Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Smart Homes Network: realizzazione di un dimostrativo pilota e implementazione dei servizi di aggregazione

S. Romano, S. Pizzuti, S. Fumagalli; C. Snels, O. Gregori

Report RdS/PAR2017/047

SMART HOMES NETWORK: REALIZZAZIONE DI UN DIMOSTRATIVO PILOTA E IMPLEMENTAZIONE DEI SERVIZI DI AGGREGAZIONE

S. Romano, S. Pizzuti, S. Fumagalli, C. Snels, O. Gregori (ENEA)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA
Piano Annuale di Realizzazione 2016
Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici
Progetto: D.6 Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano
Obiettivo: b. Sistemi e servi smart per edifici
Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Gli autori ringraziano Martina Botticelli e Francesca Dionisi per la preziosa collaborazione

Indice

SOMMARIO 5

1 INTRODUZIONE 6

2 DIMOSTRATIVO SPERIMENTALE DI UNA RETE DI SMART HOMES 8

2.1 INQUADRAMENTO GENERALE 8
2.2 FASI DELLA SPERIMENTAZIONE 9
2.3 DESCRIZIONE ABITAZIONI COINVOLTE NELLA SPERIMENTAZIONE 11
2.3.1 Tipologia di utenza 13
2.3.2 Dotazioni impiantistiche 14
2.3.3 Elettrodomestici 15
2.3.4 Impianto d'illuminazione 17
2.4 KIT D'INSTALLAZIONE 18
2.4.1 Energy Box 21
2.4.2 Sensoristica: funzionamento e interfaccia utente 22
ENERGY METER E SMART SWITCH 22
SMART PLUG 23
SENSORE INTEGRATO DI COMFORT-PRESENZA 23
CONTATTO PORTA FINESTRA 24
SMART VALVE 24
2.4.1 Specifiche tecniche dei dispositivi installati. 25
2.4.2 Processamento dei dati 26
2.5 VERIFICA DI FUNZIONAMENTO 27

3 POST PROCESSAMENTO DEI DATI ACQUISITI IN FASE DI SPERIMENTAZIONE 31

3.1 CARATTERIZZAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI PILOTA 31
3.2 ANALISI DEI PROFILI DI UTILIZZO DEGLI ELETTRODOMESTICI 32
3.3 LA LETTERATURA E LE IPOTESI A LIVELLO EUROPEO 33
3.3.1 Periodic appliances: lavatrici e lavastoviglie 33
3.3.2 Continuous appliances: frigoriferi, frigocongelatori 35
3.4 ANALISI UTENZE CENTOCELLE 36
3.4.1 Periodical appliances: lavatrici e lavastoviglie 36
3.4.2 Continuous appliances: frigoriferi, frigocongelatori 38
3.4.3 Considerazioni sull'utilizzo 39
3.5 KPI E FEEDBACK ALL'UTENTE FINALE 40

4 STRATEGIE DI GESTIONE E DIAGNOSTICA ENERGETICA PER L'OTTIMIZZAZIONE DELLA RICHIESTA DI ENERGIA TERMICA E DELLA QUALITÀ AMBIENTALE 47

4.1 SIGNIFICATIVITÀ E QUALITÀ DELLA BASE DI DATI DISPONIBILE 47
4.2 ANALISI DELLA QUALITÀ TERMO-IGROMETRICA DEGLI AMBIENTI INTERNI 47
4.3 ANALISI DEI CONSUMI PER LA CLIMATIZZAZIONE AMBIENTALE (AGGREGATORE 1) 52
4.3.1 Caratteristiche dei condizionatori 52
4.4 CARATTERIZZAZIONE DEI CONSUMI ELETTRICI ATTRAVERSO TECNICHE DI DATA ANALYTICS 53
4.4.1 Discussione 56
4.5 IMPLEMENTAZIONE DI STRATEGIE DI GESTIONE ENERGETICA INTELLIGENTE 57

5 SERVIZI DI AGGREGAZIONE 59

5.1 PIATTAFORMA DI AGGREGAZIONE 59
5.2 INTERFACCIA UTENTE 60
5.3 INTERFACCIA DELL'AGGREGATORE 61
5.4 SERVIZI AGGIUNTIVI 63
5.4.1 Assisted Living 63
5.4.2 App Flessibilità 63

5.4.3 Servizio di sicurezza: Alert "fuori casa" *64*
5.5 VALUTAZIONE DEI BENEFICI 66
6 MODELLO DI QUALIFICAZIONE E VALIDAZIONE DEI CONSUMI RESIDENZIALE 70
6.1 PREMESSA 70
6.2 RACCOLTA DI QUESTIONARI PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLE UTENZE RESIDENZIALI 70
6.3 ANALISI DI SENSIBILITÀ DEI DATI DI INPUT 72
6.4 QUALIFICAZIONE E VALIDAZIONE DEI CONSUMI ELETTRICI E TERMICI 74
7 SIMULAZIONE DEL SERVIZIO DI DEMAND RESPONSE DI UN DISTRETTO URBANO 75
7.1 SIMULAZIONE DI UN DISTRETTO MISTO, RESIDENZIALE E TERZIARIO. 75
7.2 MIGLIORAMENTO DEL SIMULATORE SULLA MODELLAZIONE DELLA FLESSIBILITÀ DEI CARICHI PROGRAMMABILI E IMPLEMENTAZIONE NELLA MATRICE DI FLESSIBILITÀ DELL'AGGREGATORE 76
7.3 SVILUPPO DI UN SISTEMA DI RANKING DELL'AFFIDABILITÀ DEGLI UTENTI PER LA LORO "CHIAMATA" AL MERCATO DI AGGREGAZIONE 77
7.4 SVILUPPO DI MODALITÀ DI INTERAZIONE CON L'UTENTE RESIDENZIALE PER L'OFFERTA DI FLESSIBILITÀ IN AMBITO RESIDENZIALE E SVILUPPO DI ULTERIORI SERVIZI 78
7.5 SVILUPPO DI ALGORITMI DI PREVISIONE DELLA CURVA DAY-AHEAD 78
7.5.1 Descrizione del day matching method e delle varianti applicate *79*
7.5.2 Caso studio Enea *79*
8 FATTIBILITÀ ECONOMICA DI UN AGGREGATORE 81
8.1 MODELLI DI BUSINESS 81
8.2 RISULTATI 84
9 CONCLUSIONI 86
10 ALLEGATO 1 88
11 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 116
12 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI 117

Sommario

L'obiettivo di questa linea di attività è la realizzazione di un dimostrativo di una rete di Smart Homes presso il quartiere di Roma, Centocelle, per la sperimentazione delle soluzioni tecnologiche relative agli Energy Box e la piattaforma di aggregazione sviluppate a partire dalle precedenti annualità. A livello di piattaforma è stata sviluppata un'interfaccia utente per i feedback di tipo educativo e la visualizzazione dei KPI per il benchmarking degli utenti del dimostrativo. Le attività sono state effettuate in collaborazione con il Politecnico di Torino, l'Università Politecnica delle Marche e l'Università La Sapienza di Roma; in particolare in questo rapporto si descrivono le attività sviluppate da ENEA.

In questa annualità le attività sono state finalizzate all'analisi dei risultati conseguiti e alla valutazione della possibilità di integrare i servizi energetici con ulteriori servizi aggiuntivi. Sono state sviluppate anche strategie di gestione e diagnostica energetica per l'ottimizzazione della richiesta di energia termica e della qualità ambientale di alcuni edifici pilota.

E' stato condotto lo studio di un modello di qualificazione e validazione dei consumi elettrici e termici di edifici residenziali basato sul monitoraggio dei consumi nel tempo, così da agevolare l'adozione del modello di smart home sia da parte dell'utente che del potenziale Aggregatore.

Il servizio di Demand Response è stato testato su un Simulatore già sviluppato nelle scorse annualità, che è stato implementato per riprodurre la richiesta energetica di un intero distretto urbano, sia residenziale che terziario. Inoltre sono stati sviluppati algoritmi per l'individuazione della curva di profilo day-ahead del singolo utente, relativa sia ai consumi che all'eventuale autoproduzione con impianto fotovoltaico. Tali algoritmi prevedono l'interazione con l'utente finale per fornire informazioni sullo scheduling dei propri carichi programmabili da implementare, successivamente, a livello di Energy Box. Inoltre è stato studiato il modo con cui un potenziale Aggregatore può effettuare la chiamata su una platea di utenze qualora la capacità messa a disposizione da queste ultime sia superiore alle necessità dell'Aggregatore, l'obiettivo è di mettere a punto un sistema di ranking che valuti l'affidabilità dell'utente nel rispettare la flessibilità contrattata con l'Aggregatore.

Infine è stato condotto uno studio della fattibilità economica degli scenari per la costituzione di un Aggregatore che gestisca i consumi elettrici di un campione eterogeneo di soggetti relativi ai settori residenziale e terziario, in grado di operare sui diversi mercati dell'energia.

1 Introduzione

In quest'annualità sono proseguite le attività intraprese nelle scorse annualità (report RdS/2015/015 e RdS/2016/006) relative alla definizione di un modello replicabile di Smart Homes Network (SHN) in grado di monitorare i consumi energetici, il grado di comfort e sicurezza presso gli edifici residenziali grazie all'impiego a livello delle abitazioni dell' Energy Box e di trasmetterli ad un livello superiore, alla piattaforma di Aggregazione, dove vengono analizzati ed aggregati così da fornire un serie di feedback all'utente.
In particolare sono state implementate le metodologie e gli studi già intrapresi al fine di individuare servizi innovativi di aggregazione da offrire agli utenti del distretto, l'obiettivo è fornire indicazioni per un uso più efficiente e consapevole dell'energia e abilitare un processo di scambio tra le abitazioni e l'Aggregatore per gestire la flessibilità degli utenti e consentirne il benchmarking. A tal fine è stata realizzata un'apposita piattaforma verticale (https://www.smarthome.enea.it/).

Le attività principali di quest'annualità sono state le seguenti:

- Realizzazione del dimostrativo sperimentale;
- Verifiche di funzionamento e analisi dati acquisiti
- Realizzazione dei servizi di Aggregazione e della relativa piattaforma
- Modello di qualificazione e validazione dei consumi energetici
- Implementazione Simulazione del servizio di demand response per un distretto
- Analisi della fattibilità economica di un aggregatore.

In questa annualità è stata avviata la sperimentazione pilota di una rete di Smart Homes, che ha interessato complessivamente 14 abitazioni, di cui 10 presso l'area di Centocelle a Roma e 4 nell'area N-O di Roma. Nelle abitazioni coinvolte è stato installato un kit di sensori commerciali a basso costo e di ridotta invasività, ovvero sensori che comunicano in modalità wireless con protocolli standard ed aperti. Tutti i dati vengono raccolti ed elaborati dall'Energy Box che l'invia all'Aggregatore, dove vengono aggregati e analizzati per fornire agli utenti finali dei feedback. L'attività si è articolata in diverse fasi: engagement degli utenti, audit delle abitazioni coinvolte, installazione del kit di sensori e avvio della sperimentazione, verifiche e messa a punto del sistema.

Completata l'installazione dei sensori è stata effettuata una fase di analisi dei dati acquisiti sia dal punto di vista sia qualitativo che quantitativo, successivamente le grandezze elettriche misurate sono state elaborate al fine di caratterizzare le diverse tipologie di utenze coinvolte nella sperimentazione e le modalità di utilizzo degli elettrodomestici. Successivamente sono state eseguite ulteriori analisi specifiche rese possibili dalla disponibilità dei dati acquisiti durante la sperimentazione, a tal riguardo si vedano anche i seguenti Reports: RdS/ PAR2017/044, RdS/PAR2017/048, Report RdS/PAR2017/049 Report RdS/ PAR2017/050.

In collaborazione con il Politecnico di Torino è stato condotto una studio relativo allo sviluppo di strategie di gestione e diagnostica energetica per l'ottimizzazione della richiesta di energia termica e della qualità ambientale della rete di Smart Homes appartenenti al dimostrativo sperimentale, come descritto in dettaglio nel Report RdS/ PAR2017/050.

Il principale prodotto al termine di questo triennio di attività è stata la realizzazione della piattaforma di aggregazione (https://www.smarthome.enea.it/), inoltre, per la fornitura dei servizi di Aggregazione e la visualizzazione dei feedback sulla sperimentazione in corso sono state implementate due dashboard in funzione del tipo di destinatario: utente e aggregatore. E' stata predisposta una prima interfaccia per consentire all'utente finale di monitorare i propri consumi nel tempo, così da tracciare i propri progressi, e di confrontarsi con gli altri utenti che partecipano alla sperimentazione, così da incentivare un comportamento

competitivo per un uso più efficiente dell'energia. Invece la seconda interfaccia, per l'aggregatore, consente di aggregare tutti i consumi dei singoli utenti e individuare i picchi di richiesta energetica.

Gli scenari di Demand Response sono stati simulati grazie all'implementazione del Simulatore sviluppato nelle scorse annualità in collaborazione con l'Università di Politecnica delle Marche (report RdS/2015/020 e RdS/2016/007) introducendo la modellazione della flessibilità dei carichi termostaticamente controllabili nel settore terziario (scuole, uffici e centri direzionali) nel simulatore termico, sia introducendo ulteriori funzionalità di scheduling dei carichi nel simulatore elettrico. Inoltre, è stata definita un possibile strategia di ranking dei consumatori finali da parte dell'Aggregatore, basata sulla affidabilità degli utenti finali ed è stata definita una metodologia per la stima della curva di consumo day-ahead degli utenti finali, anche supportata da servizi di interazione con l'utente, testati in ambienti reali (report RdS/PAR2017/049).

In collaborazione con l'Università "Sapienza" di Roma è stata studiata una procedura necessaria per la gestione dei rapporti tra un ipotetico aggregatore ed il cliente finale residenziale, come descritto in dettaglio nel report RdS/PAR2017/051. Utilizzando il foglio di calcolo predisposto nel corso della precedente annualità (report RdS/2016/009) sono state raccolte informazioni riguardanti un numero considerevole di utenze residenziali, sulla cui base sono stati elaborati degli scenari alternativi, allo scopo di valutare la sensibilità dei consumi energetici alla variazione dei dati di input così da definire una procedura per la qualificazione dei consumi energetici di un'utenza residenziale, delineandone i tratti essenziali e definendo la dotazione minima di una smart home necessario all'attività dell'aggregatore.

Infine è stata condotto uno studio sulla fattibilità economica di un Aggregatore che possa operare sui diversi mercati dell'energia e dei servizi per poter offrire flessibilità nelle fasi di prelievo di energia elettrica come descritto in dettaglio nel Report RdS/PAR2017/102 a curato in collaborazione con Nomisma energia Srl.
L'obiettivo è stato quello di individuare i possibili modelli di business relativi alla figura dell'Aggregatore ed analizzarli dal punto di vista dei driver e delle barriere che caratterizzano ciascuno di essi. In particolare, ci si è focalizzati sulle potenzialità offerte dall'ottimizzare i consumi aggregati di una pluralità di piccoli consumatori, del residenziale e del terziario, in modo tale da sfruttare i segnali di prezzo dei diversi mercati energetici.

Il sistema di Smart Home Network implementato in questo triennio concorrere a fornire benefici che possono riguardare i seguenti ambiti: Environment, Economy, Energy, Living and People. A questo proposito, in linea con lo studio condotto da RSE nell'ambito di "*Smartainability® da Expo Milano 2015 alle città reali: linee guida*" (febbraio 2016), sono stati prodotti degli indicatori KPI di Smartness per valutare i benefici prodotti dall'uso de sistema di Smart Home implementato.

2 Dimostrativo sperimentale di una rete di Smart Homes

2.1 Inquadramento generale

In questa annualità è stata avviata la sperimentazione pilota di una rete di Smart Homes presso l'area di Centocelle a Roma. Nella sperimentazione sono state coinvolte 10 abitazioni dislocate nei quartieri Prenestino-Centocelle, Alessandrino, Prenestino-Labicano e Don Bosco. Queste abitazioni si sono aggiunte a quelle su cui sono stati condotti dei test nella scorsa annualità nelle zone Trionfale, Boccea Casalotti e nel comune di Mentana si veda il Report RdS/PAR2016/006[1] . In questo modo si sono individuati due gruppi che per convenzione considereremo appartenenti a due differenti Aggregatori. Nella figura seguente sono riportate le posizione delle Smart Homes nell'area romana.
Le abitazioni appartenenti alla rete di smart home già monitorate nella scorsa annualità sono identificate con Energy Box con suffisso **EB**, mentre le smart home che si riferiscono alla sperimentazione di questa annualità sono identificate con la lettera **C**. Rispetto allo scorso anno alcuni utenti si sono ritirati dalla sperimentazione per tale motivo è stato ridefinito il perimetro della sperimentazione e i partecipanti alla sperimentazione.

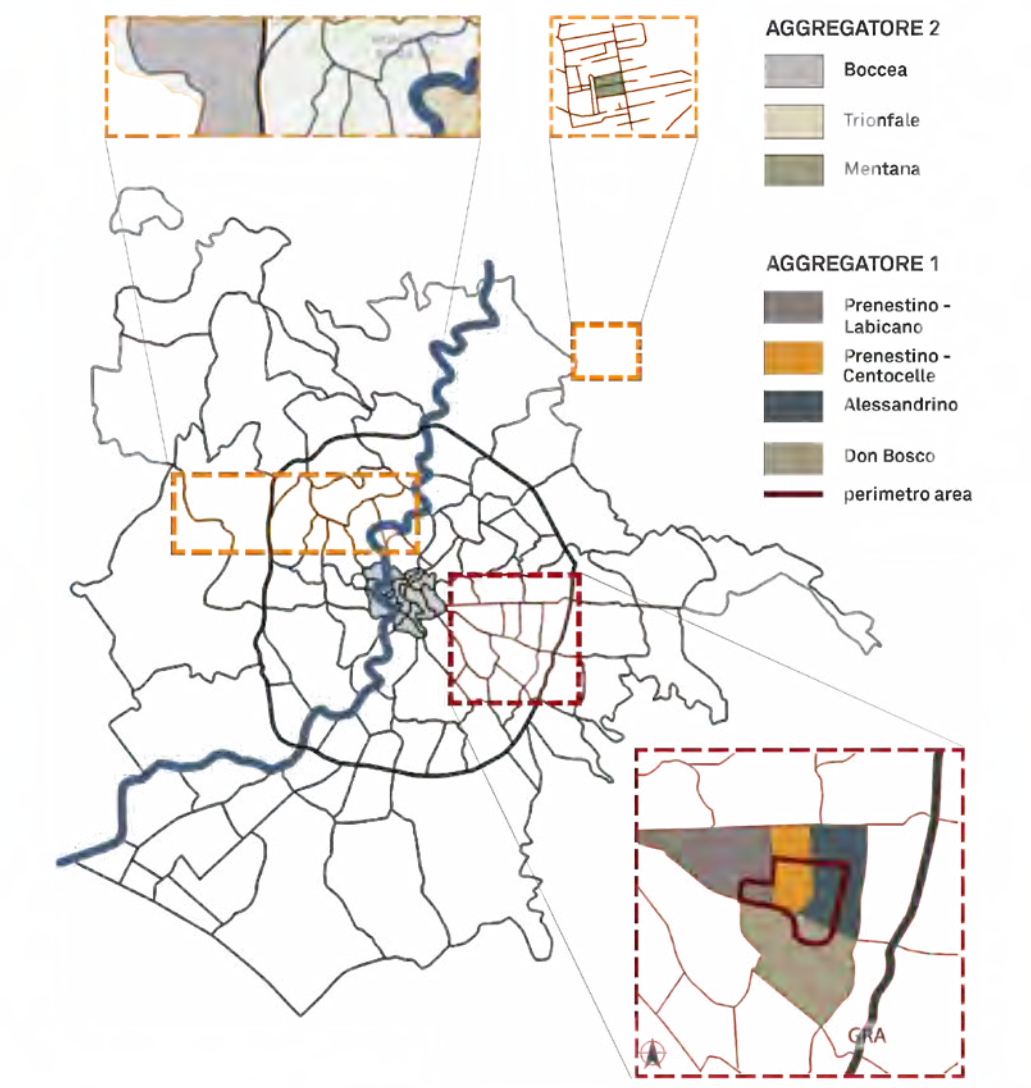


Figura 1-Inquadramento urbanistico degli Aggregatori della Smart Homes Network

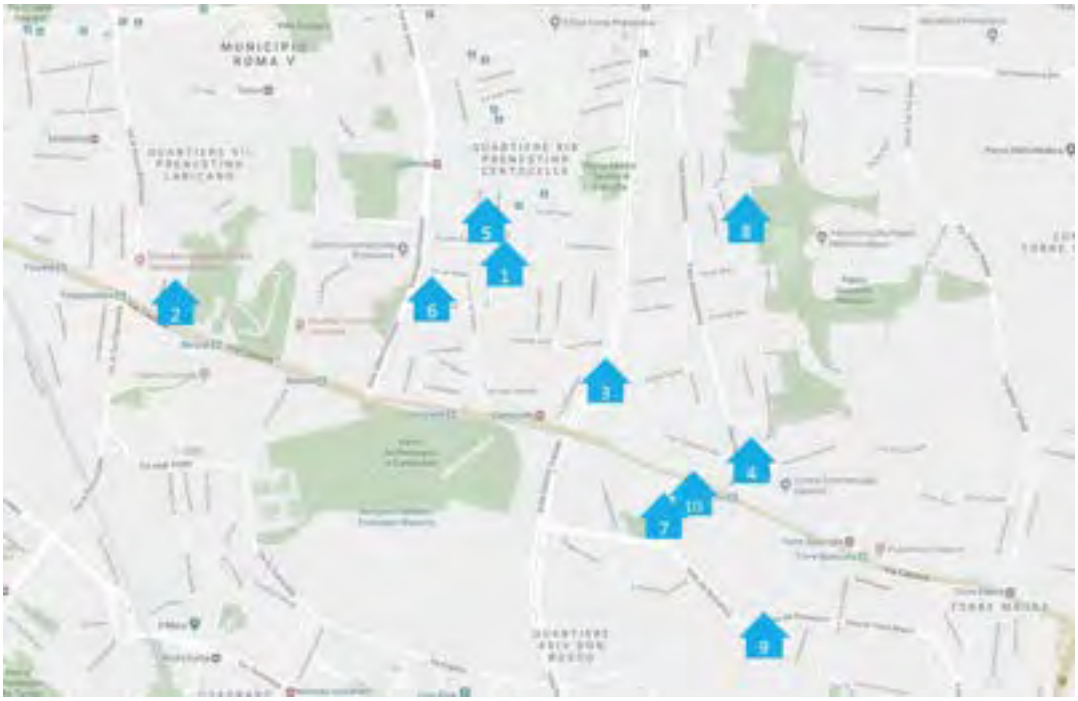


Figura 2-Dislocazione delle Smart Homes dell'aggregatore 1

2.2 *Fasi della sperimentazione*

La sperimentazione si è articolata in più fasi, così come era stato anticipato agli utenti alla presentazione del progetto, inoltre, per assicurare il coinvolgimento e l'orientamento degli utenti coinvolti, sono stati organizzati incontri nel quartiere. Per organizzare tali incontri lo staff ENEA è stato coadiuvato dall'Università LUISS di Roma, si veda a tal proposito anche il Report RdS/PAR2017/06 [2] .

Le differenti fasi sono sintetizzate nel grafico seguente e descritte di seguito:

Figura 3-Fasi della sperimentazione

1. Reclutamento e adesione al progetto

Alla fine della scorsa annualità, settembre 2017, è stato presentato il progetto presso il quartiere Centocelle ed è iniziato il reclutamento dei partecipanti si veda il Report RdS/PAR2016/006, sono state così raccolte e selezionate le adesioni per la sperimentazione del sistema smart home sviluppato. Al momento dell'installazione alcuni utenti si sono ritirati quindi è stata necessaria un'ulteriore fase di reclutamento al fine di raggiungere il numero prefissato di adesioni.

2. Audit semplificato.

Agli utenti che hanno aderito al progetto è stato somministrato un questionario sviluppato nella scorsa annualità, si veda il Report RdS/PAR2016/009 [3] , per profilare la tipologia di utenza e consentire una valutazione e benchmarking successiva. In questa fase gli utenti sono stati contattati telefonicamente per forni re l'aiuto necessario alla compilazione del questionario ed è stato organizzato un incontro in cui il personale Enea ha offerto il proprio supporto per la compilazione del questionario. In effetti per alcuni utenti la compilazione è risulta complessa soprattutto per la parte che ha riguardato l'individuazione dei costi e degli effettivi consumi energetici. Nel paragrafo successivo è stata sintetizzata la descrizione delle abitazione coinvolte nella sperimentazione. Per assicurare assistenza in tutte le fasi della sperimentazione è stato istituito un filo diretto tra gli utenti ed i ricercatori che potevano essere contattai tramite mail o telefonicamente.

3. Consegna del Kit ed installazione.

A valle della fase di audit è stato predisposto il kit di sensori necessari per ogni abitazione. In laboratorio sono stati configurati gli Energy Box a cui sono stati associati i singoli dispositivi, diversi caso per caso. Successivamente si è proceduto alla consegna e installazione nelle abitazioni, che è avvenuta tra l'aprile e maggio del 2018. Trattandosi per lo più di sensori plug and play l'installazione è avvenuta in maniera spedita. Solo per l'istallazione delle smart valve è stato necessario procedere preventivamente con la sostituzione delle testine termostatiche dei radiatori, in quanto solo poche abitazione ne erano dotate. Anche per acquisire le misure elettriche a livello di quadro generale e per l'istallazione di switch connessi ad alcuni condizionatori è stato necessario l'intervento di un elettricista.
Infine, durante la fase di installazione sono state illustrate direttamente agli utenti le funzionalità dei dispositivi che venivano loro e consegnati, mentre via mail è stato inviato un manuale di istruzione dei dispositivi installati.

4. Sperimentazione.

La sperimentazione ha avuto inizio con un incontro con gli utenti il 1° luglio. In questa occasione è stato nuovamente spiegato il funzionamento dei dispositivi consegnati e soprattutto è stata illustrata l'interfaccia grafica del sistema. In questa fase l'interfaccia consentiva a ciascun utente di visualizzare esclusivamente la propria abitazione ed i propri dispositivi, solo successivamente è stata sviluppata l'interfaccia dell'aggregatore, come descritto nel paragrafo 4 del presente report, per consentire il confronto competitivo tra gli utenti.
In questa fase gli utenti sono stati assistiti dal team di ricerca con cui sono rimasti in contatto via mail e telefono per tutta la durata della sperimentazione. In effetti, è stato necessario intervenire più volte per mettere a punto il sistema all'interno delle abitazioni, sia per correggere errori di installazione che per risolvere specifici problemi delle singole utenze: mancanza di comunicazione con la rete internet locale, sostituzione di sensori e batterie.

5. Verifica

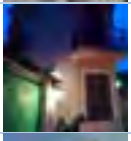
Completata l'istallazione, si è iniziato a verificare il funzionamento del sistema e della rete di smart home analizzando i dati che venivano acquisiti e apportando di conseguenza le correzioni e manutenzioni

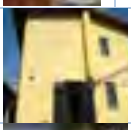
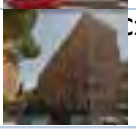
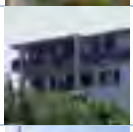
necessarie. In parallelo è stata condotta un'analisi relativa all'accettabilità da parte degli utenti della tecnologia proposta, a tal fine agli utenti coinvolti è stato somministrato un questionario, per i risultati in dettaglio si veda il Report RdS/PAR2017/045[4] . In generale è stata riscontrata una buona accettazione della tecnologia proposta, anche se sono stati richiesti dei miglioramenti, soprattutto in termini di customizzazione del prodotto che però è stato spiegato loro tale obiettivo esulava dagli scopi del progetto.
Probabilmente il questionario è stata somministrato in una fase ancora troppo iniziale della sperimentazione, questo fatto non ha consentito agli utenti di avere avuto sufficiente tempo a disposizione per apprezzare la tecnologia installata e quindi abituarsi all'uso. La violazione della privacy risulta essere una delle problematiche a cui sono risultati più sensibili gli utenti coinvolti, così come hanno mostrato particolare interesse ad eventuali servizi aggiuntivi, in particolare all'Assisted Living per il quale hanno fornito anche esempi che in generale sembrano prediligere la comunicazione diretta.
Per quanto riguarda i servizi di aggregazione è stato necessario acquisire prima dei dati sufficiente a costituire un database su cui costruire successivamente i servizi di aggregazione e feedback all'utente. Il tempo a disposizione nel progetto a permesso di realizzare l'interfaccia dell'aggregatore mentre il tempo per la valutazione dei risultati conseguiti è stato limitato.

2.3 *Descrizione abitazioni coinvolte nella sperimentazione*

Prima dell'avvio della sperimentazione è stata condotta una fase di indagine sulle abitazioni tramite la somministrazione del questionario energetico predisposto nella precedente annualità[3] .
Il totale delle abitazioni coinvolte nella sperimentazione è di 14, suddivise in 10 a Centocelle e 4 nell'area a Nord-est di Roma già strumentate nella scorsa annualità.
Le case selezionate si riferiscono a differenti tipologie di edificio e di utenza. Nella tabella che segue sono riportate le caratteristiche principali delle abitazioni che hanno aderito alla sperimentazione, ciascuna abitazione viene individuata, per convenzione, con un numero che indentifica l'Energy Box in essa installato. Le abitazioni appartenenti alla rete di smart home già monitorate nella scorsa annualità sono identificate con Energy Box con suffisso **EB**, mentre le smart home che si riferiscono alla sperimentazione di questa annualità sono identificate con la lettera **C**. Rispetto allo scorso anno alcuni utenti si sono ritirati dalla sperimentazione per tale motivo è stato ridefinito il perimetro e i partecipanti della sperimentazione.

Tabella 1- Sintesi delle caratteristiche generali delle abitazioni

Aggregatore 1								
Foto	EB	Tipologia di edificio	Quartiere	Anno di costruzione	Superficie utile	Interventi di riqualificazione Involucro		
					m^2	*Tipo*	*Anno*	*%*
	C1	Appartamento in edificio plurifamiliare	Prenestino-Centocelle	1919-45	49	Infissi	2010-2015	100%
	**C2**	Appartamento in casa isolata bifamiliare	Prenestino-Labicano	1919-45	101	Isolamento soffitto	1991-2005	100%
	C3	Appartamento in edificio plurifamiliare	Alessandrino	1962-71	100	Infissi	2006-08	100%

	C4	Appartamento in casa isolata bifamiliare	Alessandrino	1946-61	50	Infissi	dopo 2015	100%
	C5	Appartamento in edificio plurifamiliare	Prenestino-Centocelle	1946-61	100	Infissi	2010-2015	100%
	**C6**	Casa isolata	Prenestino-Centocelle	2010-15	65	-	-	-
	C7	Appartamento in edificio plurifamiliare	Don Bosco	1991-05	65	-	-	-
	C8	Appartamento in edificio plurifamiliare	Alessandrino	1962-71	60	Pavimento	dopo 2015	
--	**C9**	Appartamento in edificio plurifamiliare	Don Bosco	1946-61	95	Infissi	1991-2005	62%
	**C10**	Appartamento in edificio plurifamiliare	Don Bosco	1962-71	102	Infissi	2010-2015	100%
Aggregatore 2								
	E3	Appartamento in edificio plurifamiliare	Trionfale	1962-71	67	Infissi	1991-2005	100%
	**E4**	Appartamento in edificio plurifamiliare	Boccea-Casalotti	1982-91	134	-	-	-
	E8	Appartamento in casa isolata bifamiliare	Mentana	1982-91	124	Infissi	1991-2005	100%
	E9	Appartamento in casa isolata bifamiliare	Mentana	1982-91	123	Infissi	1991-2005	100%

Si tratta principalmente di appartamenti in edifici plurifamiliari, di cui quattro in bifamiliari ed una sola casa unifamiliare su due piani. Le dimensioni sono variabili in generale le abitazioni non hanno subito interventi di riqualificazione energetica eccetto la sostituzione degli infissi che ha interessato la maggioranza delle abitazioni considerate.
Le dimensioni e l'anno di costruzione variano come sintetizzato nei grafici seguenti.

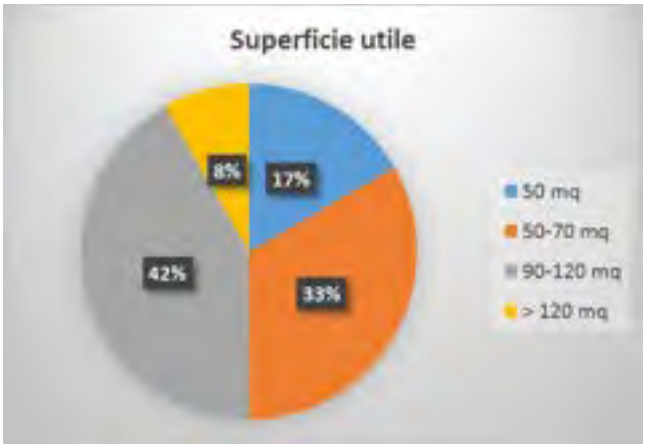


Figura 4- Distribuzione delle abitazioni per superficie utile

Figura 5- Distribuzione delle abitazioni per anno di costruzione

2.3.1 Tipologia di utenza

Per quanto riguarda la tipologia di utenza interessata dalla sperimentazione, si tratta per lo più di famiglie con figli, sono presenti anche nuclei composti di due persone e un solo caso con un unico componente. Trattandosi di famiglie che vivono in una grande città, chi lavora spesso è pendolare e rimane fuori casa per l'intera giornata, solo un % lavora part time e per metà della giornata rimane nella propria abitazione si veda il grafico di figura 6.

Tabella 2- Dati sulla tipologia di utenza e di occupazione

E-Box	N. utenti per abitazione	N° utenti	Tipologia di utenza	Presenze			
				Mattina (8-13)	Pomeriggio (13-19)	Sera (19-0)	Notte (0-8)
C1		4	Famiglia con 2 figli adolescenti, un genitore disoccupato	1	3	4	4
C2		2	Lavoratori pendolari	0	0	2	2
C3		4	Famiglia con bambini in età scolare, un genitore lavoratore part time	0	3	4	4
C4		1	Lavoratore pendolare	0	0	1	1
C5		4	Famiglia con bambini in età scolare, un genitore casalingo	1	3	4	4
C6		4	Famiglia con bambini in età scolare e prescolare, un genitore disoccupato	1	3	4	4
C7		3	Famiglia con bambino in età prescolare, entrambi i genitori pendolari	0	0	3	3
C8		2	Lavoratore pendolare, in attesa di occupazione	1	1	2	2
C9		3	Famiglia con bambino in età scolare, un lavoratore pendolare	1	2	3	3

C10		2	Lavoratori pendolari	0	1	2	2
E3		3	Famiglia con bambino in età scolare, entrambi i genitori pendolari	0	2	3	3
E4		4	Famiglia con 2 figli adulti, entrambi i genitori pendolari	0	1	4	4
E8		3	Famiglia con bambino in età scolare, entrambi i genitori pendolari	0	1	3	3
E9		2	Due pensionati	2	2	2	2

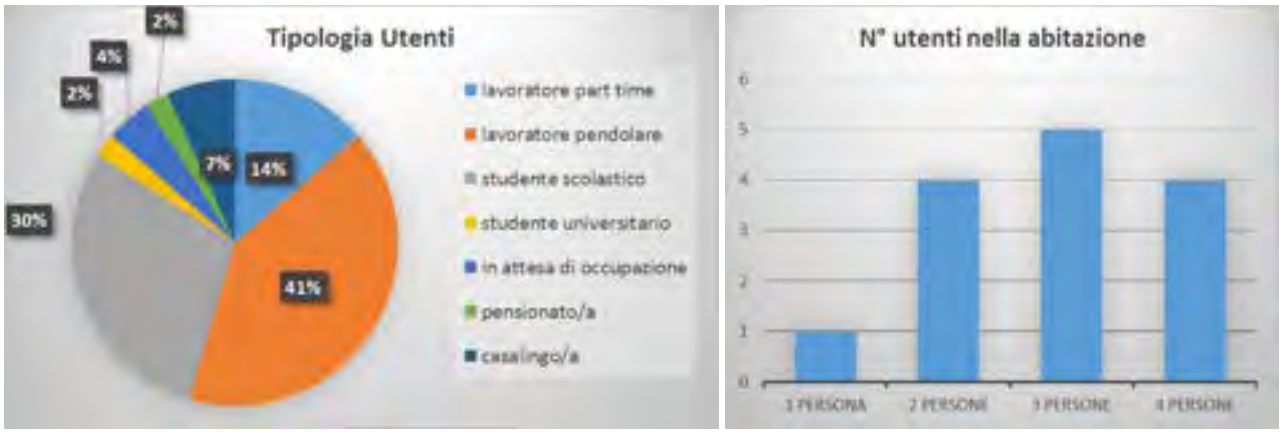


Figura 6- Grafici relativi a tipologia e numero di utenti

2.3.2 Dotazioni impiantistiche

Si riporta di seguito la tipologia di impianti presenti nelle abitazioni sia per il riscaldamento che per il raffrescamento, dove presente. Nella maggior parte dei casi si tratta di abitazioni con caldaie tradizionali a gas con termosifoni per lo più privi di valvole termostatiche, mentre è presente quasi ovunque un termostato programmabile. Anche per l'acqua calda sanitaria (ACS) viene utilizzata principalmente la caldaia a gas istantanea. Una sola abitazione è dotata di un impianto fotovoltaico e solare termico. Per quanto riguarda il raffrescamento, i condizionatori sono presenti solo su alcune abitazioni che afferiscono all'Aggregatore 1.

Tabella 3- Tipologia di impianto di riscaldamento, raffrescamento, ACS.

EB	Riscaldamento				Raffrescamento				ACS
	Tipo di impianto	Tipo di generatore di calore	Terminali in ambiente	Modalità di regolazione	Condizionatori		Altro		
					n	*Classe*	*Tipo*	*Ore/g*	
C1	Autonomo	Caldaia a gas naturale tradizionale	Radiatori	Termostato programmabile	2	A			Caldaia a gas istantanea
C2	Autonomo	Caldaia a gas naturale tradizionale	Radiatori	Termostato programmabile	1	A	Ventilatore	2	Caldaia a gas istantanea
C3	Autonomo	Caldaia a gas naturale tradizionale	Radiatori	Termostato programmabile	1	A+			Caldaia a gas istantanea
C4	Centralizzato	Caldaia a gas naturale tradizionale	Radiatori	Termostato programmabile	1	A			Caldaia a gas istantanea

C5	Autonomo	Caldaia a gas naturale a condensazione	Radiatori	Termostato programmabile	4	A			Scaldabagno a pompa di calore
C6	Autonomo	Caldaia a gas naturale a condensazione	Radiatori	Termostato programmabile	3	A			Caldaia a gas istantanea
C7	Autonomo	Caldaia a gas naturale tradizionale	Radiatori	Termostato programmabile	1	A			Caldaia a gas istantanea
C8	Autonomo	Caldaia a gas naturale a condensazione	Radiatori	Termostato programmabile					Caldaia a condensazione con accumulo integrato
C9	Autonomo				2	A+++			
C10	Autonomo	Caldaia a gas naturale tradizionale	Radiatori	Termostato programmabile	1	A+			Caldaia a gas istantanea
E3	Autonomo	Caldaia a gas naturale tradizionale	Radiatori	Termostato programmabile					Caldaia a gas istantanea
E4	Autonomo	Caldaia a gas naturale a condensazione	Radiatori	Solo climatica in caldaia			Ventilatore	5	Caldaia a condensazione con accumulo integrato
E8	Autonomo	Caldaia a gas naturale a condensazione	Radiatori	Termostato programmabile			Ventilatore	30	Caldaia a gas istantanea
E9	Autonomo	Caldaia a gas naturale tradizionale	Radiatori	Solo climatica in caldaia			Ventilatore	15	Caldaia a gas istantanea

Per quanto riguarda impianti alimentati da fonti rinnovabili c'è da segnalare solo la casa corrispondente agli EB 8 e EB 9 che è dotata sia di impianto solare termico per la fornitura di acqua calda sanitaria, che di impianto fotovoltaico (FV). L'impianto FV ha una potenza di picco di 3900 Wp ed è a servizio di due appartamenti identificati come EB E8 e 9.

2.3.3 Elettrodomestici

Di seguito le tabelle di sintesi relative alla tipologia di elettrodomestici, divisi per categoria (cucina e refrigerazione, lavaggio e pulizia, intrattenimento) presenti nelle case del pilota ed i relativi tempi d'uso così come dichiarato dagli utenti.

Tabella 4-Dotazione di elettrodomestici per cucina e refrigerazione e tempo d'uso

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	E3	E4	E9	E8
Piano cottura	tipo	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	GAS	Gas	GAS	GAS	GAS	GAS	Gas	Gas
	minuti	60	60	30	40	60	30	60	30	60	60	60	60	30	60
Forno a microonde	minuti	5		15		5	5	5		5		3	3	5	5
Forno	minuti	10	10		10	5	5	7	15	10	Gas 20	3	15	5	10
Griglia	minuti					1									
Bistecchiera/Piastra elettrica	minuti	3				1									
Tostapane	minuti					1						1	1		
Macchina caffè espresso elettrica	minuti	2		5		6				1			2	2	2
Macchina moka elettrica	minuti														
Frullatore	minuti		1			1		1	2				1		
Robot cucina	minuti	2	10			3		1					1		1
Frigo-congelatore	litri	320	95	320	290	320	320	340	120	358	320	280	320	223	223

	Classe energetica	A+	B	A+	A+	A	A	A+	A+	G	A+	A+	A	A	A
Congelatore a pozzetto						125	125								
						A	B								

Tabella 5 - Elettrodomestici per lavaggio e pulizia

Lavaggio e pulizia															
		C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**	**C6**	**C7**	**C8**	**C9**	**C10**	**E3**	**E4**	**E9**	**E8**
Lavatrice	Kg	7	10	7	7	7	7	7	7	7	7	10	7	5	5
	Cicli settimanali	5	2.5	5	1.5	4	6	5	2	5	3	5	6	4	4
	Classe energetica	A+	A	A+	A	A++	A	A+	A++	A+++	A+	B	A	A	A
Asciugatrice	Kg				5	5	7						6		
	Cicli settimanali				0.5	4	0.5						3		
	Classe energetica				A	A	B						B		
Lavastoviglie	Coperti	6				5	12	6	12	12	14	6	14	12	12
	Cicli settimanali	7				4	3.5	7	1.5	8	5	5	7	7	7
	Classe energetica	A				A	A	A	A+	A+	A	B	A	A+	A+
Aspirapolvere	5	5	5	5	5	10	5	5	1	10	5	15	5	5	15
Ferro da stiro senza caldaia	15	1			2							6	8		
Ferro da stiro con caldaia	1	15				5	5	1		20	10		0	5	5

Tabella 6- Impianto Audio-Video, computer-internet

		C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**	**C6**	**C7**	**C8**	**C9**	**C10**	**E3**	**E4**	**E9**	**E8**
Televisore o monitor 1	Quantità	2		1	1	1	1	1	1		1		2	1	1
	Pollici	23”		33”	40”	45”	15”	26”	33”	55”	23”	45”	26”	44”	45”
	Classe energetica	A		A	A	A	A	A	B	A	A+	B	A+	A	A
	Ore uso giornaliero	10		1	0.5	6	6	3	4	1	2	2	2	0.5	0.5
Televisore o monitor 2	Quantità	1			1	1	1				1		1		1
	Pollici	26”			20”	26”	45”			20”	26”	40”	37”	33”	33”
	Classe energetica	A			A	A	A+			G	A+	A+	A+	A+	A+
	Ore uso giornaliero	5			1	6	6			6	2	1	1	2	5
Televisore o monitor 3	Pollici					15”	33”				40”			32”	33”
	Classe energetica					A	A				A+			A+	A+
	Ore uso giornaliero	24				4	1				3			0.5	0.5
Televisore o monitor 4	Pollici					30”	40”								
	Classe energetica					A	A								
	Ore uso giornaliero					4	2								
Decoder	Ore uso giornaliero					2				2	4	2			
Videoregistratore	Ore uso giornaliero	0.1												0.1	0.1

Lettore DVD	Ore uso giornaliero	1		4		1				0.5				
Riproduttore audio (radio, ecc)	Ore uso giornaliero	0.1	2			2		2	0.5	0.1				
Impianto hi-fi/home theatre	Ore uso giornaliero	0.1								2.5	4			0.5	
Computer fisso	Quantità	1			1					1				1	
	Ore giornaliere	24			0.5					6				2	
Computer portatile	Quantità	1	2	1	1		1	2	2	2	2	2	4		1
	Ore giornaliere	1	6	2	2		1	2	5	1	2	4	5		0.5
Stampante a getto di inchiostro	Quantità	1		1	1				1	1		1	1		
	stampe giornaliere	2		1	5				0.2	1		5	1		
Stampante laser	Quantità							1							
	stampe giornaliere							0.2							

Tabella 7- Cura della persona e altri apparecchi

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	E3	E4	E9	E8
Asciugacapelli		20	2	15	5	15		10	1	20	5	40	20	8	5
Piastra per capelli								5					10	1	

2.3.4 Impianto d'illuminazione

Per quanto riguarda l'impianto d'illuminazione c'è da notare che la tipologia di lampade più diffuse è quella a risparmio energetico anche s e ancora presenti lampade ad incandescenza e alogene come descritto nella tabella e grafico seguente:

Tabella 8 - Tipo di lampade

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	E3	E4	E9	E8	Totali
Obsolete (lampade a incandescenza)	0	0	2	0	1	0	2	1	0	8	0	1	0	0	**15**
Tradizionali (lampade alogene)	3	0	4	11	3	0	1	0	3	0	2	4	0	3	**34**
A risparmio energetico (lampade fluorescenti)	8	9	10	5	3	0	4	14	9	18	4	7	10	22	**123**
Ad alta efficienza (lampade, moduli o strisce LED)	1	3	2	1	1	11	4	4	12	2	0	4	23	3	**71**

Nelle abitazioni oggetto del dimostrativo circa 80% delle lampade impiegate sono efficienti, con una prevalenza di lampade fluorescenti rispetto quelle a Led.

Figura 7- Tipologia di lampade in uso nel dimostrativo

2.4 Kit d'installazione

L'attività effettuata nel periodo compreso tra aprile e maggio 2018 ha previsto l'installazione di un kit di sensori e attuatori wireless per il monitoraggio dei consumi e del confort indoor ed il controllo di alcune utenze termiche ed elettriche. In questa annualità si è deciso di utilizzare sensori che adottano un unico protocollo di comunicazione, Z-Wave. Tale scelta ha comportato l'adozione di un solo dongle e la sostituzione dei alcuni sensori En-Ocean utilizzati lo scorso anno nelle abitazioni dell'aggregatore 2, per questo motivo è stato necessario riconfigurare completamente la rete di sensori nelle 4 case già oggetto di test nella scorsa annualità.
La gestione di tutti questi dispositivi wireless, che pertanto non richiedono cablatura, è demandata all'EB, un dispositivo hardware, connesso alla rete internet per la trasmissione dei dati raccolti da una piattaforma ICT, il cosiddetto Aggregatore.

In particolare in ciascuna abitazione sono stati installati i seguenti device come rappresentato nella figura seguente:

- **Energy Box** per la connessione di oggetti nel dominio di un'abitazione, si tratta del gateway dotato di comunicazione Z-Wave che riceve e invia dati ai sensori e attuatori presenti e configurati nella smart home. Inoltre il gateway comunica con una piattaforma Cloud di aggregazione dati tramite WiFi e/o Ethernet.
- **Smart Meter** elettrico installato nel quadro elettrico dell'appartamento a valle dell'interruttore generale;
- **Smart Switch** per il monitoraggio e controllo dei condizionatori;
- **Smart Plug** per il monitoraggio e controllo di alcuni dispositivi elettrici (es. Elettrodomestici e/o utilizzatori vari);
- **Sensori di Apertura e Chiusura** su porte e finestre;
- **Sensori integrati di comfort-presenza** per il monitoraggio della temperatura indoor, luminosità, presenza e 1 accelerometro.
- **Smart valve,** per il monitoraggio e controllo del set point dei termosifoni. Per consentire l'inserimento di queste smart valve è stato necessario sostituire le testine termostatiche in quegli appartamenti che ne erano sprovvisti.

Figura 8- Schema dell'istallazione tipo

Nell'Allegato 1 sono riportati in dettaglio gli schemi di installazione di ciascuna abitazione oggetto della del dimostrativo pilota, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi dei dispositivi installati:

Tabella 9-Elenco generale dei sensori installati

Energy Box	*Smart meter*	*Smart plug*	*Smart switch*	*Multisensore fibaro*	*Contatto finestra*	*Contatto porta*	Smart valve
C1	1	4	1	5	6	1	6/5
C2	1	3	0	6	7	1	5
C3	1	4	0	6	5	1	-
C4	1	4	0	4	5		4
C5	2	3	1	6	7	1	3
C6	1	4	1	6	7	1	6
C7	1	4	1	4	4	1	5
C8	1	3	1	4	4	1	3
C9	1	3	1	7	9	1	8
C10	1	4	1	6	9	1	6
E3	1	3	0	3	5	1	-
E4	1	5	1	9	8	1	-
E8	1	3	0	7	11	1	7
E9	2	6	0	7	8	1	-

Nella tabella seguente sono evidenziati gli elettrodomestici monitorati in ciascuna abitazione tramite smart plug o switch:

Tabella 10- Elenco degli elettrodomestici monitorati

Energy Box	Smart plug										Smart switch
	Lavatrice	Lavastoviglie	Forno	Microonde	Tv	Frigo	Condizionatore	Termo Ventilatore	Altro		
C1	1	1			1	1					
C2	1					1	1	1	Bimby		
C3	1			1		1	1				
C4	1				1				Aspirapolvere	Bollitore	
C5	1	1							Ferro da stiro	Macchina caffè	
C6	1	1		1		1					
C7	1	1		1		1					
C8	1				1				Aspirapolvere		Lavastoviglie
C9	1	1				1		1	phon/deumidificatore		
C10	1	1			1	1					
E3	1										
E4	1										
E8	1	1				1		1			
E9		1	1	1	1	1					

Nella tabella seguente sono evidenziate le pompe di calore presenti nelle case monitorate, la classe energetica, la potenza e l'ambiente in cui sono posizionati. Per il monitoraggio dei consumi sono stati impiegati differenti tipologie di sensori. In genere è stato posizionato uno smart switch in corrispondenza della scatola di derivazione dell'alimentazione della macchina, in altri casi, dove il condizionatore era alimentato tramite presa elettrica è stata utilizzata una smart plug. In alcuni casi, le condizioni dell'impianto non hanno consentito l'inserimento dello smart switch in quanto non vi era spazio sufficiente nelle scatole di derivazione o negli interruttori (nel caso di uno dei condizionatori del C1 e nella C4), mentre nel C6 due delle tre unità esterne erano posizionate in quota e pertanto non è stato possibile accedere ai relativi interruttori. In un solo caso, C5, è stato impiegato uno smart meter a monte della linea di alimentazione dedicata al condizionamento che alimenta 3 pompe di calore posizionate nelle camere e nel soggiorno ed uno switch per il condizionatore alimentato da altra linea elettrica dislocato in cucina. Infine, in corrispondenza del C9, ad un'unica unità esterna monitorata tramite smart switch afferiscono i due split presenti nel soggiorno e in una camera.

Tabella 11- Elenco dei condizionatori presenti e della modalità di monitoraggio

Energy Box	*Condizionatori*				*Monitoraggio*
	Numero	*Classe*	*Potenza bTU*	*Ambiente*	*Tipo*
C1	*1*	*A*	*12000*	*Soggiorno*	*Smart switch*
	1	*A*	*9000*	*Camera*	-
C2	*1*	*A*	*12000*	*Soggiorno*	*Smart plug*
C3	*1*	*A+*	*9000*	*Camera*	*Smart plug*
C4	*1*	*A*	*12000*	*Soggiorno*	-
C5	*1*	*A*	*9000*	*Cucina*	*Smart switch*
	1	*A*	*9000*	*Camera*	*Smart meter*

	1	*A*	*9000*	*Camera*	
	1	*A*	*12000*	*Soggiorno*	
C6	*1*	*A*	*12000*	*Soggiorno*	*Smart switch*
	1	*A*	*9000*	*Camera*	-
	1	*A*	*9000*	*Camera*	-
C7	*1*	*A*	*12000*	*Soggiorno*	*Smart switch*
C9	*1*	*A+++*	*12000*	*Soggiorno*	*Smart switch*
	1	*A+++*	*9000*	*Camera*	
C10	*1*	*A+*	*9000*	*Camera*	*Smart switch*

2.4.1 Energy Box

L'Energy Box è un dispositivo in grado di comunicare wireless con i dispositivi installati nella home e previsti nel Kit fornito agli utenti della sperimentazione[5] . L'Energy Box funge inoltre da gateway per trasferire le informazioni acquisite a livello domestico verso il cloud esterno. Gli EB impiegati nel case della sperimentazione sono stati configurati per consentire l'installazione plug&play dei sensori selezionati ed il controllo dei device configurati tramite APP già sviluppate ed integrate negli EB forniti agli utenti.
I requisiti per il funzionamento dell'EB sono:

- Alimentazione Elettrica 5V;
- Connessione con rete (Lan o WiFi).

Connesso all'Energy Box tramite una delle sue porte USB è presente il dongle Z-Wave della Aeotec (Z-Stick Gen5).
Le caratteristiche dell'EB si possono essere sintetizzate in:

- ✓ Soluzione **interoperabile** (Z-Wave, EnOcean) **e aperta** (html, javascript);
- ✓ **User friendly (**sensori plug and play e GUI);
- ✓ **Servizi fruibili** tramite App su piattaforma sia in **locale** che da **cloud:**
  - o Monitoraggio e controllo
  - o Creazione di regole di controllo customizzate grazie all'interscambio di informazioni tra i vari sensori

L'EB consente di remotizzare le funzionalità fuori dell'area domestica, su cloud, senza necessariamente accedere ai servizi forniti dall'Aggregatore. E' un sistema aperto in quanto fornisce un'ambiente di sviluppo degli algoritmi che consente una facile programmazione e customizzazione del sistema in linguaggio javascript ed html. L'EB e la parte cloud lavorano in sinergia fornendo da un lato un servizio fruibile da qualunque dispositivo connesso ad internet e dall'altro, in assenza di connessione di rete, un sistema robusto in cui le logiche di controllo e l'acquisizione continuano ad esistere stabilmente in locale fino al ritorno on line. Nel caso di connessione on line, i dati acquisiti vengo inviati al cloud in tempo reale in modo tale da mantenere sempre un corretto allineamento tra il sistema locale e quello su cloud (aggregatore), ciò è vero anche nel caso inverso, ovvero quando da cloud vengono inviati dei comandi all'EB locale. Quindi non vi è tempo di latenza, se non quello dovuto al traffico di rete nella comunicazione bidirezionale tra i sistemi locali (gli EB) ed il cloud (aggregatore). I sistemi locali mantengono una storicizzazione dei dati limitata (1 settimana) mentre il cloud mantiene nel proprio db (vedere report RdS/PAR2016/006) lo storico completo dei dati. Nel caso di sistema di sistema locale off-line quindi saranno fruibili sono una porzione limitata di dati. Nel caso di sistema on line che per qualche motivo si disconnette dalla rete, la robustezza è garantita dal fatto che l'aggiornamento dei dati tra EB e cloud avviene non appena viene ripristinata la connettività e vengono trasmessi tutti i dati che sono stati acquisiti nel periodo off-line.
Inoltre, questo EB nasce per superare il limite imposto dal gran numero di protocolli e poter quindi accentrare dati ed effettuare attuazioni attraverso una comunicazione multiprotocollo. Infatti, garantisce un livello base di interoperabilità e replicabilità poiché la comunicazione con tutti i sensori dell'area campo non avviene

medianti protocolli e formati dati chiusi e proprietari, ma bensì mediante l'adozione di uno standard aperto e già disponibili sul mercato: Z-Wave. [8]

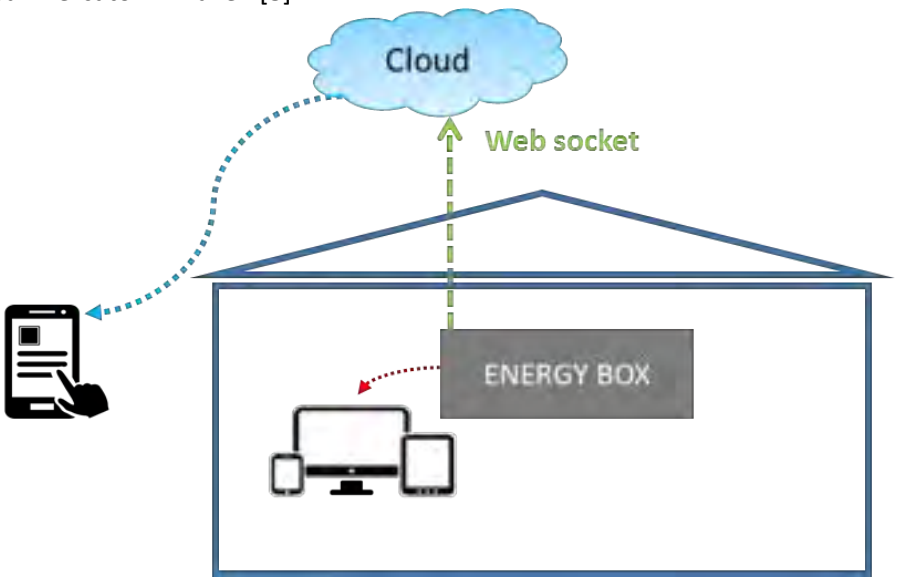


Figura 9 - Architettura di connessione

2.4.2 Sensoristica: funzionamento e interfaccia utente

Tutti i dispositivi installati presso la smart home possono essere visualizzati in tempo reale tramite Web App, tutti permettono il monitoraggio mentre alcuni consentono anche il controllo. Si riporta di seguito una descrizione del funzionamento di ogni dispositivo e la relativa interfaccia per la gestione e controllo da remoto. Ad ogni dispositivo corrisponde una App a cui l'utente può accedere per monitorare e controllare il dispositivo stesso. In particolare l'App consente di visualizzare:

- Un grafico dell'andamento della grandezza misurata nella giornata,
- Ultima lettura: Data e ora dell'ultimo dato ricevuto dal sensore.

Cliccando su Log invece possono essere visualizzati i dati ricevuti dai sensori, questi possono anche essere scaricati in formato Excel.

Energy meter e smart switch

L'Energy meter consente il monitoraggio del consumo elettrico generale dell'appartamento, mentre lo switch è associato ad un carico elettrico, nella sperimentazione è stato impiegato per il monitoraggio dei condizionatori, lo switch consente inoltre l'on/off del carico associato. Entrambi possono essere controllati da remoto attraverso apposite applicazioni come descritto nella figura seguente.
In particolare l'applicazione dell'Energy meter consente di visualizzare le seguenti proprietà:

- Potenza Istantanea: potenza istantanea in Watt;
- Energia Giornaliera: Consumo di energia giornaliera [kWh];
- Energia Totale Cumulata: Consumo di energia totale cumulata [kWh];

Mentre l'applicazione relativa allo switch visualizza le seguenti proprietà:

- Potenza, misurata in W;
- Accensione e Spegnimento tramite Switch;

Figura 10-Smart Meter e Switch: funzionamento ed interfaccia utente

Smart plug

La smart plug è una presa intelligente in grado di accendere e spegnere un carico da remoto e monitorare il consumo di energia sia manualmente che da remoto come descritto nella figura seguente Di lato uno screen dell'applicazione.

L'applicazione visualizza le seguenti proprietà:

- Potenza Istantanea: potenza istantanea in Watt;
- Energia Giornaliera: Consumo di energia giornaliera [kWh];
- Energia Totale Cumulata: Consumo di energia totale cumulata [kWh];
- Ultima lettura: Data e ora dell'ultimo dato ricevuto dal meter.

Oltre a questo l'applicazione permette di visualizzare su un grafico la curva di consumo giornaliero della plug.

Cliccando su Log invece possono essere visualizzati i dati ricevuti dai sensori, questi possono anche essere scaricati in formato Excel.

Figura 11-Smart plug: funzionamento ed interfaccia

Sensore integrato di comfort-presenza

Questo sensore oltre a rilevare il movimento, misura la temperatura e l'intensità della luce. Il sensore ha un accelerometro integrato per rilevare eventuali manomissioni del dispositivo. L'indicatore LED segnala movimento, livello di temperatura, modalità operativa e può essere utilizzato per verificare se il dispositivo si trova all'interno della rete Z-Wave.

La seguente applicazione è quella relativa al multi-sensor (Sensore di Temperatura, Luminanza, Batteria, Presenza). Di lato uno screen dell'applicazione L'applicazione visualizza le seguenti proprietà:

- Temperatura misurata in °C;
- Luminanza misurata in Lux;
- Percentuale della Batteria [%];
- Presenza nella stanza;
- Ultima lettura: Data e ora dell'ultimo dato ricevuto dal sensore.

Oltre a questo l'applicazione permette di visualizzare su un grafico la curva di temperatura giornaliera del sensore.
Cliccando su Log possono essere visualizzati i dati ricevuti dai sensori, questi possono anche essere scaricati in formato Excel.

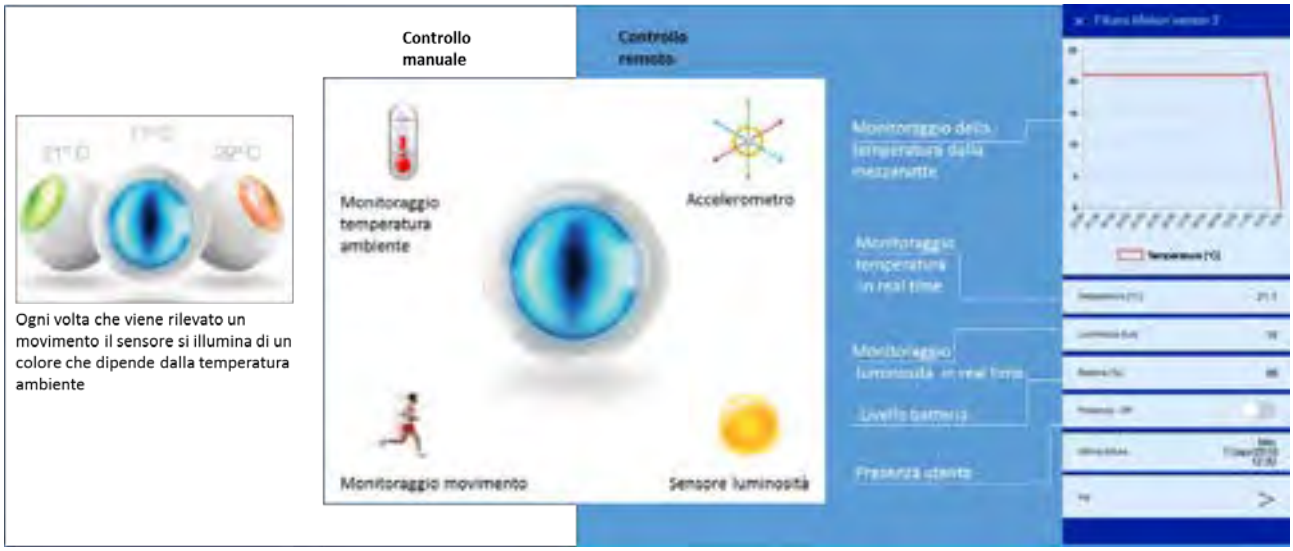


Figura 12- Motion sensor: funzionamento e interfaccia

Contatto porta finestra

Il sensore rileva la modifica dello stato del dispositivo apertura e chiusura di porte e finestre, l'apertura viene rilevata separando il corpo del sensore e il magnete.

Figura 13-Contatto: funzionamento e interfaccia

Smart valve

La smart valve serve per controllare il confort all'interno di ciascuna stanza. Questo dispositivo misura la temperatura con due sensori integrati: un sensore ambiente dietro il display e un sensore mandata vicino

alla valvola. La temperatura ambiente viene calcolata sulla base di entrambe le indicazioni per un'area di circa 20 cm davanti al display. In questo modo può controllare con molta precisione la temperatura ambiente effettiva. La temperatura visualizzata è sempre la temperatura impostata, set-point, non la temperatura ambiente effettiva. La smart valve comunica wireless con l'EB, se la connessione viene interrotta, continua comunque a regolare la temperatura ambiente e a mantenere la temperatura impostata prima dell'interruzione. Inoltre dispone di una funzione "finestra aperta" che provvede a chiudere la valvola se la temperatura ambiente cala rapidamente, riducendo le perdite di calore. Il riscaldamento si spegne per un massimo di 30 minuti prima che ritorni alle impostazioni originali.

Nella figura seguente sono illustrate le modalità di controllo del set-point sia manuale che da remoto. Da interfaccia, è possibile visualizzare le seguenti proprietà:

- Setpoint Attuale;
- Slider per la selezione di un nuovo setpoint;
- Percentuale di carica della batteria;

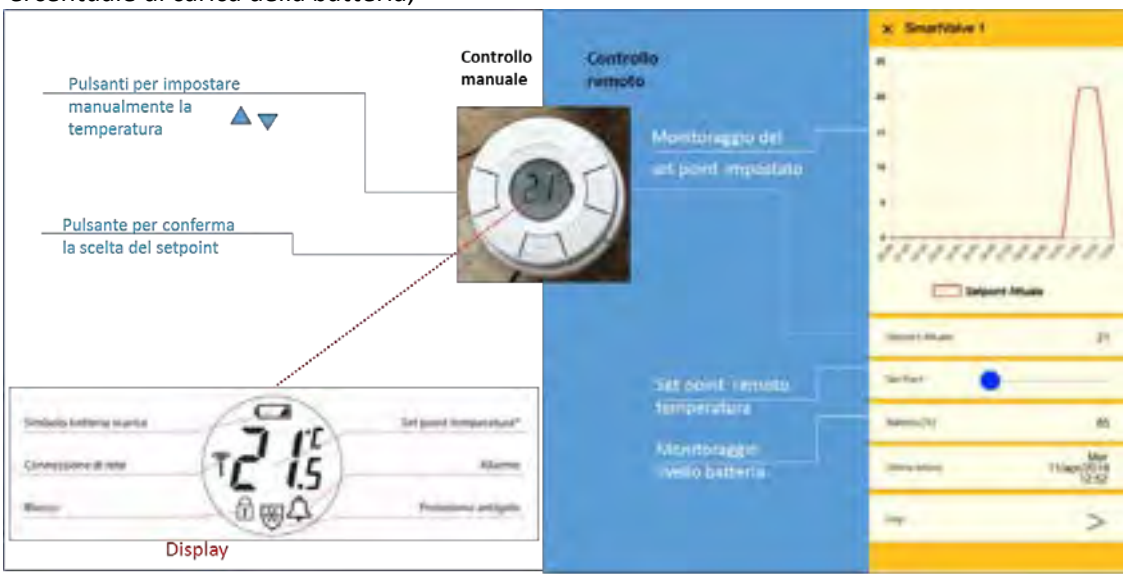


Figura 14- Smart valve: funzionamento e interfaccia

2.4.1 *Specifiche tecniche dei dispositivi installati.*

Si riporta di seguito la descrizione di tutti gli elementi del kit installato presso la rete di Smart Holmes, con indicazione delle grandezze acquisite, intervalli di acquisizione e modalità di sincronizzazione e aggregazione. Nella tabella seguente sono sintetizzati, per ogni tipologia di dispositivo, la marca e il modello, la grandezza misurata e l'intervallo di acquisizione. Si può notare che ciascun dispositivo ha un proprio intervallo di acquisizione. In generale la tipologia di sensori impiegati è predisposta a registrare in tempo reale la minima variazione della grandezza misurata, pertanto le grandezze sono acquisite come dati puntuali con differenti timestamp.

Tabella 12- Sensoristica: grandezze misurate e intervallo di acquisizione

Sensore	***Marca / Modello***	***Grandezza misurata***	***Intervallo di acquisizione dati***
Home Energy Meter	Aeotec/ ZW095-C	Potenza Istantanea (W)	Di default, il sensore invia un report automatico ogni 5 secondi e quando viene rilevata una variazione del 10% della potenza corrente e quando è superiore a 50W.
		Energia accumulata (kWh)	D default il sensore invia un report quando rileva una variazione in Watt del 10%
Smart plug	*Fibaro /*	Potenza Istantanea	Di default, viene inviato un report se

		(W)	il carico di alimentazione cambia dell'80%. Inoltre le variazioni di carico di potenza possono essere riportate fino a 5 volte in un intervallo di 30 secondi, quando il carico di corrente cambia del 15%.
		Energia accumulata (kWh)	Di default, viene inviato un report quando vi è una variazione minima nel consumo di energia pari a 0.1kWh e comunque viene inviato un report ogni ora.
Smart switch	Qubino / ES-22-QUB_ZMNHBD1	Potenza Istantanea (W)	Di default il sensore invia un report quando vi è una variazione del 10% della potenza impegnata e con un intervallo di tempo di 300 secondi
Sensore integrato di comfort-presenza	*Fibaro/ ES-11-FIB_FGMS-001-ZW5*	*Temperatura (C°)*	Di default, viene inviato un report quando vi è una variazione di (1 ° C) e comunque viene misurata ogni (900s), mentre il report non viene inviato se non vi è variazione di temperatura. L'intervallo di Wake up predefinita del sensore è di 2 ore
		Illuminamento (lux)	Di default, viene inviato un report se vi è una variazione nel livello di intensità della luce pari a 200 lux e comunque una volta ogni ora.
		Presenza (on/off)	Il numero di movimenti richiesti per inviare un report sono 2 in un intervallo di tempo di 12 secondi, mentre l'allarme di movimento viene annullato dopo 30 secondi. Il sensore rimane inattivo dopo l'ultimo rilevamento per un intervallo di tempo pari a 8 secondi
		Accelerometro	Se viene rilevata una manomissione/accelerazione della forza di 0,4 g viene inviato un allarme, questo viene annullato dopo 30 secondi, qualsiasi manomissione rilevata durante questo periodo non prolunga il ritardo. Tale valore non viene acquisito dal sistema.
Contatto porta/ finestra	*Fibaro/ ES-11-FIB-FGK-10*	*Apertura/ chiusura*	In caso di apertura o chiusura il sensore invia un report con un delay di 0 secondi, il segnale viene annullato dopo 5 secondi.
Smart valve	*Fibaro/ FGT-001*	*Set point (C°)*	Il sensore misura la temperatura ogni 60 secondi, mentre invia il dato di setpoint ad ogni variazione di impostazione ed ogni 5 minuti.

2.4.2 Processamento dei dati

I dati puntuali, provenienti dalla sensoristica predisposta nelle Smart Homes, vengono collezionati in real-time ma elaborati per l'aggregazione al quarto d'ora tramite uno script che elabora i dati del quarto d'ora precedente e alimenta le tabelle preposte alla raccolta di dati quartorari.
Per tutte le property dei vari sensori (Power, Temperature, Pir, ecc.), eccetto la Energy, viene effettuata la media tenendo conto del tempo. Ad esempio per la potenza elettrica, si sommano tutte le potenze per il numero di secondi nei quali sono permase, e poi viene diviso il tutto per il numero di secondi inerenti all'intervallo considerato:

$$\text{AVG}_{\text{Property x}} = \frac{\sum_1^n (P \times s)}{\sum_1^n (s)}$$

Dove *n* è il numero di dati nell'intervallo quartorario considerato; *P* è la misura della property istantanea registrata dal sensore (Power, Temperature, Pir,ecc.); *s* sono i secondi.

Per l'Energy Meter e le smart Plug che ci forniscono, oltre la potenza istantanea, anche i dati grezzi dell'energia ad accumulo, è stato necessario aggregare anche questo tipo di misura, calcolata pertanto come energia finale meno energia iniziale:

$$\text{AVG}_{\text{ Energy da sensore}} = \left(E_f - E_i\right) \times 1000$$

Dove E_f è l'energia finale ed E_i è l'energia iniziale.

Tale energia basata su quella comunicata ad accumulo dal sensore, tiene anche conto del fattore di potenza, e quindi è importante per il confronto con i consumi in bolletta dell'utente.
Per quanto riguarda i sensori con property Power, è stata inoltre calcolata un'ulteriore misura di energia a partire dalla potenza istantanea e dal tempo:

$$\text{AVG}_{\text{ Energy da power:}} \sum_1^n \left[P \times \left(\frac{s}{3600}\right)\right]$$

Dove *n* è il numero di dati nell'intervallo quartorario considerato; *P* è la potenza istantanea comunicata dal sensore; *s* sono i secondi.

2.5 *Verifica di funzionamento*

Il periodo e tipologia di monitoraggio varia tra le abitazioni che appartengono all'Aggregatore 1 dell'area di Centocelle da quelle dell'Aggregatore 2, già oggetto di test nella scorsa annualità.

Le abitazioni dell'Aggregatore 2 sono monitorate da punto di vista del consumo elettrico generale dal marzo del 2017, solo alcune sono state dotate di sensori per il monitoraggio del confort indoor e apertura chiusura con protocollo En-Ocean, si veda a tal riguardo il Report RdS/PAR2016/006 della scorsa annualità.

A partire da luglio 2018 anche in queste abitazioni è stato adottato lo stesso kit di sensori delle abitazioni dell'Aggregatore 1, basato sull'impiego di sensori Z-Wave. Nella tabella che segue è sintetizzata la tipologia di monitoraggio, il periodo di acquisizione dei dati dai sensori installati e la verifica del loro funzionamento:

Tabella 13-AGGREGATORE 2: Tipologia ed periodo di monitoraggio

Energy Box	Monitoraggio	2017									2018									
		Marz	Apr	Mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set
E3	*Elettrico*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓
	Confort					×	×	×	×	×	×	×	×					✓	×	×
	Contatti																	×	×	×
E4	*Elettrico*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Confort	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Contatti											✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
E8	*Elettrico*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Confort					×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	×	×
	Contatti																	✓	×	×
E9	*Elettrico*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Confort					✓	×	×	×	×	×							✓	×	×
	Contatti					✓	×	×	×	×	×							✓	×	×

Legenda: **Funzionamento:** ✓ Regolare × Dati mancanti

Tipologia di monitoraggio:

Elettrico	Smart meter, smart plug
Confort	Sensori temperatura e umidità e sensori presenza (En-Ocean)
Contatti	Contatti apertura chiusura porta/ finestra (EnOcean)

Elettrico	Smart meter, smart plug, switch.
Confort	Sensori integrati temperatura, presenza, luminosità (Z-Wave)
Contatti	Contatti apertura chiusura porta/ finestra (Z-Wave)

Anche in quest'annualità le abitazioni dell'Aggregatore 2 sono state utilizzate per eseguire dei test, infatti si è iniziato ad installare il nuovo kit di sensori nella abitazione E4 a gennaio 2018, solo dopo 3 mesi di test positivi si è proceduto ad installare nelle altre abitazioni. Per quanto riguarda l'Aggregatore 1 nell'area di Centocelle, i sensori sono stati configurati e associati ai singoli EB in laboratorio, nel periodo compreso tra fine Febbraio e Aprile, mentre le installazioni sono iniziate ad Aprile e in alcuni casi si sono completate a giugno.

Una volta completata la fase di configurazione e installazione del sistema è iniziata l'acquisizione dei dati di monitoraggio, si è quindi passati ad una prima fase di analisi dei dati acquisiti sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo al fine di ottimizzare il sistema.

In alcuni casi sono state verificate delle anomalie di acquisizione, per questo motivo è stato necessario ritornare nelle abitazioni per correggere alcune problematiche riscontrate, in media sono stati necessari almeno due interventi ad abitazione per verifiche e messe a punto del sistema.

In generale si è potuto verificare che i sensori per il monitoraggio delle grandezza elettriche, in particolare Energy meter, smart plug e switch, non presentavano problemi di acquisizione se non legati alla connessione dell'EB alla rete, per tanto il set di dati relativi ai consumi elettrici generale e relativo agli elettrodomestici monitorati è risultato valido e consistente.

Al contrario i sensori per il monitoraggio del confort e della presenza, così come i contatti per rilevare l'apertura di porte e finestre, dopo un iniziale periodo di normale funzionamento, a causa dell'esaurimento delle batterie di alimentazione, non hanno assicurato un funzionamento continuo, per tale motivo il dataset dei disponibili per tali grandezze presenta delle lacune.

Per consentire un'analisi automatica dei dati acquisiti è stata sviluppata una procedura che si pone come obiettivo quello di evidenziare sia i buchi di dati che il periodo di acquisizione dei dati provenienti dai sensori installati.
Tali dati vengono collezionati in un DB su server virtuale Enea. Data la grossa mole di dati da analizzare, si è reso necessario lo sviluppo di uno script Java.
Il primo step che effettua l'algoritmo sviluppato è quello di caricarsi un file di configurazione appositamente creato, su cui scrivere i settaggi dello script come ad esempio i parametri di connessione al DB.
Una volta caricati i settaggi, viene lanciato lo script che effettua una prima query nella quale memorizza tutte le tabelle presenti nel DB (una per ciascun sensore) e per ciascuna di essa analizza tutti i dati verificandone la continuità nel tempo. Non appena viene individuato un salto temporale tra una data e la successiva, tale periodo di buco viene registrato su un apposito file .csv "Missing Data", inizializzato con le rispettive colonne come in figura sottostante.

EnergyBox	Sensore	Giorno_Dati_mancanti dal	al
energyBox10	26	07/02/18	04/04/18
energyBox10	26	06/04/18	01/06/18
energyBox10	26	02/06/18	04/07/18
energyBox2	26	07/02/18	22/02/18
energyBox2	26	23/02/18	14/04/18
energyBox2	26	15/04/18	19/05/18
energyBox2	26	20/05/18	01/06/18
energyBox2	26	02/06/18	04/06/18
energyBox3	26	07/02/18	01/03/18
energyBox3	26	02/03/18	14/04/18
energyBox3	26	15/04/18	19/05/18
energyBox6	26	07/02/18	18/05/18

Figura 15-File di output "Missind data"

Contemporaneamente, per ciascun sensore viene memorizzato il periodo di acquisizione analizzato in un altro file .csv denominato "periodo_analisi Missing Data", inizializzato con le rispettive colonne come in figura sottostante.

EnergyBox	Sensore	Periodo_analizzato dal	al
energyBox10	26	06/02/18	04/07/18
energyBox2	26	06/02/18	04/06/18
energyBox3	26	06/02/18	19/05/18
energyBox6	26	06/02/18	01/06/18
energyBox5	26	06/02/18	02/06/18
energyBox7	26	06/02/18	07/08/18
energyBox9	26	06/02/18	05/04/18
energyBox8	26	06/02/18	28/05/18
energyBox1	26	06/02/18	21/02/18

Figura 16- File output "periodo analisi Missing Data"

Ricapitolando quindi, lo script realizzato in Java che ha analizzato tutti i dati presenti del DB, ha prodotto i due seguenti file csv:

- Il file titolato "MissingData" contiene i periodi di dati mancanti per ogni sensore ed ogni energybox, ossia tutti i buchi di dati presenti.

- Il file titolato "Pariodo analisi_Missing_Data" contiene invece il periodo analizzato, per ogni sensore, ossia la data iniziale di installazione di ciascun sensore e la data ultima presente del DB relativamente a quel sensore.

In questo modo è stata eseguita una prima analisi dei dati acquisiti che hanno permesso di trarre alcune conclusioni riguardanti:

- il periodo di acquisizione completa dei dati da parte del sistema di monitoraggio;

- la corretta trasmissione dati nel periodo di riferimento da parte dei sensori;

- il periodo di attività (o inattività) dei sensori.

Per le abitazioni riferite all'Aggregatore 1 è stata condotta un'analisi dei dati acquisiti nel periodo di sperimentazione (maggio-luglio 2018), nell'Allegato 1 sono riportati i risultati per ogni Abitazione, mentre nella tabella seguente è sintetizzato il funzionamento nei mesi considerati.

Energy Box	Monitoraggio	Periodo considerato					
		Apr (dal 14)	**Mag**	**Giu**	**Lug**	**Ago**	**Set**
C1	*Elettrico*	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Comfort	✓	×	×	×	×	×
	Contatti	×	×	×	×	×	×
C2	*Elettrico*	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Comfort	✓	✓	✓	✓	×	×
	Contatti	×	×	×	×	×	×
C3	*Elettrico*	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Comfort	×	×	×	×	×	×
	Contatti	✓	✓	✓	✓	✓	✓
C4	*Elettrico*	✓	×	×	×	×	×
	Comfort	✓	×	×	×	×	×
	Contatti	✓	×	✓	✓	✓	✓
C5	*Elettrico*	✓	✓	×	×	×	×
	Comfort	×	×	×	×	×	×
	Contatti	✓	×	×	×	×	×
C6	*Elettrico*	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Comfort	✓	×	×	×	×	×
	Contatti	×	×	×	×	×	×
C7	*Elettrico*	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Comfort	×	×	×	×	×	×
	Contatti	×	×	×	×	×	×
C8	*Elettrico*	✓	×	×	×	×	×
	Comfort	×	×	×	×	×	×
	Contatti	×	×	×	×	×	×
C9	*Elettrico*	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Comfort	✓	✓	✓	✓	✓	×

	Contatti	×	×	×	×	×	×
C10	*Elettrico*	✓	✓	×	×		
	Comfort	✓	×	✓	×		
	Contatti	×	×	×	×		

Legenda **Funzionamento** ✓ **Regolare** × **Dati mancanti**

Tipologia di sensore installato

Elettrico	Smart meter, smart plugs, switch.
Comfort	Sensori integrati temperatura, presenza, luminosità (Z-Wave)
Contatti	Contatti apertura chiusura porta/ finestra (Z-Wave)

Si può concludere che nel periodo di sperimentazione condotta è stato assicurato il corretto funzionamento degli EB installati, ed in generale dei sensori per il monitoraggio dei parametri elettrici. Infatti le poche lacune dei dati elettrici sono state dovute essenzialmente alla mancanza di comunicazione legata spesso a comportamenti errati degli utenti che si disconnettevano da internet (EB C10, C5 e C9), solo in un paio di casi ci sono state delle difficoltà nel funzionamento (EB C1 e C5) risolte con un intervento in loco per reinstallare correttamente i dispositivi.

Al contrario i sensori per il confort e i contatti di porte e finestre, dopo un periodo iniziale non hanno assicurato la trasmissione dei dati perché le batterie si sono velocemente esaurite. Si ipotizza che questo tipo di sensori rimangano sempre attivi e continuino a comunicare senza pause con la rete Z-Wave. Si ritiene opportuno effettuare un ulteriore periodo di sperimentazione per individuare una soluzione alle problematiche riscontrate.

3 Post processamento dei dati acquisiti in fase di sperimentazione

La disponibilità dei dati provenienti dalla sperimentazione in campo ha consentito di disporre di un set di dati su cui compiere off-line una serie di analisi specifiche. In particolare i dati riguardanti il monitoraggio elettrico sia generale che dei singoli elettrodomestici monitorati sono stati impiegati per:

- La caratterizzazione energetica del singolo appartamento (par. 3.1)
- L'analisi sull'impiego degli elettrodomestici (par.3.2)
- Il test del modello di disaggregazione dei dati di consumo elettrico basati sul machine learning, effettuato in collaborazione con l'Università di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ingegneria Informatica domestico come descritto nel Report RdS/PAR2017/048;
- Il test per algoritmi di previsione della curva day-ahead sviluppata con i metodi di day matching e decritta nel capitolo del presente report e in dettaglio nel Report RdS/PAR2017/049 dell'Università Politecnica delle Marche.

Inoltre, il monitoraggio dei parametri di confort indoor ed i consumi elettrici dei condizionatori sono stati analizzati per individuare delle strategie di gestione e diagnostica della richiesta di energia per il condizionamento ambientale e della qualità termo-igrometrica di edifici pilota, come descritto nel capitolo 4 del presente report ed in dettaglio nel Report RdS/PAR2017/050, curato dal Dipartimento Energia del Politecnico di Torino.

Infine è stato condotto un confronto tra le abitazioni per individuare idonei KPI (Key Performance Indicator) al fine di fornire dei feedback, efficaci e utili, agli utenti finali.

3.1 Caratterizzazione energetica degli edifici pilota

Per ciascuna abitazione coinvolta nella sperimentazione sono stati analizzati i dati di potenza ed energia come riportato nell'Allegato 1. A titolo di esempio si riportano di seguito le analisi eseguite per un caso studio identificato come EB C1.
La caratterizzazione di ciascun appartamento è stata compiuta tramite l'identificazione del consumo medio giornaliero per una settimana tipica, nella figura seguente viene riportata la mappatura dei consumi medi giornalieri dell'edificio pilota C1 nel mese di luglio. Come si può vedere dal grafico, l'andamento dei consumi mostra il venerdì come il giorno in cui si concentrano i consumi più elevati.

Figura 17-Consumo medio giornaliero caso pilota C1

Ciascun edificio pilota è stato poi analizzato secondo i profili di consumo elettrico totale nel tempo, a tal fine è stata eseguita un'analisi per caratterizzare il consumo medio settimanale nel mese di luglio preso come periodo di indagine di ciascun appartamento. Nella figura successiva viene riportato l'andamento della potenza media oraria relativa ai soli giorni feriali (linea blu), ai soli fine settimana (linea arancione) e a tutto il periodo monitorato (linea tratteggiata) per l'edifico pilota C1. Dal grafico si evince come il profilo orario di potenza elettrica assorbita durante i sabati e domeniche delinea una maggiore attività generale soprattutto pomeridiana, inoltre durante le ore del mattino (ore 10 vs ore 8) e del pomeriggio (ore 16 vs ore 14) si verifica uno shift di 2 ore rispetto a quello dei giorni feriali.

Figura 18- Profilo di utilizzo della potenza elettrica richiesta dall'appartamento C1

3.2 Analisi dei profili di utilizzo degli elettrodomestici

Seguendo la stessa linea di ricerca della scorsa annualità [1] , in cui si erano analizzate le abitudini di utilizzo degli elettrodomestici da parte delle case pilota ENEA, quest'anno l'analisi ha riguardato le utenze di Centocelle. Scopo dell'analisi è un confronto con ipotesi fatte a livello della Commissione Europea per l'implementazione della Direttiva Ecodesign sulle "smart appliances" e anche, possibilmente, dare un feedback agli utenti per indurli a riflettere sulle loro abitudini di utilizzo.
Per chiarezza, vengono ripresi qui i concetti già presenti nel report della scorsa annualità. Si ricorda anche che tutte le informazioni sul livello europeo sono quindi provenienti da "Ecodesign Preparatory study on Smart Appliances"[7] e in particolare il task 3: Users.

Gli elettrodomestici esaminati qui sono quelli del lavaggio (lavatrice e lavastoviglie) e quelli del freddo (frigoriferi, frigocongelatori, congelatori).

In base al tempo e modo di utilizzo, gli elettrodomestici sono classificati in modo differente:

- gli elettrodomestici del lavaggio sono di tipo "periodic", cioè che eseguono cicli di operazioni su input dell'utente, e in cui l'interazione utente-elettrodomestico è essenzialmente solo per l'inizio del ciclo mentre è nulla durante la fase operativa del ciclo.
- gli elettrodomestici del freddo sono di tipo "continuous". Essi hanno la capacità di immagazzinare energia termica in una forma pronta per essere utilizzata. Dopo il setup iniziale non c'è nessuna interazione con l'utente per il controllo dell'elettrodomestico. Le azioni dell'utente tuttavia possono avere impatto sulle operazioni e sui consumi.

Per l'analisi delle utenze di Centocelle, sono state utilizzate le potenze media aggregate ai 15 minuti: questo non permette di entrare nel dettaglio di singoli cicli di funzionamento degli elettrodomestici, ma permette comunque di avere indicazioni ad esempio sull'orario di utilizzo.

Sono stati esaminati i mesi da giugno ad agosto 2018, per vedere un andamento generale, e in particolare l'analisi si è basata sul mese di luglio in quanto il più completo di dati.

3.3 La letteratura e le ipotesi a livello europeo

3.3.1 Periodic appliances: lavatrici e lavastoviglie

Per le lavatrici e lavastoviglie, il consumo principale di energia è dovuto ai processi di riscaldamento[1]. Potenza tipica dei dispositivi riscaldanti: 1800-2500W. La temperatura varia secondo il programma. Energia addizionale serve per operare pompe di circolazione (potenza tipica 15-30W), motori (potenza tipica 100W, ma durante la centrifuga in una lavatrice si possono avere picchi di 950W), display / interfacce utente.
E' stata svolta in questo ambito una indagine on line in 10 paesi europei (2500 partecipanti[2]) sulle abitudini di utilizzo degli elettrodomestici del lavaggio, i cui risultati sono utilizzati qui.

Lavatrice
In Europa c'è da tempo la tendenza ad aumentare la capacità di carico: 4.8 kg nel 1997, 6.0 kg nel 2008. Il numero medio di cicli settimanali è (dato 2011) 3.8, quindi 198 cicli/anno. Un'altra fonte autorevole riporta (sempre per il 2011) 3.2 cicli/settimana, quindi 166 cicli/anno.
C'è una notevole diversificazione di consumi nei vari paesi europei, probabilmente spiegabile con temperature di lavaggio e frequenze differenti. In Italia il consumo è di 146.7 kWh/anno.

Assumendo il programma cotone normale e un consumo di 0.89 kWh/ciclo (la potenza dipende dalla temperatura di lavaggio e anche dalla quantità di acqua, per cui può variare di molto secondo il programma utilizzato e anche secondo la capacità della macchina), la power demand per una lavatrice media è il seguente:

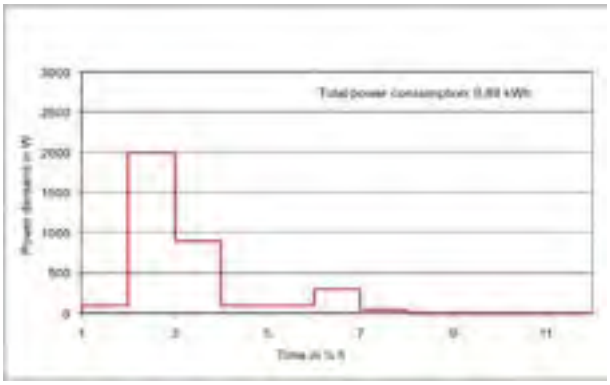


Figura 19 - Power demand lavatrice media ciclo cotone normale

Le probabilità di accensione nelle diverse nazioni in diverse ore del giorno sono diverse nelle varie nazioni (in Figura 20 l'Italia è rappresentata da "IT" in giallo), ma si evidenziano comunque due periodi preferiti: uno alla mattina tra le 7 e le 9, l'altro al pomeriggio / sera (tra le 16 e le 20). Si assume che il profilo di utilizzo della lavatrice abbia variazioni su base giornaliera ma non stagionale, per cui esso è valido in qualunque periodo dell'anno.

[1] nota ENEA: viene scaldata l'acqua, ma si scaldano anche il carico – ossia ciò che viene lavato – e la struttura stessa dell'elettrodomestico
[2] EUP LOT 14: studio preparatorio Ecodesign Elettrodomestici del lavaggio

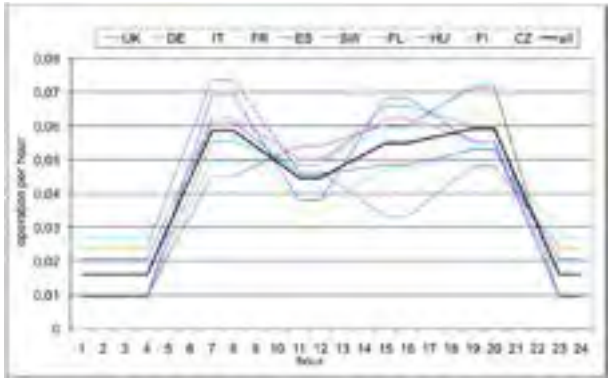


Figura 20 – Probabilità ora accensione lavatrice in diverse nazioni

Lavastoviglie

Il numero medio di cicli di lavaggio settimanale è 4.06, cioè 211 cicli/anno. E' stato stimato in 25.3 TWh il consumo totale di elettricità per lavastoviglie nel 2010.

Una lavastoviglie da 13 coperti consuma 194-290 kWh/anno. In letteratura è riferito un consumo tipico di 241 kWh/anno, corrispondenti a 1.19 kWh/ciclo.

Per un ciclo di lavaggio normale, e assumendo un consumo di 1.19 kWh/ciclo, la power demand per la lavastoviglie media è la seguente:

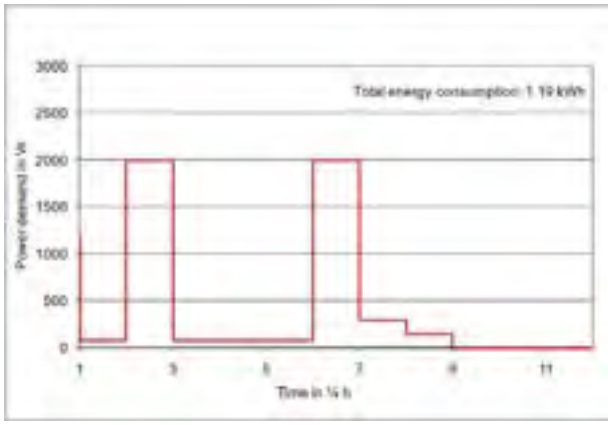


Figura 21 - Power demand lavastoviglie media ciclo lavaggio normale

La probabilità di accensione nelle diverse nazioni (nella figura seguente l'Italia è rappresentata da "IT" in giallo) fa vedere che la lavastoviglie è utilizzata preferibilmente nel pomeriggio o a sera dopo cena. Si assume che il profilo di utilizzo della lavastoviglie abbia variazioni su base giornaliera ma non stagionale, per cui esso è valido in qualunque periodo dell'anno.

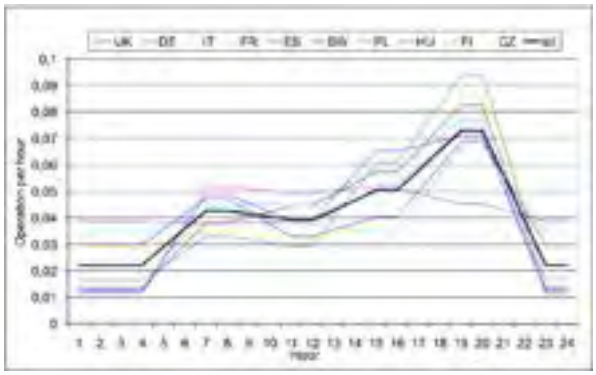


Figura 22 - Probabilità ora accensione lavastoviglie in diversi paesi europei

3.3.2 Continuous appliances: frigoriferi, frigocongelatori[3]

I frigoriferi e frigocongelatori per uso domestico sono per la maggior parte a ciclo chiuso di compressione di vapore. I componenti principali sono il compressore, l'evaporatore e il condensatore e la valvola di espansione. La maggior parte del consumo elettrico è quella che fa funzionare il compressore: oltre a questo ci sono consumi addizionali per eventuali ventole interne, lampade, display e dispositivi di sbrinamento automatico. Tipica potenza di un frigorifero è 50-300W (nel 2009 138.2 W), anche in funzione della capacità. I dati a disposizione sui consumi energetici sono limitati. Nel 2005 sono stati valutati in 82TWh/anno i consumi per frigoriferi / frigocongelatori (190.6 milioni di apparecchi nel 2005), corrispondenti a 430kWh/apparecchio. Nel tempo, gli elettrodomestici del freddo sono diventati molto più efficienti: dalle dichiarazioni di etichetta energetica, i frigoriferi venduti nel 2014 hanno un consumo medio di 231kWh/anno. A parte gli elementi tecnici, i fattori di ambiente e di utilizzo determinano I consumi energetici. Questo comprende:

- per i frigoriferi e frigocongelatori: temperatura ambiente e umidità, esposizione a fonti di calore esterne (luce solare diretta, forni, lavastoviglie, lavatrici…), capacità, impostazione termostato, inserimento di carico caldo, frequenza e durata apertura porte, tipo di installazione (free standing da incasso);

Abitudini di utilizzo e fattori ambientali hanno una grande variabilità in Europa, per cui è molto difficile prevedere i consumi reali.
L'efficienza dei compressori è in crescita ancora oggi, ma si prevede che la power demand rimanga costante nei prossimi anni, perché c'è una tendenza all'aumento della capacità (volume) degli apparecchi.
In un funzionamento normale, il compressore lavora in modo intermittente per circa 1/3 del tempo in cui l'apparecchio è acceso: questo "running time" può arrivare al 100% in condizioni particolari, come a temperatura ambiente molto alta o per l'immissione di grandi quantità di carico caldo (oppure di grandi quantità di carico da congelare per i congelatori).

Il funzionamento è ciclico: il compressore lavora per abbassare la temperatura interna dell'apparecchio rispetto all'ambiente (quindi per mantenere freddo il cibo da conservare) e va in pausa quando questa temperatura è raggiunta; la temperatura quindi si alza e il compressore rientra in funzione. La tipica power demand è la seguente[4]:

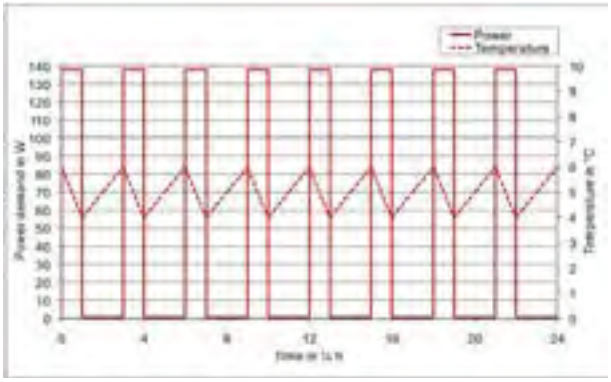


Figura 23 - Power demand tipica frigorifero

Il profilo di utilizzo dei frigoriferi / frigocongelatori ha una variazione marcata su base giornaliera, mentre le variazioni stagionali, dovute alla diversa temperatura ambiente, sono secondarie e possono essere trascurate se il locale rimane a temperatura quasi costante nel corso dell'anno. Si ipotizza l'utilizzo maggiore nel pomeriggio / sera: in Figura 24 la frequenza stimata di apertura delle porte, sintomo di azioni da parte

[3] anche i congelatori, esclusi dalla presente analisi fanno parte di questa categoria
[4] senza considerare il ciclo di sbrinamento automatico

dell'utente. Si assume che il 25% del consumo di energia del frigorifero sia dovuto all'utilizzo (apertura porte, immissione alimenti caldi).

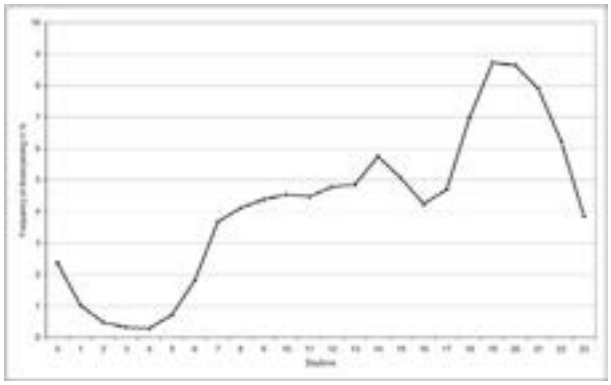


Figura 24 - Frequenza apertura porte frigorifero nella giornata

3.4 Analisi utenze Centocelle

3.4.1 Periodical appliances: lavatrici e lavastoviglie

Considerando la potenza impegnata durante la giornata, si può valutare la probabilità che un elettrodomestico del lavaggio sia "ON" nel tempo, cioè la probabilità che ci sia un ciclo attivo.
La seguente figura mostra questa probabilità per la lavatrice per tutte le utenze di Centocelle.

Figura 25 - Probabilità utilizzo lavatrice

Si vede che l'la partenza differita, ove possibile tecnicamente, è poco o nulla usata. Non sono effettuati lavaggi notturni, oltre mezzanotte: questo può derivare dall'esigenza di mettere ad asciugare i panni appena dopo il lavaggio, in modo da evitare cattivi odori o altri inconvenienti che potrebbero verificarsi lasciando i panni bagnati nell'elettrodomestico chiuso per alcune ore. L'utilizzo è abbastanza diversificato e corrisponde anche alla presenza di persone nell'abitazione. Su tutte le utenze, il risultato è il seguente:

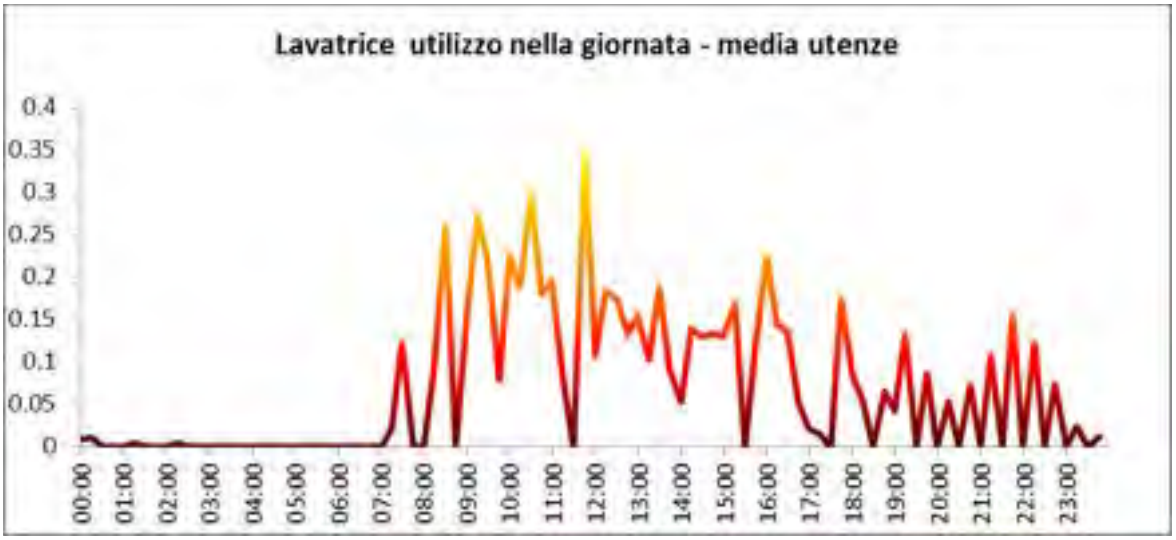


Figura 26 - Probabilità media utilizzo lavatrice

Rispetto all'ipotesi europea, si conferma l'utilizzo alla mattina, mentre non è così accentuato il picco di utilizzo pomeridiano: probabilmente c'è maggior presenza di persone a casa nel dopopranzo a Centocelle rispetto al campione considerato a livello europeo.

Nella seguente figura la probabilità per l'utilizzo della lavastoviglie per tutte le utenze a Centocelle.

Figura 27 - Probabilità utilizzo lavastoviglie

Nella seguente figura, la media di utilizzo su tutte le utenze.

Figura 28 - Probabilità media utilizzo lavastoviglie

Viene confermato il picco serale di utilizzo ipotizzato a livello europeo, anche se più spostato verso le ore notturne. Nel caso della lavastoviglie, che prevede l'asciugatura del carico, non è importante togliere dall'apparecchio le stoviglie appena terminato il ciclo. Probabilmente i lavaggi notturni sono legati o al tipo di tariffa elettrica in uso nell'abitazione, o al dover rispettare il limite di potenza disponibile e dell'uso contemporaneo di altri dispositivi elettrici, o a semplice abitudine o comodità.

3.4.2 Continuous appliances: frigoriferi, frigocongelatori

Per il frigorifero o frigocongelatore, non è corretto parlare di stato "ON" o "OFF" o standby in base all'alternarsi, nel tempo, di potenza alta o bassa: normalmente l'elettrodomestico è acceso. La potenza è alta quando il compressore è in funzione ed è bassa (ma in genere non nulla) quando il compressore è spento.
Nella seguente figura si vede che il frigorifero o frigocongelatore ha il tipico comportamento continuo, abbastanza costante nel corso della giornata. Le oscillazioni sono dovute al ciclo del compressore, che è diverso per ogni modello e quindi è diverso per le diverse utenze.

Figura 29 - Comportamento frigorifero o frigocongelatore durante la giornata - media utenze

Su questo tipo di elettrodomestici non ci sono particolari segnalazioni, a parte un utente, in cui il comportamento sembra anomalo perché il compressore sembra essere quasi sempre in funzione (vedi la seguente figura, che rappresenta 2 settimane di monitoraggio).

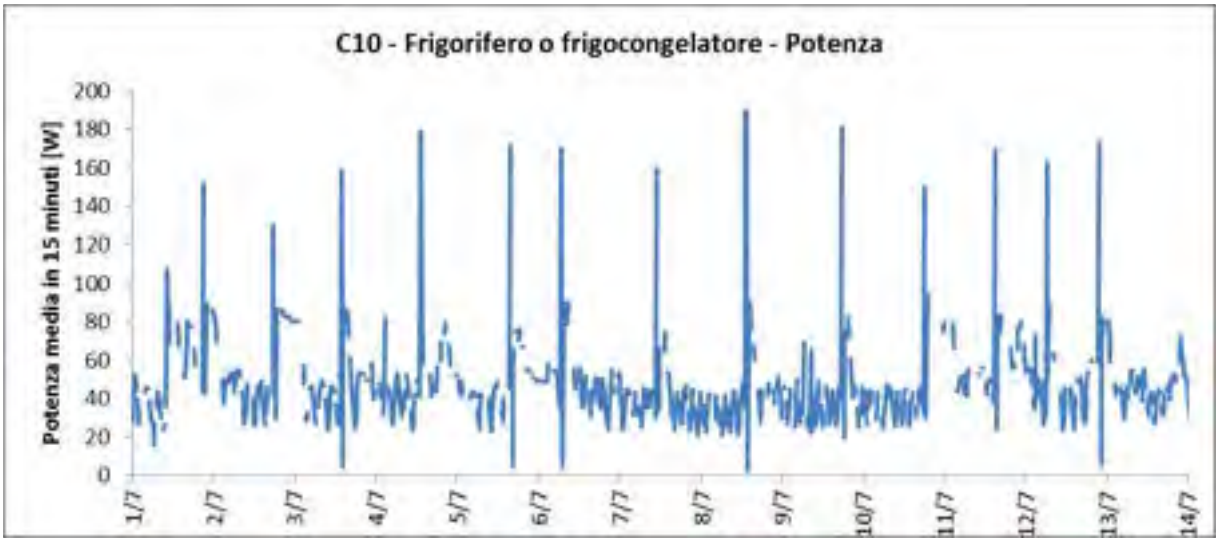


Figura 30 - Potenza frigorifero o frigocongelatore utente C10

Questa situazione può essere dovuta a un comportamento difettoso dell'elettrodomestico, oppure a una temperatura ambiente molto elevata nell'intorno dell'apparecchio e/o una classe climatica dell'apparecchio non adeguata per questa condizione, oppure a una durata dei cicli tale per cui non si evidenzia mai la fase di compressore spento con i dati aggregati al quarto d'ora. Si può approfondire questo aspetto con l'utente.

3.4.3 Considerazioni sull'utilizzo

Poiché gli elettrodomestici del freddo sono di tipo continuous, si può facilmente ipotizzare che il comportamento resti inalterato anche nei periodi di dati mancanti, quindi l'errore non è grande. Non si può dire lo stesso per gli elettrodomestici del lavaggio: se la mancanza di dati avviene di notte, dopo la mezzanotte, possiamo ragionevolmente immaginare che in quel periodo l'apparecchio non sia in funzione. Per questo nelle considerazioni seguenti si è tenuto conto solo dei periodi ragionevolmente lunghi dove erano a disposizione dati.
Inoltre dobbiamo anche tener conto che nel periodo considerato ci sono le vacanze estive e quindi assenza di persone da casa.

Si è visto in generale che:

- per la lavatrice il numero di cicli di lavaggio è coerenti con quanto dichiarato, oppure inferiori;
- per la lavastoviglie in alcuni casi i cicli sono inferiori a quanto dichiarato;
- alcuni utenti usano sempre cicli ad alta temperatura in lavatrice, quindi probabilmente lavano a mano panni considerati più delicati, oppure lavano a mano per avere subito a disposizione i panni senza dover aspettare di avere un carico completo e usare la lavatrice a pieno carico.
    - se la lavatrice è di generazione recente, è in grado anche di lavare panni delicati, con il ciclo adatto,
    - lavare a mano i panni di "ogni giorno" può essere una necessità in termini di tempo, specialmente ora che le lavatrici hanno maggior capacità di carico rispetto al passato e il nucleo familiare non è molto numeroso. E' una scelta che va fatta consapevolmente, sapendo che il lavaggio a mano può comportare una maggiore quantità di acqua e detersivo rispetto al lavaggio a macchina. Alcune lavatrici hanno cicli rapidi ("ogni giorno" o simili denominazioni);

    - alcune lavatrici sono in grado di dosare acqua e altro in funzione del carico (peso), altre hanno il tasto “mezzo carico”, altre ancora possono discriminare il tipo di carico e adattarsi di conseguenza. Bisogna ricordare in ogni caso che mezzo carico non significa mezzo consumo, ma qualcosa in più.
- alcuni utenti dichiarano di avere lavastoviglie a 5 o 6 coperti. Queste sono chiamate “mini-lavastoviglie” e sono poco comuni: sono utilizzate soprattutto per ragioni di spazio. Non è stata verificata l’effettiva capacità di carico degli elettrodomestici installati, ma, soprattutto in famiglie composte da più persone, pare più probabile una capacità di carico maggiore. La capacità di carico così dichiarata può essere quello che l’utente, in base alla sua esperienza pensa sia il numero di coperti che riempiono la lavastoviglie.
    - la capacità di carico si esprime in coperti “standard”, dove il tipo (posate, pentole, bicchieri, piatti…), la forma e il materiale delle singole stoviglie è codificato. Questo permette di confrontare tra loro tutti i modelli del mercato, ma può essere in qualche modo fuorviante perché le stoviglie in uso nella propria abitazione possono essere diversi dallo standard per qualunque dei parametri detti.
- si può suggerire di utilizzare maggiormente la lavastoviglie. A patto di rispettare buone regole di comportamento, questo fa risparmiare acqua ed energia rispetto al lavaggio a mano. Ricordare di:
    - far funzionare l’elettrodomestico a pieno carico;
    - non sciacquare le stoviglie prima di caricarle. Se proprio sono molto sporche, pulirle con uno spazzolino (per evitare spreco di acqua);
    - utilizzare il detersivo adatto e non in quantità eccessiva e ricordare che il “sale” è un elemento importantissimo per il buon funzionamento e la buona durata dell’elettrodomestico;
    - non interrompere il ciclo prima della fine: si trovano in rete hints su come “risparmiare energia” fermando la fase di asciugatura, ma questo porta a un degrado veloce di molti componenti dell’apparecchio, quindi con possibili costi aggiuntivi per la manutenzione.

3.5 KPI e feedback all’utente finale

Per l’elaborazione di idonei KPI sono stati considerati i consumi e costi dichiarati dagli utenti sulla base delle bollette energetiche relative ad un intero anno di riferimento precedente alla sperimentazione. Tali informazioni sono state confrontate con i consumi stimati utilizzando il modulo di simulazione predisposto la scorsa annualità in collaborazione con l’Università di Roma” La Sapienza”, [5] Le simulazioni hanno permesso di stimare i consumi elettrici e termici delle abitazioni pilota sulla base delle informazioni fornite dagli utenti coinvolti nella sperimentazione, sulle dotazioni impiantistiche presenti nelle case pilota e sulle modalità di utilizzo.
Dalle analisi descritte di seguito sono stati esclusi gli EB 8 e 9, in quanto, essendo raggruppati in un unico POD (Point of Delivery che identifica il punto di consegna dell’energia elettrica), non è stato possibile individuare lo storico dei consumi da imputare a ciascuna unità abitativa.
Per le altre abitazioni sono state effettuate delle analisi comparative per individuare gli utenti più energivori e su cui sono più necessari interventi di efficientamento ed azioni per incrementare la consapevolezza energetica.
Nel grafico seguente è riportato il confronto tra i consumi elettrici da bolletta ed i consumi stimati sulla base delle informazioni fornite dall’utente.

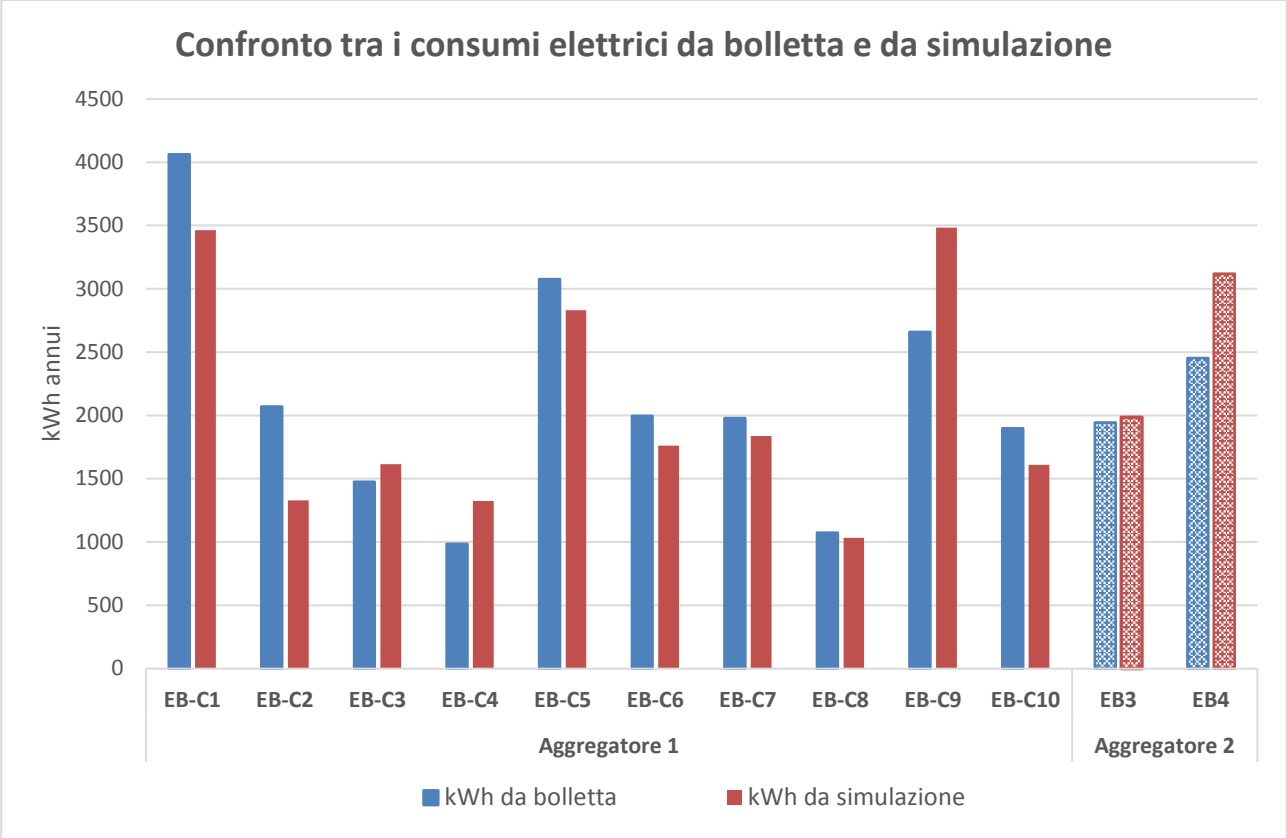


Figura 31- Confronto tra i consumi da bolletta e quelli da simulazione

Si è potuto riscontrare che in 7 casi su 12 gli utenti consumano più di quanto ne siano consapevoli anche in percentuali significative fino al 30% come per gli utenti identificati con gli EB C2 e C1.Situazione opposta invece è stata riscontrata nell'EB C9 che ha sovrastimato i propri consumi di circa il 30%. Quest'analisi, effettuata ancor prima di iniziare la sperimentazione ha confermato di fatto la mancanza di consapevolezza della maggioranza degli utenti coinvolti nella sperimentazione.

Successivamente è stata condotta un'analisi per individuare quali siano le abitazioni più energivore e quelle che comportano nel complesso un costo in bolletta più alto.
Per effettuare il benchmark tra le abitazioni, differenti per tipologia di abitazione e di utenza, sono stati calcolati i seguenti Key Performance Indicator (KPI):

- Consumo elettrico per utente: $kWh_{elet.}$/n. di utenti
- Consumo termico specifico, dato dal rapporto tra i mc di gas naturale consumato e la superficie utile dell'abitazione: mc_{gas}/mq
- Costi complessivi per utente, dato dal rapporto tra la somma dei costi totali, elettrici e termici, ed il numero di utenti presenti: $€_{tot}$/n.ut
- Costi specifici, dato dal rapporto tra la somma dei costi totali, elettrici e termici, ed la superficie utile dell'abitazione: $€_{tot}$/mq

Sono stati impiegati grafici a dispersione per visualizzare più indici contemporaneamente.

Il grafico seguente riporta sull'asse delle ascisse il consumo totale di energia elettrica annua, mentre sull'asse delle ordinate riporta il consumo per utente. Sullo stesso grafico sono riportate, in colore blu, le linee che individuano il valore medio tra quelli trovati (sia per quanto riguarda le ascisse, sia per quanto riguarda le ordinate). Esaminando la posizione dei vari edifici all'interno del grafico è possibile individuare in maniera immediata quali, tra quelli esaminati, presentino consumi sia specifici sia totali superiori alla media.

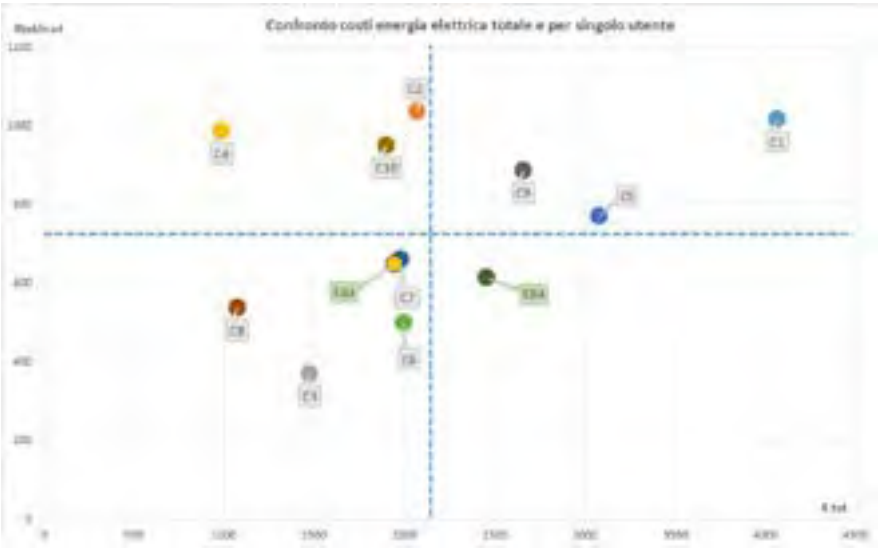


Figura 32- Confronto costi energia elettrico totale e per singolo utente

Questo grafico consente di individuare le abitazioni che hanno un uso più intensivo dell'energia elettrica indipendentemente dal numero di utenti. Si tratta delle abitazioni, C1, C5, C9, che ricadono nel rettangolo in alto a destra. Queste abitazioni sono dotate di pompe di calore, ma non essendo le sole nell'ambito della sperimentazione i consumi più elevati rispetto al resto delle abitazioni è da imputare al fatto che queste sono occupate per tutto l'arco della giornata in quanto almeno uno dei componenti della famiglia resta a casa per tutto il giorno (si veda tab. Tabella 14- Dati sulla tipologia di utenza e di occupazione).

La stessa procedura è stata impiegata anche per analizzare i consumi per riscaldamento, in questo caso il consumo di gas è stato normalizzato rispetto alla superficie, di seguito si riporta il grafico ottenuto:

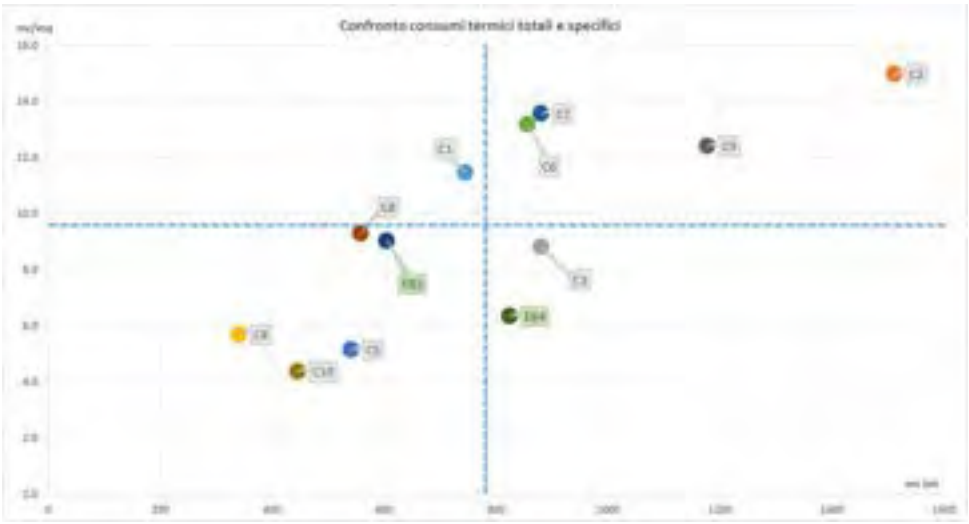


Figura 33-Confronto consumi termici totali e specifici

Il dato principale che emerge da quest'analisi è che sono gli edifici C2, C9, C7, C6 (in alto a destra) a presentare dei consumi, sia totali sia specifici, superiori rispetto al resto del campione. Trattandosi di energia termica è possibile dedurre che questi abbiano caratteristiche costruttive peggiori e quindi sono gli edifici che hanno una più alta priorità per interventi di efficientamento e di controllo sul consumo. Nel confronto non si tiene conto del livello di confort all'interno dell'abitazione, in effetti consumi più bassi possono anche comportare

la rinuncia di adeguati livelli di confort che solo un adeguato monitoraggio consente di valutare, così come descritto nel capitolo 4 del presente report. C'è da notare che gli edifici C2 e C9 si trovano nuovamente tra gli edifici meno efficienti, così si era verificato nel grafico precedente.

Infine sono confrontati i costi annui complessivi con i costi specifici e per abitante, come riportato nei due grafici seguenti:

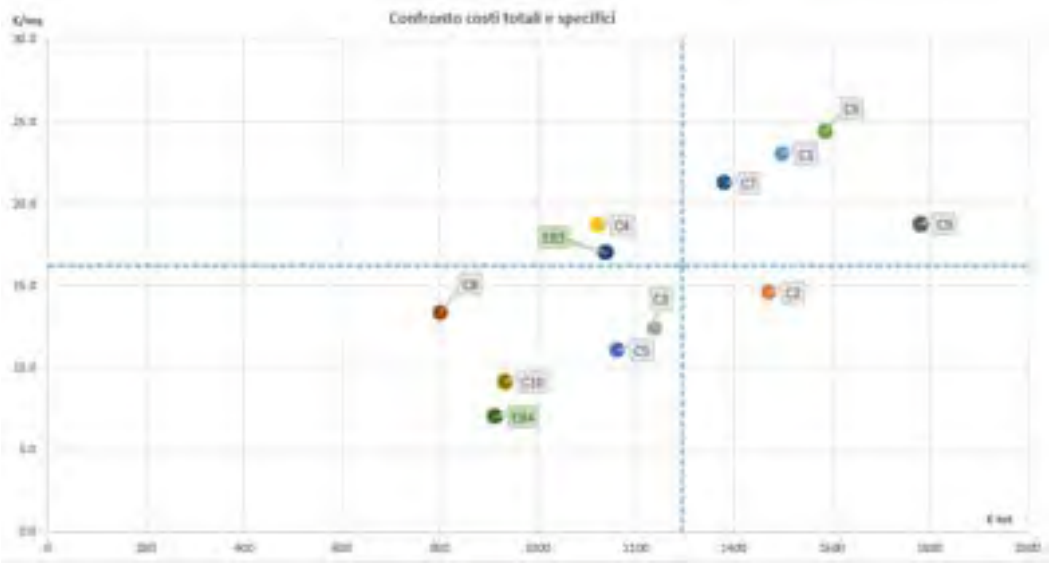


Figura 34-Confronto costi totali e specifici

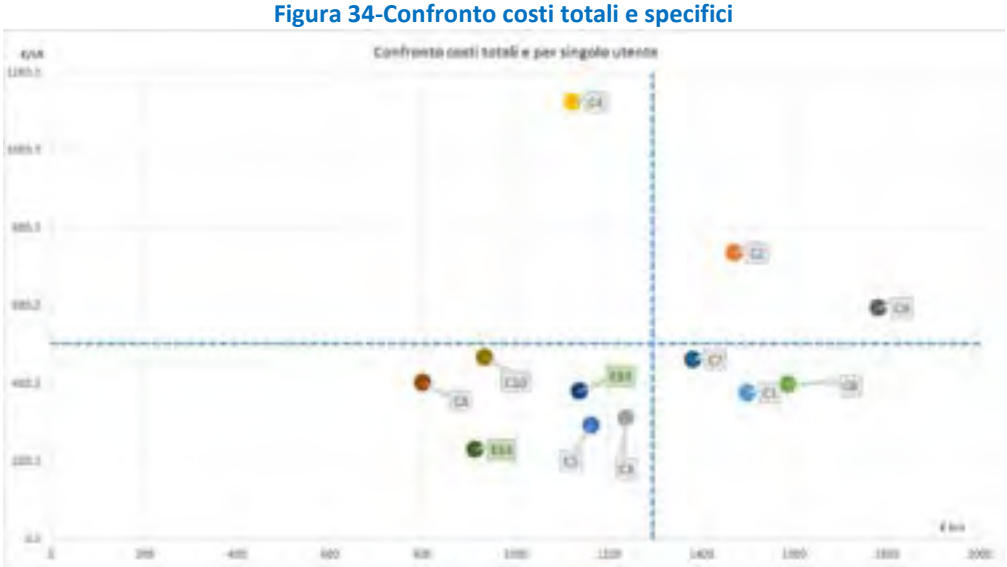


Figura 35-Confronto costi totali e per singole utente

Per stilare una graduatoria tra le abitazioni più energivore sono state contate tutte le volte in cui le abitazioni sono state individuate tra le meno efficienti come riportato nel grafico seguente, in cui è evidente che l'abitazione che richiede maggiore attenzione è la C1, seguita dalla C9, C5, infine la C2, C6, C7 che, pur differenti per tipologia di utenza e dimensioni, risultano avere performance simili.

Figura 36-Confronto tra le abitazioni più energivore

Le abitazione C1 e C9 risultano avere elevati consumi sia termici che elettrici giustificati da una maggiore presenza nelle abitazioni durante la giornata, all'uso di pompe di calore (sia in inverno che estate), unite a scarse prestazioni dell'involucro esterno.

C'è da sottolineare che i confronti ed i KPI analizzati in precedenza pur consentendo un rapido ed efficace confronto tra le abitazioni, difficilmente viene apprezzato dagli utenti finali, così come si è potuto verificare in occasione degli incontri con gli stessi in cui sono state illustrate le suddette analisi.

Per questo motivo si è scelto di confrontare gli utenti tra di loro e, per poter meglio individuare la tipologia di utenza, i consumi elettrici degli edifici pilota sono stati confrontati con i consumi medi italiani.
I dati di energia elettrica relativi al 2017 forniti dagli utenti sono quindi stati comparati con i tipici consumi di energia elettrica disponibili a livello italiano rilasciati dall'Agenzia per l'Energia Elettrica e Gas (AEEG)[23] e dall'Istituto Italiano di Statistica (ISTAT)[24] . In particolare i dati a disposizione sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 17. Consumo di energia elettrica di una famiglia. Dati AEEG – I Trimestre 2017 [18].

Numero componenti famiglia	Elettrodomestici e apparecchi elettrici	Consumo annuo di energia elettrica [kWh/anno]	Prezzo della bolletta annua [€/anno]
1 persona	TV, computer, frigo, lavatrice, 1 condizionatore	1400	293
2 persone	TV, computer, frigo, lavastoviglie, lavatrice, 1 condizionatore	2000	375
	TV, computer, frigo, lavastoviglie, lavatrice, **2 condizionatori**, scaldabagno elettrico	3300	626
4 persone	TV, computer, frigo, lavastoviglie, lavatrice, **2 condizionatori**	2700	503
	2 TV, 2 computer, frigo, lavastoviglie, lavatrice, 2 condizionatori, scaldabagno elettrico	5200	998
5 persone	2 TV, 2 computer, frigo, lavastoviglie, lavatrice, 3 condizionatori	3600	688

Il confronto è stato eseguito tra gruppi omogenei, ovvero famiglie simili per numero di componenti, in generale c'è da osservare che le famiglie coinvolte nella sperimentazione risultano al di sotto dei valori medi. Solo quattro famiglie, tutte appartenenti all'Aggregatore di Centocelle, risultano al di sopra di tali valori ovvero la C2, C9, C1 e C5.

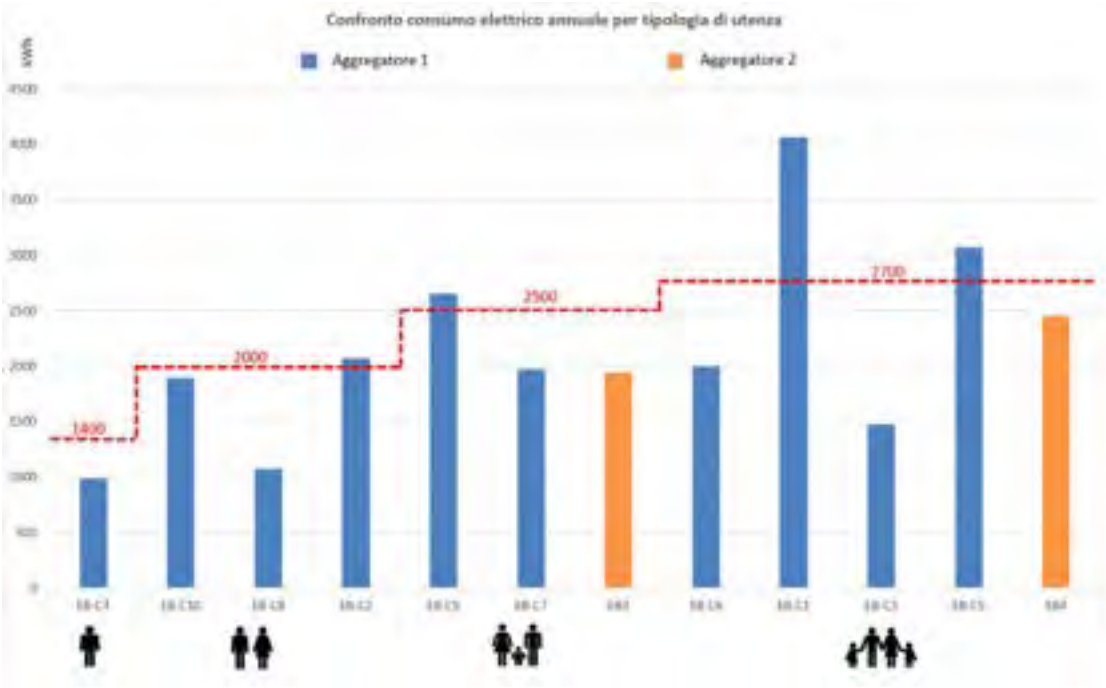


Figura 37- Confronto consumo elettrico per tipologia di utente

Questo tipo di confronto è risultato di maggiore impatto per gli utenti ed è stato utilizzato come esempio di riferimento nella realizzazione dell'interfaccia dell'Aggregatore per fornire feedback utente come descritto nel paragrafo successivo.

Infine sono stati confrontati ii casi pilota in termini di flessibilità, sono stati confrontati i carichi accumulabili e differibili che possono fornire flessibilità all'Aggregatore, l'analisi è effettuata in termini di kWh elettrici annui.

Nel grafico sottostante sono evidenziati i risultati ottenuti:

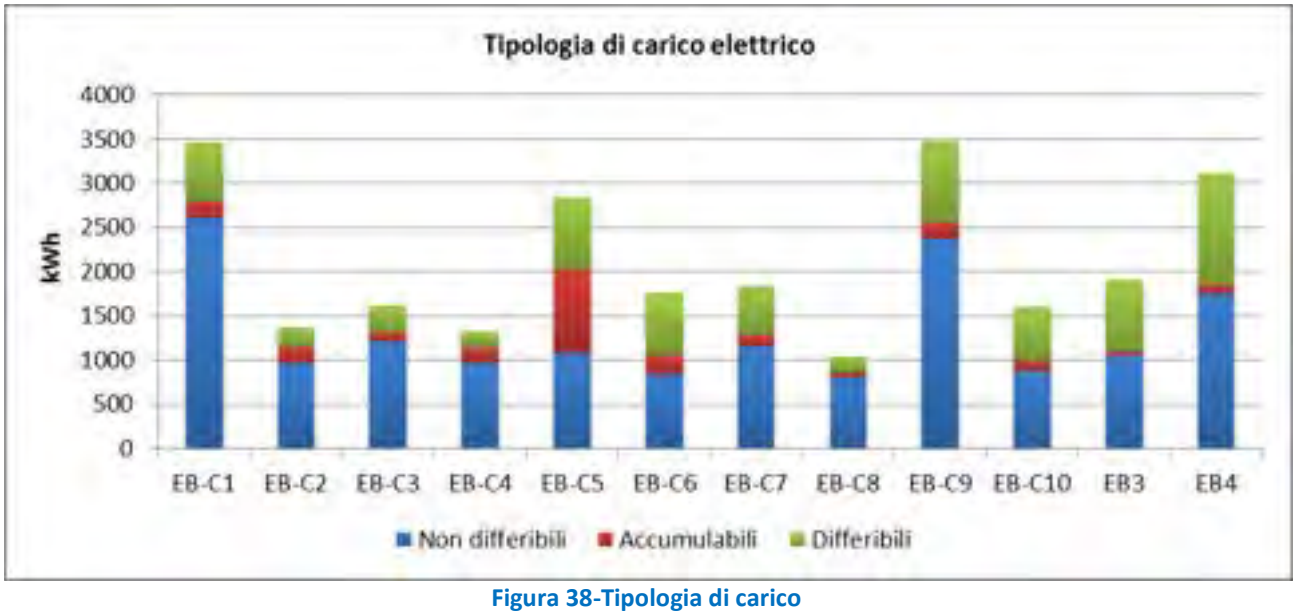


Figura 38-Tipologia di carico

Per il gruppo di abitazioni dell'Aggregatore 1, le abitazioni che offrono maggiore flessibilità in valore assoluto sono quelle identificate come C5, EB-C6 e EB-C9 dovuta principalmente alla presenza di pompe di calore per il raffrescamento estivo con una percentuale di incidenza sul totale che solo per il C5 e C6 supera il 50%.
Tra le case riferite all'Aggregatore 2 l'EB-E4 risulta il più flessibile, pur non avendo pompe di calore, la tipologia e quantità di elettrodomestici presenti consente di offrire una flessibilità di circa 1366 KWh circa il 44 % dei carichi complessivi annui.
Queste analisi pur essendo significative per le informazioni che possono trasmettere non sono adeguate per una rapida comprensione e pertanto sono da considerarsi adatte ad un utenza più specializzata, un energy manager, ruolo che potrebbe essere rivestito a livello di Aggregatore.

4 Strategie di gestione e diagnostica energetica per l'ottimizzazione della richiesta di energia termica e della qualità ambientale

In collaborazione con il Politecnico di Torino sono state a condotte le attività relative allo sviluppo di strategie di gestione e diagnostica energetica per l'ottimizzazione della richiesta di energia termica e della qualità ambientale della rete di Smart Homes appartenenti al dimostrativo sperimentale, come descritto in dettaglio nel Report RdS/PAR2017/050.

4.1 Significatività e qualità della base di dati disponibile

Lo studio ha previsto in prima battuta la verifica della continuità di acquisizione del sistema di monitoraggio presente nei quattordici casi pilota e della significatività dei dati acquisiti. Successivamente, considerata la tipologia di dati disponibili per i diversi gruppi di abitazioni afferenti all'Aggregatore 1 e 2, le analisi sono state condotte separatamente.
È stata condotta un'analisi volta a verificare la qualità del data-set a disposizione. In particolare, è stata valutata la qualità dei dati di temperatura e umidità relativa in termini di grado di copertura, intesa come la percentuale di *record* presenti nel periodo di monitoraggio; è stata inoltre condotta un'analisi di identificazione di *outlier* per le variabili esaminate attraverso l'analisi della distribuzione in frequenza visualizzata con un *box plot*. Questi sono stati eliminati dal data-set, in quanto valori statisticamente anomali rispetto alla distribuzione della variabile oggetto di analisi.
A valle di questo processo di verifica ed elaborazione dei data-set relativi ai dati di temperatura si è scelto di concentrare le analisi su giornate tipo, analizzando di esse gli andamenti di temperatura media oraria per diversi ambienti. Gli ambienti che sono stati presi in considerazione sono stati quelli nei quali fosse presente un impianto di climatizzazione (*split* o *multisplit*).
Successivamente sono state condotte analisi che hanno riguardato anche i dati di consumo elettrico, i quali sono stati soggetti anch'essi a una fase preliminare di pre-processamento e pulizia, per isolare dati utili alle analisi e periodi a cui riferirsi per ognuno degli edifici.

4.2 Analisi della qualità termo-igrometrica degli ambienti interni

In particolare, gli studi condotti su le case Aggregatore 2 hanno avuto lo scopo di analizzare la qualità termo-igrometrica degli ambienti interni. Attraverso analisi afferenti alla statistica descrittiva, sono state analizzate le variabili temperatura di bulbo asciutto ed umidità relativa interna agli ambienti nel periodo di monitoraggio disponibile (luglio 2017- marzo 2018); per le stesse variabili è stato analizzato per mezzo di analisi in frequenza il rispetto di limiti suggeriti dalla norma UNI EN ISO 7730 (UNI EN ISO 7730: 1997: Ambienti termici moderati. Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico, settembre 1997). Gli andamenti di temperatura sono stati analizzati sulla base di giorni tipologici, al fine di misurare il numero di ore durante le quali sono state garantite le condizioni di comfort e di discutere le possibili correlazioni con il tipo di occupazione. Lo stesso tipo di analisi è stata condotta per i casi pilota **Aggregatore 1**, con riferimento anche ai requisiti di comfort previsti della norma UNI EN 15251 (UNI EN 15251: 2006: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, novembre 2006). Tuttavia, la natura dei casi pilota **Aggregatore 1**, in cui sono stati installati impianti di condizionamento estivo, per i quali si disponeva dei relativi consumi di energia elettrica, ha aperto alla possibilità di svolgere analisi sui consumi per la climatizzazione per il periodo aprile-agosto 2018, valutandone le possibili correlazioni con altri parametri monitorati. Nella tabella seguente è riportata una sintesi dei parametri monitorati di interesse per lo studio delle qualità termo-igrometrica ed il periodo di monitoraggio per ciascuna abitazione

Tabella 15 Parametri monitorati di interesse rispetto allo studio condotto e periodo di monitoraggio per ciascuna delle abitazioni

	Parametri monitorati di interesse				Periodo di monitoraggio
	Temperatura interna [°C]	Umidità relativa [%]	Potenza generale [W]	Potenza climatizzazione [W]	
EB3	x	x			Luglio 2017 – Marzo 2018
EB4	x				Marzo 2018
EB7	x	x			Luglio 2017 – Marzo 2018
EB8	x	x			Luglio 2017 – Marzo 2018
C1	x		x	x	Aprile 2018 – Agosto 2018
C2	x		x		Aprile 2018 – Agosto 2018
C3	x		x	x	Aprile 2018 – Agosto 2018
C4	x		x		Aprile 2018 – Agosto 2018
C5	x		x	x	Aprile 2018 – Agosto 2018
C6	x		x	x	Aprile 2018 – Agosto 2018
C7	x		x	x	Aprile 2018 – Agosto 2018
C8	x		x		Aprile 2018 – Agosto 2018
C9	x		x	x	Aprile 2018 – Agosto 2018
C10	x		x	x	Aprile 2018 – Agosto 2018

Edifici Aggregatore 2

L'analisi condotta è relativa al periodo di monitoraggio (corrispondente a parte del periodo estivo 2017 e parte del periodo di riscaldamento 2017-2018) di tre abitazioni appartenenti al gruppo Aggregatore 2, con l'obiettivo di valutarne la qualità termo igrometrica secondo la norma UNI EN ISO 7730. Si riporta di seguito l'analisi effettuata.

La norma UNI EN ISO 7730 (UNI EN ISO 7730: 1997: Ambienti termici moderati. Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico, settembre 1997) definisce, in appendice D (UNI EN ISO 7730: 1997. Appendice D: Requisiti di benessere raccomandati , settembre 1997), i requisiti di benessere termico per il periodo di riscaldamento e per quello di raffrescamento, fissando i parametri ambientali raccomandati in termini di temperatura e umidità relativa, oltre che di altri fattori. La raccomandazione di base è che la percentuale di insoddisfatti (PPD) sia inferiore al 10%, dato che corrisponde ad un voto medio previsto (PMV) compreso tra -0,5 e +0,5.

Per il periodo invernale, che in zona climatica D va dal 1° novembre al 15 aprile (da DPR 412/93), in caso di attività sedentaria (tipica delle abitazioni), i requisiti che la norma UNI EN ISO 7730 fissa per questi due parametri sono i seguenti (UNI EN ISO 7730: 1997. Appendice D: Requisiti di benessere raccomandati , settembre 1997):

- Temperatura interna: 20 °C – 24 °C (per esempio 22 °C +/- 2 °C);
- Umidità relativa: 30 % - 70 %

mentre per il periodo estivo i requisiti sono (UNI EN ISO 7730: 1997. Appendice D: Requisiti di benessere raccomandati , settembre 1997):

- Temperatura interna: 23 °C – 26 °C (per esempio 24,5 °C +/- 1,5 °C);
- Umidità relativa: 30 % - 70 %

Si segnala che, al di là delle indicazioni sul comfort termo-igrometrico della UNI 7730, il DPR 412/93 impone che la temperatura interna delle abitazioni sia pari a 20°C + 2°C per tutta la stagione di accensione degli impianti di riscaldamento.

Le analisi condotte sugli ambienti individuati a valle dall'attività di elaborazione del data-set consistono nelle seguenti rappresentazioni statistiche:

- matrice temperatura-umidità relativa dei dati quart'orari per alcuni ambienti per l'intero periodo monitorato disponibile;
- indicatori statistici misuranti la frequenza con la quale i dati quart'orari di temperatura e umidità relativa di alcuni ambienti rientrano nei limiti normativi previsti dalla UNI EN ISO 7730 (UNI EN ISO 7730: 1997: Ambienti termici moderati. Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico, settembre 1997);
- grafici di andamento di temperatura media oraria per alcuni ambienti per giorni tipo.

Si riportano di seguito alcuni grafici esemplificativi delle analisi condotte. Nella figura seguente si osservano le distribuzioni dei dati quarti orari di temperatura e umidità relativa per due stanze tipo (studio e camera) nel periodo estivo. Le linee tratteggiate individuano i limiti raccomandati da UNI EN ISO 7730 per i due parametri ambientali, il cui soddisfacimento è riassunto in Tabella 15.

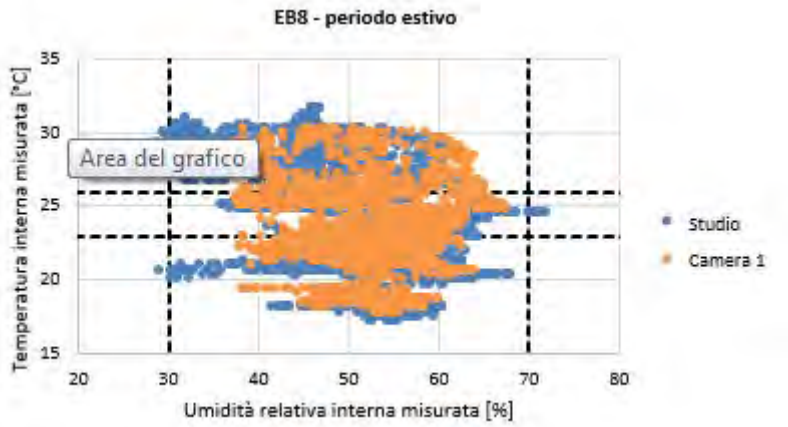


Figura 39-Qualità termo-igrometrica di studio e camera. Distribuzione dei dati quart'orari di temperatura e umidità relativa per l'intero periodo estivo (01/07/2017 – 31/10/2017)

Tabella 16 -Frequenza percentuale con la quale i parametri di temperatura e umidità relativa entrano nei requisiti normativi UNI EN ISO 7730 nel periodo estivo

Ambiente	% record	
	Entro requisiti T e UR*	Entro requisito UR*
Salone	26%	99%
Studio	16%	99%
Cucina	17%	100%
Camera 1	27%	100%
Camera 2	55%	100%
Bagno	28%	97%
Bagno 2	52%	100%

*requisiti da UNI EN ISO 7730.

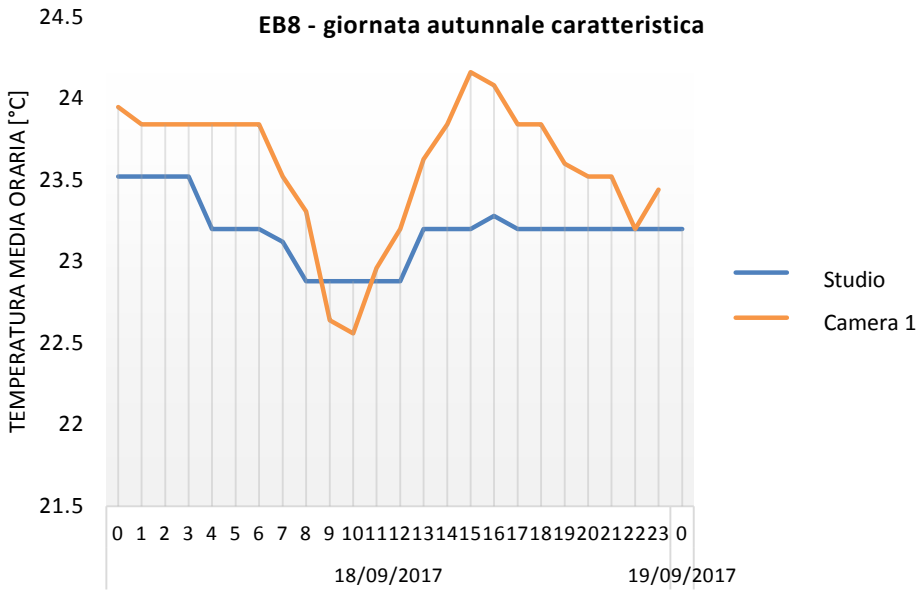


Figura 40 Andamento delle temperature interne medie orarie per una giornata autunnale caratteristica.

Sulla base di queste rappresentazioni è stata discussa la qualità termo-igrometrica degli ambienti analizzati (come aderenza o meno dei parametri ambientali ai requisiti normativi di qualità ambientale) e le possibili correlazioni dei parametri ambientali con le caratteristiche del sistema (esposizione e inerzia) e con la tipologia di occupazione (preferenza termica e frequenza di interazione con il sistema).

Edifici Aggregatore 1

L'analisi condotta è relativa al periodo di monitoraggio (corrispondente al periodo aprile 2017 – agosto 2018) di tre abitazioni appartenenti al gruppo Aggregatore 1, ubicate nel Comune di Roma (zona climatica D) e ha interessato i dati monitorati di temperatura interna dei loro ambienti climatizzati, con l'obiettivo di giudicarne la qualità termica.

La norma UNI EN 15251 (UNI EN 15251: 2006: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, novembre 2006), in appendice A (UNI EN 15251: 2006. Annex A: Recommended criteria for

the thermal environment, novembre 2006), definisce i criteri che si raccomanda di considerare nel progetto e controllo degli ambienti interni. In particolare, la norma definisce due differenti metodi: il metodo A, che fa riferimento al modello di Fanger ed è da prendere in considerazione nel caso di ambienti dalla temperatura controllata; il metodo B, relativo invece alla teoria del comfort adattivo, il quale prevede una definizione dei requisiti ambientali in funzione di variabili esterne, usato qualora non vi sia un impianto di climatizzazione operante. L'utilizzo del primo metodo è raccomandato per ambienti riscaldati in inverno e raffrescati in estate. Dal momento che le abitazioni analizzate sono climatizzate si è scelto di applicare il metodo A.
La stessa norma fissa quattro diverse categoria di comfort, definite come intervalli di PPD (percentuale di insoddisfatti, UNI EN ISO 7730 (UNI EN ISO 7730: 1997: Ambienti termici moderati. Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico, settembre 1997)) e PMV (voto medio previsto, UNI EN ISO 7730 (UNI EN ISO 7730: 1997: Ambienti termici moderati. Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico, settembre 1997)), indici che possono essere considerati dei criteri di valutazione della qualità degli ambienti e che sono dipendenti da sei parametri termici (abbigliamento, attività svolta, temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria, umidità relativa). Le classi di comfort fissate dalla suddetta norma UNI EN 15251 sono le seguenti (UNI EN 15251: 2006. Annex A: Recommended criteria for the thermal environment, novembre 2006):

- Classe I: PPD < 6 %; -0,2 < PMV < +0,2
- Classe II: PPD < 10 %; -0,5 < PMV < +0,5
- Classe III: PPD < 15 %; -0,7 < PMV < +0,7
- Classe IV: PPD > 15 %; -0,7 > PMV o PMV > +0,7 (non raccomandata)

dove la classe I corrisponde alla maggior condizione di comfort e la classe IV alla peggiore.
Nel metodo A, assumendo una specifica combinazione dei parametri termici dai quali dipendono gli indici PPD e PMV, è possibile esprimere le medesime classi in termini di *range* fissi di temperature operative. Essi sono riassunti nella tabella seguente.

Tabella 17 Classi di comfort secondo la norma UNI EN 15251

Tipologia di spazio	**Classe di comfort**	**Massimo per raffrescamento (periodo estivo). Abbigliamento ~ 0,5 clo**
Edifici residenziali: spazi di stasi (soggiorno, camera da letto, cucina, ecc.). Attività sedentaria ~ 1,2 met	I	25,5 °C
	II	26 °C
	III	27 °C

Ai fini di questo studio si è assunta la coincidenza tra temperatura operativa, rispetto alla quale sono fissati i requisiti, e temperatura interna, misurata dal sistema.

Le analisi condotte sugli ambienti individuati a valle dall'attività di elaborazione del data-set consistono nelle seguenti rappresentazioni statistiche:

- indicatori statistici misuranti la frequenza con la quale i dati di temperatura media oraria di alcuni ambienti rientrano nei limiti previsti dalla UNI EN ISO 7730 (UNI EN ISO 7730: 1997. Appendice D: Requisiti di benessere raccomandati , settembre 1997) e dalla UNI EN 15251 (UNI EN 15251: 2006. Annex A: Recommended criteria for the thermal environment, novembre 2006) in alcune giornate tipo;
- grafici di andamento di temperatura madia oraria per alcuni ambienti per giorni tipo.

Le serie di dati di temperatura interna sono state plottate con i dati di temperatura esterna misurati da stazioni climatiche limitrofe (The Weather Company, 2018).
Si riportano di seguito dei grafici esemplificativi delle analisi condotte. In Figura 41 viene mostrato l'andamento di temperatura interna media oraria per una giornata tipo in due ambienti dell'abitazione C1. L'area evidenziata in grigio individuata i limiti raccomandati dalla norma UNI EN ISO 7730, mentre le linee

tratteggiate rappresentano i limiti superiori delle tre classi di comfort previste dalle UNI EN 15251. Il soddisfacimento di tali requisiti è riassunto in Tabella 18.

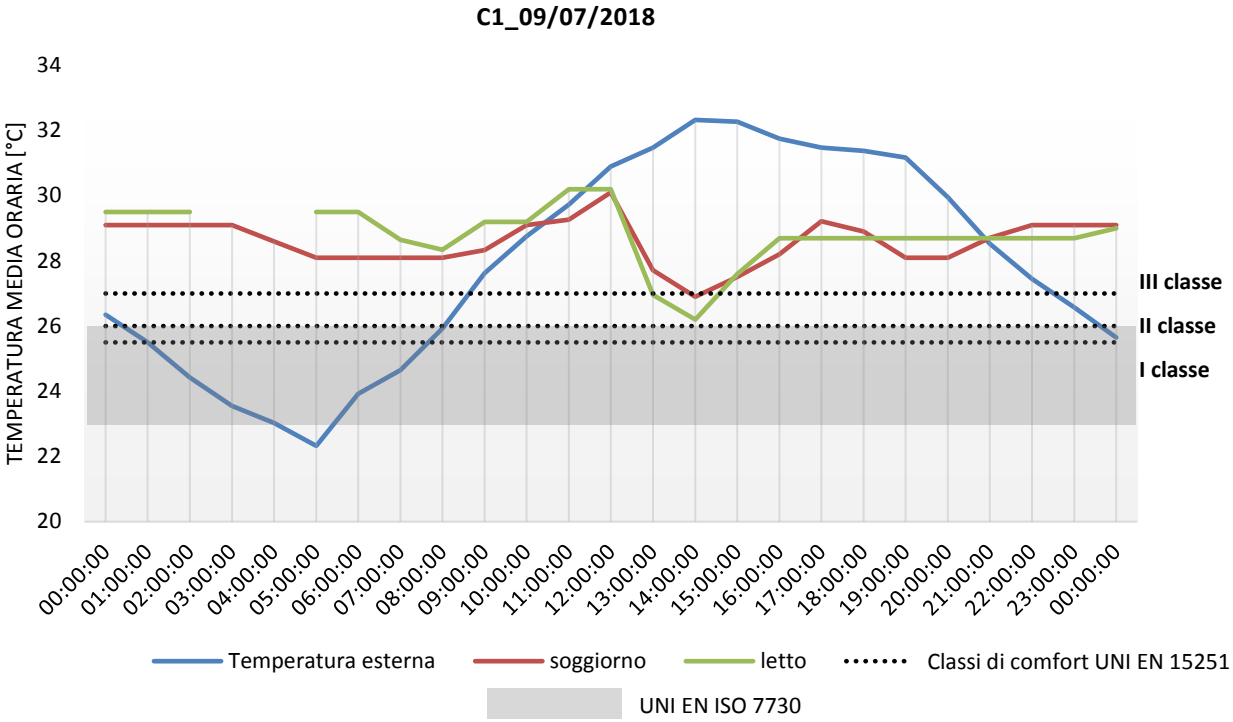


Figura 41 Andamento delle temperature interne e esterne medie orarie per una giornata caratteristica e requisiti di comfort secondo UNI EN 15251 e UNI EN ISO 7730.

Tabella 18 Frequenza (espressa in numero di ore) con la quale il parametro di temperatura entra nei requisiti normativi UNI EN ISO 7730 e UNI EN 15251.

	Numero di ore per giorno tipo				
	UNI EN ISO 15251				UNI EN ISO 7730
	I classe	II classe	III classe	IV classe (no comfort)	23°C - 26°C
Soggiorno	0	0	1	23	0
Letto	0	0	2	22	0

Sulla base di queste rappresentazioni è stata verificata la qualità termica degli ambienti in termini di rispondenza alle raccomandazioni di qualità ambientale e di comfort del dato di temperatura (sia secondo la norma UNI EN ISO 7730 (UNI EN ISO 7730: 1997. Appendice D: Requisiti di benessere raccomandati , settembre 1997) che secondo la UNI EN 15251 (UNI EN 15251: 2006. Annex A: Recommended criteria for the thermal environment, novembre 2006)). Inoltre, è stata discussa la sua possibile relazione con le temperature esterne e con la tipologia di utenza, commentando, da una parte i fattori di esposizione e di inerzia, e dall'altra le preferenze termiche degli occupanti.

4.3 Analisi dei consumi per la climatizzazione ambientale (Aggregatore 1)

4.3.1 Caratteristiche dei condizionatori

Per i casi pilota Aggregatore 1 le analisi effettuate sui dati di consumo elettrico degli impianti di climatizzazione hanno permesso di effettuare analisi comparative su casi che presentano impianti di diversa taglia e tipologia. Infatti, gli edifici considerati presentano impianti di climatizzazione a espansione diretta del tipo a singolo *split* e *multisplit*, di diversa taglia e classe energetica. Il monitoraggio di queste apparecchiature

è stato effettuato tramite l'installazione di *smart switch*, *smart plug* e soltanto per il caso C5 tramite *energy meter* installato sulla linea dedicata a una parte dei condizionatori presenti.
Nella Tabella 19 sono riportati, solamente per gli edifici che sono stati utilizzati per le analisi, una descrizione delle apparecchiature di climatizzazione, della loro posizione di installazione e del tipo di monitoraggio, se presente.

Tabella 19 Descrizione dei condizionatori installati nelle abitazioni selezionate per le analisi.

Energy Box	*Condizionatori*				*Monitoraggio*
	Numero	*Classe*	*Potenza BTU/h*	*Ambiente*	*Tipo*
C1	1	A	12000	Soggiorno	Smart switch
	1	A	9000	Camera	-
C3	1	A+	9000	Camera	Smart plug
C5	1	A	9000	Cucina	Smart switch
	1	A	9000	Camera	Smart meter
	1	A	9000	Camera	
	1	A	12000	Soggiorno	
C6	1	A	12000	Soggiorno	Smart switch
	1	A	9000	Camera	-
	1	A	9000	Camera	-
C7	1	A	12000	Soggiorno	Smart switch
C9	1	A+++	12000	Soggiorno	Smart switch
	1	A+++	9000	Camera	

Dalla Tabella 19 si evince che i dati a disposizione non sono esaustivi delle apparecchiature presenti, quindi il consumo di alcuni condizionatori in C1 e C6, può essere individuato solamente all'interno dei consumi generali dell'abitazione, quindi rendendo difficoltosa l'analisi dei loro consumi.

4.4 Caratterizzazione dei consumi elettrici attraverso tecniche di data analytics

Le analisi svolte sui dati di assorbimento elettrico per le abitazioni Aggregatore 1, sono state condotte nell'ottica della caratterizzazione dei livelli di consumo, sia generali che dei condizionatori monitorati, confrontando questi valori con i dati di temperatura esterna e interna.
I dati di temperatura interna per i diversi ambienti delle abitazioni sono frutto del monitoraggio effettuato tramite multisensori Fibaro, in grado di raccogliere dati ambientali di temperatura, irradianza e movimento.
I dati di temperatura esterna, invece, provengono dal database dei dati storici climatici di Wunderground.com, utilizzando i dati raccolti da due stazioni meteo diverse, situate in zona Prenestino-Centocelle (The Weather Company, 2018). Si è scelto di utilizzare i dati da due stazioni meteo diverse e mediare i dati, per poter ottenere una serie storica di temperature dell'aria esterna, il più possibile priva di discontinuità di monitoraggio. A valle di questo processo, nei casi in cui singole osservazioni di dati di temperature risultavano ancora mancati, si è intervenuti interpolando linearmente.
Per quanto riguarda i dati di consumo elettrico per casi di residenziale, come quelli delle abitazioni Aggregatore 1 analizzate, hanno la caratteristica di non avere profili di carico molto regolari con assorbimenti continuativi, quindi analizzando il profilo giornaliero, si osserva una serie di impulsi, relativi all'accensione delle utenze e ai loro cicli di funzionamento. Questo comportamento ha reso difficoltoso l'utilizzo dei dati per una analisi di profilo, in quanto i grandi carichi, anche se disaggregati dagli altri, non sono facilmente distinguibili in modo automatico, a causa della loro rapidità di estinzione, oltre che della loro entità variabile dovuta al regime di funzionamento variabile.

Data la natura impulsiva del profilo di assorbimento elettrico delle utenze e la discontinuità di valori di monitoraggio validi, è stato necessario aggregare ulteriormente i dati quart'orari a disposizione, per poter effettuare analisi orarie, giornaliere e per fasce orarie di consumo elettrico.
Di conseguenza, l'analisi dei dati degli edifici Aggregatore 1 è stata condotta con la stessa metodologia, in modo da effettuare delle comparazioni tra gli edifici e l'utilizzo delle apparecchiature al loro interno, in modo da determinare le abitudini di consumo ed estrarre conoscenze intrinseche alla serie storica considerata.
I risultati di queste analisi, però, sono fortemente influenzati dal numero di dati utili a disposizione, così come la frazione di climatizzatori monitorati.
L'analisi è stata condotta tramite l'utilizzo di tecniche di Data Mining, le quali hanno permesso di estrarre correlazioni tra le variabili considerate, in modo automatico e non supervisionato.
Per fare ciò, la metodologia è stata articolata come segue:

1. Preparazione del data-set
2. Visualizzazione dei dati
3. Discretizzazione dei consumi elettrici
4. Identificazione delle correlazioni

La preparazione del data-set è stata svolta con le modalità descritte nel paragrafo 4.1, per permettere poi la visualizzazione dei dati a disposizione per una prima comprensione del caso studio.
I dati sono stati anche aggregati in modo da superare il problema dell'impulsività del profilo di carico delle utenze. Infatti, i dati a disposizione, che si riferiscono alla potenza media assorbita nel quarto d'ora, sono stati aggregati ai valori medi orari. Successivamente, questi valori sono stati aggregati ai valori giornalieri e per fascia oraria come una sommatoria dei consumi orari nell'intervallo di tempo considerato, fornendo un'indicazione dell'energia assorbita in quel periodo.
Il valore di consumo giornaliero è stato utilizzato in fase preliminare per visualizzare i dati in modo che fosse più chiara la frequenza di utilizzo dei climatizzatori presenti e la loro distribuzione, tramite una rappresentazione su *Calendar plot*. Questa rappresentazione fornisce informazioni di contestualizzazione dei dati associando ai consumi giornalieri l'informazione riguardante il tipo di giorno (Figura 42).
Già da una prima analisi dei dati aggregati su scala giornaliera si evince come gli apparecchi di climatizzazione sono stati impiegati soltanto in una piccola porzione di giorni, rispetto al periodo monitorato, questo dovuto a temperature esterne non sufficientemente alte da giustificare l'utilizzo di apparecchiature di climatizzazione degli ambienti. Inoltre, il profilo di occupazione risulta diverso per gli edifici considerati, determinando esigenze di climatizzazione diverse. Per alcune abitazioni, inoltre è stata riscontrata l'assenza totale degli occupanti per periodi più o meno lunghi, che hanno ridotto ancora di più il numero di giorni in cui sono stati accesi i climatizzatori e quindi di dati utili alle analisi.

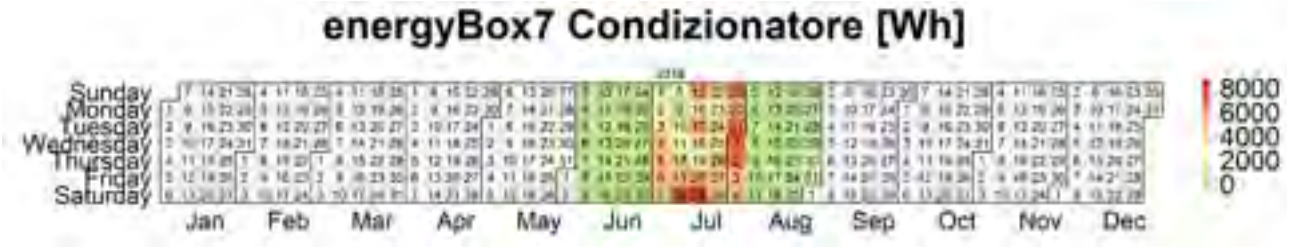


Figura 42 Calendar plot dei consumi giornalieri dell'abitazione C7.

L'aggregazione dei dati per fascia oraria è stata effettuata per condurre le analisi con tecniche automatiche di Data Analytics, in particolare utilizzando il CART (Classification and Regression Tree), una tecnica in grado di costruire uno schema ad albero che permette di raggruppare dati simili in base a variabili indicate dall'utente, utilizzato come classificatore dei dati di consumo elettrico (Yan, Ma, Zhao, & Kokogiannakis, 2016)[14] .
Il CART ha un approccio top-down, dividendo il data-set in modo tale da trovare localmente il valore ottimo per *splittare* i dati sulla base di una certa variabile. Il valore ottimo viene calcolato valutando l'impurità dei nodi parentale e quella dei nodi figli, quindi la scelta ottimale risulta essere quella con il più alto guadagno di

impurità degli split. Il calcolo dell'impurità per il CART è stato effettuato attraverso l'utilizzo del parametro Gini. (Tan, Steinbach, & Kumar, 2005)[15] .
Questo tipo di tecnica risulta molto interessante non solo in termini di caratterizzazione dei dati storici, ma anche come strumento predittivo, in quanto al ripresentarsi di condizioni analoghe è possibile esprimere con una certa probabilità, basata sull'inferenza dei dati usati, quale sarà il livello di consumo.
Data la natura completamente data-driven dell'algoritmo, vale la pena sottolineare come un maggior numero di dati validi possa essere in grado di determinare split dei dati più efficaci evitando l'*overfitting*. Un albero decisionale che è viziato dall'*overfitting* è in grado di dividere i dati in modo eccessivo, raccogliendo nei nodi foglia, cioè nei gruppi finali dei dati, un piccolo numero di dati, che nel caso estremo può essere anche un singolo valore. Dunque, un albero con un altissimo numero di nodi foglia riuscirebbe a classificare in modo eccellente i dati utilizzati, ma caratterizzandoli scarsamente, poiché ogni dato farebbe parte di una categoria a sé stante. (Tan, Steinbach, & Kumar, 2005)[15]
Il CART in questo caso è stato utilizzato come classificatore, poiché si è cercato di determinare il livello di consumo dei condizionatori più probabile a parità di valori di temperatura e fascia oraria. Si è scelto di utilizzare come variabile di uscita di questo tecnica una variabile discreta e non continua per facilitare la lettura dei risultati e rendere più efficace la loro interpretazione.
Infatti, i valori di consumo aggregato per fascia oraria, sono stati discretizzati in modo tale da ottenere classi di livello di consumo, in modo da determinare fasce di consumo in determinate condizioni al contorno dettate dalle variabili utilizzate come input.
Per ottenere delle classi di livello di consumo, è stato utilizzato un algoritmo di discretizzazione basato sulla minimizzazione del parametro SSE (i.e. *Sum of Squared Error*) calcolato per gli intervalli di discretizzazione individuati.
La discretizzazione è stata utilizzata per trasformare i valori di consumo sia dei condizionatori che generali, da numerici a categorici, dunque a valle di questa operazione al consumo ci si riferirà ad essi, ad esempio, in termini di livello "basso", "medio" o "alto".
Per quanto riguarda la posizione dei *breakpoints* per l'identificazione degli intervalli di discretizzazione, essi sono stati estrapolati tramite un algoritmo di clusterizzazione gerarchica mono dimensionale [16] (i.e. Metodo di Ward) (Han, Kamber, & Pei, 2011), poi ottimizzati tramite l'utilizzo di aSAX [17] (i.e. *adaptive Symbolic ApproXimation*) (Pham, Le, & Dang, 2010).
In questo modo, la distribuzione dei valori guida il posizionamento dei *breakpoints*, in modo da preferire zone a minore densità di punti come zone di interfaccia tra intervalli adiacenti, generando intervalli con dati il più consistenti possibili tra loro.
Il numero di intervalli in cui discretizzare la variabile è stato estratto anche esso in modo automatico, nella prima fase. Infatti, è stato scelto il numero di intervalli che generava cluster con algoritmo gerarchico Ward con indici di validazione migliori, facendo variare il numero di cluster possibile da un minimo di 2 a un massimo di 4. Un esempio di discretizzazione è riportato nella Figura 43, nella quale viene rappresentata la posizione dei *breakpoints* per l'identificazione degli intervalli di valori dei livelli di consumo elettrico per l'abitazione C7.

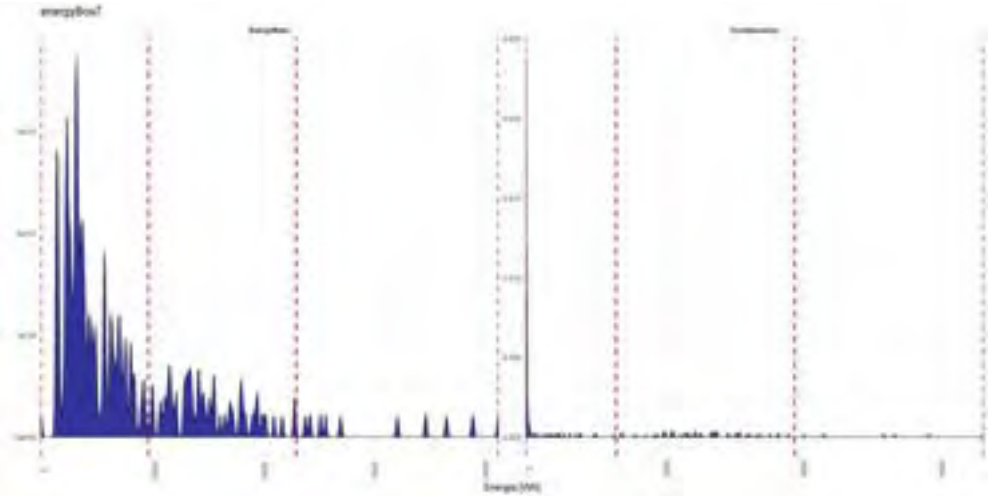


Figura 43 Discretizzazione delle variabili di assorbimento elettrico generale e del condizionatore presente per l'abitazione C7.

Avendo discretizzato le variabili di consumo elettrico, il CART è stato utilizzato per classificare i valori di consumo dei condizionatori considerando come input la temperatura esterna, la temperatura interna, la fascia oraria e livello di consumo generale. In questo modo, è stato possibile contestualizzare i dati di consumo e risalire quindi alle probabili condizioni che hanno determinato uno specifico livello di consumo. Nella Figura 44 viene riportato un esempio di applicazione del metodo CART per la caratterizzazione dei livelli di consumo.

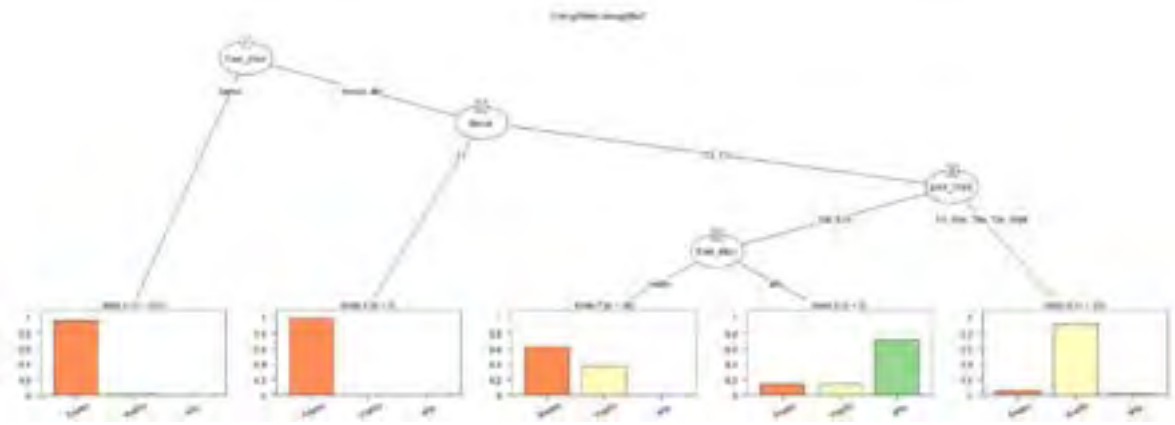


Figura 44 Caratterizzazione dei consumi elettrici tramite CART per l'abitazione C7.

4.4.1 Discussione

L'utilizzo di questa metodologia ha permesso di individuare in modo automatico le correlazioni tra le variabili, identificando il *range* di valori delle variabili di *input* che caratterizzano i livelli di consumo determinati nella variabile di *output*. In questo modo, è stato identificato il *range* di valori di temperatura esterna che è più facilmente associato all'accensione degli impianti di condizionamento per ognuna delle abitazioni a parità di fascia oraria, giorno della settimana e consumo elettrico generale.

Il numero di *split* effettuati, quindi il numero di variabili considerate per la divisione dei dati, risulta differente per i diversi casi considerati, in quanto dipende dal numero di dati utili disponibili. Infatti, con un alto numero di dati che si riferiscono all'utilizzo dei condizionatori è possibile trovare più facilmente anche correlazioni con più variabili.

Di conseguenza, la caratterizzazione dei consumi elettrici ha portato alla definizione, per i casi piloti Aggregatore 1, delle condizioni ricorrenti che determinano diversi livelli di consumo elettrico degli impianti di climatizzazione, identificando inoltre anche gli intervalli di temperatura tipici in cui gli impianti vengono

utilizzati. In questo modo sono state individuate possibili preferenze degli occupanti ed evidenziate eventuali criticità nell'utilizzo degli impianti presenti.

4.5 Implementazione di strategie di gestione energetica intelligente

Lo sviluppo tecnologico avvenuto nel recente passato ha di fatto contribuito alla penetrazione di sistemi di gestione automatica ed intelligente negli edifici, il cui ruolo sta diventando sempre più centrale per l'ottimizzazione della richiesta energetica in esercizio.

A tale scopo nel presente studio è stato sviluppato per mezzo del codice di simulazione dinamica IDAICE, il funzionamento di diverse logiche di controllo ed automazione per uno degli appartamenti del gruppo Aggregatore 2, al fine di valutare l'opportunità di ottimizzare la richiesta energetica garantendo nel contempo una buona qualità dell'ambiente interno. Il modello è stato sviluppato anche allo scopo di essere utilizzato all'interno di un gateway residenziale.

Per l'appartamento in esame erano disponibili dati di monitoraggio relativi al consumo di gas e di energia elettrica, alle caratteristiche degli impianti, al numero degli apparecchi elettrici installati al suo interno e le relative ore di utilizzo.

È stato pertanto sviluppato dapprima un modello energetico dell'appartamento in esame per simulare la prestazione energetica di riferimento. Questo modello è stato calibrato sul consumo energetico reale dell'appartamento esistente con un'accuratezza elevata. Il Mean Bias Error (MBE) sul fabbisogno energetico per il riscaldamento è risultato pari all'1,1%, mentre sul fabbisogno di energia elettrica pari al 6,4%. Un modello siffatto ha consentito di simulare diversi scenari di gestione e controllo in modo affidabile con una buona accuratezza dei valori di risparmio energetico scaturiti dalla loro implementazione.

Nello specifico, le logiche di controllo e automazione sono state concepite con l'obiettivo di generare un sistema omogeneo di interazioni tra i componenti controllati tale da garantire comfort termico e visivo e una buona prestazione energetica. Per facilitare la sperimentazione, la logica di controllo è stata sviluppata in due fasi: una prima ha riguardato tutti i sistemi che influenzano i parametri di qualità dell'ambiente costruito come la ventilazione, la termoregolazione e l'illuminazione; una seconda fase ha riguardato la gestione di alcuni elettrodomestici. Nello specifico sono stati analizzati la qualità dell'aria, il comfort termo-igrometrico e visivo attraverso il controllo dell'apertura/chiusura delle finestre, la termoregolazione dell'impianto di riscaldamento, il controllo delle schermature solari, l'accensione/spegnimento delle luci e il controllo delle schermature solari. Definiti i sistemi da controllare e l'ordine di priorità attraverso il quale essi devono funzionare, la logica è stata progettata attraverso lo sviluppo schemi di controllo i quali hanno il compito di organizzare l'ordine di funzionamento dei vari dispositivi.

Dopo aver sviluppato la prima parte della logica, questa è stata implementata nel modello al fine di simularne l'efficacia sui consumi energetici e la qualità dell'ambiente interno. È stato necessario scomporre la logica per ogni singolo sistema da controllare, e trasformare le logiche di controllo tramite l'uso di tabelle della verità.

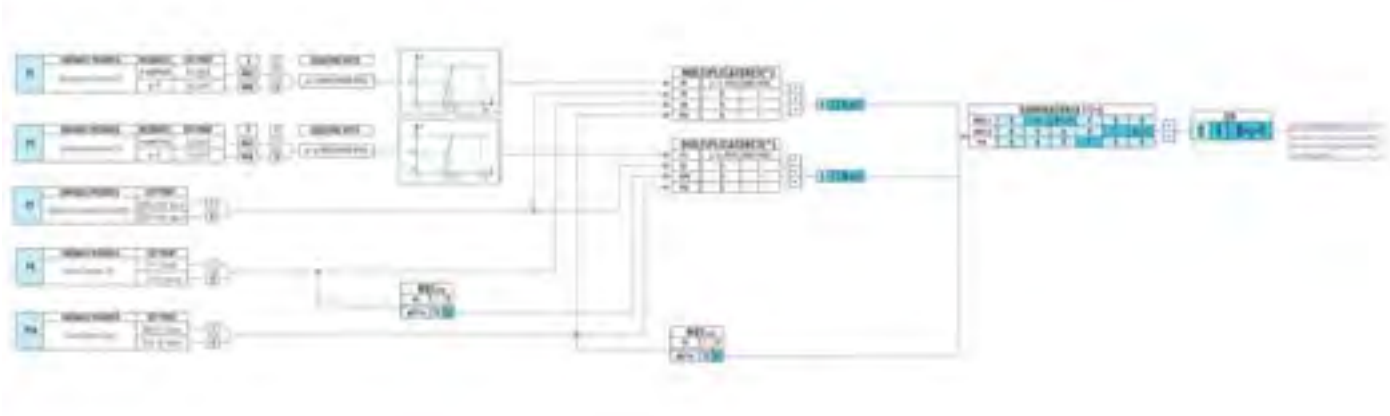


Figura 45. Esempio di algoritmo di controllo

Sono state così definite quattro singole funzioni di controllo: una per l'apertura/chiusura delle finestre, una per il controllo delle schermature solari, una per l'accensione/spegnimento delle luci e una per l'accensione/spegnimento dell'impianto. Queste quattro funzioni, pur essendo state implementate singolarmente, grazie allo studio effettuato in partenza, mantengono il loro carattere interattivo. Dopo aver implementato le singole funzioni è stato possibile effettuare la prima simulazione per testare il funzionamento complessivo della prima fase e l'effetto sul fabbisogno energetico. È risultato un risparmio complessivo a valle dell'implementazione di tutte le logiche di controllo per il riscaldamento pari al 16 % ed un risparmio sul consumo di energia elettrica pari a circa il 7,0%. Inoltre, si è riscontrato un miglioramento del comfort abitativo sia nella stagione invernale che in quella estiva. Nello specifico, d'estate, le schermature hanno contribuito all'abbassamento della temperatura interna fino 1,5°C, mantenendo comunque la condizione minima di comfort visivo interno. D'inverno, invece, la gestione dell'apertura delle finestre ha garantito una migliore qualità dell'aria interna senza incidere sul comfort termo-igrometrico. La seconda fase ha avuto la finalità di verificare le opportunità di operare strategie di Demand Response per l'edificio residenziale in esame. Nella sperimentazione è stato possibile creare questa parte di logica grazie alla presenza di alcuni elettrodomestici programmabili e di un impianto di pannelli fotovoltaici. La logica è stata sviluppata allo scopo di massimizzare l'auto consumo di energia elettrica prodotta dai pannelli fotovoltaici. I risultati ottenuti hanno prodotto un risparmio sul fabbisogno di energia elettrica pari a circa il 20%.

È stato quindi dimostrato che una buona gestione e logiche di controllo ottimizzate consentono di ottenere un risparmio sul fabbisogno energetico e un migliore livello del confort abitativo. Le percentuali del risparmio energetico ottenute, inoltre, sono in linea con quelle riportate in letteratura.

5 Servizi di Aggregazione

5.1 Piattaforma di aggregazione

I dati monitorati a livello di abitazione dai sensori presenti vengono trasmessi real time, tramite l'EB, alla piattaforma cloud di aggregazione. Nella scorsa annualità è stata implementata la piattaforma di Aggregazione, dove i dati acquisiti sono immagazzinati in un DB ed organizzati per effettuare analisi ed elaborazioni successive, in particolare sincronizzazione e diagnostica, si veda a tal riguardo i report RdS/2015/015 e Report RdS/PAR2016/006.

I dati monitorati a livello di abitazione dai sensori presenti vengono trasmessi real time alla piattaforma cloud di aggregazione, dove i dati "grezzi" vengono integrati ed elaborati per ottenere informazioni più astratte di livello superiore. A partire da questa annualità sono state implementate due dashboard per la visualizzazione dei dati acquisiti e per fornire feedback differenti in funzione del tipo di destinatario:

- Interfaccia per l'**utente** finale a cui vengono forniti dei feedback per motivarlo e indirizzarlo verso un comportamento energeticamente più efficiente;
- Interfaccia per l'**Aggregatore** per consentire un'overview e comparazione tra le utenze coinvolte nella sperimentazione.

Le informazioni che vengono esposte dalle differenti interfacce sono forniti da:

- Dati acquisiti in tempo reale dai sensori di monitoraggio.
- Bollette energetiche fornite dagli utenti per le utenze gas e elettricità.
- Audit delle abitazioni realizzate prima delle installazioni**.**

Per acquisire tutte le informazioni necessarie sono state predisposte due applicazioni:

- Un'applicazione denominata "registra consumi" che consente di inserire i dati relativi alle bollette sia elettriche che del gas così da consentire il confronto dei consumi monitorati con quelli relativi all'anno precedente.

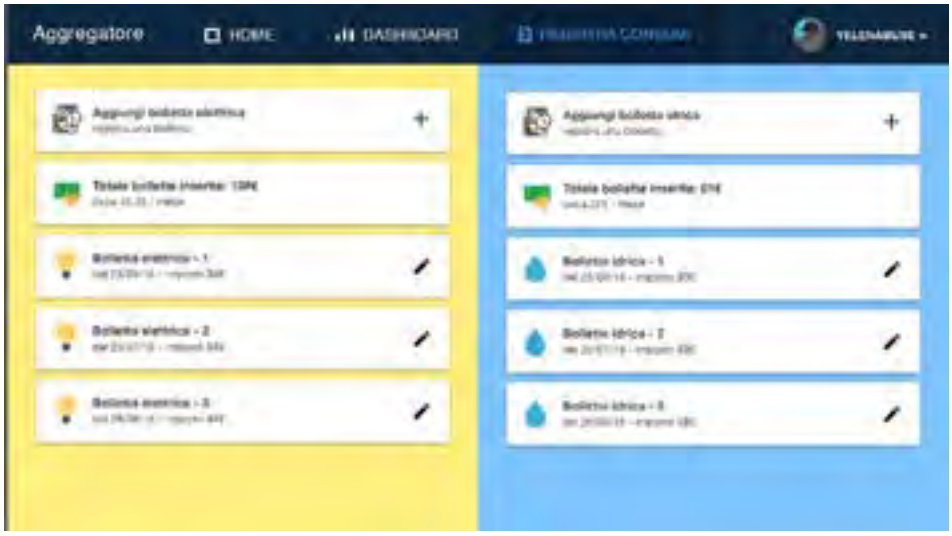


Figura 46-Applicazione per la registrazione dei consumi

- Un'altra applicazione è il "Configuratore" che permette di inserire i dati salienti ottenuti in fase di audit preliminare.

5.2 Interfaccia Utente

E' stata studiata ed appositamente realizzata un'interfaccia dell'Aggregatore per poter fornire dei feedback agli utenti. L'obiettivo è quello di aiutare gli utenti a capire quanta energia stanno utilizzando con le loro attività quotidiane, consentendo in questo modo di utilizzare l'energia nel modo desiderato, sia riducendolo che spostando l'uso in momenti diversi della giornata. In effetti rendere gli utenti consapevoli del loro consumo di energia può favorire un cambiamento del loro comportamento legato all'energia, aiutando al tempo stesso a ridurre i picchi di potenza indesiderati e spostare il consumo nelle ore in cui, ad esempio c'è maggiore disponibilità di energia da fonti rinnovabili.
Di conseguenza anche gli utenti ne possono ottenere vantaggi dal risparmio energetico, riducendo l'impatto ambientale e risparmiando nelle bollette energetiche. In effetti fornire all'utente informazioni relative al loro consumo energetico passato o presente ha di fatto lo scopo di modificare il loro comportamento correlato all'energia. Per motivare questo adattamento, l'uso dell'energia è stato tradotto in termini più facilmente comprensibile da tutti come ad esempio il costo.
Per l'utente è stata predipsosta una apposita APP che gli consente di avere una panoramica sui suoi consumi. Nell' app vengono fornite le seguenti informazioni generali:

- Generiche sull'utenza: posizione su maps, dimensione dell'abitazione e composizione del nucleo familiare.
- Condizioni meteo, temperatura esterna cofrontata con la temperatura media interna, percentuale di apertura delle finestre.
- Stima del consumo elettrico mensile relativo alla data di accesso all'App sia in kWh che in €.

Nell'interfaccia è previsto un Layout per il **confronto** di ciascun utente:

- Con se stesso "**i miei consumi**", in cui è possibile selezionare l'intervallo temporale di riferimento (giorno, questa settimana, questo mese, mese precedente, personalizzato):
  - Energia consumata giornaliera, graficizzata con un istogramma in cui sulle ordinate sono riportati i kWh ed i costi relativi in € per ciascuna giornata.
  - Ripartizione dei consumi tra gli elettrodomestici monitorati, anche in questo caso in € ed in % sul totale.
  - Confronto dei consumi mensili dell'anno in corso con quello precedente. Il confronto permette di monitorare se nel comportamento dell'utente ci sono stati progressi ovvero se si possono riscontrare risparmi rispetto all'anno precedente quando non era presente nessun sistema di controllo.

Figura 47- Interfaccia utente: i miei consumi

- **Con gli altri**, in questo caso i consumi riferiti all'intervallo temporale selezionato vengono confrontati con le famiglie simili per composizione. In questo caso le informazioni sono fornite sono:
    - Confronto con la media ed il più efficiente tra gli utenti simili, il confronto viene effettuato in percentuale a cui si aggiunge un commento che può essere "A*ttenzione*" stai consumano più della media degli utenti simili a te o, "*Complimenti",* se il consumo risulta inferiore.
    - Confronto tra il consumo degli elettrodomestici del singolo utente con la media dei consumi degli utenti appartenenti alla stessa categoria.

Figura 48-Interfaccia utente: *confronto con gli altri*

5.3 Interfaccia dell'Aggregatore

La dashboard dell'Aggregatore permette di rappresentare una vista generale dell'aggregato delle Smart Homes monitorate. Anche in questo caso vengono fornite le seguenti informazioni generali:

- Numero complessivo delle abitazioni monitorate (14), utenti coinvolti (39) e superficie complessiva (1004 mq).
- Condizioni meteo, temperatura esterna e temperatura media interna di tuttele abitazioni, percentuale media di apertura delle finestre.

Nella dashboard è possibile selezionare sia il periodo che la modalità di visualizzazione: per singola abitazione o aggregata.
Le informazioni fornite sono:

- La somma dell'energia consumata nell'intervallo selezionato dalle singole abitazioni, tramite un grafico a barre viene visualizzata. Questo grafico permette un rapido confronto tra le diverse abitazione e, di conseguenza, l'individuazione dell'abitazione più energivora, si veda la figura successiva:

Figura 49_Dashboard Aggregatore: somma dell'energia per ogni abitazione

- Il consumo di energia giornaliero o orario (in base al periodo selezionato) della somma delle abitazioni monitorate. In questo modo è possibile monitorare la richiesta energetica dell'aggregato ora per ora ed individuare gli intervalli temporali in cui si ha la maggiore richiesta di energia, come rappresentato nella figura seguente:

Figura 50- Profilo orario dell'energia consumata dall'aggregato

- I picchi di potenza nell'arco della giornata distinti per ciascuna abitazione. Inoltre passando con il cursore sul punto di picco è possibile visualizzare sia il valore preciso del punto di picco sia l'orario in cui si è verificato. L'esatta individuazione dell'orario del picco consente di verificare la contemporaneità o meno di più picchi che potenzialmente potrebbe causare problemi per l'aggregatore e per la rete.

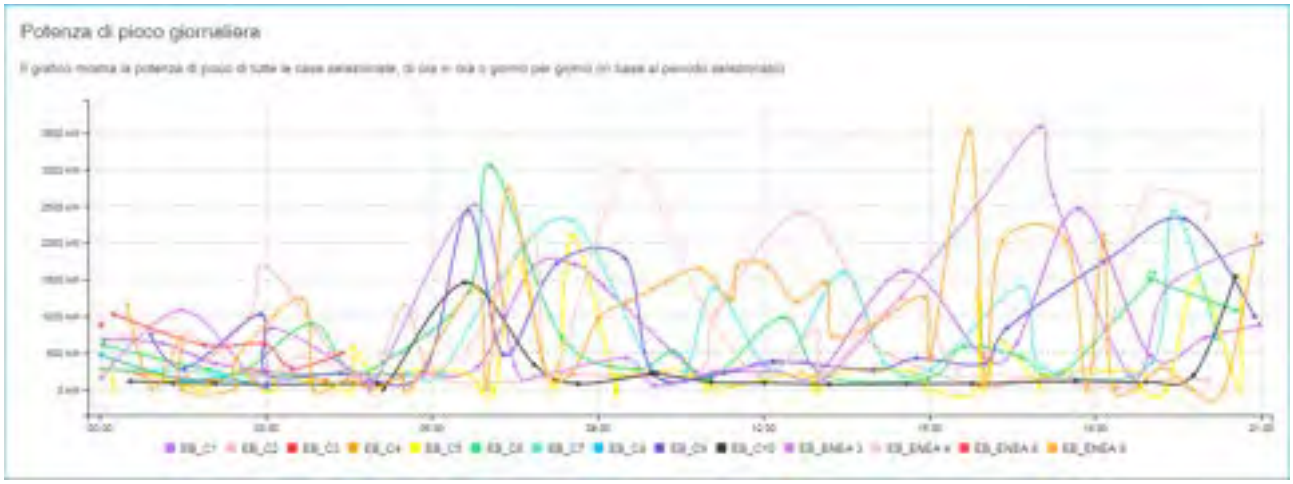


Figura 51 - Potenza di picco giornaliera

5.4 Servizi aggiuntivi

L'infrastruttura digitale della Smart Home consente di offrire all'utente finale servizi supplementari rispetto a quelli esclusivamente energetici. Grazie alle capacità di elaborazione locali del sistema implementato, è possibile gestire situazioni di potenziale rischio. In effetti, l'integrazione di dati eterogenei è importante per il supporto decisionale, con un impatto minimo sulle apparecchiature installate e con una conseguente riduzione dei costi e una migliore accettabilità da parte dell'utente.

Lo sviluppo di questi servizi è stato possibile in quanto ogni oggetto/servizio nell' Energy Box è associato a un'applicazione Web alla quale è possibile accedere dalla home page del sistema ApioOS.
Dalla Dashboard è possibile gestire le Business Rules, più propriamente dette ApioRules che consentono l'introduzione e la gestione di servizi basati sull'acquisizione di dati in tempo reale. Queste regole possono essere implementate utilizzando il linguaggio di programmazione JavaScript.

Di seguito sono riportati due servizi progettati e sviluppati al fine di offrire servizi aggiuntivi per l'utente domestico.

5.4.1 Assisted Living

Assisted Living generalmente significa una serie di servizi volti ad aiutare le persone fragili a vivere meglio e più a lungo nelle proprie case il più a lungo possibile. Attualmente nella EB è già stata integrata la piattaforma My-Signals che consente di monitorare i parametri vitali grazie ad un kit di undici sensori. In questo modo, con la stessa interfaccia utilizzata per la gestione energetica della casa, è possibile monitorare la salute di chi ci vive.

La possibilità di eseguire alcuni esami di routine in casa può avere un forte impatto sulla qualità della vita delle persone, oltre a ridurre i costi per se stessi e il sistema sanitario. Si rimanda al report RdS/PAR2017/049 per la descrizione dell'attività svolte in questo campo specifico e sulle relative interfacce di interazione con l'utente.

5.4.2 App Flessibilità

L'App flessibilità, è un applicazione che si propone come obiettivo quello di delineare un primo approccio per scenari futuri di Demand Response (DR) programmando azioni che possono essere messe in campo dal lato dell'utente per modificare la sua curva di carico elettrico, abbassandola o traslandola orizzontalmente, in risposta a problemi presenti sulla rete come ad esempio la momentanea indisponibilità di potenza causata

da guasti o intermittenza di produzione da fonti rinnovabili non programmabili, oppure In risposta alla dinamica dei prezzi dell'energia elettrica all'ingrosso.
Le azioni di DR possono essere realizzate in modo automatico (in remoto) da parte dell'aggregatore/utility oppure direttamente dall'utente finale che decide a sua volta in autonomia sulla base di informazioni suggerite dell'aggregatore.
Tale App mira infatti a prevedere il carico energetico dell'utente con lo scopo di perseguire un migliore servizio di erogazione dell'energia elettrica, suggerendo all'utente una curva di penalità/premialità da perseguire, in base alla quale traslare o abbassare il proprio consumo.
L'utente si troverà quindi a definire la sua **flessibilità delle utenze elettriche** per ogni appliance, indicando una o più fasce orarie di utilizzo settimanali che verranno registrate su DB tramite la seguente interfaccia:

Figura 52 - App flessibilità

Sulla base delle informazioni fornite dall'utente è possibile elaborare una curva previsionale dello stesso, che sarà compito di un gestore di rete, responsabile della regolazione dei prezzi di produzione e dei costi di consumo, di erogazione del servizio elettrico etc, suggerire e contrattare con l'utente un eventuale spostamento dei carichi e successivamente verificare che le condizioni sottoscritte siano rispettate, erogando conseguentemente premialità e penalità da sommarsi algebricamente ai corrispettivi a lui dovuti per la fornitura di energia elettrica o da erogare ai produttori per remunerare l'energia da fonte rinnovabile ritirata.

5.4.3 Servizio di sicurezza: Alert "fuori casa"

Il servizio di sicurezza introdotto prevede, in assenza di utenti, il rilevamento dell'intrusione di estranei in casa o l'infrazione di porte o finestre. Il sistema è potenzialmente in grado di fornire una notifica real-time di avviso all'utente o a terze persone abilitate in modo specifico.
Si tratta di azioni che coinvolgono gli oggetti del sistema, inoltre è possibile determinare cosa deve accadere quando si verificano condizioni diverse, dato che si tratta di un processo che viene eseguito in background sul gateway e che pertanto funziona sempre e indifferentemente dalla presenza o dall'assenza di rete. Il sistema può essere utilizzato su qualsiasi dispositivo in quanto ha un'interfaccia reattiva.

Grazie alle peculiarità del sistema ApioOS descritto in precedenza, l'applicazione introdotta può essere utilizzata sia localmente sia, a distanza, tramite un servizio web, accessibile da qualsiasi tipo di piattaforma (Pc, smartphone, tablet,ecc…).

I sensori coinvolti in questo servizio sono: Sensore di movimento, contatto porta/finestra.

Ne consegue che se l'utente è fuori casa e viene rilevato un movimento o l'apertura di una porta o di una finestra, questo è un segnale di allarme da inviare in tempo reale all'utente.

L'app “fuori casa” [18] si basa su questo e costituisce un servizio aggiuntivo di sicurezza per l’utente. Questa app, consente l'attivazione di una modalità "*Fuori casa*" che permette all’utente di monitorare lo stato dell'appartamento. Una volta attivata la modalità "*Fuori casa*", l'utente riceve un rapporto di riepilogo contenente lo stato di ciascun dispositivo e la porta/finestra monitorata. Questo rapporto viene inviato per e-mail e come messaggio via Telegram all'utente.
Nella figura sottostante a sinistra è possibile vedere un esempio di report inviato tramite telegram una volta attivata la modalità “*Fuori casa*”, dove è possibile verificare lo stato di tutti i dispositivi monitorati tramite Smart Plug (come ad esempio "Presa Forno: Spento") e lo stato di ogni porta/finestra (come ad esempio "Sensore Finestra Cucina: Chiusa"). Nel caso di "on" (= "acceso", come ad esempio "Presa Tv Cucina: Acceso con un assorbimento di 1.6W") viene mostrato anche l'assorbimento corrente. In questo modo, sarà possibile per l'utente decidere come intervenire prima di lasciare definitivamente la casa. Successivamente, in assenza dell'utente da casa, questa applicazione fornisce un servizio di "Alert" con notifiche in tempo reale tramite un messaggio Telegram se viene rilevata una situazione di violazione della sicurezza. Infatti, con la modalità "*Fuori casa*" attivata, viene eseguito un controllo in tempo reale su tutti i sensori di movimento e tutti i contatti porta/finestra e viene inviata una notifica immediata se viene rilevato un movimento o un'apertura di una porta o di una finestra. Dal momento che nessuno è a casa, è importante ricevere avvisi di possibili infrazioni. Il messaggio di avviso che viene inviato mostra anche in quale stanza si è verificato il movimento o quale finestra/porta è stata aperta o, se ne sono stati rilevati più di uno, in quale ordine. Un esempio di un messaggio di avviso inoltrato tramite Telegram può essere visionato nella figura in basso a destra.
L'applicazione sviluppata "*Fuori casa*" dimostra come sia possibile sfruttare i dati raccolti da oggetti connessi che nascondono un potenziale enorme. L'integrazione e l'elaborazione dei dati da questi dispositivi possono offrire all'utente servizi aggiuntivi che vanno oltre la gestione energetica per cui sono nati.

Figura 53- Esempio di messaggio

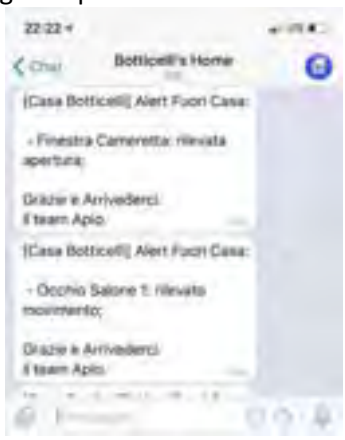


Figura 54-Esempio di Alert

5.5 Valutazione dei benefici

Il sistema di Smart Home Network (SHN) implementato in questo triennio di attività comprende due prodotti: l'Energy Box e la piattaforma di Aggregazione. L'ambito applicativo dell'EB è a livello di singola home, dove consente di raccogliere le informazioni provenienti dai dispositivi presenti e trasmetterli al livello superiore alla piattaforma di Aggregazione, a livello del quale tutti i dati raccolti vengono rielaborati ed aggregati per fornire una serie di feedback, sia all'utente finale che agli stakeholders coinvolti. Questi prodotti sono stati sviluppati nel triennio in collaborazione con l'azienda Apio S.r.l., mentre l'accesso ai servizi forniti dal sistema è possibile da remoto al seguente link: (https://www.smarthome.enea.it/).

Il sistema SHN sviluppato concorrere a fornire benefici che possono riguardare i seguenti ambiti: Environment, Economy, Energy, Living and People.
A questo proposito, in linea con lo studio condotto da RSE nell'ambito di "*Smartainability® da Expo Milano 2015 alle città reali: linee guida*" [25] (febbraio 2016), sono stati prodotti degli indicatori KPI di Smartness per valutare i benefici prodotti dall'uso de sistema di Smart Home implementato.

Secondo queste linee guida l'applicazione della metodologia Smartainability® prevede di seguire dei passi predefiniti. Per prima cosa è essenziale comprendere se le tecnologie innovative da analizzare siano effettivamente in grado di abilitare funzionalità smart e pertanto deve essere contraddistinta dalle seguenti peculiarità pienamente soddisfatte dal sistema implementato:

- Acquisizione e fornitura informazioni
- Deve essere controllabile da remoto o possedere una intelligenza locale che le permetta di adattarsi alle diverse situazioni.
- Deve anticipare tendenze di mercato in attesa di economie di scala.

Successivamente si procede realizzando le relative matrici Asset-Funzionalità-Benefici-KPI (Key Performance Indicators).
Si riportano di seguito gli asset che compongono la soluzione di SHN e la conseguente matrice Asset-Funzionalità che possono essere abilitate dalle singole tecnologie.

Tabella 20-Matrice Asset Funzionalità

Asset	Funzionalità								
	Monitoraggio consumi energetici	Monitoraggio occupazione	Monitoraggio finestre/porte	Monitoraggio condizioni salute utenti	Monitoraggio confort indoor	Gestione energetica ottimizzata e remotizzata	Citizen engagment	Demand Response	Aggregazione, benchmarking ed elaborazione dati
Energy Box	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	
Piattaforma di Aggregazione	**X**					**X**	**X**	**X**	**X**

Successivamente è stata redatta la matrice funzionalità benefici riportata di seguito:

Tabella 21-Matrice Funzionalità Benefici

Funzionalità	Benefici											
	Riduzione consumi energetici e risparmio energetico	Incremento del volume d'affari associato alle tecnologie	Miglioramento gestione emergenze (sicurezza)	Miglioramento sicurezza degli abitanti per riduzione crimini	Confort indoor	Miglioramento della manutenzione dell'abitazione e dei suoi impianti	Riduzione emissioni inquinanti da consumi energetici e carburanti	Maggiore stabilità (resilienza) rete elettrica generale	Consapevolezza energetica degli utenti finali	Maggiore integrazione delle fonti rinnovabili	Riduzione dei costi dell'energia per l'utente finale associata al servizio di demand response	Riduzione dei ricoveri in ospedale e dei costi legati all'assistenza sanitaria	Migliore qualità della vita per categorie di utenti fragili
Monitoraggio consumi energetici elettrodomestici	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Monitoraggio occupazione	x	x	x	x	x	x	x		x			x	x
Monitoraggio finestre/porte	x	x	x	x	x	x	x		x				x
Monitoraggio condizioni salute utenti		x	x				x					x	x
Monitoraggio confort indoor	x	x	x		x	x	x		x			x	x
Gestione energetica ottimizzata e remotizzata	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Citizen engagement	x	x	x	x			x	x	x	x		x	x
Demand response		x					x	x	x	x	x		
Aggregazione, benchmarking ed elaborazione dati	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Di seguito la matrice Benefici-KPI. Si propone di quantificare i benefici generati dalle funzionalità della SHN mediante l'uso di adeguati Key Performance Indicators – KPI riportati nella tabella 23. Gli indicatori sono classificati e organizzati secondo i cinque ambiti di analisi: Environment, Economy, Energy, Living, People.

Tabella 22-Matrice Benefici-KPI

Benefici	KPI																
	Environment	Economy				Energy					Living		People				
	Gas serra	Costi di manutenzione	Costi energetici	Creazione di occupazione locale	Abilitazione servizi innovativi	Energia totale consumata	Energia elettrica consumata all'anno per utente residenziale	% di energia proveniente da fonti rinnovabili	Media del numero di interruzioni elettriche per utente all'anno	% di popolazione con accesso a servizi elettrici autorizzati (DR)	Tempo risparmiato	Accessibilità dei servizi	Monitoraggio in tempo reale	Tempestività intervento	Maggiore sicurezza nella fruizione della città	Consultazione, da parte del cittadino, di informazioni aggregate sulle infrastrutture pubbliche	Numero di ricoveri in strutture ospedaliere in un anno su 100.000 abitanti
Riduzione consumi e risparmio energetico	X	X	X			X	X	X				X					
Incremento del volume d'affari associato alle tecnologie		X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X
Miglioramento gestione emergenze				X	X						X	X	X	X	X	X	X
Miglioramento sicurezza degli abitanti per riduzione crimini					X						X	X	X	X	X	X	
Confort indoor	X								X	X	X	X	X	X			X
Miglioramento manutenzione dell'abitazione e suoi impianti		X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X			
Riduzione emissioni inquinanti da consumi energetici e carburanti	X		X		X	X							X	X	X		
Resilienza rete elettrica generale	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X			
Consapevolezza energetica utenti finali	X		X									X				X	
Maggiore integrazione delle fonti rinnovabili	X		X	X	X								X	X			
Riduzione dei costi dell'energia per l'utente finale associata al servizio di DR		X	X	X	X					X						X	
Riduzione ricoveri in ospedale e costi legati all'assistenza sanitaria		X	X		X	X					X		X	X			X
Migliore qualità della vita per gli utenti fragili					X						X	X	X	X			X

Infine l'elenco dei KPIs:

Tabella 23- Elenco KPIs

Ambito di analisi	Indicatore	Unità di misura	Numero
Environment	Gas serra	t CO_2 Eq/a	1
Economy	Costi di manutenzione	€/a	2
	Costi energetici	€/a	3
	Creazione di occupazione locale	# posti lavoro	4
	Abilitazione servizi innovativi	-	5
Energy	Energia totale consumata	MWh/a	6
	Energia elettrica consumata all'anno per utente residenziale	kWh/a	7
	% di energia proveniente da fonti rinnovabili	%	8
	Media del numero di interruzioni elettriche per utente all'anno	n	9
	% di popolazione con accesso a servizi elettrici autorizzati (DR)	%	10
Living	Tempo risparmiato	min	11
	Accessibilità dei servizi	-	12
People	Monitoraggio in tempo reale	%	13
	Tempestività intervento	min	14
	Maggiore sicurezza nella fruizione della città	%	15
	Consultazione, da parte del cittadino, di informazioni aggregate sulle infrastrutture pubbliche	%	16
	Numero di ricoveri in strutture ospedaliere in un anno su 100.000 abitanti		17

6 Modello di qualificazione e validazione dei consumi residenziale

I temi sviluppati nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra ENEA e il Centro di Ricerca Interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Ambiente - C.I.T.E.R.A. della Sapienza Università di Roma riguardano lo studio di un modello di qualificazione e validazione dei consumi elettrici e termici di edifici residenziali e sono descritti in dettaglio nel report RdS/PAR2017/051.
In particolare, l'attività di ricerca relativa a questa annualità vuole completare la caratterizzazione delle utenze residenziali, arrivando ad una definizione più completa del loro potenziale di aggregabilità.

6.1 Premessa

Per lo svolgimento delle proprie funzioni, un aggregatore di utenze residenziali deve installare presso l'utente sensori e attuatori volti a rendere automatiche le operazioni di gestione energetica delle utenze; presso l'utente potrà anche prevedere la realizzazione di interventi finalizzati alla riduzione dei consumi elettrici e termici, mediante una riqualificazione energetica o una variazione della dotazione tecnologica dell'abitazione.
Al fine di indirizzare correttamente le scelte dell'aggregatore e dell'utente è necessaria un'operazione volta ad una valutazione condivisa del risparmio energetico ed economico conseguente alle installazioni e agli interventi effettuati. Tale operazione si rende necessaria per valutare il risparmio energetico ed economico effettivamente correlato alle attività di miglioramento realizzate e consentirà di introdurre parametri capaci di neutralizzare gli effetti sui consumi e sui costi di fattori quali ad esempio il particolare andamento climatico di una stagione, una variazione delle modalità di utilizzo dell'abitazione, un diverso utilizzo degli impianti, una diminuzione del comfort ambientale dell'utente, una variazione della dotazione tecnologica o una riqualificazione energetica.

Utilizzando il foglio di calcolo realizzato nel corso della precedente annualità, si veda il report RdS/PAR2016/009, si è proceduto ad una raccolta più ampia di dati di utenze residenziali. Al crescere del numero di fogli di calcolo compilati, l'analisi dei dati raccolti ha consentito di sviluppare valutazioni approfondite di sensibilità sugli input, con individuazione di quelli maggiormente influenti ai fini della stima della prestazione energetica di un edificio residenziale.
Il risultato finale è la predisposizione di uno schema di procedura per la qualificazione e per la validazione dei consumi elettrici e termici, che potrà essere utilizzata per una valutazione condivisa del risparmio energetico ed economico conseguente all'installazione di uno smart home, di altre eventuali installazioni o di altri eventuali interventi effettuati.

In particolare, l'attività di ricerca relativa a questa annualità è stata suddivisa in tre fasi:

- Raccolta di questionari per la caratterizzazione delle utenze residenziali.
- Analisi di sensibilità dei dati di input
- Qualificazione e validazione dei consumi elettrici e termici

6.2 Raccolta di questionari per la caratterizzazione delle utenze residenziali

La prima fase del lavoro ha avuto come obiettivo la raccolta di un elevato numero di questionari, per la caratterizzazione delle utenze residenziali, con l'intenzione di arrivare ad un database sufficientemente ampio per effettuare analisi statistiche sui dati.
È stato effettuato un esame dei questionari per valutare la propensione degli utenti a fornire le informazioni richieste e l'affidabilità delle informazioni fornite, riscontrando, in generale, una buona disponibilità a fornire dati, sia pure nella difficoltà, comune a molti degli intervistati, a reperire le informazioni necessarie sulle bollette di fornitura dell'energia elettrica e del gas.
Sono stati raccolti 372 questionari, nella figura seguente le incidenze medie sul consumo totale del campione esaminato.

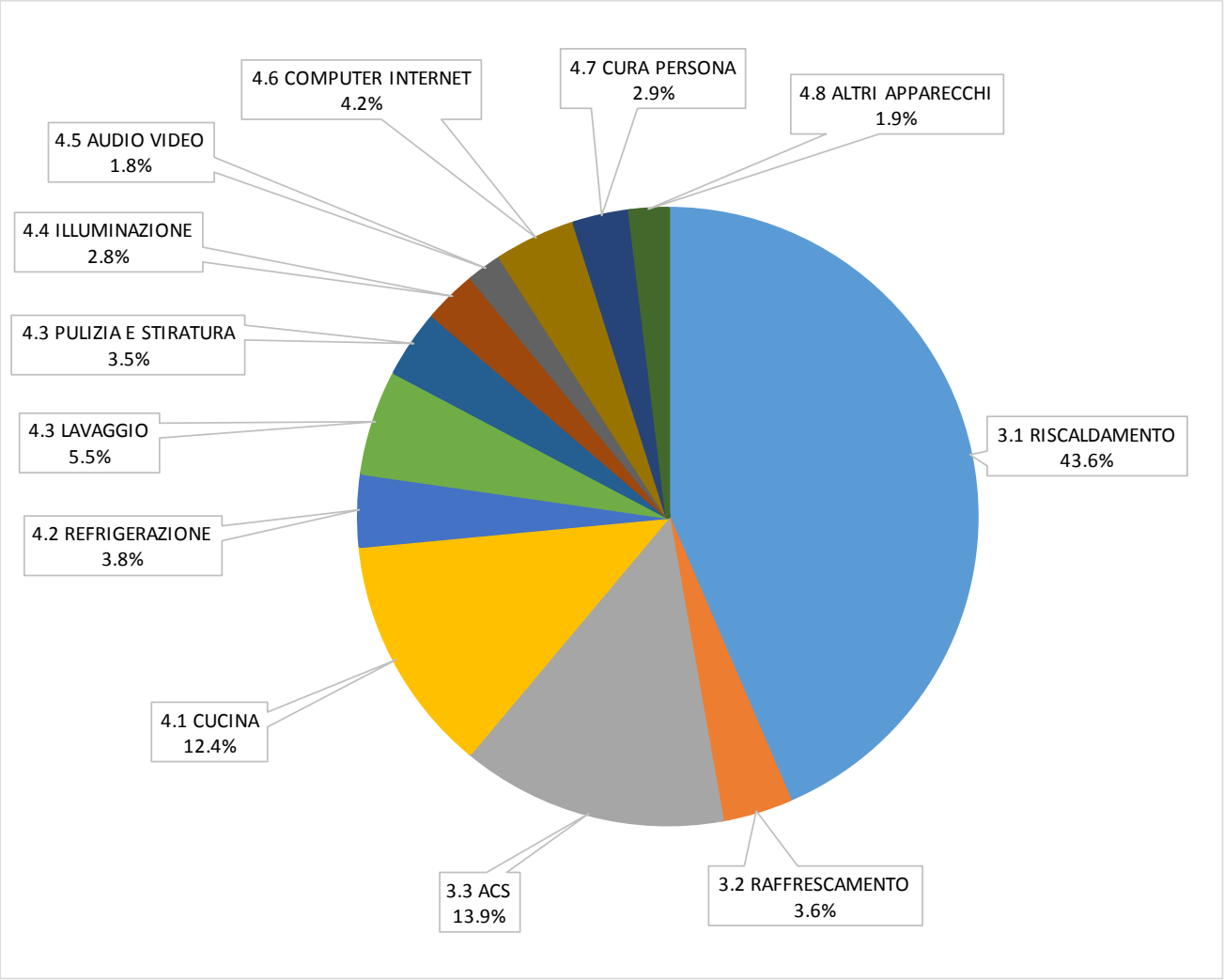


Figura 55- Incidenze medie dei servizi sui consumi di energia primaria.

La tabella che segue riporta i risultati delle analisi effettuate relativamente all'incidenza minima, media e massima dei diversi servizi sui consumi di energia primaria dell'abitazione.

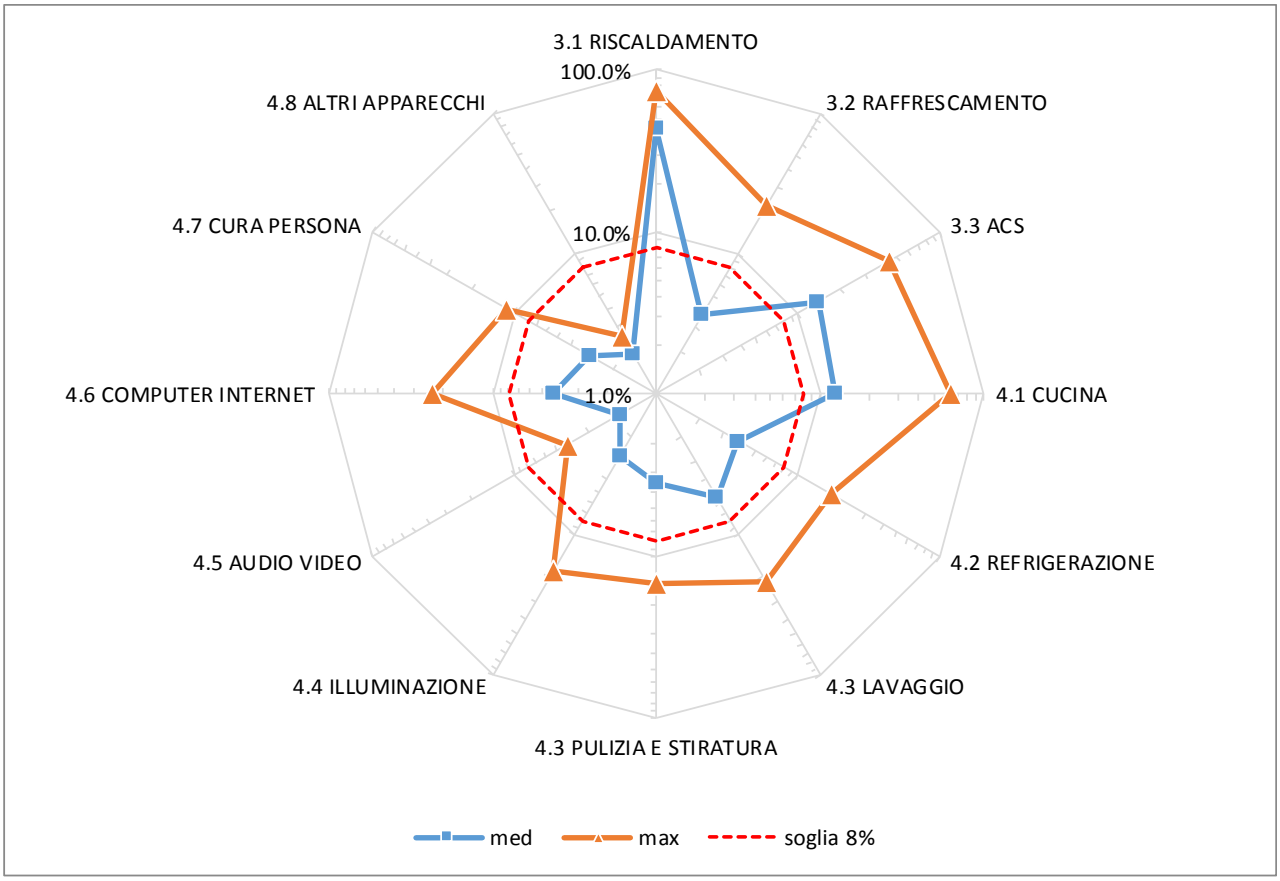


Figura 56-Confronto tra le incidenze medie e massima e il valore di soglia.

6.3 Analisi di sensibilità dei dati di input

Con l'obiettivo di valutare scenari diversi rispetto allo scenario iniziale, a partire dai dati forniti attraverso i questionari sono stati esaminati gli effetti sui consumi energetici di possibili variazioni dei dati di input, quali un diverso andamento climatico, una variazione delle modalità di utilizzo dell'abitazione, un diverso utilizzo degli impianti, una diminuzione del comfort ambientale dell'utente, una variazione della dotazione tecnologica o una riqualificazione energetica.

I risultati delle analisi effettuate sono riportati nella tabella seguente.

Il primo dato che emerge è rappresentato dai risparmi energetici conseguenti all'introduzione di un kit di automazione, che risultano decisamente alti rispetto a tutti gli alti.
Inoltre, la lettura della tabella porta ad affermare che il servizio da monitorare con più attenzione è senz'altro il servizio di riscaldamento. É il servizio che incide di più sui consumi energetici dell'abitazione, ed è anche il servizio più sensibile a eventuali variazioni dei dati di input.
Per tutti gli altri servizi si hanno incidenze minori; ed in ragione della minore incidenza sui consumi dell'abitazione, le variazioni dei dati di input considerate hanno mostrato un'incidenza contenuta sui dati di consumo complessivo dell'abitazione.

Quanto sopra affermato può tradursi in una indicazione relativa ai requisiti minimi del kit di automazione, che, con riferimento alle caratteristiche dei kit di automazione ENEA, indica la necessità di implementare, rispetto al kit HIGH, unicamente una misura della temperatura esterna.
Le misure raccolte dal kit di automazione potranno consentire di aggiornare gli input del foglio di calcolo, che potrà ancora essere utilizzato per la stima dei consumi dell'abitazione.

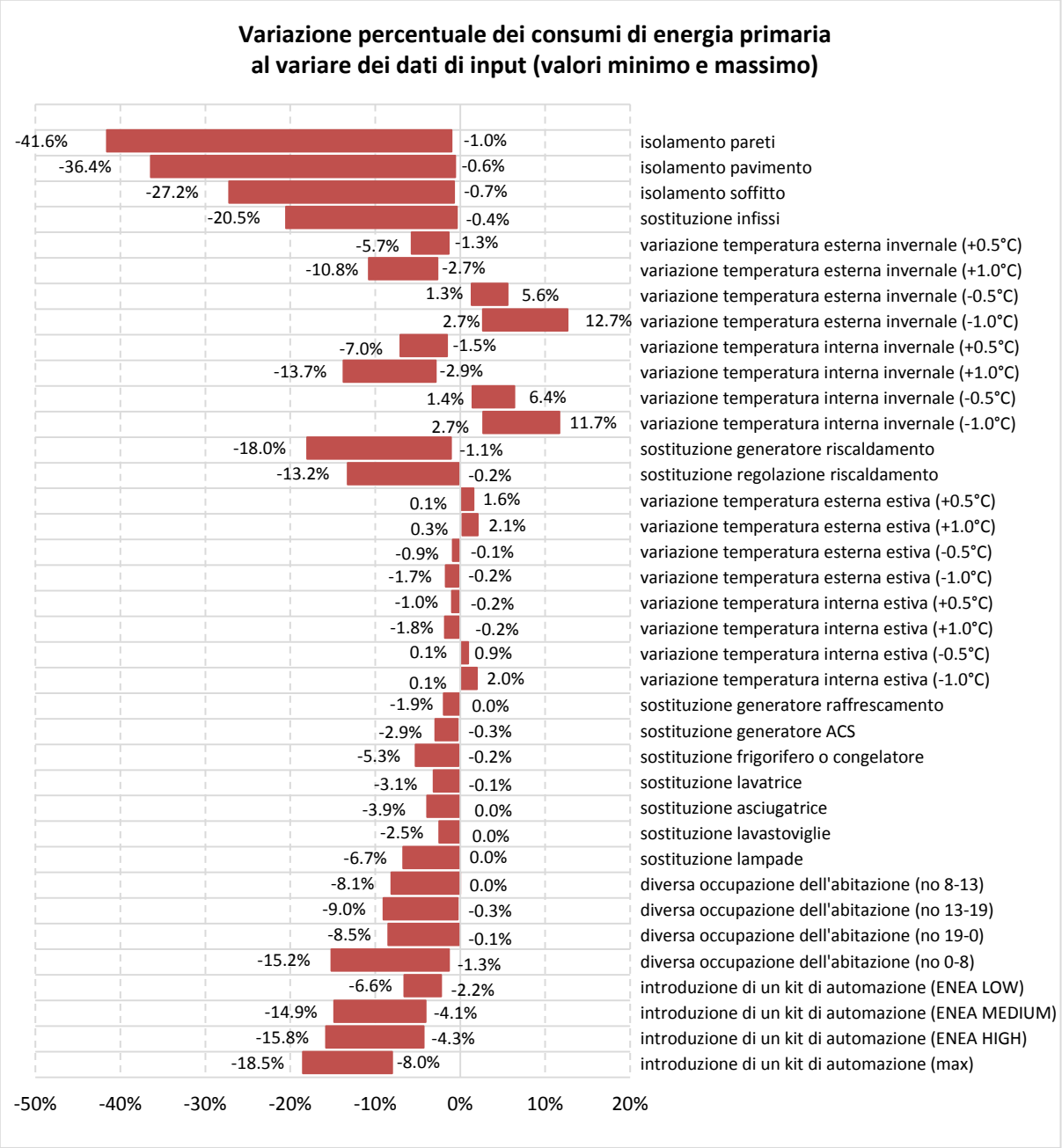


Figura 57- Variazione percentuale dei consumi di energia primaria al variare dei dati di input (variazioni negative indicano dei risparmi).

6.4 Qualificazione e validazione dei consumi elettrici e termici

L'attività dell'aggregatore prevede necessariamente l'installazione di uno smart home presso l'utente finale e può prevedere altre installazioni o altri interventi volti alla realizzabilità tecnica dell'intervento.
In aggiunta l'attività dell'aggregatore può prevedere interventi specifici volti a migliorare l'efficienza energetica dell'abitazione, quali una riqualificazione energetica dell'involucro edilizio, una riqualificazione energetica degli impianti tecnologici o la sostituzione di apparecchiature.
Sia l'installazione di uno smart home, sia la realizzazione di altri interventi presuppongono un investimento e hanno come risultato probabile un risparmio energetico e conseguentemente un risparmio economico.

È necessario pertanto individuare una procedura per la qualificazione e per la validazione dei consumi elettrici e termici, che potrà essere utilizzata per una valutazione condivisa del risparmio energetico ed economico conseguente alle installazioni effettuate; in questa maniera, si potranno ripartire correttamente utili (o perdite) derivanti dagli investimenti effettuati, tra l'aggregatore e l'utente finale.

Tale procedura potrà diventare parte integrante di un capitolato volto a regolare i rapporti tra l'aggregatore e l'utente e dovrà includere misurazioni e stime dei consumi energetici, evitando l'insorgere di conflitti di gestione o di conflitti di interesse.

Sarà essenzialmente strutturata secondo i seguenti passi:

1. raccolta delle informazioni relative all'abitazione ed ai suoi usi energetici;
2. inserimento del caso specifico nel database e analisi comparativa con gli altri casi;
3. definizione delle strategie di intervento, volta a pianificare non solo l'installazione dello smart home, ma anche eventuali ulteriori interventi;
4. definizione dei livelli minimi di misurazione;
5. definizione dello schema di contratto per la remunerazione dell'intervento.

7 Simulazione del servizio di demand response di un distretto urbano

In collaborazione con l'Università Politecnica delle Marche è proseguita l'attività di simulazione del servizio di demand response di un distretto urbano come descritto in dettaglio nel report RdS/PAR2017/049.
In questa annualità è stato ulteriormente migliorata l'attività di simulazione di un distretto urbano [19] [20] [21] [22] sia introducendo la modellazione della flessibilità dei carichi termostaticamente controllabili nel settore terziario (scuole, uffici e centri direzionali) nel simulatore termico, sia introducendo ulteriori funzionalità di scheduling dei carichi nel simulatore elettrico. Inoltre, è stata definita un possibile strategie di ranking dei consumatori finali da parte dell'Aggregatore, basata sulla affidabilità degli utenti finali. Infine è stata definita una metodologia per la stima della curva di consumo day-ahead degli utenti finali, anche supportata da servizi di interazione con l'utente, testati in ambienti reali.

7.1 Simulazione di un distretto misto, residenziale e terziario.

L'estensione del modello dei consumi termici del distretto al settore del terziario, è stata fatta modellando tre tipologie di utenze: scuole, gli uffici ed edificio direzionale. Ogni tipologia di utenza è stata simulata su tre località differenti, rappresentative di zone di mercato elettrico differenti: Brescia per il Nord, Roma per il Centro Sud, Bari per il Sud. I profili di occupazione e di utilizzo degli impianti, rappresentano i principali parametri utilizzati dello studio.

Figura 58- ***Layout esterno e pianta dell'edificio ufficio***

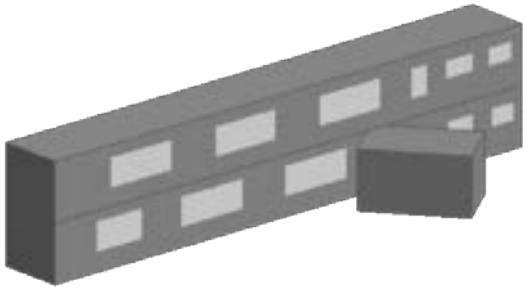


Figura 60 – ***Layout esterno dell'edificio scolastico***

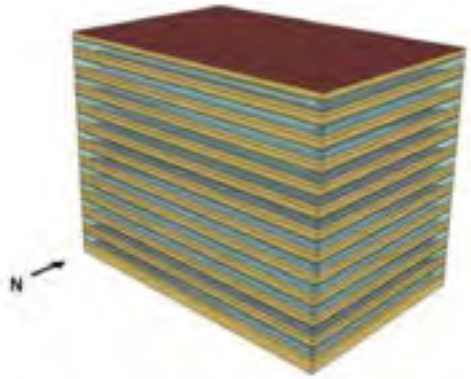


Figura 59 – Layout esterno dell'edificio "centro direzionale"

E' importante sottolineare, infine, che tali profili di presenza e di utilizzo degli impianti sono quelli che veramente distinguono una utenza "scuola" da una utenza "ufficio", piuttosto che la struttura dell'edificio che rappresenta una caratteristica abbastanza comune per edifici di un medesimo periodo costruttivo.
Le varie tipologie di edificio sono state modellate con Energy Plus: per l'edificio scolastico si è fatto riferimento ad una scuola reale; per gli uffici si è fatto riferimento ai modelli sviluppati dal DOE statunitense in Energy Plus "Small Office" e "Large Office", rispettivamente per i piccoli uffici e per i centri direzionali. Il distretto misto è stato simulato creando un nuovo distretto, contenente sia le tipologie di utenza residenziale che quelle del settore terziario. I distretti sono stati modellati considerando 100.000 abitanti per ognuna delle città; il numero di utenze residenziali è stato calcolato dividendo il numero di abitanti per un parametro rappresentativo del numero di utenti medio per utenza. Parametro impostato a 2,5 dato che le casistiche a disposizione rappresentano appartamenti da 80 a 100 metri quadri con numero di stanze da letto di 1 o 2. Ognuno dei distretti sarà dunque individuato da 40.000 utenze aventi climatizzazione elettrica. Dai dati Istat dell'ultimo censimento sono state reperite le statistiche sia l'incidenza dei sistemi di climatizzazione elettrici sul totale della popolazione, sia la relativa tipologia (pompe di calore, split system etc.). E' stato dunque possibile ottenere la quantità di utenze, relativamente alle 40.000 rappresentanti il distretto, che utilizzano

rispettivamente condizionatori e pompe di calore. Il numero viene ottenuto moltiplicando il numero di utenze per l'incidenza della climatizzazione elettrica e successivamente del rispettivo tipo di impianto.

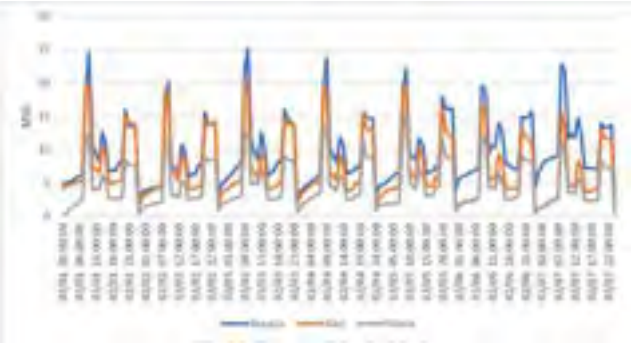


Figura 61- Curva di carico elettrico per il riscaldamento del distretto misto

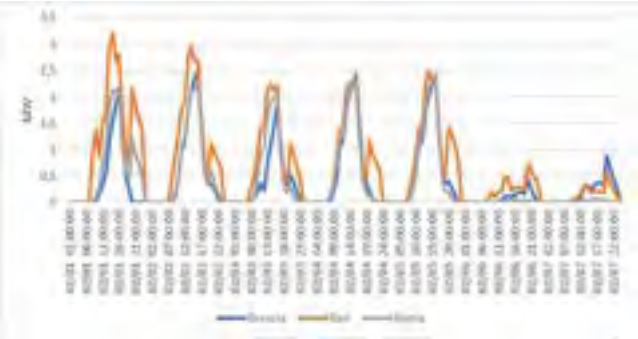


Figura 62_Curva di carico elettrico di raffrescamento del distretto misto.

7.2 Miglioramento del simulatore sulla modellazione della flessibilità dei carichi programmabili e implementazione nella matrice di flessibilità dell'Aggregatore

In questa annualità, il simulatore di consumi elettrici residenziali sviluppato negli anni precedenti, è stato ulteriormente migliorato introducendo una suddivisione in classi di utilizzo degli elettrodomestici. Lo stato in cui può trovarsi un elettrodomestico è acceso o spento; nello stato di OFF può esser previsto lo Stand-By, ovvero si tiene l'elettrodomestico in attesa di una riaccensione, l'apparecchio continua ad assorbire energia ma in maniera molto minore rispetto allo stato di ON. Gli elettrodomestici impiegati in una utenza sono stati suddivisi per classi, caratterizzati dalla frequenza di utilizzo e numero di persone attive che ne comportano l'accensione. Questo miglioramento è di fondamentale importanza per la futura simulazione di scenari di Demand Response con strategie di load shifting di carichi programmabili (lavatrice, lavastoviglie, in primis). Inoltre, sono state aggiunte nuove tipologie/modelli di elettrodomestici. Gli elettrodomestici per la climatizzazione (split e pompa di calore) non sono ovviamente inclusi in quanto modellati all'interno del simulatore termico.

Tabella 24- Elettrodomestici implementati

CLASSIFICAZIONE ELETTRODOMESTICI						
CLASSE T1	CLASSE T2	CLASSE T3	CLASSE T4	CLASSE T5	CLASSE T6	LIGHT
Uso Periodico	Uso continuo	Uso Periodico	Uso quotidiano	Uso quotidiano/stagionale	Uso stagionale	Uso quotidiano/stagionale
Vincolo almeno una persona		Persone inoccupate 1	Persone inoccupate 2	Persone attive	Vincolo almeno una persona	Persone attive
Lavatrice	Frigo	Aspirapolvere	TV	Scalda Bagno	Condizionatore	
Lavastoviglie	Congelatore	Phon	HI FI			
Cappa aspirante	WI-FI	Ferro da Stiro				
Forno	Stand by					
Microonde						

PERSONE INOCCUPATE 1: persone tot - persone t3
PERSONE INOCCUPATE 2: persone tot - persone t4

Dalle simulazioni effettuate risulta un carico medio annuo giornaliero come mostrato nella figura seguente. Come si può vedere il profilo mostra una richiesta energetica maggiore durante la sera, orario per cui l'utenza è più popolata da inquilini. Picchi di richiesta energetica di minor entità sono durante le ore della sveglia e nell'orario di pranzo.

Figura 63- Profilo energetico medio annuale (timestep 30 secondi)

7.3 Sviluppo di un sistema di ranking dell'affidabilità degli utenti per la loro "chiamata" al mercato di Aggregazione

È stato inoltre introdotto un sistema di classificazione degli utenti secondo la loro affidabilità. Grazie a questo sistema di flessibilità, l'Aggregatore potrà effettuare le chiamate dando priorità a utenti ritenuti più affidabili, avendo come risultato una minore incertezza sulla stima della flessibilità.

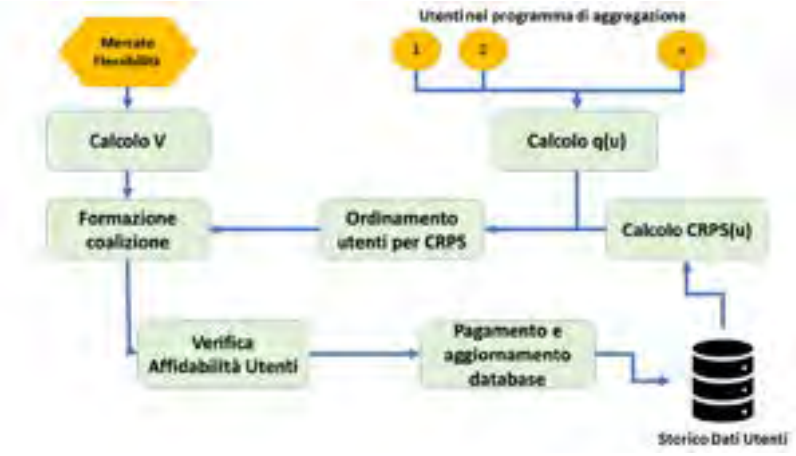


Figura 64- Procedimento algoritmo per via grafica

Nome Variabile	Acronimo
Incertezza Dichiarata	SU
Flessibilità dichiarata	F
Pagamento minimo	MPR
Contributo flessibilità	q
Flessibilità effettiva	Aq
Offerta di pagamento	y
Continous_ranked_probability_score	CRPS
Flessibilità richiesta	T
Margine profitto aggregatore	δ
Valore di mercato flessibilità	V

La flessibilità viene fornita da ciascun utente all'Aggregatore mediante una "matrice di flessibilità" in cui viene specificata la disponibilità a variare (ridurre, ma anche aumentare), in diversi momenti della giornata, il proprio prelievo di potenza rispetto al profilo usuale previsto. Inoltre, l'utente fornisce anche un valore economico minimo che dovrà essere corrisposto da parte dell'Aggregatore per avere accesso alla flessibilità. La fornitura di tale flessibilità da parte degli utenti è corredata da un certo livello di incertezza, volta a simulare sia diversi livelli di affidabilità di tali utenti che il potenziale incorrere di altri eventi non altrimenti prevedibili. Il sistema di ranking modellato si basa su una formula: il CRPS (Continuous Ranked Probability Score) è un'unità di misura di performance per previsioni di variabili continue, basata su metodi probabilistici. In questo caso esso va ad attribuire un punteggio da 0 a 1 ad ogni utente, dove a 0 corrisponde un utente estremamente inaffidabile. Il punteggio viene calcolato sulla base dello storico dei dati del medesimo utente, in particolare i dati utilizzati sono i già menzionati flessibilità **F**, incertezza di base **SU** e contribuzione effettiva **Aq**. Per ogni iterazione sulla base delle tre variabili viene calcolato il CRPS relativo a quella particolare finestra temporale. il punteggio finale posseduto da un utente sarà la media dei punteggi nel suo storico. Sono state eseguite delle simulazioni su un periodo pari ad un mese di contrattazioni in un generico mercato della flessibilità. I risultati sono riportati su dei grafici a dispersione in cui è possibile vedere la relazione tra numero di chiamate agli utenti e il loro CRPS. Lo stesso grafico è riportato per tre diversi livelli di incidenza

dell'incertezza di base SU, i tre livelli di affidabilità di base sono stati moltiplicati per 1,5 e 2 oltre allo scenario di base. Dalle figure sottostanti si può evincere come la dispersione sia minore nella parte in alto a destra dei grafici. Pertanto, il meccanismo modellato di classificazione e chiamata degli utenti tende effettivamente a premiare con un maggior numero di chiamate chi si mostra più affidabile, cioè utenti a più alto CRPS.

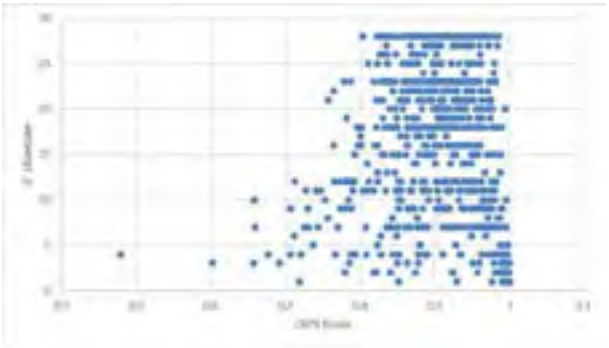


Figura 65-Dispersione delle chiamate a seconda del CRPS, con livello di affidabilità degli utenti alto (SU bassa)

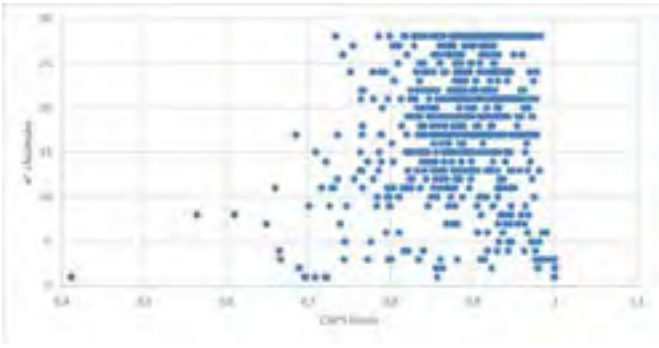


Figura 66-Dispersione delle chiamate a seconda del CRPS, con livello di affidabilità degli utenti basso (SU alta)

7.4 Sviluppo di modalità di interazione con l'utente residenziale per l'offerta di flessibilità in ambito residenziale e sviluppo di ulteriori servizi

In questa annualità è stata anche progettata una web app di interazione con l'utente per raccogliere l'offerta di flessibilità di una rete di smart home. Questa attività, come verrà spiegato nel paragrafo successivo, è importante per sviluppare strategie di baselining, in particolare per la variante "**Integrazione dei feedback dell'utente finale**" del "**day matching method**". Tramite la web-app, la flessibilità ottenuta sia per load shifting che per modifica dei set-point è fornita all'Aggregatore tramite un'apposita interfaccia dell'Aggregatore; i dati raccolti dalla webapp serviranno a popolare la matrice di flessibilità. L'utente si troverà quindi a definire la sua **flessibilità delle utenze elettriche** per ogni appliance, indicando una o più fasce orarie di utilizzo settimanali che verranno registrate su DB tramite la seguente interfaccia. Verranno poi forniti staticamente dei valori di consumo medio per ciascuna ora di ogni appliance. Sulla base di quanto inserito dall'utente e del calcolo appena effettuato, comparirà quindi un grafico di feedback simile a quello in figura 67, dove alla base delle sua matrice di utilizzo settimanale, è stata sovrapposto una curva di premialità/penalità definita dal gestore di rete.

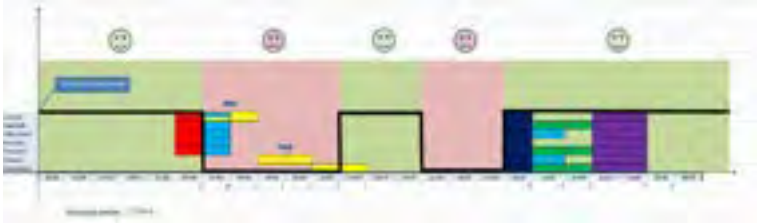


Figura 67- Esempio curva premialità/penalità su matrice utilizzo

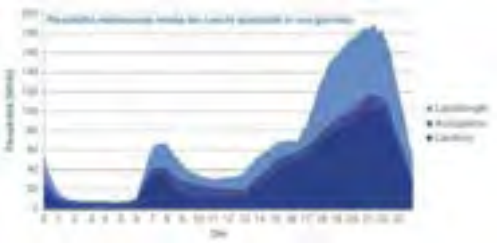


Figura 68- Curva previsionale di carico

7.5 Sviluppo di algoritmi di previsione della curva day-ahead

In questa annualità è stato anche affrontato un primo tentativo di stima di un consumo day-ahead degli utenti finali. Tale profilo è di fondamentale importanza per stabilire la base sulla quale calcolare la flessibilità. Infatti, nella strategia implementata in tutto il lavoro, la flessibilità è vista come la possibilità da parte dell'utente finale a variare il proprio profilo di consumo rispetto a quello ordinario.
E' importante distinguere il problema del baselining da quello del forecasting. Quando si fa forecasting su una serie temporale l'obiettivo è quello di prevedere nel modo più accurato possibile i valori futuri di quella

stessa serie, andando a minimizzare l'errore medio commesso sulla previsione. Il forecasting va a beneficio di tutte quelle entità (come DSO e TSO) che partecipano attivamente al bilanciamento del sistema facendo leva sui sistemi di generazione ed i mercati dell'energia. Dall'altro lato, definire una baseline per un programma di DR serve ad incentivare degli utenti finali, e va quindi valutata tenendo in considerazione questo aspetto. L'obiettivo non è in senso assoluto minimizzare l'errore nelle previsioni, per quanto una buona accuratezza è un requisito necessario, ma diventa cruciale fornire dei target che siano effettivamente realizzabili e stimolanti per utenti finali.

7.5.1 Descrizione del day matching method e delle varianti applicate

Semplicità e robustezza della metodologia sono i punti di forza dei metodi di day matching. Le implementazioni di metodologie di day matching si differenziano tra loro in base a come vengono definiti quattro aspetti: la finestra temporale di baselining, la regola di esclusione, il metodo di calcolo ed il metodo di aggiustamento.
La ***finestra temporale di baselining*** è definita come il numero di giorni presi in considerazione per calcolare la baseline. Una finestra temporale di Z giorni, prende in considerazione i dati di consumo degli ultimi Z giorni idonei a partire dal giorno precedente all'evento di demand response per cui si sta calcolando la baseline. l'idoneità di un giorno viene stabilita in base alla regola di esclusione. La scelta di Z va quindi ponderata in base a queste considerazioni ed in base al tipo di applicazione di DR. Un valore tipico di Z, usato in diversi mercati internazionali, è di 10 giorni.
La ***regola di esclusione*** definisce i criteri con cui scegliere i giorni da utilizzare per il calcolo della baseline. I criteri vanno definiti di volta in volta in base al tipo di applicazione ed ai livelli di accuratezza ed integrità richiesti, tuttavia la regola generale è la seguente: i giorni scelti per il calcolo della baseline devono essere "simili" al giorno per cui si sta calcolando la baseline. Una tipica regola di esclusione, applicata per la DR di attività commerciali in diversi mercati internazionali, prevede l'esclusione di giornate festive e giornate in cui sono avvenuti eventi di DR.
Il ***Metodo di calcolo*** definisce quanti giorni "simili" selezionati tramite la regola di esclusione usare, con quale criterio sceglierli e come stimare la baseline a partire dal loro profilo di consumo. Il modo più semplice di stimare la baseline, una volta accumulati K giorni tramite la regola di esclusione, sarebbe di applicare una media aritmetica usando i profili di consumo (discretizzati in modo 15 minutale o orario) di tutti i K giorni.
Il ***metodo di aggiustamento*** serve a correggere il profilo di baseline basandosi sulle letture dei consumi degli utenti nel giorno corrispondente ad un evento di demand response.
Il "day matching method" è stato anche arricchito di due varianti disponibili in letteratura: la **clusterizzazione** e la **Integrazione dei feedback dell'utente finale**. La clusterizzazione e' adatta nel caso in cui i profili di consumo evidenziassero una netta differenziazione tra giorni diversi della settimana, sintomatico di un utente finale abitudinario che segue uno scheduling settimanale preciso. Al contrario, la clusterizzazione non e' adatta se i profili di consumo mostrano una bassa variabilità tra un giorno e l'altro della settimana. Va inoltre considerato che la clusterizzazione non influisce soltanto sull'accuratezza della metodologia, ma anche da un punto di vista della semplicità, andando a complicare notevolmente il meccanismo della exclusion rule. L'integrazione dei feedback da parte dell'utente finale introduce un meccanismo di feedback da parte dell'utente finale, che può così contribuire a migliorare l'accuratezza della stima day ahead.

7.5.2 Caso studio Enea

La metodologia di baseloading è stata poi applicata ad una smart-home ENEA i cui dati sono stati monitorati in tempo reale. Nelle figure sottostanti, i principali risultati della stima del profilo di baseload. In blu il consumo effettivo dell'utente finale misurato nel DR day. In arancione è riportato il profilo di baseline definitivo, ottenuto a valle dell'eventuale applicazione del metodo di aggiustamento. I DR 10,20 e 30% rappresentano le soglie di demand response che l'utente finale deve rispettare durante la fascia oraria di riferimento (17:20) per accedere all'incentivo. Si nota come la baseline calcolata sembri rappresentare meglio la giornata estiva, rispetto a quella invernale.

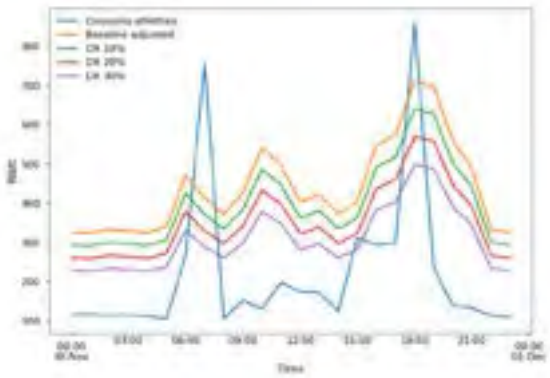


Figura 69 - stima del profilo di baseline e delle soglie di demand response per una giornata invernale

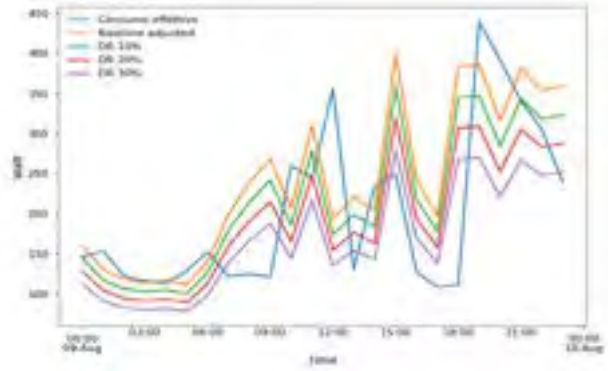


Figura 70 - stima del profilo di baseline e delle soglie di demand response per una giornata estiva

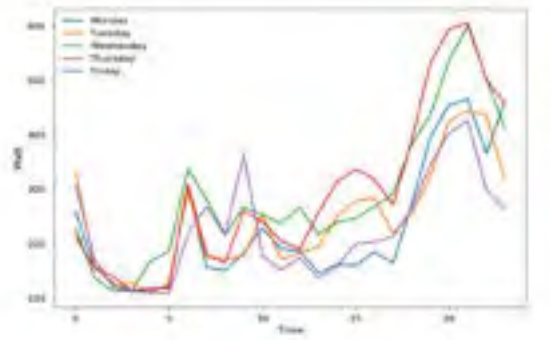


Figura 71 - Profili tipici per i vari giorni della settimana, stimati mediando i dati storici del 2017

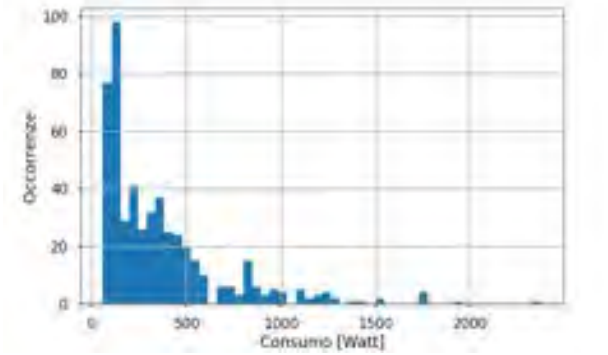


Figura 72 - Istogramma tratto dai dati di consumo storici dell'utente Enea 8, filtrati nella fascia oraria 17-20

8 Fattibilità economica di un Aggregatore

In collaborazione con Nomisma energia Srl è stata condotto uno studio sulla fattibilità economica di un Aggregatore che possa operare sui diversi mercati dell'energia e dei servizi per poter offrire flessibilità nelle fasi di prelievo di energia elettrica come descritto in dettaglio nel Report RdS/PAR2017/102.
L'obiettivo è stato quello di individuare i possibili modelli di business relativi alla figura dell'Aggregatore ed analizzarli dal punto di vista dei driver e delle barriere che caratterizzano ciascuno di essi. In particolare, ci si è focalizzati sulle potenzialità offerte dall'ottimizzare i consumi aggregati di una pluralità di piccoli consumatori, del residenziale e del terziario, in modo tale da sfruttare i segnali di prezzo dei diversi mercati energetici.
La funzione di aggregazione è svolta da un soggetto terzo, l'aggregatore, che ha il ruolo di interfaccia verso i clienti finali e verso il mercato. Lo scopo è valutare la fattibilità tecnico-economica di un aggregatore di distretto, analizzando tre possibili modelli di business: quello di una Utility, quello di una Energy Service Company, quello di una Energy Community.

8.1 Modelli di business

I tre modelli considerati differiscono tra di loro per molteplici aspetti, che vanno da quello organizzativo, di commercializzazione di servizi di trading e vendita fino a quello di sviluppo della piattaforma ICT e di ottimizzazione. In particolare, nell'analisi abbiamo considerato che:

- la Utility sia in grado internalizzare tutte le fasi di operatività di un aggregatore, dal trading alla commercializzazione dell'energia, dallo sviluppo della piattaforma ICT ad un'ottimizzazione di portafoglio sia lato generazione che lato vendita;
- la ESCo integri l'aggregazione all'interno dei propri servizi tipici di efficientamento energetico, fornendo sia un'ottimizzazione dei consumi (con conseguenti risparmi) che una redditività addizionale garantita dalla valorizzazione della flessibilità nei diversi mercati, internalizzando anche la fase di sviluppo;
- la Energy Community si configuri come un soggetto in grado di sfruttare il proprio portafoglio di impianti produttivi (tipicamente a fonti rinnovabili) per ottimizzare le fasi di diminuzione e aumento dei consumi, massimizzando le poche funzioni già presenti nella struttura, ed esternalizzando la fase di sviluppo della piattaforma ICT e di ottimizzazione, e di trading laddove richiesto.

Per far questo, sono state condotte delle simulazioni volte a determinare i potenziali ricavi della partecipazione ai diversi mercati elettrici (MGP e MI) e dei servizi (MSD) da parte di un aggregatore. I set di dati utilizzati per le analisi sono differenziati su tre città italiane, ognuna delle quali corrisponde ad una diversa zona del mercato elettrico italiano: Brescia per la zona NORD, Roma per la zona CSUD e Bari per la zona SUD. Per ognuna delle tre città sono stati presi in considerazione i consumi di 10.000 utenze domestiche da 3 kW di capacità, 30 uffici da 50 kW e 10 scuole da 300 kW; in particolare i fabbisogni energetici per riscaldamento, raffrescamento, lavatrici e lavastoviglie. Per quanto riguarda i fabbisogni termici, cioè quelli di riscaldamento e raffrescamento, la flessibilità di ogni utenza è circoscritta ad una fascia oraria di 3 ore: 5 diversi gruppi di utenze domestiche con altrettante fasce nell'arco della giornata dalle 6 alle 21, 3 fasce dalle 9 alle 18 per gli uffici e un'unica fascia dalle 12 alle 15 per le scuole.

Per ognuna delle tre città in esame, sono state effettuate tre differenti simulazioni: nella prima analisi si è inclusa la flessibilità dei soli profili di riscaldamento e raffreddamento delle utenze domestiche; nella seconda si sono inclusi anche gli elettrodomestici (solo lavatrice e lavastoviglie) e la loro flessibilità; nella terza ed ultima simulazione si sono aggiunti anche gli uffici.

Le principali risultanze dell'analisi ci dicono che:

a. In termini di volumi di elettricità, tutte le città in analisi evidenziano valori simili in termini di disponibilità a scendere (riduzione dei consumi), che di necessità di risalire (aumento successivo dei consumi): 2,6 MWh di disponibilità a ridurre i consumi contro i 2 MWh di necessità di riacquisto (corrispondente a circa il 75% della disponibilità).

b. I ricavi differiscono in modo significativo in considerazione della zona in analisi; mentre per le città di Roma e Brescia questi si attestano su ordini di grandezza delle centinaia di migliaia di euro per l'aggregato di utenze (259.000 €/anno a Brescia e 320.000 €/anno a Roma), a Bari sono sensibilmente inferiore (circa 5.000 €/anno). Questo è dovuto alla diversità intrinseca del mercato MSD tra le diverse zone: se nella zona Nord registriamo i volumi maggiori, nella zona CSud e Sud osserviamo i prezzi più alti; tuttavia, i volumi scambiati su MSD nella zona Sud sono solo una minima parte rispetto a quelli della zona CSud (l'1%). La zona Sud. Infatti, non presenta un grande bisogno di risorse di flessibilità in virtù di un'abbondanza di impianti di generazione.

c. In tutte le simulazioni, i ricavi sono maggiori nei mesi invernali, per via di una maggiore flessibilità dei consumi per il riscaldamento sia delle utenze domestiche che di quelle del terziario.

d. I costi di risalita annuali, ovvero la necessità di riacquistare energia elettrica per compensare il minor consumo conferito come flessibilità al sistema, risultano più bassi: circa 120.000 €/anno nelle simulazioni per la città di Brescia e 105.000 €/anno per quelle della Roma, incidendo sui ricavi del MSD rispettivamente della metà e di 1/3. A Bari invece, i circa 100.000 €/anno di costi di risalita hanno un valore pari a circa 20 volte quello dei potenziali ricavi che sono, come già detto, molto bassi.

e. La riduzione dei consumi complessivi di energia porta ad un risparmio annuale tra i 110.000 e i 120.000 €/anno per tutte e tre le città in questione. Tuttavia, va specificato che, a seconda della tipologia di aggregatore considerato, la riduzione dei consumi potrebbe costituire un risparmio o un mancato introito (ad esempio nel caso in cui l'aggregatore sia una utility).

Una volta determinati i potenziali ricavi dalla partecipazione ai diversi mercati, sono stati costruiti dei business plan specifici per le tre tipologie di aggregatore oggetto di analisi. L'eterogeneità delle strutture aziendali e operative dei 3 modelli di business considerati si traduce in una differenziazione dei costi e dei potenziali ricavi che differiscono da caso a caso. Al fine di effettuare un confronto puntuale tra ogni modello di business è stato costruito uno scenario di riferimento comune (scenario base) e poi testati altri scenari al variare di singoli fattori: il numero delle utenze aggregate, che raddoppia nello scenario S1 e triplica nello

scenario S2; la fornitura di servizi di *smart home* addizionali nello scenario S3 e nello scenario S4 (che esclude l'utilizzo di capitale di debito rispetto a S3) per un ammontare annuo pari a 100 €/utenza.

Utility		Brescia	Roma	Bari
Scenario base				
TIR	%	Negativo	Negativo	Negativo
VAN 5%	€	-2.396.286	-1.519.320	-5.049.105
VAN 8%	€	-1.935.571	-1.244.744	-4.025.631
Pay Back	anni	No PB	NO PB	NO PB
DSCR	nr	-2,0	-0,9	-5,4
Sensitivity 1				
TIR	%	Negativo	8%	Negativo
VAN 5%	€	-1.343.111	157.463	-6.643.470
VAN 8%	€	-1.165.054	18.093	-5.341.015
Pay Back	anni	NO PB	12	NO PB
DSCR	nr	0,0	1,2	-3,9
Sensitivity 2				
TIR	%	Negativo	26%	Negativo
VAN 5%	€	-422.479	1.490.933	-8.239.425
VAN 8%	€	-491.958	1.013.659	-6.657.710
Pay Back	anni	NO PB	5	NO PB
DSCR	nr	0,8	1,8	-3,3
Sensitivity 3				
TIR	%	15%	18%	8%
VAN 5%	€	2.801.095	3.432.758	891.129
VAN 8%	€	1.569.999	2.067.590	65.357
Pay Back	anni	9	7	13
DSCR	nr	1,4	1,5	1,1
Sensitivity 4				
TIR	%	11%	12%	7%
VAN 5%	€	3.083.395	3.715.058	1.172.615
VAN 8%	€	1.277.918	1.775.508	-227.516
Pay Back	anni	8	8	10
DSCR	nr	nd	nd	nd

ESCO		Brescia	Roma	Bari
Scenario base				
TIR	%	Negativo	Negativo	Negativo
VAN 5%	€	-3.492.476	-2.639.399	-6.163.421
VAN 8%	€	-2.793.990	-2.121.680	-4.898.010
Pay Back	anni	NO PB	NO PB	NO PB
DSCR	nr	-3,4	-2,3	-6,9
Sensitivity 1				
TIR	%	Negativo	Negativo	Negativo
VAN 5%	€	-2.085.762	-437.564	-7.432.979
VAN 8%	€	-1.749.870	-449.106	-5.962.106
Pay Back	anni	NO PB	NO PB	NO PB
DSCR	nr	-0,5	0,7	-4,5
Sensitivity 2				
TIR	%	Negativo	21%	Negativo
VAN 5%	€	-759.300	1.160.673	-8.701.273
VAN 8%	€	-763.272	750.855	-7.025.143
Pay Back	anni	NO PB	6	NO PB
DSCR	nr	0,6	1,6	-3,6
Sensitivity 3				
TIR	%	12%	15%	5%
VAN 5%	€	2.012.508	2.628.190	94.083
VAN 8%	€	952.382	1.437.601	-556.871
Pay Back	anni	11	9	15
DSCR	nr	1,3	1,4	1,0
Sensitivity 4				
TIR	%	10%	11%	6%
VAN 5%	€	2.294.808	2.910.490	337.232
VAN 8%	€	660.301	1.145.519	-882.449
Pay Back	anni	9	8	11
DSCR	nr	nd	nd	nd

Energy Community		Brescia	Roma	Bari
Scenario base				
TIR	%	Negativo	Negativo	Negativo
VAN 5%	€	-2.027.347	-1.648.066	-3.636.661
VAN 8%	€	-1.641.071	-1.341.958	-2.908.622
Pay Back	anni	NO PB	NO PB	NO PB
DSCR	nr	-2,3	-1,7	-5,0
Sensitivity 1				
TIR	%	Negativo	9%	Negativo
VAN 5%	€	-427.147	160.597	-3.591.891
VAN 8%	€	-440.927	23.101	-2.938.369
Pay Back	anni	NO PB	12	NO PB
DSCR	nr	0,6	1,2	-2,1
Sensitivity 2				
TIR	%	16%	28%	Negativo
VAN 5%	€	748.557	1.569.760	-3.547.167
VAN 8%	€	426.617	1.074.244	-2.968.087
Pay Back	anni	8	4	NO PB
DSCR	nr	1,4	1,9	-1,1
Sensitivity 3				
TIR	%	16%	18%	12%
VAN 5%	€	3.086.463	3.360.197	1.924.991
VAN 8%	€	1.801.145	2.017.020	886.329
Pay Back	anni	8	7	11
DSCR	nr	1,5	1,5	1,3
Sensitivity 4				
TIR	%	12%	12%	9%
VAN 5%	€	3.361.650	3.635.384	2.200.178
VAN 8%	€	1.516.423	1.732.298	601.607
Pay Back	anni	8	8	9
DSCR	nr	nd	nd	nd

Figura 73- Sintesi dei principali risultati economici dello studio

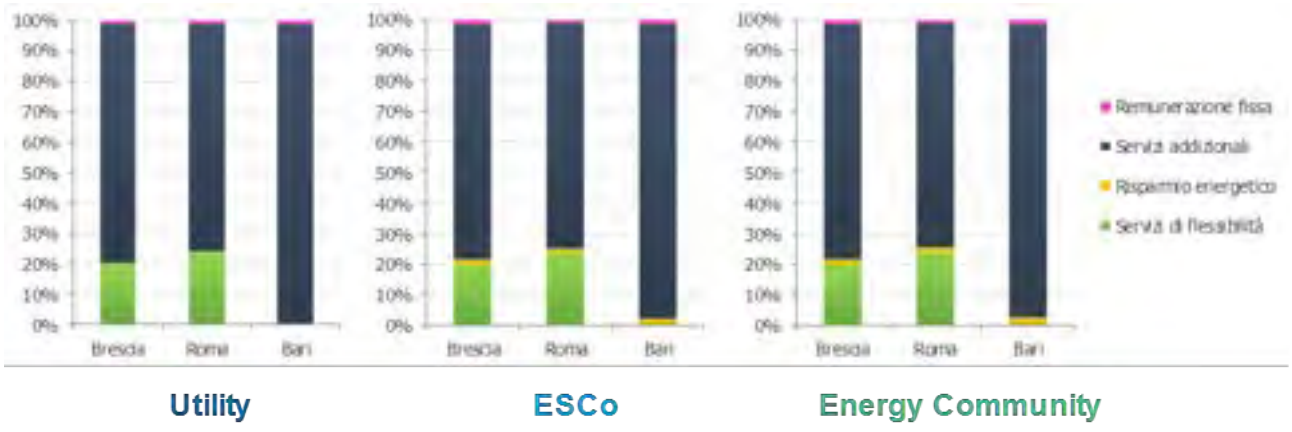


Figura 74-Scenario 3: struttura dei ricavi per modello di business

I risultati delle diverse simulazioni forniscono le seguenti evidenze:

- La dimensione minima del pool di utenze aggregate in grado di generare profitti per un aggregatore è pari a 20.080 utenze: al di sotto di tale dimensione, nessun business plan fornisce indicazioni positive in termini di redditività.
- La zona di Roma si conferma quella che offre prospettive di mercato più interessanti per un aggregatore: questo è principalmente connesso ai maggior ricavi che un operatore riesce ad estrarre dalla partecipazione a MSD in virtù di prezzi più elevati espressi nella zona CSud (3 volte superiori a quelli della zona Nord) nei mesi invernali, ovvero quando la flessibilità a disposizione dell'aggregatore è maggiore grazie ai carichi termici.

- Nella zona di Brescia, solo il modello Energy Community è attualmente in grado di generare ritorni dall'investimento in uno scenario di offerta limitata al solo servizio di flessibilità, grazie ai minori costi di risalita sostenuti dalla EC.
- I modelli EC e Utility sono gli unici che generano profitti in uno scenario con un numero di utenze pari a 20.080, ed esclusivamente nelle zone di Brescia e Roma; in nessun caso l'aggregatore riesce ad ottenere ricavi necessari a giustificare l'investimento nella zona di Bari solo vendendo servizi di flessibilità. La zona Sud si conferma, dunque, una zona poco interessante per lo sviluppo di servizi di DMS.
- Aggiungere servizi di *smart home*, seppur comporti un aggravio importante nei costi d'investimento, in virtù di un aumento del costo dei device da installare presso gli utenti finali (575 € contro i 50 € dello scenario base), permette di generare ricavi sufficienti a rendere profittevole l'investimento in tutti i modelli di business, in tutte le zone di mercato analizzate.
- A conferma di quanto ricavato negli scenari S1 e S2, il modello EC e il modello Utility sono i modelli di business che generano i profitti maggiori, con un ritorno dell'investimento (TIR) tra il 18% e il 19% nelle zone di Brescia e Roma, che scende al 12% e 5% nella zona di Bari.
- Il modello ESCo genera profitti minori in tutti gli scenari analizzati: i ricavi maggiori sono generati dalla EC nello scenario S3.
- La sostenibilità del business plan di un aggregatore nella zona di Bari è quasi interamente connessa ai ricavi derivanti dalla fornitura di servizi di *smart home*.
- La sostenibilità finanziaria dell'investimento è garantita quasi esclusivamente nello scenario in cui c'è integrazione tra servizi di flessibilità e servizi di *smart home*.
- I tempi di rientro dall'investimento per la EC variano da un minimo di 4 anni nella zona di Roma con un numero di utenze pari a 30.120, ad un massimo di 11 anni con un numero di utenze pari a 20.080. Negli scenari con integrazione di servizi addizionali, la EC ritorna dall'investimento in media in 8 anni;
- Per una Utility, i tempi di rientro vanno da un minimo di 5 anni nella zona di Roma con un numero di utenze pari a 30.120, ad un massimo di 11 anni con un numero di utenze pari a 20.080. Negli scenari con integrazione di servizi addizionali, la Utility ritorna dall'investimento in media in 9 anni;
- Per una ESCo, i tempi di rientro vanno da un minimo di 6 anni nella zona di Roma con un numero di utenze pari a 30.120, ad un massimo di 15 anni nello scenario con offerta di servizi addizionali nella zona di Bari.

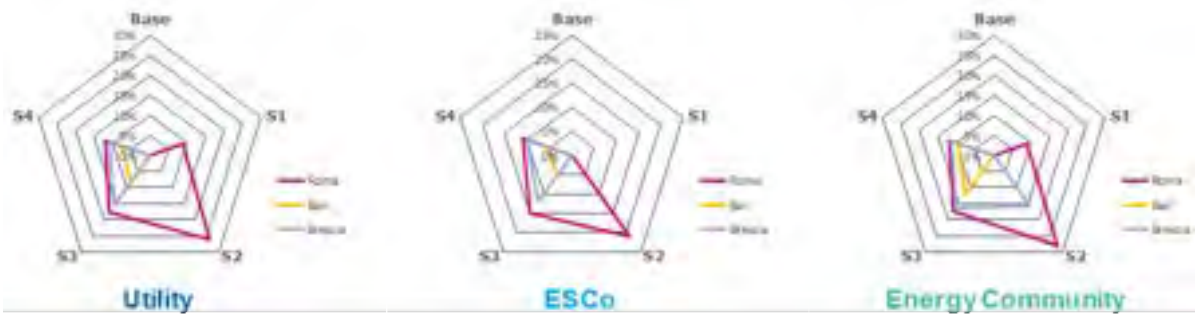


Figura 75-TIR: confronto tra modelli di business scenari e zone di mercato

8.2 Risultati

In definitiva, possiamo affermare che la sostenibilità economica dei business plan analizzati si poggia su tre fattori chiave:

- La zona geografica (di mercato) in cui l'aggregatore opera: Roma è l'area geografica che garantisce i profitti più elevati e quindi tempi di ritorno dall'investimento minori e un tasso interno di rendimento maggior. Viceversa, Bari, e la zona Sud, non presentano opportunità interessanti per un aggregatore.
- La necessità di scalare le soluzioni, sia hardware che software, per rendere il business plan economicamente sostenibile. Ad un aumento del numero di utenze, i ricavi derivanti dall'offrire servizi di flessibilità sui diversi mercati aumentano in modo significativo. In prospettiva, soprattutto per quei modelli di business che faticano maggiormente nel gestire un numero elevato di utenze (la Energy Community), l'aumento dei carichi individuali, derivante da una maggiore elettrificazione dei consumi, potrebbe sostituirsi alla necessità di scalare i volumi in termini di numerosità dei clienti.
- La possibilità di estendere la gamma di servizi offerti sfruttando la tecnologia installata presso il cliente finale e l'infrastruttura ICT sviluppata per estrarre una marginalità addizionale. Grazie ad un'offerta diversificata di servizi, valorizzati separatamente, il tasso di rendimento dell'investimento migliora sensibilmente. Aumentare il numero di servizi, e dunque i ricavi connessi con la singola utenza, permette ad un operatore di ottenere marginalità positive anche nell'area geografica di Bari.

Quest'ultimo aspetto, in particolare, testimonia un fenomeno che è già in atto e che sta coinvolgendo molti venditori di energia elettrica e gas, la cui vendita sarà sempre più un elemento integrato all'interno di un pacchetto di servizi da offrire al cliente finale.

Nonostante i risultati dello studio mettano in luce, già ora, le potenzialità di mercato connesse con l'emergere di una nuova figura, l'aggregatore di distretto, il quadro normativo continua a presentare una serie di ostacoli che ne limitano lo sviluppo. Il regolatore italiano si è mosso in tal senso e, attraverso i primi progetti pilota delle UVAC, ha aperto il campo a sviluppi interessanti. Ulteriori sforzi si rendono necessari, soprattutto nel riuscire a promuovere e rendere più conscio il consumatore finale dei vantaggi connessi con una gestione efficiente dei consumi in un'ottica di sistema; a questo riguardo, è cruciale che il regolatore prosegua nell'azione avviata volgendo l'attenzione verso una corretta valorizzazione della fornitura di energia elettrica, che sia sempre più in grado di riflettere i fenomeni di scarsità di offerta e utilizzo delle reti.

Criticità	Opportunità
Investimento iniziale	Finanziamenti in conto capitale / Tassazione agevolata
Protocolli di sicurezza e privacy	Strategia di data life cycle management Blockchain
Contratti/Tariffe	Real-time network pricing/Critical peak pricing

9 Conclusioni

Al termine di questo triennio di attività è stato implementato e testato sperimentalmente il sistema di Smart Home Network (SHN) realizzato in ENEA. I principali prodotti realizzati sono stati, l'Energy Box e la piattaforma di Aggregazione, sviluppati in collaborazione con l'azienda Apio S.r.l. (https://www.smarthome.enea.it/). L'EB utilizzato a livello di singola home, consente di raccogliere le informazioni provenienti dai dispositivi presenti nelle abitazioni e trasmetterli al livello superiore alla piattaforma di Aggregazione, dove tutti i dati raccolti vengono rielaborati ed aggregati per fornire una serie di feedback, sia all'utente finale che agli stakeholders coinvolti.

A partire dalla scorsa annualità le componenti del sistema sono stati testati in contesti reali e quest'anno è stato realizzato un dimostrativo sperimentale in un quartiere di Roma. Il dimostrativo ha coinvolto 14 famiglie che hanno aderito al progetto e hanno permesso l'istallazione nelle proprie abitazioni del kit di sensori selezionato per la sperimentazione e all'EB per la comunicazione delle singole home con la piattaforma di aggregazione. La partecipazione degli utenti è stata attiva, sono stati organizzati sopralluoghi, incontri in cui è stato illustrato il progetto, si è quindi proceduto all'installazione presso le abitazioni e il monitoraggio e analisi dei dati acquisiti.

La disponibilità di un database, proveniente dalla sperimentazione in corso, ha consentito di effettuare la caratterizzazione energetica del singolo appartamento, il test dei modelli di disaggregazione basati sul machine learning e degli algoritmi di previsione della curva day-ahead sviluppata con i metodi di day matching. Inoltre, il monitoraggio dei parametri di confort indoor ed i consumi elettrici dei condizionatori sono stati analizzati per individuare delle strategie di gestione e diagnostica della richiesta di energia per il condizionamento ambientale e della qualità termo-igrometrica di edifici pilota. Infine è stato condotto un confronto tra le abitazioni per individuare idonei KPI al fine di fornire dei feedback, efficaci e utili, agli utenti finali.

A tal fine sono state sviluppate due apposite dashboard con differenti funzionalità: una destinata all'Aggregatore l'altra agli utenti finali. In particolare per quest'ultima si è puntato ad offrire, in modo intuitivo, informazioni che consentano di incrementare la consapevolezza energetica dell'utente finale grazie al monitoraggio continuo dei propri consumi ed al confronto competitivo con gli altri partecipanti alla sperimentazione così da incentivare un uso più efficiente e responsabile dell'energia.

Inoltre, per indirizzare correttamente le scelte dell'Aggregatore e dell'utente finale, è stato predisposto uno schema di procedura per la qualificazione e per la validazione dei consumi elettrici e termici, che potrà essere utilizzata per una valutazione condivisa del risparmio energetico ed economico conseguente all'installazione di uno smart home, di altre eventuali installazioni o di altri eventuali interventi effettuati. Sarebbe comunque auspicabile prolungare il periodo di sperimentazione per apprezzare e quantificare gli effetti e risultati raggiunti.

Gli scenari di Demand Response relativi ad un distretto misto con utenze sia residenziali che terziarie è stato simulato introducendo nuove funzionalità al simulatore realizzato nelle scorse annualità (modellazione della flessibilità dei carichi termostaticamente controllabili nel settore terziario e scheduling dei carichi nel simulatore elettrico). Inoltre è stata definita un possibile strategia di ranking dei consumatori finali da parte dell'Aggregatore basata sulla affidabilità degli utenti finali.

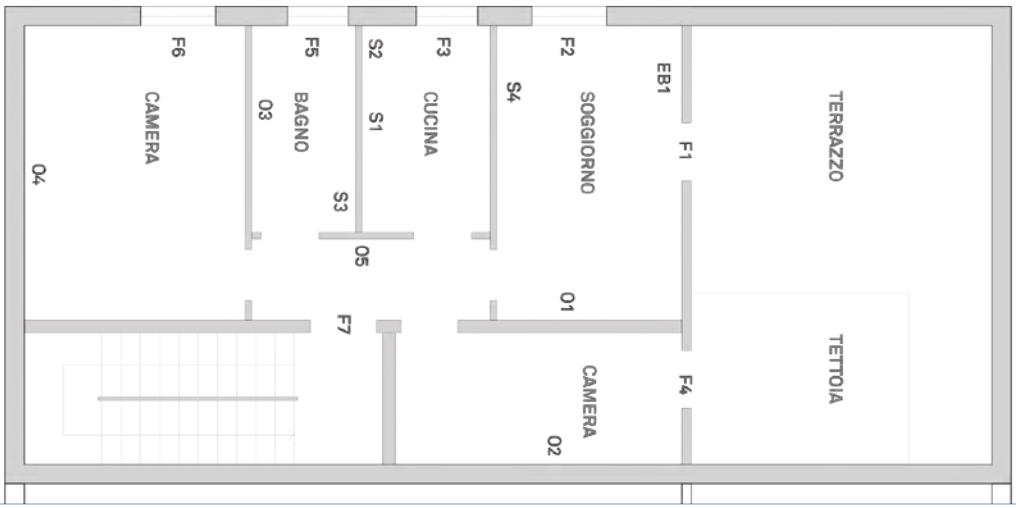
Queste simulazioni sono state alla base dell'analisi della fattibilità economica di un potenziale Aggregatore, da cui è emerso diversità di potenziali profitti tra le diverse zone di mercato (il centro Italia risulta il più redditizio), la necessità di scalare le soluzioni, sia hardware che software, per rendere il business plan economicamente sostenibile (almeno 20.000 utenti). In generale risulta evidente che estendere la gamma di servizi offerti sfruttando la tecnologia installata presso il cliente finale e l'infrastruttura ICT può assicurare

una marginalità addizionale, in questo caso vengono assicurate marginalità positive in tutte le aree geografiche. Nonostante siano emerse le potenzialità di mercato connesse con l'emergere di una nuova figura, l'aggregatore di distretto, il quadro normativo continua a presentare una serie di ostacoli che ne limitano lo sviluppo così come la scarsa diffusione del vettore elettrico in Italia.

10 Allegato 1

ENERGY BOX C1

Planimetria posizione sensori installati



Verifica funzionamento sensori EB C2 dati trimestre (Maggio – Luglio 2018)

	Nome	ID Object	Database ID	Tipologia sensore	% dati mancanti
	Energy-Meter	9042	Home	Energy Meter	30%
S1	Lavastoviglie (Plug 1)	9022	FGWPE	Smart Plug	27%
S2	Frigo (Plug 2)	9034	FGWPE	Smart Plug	27%
S3	Lavatrice (Plug 3)	9035	FGWPE	Smart Plug	26%
S4	TV (Plug 4)	9036	FGWPE	Smart Plug	1%
F1	Soggiorno (window 1)	9023	FGK101	Door / Window Sensor	80%
F2	Soggiorno (window 2)	9027	FGK101	Door / Window Sensor	27%
F3	Cucina (window 3)	9028	FGK101	Door / Window Sensor	54%
F4	Letto 2 (window 4)	9029	FGK101	Door / Window Sensor	59%
F5	Bagno (window 5)	9030	FGK101	Door / Window Sensor	97%
F6	Letto (window 6)	9031	FGK101	Door / Window Sensor	29%
F7	Porta Ingresso (door 7)	9032	FGK101	Door / Window Sensor	100%
O1	Soggiorno (Motion 1)	9015	FGMS001	Motion Sensor	75%
O2	Letto 2 (Motion 2)	9016	FGMS001	Motion Sensor	100%
O3	Bagno (Motion 3)	9017	FGMS001	Motion Sensor	100%
O4	Letto (Motion 4)	9018	FGMS001	Motion Sensor	82%
O5	Disimpegno (Motion 5)	9019	FGMS001	Motion Sensor	82%
	On/Off Switch	9043	ZMNHADx	Micro Switch	-
	On/Off Switch	9044	ZMNHADx	Micro Switch	-

Profilo Utente

Consumo medio settimanale energia cumulata Luglio

Potenza media oraria impiegata nei week-end e nei giorni feriali Luglio

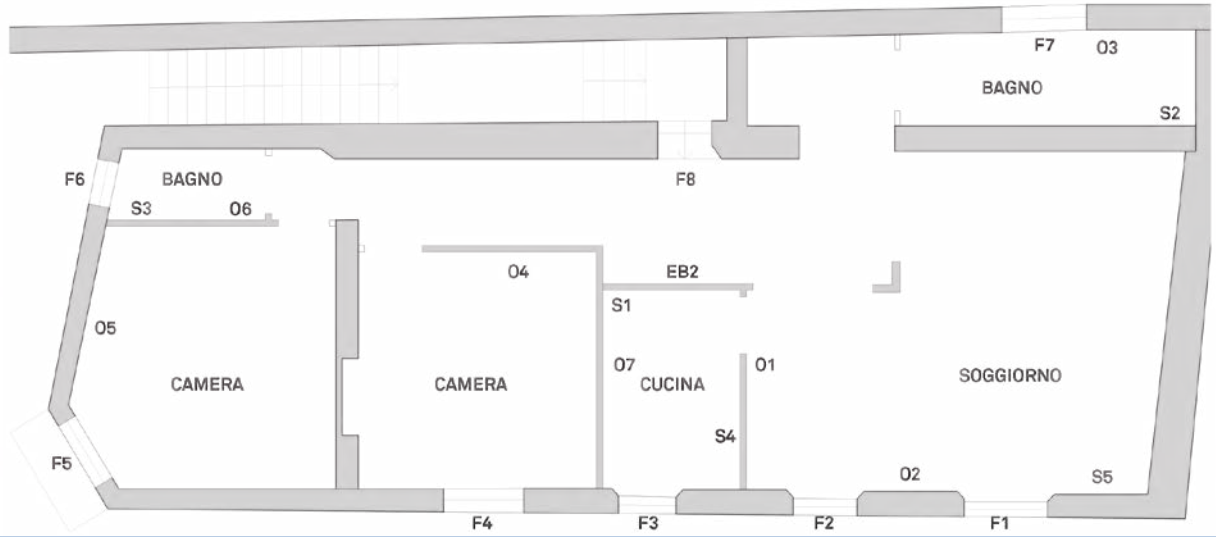
Lavatrice: probabilità di stato “on” durante la giornata: indica l’utilizzo nelle varie ore del giorno

Lavastoviglie: probabilità di stato “on” durante la giornata: indica l’utilizzo nelle varie ore del giorno

Frigorifero / frigocongelatore: probabilità di potenza alta (compressore“on”) durante la giornata

ENERGY BOX C2

Planimetria posizione sensori installati

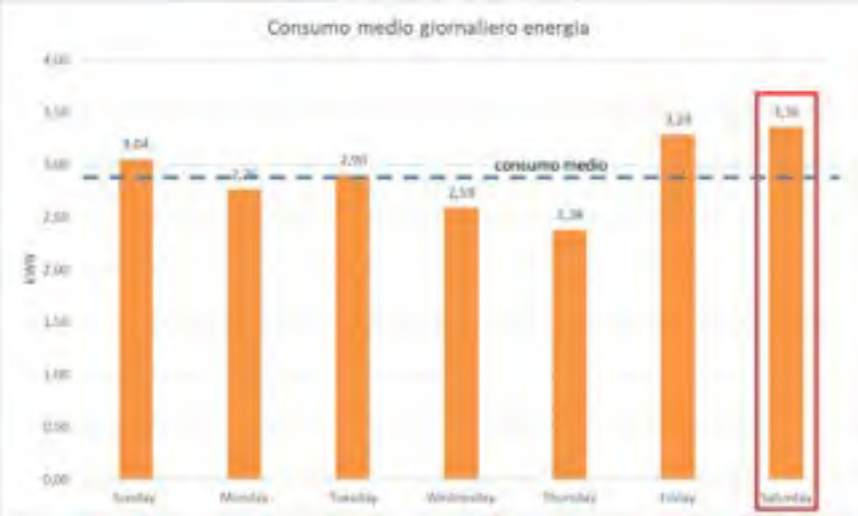


Verifica funzionamento sensori EB C2 dati trimestre (Maggio –Luglio 2018)

	Nome	ID Object	Database ID	Tipologia sensore	% dati mancanti
	Energy meter	9015	Home	General meter	1%
F1	Soggiorno (window 1)	9016	FGK101	Door / Window Sensor	77%
F2	Soggiorno (window 2)	9017	FGK101	Door / Window Sensor	77%
F3	Cucina (window 3)	9018	FGK101	Door / Window Sensor	34%
F4	Letto 2 (window 4)	9019	FGK101	Door / Window Sensor	77%
F5	Letto (window 5)	9020	FGK101	Door / Window Sensor	77%
F6	Bagno 2 (window 6)	9021	FGK101	Door / Window Sensor	25%
F7	Bagno (window 7)	9022	FGK101	Door / Window Sensor	52%
F8	Porta ingresso (door 8)	9023	FGK101	Door / Window Sensor	77%
O1	Soggiorno (Motion 1)	9024	FGMS001	Motion Sensor	32%
O2	Soggiorno (Motion 2	9025	FGMS001	Motion Sensor	32%
O3	Bagno (Motion 3)	9026	FGMS001	Motion Sensor	34%
O4	Letto 2 (Motion 4)	9027	FGMS001	Motion Sensor	33%
O5	Letto (Motion 5)	9028	FGMS001	Motion Sensor	18%
O6	Bagno 2 (Motion 6)	9029	FGMS001	Motion Sensor	-
O7	Cucina (Motion 7)	9043	FGMS001	Motion Sensor	23%
S1	Frigo (Plug 1)	9030	FGWPE	Smart Plug	27%
S2	Lavatrice (Plug 2)	9031	FGWPE	Smart Plug	25%
S3	Temoventilatore (Plug 3)	9032	FGWPE	Smart Plug	-
S4	Bimby (Plug 4)	9033	FGWPE	Smart Plug	31%
S5	Lume (Plug 5)	9034	FGWPE	Smart Plug	23%

Profilo Utente

Consumo medio settimanale energia cumulata Luglio



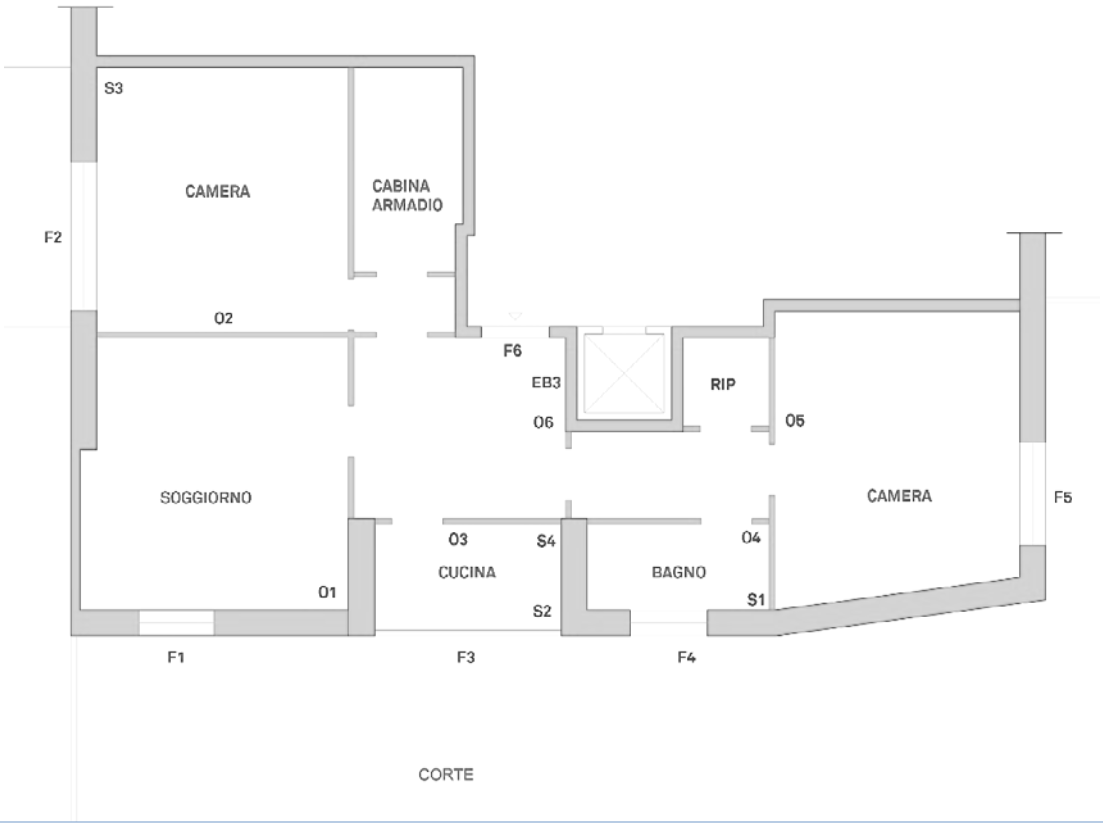
Potenza media oraria impiegata nei week-end e nei giorni feriali Luglio

Lavatrice: probabilità di stato "on" durante la giornata: indica l'utilizzo nelle varie ore del giorno

Frigorifero / frigocongelatore: probabilità di potenza alta (compressore“on”) durante la giornata

ENERGY BOX C3

Planimetria posizione sensori installati



Verifica funzionamento sensori EB C3 dati trimestre (Maggio –Luglio 2018)

Nome		ID Object	Database ID	Tipologia sensore	% dati mancanti
	Energy-Meter	9020	Home	Energy Meter	3%
S1	Lavatrice (Plug 1)	9016	FGWPE	Smart Plug	27%
S2	Frigo (Plug 2)	9032	FGWPE	Smart Plug	27%
S3	Condizionatore (Plug 3)	9033	FGWPE	Smart Plug	27%
S4	Microonde (Plug 4)	9034	FGWPE	Smart Plug	27%
O1	Soggiorno (Motion 1)	9022	FGMS001	Motion Sensor	-
O2	Letto (Motion 2)	9035	FGMS001	Motion Sensor	-
O3	Cucina (Motion 3)	9036	FGMS001	Motion Sensor	-
O4	Bagno (Motion 4)	9037	FGMS001	Motion Sensor	-
O5	Letto 2 (Motion 5)	9038	FGMS001	Motion Sensor	-
O6	Disimpegno (Motion 6)	9039	FGMS001	Motion Sensor	-
F1	Soggiorno (window 1)	9023	FGK101	Door / Window Sensor	27%
F2	Letto (window 2)	9024	FGK101	Door / Window Sensor	27%
F3	Cucina (window 3)	9025	FGK101	Door / Window Sensor	27%
F4	Bagno (window 4)	9026	FGK101	Door / Window Sensor	27%

F5	Letto 2 (window 5)	9027	FGK101	Door / Window Sensor	27%
F6	Porta Ingresso (door 6)	9028	FGK101	Door / Window Sensor	27%

Profilo Utente

Consumo medio settimanale energia cumulata Luglio

Potenza media oraria impiegata nei week-end e nei giorni feriali Luglio

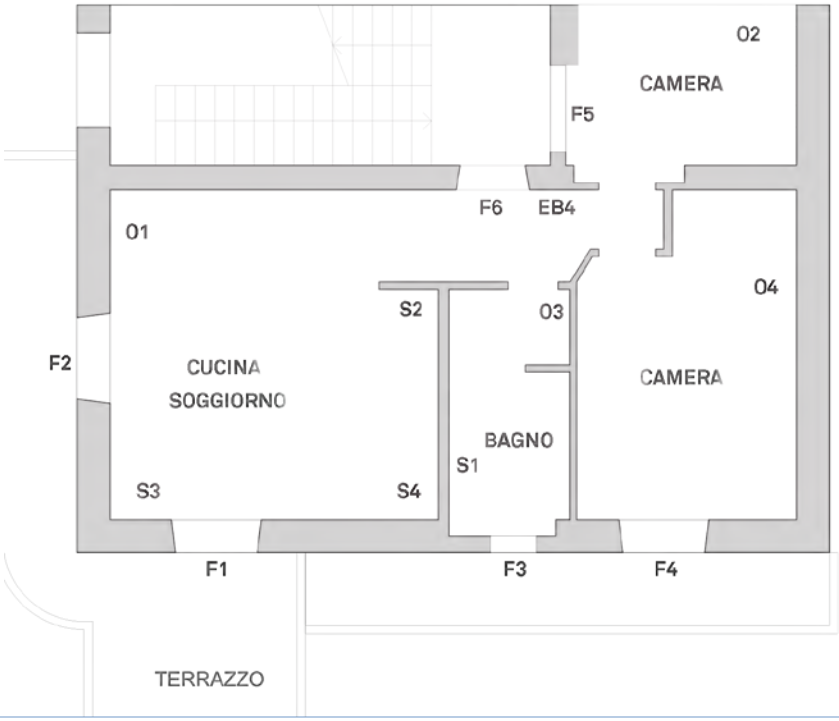
Lavatrice: probabilità di stato “on” durante la giornata: indica l’utilizzo nelle varie ore del giorno

Frigorifero / frigocongelatore: probabilità di potenza alta (compressore“on”) durante la giornata

Frigorifero o frigocongelatore - utilizzo nella giornata
probabilità potenza alta
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0:00
1:00
2:00
3:00
4:00
5:00
6:00
7:00
8:00
9:00
10:00
11:00
12:00
13:00
14:00
15:00
16:00
17:00
18:00
19:00
20:00
21:00
22:00
23:00
ora del giorno

ENERGY BOX C4

Planimetria posizione sensori installati

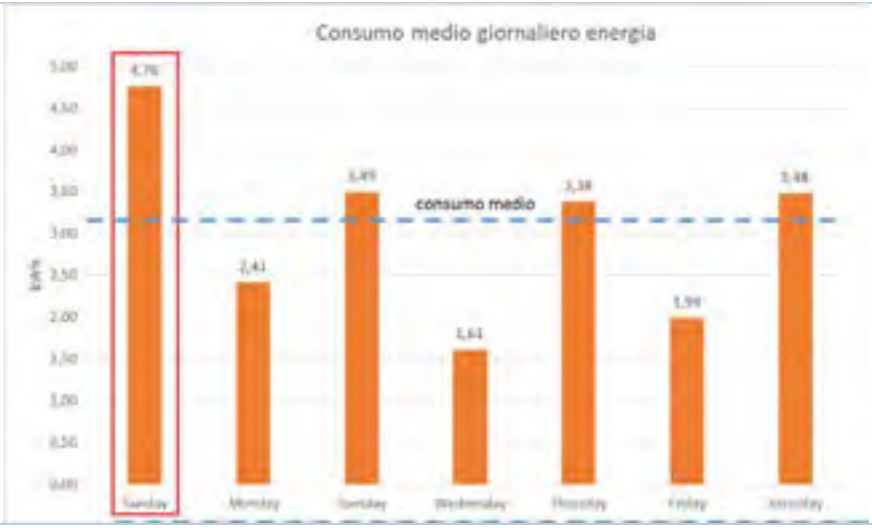


Verifica funzionamento sensori EB C4 dati trimestre (Maggio –Luglio 2018)

Nome		ID Object	Database ID	Tipologia sensore	% dati mancanti
	Energy-Meter	9033	Home	Energy Meter	32%
S1	Lavatrice	9025	FGWPE	Smart Plug	90%
S2	Aspirapolvere	9026	FGWPE	Smart Plug	100%
S3	TV	9027	FGWPE	Smart Plug	89%
S4	Bollitore	9028	FGWPE	Smart Plug	-
F1	Soggiorno (window 1)	9015	FGK101	Door / Window Sensor	97%
F2	Soggiorno (window 2)	9016	FGK101	Door / Window Sensor	2%
F3	Bagno	9017	FGK101	Door / Window Sensor	1%
F4	Letto	9018	FGK101	Door / Window Sensor	1%
F5	Letto 2	9019	FGK101	Door / Window Sensor	68%
F6	Fibaro door windowsensor 6	9020	FGK101	Door / Window Sensor	43%
O1	Soggiorno	9021	FGMS001	Motion Sensor	8%
O2	Bagno	9022	FGMS001	Motion Sensor	71%
O3	Bagno	9023	FGMS001	Motion Sensor	73%
O4	Letto	9024	FGMS001	Motion Sensor	71%
	On/Off Switch	9034	ZMNHADx	Micro Switch	-

Profilo Utente

Consumo medio settimanale energia cumulata Luglio



Potenza media oraria impiegata nei week-end e nei giorni feriali Luglio

ENERGY BOX C5

Planimetria posizione sensori installati

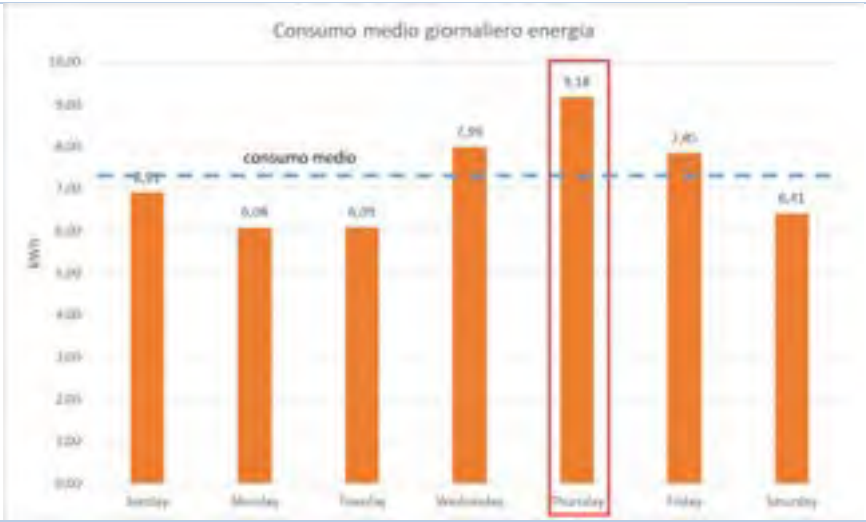
Verifica funzionamento sensori EB C4 dati trimestre (Maggio –Luglio 2018)

Nome		ID Object	Database ID	Tipologia sensore	% dati mancanti
	Generale	9041	Home	Energy Meter	44%
	[Condizionatori] EM	9040	Home	Energy Meter	50%
S1	Lavatrice	9015	FGK101	Smart Plug	51%
S2	Lavastoviglie	9016	FGK101	Smart Plug	51%
S3	Mac. Caffe'	9017	FGK101	Smart Plug	51%
S4	Ferro stiro	9018	FGK101	Smart Plug	52%
F1	Soggiorno (window 1)	9025	FGK101	Door / Window Sensor	-
F2	Soggiorno (window 2)	9026	FGK101	Door / Window Sensor	-
F3	Soggiorno (window 3)	9027	FGK101	Door / Window Sensor	-
F4	Camera	9028	FGK101	Door / Window Sensor	37%
F5	Camera	9029	FGK101	Door / Window Sensor	-
F6	Cucina	9030	FGK101	Door / Window Sensor	-
F7	Cucina	9031	FGK101	Door / Window Sensor	-
F8	Porta ingresso	9032	FGK101	Door / Window Sensor	-
O1	Soggiorno	9034	FGMS001	Motion Sensor	-
O2	Cucina	9035	FGMS001	Motion Sensor	-
O3	Letto	9036	FGMS001	Motion Sensor	-

O4	Letto 2	9037	FGMS001	Motion Sensor	91%
O5	Bagno 2	9038	FGMS001	Motion Sensor	61%
	On/Off Switch	9042	ZMNHADx	Micro Switch	4%

Profilo Utente

Consumo medio giornaliero energia Luglio



Potenza media oraria impiegata nei week-end e nei giorni feriali Luglio

Lavatrice: probabilità di stato "on" durante la giornata: indica l'utilizzo nelle varie ore del giorno

Lavastoviglie: probabilità di stato "on" durante la giornata: indica l'utilizzo nelle varie ore del giorno

Lavastoviglie - utilizzo nella giornata
probabilità stato "on"
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0:00
1:00
2:00
3:00
4:00
5:00
6:00
7:00
8:00
9:00
10:00
11:00
12:00
13:00
14:00
15:00
16:00
17:00
18:00
19:00
20:00
21:00
22:00
23:00
ora del giorno

ENERGY BOX C6

Planimetria posizione sensori installati

Verifica funzionamento sensori EB C6 dati trimestre (Maggio –Luglio 2018)

	Nome	ID Object	Database ID	Tipologia sensore	% dati mancanti
	Energy-Meter	9032	Home	Energy Meter	23%
S1	Microonde (Plug 1)	9034	FGWPE	Smart Plug	10%
S2	Lavatrice (Plug 2)	9035	FGWPE	Smart Plug	10%
S3	Frigorifero (Plug 3)	9036	FGWPE	Smart Plug	10%
S4	Lavastoviglie (Plug 4)	9037	FGWPE	Smart Plug	10%
O1	Soggiorno (Motion 1)	9027	FGMS001	Motion Sensor	84%
O2	Soggiorno (Motion 2)	9028	FGMS001	Motion Sensor	80%
O3	Camera (Motion 3)	9029	FGMS001	Motion Sensor	29%
O4	Letto (Motion 4)	9030	FGMS001	Motion Sensor	84%
O5	Bagno 2 (Motion 5)	9033	FGMS001	Motion Sensor	67%
O6	Bagno (Motion 6)	9040	FGMS001	Motion Sensor	10%
F1	Soggiorno (window 1)	9021	FGK101	Door / Window Sensor	29%
F2	Camera 1 (window 2)	9022	FGK101	Door / Window Sensor	79%
F3	Soggiorno (window 3)	9023	FGK101	Door / Window Sensor	84%
F4	Bagno (window 4)	9024	FGK101	Door / Window Sensor	76%
F5	Scale (window 5)	9025	FGK101	Door / Window Sensor	89%
F6	Camera 2 (window 6)	9026	FGK101	Door / Window Sensor	74%
F7	Bagno 2 (window 7)	9038	FGK101	Door / Window Sensor	26%

F8	Porta ingresso (door 8)	9039	FGK101	Door / Window Sensor	29%
	On/Off Switch	9041	ZMNHADx	Micro Switch	12%

Profilo Utente

Consumo medio giornaliero energia cumulata Luglio

Potenza media oraria impiegata nei week-end e nei giorni feriali Luglio

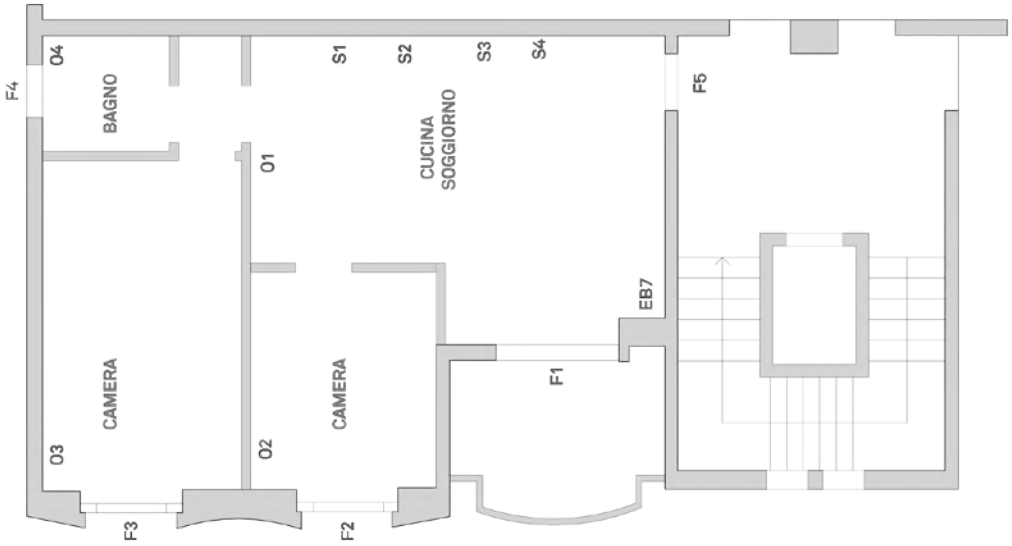
Lavatrice: probabilità di stato "on" durante la giornata: indica l'utilizzo nelle varie ore del giorno

Lavastoviglie: probabilità di stato "on" durante la giornata: indica l'utilizzo nelle varie ore del giorno

Frigorifero / frigocongelatore: probabilità di potenza alta (compressore“on”) durante la giornata

ENERGY BOX C7

Planimetria posizione sensori installati



Verifica funzionamento sensori EB C7 dati trimestre (Maggio –Luglio 2018)

	Nome	ID Object	Database ID	Tipologia sensore	% dati mancanti
	Energy-Meter	9033	Home	Energy Meter	10%
S1	Frigo	9019	FGWPE	Smart Plug	11%
S2	Lavatrice	9020	FGWPE	Smart Plug	9%
S3	Lavastoviglie	9021	FGWPE	Smart Plug	11%
S4	Microonde	9022	FGWPE	Smart Plug	11%
O1	Soggiorno	9023	FGMS001	Motion Sensor	99%
O2	Letto 2	9024	FGMS001	Motion Sensor	99%
O3	Letto	9025	FGMS001	Motion Sensor	99%
O4	Bagno	9026	FGMS001	Motion Sensor	99%
F1	Soggiorno	9028	FGK101	Door / Window Sensor	100%
F2	Letto 2	9029	FGK101	Door / Window Sensor	-
F3	Letto	9030	FGK101	Door / Window Sensor	24%
F4	Bagno	9031	FGK101	Door / Window Sensor	100%
F5	Porta Ingresso	9032	FGK101	Door / Window Sensor	24%
	On/Off Switch	9035	ZMNHADx	Micro Switch	-

Profilo Utente

Consumo medio giornaliero energia Luglio

Potenza media oraria impiegata nei week-end e nei giorni feriali Luglio

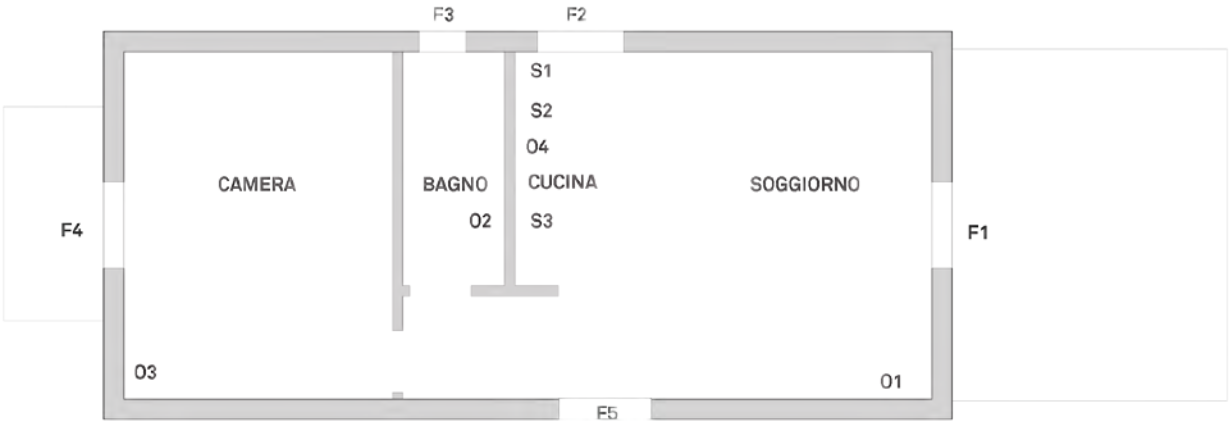
Lavatrice: probabilità di stato “on” durante la giornata: indica l’utilizzo nelle varie ore del giorno

Lavastoviglie: probabilità di stato “on” durante la giornata: indica l’utilizzo nelle varie ore del giorno

Frigorifero / frigocongelatore: probabilità di potenza alta (compressore“on”) durante la giornata

ENERGY BOX C8

Planimetria posizione sensori installati



Verifica funzionamento sensori EB C8 dati trimestre (Maggio –Luglio 2018)

Nome		ID Object	Database ID	Tipologia sensore	% dati mancanti
	Energy-Meter	9031	Home	Energy Meter	81%
S1	Lavatrice (Plug 1)	9027	FGWPE	Smart Plug	81%
S2	Tv (Plug 2)	9028	FGWPE	Smart Plug	81%
S3	Aspirapolvere (Plug 3)	9029	FGWPE	Smart Plug	91%
S4	Microonde	9030	FGWPE	Smart Plug	81%
O1	Soggiorno (Motion 1)	9015	FGMS001	Motion Sensor	100%
O2	Bagno (Motion 2)	9016	FGMS001	Motion Sensor	81%
O3	Camera (Motion 3)	9017	FGMS001	Motion Sensor	81%
O4	Soggiorno (Motion 4)	9018	FGMS001	Motion Sensor	81%
F1	Soggiorno (window 1)	9022	FGK101	Door / Window Sensor	81%
F2	Soggiorno (window 2)	9023	FGK101	Door / Window Sensor	81%
F3	Camera (window 3)	9024	FGK101	Door / Window Sensor	81%
F4	Letto (window 4)	9025	FGK101	Door / Window Sensor	81%
F5	Porta ingresso (door 5)	9026	FGK101	Door / Window Sensor	81%
	On/Off Switch	9033	ZMNHADx	Micro Switch	-

Profilo Utente

Consumo medio giornaliero energia Luglio

Potenza media oraria impiegata nei week-end e nei giorni feriali Luglio

ENERGY BOX C9

Planimetria posizione sensori installati

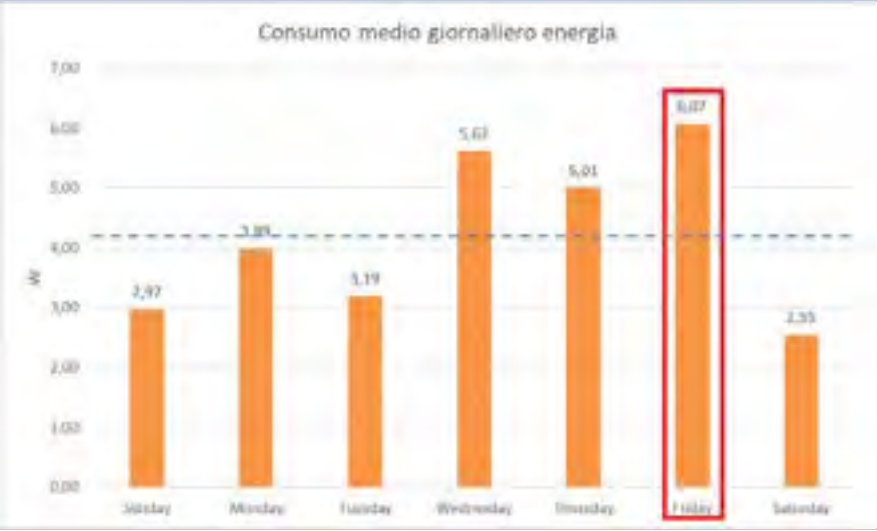
Verifica funzionamento sensori EB C9 dati trimestre (Maggio –Luglio 2018)

	Nome	ID Object	Database ID	Tipologia sensore	% dati mancanti
	Energy-Meter	9015	Home	Energy Meter	10%
S1	Lavatrice (Plug 1)	9023	FGWPE	Smart Plug	10%
S2	Frigo (Plug 2)	9024	FGWPE	Smart Plug	10%
S3	Lavastoviglie (Plug 3)	9025	FGWPE	Smart Plug	10%
S4	Termoventilatore (Plug 4)	9026	FGWPE	Smart Plug	10%
F1	Soggiorno (window 1)	9027	FGK101	Door / Window Sensor	69%
F2	Cucina (window 2)	9028	FGK101	Door / Window Sensor	73%
F3	Studio (window 3)	9029	FGK101	Door / Window Sensor	29%
F4	Camera Matrimoniale (window 4)	9030	FGK101	Door / Window Sensor	65%
F5	Camera Singola (window 5)	9031	FGK101	Door / Window Sensor	64%
F6	Bagno (window 6)	9032	FGK101	Door / Window Sensor	66%
F7	Soggiorno (window 7)	9033	FGK101	Door / Window Sensor	76%
F8	Bagno 2 (window 8)	9034	FGK101	Door / Window Sensor	63%
F9	Porta ingresso (door 9)	9035	FGK101	Door / Window Sensor	63%
O1	Soggiorno (Motion 1)	9036	FGMS001	Motion Sensor	29%
O2	Studio (Motion 2)	9037	FGMS001	Motion Sensor	29%
O3	Cucina (Motion 3)	9038	FGMS001	Motion Sensor	26%
O4	Camera Matrimoniale (Motion 4)	9039	FGMS001	Motion Sensor	29%

O5	Camera Singola (Motion 5)	9040	FGMS001	Motion Sensor	70%
O6	Bagno 2 (Motion 6)	9041	FGMS001	Motion Sensor	29%
O7	Bagno (Motion 7)	9042	FGMS001	Motion Sensor	29%

Profilo Utente

Consumo medio giornaliero energia Luglio



Potenza media oraria impiegata nei week-end e nei giorni feriali Luglio

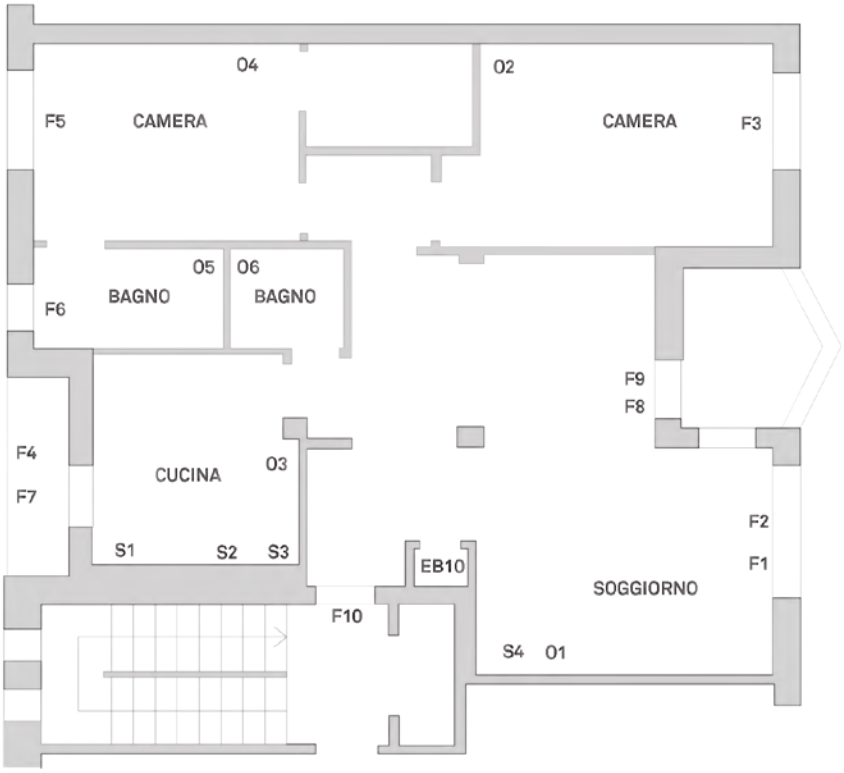
Lavatrice: probabilità di stato “on” durante la giornata: indica l’utilizzo nelle varie ore del giorno

Lavastoviglie: probabilità di stato “on” durante la giornata: indica l’utilizzo nelle varie ore del giorno

Frigorifero / frigocongelatore: probabilità di potenza alta (compressore“on”) durante la giornata

ENERGY BOX C10

Planimetria posizione sensori installati



Legenda sensori

Verifica funzionamento sensori EB C9 dati trimestre (Maggio – Luglio 2018)

Nome		ID Object	Database ID	Tipologia sensore	% dati mancanti
	Energy-Meter	9041	Home	Energy Meter	55%
S1	Lavatrice	9038	FGWPE	Smart Plug	-
S2	Frigo	9039	FGWPE	Smart Plug	-
S3	Lavastoviglie	9040	FGWPE	Smart Plug	-
S4	TV	9042	FGWPE	Smart Plug	-
O1	Soggiorno	9025	FGMS001	Motion Sensor	16%
O2	Letto 2	9026	FGMS001	Motion Sensor	-
O3	Cucina	9027	FGMS001	Motion Sensor	-
O4	Letto	9028	FGMS001	Motion Sensor	-
O5	Bagno	9029	FGMS001	Motion Sensor	-
O6	Bagno 2	9030	FGMS001	Motion Sensor	-
F1	Soggiorno (window 1)	9015	FGK101	Door / Window Sensor	42%
F2	Soggiorno (window 2)	9016	FGK101	Door / Window Sensor	63%
F3	Letto 2	9017	FGK101	Door / Window Sensor	62%
F4	Cucina	9018	FGK101	Door / Window Sensor	63%

F5	Letto	9019	FGK101	Door / Window Sensor	63%
F6	Bagno	9020	FGK101	Door / Window Sensor	60%
F7	Cucina (window 7)	9021	FGK101	Door / Window Sensor	62%
F8	Soggiorno (window 8)	9022	FGK101	Door / Window Sensor	20%
F9	Soggiorno (window 9)	9023	FGK101	Door / Window Sensor	63%
F10	Porta Ingresso	9024	FGK101	Door / Window Sensor	20%
	On/Off Switch	9043	ZMNHADx	Micro Switch	0%

Profilo Utente

Consumo medio giornaliero energia Luglio

Potenza media oraria impiegata nei week-end e nei giorni feriali Luglio

Lavatrice: probabilità di stato “on” durante la giornata: indica l’utilizzo nelle varie ore del giorno

Lavastoviglie: probabilità di stato “on” durante la giornata: indica l’utilizzo nelle varie ore del giorno

Frigorifero / frigocongelatore: probabilità di potenza alta (compressore“on”) durante la giornata

11 Riferimenti bibliografici

[1] ENEA, DTE-SEN-SCC- Report RdS/PAR2016/006 – "Smart Home Network: sviluppo dei servizi di aggregazione e progettazione di un dimostrativo pilota", autori: S. Fumagalli, S. Pizzuti, S. Romano.

[2] Libera Università Internazionale degli Studi Sociali Guido Carli (LUISS) - Report RdS/PAR2017/068_ "Modelli di co-governance urbana, sostenibilità e bancabilità di imprese civiche o di comunità: il partenariato pubblico-comunità e il partenariato pubblico-privato-comunità", autori C. Iaione, E. De Nictolis, A. Piperno, C. Malandrino, C. Prevete, B. Gillio, A. Antonelli, L. Tripodi.

[3] Università di Roma "La Sapienza", Centro interdipartimentale di ricerca Territorio Edilizia Restauro Ambiente (CITERA)– Report RdS/PAR2016/009 –"Sviluppo di una procedura semplificata per la valutazione del potenziale di aggregabilità di utenze residenziali", autori: L. de Santoli, F. Mancini, M. Cecconi.

[4] Mind Force Society – Report RdS/PAR2017/045– "Studio sull'accettabilità da parte degli utenti residenziali della strumentazione per la gestione energetica e l'assisted living" F. Orsucci; R. Chiarini, G. Paoloni; A. Mazzeo.

[5] ENEA, DTE-SEN-SCC – Report RdS/PAR2016/003 – "Gestione energetica smart home e assisted living: sviluppo di sistemi e soluzioni integrate" autori: P. Clerici Maestosi, L. Luccarini, S. Pizzuti, F. Romanello, S. Romano, A. Zanela

[6] ENEA, DTE-SEN-SCC- Report RdS/PAR2016/006 – "Smart Home Network: sviluppo dei servizi di aggregazione e progettazione di un dimostrativo pilota", autori: S. Fumagalli, S. Pizzuti, S. Romano.

[7] Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (J. Geppert & R.Stamminger), VITO (S. Claessens, A. Virag, H. Gerard & K. Vanthournout), Armines (M. Perret-Gentil & P. Rivière), Viegand Maagøe A/S (J. Viegand), Wuppertal Institut (T. Götz), "Ecodesign Preparatory study on Smart Appliances". Project management: Sarah Bogaert. Study accomplished under the authority of the European Commission DG Energy under framework contract ENER.C3.2012-418-lot 1 2014/TEM/R/ $

[8] Politecnico di Torino, Dipartimento Energia – Report RdS/PAR2016/008 – "Attività di monitoraggio energetico e ambientale, diagnostica ed energy engagement degli utenti degli use case", autori: A. Capozzoli, S. P. Corgnati, M. V. Di Nicoli, V. Fabi, M. S. Piscitelli, G. Spigliantini.

[9] UNI EN ISO 7730: 1997: Ambienti termici moderati. Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico, settembre 1997.

[10] UNI EN 15251: 2006: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, novembre 2006.

[11] UNI EN ISO 7730: 1997. Appendice D: Requisiti di benessere raccomandati, settembre 1997.

[12] UNI EN 15251: 2006. Annex A: Recommended criteria for the thermal environment, novembre 2006.

[13] The Weather Company, «Weather underground» settembre 2018. [Online]. Available: https://www.wunderground.com/.

[14] R. Yan, Z. Ma, Y. Zhao e G. Kokogiannakis, « A decision tree-based data-driven diagnostic strategy for Air Handling Unit,» Energy and Buildings, 2016.

[15] P. Tan, M. Steinbach e V. Kumar, in Introduction to Data Mining, Pearson, 2005.

[16] J. Han, M. Kamber and J. Pei, in Data mining:concepts and techniques, Morgan Kaufmann, 2011.

[17] N. Pham, Q. Le e T. Dang, «HOT aSAX: A Novel Adaptive Symbolic Representation for Time Series Discords Discovery,» in Intelligent Information and Database Systems. ACIIDS 2010, 2010.

[18] ICCE-Berlin (International Conference on Consumer Electronics-Berlin): "A Smart Home Services Demonstration: Monitoring, Control and Security Services Offered to the User", autori: M.Botticelli, L. Ciabattoni, F. Ferracuti, A. Monteriù, S. Romano. (Berlin 2 Settembre)

[19] G. Comodi, A.Bartolini, F. Carducci, M. Botticelli. Implementazione di un simulatore per demand response di uno smart district. Ricerca di Sistema Elettrico Report RdS/PAR2016/007

[20] Gabriele Comodi, Alessandro Fonti. Sviluppo di funzionalità per un simulatore di micro-distretto orientato alla gestione attiva della domanda. Ricerca di Sistema Elettrico Report RdS/PAR2015/158 (ENEA 2016)
[21] Gabriele Comodi, Alessandro Fonti. Sviluppo di un simulatore rete di edifici residenziali e implementazione preliminare di un modello di smart district. Ricerca di Sistema Elettrico Report RdS/PAR2015/020 (ENEA 2016)
[22] G Comodi, A Fonti, F Polonara, S Longhi. Miglioramento delle funzionalità di un simulatore di edificio e sua evoluzione verso la simulazione di reti di edifici in scenari di demand response. Ricerca di Sistema Elettrico, Report RdS/PAR2014/025 (ENEA, 2015)
[23] Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas e il sistema idrico, AEEG. https://www.autorita.energia.it/it/index.htm
[24] Istituto Nazionale di Statistica, ISTAT. http://www.istat.it/it/
[25] RSE, Pierpaolo Girardi, Andrea Temporelli *"Smartainability® da Expo Milano 2015 alle città reali: linee guida".* febbraio 2016.

12 Abbreviazioni ed acronimi

EB-Energy Box
POD - Point of Delivery
SHN - Smart Homes Network
KPI –Key Performance Indicator