potrebbero essere più motivati ad adottare un comportamento energeticamente virtuoso dato che si rendono conto se il loro comportamento li porta a vincere o perdere la competizione energetica (Figura 75).



**Figura 75. Rappresentazione grafica del feedback normato in forma lineare (A), in forma di una curva a campana composta dalle diverse abitazioni (B) e una curva normale (C)[41].**

Per quanto riguarda la forma della visualizzazione dei feedback è importante sottolineare come le unità di misura abbiano un'influenza significativa sul consumatore in quanto esse sono fondamentali per l'effettiva comprensione della misurabilità e della rilevanza del consumo energetico. Usando i kWh come unità di misura per la visualizzazione potrebbe sembrare la scelta più ovvia per i tecnici al fine di quantificare il consumo di energia. La comprensione di questa unità di misura da parte degli utenti potrebbe essere comunque limitata: la maggior parte della gente comune non capisce le unità di misura di energia e trovano difficoltà a quantificare 1 kWh ed a valutare quanta energia è necessaria per i diversi usi finali. Inoltre, le persone potrebbero non capire la rilevanza tra la quantità di energia consumata ed il suo impatto sull'ambiente.

Per di più, ai consumatori dovrebbe essere mostrato quanto denaro stanno spendendo per l'uso dei diversi dispositivi elettrici. Wood e Newborough [42] hanno evidenziato che questo concetto potrebbe essere efficace solamente se i risparmi sono importanti. In ogni modo, nella maggior parte dei casi, i risparmi monetari saranno minori in proporzione alla spesa totale per unità di tempo totale. Di conseguenza la visualizzazione delle unità di misura monetarie potrebbe essere inefficace o addirittura inutile al fine di motivare e mantenere un comportamento energeticamente virtuoso. Le persone potrebbero considerare il loro consumo energetico solo come una piccola parte della loro spesa totale, riducendo così la percezione dell'uso energetico domestico ad un fenomeno poco importante o banale.

La visualizzazione degli impatti ambientali rappresenterebbero differenti effetti indiretti che un consumatore potrebbe avere sull'ambiente. Più dei valori di emissioni di CO<sub>2</sub> evitati tramite un miglioramento del comportamento energetico in ambito domestico, si potrebbero fornire ai consumatori delle stime approssimative relative al degrado ambientale (es. i metri quadri salvati dalla desertificazione o dalla deforestazione). Ulteriori effetti ambientali positivi associati al risparmio energetico potrebbero consistere in un sistema nel quale degli alberi vengono effettivamente piantati grazie al comportamento energetico virtuoso degli utenti. Tuttavia, le unità di misura degli effetti ambientali indiretti sono generalmente difficile da quantificare e l'accuratezza della stima sarebbe sempre discutibile.

**Tabella 20. Strategie di engagement in ambito residenziale presentate.**

<b>Strategia persuasiva</b>	<b>Metodologia persuasiva ed esperimenti</b>
<b>Strategia ex-ante: Informazione/educazione</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Il posizionamento di segnalazioni vicino agli interruttori della luce hanno portato alla riduzione del 60% dell'uso energetico per l'illuminazione artificiale.</li> <li>• Dei manifesti (poster) incentrati sulla consapevolezza energetica in un complesso residenziale per studenti hanno portato ad una riduzione del 30% del consumo di energia nella prima settimana e ad una riduzione del 9% nella seconda settimana [43].</li> </ul>
<b>Strategia ex-ante: Dimostrazione</b>	Un programma TV di 20 minuti sul risparmio energetico svolto in un periodo di 9 settimane ha fatto risultare una riduzione del 10% dei consumi energetici [44].
<b>Strategia ex-post: Ricompensa monetario</b>	Il ricompensa viene stabilito in base all'energia risparmiata; lo studio si svolge in una residenza per 80 studenti per 90 giorni. Il risultato è la riduzione del 33% del consumo energetico e una riduzione del 18% rispetto a quei utenti a cui sono stati forniti solamente dei feedback sul consumo energetico [43].
<b>Strategia ex-post: Feedback scritto</b>	Feedback giornaliero sulla percentuale dell'energia elettrica prevista per quel giorno su un riquadro posto all'esterno della finestra della cucina in 29 case per un mese; i risultati mostrano una riduzione del 10,5% del consumo energetico [45].
<b>Strategia ex-post: Encomio sociale/ricompensa</b>	L'encomio sociale per il feedback sul consumo di olio combustibile in 122 abitazioni monitorate per 4 mesi. I risultati mostrano una riduzione significativa del consumo di olio da 0,146 gal/giorno a 0,129 gal/giorno [46].
<b>Strategia ex-post: Feedback sulla bolletta elettrica</b>	La frequenza delle bollette elettriche viene aumentata e queste ultime arrivano insieme a dei grafici che riportano dati storici e consigli per il risparmio energetico in 1386 abitazioni monitorate per 2 anni. I risultati mostrano una riduzione del 10,5% del consumo energetico nel primo anno e una riduzione del 7,5% nel secondo anno [41].
<b>Strategia ex-post: Feedback elettronico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La visualizzazione elettronica dei feedback in 25 edifici nuovi per 11 mesi utilizzando il <i>Fitch Energy Monitor</i> nel quale l'energia viene misurata dall'alimentazione della rete. Il consumo di energia risulta ridotto del 12% [47].</li> <li>• Il <i>Residential Electricity Cost Speedometer (RECS)</i> software viene installato sui computer di 25 abitazioni portando alla riduzione del 12,9% del consumo energetico [48]</li> <li>• L'inserimento manuale dei valori del lettore energetico da parte degli utenti sui loro PC in 120 abitazioni per 9 mesi ha portato ad una riduzione del 15% del consumo energetico [49].</li> </ul>

### 3 Conclusioni

L'analisi di letteratura condotta sulle "Smart Home" ha permesso di evidenziare come la loro nascita e il loro sviluppo abbiano perseguito l'obiettivo iniziale di mettere in campo nuove tecnologie in grado di migliorare la qualità della vita dell'essere umano in ambienti antropizzati. I servizi offerti dalle Smart Home inizialmente sono stati legati all'ambito dell'Assisted Living, Sicurezza e Intrattenimento, e solo in un secondo tempo è stata spostata l'attenzione verso i temi dell'efficienza energetica. Con l'introduzione della normativa europea sui "Building Automation Control Systems" (BACS) (EN 15232:2007), la domotica ha assunto infatti un ruolo sempre più importante. I Building Automation Controls (BACs), ossia tutti i sistemi di controllo automatico degli edifici, hanno una funzione fondamentale per l'effettiva efficienza e sostenibilità in esercizio degli edifici.

L'analisi di letteratura ha portato ad evidenziare i possibili servizi da offrire agli utenti della sperimentazione e ad individuare la rete di variabili di sensori ed attuatori che costituiscono i diversi kit di sperimentazione previsti.

L'analisi sulle Smart Home è stata completata con la descrizione dei possibili mezzi trasmissivi. In generale è possibile distinguere tra mezzi di trasmissione che fanno uso di cavi (in inglese *wired*) e mezzi che utilizzano vari tipi di segnale senza utilizzo di cablaggio (*wireless*).

L'analisi di letteratura ha preso in considerazione anche uno studio critico sulla diffusione della Smart Home nel mercato odierno. Infatti, nonostante i decenni di sperimentazioni e sviluppo, la domotica non ha ancora avuto una diffusione davvero ampia. Sono stati analizzati dunque i fattori che influiscono sulla disponibilità a pagare degli acquirenti (in inglese *Willingness to pay*) per determinati prodotti o servizi legati alle Smart Home. In particolare, le maggiori "social barriers" sono risultate:

- la possibilità di ottenere un risparmio economico di gestione;
- la percezione di utilità legata alle informazioni sull'utilizzo dell'energia;
- la consapevolezza ambientale dell'acquirente;
- l'intenzione di cambiare le proprie abitudini ed il proprio comportamento all'interno della propria abitazione;
- la fiducia nel trattamento "sicuro" dei propri dati (in termini di *privacy*).

Il progetto di una Smart Home dovrebbe sempre tenere in considerazione le effettive necessità degli acquirenti, perché sono loro a stabilire quanto sarebbero disposti a pagare per un certo servizio. Inoltre, il comportamento degli utenti all'interno delle abitazioni risulta cruciale per la determinazione dei consumi energetici finali. Gli utenti dunque dovrebbero essere informati ed educati sul proprio profilo di utilizzo dell'energia nella propria abitazione. Da qui l'importanza di individuare meccanismi efficaci di educazione e feedback con i quali fornire agli utenti le informazioni specifiche sulla relazione "azione-consumo" (comunicazione persuasiva).

#### Attività 2.1.1

In questa attività sono stati individuati tre diversi kit di sperimentazione (Full optional, Medium, Base) ai quali è stato associato un diverso livello di automazione e monitoraggio. Per ogni kit è stata definita la rete di sensori ed attuatori da testare nella sperimentazione in campo. L'obiettivo è stato quello di individuare il numero di variabili capaci di fornire indicazioni diagnostiche del sistema edificio-utente-impianto. Sulla base della classificazione fatta sopra circa i possibili approcci di conduzione della misura, è possibile pensare a un ordine gerarchico che a seconda dello scopo può consentire di massimizzare i vantaggi connessi al monitoraggio e minimizzarne i costi. Per ogni servizio sono state individuate le variabili energetiche ed ambientali da monitorare e gli attuatori previsti.

#### Attività 2.1.2

In questa attività si è caratterizzata la prestazione energetica degli edifici attraverso opportuni indicatori della prestazione energetica dell'edificio (domanda di energia elettrica, termica e energia autoprodotta) e di comfort globale (termico, visivo, acustico e qualità dell'aria).

È stato definito un approccio metodologico utile a elaborare dati provenienti dal monitoraggio e sono stati identificati indici sintetici con i quali analizzare una quantità consistente di dati. Per ognuno degli indicatori proposti è stata fatta una descrizione sulla funzionalità, il metodo di calcolo e relativa unità di misura. Sono stati individuati indicatori per le seguenti aree: prestazione energetica totale dell'edificio, prestazioni termiche, elettriche, consumo di acqua potabile. Inoltre, a partire dalle variabili ambientali monitorate, la qualità microclimatica dell'ambiente interno viene valutata identificando degli indici che sono stati suddivisi in quattro ulteriori categorie: indicatori della qualità termo-igrometrica, indicatori della qualità luminosa, della qualità acustica e della qualità dell'aria.

### Attività 2.1.3

L'obiettivo di questa attività è stato quello di individuare una metodologia robusta di attuazione di uno o più elementi di controllo della Smart Home. Sono state quindi definite le logiche di controllo per tre diversi livelli di automatismo in modo tale da ottenere come risultato della sperimentazione in campo l'identificazione di una soglia ottimale tra il livello di automazione e l'educazione degli utenti. In particolare, al kit "Full optional" si è associato il più alto livello di automazione ("High level automation"), al kit "Medio" un minor livello di automazione inserendo nel processo il coinvolgimento attivo dell'utente ("Medium level automation"), infine un elevato livello di coinvolgimento dell'utente ("Base level automation") è stato proposto per il kit "Base". Nelle diverse sezioni per High Level Automation, Medium e Base, gli algoritmi di controllo sono stati divisi per stagione di riscaldamento e raffrescamento e hanno preso in considerazione le seguenti condizioni:

- 1) Comfort visivo:
- 2) Qualità dell'aria:
- 3) Comfort Termico

Inoltre sono state definite delle regole di "data fusion" al fine di estrarre e dedurre informazioni relative alle abitudini dell'utenza in termini di modalità d'uso dei sistemi energetici e della dinamica di occupazione dell'edificio e delle sue zone. Tali regole si basano sull'elaborazione delle variabili monitorate dai 3 Kit.

### Attività 2.1.4

In questa attività sono state individuate sei categorie di feedback per le quali sono fornite descrizione e definizione della frequenza del loro invio. Le categorie sono le seguenti:

1. Standard Billing;
2. Enhanced billing;
3. Estimated feedback;
4. Daily/Weekly feedback;
5. Real-time feedback;
6. Appliance-level, Real-time feedback.

Per raggiungere l'obiettivo dichiarato, ossia fornire agli utenti uno strumento efficiente per renderli consapevoli del loro comportamento energetico con un sistema persuasivo di monitoraggio in tempo reale e di comunicazione tramite feedback, sono proposti a livello teorico due diverse tipologie di KPI (Key Performance Indicators): quantitativi e qualitativi. Sono stati dunque descritti gli algoritmi che permettono di inviare informazioni agli utenti (sottoforma di KPI). In particolare, sono stati proposti tre indici teorici: Indice elettrico di stile di vita (IEE), Indice termico di stile di vita (ITe) e Indice energetico di stile di vita (IE2).

### Attività 2.1.5

Questa attività ha preso in considerazione la valutazione di benchmark a livello residenziale per l'energia elettrica e l'energia termica. Questi sono stati individuati sulla base di un'utenza standard e dei consumi reali collezionati in altri progetti con l'obiettivo di ridurre i consumi. Le famiglie sono state caratterizzate per nucleo familiare, caratteristiche delle abitazioni, potenza installata.

Sono stati quindi identificate le curve di carico dei principali elettrodomestici presenti nell'abitazione o servizi energetici. In particolare sono state proposte le curve di carico per:

- Apparecchi per la produzione di fluido freddo;
- Apparecchi per l'illuminazione;
- Lavabiancheria e lavastoviglie;
- Apparecchi audiovisivi e personal computer.

#### **Attività 2.1.6**

Questa attività dello studio è si è concentrata sull'aspetto sociale della Smart Home dal momento che l'analisi di letteratura ha evidenziato come la partecipazione e l'educazione degli utenti tramite meccanismi di engagement risulta fondamentale per l'effettiva riduzione dei consumi. Questa attività ha dunque identificato i meccanismi di coinvolgimento nel processo di riduzione dei consumi energetici degli abitanti della Smart Home.

È stata dunque condotta una revisione bibliografica degli studi presenti in letteratura sul tema, dedicata a chiarire l'importanza dell'attivazione di questi meccanismi di engagement degli utenti. In particolare, l'attività ha indagato i tre aspetti seguenti:

- l'engagement come fenomeno partecipativo;
- la tecnologia persuasiva;
- le strategie della comunicazione persuasiva.

## 4 Riferimenti bibliografici

1. 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 accademico 2013-2014, Sessione III.
2. 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.
3. L. C. De Silva, C. Morikawa, I. M. Petra, "State of the art of smart homes", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25 (2012), 1313–1321.
4. M. Rihar, N. Hrovatin, J. Zoric, "Household valuation of smart-home functionalities in Slovenia", *Utilities Policy*, 33 (2015,) 42-53.
5. M. Isshiki, M. Umejima, M. Hirahara, T. Minemura, T. Murakami, S. Owada, "Case study of an ecological, smart home network: iZEUS-intelligent Zero Emission Urban System", *Ecological Design of Smart Home*, (2015), pp. 91–111. NetworksWoodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials.
6. 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.
7. 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.
8. J. Stinson, A. Willis, J. B. Williamson, J. Currie, R. S. Smith, "Visualising energy use for smart homes and informed users", *Energy Procedia*, 78 ( 2015 ), 579 – 584.
9. 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.
10. B. Zhou, W. Li a , K. W. Chan, Y. Cao, Y. Kuang, X. Liu, X. Wang, "Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61 (2016), 30–40.
11. Mahmood, I. Khan, S. Razzaq, Z. Najam, N. A. Khan, M. A. Rehman, N. Javaid, "Home Appliances Coordination Scheme for Energy Management (HACS4EM) using Wireless Sensor Networks in Smart Grids", 5th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT-2014) London, *Procedia Computer Science*, 32 ( 2014 ), 469 – 476.
12. R. de Dear, G. Brager, D. Cooper, "Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference", *Final Report Ashrae*, Rp- 884 (1997).
13. S. Darby, "Awareness, Action and Feedback in Domestic Energy Use", Unpub-lished DPhil thesis, Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford, 2003.
14. S. Darby, "Social learning and public policy: lessons from an energy-conscious village", *Energy Policy*, 34 (2006), 2929–2940.
15. B.J. Fogg, "Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do" (2003). Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco.
16. D. Berdichevsky, E. Neunschwander, "Toward an ethics of persuasive technology", *Communications of the ACM*, 42 (5) (1999), 51–58.
17. A. Leaman, B. Bordass, "Assessing building performanc in use 4: The Probe occupant surveys and their implications", *Building Research & Information*, 29(2) (2001), 129–143.
18. S. Karjalainen, "Consumer Preferences for Feedback on Household Electricity Consumption", *Energy and Buildings*, Vol. 43 No. 2-3(2011), pp. 458-467.
19. H.M. Chen, C. W. Lin, S.H. Hsieh, H.F. Chao, C.S. Chen, R.S. Shiu, S.R. Ye, Y.C. Deng, "Persuasive feedback model for inducing energy conservation behaviors of building users based on interaction with a virtual object", *Energy and Buildings*, 45 (2012), 106-115.
20. S. Darby, "Making it obvious: designing feedback into energy consumption", *Proceedings of the 2nd International Conference on EnergyEfficiency in Household Appliances and Lighting*, Italian Association of EnergyEconomists/EC-SAVE Programme, (2000).

21. J.A. Veitch, R. Gifford, "Assessing beliefs about lighting effects on health, performance, mood and social behavior", *Environ Behavior*, (1996), 446-70.
22. 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.
23. 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).*
24. "Residential Electricity Use Feedback: A Research Synthesis and Economic Framework", EPRI, Palo Alto CA (2009), 1016844.
25. European Commission, "EU energy trends to 2030", Publications Office of the European Union, Luxembourg (2009). ISBN 978-92-79-16191-9.
26. Energy@home Technical Team, "Energy@home Use Case", version 1.2.
27. "Misura dei consumi di energia elettrica nel settore domestico. Risultati delle campagne di rilevamento dei consumi elettrici presso 110 abitazioni in Italia". Energy Department, Polytechnic of Milan (2004).
28. W. Poortinga, L. Steg, C. Vlek, G. Wiersma, "Household preferences for energy-saving measures: a conjoint analysis", *Journal of Economic Psychology*, 29 (2005), pp. 49-64.
29. Ballarini I., Corgnati S.P., Corrado V., Talà N., "Building Typology Brochure – Italy", Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana, Italian TABULA Report, (2011).
30. J. Barber, 2003. "Production, consumption and the world summit on sustainable development, Environment, Development and Sustainability 5 (1-2), 63-93.
31. A. Kollmuss, J. Agyeman, "Mind the Gap: why people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behaviour?" *Environmental Education Research*, 8 (3) (2002), 239-260.
32. J.E. Heimlich, N.M. Ardoin, "Understanding behaviour to understand behaviour change: a literature review", *Environmental Education Research*, 14 (3) (2008), 215-237.
33. H.R. Hungerford, T.L. Volk, "Changing learner behaviour through environmental education" *The Journal of Environmental Education*, 21 (3) (1990), 8-21.
34. L. Chawla, D.F. Cushing, 2007. "Education for strategic environmental behaviour", *Environmental Education Research*, 13 (4) (2007), 437-452.
35. B. Jensen, K. Schnack, "The action competence approach in environmental education", *Environmental Education Research*, 3 (2) (1997), 239-260.
36. S. Breiting, F. Mogensen "Action competence and environmental education", *Cambridge Journal of Education*, 29 (3) (1999), 349-353.
37. D. Kolb, "Experiential Learning. Experience as the Source of Learning and Development", Prentice Hall, 1984.
38. A. Stefanini, 2010. "Le emozioni: patrimonio della persona e risorsa per la formazione". Tesi di dottorato, Università di Padova, Padova.
39. J. Cincera, J. Krajhanzl. "Eco-schools: what factors influence pupils' action competence for pro-environmental?", *Journal of Consumer Policy*, 34 (2013), 9-23.
40. B.J. Fogg, "Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do", (2003) Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco.
41. H. Wilhite, R. Ling, "Measured energy savings from a more informative energy bill", *Energy and Buildings*, 22 (2) (1995), 145-155.
42. G. Wood, M. Newborough, "Design and Functionality of Prospective of Energy Consumption Displays". *Proceeding of the 3rd International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting (EEDAL 2003).*
43. S.C. Hayes, J.D. Cone, "Reducing residential electricity energy use: payments, information, and feedback", *Journal of Applied Behavior Analysis*, 10 (1997), 425-435.
44. R.A. Winnett, I.N. Leckliter, D.E. Chinn, B. Stahl, 1984. "Reducing energy consumption: the long-term effects of a single TV program", *Journal of Communication*, 34 (3) (1984), 37-51.
45. C. Seligman, J.M. Darley, L.J. Becker, 1977-78. "Behavioural approach to residential energy conservation", *Energy and Building*, 1(3) (1977-78), 325-337.

- 46.W.B. Seaver, A.H. Patterson,"Decreasing fuel oil consumption through feedback and social commendation", *Journal of Applied Behavior Analysis*, 9 (1976), 147-152.
- 47.L. and S.McClelland,W. Cook,"Energy conservation effects on continuous in-home feedback in allelectric homes", *Journal of Environmental Systems*, 9 (2) (1979), 169-173.
- 48.J.K. Dobson, J.D.A. Griffin,"Conservation Effect of Immediate Electricity Cost. Feedback on Residential Consumption Behaviour", *American Council for an Energy Efficient Economy (ACEEE), Summer Study on Energy Efficiency in Buildings* (1992).
- 49.G. Brandon, A. Day, "The impact of feedback on domestic energy consumption", *Proceedings of the Sustainable Building Conference* (1997), 26-31.
- 50.Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353
- 51.Zimmermann, H. J. (2001). *Fuzzy Set Theory and its Application*, 4th Revised Edition. Boston: Kluwer Academic Publishers.
52. Gottwald, S. (2008). Foundations of a theory for fuzzy sets. 40 years of development. *International journal of general systems*, 37(1), 69–81.
- 53.Pierluigi Siano. "Demand response and smart grids—A survey". In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30 (2014), pp. 461–478
- 54.VSKM Balijepalli et al. "Review of demand response under smart grid paradigm". In: *Innovative Smart Grid Technologies-India (ISGT India)*, 2011 IEEE PES. IEEE. 2011, pp. 236–243
- 55.Lucia Iguualada et al. "Optimal energy management for a residential microgrid including a vehicle-to-grid system". In: *Smart Grid, IEEE Transactions on* 5.4 (2014), pp. 2163–2172.

## 5 Bibliografia consultata

Gianfranco Caforio. "Strumenti e metodi per il controllo e il monitoraggio energetico nelle smart home", prova finale di Laurea triennale in Ingegneria Energetica, Politecnico di Torino, Luglio 2016

Giulia Valle. "Stato dell'arte e prospettive future delle Smart Home". Prova finale di Laurea triennale in Ingegneria Energetica, Politecnico di Torino, Luglio 2016

## 6 Curriculum vitae degli Autori del Rapporto Tecnico

### *Alfonso Capozzoli*

Alfonso Capozzoli (1979), ingegnere meccanico e dottore di ricerca in ingegneria dei sistemi meccanici, è attualmente ricercatore (con un contratto in “tenure track” per la posizione di professore associato) presso il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino.

Dal 2014 ha ottenuto l’abilitazione scientifica nazionale alle funzioni di professore universitario di seconda fascia. E’ docente nei corsi di laurea in Architettura per il progetto sostenibile e in Ingegneria Energetica del Politecnico di Torino.

Dal 2007 al 2012 è stato professore a contratto in fisica tecnica, fisica tecnica ambientale, impianti termotecnici, presso l’Università degli Studi di Napoli Federico II ed il Politecnico di Torino.

Nel Dipartimento di Energia opera nel gruppo di ricerca TEBE ed è autore di circa 70 pubblicazioni scientifiche sugli impianti di climatizzazione, sulla simulazione energetica dinamica della prestazione degli edifici, sulla fisica dell’edificio, sul controllo dell’umidità e sull’applicazione di modelli inversi e tecniche di data analytics per la gestione e la diagnostica energetica degli edifici.

E’ stato chairman in diverse sessioni tecniche in conferenze internazionali sulla prestazione energetica degli edifici e membro di comitati organizzatori/scientifici. E’ “general chair” della prossima conferenza internazionale SEB 16 (Sustainability in Energy and Buildings 2016).

E’ stato membro del consiglio direttivo della sezione italiana di IBPSA (International Building Performance Simulation Association) ed è attivo in progetti di ricerca sulla prestazione energetica degli edifici finanziati dalla Commissione Europea e in gruppi di ricerca dell’agenzia internazionale dell’energia (IEA). E’ revisore per prestigiose riviste internazionali nei settori dell’energetica dell’edificio. E’ responsabile scientifico di diverse convenzioni di ricerca per il Politecnico di Torino.

### *Stefano Paolo Corgnati*

Stefano Paolo Corgnati (01.03.1973), laureato con lode in Ingegneria Meccanica e Dottore di Ricerca in Energetica, è Professore Associato di Fisica Tecnica Ambientale presso il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino. Svolge attività di docenza nelle discipline della “Fisica tecnica ambientale”, “Fisica dell’edificio” e “Progetto e gestione dei sistemi edificio-impianti”, principalmente nei corsi di studio di architettura e ingegneria edile. Partecipa da anni attivamente al progetto “Erasmus Mundus” Teaching Mobility Program della Comunità Europea, tenendo corsi di approfondimento in particolare presso la Istanbul Technical University, la Danish Technical University, l’Università di Coimbra e la ETSAB di Barcellona. Nel Dipartimento di Energia opera nel gruppo di ricerca TEBE ([www.polito.it/tebe](http://www.polito.it/tebe)) e svolge attività di ricerca nei settori dell’uso razionale dell’energia, delle tecnologie edilizie ed impiantistiche per il condizionamento ambientale, ponendo particolare attenzione alla progettazione degli edifici ad alta prestazione energetica e del comfort climatico degli ambienti confinati.

Fin dallo sviluppo del suo dottorato di ricerca, ha approfondito gli studi nel settore della climatizzazione con pannelli radianti, investigando e proponendo nuovi modelli interpretativi dei meccanismi di scambio termico e l’accoppiamento tra i sistemi radianti e le differenti strategie di ventilazione, conducendo i propri studi in collaborazione con la Aalborg University (DK). Autore di oltre duecentocinquanta pubblicazioni a carattere scientifico, didattico e divulgativo, è stato co-autore della REHVA Guidebook “Indoor Climate Quality Assessment”. Per le sue ricerche, nel 2009 è stato vincitore del premio REHVA “Young Scientist Award”. Nel 2011 è inoltre stato nominato “REHVA Fellow”. È stato ed è impegnato in numerosi progetti europei (Polycity, DATAMINE, TABULA, BECA, ENERSCAPE, NearlyZeroEnergyHotel) inerenti le prestazioni energetiche degli edifici esistenti e di nuova costruzione. Ha partecipato al progetto italiano di rilevante interesse nazionale PRIN2003 relativo alla certificazione energetica degli edifici e PRIN2006 relativo alla

certificazione della qualità ambientale indoor. È stato parte del pool di esperti della CE per il progetto ManagEnergy. Dal 2016, ha assunto la carica di Presidente REHVA per il mandato 2016-2019.

### *Valentina Fabi*

Valentina Fabi, architetto, ha conseguito il titolo di dottore di ricerca in Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito nel 2013 presso il Politecnico di Torino. I suoi studi si sono concentrati sul tema del comfort ambientale già durante la laurea magistrale, sviluppando una tesi di laurea legata alla misurazione e relativa elaborazione dei dati della qualità microclimatica degli spazi costruiti. Con la tesi di dottorato ha approfondito il tema del comfort legato agli utenti, identificando una metodologia di sviluppo di modelli previsionali comportamentali ed energetici; acquisendo inoltre competenze multidisciplinari legate al campo della tecnologia di comunicazione e del coinvolgimento degli utenti in programmi di sostenibilità ambientale. Attualmente lavora come ricercatrice a contratto presso il Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino, dove si occupa di valutazioni energetiche ed ambientali legate al comportamento degli utenti degli spazi costruiti.

### *Fiorella Lauro*

Ha conseguito la Laurea Specialistica in Ingegneria dell'Automazione presso l'Università della Calabria ed il Dottorato di Ricerca in Ingegneria Informatica e dell'Automazione presso l'Università degli Studi Roma Tre. È ricercatore a contratto presso il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino nell'ambito del programma di collaborazione IEEB (Indoor Environment and Energy in Buildings) con il Centro Ricerche ENEA Casaccia di Roma. La sua attività di ricerca riguarda i temi della gestione energetica di Smart Building, in particolare la modellazione dei consumi energetici degli edifici attraverso approcci metodologici inversi, l'individuazione di efficaci metodologie diagnostiche dei consumi anomali e l'ottimizzazione dei consumi tramite tecniche di Intelligenza Artificiale e di controllo predittivo. È autore di oltre 10 pubblicazioni scientifiche nazionali e internazionali su queste tematiche.

### *Giorgia Spigliantini*

Giorgia Spigliantini, classe 1991, si laurea con lode in Architettura presso il Politecnico di Torino (2013). Presso la medesima università consegue, con lode, il titolo di dottore magistrale in Architettura Costruzione Città (2015), con una tesi sull'applicazione della *cost-optimal analysis* ad un progetto di retrofit di un edificio rurale piemontese. Da febbraio 2016 è borsista di ricerca presso il dipartimento di Energia del Politecnico di Torino sul tema "*Effetto del comportamento degli utenti sui consumi di edifici a energia zero*". È stata di recente ammessa nella scuola di dottorato in "Beni architettonici e paesaggistici" presso il Politecnico di Torino.