



Ricerca di Sistema elettrico

Gestione integrata di uno Smart Village : risultati sperimentali in una rete di edifici e progettazione di aspetti prototipali orientati alla gestione di smart district

P. Clerici Maestosi, C. Meloni, F. Romanello, F. Pieroni,
S. Pizzuti, S. Romano, M. Chinnici, A. Quintiliani, G. Vicoli

GESTIONE INTEGRATA DI UNO SMART VILLAGE : RISULTATI SPERIMENTALI IN UNA RETE DI EDIFICI E
PROGETTAZIONE DI ASPETTI PROTOTIPALI ORIENTATI ALLA GESTIONE DI SMART DISTRICT

P. Clerici Maestosi , C. Meloni, F. Romanello, F. Pieroni, S. Pizzuti, S. Romano, M. Chinnici,
A. Quintiliani, G. Vicoli (ENEA)

Settembre 2015

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

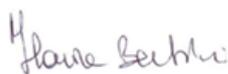
Piano Annuale di Realizzazione 2014

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Risparmio di energia elettrica nei settori: civile, industria e servizi

Obiettivo: Gestione di reti di edifici

Responsabile del Progetto: Ilaria Bertini, ENEA



Ringraziamenti : Marco Camponeschi, Stefano Di Paola

Indice

SOMMARIO.....	5
1 INTRODUZIONE.....	6
2 IMPLEMENTAZIONE ED APPLICAZIONE ALLA RETE DI EDIFICI DEI MODELLI DIAGNOSTICI, CONTROLLO ED OTTIMIZZAZIONE	8
2.1 IMPLEMENTAZIONE E SPERIMENTAZIONE ALGORITMI DI DIAGNOSTICA TERMICA (ENEA).....	8
2.1.1 <i>Malfunzionamento timer in centrale termica invernale</i>	8
2.1.2 <i>Scorretta gestione della distribuzione del calore</i>	17
2.1.3 <i>Scorretto funzionamento della valvola miscelatrice in centrale termica</i>	24
2.1.4 <i>Staratura del termostato di stanza in periodo estivo</i>	25
2.1.5 <i>Malfunzionamento del sistema di raffrescamento</i>	32
2.2 SPERIMENTAZIONE DELLA DIAGNOSTICA ELETTRICA AD UNA RETE DI EDIFICI (ENEA - POLITECNICO DI TORINO).....	37
2.3 ATTIVITÀ 1: CALIBRAZIONE ED IMPLEMENTAZIONE DEI MODELLI DI PREPROCESSING SULLA RETE DI EDIFICI “SMARTVILLAGE”	38
2.4 ESTENSIONE MODULO DI SUPERVISIONE BEMS (UNIVERSITÀ ROMA TRE)	49
2.4.1 <i>Implementazione di un modulo di diagnostica di basso livello</i>	49
2.4.2 <i>Implementazione di un modulo di previsioni meteo</i>	53
2.4.3 <i>Implementazione di un modulo di controllo delle utenze elettriche di una rete di edifici</i>	54
2.4.4 <i>Implementazione di un modulo di ottimizzazione di un edificio</i>	54
2.4.5 <i>Strategie di controllo predittivo distribuito per la regolazione della temperatura interna di edifici multizona</i>	54
2.4.6 <i>Modelli stocastici per la diagnostica termica</i>	56
2.5 VALIDAZIONE ED ANALISI DATI (POLITECNICO DI TORINO, ENEA)	57
2.5.1 <i>Validazione e analisi dei dati</i>	58
2.5.2 <i>Verifica sperimentale delle metodologie di controllo adattivo e analisi dei risultati</i>	61
2.6 METODOLOGIE PER L’ANALISI DEL COMPORTAMENTO DEGLI UTENTI E DI TREND DETECTION (POLITECNICO DI TORINO).....	73
2.7 INTEGRAZIONE DELLA OTTIMIZZAZIONE ENERGETICA TERMICA ED ELETTRICA (ENEA)	78
2.7.1 <i>Stagione invernale</i>	84
2.7.2 <i>Stagione estiva</i>	95
2.8 GESTIONE ED UPGRADE INFRASTRUTTURE DELLO SMART VILLAGE (ENEA).....	100
2.8.1 <i>Gestione ed upgrade della infrastruttura ICT</i>	100
2.8.2 <i>Upgrade Piattaforma di Visualizzazione</i>	100
2.8.3 <i>Implementazione delle facilities sperimentali</i>	103
2.8.4 <i>Upgrade piattaforma SEM</i>	104
3 SVILUPPO DI METODOLOGIE IN OTTICA ‘SMART DISTRICT’	110
3.1 METODOLOGIE BASATE SU MODELLI AD AGENTI FINALIZZATE AL DEMAND SIDE MANAGEMENT IN MICRO DISTRETTI (ENEA) ...	110
3.2 CALIBRAZIONE ED UPGRADE SIMULATORE DEI CONSUMI ENERGETICI(UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE)	112
3.2.1 <i>Evoluzione del simulatore di edificio: introduzione della funzionalità dynamic pricing</i>	112
3.2.2 <i>Evoluzione del simulatore di edificio: Integrazione di sistemi di generazione distribuita e storage</i>	114
3.2.3 <i>Calibrazione del simulatore della rete di edifici a partire dai dati sperimentali</i>	117
4 LE TECNOLOGIE LOCALI INTEGRATE PER ABILITARE LE “SMART BUILDING NETWORK” (ENEA)	122
4.1 CONCEPT PROGETTUALE DI UNA ‘SMART ROOM’	122
4.2 SPERIMENTAZIONE DI SENSORISTICA FINALIZZATA ALLA GESTIONE ATTIVA DELLA DOMANDA E SVILUPPO DI UN ‘ENERGY BOX’ ..	124
4.3 SVILUPPO DI UN’APPLICAZIONE PER IL RILEVAMENTO DELLA PRESENZA TRAMITE TECNOLOGIA MOBILE	125
4.3.1 <i>Requisiti e specifiche</i>	125
4.3.2 <i>Progettazione dell’applicazione</i>	126
4.3.3 <i>Tecnologie</i>	127
4.3.4 <i>Architettura del Sistema</i>	131
4.3.5 <i>Test e Funzionamento</i>	133
4.3.6 <i>SmartBuilding Admin</i>	135
4.3.7 <i>Distribuzione dell’applicazione</i>	136

4.3.8	<i>Ulteriori sviluppi</i>	136
5	PARTECIPAZIONE AI NETWORK DI RICERCA EUROPEI E DISSEMINAZIONE SCIENTIFICA (ENEA).....	137
6	CONCLUSIONI.....	138
7	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....:	141

Sommario

Nell'ambito del triennio sono state sviluppate metodologie per la gestione integrata di una rete di edifici terziari, uno "Smart Village" al fine di supportare il gestore energetico nell'attuare politiche di efficientamento e controllo della domanda basate su una modellistica avanzata che non penalizzi il comfort dell'utente.

Nella precedenti annualità sono state sviluppate metodologie per la diagnostica e controllo adattivo di un edificio reale, è stato sviluppato un simulatore semplificato di consumi termici/elettrici di una rete di edifici e sono state sviluppate metodologie di ottimizzazione multi-obiettivo le quali sono state sperimentate su dati simulati.

In questa annualità è stato implementato e validato su singolo edificio il modello diagnostico sulla linea termica sviluppato nella precedente annualità e successivamente è stato esteso alla rete di edifici insieme ai modelli diagnostici elettrici (luce e condizionamento) sviluppati precedentemente attraverso un'attenta attività di calibrazione dei modelli stessi. Per quanto riguarda le metodologie di ottimizzazione ed active demand dell'energia termica, sono state implementate dapprima sul simulatore e successivamente testate (il solo caso invernale) sull'edificio F40, preso come riferimento. I risultati di tali sperimentazioni sono stati analizzati e valutati per avere un riscontro reale dei benefici ottenuti. Inoltre si è provveduto ad implementare le funzionalità della piattaforma di supervisione tramite l'integrazione di un modulo di previsione dati meteo, fondamentale per poter implementare logiche di ottimizzazione predittiva, con un modulo di calcolo dei KPI (Key Performance Indicators) sviluppati nelle annualità precedenti e con un modulo di diagnostica a basso livello che mira ad individuare anomalie funzionali ed operative dei singoli sensori. In generale sono state implementate tutte le infrastrutture dello Smart Village: infrastruttura ICT, facilities sperimentali, piattaforma di visualizzazione e gestione per consentire di proseguire e ampliare le attività di ricerca e sviluppo avviate in questo triennio.

Inoltre sono state sviluppate metodologie in ottica smart district, introducendo nel simulatore già sviluppato modelli di 'dynamic pricing', per l'implementazione di strategie di demand/response e strategie di ottimizzazione multi-obiettivo che tengano in considerazione simultaneamente consumi-comfort-costo. Sono stati anche integrati moduli preliminari di produzione, come ad esempio moduli fotovoltaici, e storage in modo da avere una versione embrionale di 'smart district', tema che, con le sue problematiche di gestione ottimale, sarà sviluppato in annualità successive.

Infine è stata sviluppato un concept progettuale per l'integrazione della sensoristica in modo da distribuire a livello locale parte della intelligenza della rete e consentire una migliore gestione di uno smart district. Lo scopo è l'avvio di un percorso di abbattimento dei costi strumentali e di installazione, la facilitazione del colloquio con BEMS, il colloquio con il sistema di supervisione della rete ed infine con l'utente. A tal fine è stato progettato ed approvvigionato un kit strumentale preliminare sensori-attuatori-concentratore per una tipica stanza ufficio ed è stata sviluppata una app per smart phone per il rilevamento della presenza dell'utente nello Smart Village.

Il tema della gestione ottimale di reti edifici e la diffusione dei risultati è stato portato avanti attraverso la partecipazione di ENEA a Network Internazionali, convegni e workshop in cui sono state promosse le attività realizzate e in corso di svolgimento.

1 Introduzione

L'obiettivo di questa linea di attività riguarda lo sviluppo di una metodologia per la gestione integrata di una rete di edifici terziari da applicare in una rete aperta o in un distretto urbano o in una facility a controllo centralizzato quali complessi direzionali, universitari, ospedalieri, scolastici, sportivi, commerciali ("Smart Village") al fine di supportare il gestore energetico nell'attuare politiche di efficientamento e controllo della domanda basate su una modellistica avanzata che non penalizzi il comfort dell'utente.

In particolare l'idea di base è quella di dotare la rete di edifici di sensoristica, sistemi di attuazione e di trasmissione dati ed un sistema centrale dove viene sviluppata la modellazione della rete, la diagnostica su ogni edificio della rete, la comparazione tra le prestazioni dei vari edifici, la gestione ottimale e la gestione della domanda.

Gli obiettivi che si vogliono perseguire nel triennio riguardano quindi metodologie di modellazione dei consumi termici ed elettrici, metodologie di analisi dati avanzata (diagnostica) e controllo adattivo, metodologie per l'impostazione automatica di set point per la gestione ottimale degli edifici al fine di attuare strategie di gestione della domanda.

Nella precedente annualità del triennio le metodologie sviluppate sono state applicate alla diagnostica e controllo adattivo di un edificio reale, è stato sviluppato un simulatore semplificato di consumi termici/elettrici di una rete di edifici e sono state sviluppate metodologie di ottimizzazione multi-obiettivo le quali sono state sperimentate su dati simulati. Inoltre sono state svolte le attività di approvvigionamento di strumentazione propedeutica ad una reale gestione della domanda energetica.

In questa annualità conclusiva le attività sono state prevalentemente sperimentali e sono state applicate le metodologie sviluppate ai casi reali analizzando i benefici reali conseguiti. Oltre a ciò si prevede anche una parte di "studio di fattibilità" per lo sviluppo di metodologie che guardano ad un triennio successivo, ovvero la gestione integrata di domanda/produzione in un distretto (smart district).

Per conseguire tali fini sono realizzate le seguenti attività :

1. Implementazione ed applicazione alla rete di edifici dei modelli diagnostici, controllo ed ottimizzazione
2. Sviluppo di metodologie in ottica 'smart district'
3. Le tecnologie locali integrate per abilitare le "smart building network"
4. Partecipazione ai network di ricerca europei e disseminazione scientifica

Nella prima linea di attività è stato implementato e validato su singolo edificio il modello diagnostico sulla linea termica sviluppato nella precedente annualità e successivamente è stato esteso alla rete di edifici insieme ai modelli diagnostici elettrici (luce e condizionamento) sviluppati precedentemente attraverso un'attenta attività di calibrazione dei modelli stessi.

Le metodologie di ottimizzazione ed active demand sono state dapprima estese aggiungendo al calcolo dell'energia termica (attività svolta nell'annualità precedente) quello dell'energia elettrica dell'impianto di climatizzazione e quindi tali metodologie sono state applicate al caso del singolo edificio (F40) simulando sia lo scenario invernale che quello estivo considerando i consumi totali di energia primaria (in TEP).

I risultati sperimentali delle metodologie di 'energy on demand' sviluppate ed implementate nelle precedenti annualità sono stati attentamente valutati per avere un riscontro reale dei benefici che si ottengono in casi reali e ne è stata generata una reportistica opportuna. Oltre a questo è continuata la fondamentale attività di validazione e benchmarking dei dati. Nell'ambito della piattaforma 'smart town' è stato esteso il modulo di supervisione dei BEMS, sviluppato nell'annualità precedente, con un opportuno modulo di previsione dati meteo, fondamentale per poter implementare logiche di ottimizzazione predittiva, con un modulo di calcolo dei KPI (Key Performance Indicator) sviluppati nelle annualità precedenti e con un modulo di diagnostica a basso livello che mira ad individuare anomalie funzionali ed operative dei singoli sensori.

Infine, è stato migliorato lo strumento di supporto alla gestione energetica dello smart village e si provveduto anche alla necessaria manutenzione del sistema di griglia computazionale sulla quale poggia tutta l'architettura 'smart village'.

Nella seconda linea di attività è stato sviluppato ulteriormente il simulatore in Matlab/Simulink, realizzato nelle precedenti annualità, integrando consumi termici ed elettrici in grado di riprodurre gli effetti prestazionali di differenti strategie di controllo a livello di singolo edificio grazie all'impostazione automatica dei setpoint di temperatura (termostati di stanza e centrale termica) e dei valori di dimmerazione delle luci indoor. Tale simulatore ha la finalità di messa a punto di strategie di controllo e differisce sostanzialmente dai simulatori sviluppati ai fini di progettazione degli edifici. Sulla base di un processo di calibrazione su un database di learning (apprendimento) il simulatore è stato in grado di raggiungere una notevole precisione su scala giornaliera e pertanto si è deciso di utilizzarlo anche come predittore nei moduli di ottimizzazione. Inoltre, una calibrazione preliminare del simulatore della rete di edifici è stata affrontata.

Inoltre, è stato introdotto il concetto di 'dynamic pricing', ovvero simulando che il costo dell'energia possa variare nel corso della giornata in modo tale da andare verso l'implementazione in futuro di strategie di demand/response e strategie di ottimizzazione multi-obiettivo che tengano in considerazione simultaneamente consumi-comfort-costo. Il simulatore del cluster di edifici è stato calibrato sui smart building realizzati presso il CR Casaccia a partire dai dati sperimentali in modo tale da cercare di ottenere livelli di precisione simili a quelli del simulatore singolo edificio. In secondo luogo è stato integrato con gli algoritmi di ottimizzazione e controllo in modo che questi comunichino in modo analogo a quanto già fatto per il simulatore singolo edificio. Infine, questo integra anche alcuni moduli preliminari di produzione, come ad esempio moduli fotovoltaici, e storage in modo tale da avere una versione embrionale di 'smart district', tema che, con le sue problematiche di gestione ottimale, sarà sviluppato in annualità successive.

La terza linea di attività ha riguardato la progettazione e lo sviluppo iniziale di alcune tecnologie di rilevazione e controllo locale integrate con la possibilità di dialogo a livello superiore. Le attuali tecnologie sensoristiche e di attuazione locale attualmente sono frammentate su diversi "prodotti" commerciali, tipicamente chiusi o caratterizzato da diversità di protocollo di comunicazione e specifiche problematiche di installazione che fanno salire il costo di investimento quando devono essere utilizzate in modo capillare (es: un insieme di sensori/controllori in ogni stanza). A tal scopo è stato sviluppato un concept progettuale per l'integrazione della sensoristica e controllori di una tipica stanza ufficio in un unico sistema (rilevazione T/umidità/presenza/CO2/apertura finestre, controllo prese/luci/climatizzatore, dialogo remoto). Lo scopo è l'avvio di un percorso di abbattimento dei costi strumentali e di installazione, la facilitazione del colloquio con BEMS (che in prospettiva dovrebbe molto snello), il colloquio con il sistema di supervisione della rete ed infine con l'utente. In una prospettiva applicativa futura uno "smart energy box" dovrebbe essere installato in ogni stanza dello smart building e distribuire a livello locale parte della intelligenza della rete. In questa annualità è stato progettato ed approvvigionato un prototipo preliminare che in futuro verrà installato e sperimentato in una specifica stanza ("smart room") dell'edificio più avanzato realizzato presso il CR Casaccia in termini di sensorialità e funzionalità smart ed impiegate alcune tecnologie già in commercio (es. smart plug, smart valve) per valutarne la fattibilità nella gestione della domanda attraverso la loro integrazione nei sistemi di supervisione e controllo.

Un'altra tipologia chiave di informazione per implementare il concetto di "energy on demand" (controllo adattivo sulla necessità istantanea e locale di energia) e quindi raggiungere elevati saving energetici è la informazione sulla presenza di persone. Le scelte attualmente utilizzate in ambienti ad accesso non controllato (sensori di presenza + trasmissione remota del dato) hanno il difetto di incidere pesantemente sui costi di acquisto ed installazione. Altre alternative, quali il test sull'uso della postazione di lavoro (PC) o sulla presenza di uno smart phone del lavoratore potrebbero essere molto vantaggiose. A tal fine è stato realizzato un sistema che attraverso una app installata sullo smart phone del lavoratore comunicherà al sistema centrale se una unità (quindi evitando problemi di archiviazione di dati sensibili) è presente all'interno del centro o dell'edificio o all'interno di una specifica area (o stanza).

Infine, il tema della gestione ottimale di reti edifici è strettamente connesso con le reti di ricerca europee sulle smart cities alle quali ENEA partecipa e dove in alcuni casi svolge un ruolo di coordinamento primario,

come nel “Joint Program EERA Smart City”, la “European Innovation Partnership sulla Smart City”, il “JPI Urban Europe” ed il “Covenant of Mayors”.

Infine, la disseminazione scientifica dei risultati è stata realizzata oltre che con la partecipazione a network internazionali anche attraverso la partecipazione convegni e workshop in cui promuovere le attività realizzate e in corso di svolgimento.

2 Implementazione ed applicazione alla rete di edifici dei modelli diagnostici, controllo ed ottimizzazione

2.1 Implementazione e sperimentazione algoritmi di diagnostica termica (ENEA)

Nella presente attività è stato implementato e validato su singolo edificio il modello diagnostico sulla linea termica sviluppato nella precedente annualità (RdS/PAR2013/061 e RdS/PAR2013/062), è stato esteso alla rete di edifici ed infine sperimentato sui casi reali. In particolare sono state analizzate le seguenti cause:

1. Malfunzionamento del timer in centrale termica: tale causa mira ad individuare un comportamento corretto dell’orologio che regola l’accensione e lo spegnimento dell’impianto di riscaldamento della centrale termica.
2. Scorretta gestione della distribuzione del calore: tale causa mira ad identificare una scorretta gestione dell’impianto ed è dipendente dall’occupazione dell’edificio.
3. Scorretto funzionamento della valvola miscelatrice in centrale termica : tale causa mira ad identificare uno scorretto funzionamento della valvola di miscelazione del fluido
4. Staratura del termostato di stanza in periodo estivo: tale causa viene identificata qualora per una determinata zona dell’edificio venga rilevata che una o più stanze hanno una temperatura interna maggiore del set-point impostato
5. Anomalia impianto di raffrescamento: tale causa avviene qualora, per una determinata zona, è rilevata in tutte le stanze si ha una temperatura maggiore del set-point impostato.

Nello specifico, i dati sono stati analizzati considerando:

- Il numero di anomalie per mese (per le cause 1 e 2 i mesi considerati sono dicembre 2014, Gennaio, Febbraio e Marzo 2015 mentre per le cause 4 e 5 solo il mese di giugno 2015 e qualche giorno di Luglio 2015);
- Il numero di anomalie per fascia oraria, che corrisponde a 4 ore;
- Il numero di anomalie per indice di gravità, ossia considerando il valore dell’anomalia tra 0.5 e 0.7, tra 0.7 e 0.8 e infine tra 0.8 e 1.

Si aggiunge, inoltre, che per quanto riguarda le regole 1 e 2 l’analisi è stata effettuata sia sull’edificio F40 che sul cluster degli 8 edifici, compresa la centrale termica di quest’ultimo, mentre per le altre due cause rimanenti è stato considerato solo l’edificio F40.

2.1.1 Malfunzionamento timer in centrale termica invernale

Tale causa mira ad individuare un comportamento corretto dell’orologio che regola l’accensione e lo spegnimento dell’impianto di riscaldamento della centrale termica.

Nella tabella seguente sono illustrate le variabili fuzzy di preprocessing utilizzate, valutate tramite specifiche membership function. Nel dettaglio:

l’orario di lavoro è espresso come funzione gaussiana del tempo;

il consumo termico è espresso come sigmoide.

Tabella 1 - Funzioni fuzzy dei preprocessing per la causa C30

Label	Significato	MembershipFunction	Parametri
-------	-------------	--------------------	-----------

P51	Working Time	$e^{\left(\frac{-(x-m)^2}{2s^2}\right)}$	m = 12 s = 4
P11	Consumo termico caldo	$\frac{1}{1 + e^{\left(-\frac{(x-c)}{t}\right)}}$	c = 6.5 t = 2.5

Successivamente sono state, poi, identificate le situazioni correlate, ottenute relazionando i preprocessing ricavati, secondo la logica booleana di AND,OR,NOT (^,∨,-).

Consumo termico alto al di fuori dell'orario di lavoro:

$$S10 = (\neg P51) \wedge P11$$

Consumo termico basso durante l'orario di lavoro:

$$S11 = P51 \wedge (\neg P11)$$

La causa risultante è data dall'OR logico delle due situazioni:

$$C30 = S10 \vee S11$$

Implementazione

L'implementazione della regola C30, in linguaggio Java, è stata realizzata considerando innanzitutto gli edifici dello Smart Village a cui poter applicare tale causa, ovvero F40, F85 (che corrisponde alla centrale termica relativa al cluster) e il cluster di edifici (F66, F67, F68, F69, F70, F71, F72, F73).

Fatta tale valutazione si è provveduto a individuare, nella tabella "scada" del database "smarttowndb", gli identificativi SCADA relativi al consumo termico invernale per ogni edificio esaminato, come mostrato in fig. 6.7.

```

/** id SCADA heat consumption of the building F40 */
final int ENER_TERM_INV_F40 = 464;
/** id SCADA heat consumption of the building F66 */
final int ENER_TERM_INV_F66 = 500;
/** id SCADA heat consumption of the building F67 */
final int ENER_TERM_INV_F67 = 519;
/** id SCADA heat consumption of the building F68 */
final int ENER_TERM_INV_F68 = 538;
/** id SCADA heat consumption of the building F69 */
final int ENER_TERM_INV_F69 = 558;
/** id SCADA heat consumption of the building F70 */
final int ENER_TERM_INV_F70 = 578;
/** id SCADA heat consumption of the building F71 */
final int ENER_TERM_INV_F71 = 598;
/** id SCADA heat consumption of the building F72 */
final int ENER_TERM_INV_F72 = 618;
/** id SCADA heat consumption of the building F73 */
final int ENER_TERM_INV_F73 = 638;
/** id SCADA heat consumption of the building F85 */
final int ENER_TERM_INV_F85 = 652;
/** Array of all id SCADA building heat consumption */

```

Figura 1- id Scada per ogni edificio

Ottenute tali informazioni, il funzionamento dell'applicativo è il seguente:

1. si stabilisce la connessione con il server in cui è contenuto il database "smarttowndb";
2. si esegue il metodo *ReadHistorian()*: per ogni id SCADA, si effettua una query fino a che ci sono valori disponibili nella tabella *historian*, al fine di ottenere le misurazioni provenienti dai sensori relative al consumo termico invernale. Ottenute le informazioni, si avvia un ciclo interno che comprende le seguenti operazioni:
 - a. calcolo del valore medio, in un'ora, del consumo termico dell'edificio considerato;
 - b. esecuzione della fase di preprocessing (metodo *EvaluateP()*), in cui si calcola sia P11, ovvero il valore della funzione sigmoide per il consumo termico e sia P51, ossia il valore della funzione gaussiana relativo all'orario di lavoro corrispondente al consumo termico osservato;

- c. esecuzione della fase di situation assessment (metodo *EvaluateS()*), attraverso la quale, applicando le regole logiche definite precedentemente, si ottengono le situazioni S10 e S11;
 - d. esecuzione della fase di causes (metodo *EvaluateC()*), che tramite l'applicazione delle regole logiche definite precedentemente, permette di ottenere la causa C30: se il suo valore è maggiore di 0.5, su una scala da 0 a 1, allora è stata riscontrata un'anomalia. Per tale motivo, successivamente, si inseriscono i dati delle evidenze (P), delle situazioni (S) e della causa (C) rispettivamente nelle tabelle *historianp*, *historians*, *historianc* presenti sul server.
3. se non vi sono più valori da leggere, si salva data e ora dell'ultimo prelevamento dati per ogni identificativo SCADA;
 4. si rimane in attesa per un arco temporale di 48h prima di riavviare la routine di servizio.

Calibrazione

Per ottenere valori accettabili di preprocessing, è stato necessario calibrare le membership functions con parametri specifici, in relazione ai valori misurati dai sensori. Nella regola in questione si sono analizzate le seguenti due funzioni di appartenenza, rispettivamente per l'orario di lavoro e il consumo termico:

- funzione gaussiana;
- funzione sigmoidea.

Per quanto riguarda la funzione gaussiana, si è deciso di impostare i relativi parametri, ossia *media (m)* e *deviazione standard (s)*, in modo da avere nell'arco temporale di 24 ore un'opportuna precisazione dell'orario di lavoro del C.R. ENEA Casaccia. Per tale motivo sono stati settati $m = 12$, ad indicare metà giornata, e $s = 4$, per far sì che si rispecchi il periodo lavorativo nell'arco della giornata compreso dalle ore 8:00 alle ore 16:00, in modo che la funzione gaussiana assuma un valore superiore a 0.5, in tale fascia oraria. Ai fini della diagnosi, il settaggio sopra descritto risulta essere quello più ottimale. Infatti, come si può vedere dal grafico in fig.2, settando sempre $m = 12$ ma cambiando il valore assegnato a s , si ottengono dei valori che non rappresentano la situazione dell'orario di lavoro considerata.

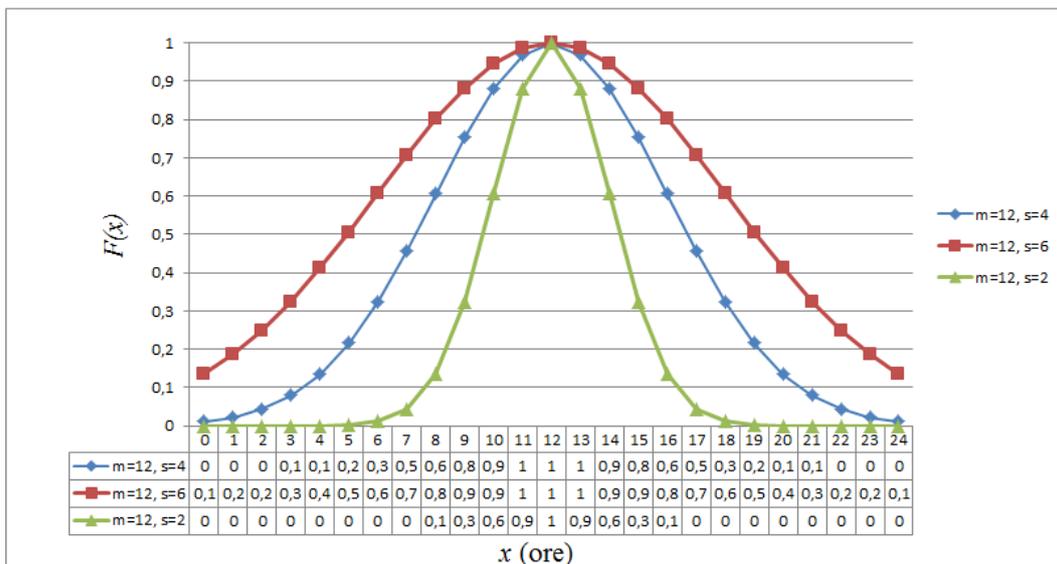


Figura 2 - Curva gaussiana dell'orario di lavoro

In relazione alla funzione sigmoidea, si è provveduto a settare i rispettivi parametri, *centro (c)* e *fattore di steepness (t)*, affinché si esegua una attenta valutazione nel momento in cui il consumo termico presenti una valore al di sopra di un certa soglia. Pertanto, si è posto $c = 6.5$, per evidenziare che in corrispondenza di tale valore si inizia ad avere un consumo termico orario importante, e $t = 2.5$ per definire un grado di ripidezza tale da ottenere il corretto valore di incremento della funzione

relativamente a un maggiore consumo termico. In fig. 3 è illustrato la situazione appena descritta, mettendo in evidenza le differenze prodotte da differenti settaggi di t.

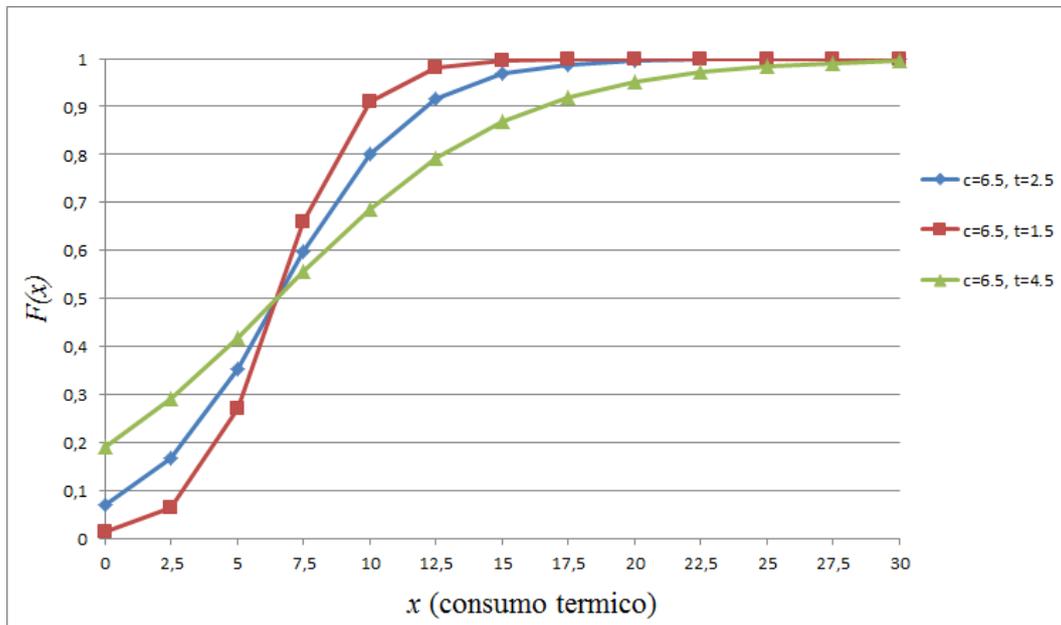


Figura 3 - Curva sigmoidea del consumo termico

Analisi dei dati

Una volta effettuata la fase di calibrazione, si è proceduto ad eseguire una simulazione della regola diagnostica C30, al fine di rilevarne le relative anomalie. Ottenute quest'ultime, per ogni edificio considerato è stata effettuata un'analisi dei dati in funzione del:

- numero di anomalie per indice di gravità;
- numero di anomalie per fascia oraria;
- numero di anomalie suddivise per mese;
- valore delle anomalie in un arco temporale prescelto.

I primi due metodi di osservazione sono in realtà in relazione in quanto ci permettono di avere una maggior chiarezza dei risultati ottenuti.

Prima di descrivere quanto rilevato, è necessario precisare che:

- per il primo tipo di analisi sono stati identificate tre fasce di gravità: la prima comprende valori tra 0.5 e 0.7, la seconda tra 0.7 e 0.8 e infine la terza include valori tra 0.8 e 1;
- per la seconda analisi si considerano fasce orarie di 4 ore;
- infine, per il terzo tipo di indagine sono stati considerati i mesi di Dicembre 2014, Gennaio, Febbraio e Marzo 2015.

In primo luogo si è esaminato l'edificio F40. Come è possibile riscontrare dai grafici presenti nelle fig. 4, 5 e 6, vi è, innanzitutto, un elevato numero di anomalie in corrispondenza di un indice di gravità compreso tra 0.8 e 1, tale da indicare un significativo consumo termico dovuto al malf funzionamento del timer posto nella centrale termica attigua all'edificio. Altro elemento che rafforza quanto appena affermato, risulta essere la presenza maggiore di anomalie fuori dall'orario di lavoro, da cui si ricava che la fornitura di calore è superiore a quanto in realtà dovrebbe essere.

Da tale risultato si evince che il malf funzionamento dell'orologio che regola l'accensione e lo spegnimento dell'impianto termico produce una importante inefficienza energetica, che può portare a ripercussioni negative rilevanti soprattutto in termini di costi di gestione da sostenere.

Analizzando poi l’F40 in base al numero di anomalie per mese, si osserva come ci sia un più alto numero di anomalie nel mese di Gennaio, dovuto ipoteticamente a temperature invernali più basse che inducono ad un maggior uso dei fancoils.

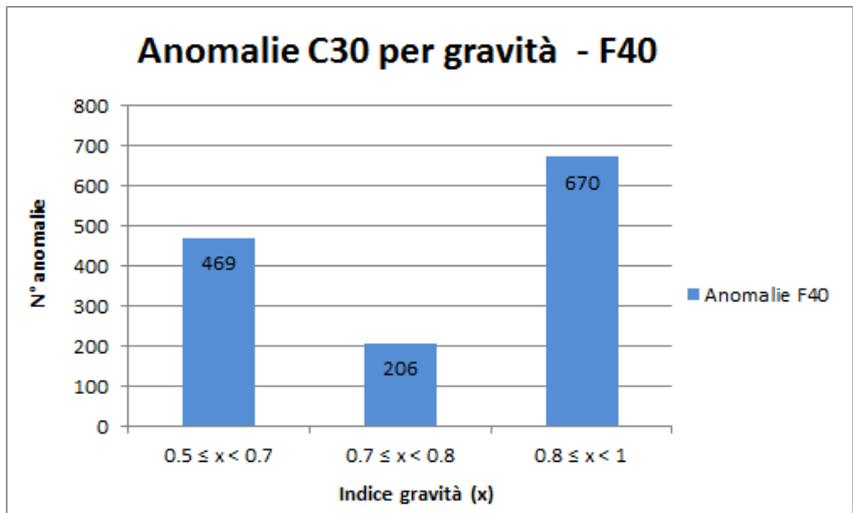


Figura 4- Istogramma anomalie C30 per l’edificio F40 suddivise per gravità

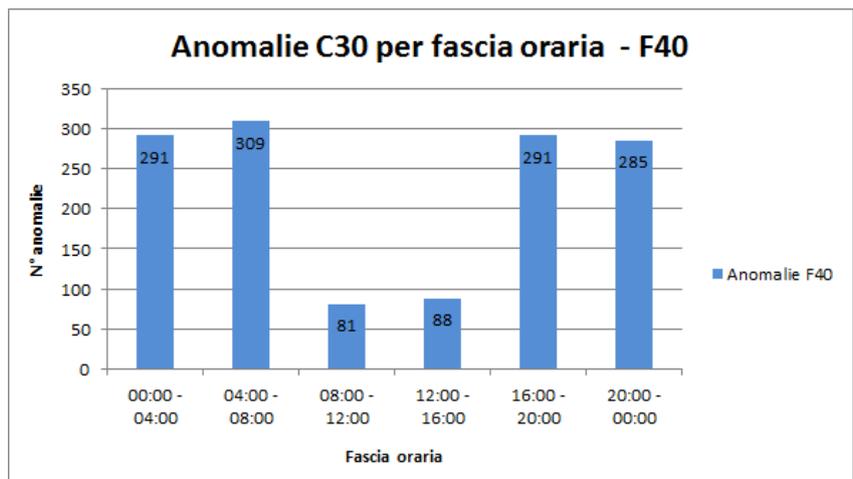


Figura 5 - Istogramma anomalie C30 per l’edificio F40 suddivise per fasce orarie

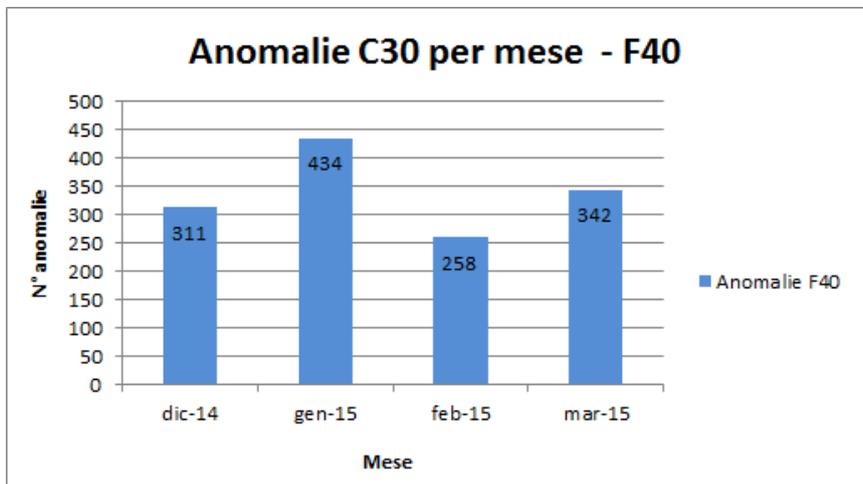
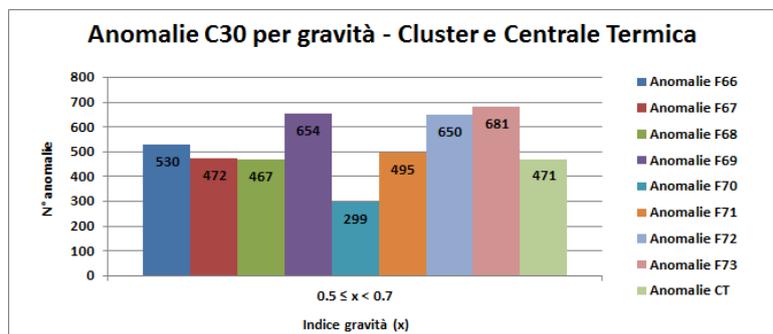
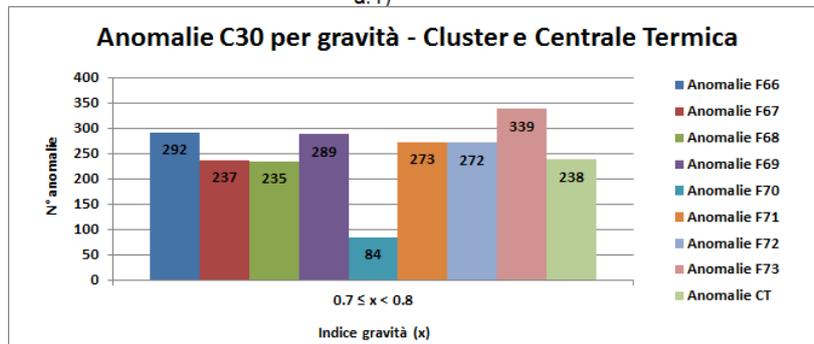


Figura 6 - Istogramma anomalie C30 per l’edificio F40 suddivise per mese

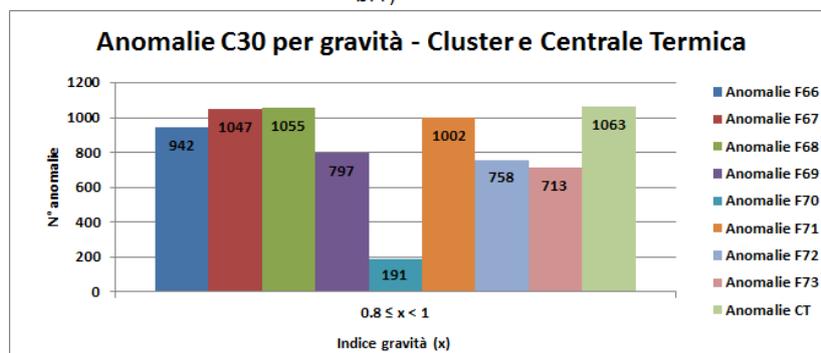
Per quanto concerne l'analisi del cluster di edifici e della centrale termica annessa, si individua la stessa situazione osservata per l'edificio F40, come evidenziato nelle fig. 7. Infatti, anche se la centrale termica non è la medesima, si ha comunque un elevato numero di anomalie con alto grado di importanza, a sottolineare ancora di più come una delle cause più significative, all'origine di un comportamento termico atipico, sia proprio la staratura del termostato. In fig.8, si osserva che le fasce orarie in cui si riscontrano più anomalie sono sempre quelle al di fuori dell'orario di lavoro, indicando un consumo termico alto che non dovrebbe essere presente. Si evince, inoltre, come il malfunzionamento del timer in centrale termica, origine della regola diagnostica C30, si ripercuote evidentemente sulla condotta energetica degli edifici connessi a essa, generando quindi conseguenti anomalie a catena. Da tale situazione si può affermare che, sebbene quest'ultima sia indice di malfunzionamento, risulta coerente con il funzionamento e la distribuzione dell'impianto di fornitura di energia termica.



a.1)



b.1)



c.1)

Figura 7- Istogrammi anomalie C30 per cluster e CT suddivise per gravità: a.1), b.1) e c.1)

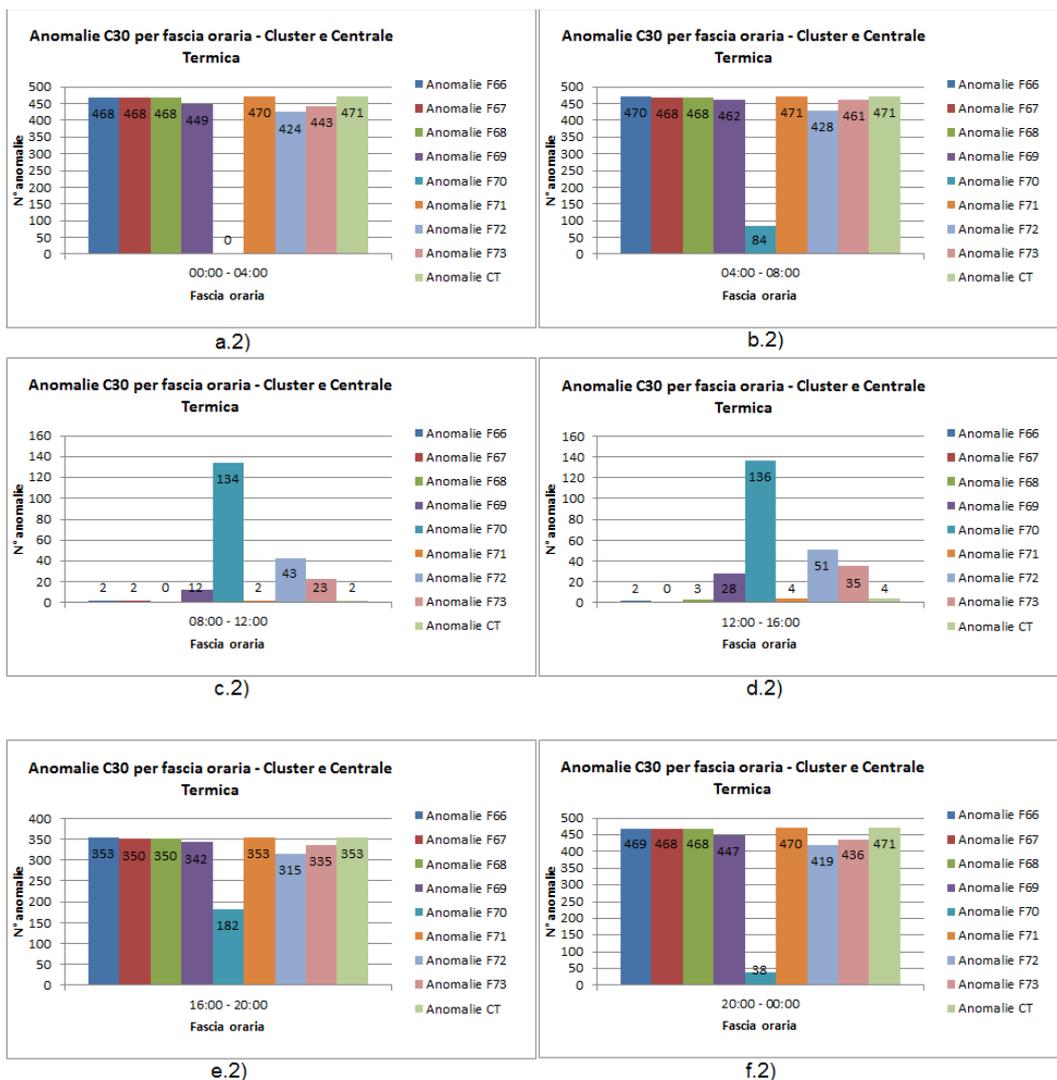
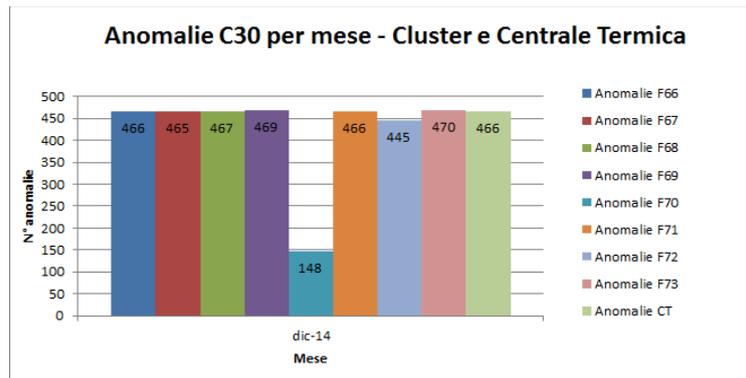
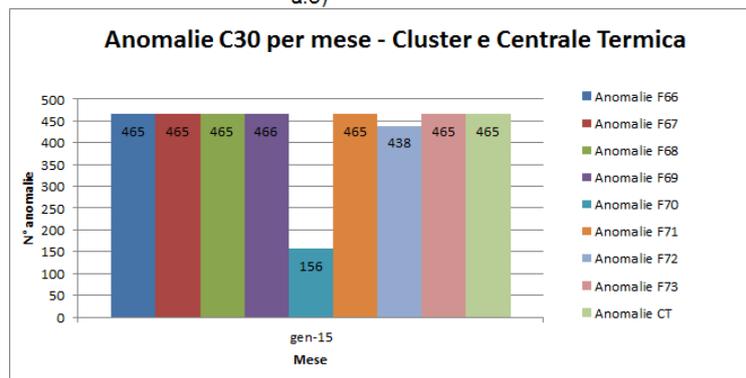


Figura 8 - Istogrammi anomalie C30 per cluster e CT suddivise per fascia oraria: a.2), b.2), c.2), d.2), e.2) e f.2)

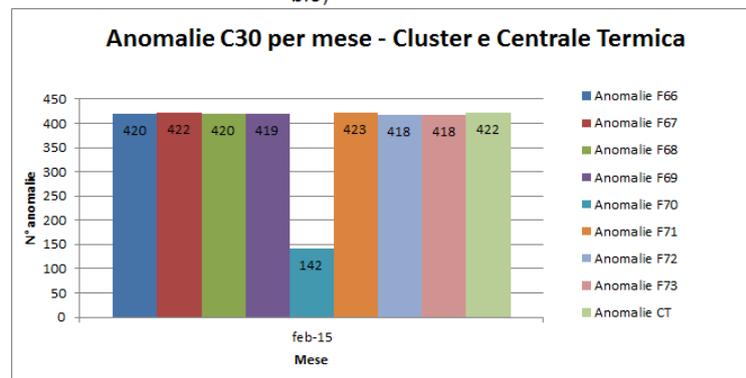
Osservando, invece, la suddivisione delle anomalie per mese se ne deduce che il comportamento termico degli edifici considerati è molto simile e costante rispetto al funzionamento del timer in centrale termica. Quanto appena descritto è mostrato nella fig. 9.



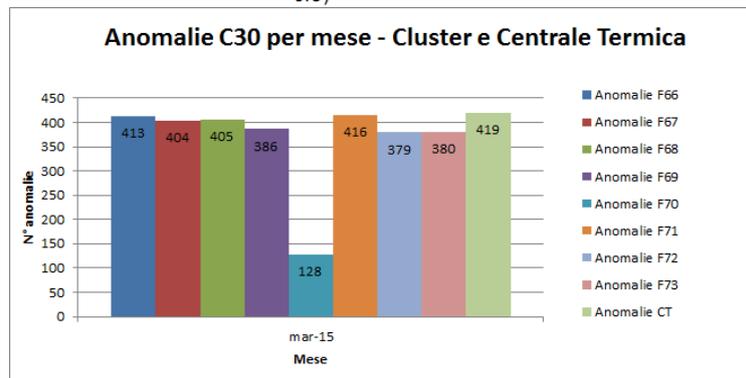
a.3)



b.3)



c.3)



d.3)

Figura 9 - - Istogrammi anomalie C30 per cluster e CT suddivise per mese: a.3), b.3), c.3) e d.3)

Un aspetto da evidenziare e di una certa rilevanza riguarda le anomalie riscontrate per l'edificio F70. Comparando l'andamento di quest'ultimo rispetto agli altri edifici del cluster, si può notare come, in qualsiasi tipo di analisi, esso risulta diverso. Ciò è dovuto principalmente ad una errata taratura dei sensori

per i dati di consumo termico dell’F70, la quale genera valori di anomalie che non sono in linea con il reale comportamento dell’edificio.

In fig. 10, 11 e 12 è rappresentata un’ulteriore analisi dei dati, che permette il confronto dell’andamento del consumo termico rispetto all’orario di lavoro per un determinato giorno, nello specifico il 26/01/2015. Come è possibile notare, nel caso degli edifici F40, F66 e F72, si registra la presenza di anomalie, con valori maggiori di 0.5, soprattutto fuori dall’orario di lavoro. Tale comportamento ci dimostra come la fornitura di energia termica non segua l’andamento della giornata lavorativa e ciò ovviamente a causa della staratura del timer. Inoltre, tramite i grafici si può notare come il comportamento dei tre edifici sia differente, nello specifico l’F40 ha un consumo che si mantiene sempre sullo stesso livello, cosa che invece non è possibile osservare per l’F66 e l’F72, per i quali vi è, in alcuni casi, un impiego minore di energia.

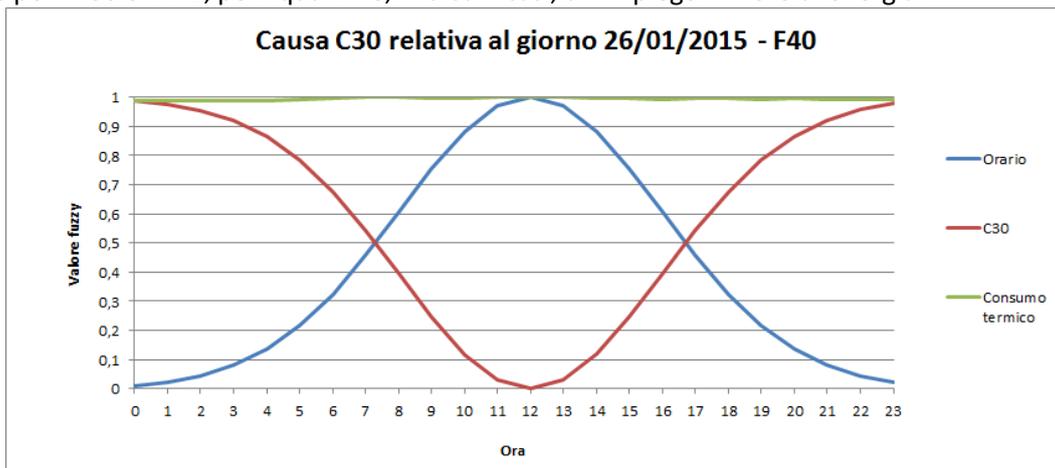


Figura 10- Confronto tra consumo termico, causa C30 e orario di lavoro sull’F40 in una giornata

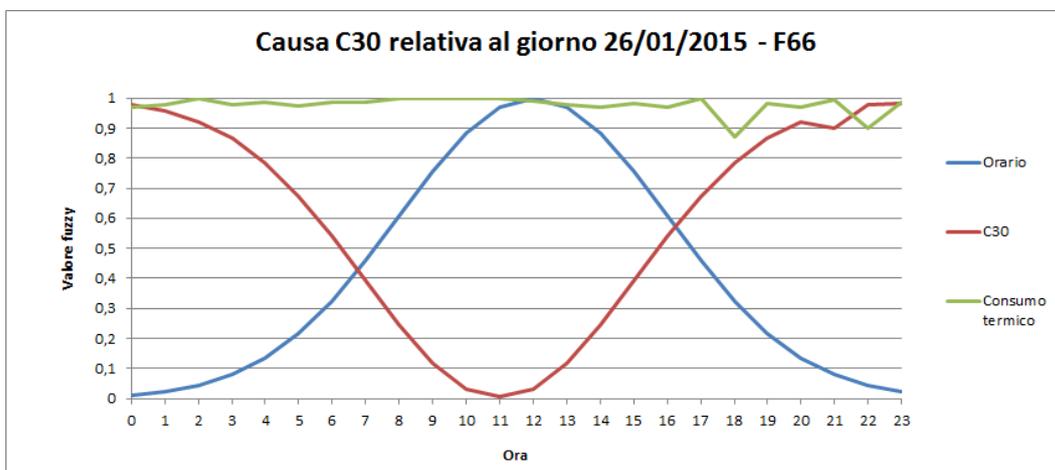


Figura 11 - Confronto tra consumo termico, causa C30 e orario di lavoro sull’F66 in una giornata

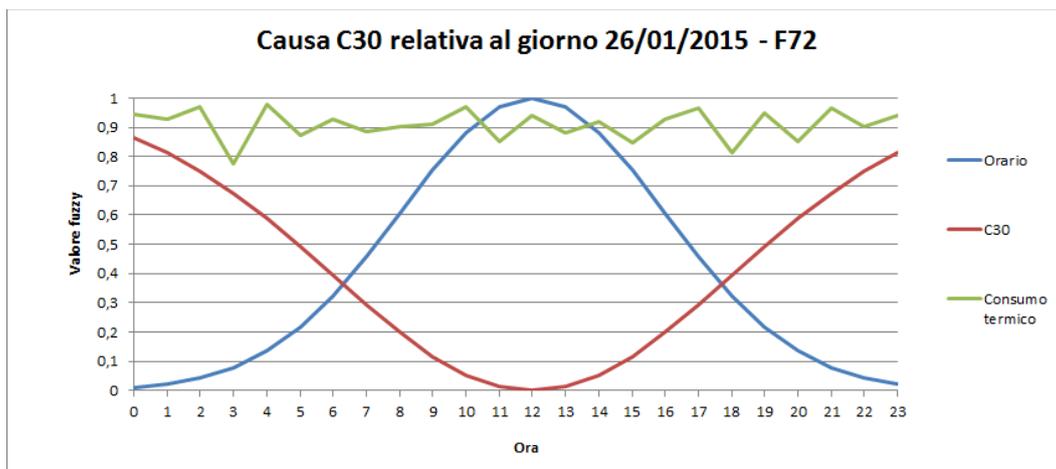


Figura 12- Confronto tra consumo termico, causa C30 e orario di lavoro sull’F72 in una giornata

2.1.2 Scorretta gestione della distribuzione del calore

La regola di diagnostica termica C31 è relativa alla “*scorretta gestione della distribuzione del calore*”. Tale anomalia mira ad identificare una scorretta gestione della impianto ed è quindi dipendente anche dall’occupazione dell’edificio.

Nella tabella seguente sono illustrate le variabili fuzzy di preprocessing utilizzate, valutate tramite specifiche membership function. Nel dettaglio:

- la percentuale di occupazione, non fuzzyficata in quanto già normalizzata;
- il consumo termico è espresso come sigmoide.

Tabella 2- Funzioni fuzzy dei preprocessing per la causa C31

Label	Significato	MembershipFunction	Parametri
P24c	Percentuale di Occupazione	%	/
P11	Consumo termico caldo	$\frac{1}{1 + e^{-\left(\frac{x-c}{t}\right)}}$	c = 6.5 t = 2.5

Una volta definiti i preprocessing, sono state identificate le situazioni ad essi correlate:

Consumo termico alto in assenza di occupazione:

$$S12 = (\neg P24c) \wedge P11$$

Consumo termico basso in presenza di occupazione:

$$S13 = P24c \wedge (\neg P11)$$

La causa risultante è data dall’OR logico delle due situazioni:

$$C31 = S12 \vee S13$$

Implementazione

L’implementazione della regola, in linguaggio Java, è stata realizzata, anche in questo caso, considerando innanzitutto gli edifici dello Smart Village a cui poter applicare tale causa, ovvero F40 e il cluster (F66, F67, F68, F69, F70, F71, F72, F73).

Successivamente a tale valutazione si è provveduto a individuare, nella tabella “scada” del database “smarttowndb”, gli identificativi SCADA relativi al consumo termico invernale per ogni edificio esaminato.

Ottenute tali informazioni, il funzionamento dell’applicativo è il seguente:

1. si stabilisce la connessione con il server in cui è contenuto il database “smarttowndb”;

2. si esegue il metodo *ReadHistorian()*, di cui è mostrata una parte del codice in fig. 13: per ogni id SCADA, si effettua una query fino a che ci sono valori disponibili nella tabella *historian*, al fine di ottenere le misurazioni provenienti dai sensori relative al consumo termico invernale. Ottenute le informazioni, si avvia un ciclo interno che comprende le seguenti operazioni:
 - a. calcolo del valore medio, in un'ora, del consumo termico dell'edificio considerato;
 - b. esecuzione della fase di preprocessing (metodo *EvaluateP()*), in cui si calcola sia P11, ovvero il valore della funzione sigmoide per il consumo termico, e sia P24c, ossia il valore relativo alla percentuale di occupazione corrispondente alla stessa fascia oraria nella quale è stato rilevato il consumo termico. Quest'ultimo valore è ottenuto tramite una procedura di calcolo basata sull'analisi dei flussi di entrata e uscita;
 - c. esecuzione della fase di situation assessment (metodo *EvaluateS()*), attraverso la quale, applicando le regole logiche definite precedentemente, si ottengono le situazioni S12 e S13;
 - d. esecuzione della fase di causes (metodo *EvaluateC()*), che tramite l'applicazione delle regole logiche definite precedentemente, permette di ottenere la causa C31: se il suo valore è maggiore di 0.5, su una scala da 0 a 1, allora è stata riscontrata un'anomalia. Per tale motivo, successivamente, si inseriscono i dati delle evidenze (P), delle situazioni (S) e della causa (C) rispettivamente nelle tabelle *historianp*, *historians*, *historianc* presenti sul server.
3. se non vi sono più valori da leggere, si salva data e ora dell'ultimo prelievamento dati per ogni identificativo SCADA;
4. si rimane in attesa per un arco temporale di 48h prima di riavviare la routine di servizio.

```

public void ReadHistorian() {
    double value_heat = 0.0;
    String queryRead = "";
    value = 0.0;
    try {
        Statement st, st2;
        st = serverConnection.createStatement();
        st2 = serverConnection.createStatement();
        int i;
        for (i = 0; i < CONS_TERM_TOT.length; i++) {
            start_v = true;
            flag2 = false;
            queryRead = "SELECT Timestamp,HOUR(Timestamp),MINUTE(Timestamp),h.ID AS idScada,h.Value,s.floor,b.Name,b.ID AS idBuilding,b.people FROM "
                + this.DbName + ".historian h," + this.DbName + ".scada s," + this.DbName + ".building b WHERE h.ID=" + CONS_TERM_TOT[i]
                + " AND h.Timestamp>='" + timeSt.get(CONS_TERM_TOT[i]) + "' AND h.ID=s.ID AND s.Building=b.ID "
                + "ORDER BY h.Timestamp,h.ID";
            ResultSet rsRead;
            rsRead = st.executeQuery(queryRead);
            while (rsRead.next()) {

```

Figura 13- Stralcio di codice del metodo *ReadHistorian()*

Per la calibrazione della funzione sigmoidea relativa alla regola diagnostica C31 sono state considerate le medesime valutazioni fatte per il tuning dei parametri della causa C30, ponendo quindi $c = 6.5$ e $t = 2.5$.

Analisi dei dati

L'analisi della causa si basa sugli stessi principi utilizzati per la regola precedente.

Partendo dall'edificio F40, si nota, tramite l'ausilio delle fig. 14 e 15, un innalzamento sostanzioso del numero di anomalie con gravità elevata e di quelle comprese nella fascia oraria lavorativa 8:00-16:00. Tale situazione risulta essere diretta conseguenza di una scorretta gestione della distribuzione del calore che non considera in maniera ottimale la correlazione esistente tra il consumo termico e la percentuale di occupazione dell'F40. Si generano, infatti, condizioni in cui la fornitura di più o meno energia non è

conforme all'adeguato numero di persone presenti, dando così vita a situazioni significative di spreco energetico.

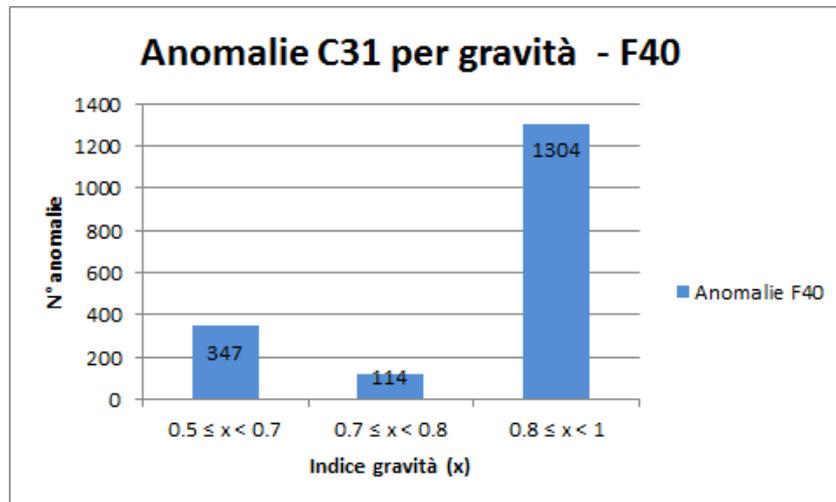


Figura 14 - Istogramma anomalie C31 per l'edificio F40 suddivise per gravità

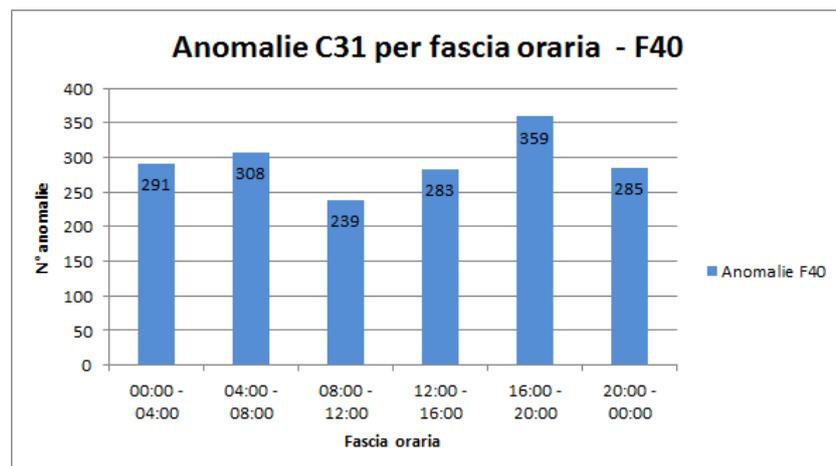


Figura 15 - Istogramma anomalie C31 per l'edificio F40 suddivise per fasce orarie

In fig. 6.23, invece, è possibile osservare la suddivisione delle anomalie per mese. Tenendo conto di quanto appena illustrato, si può ovviamente constatare, anche in questo caso, un aumento del numero di malfunzionamenti segnalati nei mesi di Gennaio, Febbraio e Marzo, in controtendenza rispetto al mese di Dicembre dove vi è una diminuzione.

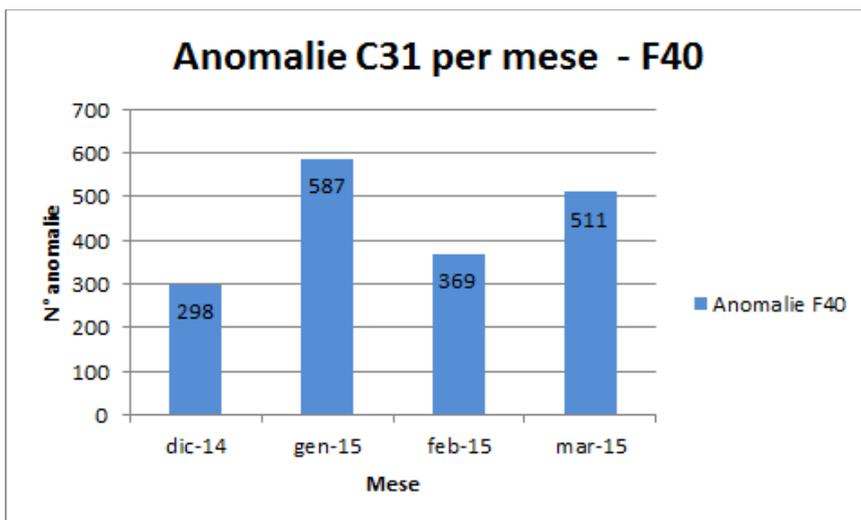
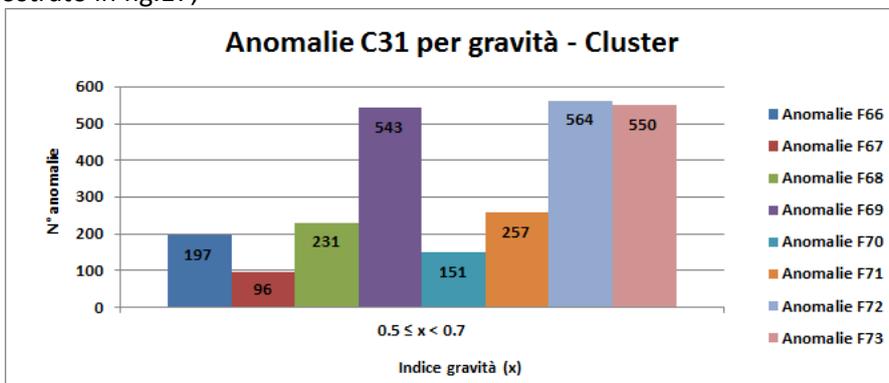


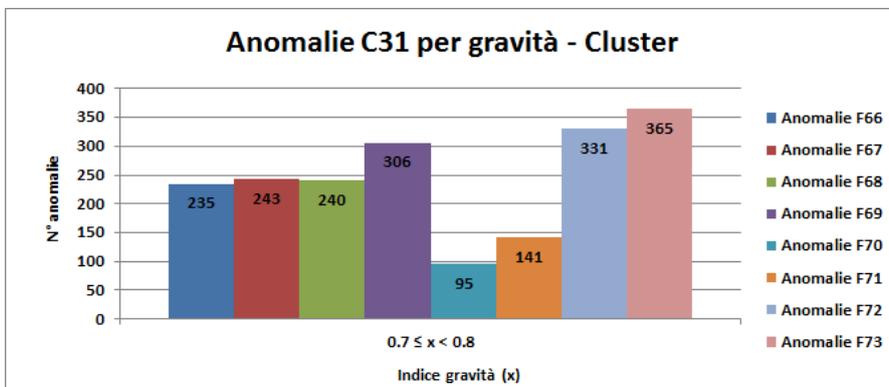
Figura 16 - Istogramma anomalie C31 per l'edificio F40 suddivise per mese

Dallo studio dei dati risultanti dalla diagnostica del cluster si è dedotto che:

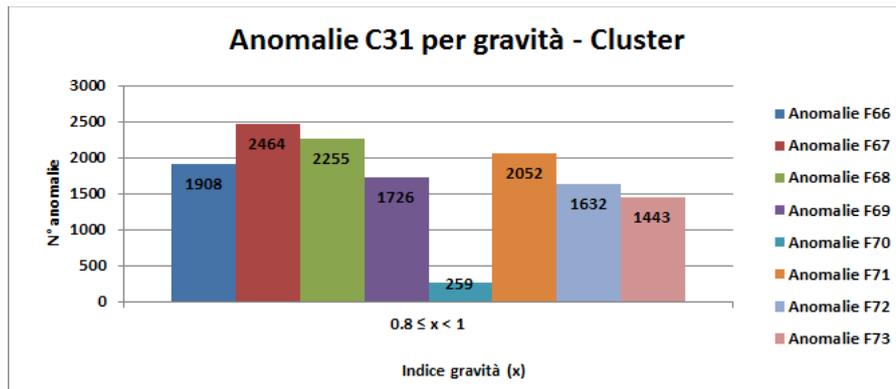
- i sensori dell'edificio F70, anche in questo caso, generano dati errati sul consumo termico. Ciò evidenzia quindi un problema più che altro strutturale del sistema di diagnosi in relazione all'edificio suddetto;
- osservando l'analisi delle anomalie per gravità, si presenta la stessa situazione riscontrata nell'edificio F40, ossia un aumento delle anomalie con indice di importanza compreso tra 0.8 e 1, come mostrato in fig.17;



a.4)



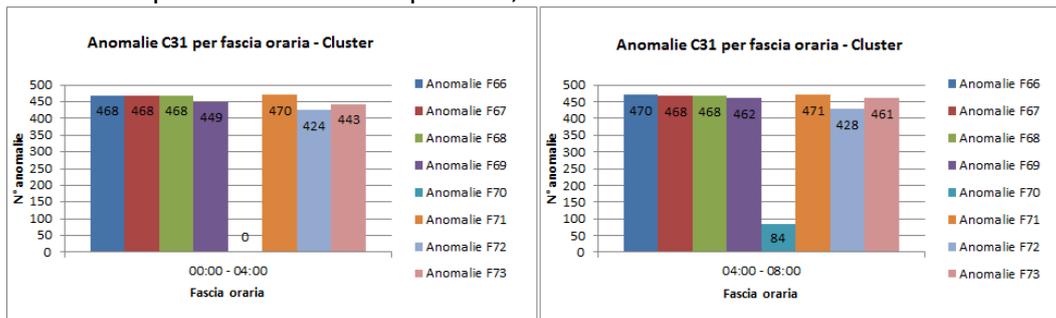
b.4)



c.4)

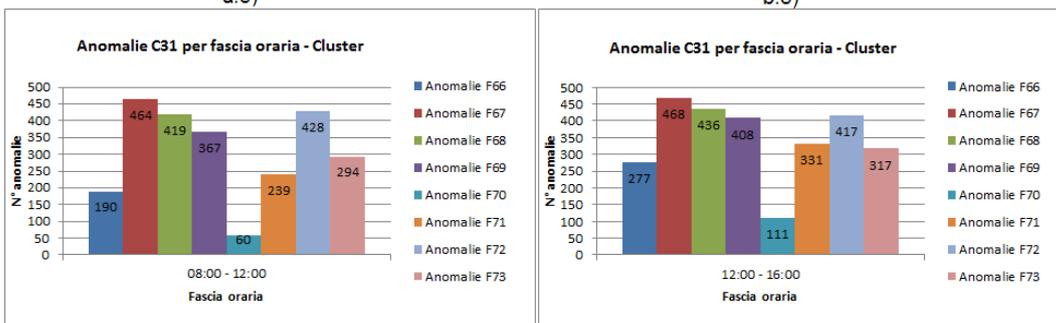
Figura 17 - Istogrammi anomalie C31 per cluster suddivise per gravità: a.4), b.4) e c.4)

la suddivisione delle anomalie per fascia oraria, in fig. 18, mostra un comportamento degli edifici che si differenzia principalmente in base all'orario. Infatti, mentre fuori dall'orario lavorativo si riscontra un equivalente numero di anomalie per ogni edificio, nell'arco di tempo compreso tra le 8:00 e le 16:00, ogni edificio presenta un proprio comportamento legato al consumo termico corrispondente alla percentuale di occupazione;



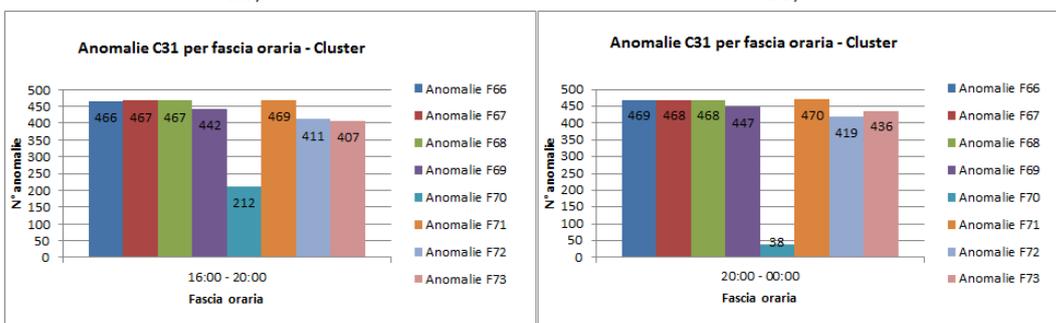
a.5)

b.5)



c.5)

d.5)

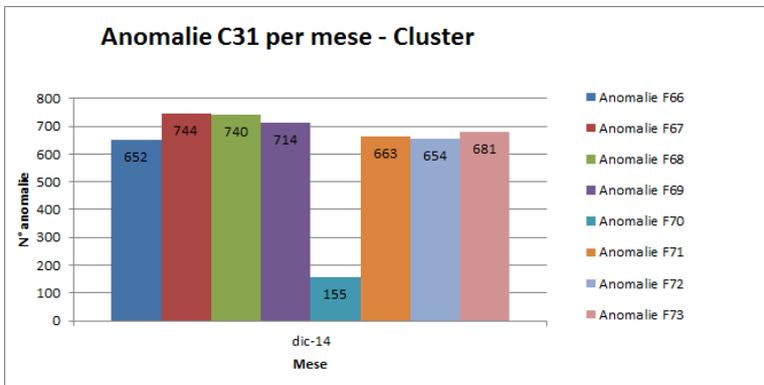


e.5)

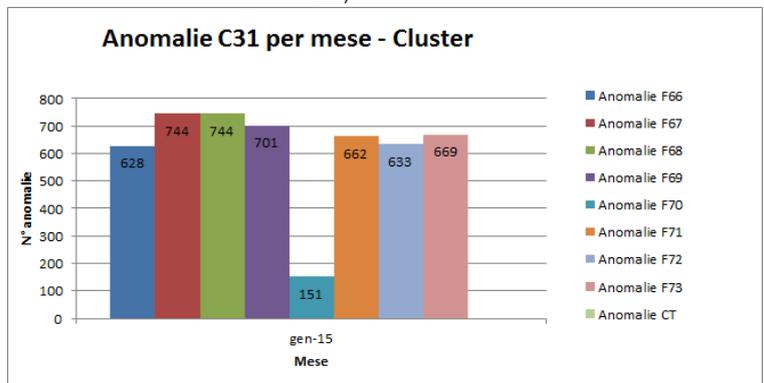
f.5)

Figura 18 - Istogrammi anomalie C31 per cluster suddivise per fascia oraria: a.5), b.5), c.5), d.5), e.5) e f.5)

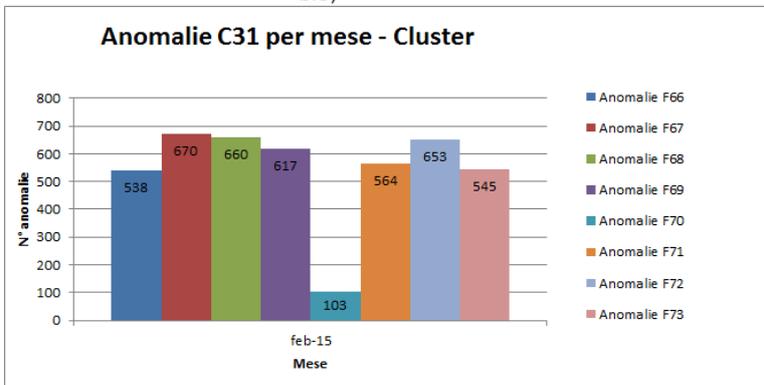
L'analisi per mese, in fig. 19, permette di osservare come il numero di anomalie sia più alto a Dicembre e Gennaio, ad indicare un consumo maggiore di energia termica, dovuta probabilmente ad un abbassamento delle temperature e anche in considerazione di una percentuale ridotta di presenza del personale nel periodo delle festività.



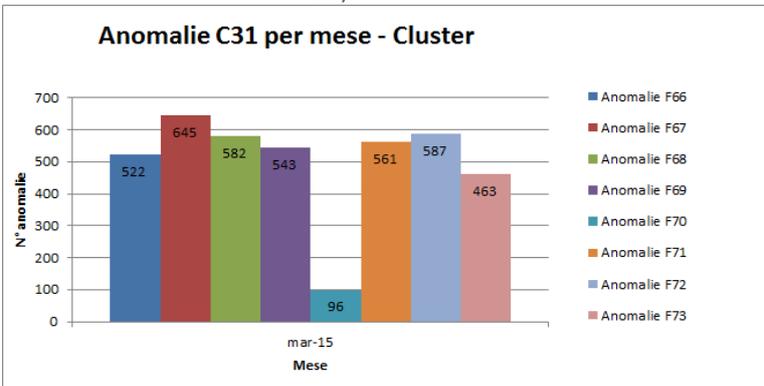
a.6)



b.6)



c.6)



d.6)

Figura 19 Istogrammi anomalie C31 per cluster suddivise per mese: a.6), b.6), c.6) e d.6)

Si sottolinea, inoltre, come la scorretta gestione della distribuzione del calore non possa prescindere dalla struttura dell'impianto termico. Nel caso specifico, tutti gli edifici del cluster sono collegati ad un'unica rete di teleriscaldamento e raffrescamento che parte dalla centrale termica e si dirama secondo una distribuzione ad anello, come descritto già nel capitolo 4. Da tale configurazione si può supporre, difatti, che una parte delle anomalie rilevate negli edifici che sono serviti per ultimi nel circuito di distribuzione, siano generate anche da una dispersione del calore durante il tragitto, che di conseguenza non permette di avere consumi termici regolari.

L'analisi della regola diagnostica C31 permette, inoltre, di avere altre informazioni. In relazione a quanto detto, tramite l'osservazione delle fig. 20 e 21, in cui è mostrato l'andamento del consumo termico dell'F40 e dell'F66 in riferimento alla percentuale di occupazione nell'arco di quattro giorni (2 feriali e 2 festivi), che vanno dal 29/01/2015 al 01/02/2015, si può notare, infatti, il comportamento dei consumi tra giorni feriali e nei giorni festivi. Si evince, in particolare, che:

- nel caso dell'edificio F40, nei primi due giorni sia hanno situazioni anomale, generate da un consumo termico troppo basso in corrispondenza dell'orario di lavoro, mentre nel weekend vi è un impiego di energia termica, che seppur altalenante, non rispecchia il corretto consumo termico in corrispondenza dell'assenza di personale;
- per quanto concerne invece l'F66 si rileva un consumo di energia costantemente alto nei quattro giorni considerati, che non tiene conto, evidentemente, dell'orario di lavoro ma soprattutto della reale percentuale di occupazione dell'edificio, generando pertanto anomalie termiche.

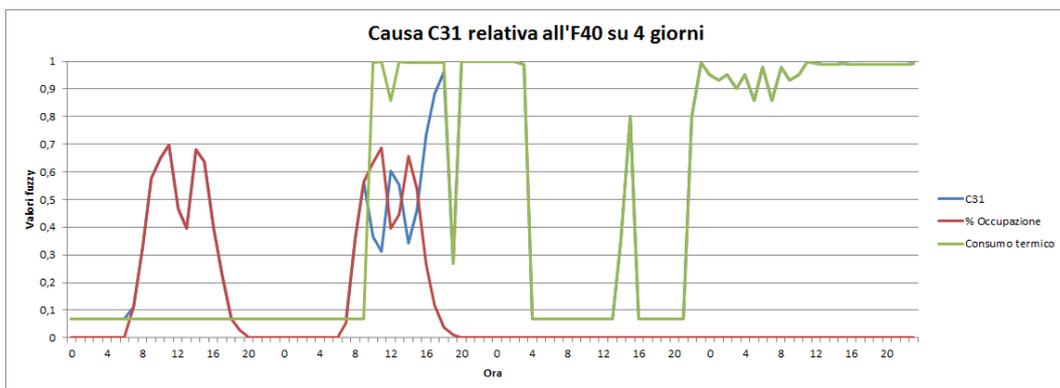


Figura 20- Confronto tra consumo termico, causa C31 e percentuale di occupazione sull'F40 in quattro giornate

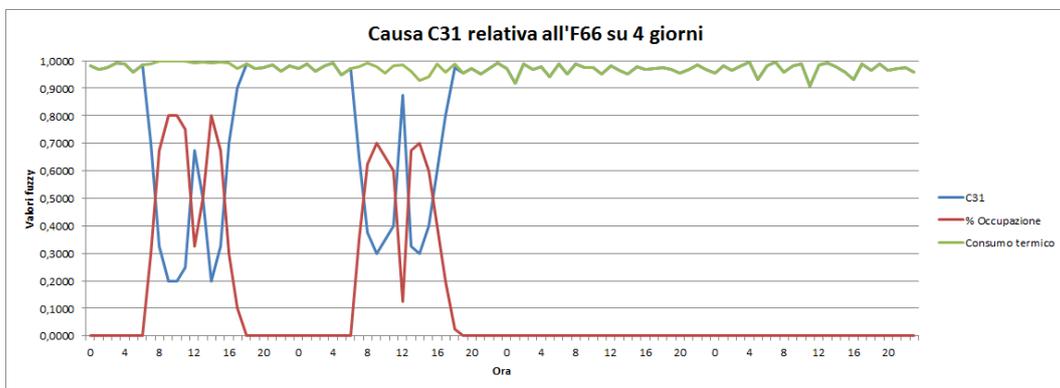


Figura 21- Confronto tra consumo termico, causa C31 e percentuale di occupazione sull'F66 in quattro giornate

2.1.3 Scorretto funzionamento della valvola miscelatrice in centrale termica

Tale causa mira ad identificare uno scorretto funzionamento della valvola di miscelazione del fluido. Per identificare l’anomalia sono stati considerati la differenza di temperatura, ottenuta comparando quella di set-point di mandata impostata con quella effettivamente misurata, e la percentuale di chiusura della valvola.

Nell tabella seguente seguente sono illustrate le variabili fuzzy di preprocessing utilizzate, valutate tramite specifiche membership function. Nel dettaglio:

- la differenza di temperatura è espresso tramite sigmoide;
- la percentuale di chiusura della valvola, non fuzzyficata in quanto già normalizzata.

Tabella 3 Funzioni fuzzy dei preprocessing per la causa C32

Label	Significato	MembershipFunction	Parametri
P13	Differenza tra Set-Point della mandata impostato e Temperatura misurata	$\frac{1}{1 + e^{\left(-\frac{(x-c)}{t}\right)}}$	c = t =
P14	Percentuale di Chiusura della Valvola %		/

Una volta definiti i preprocessing, sono state identificate le situazioni ad essi correlate:

La valvola non miscela (sulla base del valore percentuale di apertura rilevata) quando la differenza tra la temperatura di mandata e quella di set-point è minore di un valore di benchmark:

$$S14 = (-P13) \wedge (-P14)$$

La valvola miscela (sulla base del valore percentuale di apertura rilevata) quando la differenza tra la temperatura di mandata e quella di set-point è maggiore di un valore di benchmark:

$$S15 = (P13) \wedge (P14)$$

La causa risultante è data dall’OR logico delle due situazioni:

$$C32 = S14 \vee S15$$

Implementazione

L’implementazione della regola C32, in linguaggio Java, è stata realizzata considerando innanzitutto gli edifici dello Smart Village a cui poter applicare tale causa, ovvero al solo F40. Si è provveduto quindi a individuare, nella tabella “scada” del database “smarttowndb”, l’identificativi SCADA relativi alla temperatura di mandata impostata tramite set-point e alla temperatura misurata, entrambe inerenti il periodo estivo.

Ottenute tali informazioni, il funzionamento dell’applicativo è il seguente:

1. si stabilisce la connessione con il server in cui è contenuto il database “smarttowndb”;
2. si esegue il metodo *ReadHistorian()*: per ogni id SCADA della temperatura misurata, si effettua una query fino a che ci sono valori disponibili nella tabella *historian*. Ottenute le informazioni, si avvia un ciclo interno che comprende le seguenti operazioni:
 - a. calcolo del valore medio, in un’ora, della temperatura misurata;
 - b. calcolo del valore medio, in un’ora, della temperatura di mandata impostata;
 - c. calcolo della differenza tra le due medie di temperatura ottenute in precedenza;
 - d. esecuzione della fase di preprocessing (metodo *EvaluateP()*), in cui si calcola sia P13, ovvero il valore della funzione sigmoide per la temperatura, e sia P14, ossia il valore relativo alla percentuale di chiusura della valvola corrispondente alla stessa fascia oraria nella quale è stato considerata la differenza di temperatura;

- e. esecuzione della fase di situation assessment (metodo *EvaluateS()*), attraverso la quale, applicando le regole logiche definite precedentemente, si ottengono le situazioni S14 e S15;
 - f. esecuzione della fase di causes (metodo *EvaluateC()*), che tramite l'applicazione delle regole logiche definite precedentemente, permette di ottenere la causa C32: se il suo valore è maggiore di 0.5, su una scala da 0 a 1, allora è stata riscontrata un'anomalia. Per tale motivo, successivamente, si inseriscono i dati delle evidenze (P), delle situazioni (S) e della causa (C) rispettivamente nelle tabelle *historianp*, *historians*, *historianc* presenti sul server.
3. se non vi sono più valori da leggere, si salva data e ora dell'ultimo prelevamento dati per ogni identificativo SCADA;
 4. si rimane in attesa per un arco temporale di 48h prima di riavviare la routine di servizio.

Calibrazione

In relazione a tale causa è stata eseguita la fase di calibrazione al fine di determinare il valore di benchmark in corrispondenza del quale si possa definire un evento anomalo. Nel caso in esame, si è cercato di determinare quale potrebbe essere la differenza di temperatura, tra quella di mandata e quella misurata, oltre la quale si identifica un consumo termico atipico, che sarà poi messo in relazione alla percentuale di chiusura della valvola di miscelazione.

Come è possibile notare in fig. 22 i parametri scelti per definire la funzione sigmoidea sono $c=2$, per indicare che la soglia di differenza di temperatura sotto la quale si è ancora in un stato di consumo regolare, e $t=1.5$ per rappresentare il giusto grado di ripidità della curva.

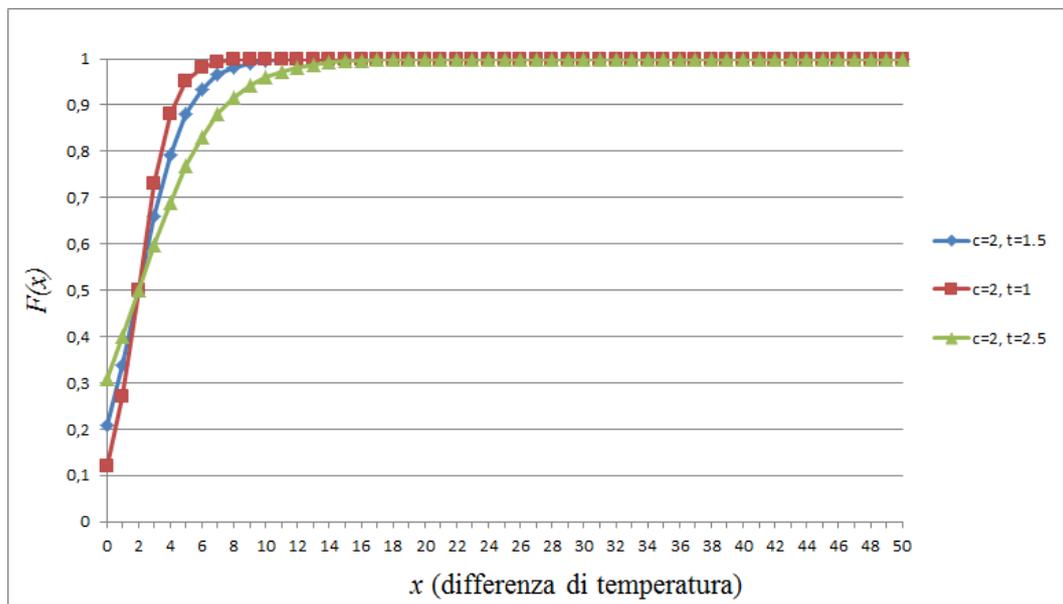


Figura 22 - - Curva sigmoidea della differenza di temperatura

Analisi dei dati

In relazione alla causa C32, non è stato possibile effettuare la simulazione in quanto il sistema fisico in cui è inserita la valvola di miscelazione è tuttora in manutenzione. Per tale ragione non è stato possibile effettuare alcuna analisi di diagnosi per l'efficienza energetica.

2.1.4 Staratura del termostato di stanza in periodo estivo

Tale causa viene identificata qualora per una determinata zona dell'edificio venga rilevata che una o più stanze delle n facenti parte della zona stessa hanno una temperatura interna maggiore del set-point

impostato. La differenza di temperatura è ottenuta comparando quella di set-point di stanza impostata con quella effettivamente misurata.

Nell tabella seguente sono illustrate le variabili fuzzy di preprocessing utilizzate, valutate tramite specifiche membership function. Nel dettaglio:

la differenza di temperatura è espresso tramite gaussiana.

Tabella 4 Funzioni fuzzy dei preprocessing per la causa C33

Label	Significato	MembershipFunction	Parametri
P15_1, P15_2... P15_n	Differenza tra Set Point di stanza impostato e Temperatura Interna	$1 - e^{\left(\frac{-(x-m)^2}{2s^2}\right)}$	m = 0 s = 1

La situazione relativa a tale preprocessing è:

Una stanza di una zona termica presenta una temperatura interna maggiore del set-point impostato:

$$S16 = (P15_1 \wedge \neg P15_2 \wedge \dots \wedge \neg P15_n) \vee (P15_2 \wedge \neg P15_1 \wedge \dots \wedge \neg P15_n) \vee \dots \vee (P15_n \wedge \neg P15_1 \wedge \dots \wedge \neg P15_{(n-1)})$$

Più stanze di una zona termica presentano una temperatura interna maggiore del set-point impostato:

$$S17 = (P15_1 \vee P15_2 \vee \dots \vee P15_n)$$

La causa risultante è data da:

$$C33 = S16 \cdot (1 - \alpha) + S17 \cdot \alpha \quad \text{con } \alpha = 0.7$$

Implementazione

L’implementazione della regola C33, in linguaggio Java, è stata realizzata considerando gli edifici dello Smart Village a cui poter applicare tale causa, ovvero l’edificio F40 e la successiva mappatura a 15 zone dello stesso edificio, come mostrato in fig. 23.

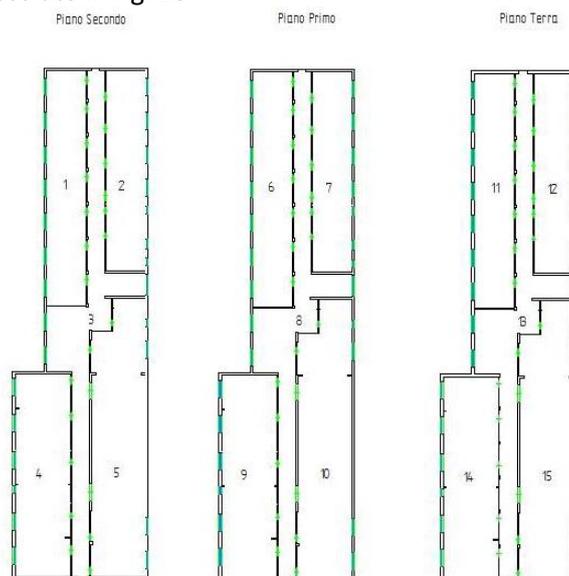


Figura 23 - Mappatura a 15 zone dell’F40

Successivamente a tale valutazione si è provveduto a individuare, nella tabella “scada”, gli identificativi SCADA per tutte le stanze presenti nell’F40, relativamente alla temperatura di stanza impostata tramite set-point e alla temperatura interna misurata, entrambe inerenti il periodo estivo.

Ottenute tali informazioni, il funzionamento dell'applicativo è il seguente:

1. si stabilisce la connessione con il server in cui è contenuto il database "smarttowndb";
2. si esegue il metodo *ReadHistorian()*: si suddivide l'edificio F40 in zone e ad ognuna di esse sono associate le relative stanze che ne fanno parte. In seguito, per ogni id SCADA di stanza relativo alla temperatura misurata, si effettua una query fino a che ci sono valori disponibili nella tabella *historian*. Ottenute le informazioni, si avvia un ciclo interno che comprende le seguenti operazioni:
 - a. calcolo del valore medio, in un'ora, della temperatura misurata per stanza;
 - b. calcolo del valore medio, in un'ora, della temperatura impostata per stanza;
 - c. calcolo della differenza tra le due medie di temperatura ottenute in precedenza;
 - d. esecuzione della fase di preprocessing (metodo *EvaluateP()*), in cui si calcola $P15_i$, con $i=1\dots n$ stanze della zona considerata, ovvero il valore della funzione sigmoide;
 - e. esecuzione della fase di situation assessment (metodo *EvaluateS()*), attraverso la quale, applicando le regole logiche definite precedentemente, si ottengono le situazioni S16 e S17;
 - f. esecuzione della fase di causes (metodo *EvaluateC()*), che tramite l'applicazione delle regole logiche definite precedentemente, permette di ottenere la causa C33: se il suo valore è maggiore di 0.5, su una scala da 0 a 1, allora è stata riscontrata un'anomalia. Per tale motivo, successivamente, si inseriscono i dati delle evidenze (P), delle situazioni (S) e della causa (C) rispettivamente nelle tabelle *historianp*, *historians*, *historianc* presenti sul server.
3. se non vi sono più valori da leggere, si salva data e ora dell'ultimo prelievamento dati per ogni identificativo SCADA;
4. si rimane in attesa per un arco temporale di 48h prima di riavviare la routine di servizio.

Calibrazione

La funzione gaussiana inerente la causa C33 è stata calibrata al fine di definire quale sia la differenza di temperatura equivalente della stanza tale da indicare un malfunzionamento del termostato. Per tale ragione si è deciso di impostare la funzione ponendo la media $m = 0$, a rappresentare la differenza di temperatura nulla, e la deviazione standard $s = 1$, per indicare che è sufficiente una piccola variazione positiva della temperatura misurata rispetto a quella di set-point per determinare una staratura. In fig. 24, infatti, si può vedere come, comparando il settaggio suddetto con uno simile, avente $m = 0$ e $s = 1.5$, si ha che, nel primo caso, la funzione assume valori superiori allo 0.5 già con una variazione di temperatura maggiore a 1°C.

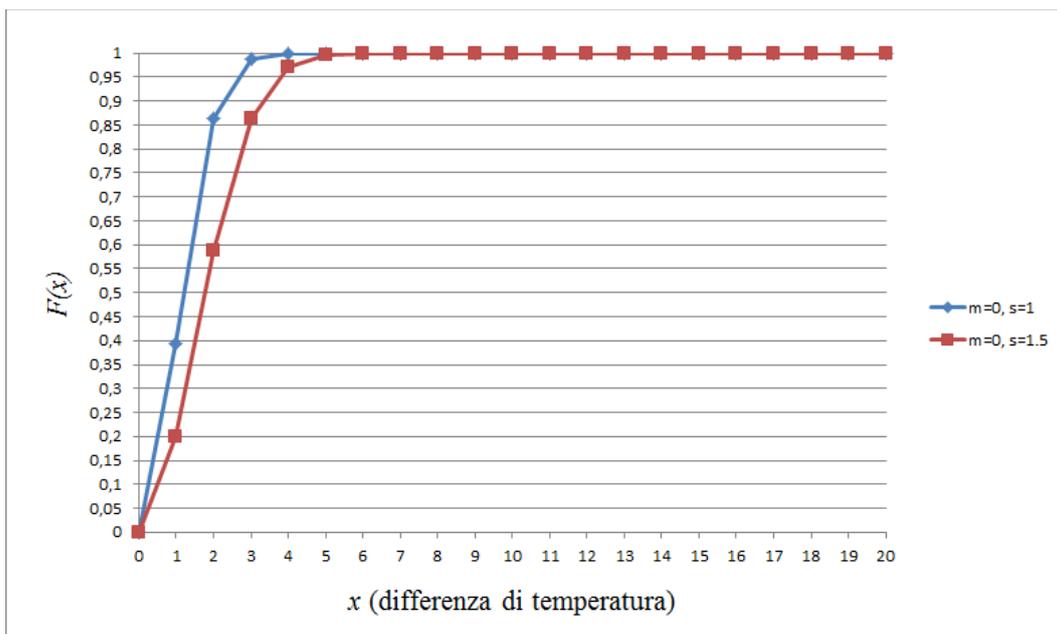


Figura 24- Curva gaussiana della differenza di temperatura

Analisi dei dati

Nel caso della regola in questione l’analisi si è basata non solo sull’osservazione del numero totale di anomalie riscontrate per l’edificio F40, ma anche sullo studio dei guasti o malfunzionamenti, in funzione dei piani e delle zone in cui si sono verificati. Inoltre, il periodo di riferimento utilizzato per la simulazione include i mesi di Giugno e Luglio 2015, trattandosi di una regola diagnostica relativa al periodo estivo. Si consideri inizialmente le fig. 25 , 26 e 27. Esse descrivono una situazione generale delle anomalie rilevate in riferimento staratura del termostato di stanza in periodo estivo.

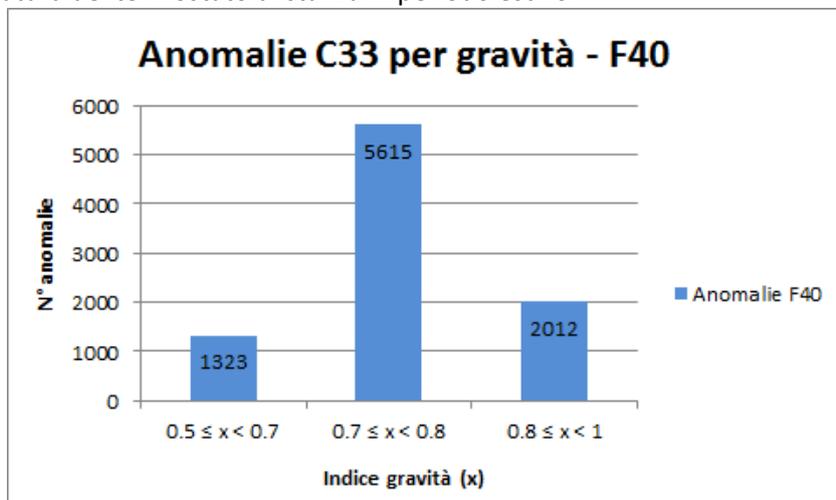


Figura 25 - Istogramma anomalie C33 per l’edificio F40 suddivise per gravità

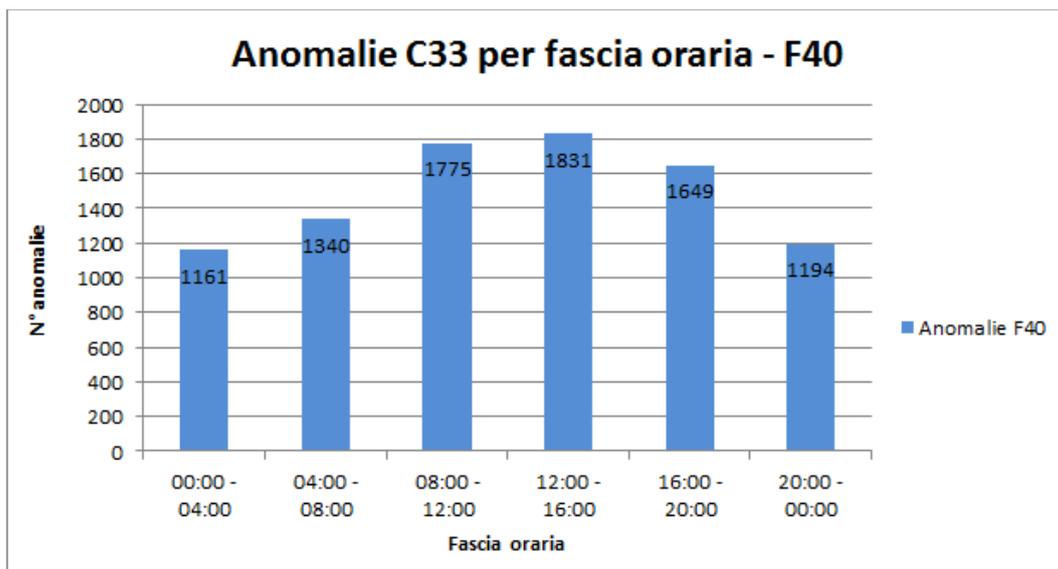


Figura 26- - Istogramma anomalie C33 per l'edificio F40 suddivise per fasce orarie

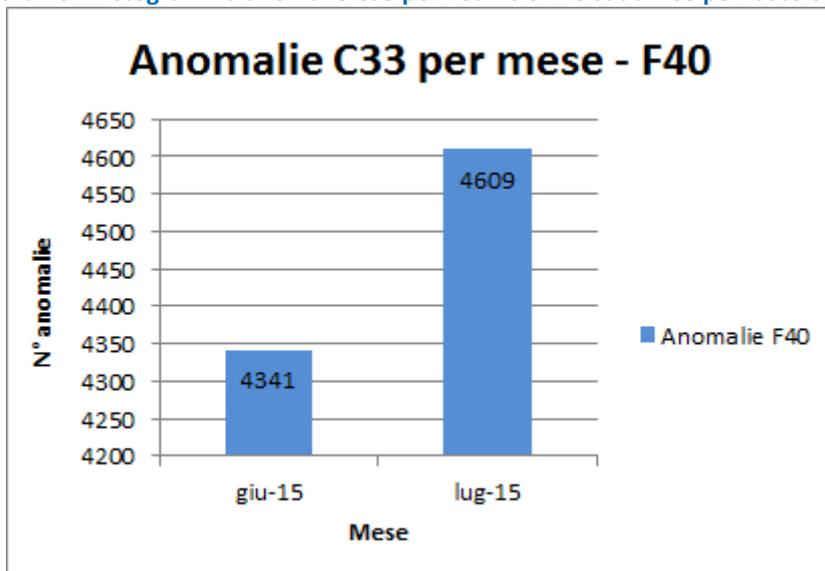


Figura 27- Istogramma anomalie C33 per l'edificio F40 suddivise per mese

Innanzitutto si può osservare che il numero di anomalie riscontrare nei due mesi è quasi equivalente, con un peggioramento nel mese di Luglio. Per quanto riguarda invece l'analisi relativa all'indice di gravità, se ne deduce che non vi sono anomalie gravi, ossia sono pochi i casi di zone i cui la temperatura di una o più stanza superi quella impostata. Tale considerazione tuttavia non può certo rendere trascurabile la presenza di più di 5000 anomalie di media entità, le quali mostrano effettivamente un malfunzionamento considerevole di alcuni termostati.

Considerando, invece, l'analisi delle anomalie per fasce orarie si constata un andamento prima crescente e poi decrescente nell'arco della giornata, con picchi significativi durante l'orario di lavoro. Ciò è diretta conseguenza della staratura del termostato, però concatenato ad altri fattori ambientali come irraggiamento solare attraverso le finestre e terrazzi, presenza di personale, emanazione di calore corporeo, ecc.

Come accennato in precedenza, si è provveduto, in seguito, ad eseguire uno studio sul numero di anomalie rilevate per piano con relative zone. Dalla fig.28 Si osserva che l'andamento delle anomalie ricalca quello generale dell'F40 per i tutti i piani. Tuttavia, si registra come il secondo piano, composto principalmente da uffici, riporti un numero di anomalie molto elevato, ad indicare la presenza di un numero maggiore di stanze per zona con termostati non funzionanti.

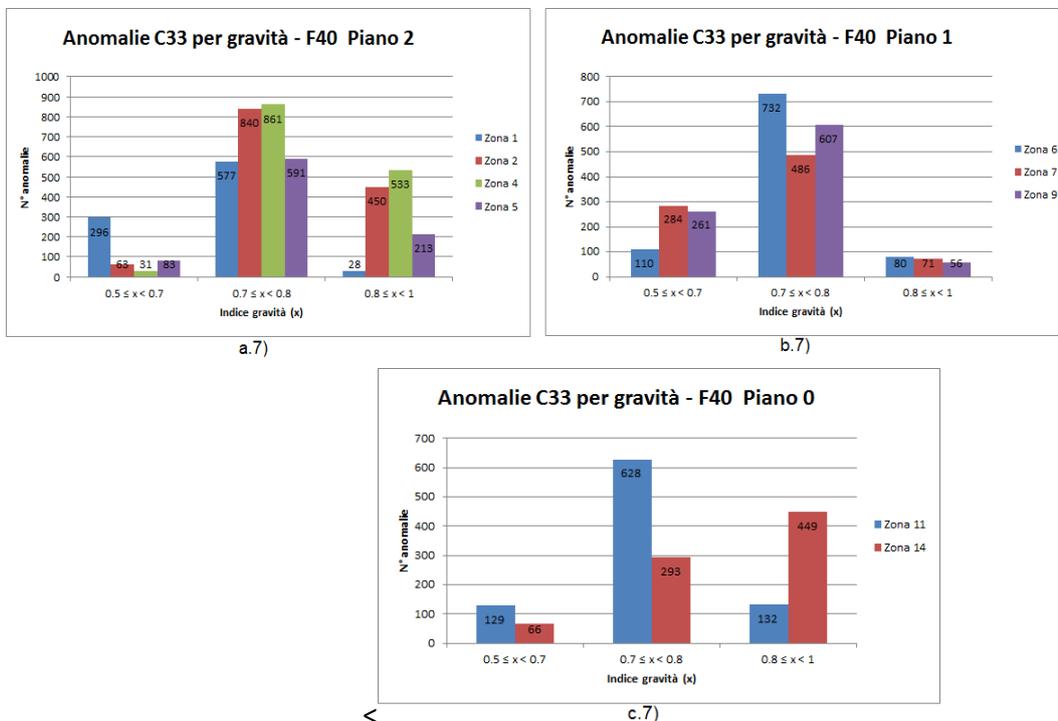


Figura 28- - Istogrammi anomalie C33 per ogni piano dell’F40 suddivise per gravità: a.7), b.7) e c.7)

Per maggior chiarezza, in fig. 29 è mostrato un grafico inerente al numero totale di anomalie suddivise per piano.

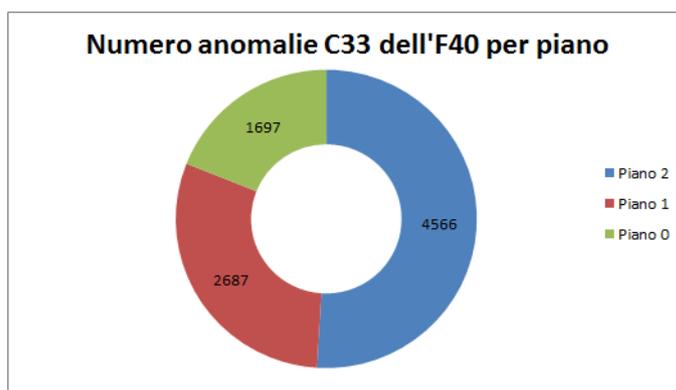
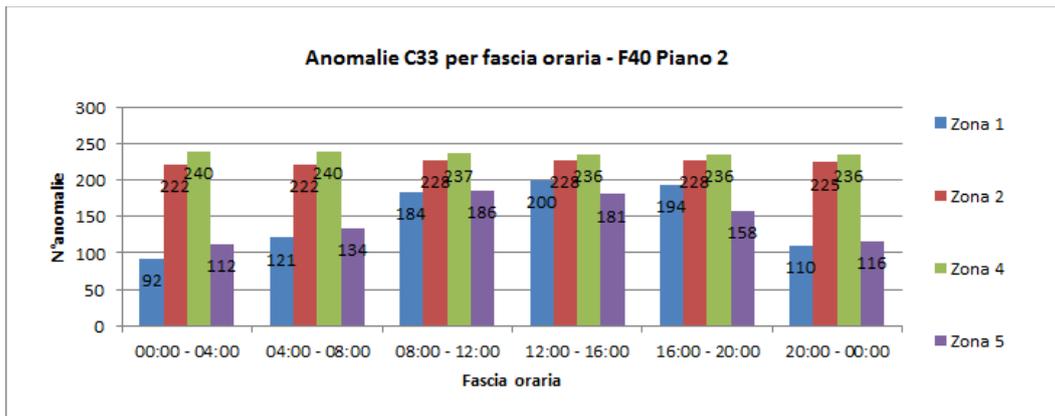
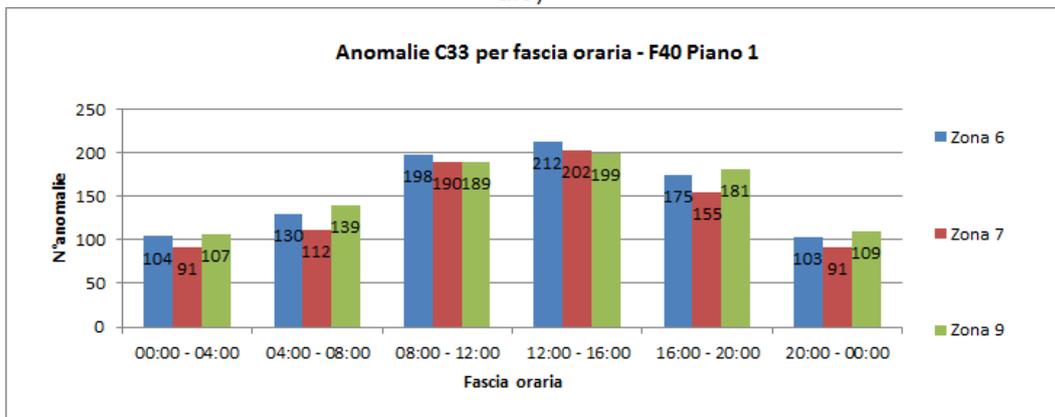


Figura 29- Grafico del numero di anomalie C33 per F40 suddivise per piano

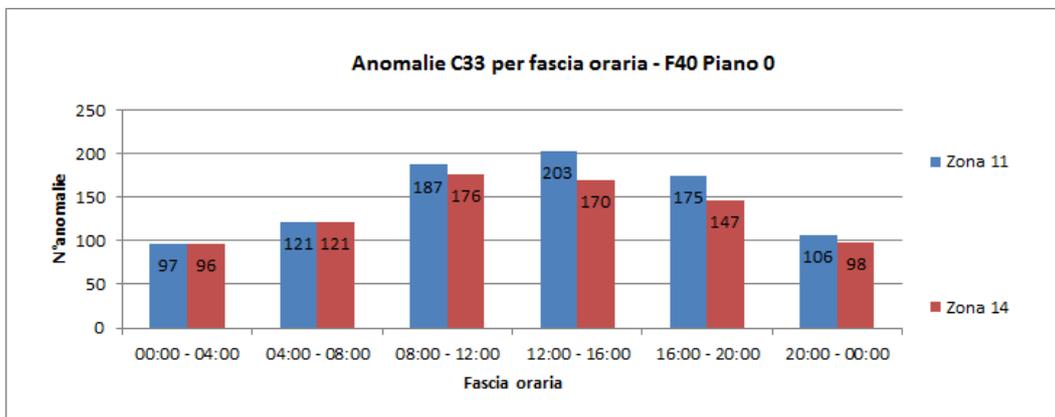
Analizzando il comportamento termico in riferimento alla fascia oraria, fig.30, si nota come per il piano 0 e 1 si abbia una generazione delle anomalie equivalente e prettamente durante l’orario di lavoro per tutte le zone che ne fanno parte. Invece, tale situazione è ben diversa al secondo piano in quanto nelle zone 2 e 4 non compare nessuna differenza in tutta la giornata, il numero di anomalie risulta essere quasi sempre lo stesso e non dipende in nessun modo dall’orario lavorativo.



a.8)



b.8)



c.8)

Figura 30 - Istogrammi anomalie C33 per ogni piano dell’F40 suddivise per fascia oraria: a.8), b.8) e c.8)

In fig. 31 è illustrata l’analisi delle anomalie per i mesi considerati. Si può notare che a Luglio vi è stato un incremento del numero di anomalie per il piano 2 e il piano 0, particolarmente in quest’ultimo nella zona in cui sono presenti gli uffici. Il primo piano invece è in controtendenza, anche se alcune zone presentano una quantità maggiore di anomalie.

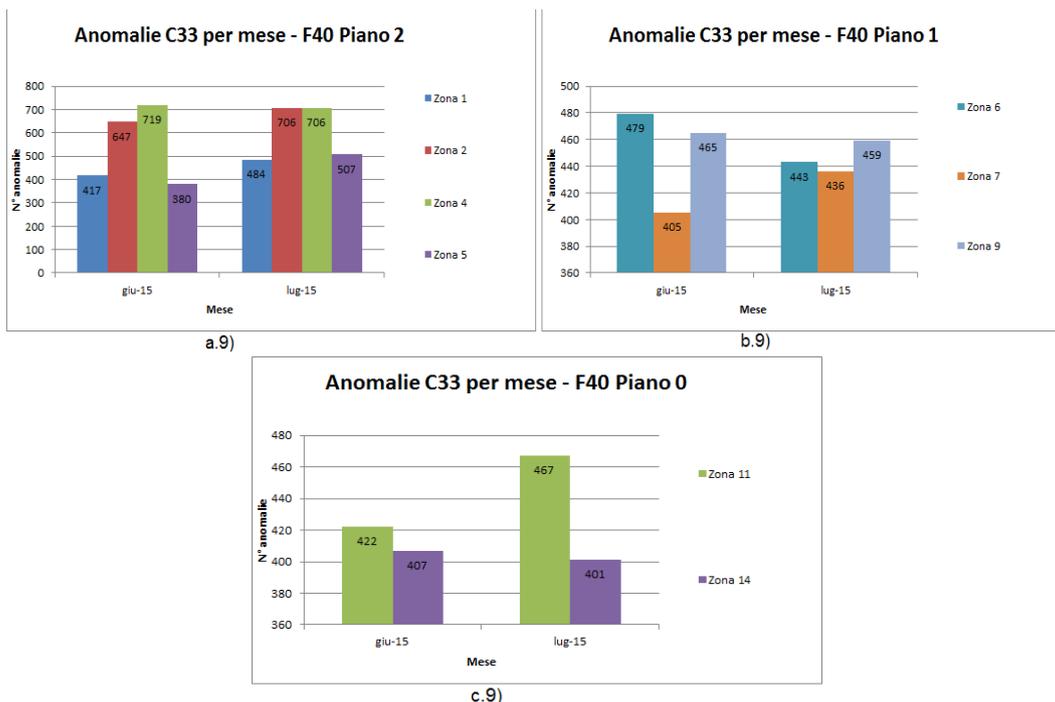


Figura 31 Istogrammi anomalie C33 per ogni piano dell’F40 suddivise per mese: a.9), b.9) e c.9)

2.1.5 Malfunzionamento del sistema di raffreddamento

La regola di diagnostica termica C34 è relativa ad una “anomalia dell’impianto di raffreddamento”. Tale causa avviene qualora, per una determinata zona, si rileva che in tutte le n stanze si ha una temperatura maggiore del set-point impostato.

La differenza di temperatura è ottenuta comparando quella di set-point di stanza impostata con quella effettivamente misurata.

Nell tabella seguente sono illustrate le variabili fuzzy di preprocessing utilizzate, valutate tramite specifiche membership function. Nel dettaglio:

la differenza di temperatura è espresso tramite gaussiana.

Tabella 5 Funzioni fuzzy dei preprocessing per la causa C34

Label	Significato	MembershipFunction	Parametri
P15_1, P15_2... P15_n	Differenza tra Set Point di stanza impostato e Temperatura Interna	$1 - e^{\left(\frac{-(x-m)^2}{2s^2}\right)}$	m = 0 s = 1

La situazione relativa a tale preprocessing è:

Tutte le stanze di una zona hanno una temperatura maggiore del set-point impostato:

$$S18 = (P15_1 \wedge P15_2 \wedge \dots \wedge P15_n)$$

La causa risultante è data:

$$C34 = S18$$

Implementazione

L'implementazione della regola in linguaggio Java, è stata realizzata considerando innanzitutto gli edifici dello Smart Village a cui poter applicare tale causa, ovvero l'edificio F40, con la relativa mappatura a 15 zone.

Anche in questo caso si sono individuati, nella tabella "scada", gli identificativi SCADA per tutte le stanze presenti nell'F40, relativamente alla temperatura di stanza impostata tramite set-point e alla temperatura interna misurata, entrambe inerenti il periodo estivo.

Ottenute tali informazioni, il funzionamento dell'applicativo è il seguente:

1. si stabilisce la connessione con il server in cui è contenuto il database "smarttowndb";
2. si esegue il metodo *ReadHistorian()*: si suddivide l'edificio F40 in zone e ad ognuna di esse sono associate le relative stanze che ne fanno parte. In seguito, per ogni id SCADA di stanza relativo alla temperatura misurata, si effettua una query fino a che ci sono valori disponibili nella tabella *historian*. Ottenute le informazioni, si avvia un ciclo interno che comprende le seguenti operazioni:
 - a. calcolo del valore medio, in un'ora, della temperatura misurata per stanza;
 - b. calcolo del valore medio, in un'ora, della temperatura impostata per stanza;
 - c. calcolo della differenza tra le due medie di temperatura ottenute in precedenza;
 - d. esecuzione della fase di preprocessing (metodo *EvaluateP()*), in cui si calcola $P15_i$, con $i=1...n$ stanze della zona considerata, ovvero il valore della funzione sigmoide;
 - e. esecuzione della fase di situation assessment (metodo *EvaluateS()*), attraverso la quale, applicando le regole logiche definite precedentemente, si ottiene la situazione S18;
 - f. esecuzione della fase di causes (metodo *EvaluateC()*), che tramite l'applicazione delle regole logiche definite precedentemente, permette di ottenere la causa C34: se il suo valore è maggiore di 0.5, su una scala da 0 a 1, allora è stata riscontrata un'anomalia. Per tale motivo, successivamente, si inseriscono i dati delle evidenze (P), delle situazioni (S) e della causa (C) rispettivamente nelle tabelle *historianp*, *historians*, *historianc* presenti sul server.
3. se non vi sono più valori da leggere, si salva data e ora dell'ultimo prelievamento dati per ogni identificativo SCADA;
4. si rimane in attesa per un arco temporale di 48h prima di riavviare la routine di servizio.

La calibrazione della funzione gaussiana della regola diagnostica C34 si è basata sulle stesse considerazioni fatte per quella della causa precedente, ovvero C33. Si è posto, quindi, media e deviazione standard rispettivamente a $m = 0$ e $s = 1$.

Analisi dei dati

La simulazione della causa C34 ha permesso di rilevare i seguenti risultati:

per quanto concerne l'analisi generale dell'F40, si è riscontrato un aumento significativo delle anomalie con gravità superiore al valore 0.8, tale da far pensare ad un malfunzionamento grave dell'impianto di raffrescamento. Tale situazione è riscontrabile anche nello studio distribuito sulle fasce orarie, che segue il classico andamento rilevato anche per la causa C33, ma presenta un numero di comportamenti atipici superiore anche fuori dall'orario di lavoro.

L'analisi per mese ha permesso di diagnosticare un evidente aumento delle rilevazioni anomale nel mese di luglio, provocato indirettamente dalle alte temperature registrate.

Quanto detto è osservabile nelle fig. 32, 33 e 34.

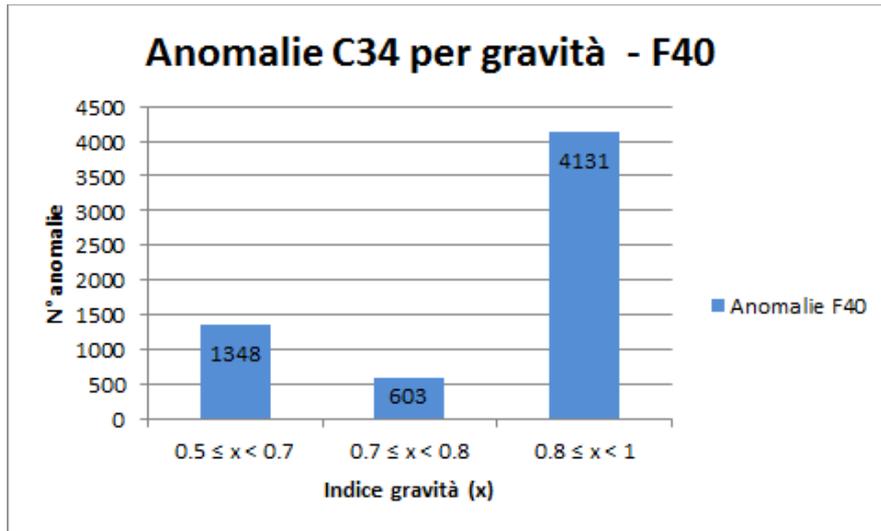


Figura 32 Istogramma anomalie C34 per l'edificio F40 suddivise per gravità

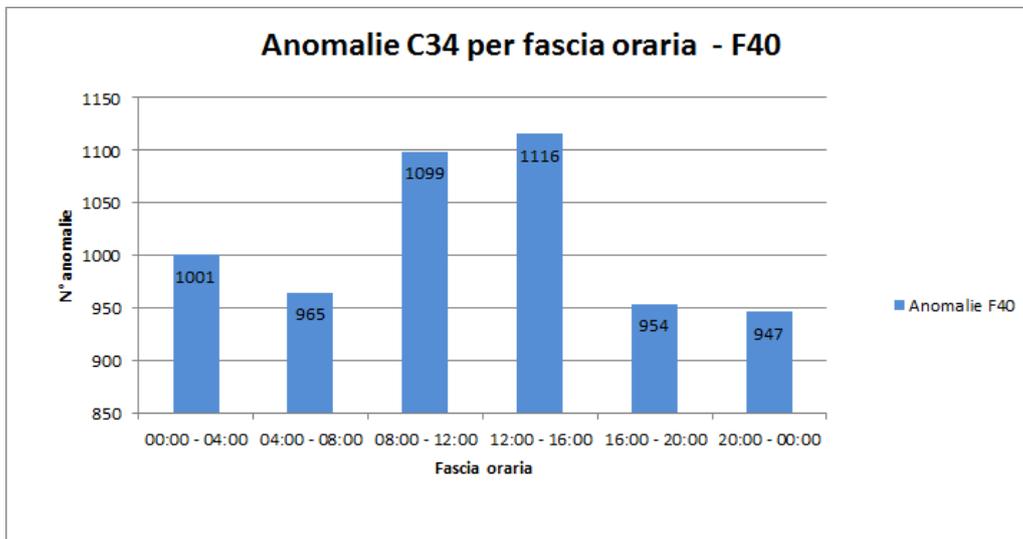


Figura 33 - - Istogramma anomalie C34 per l'edificio F40 suddivise per fasce orarie

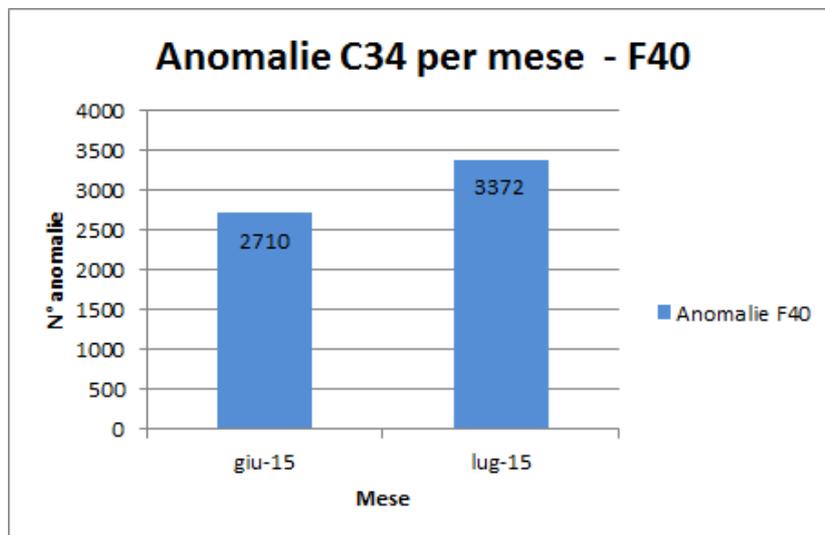


Figura 34 - Istogramma anomalie C34 per l'edificio F40 suddivise per mese

analizzando nel dettaglio la rilevazione delle anomalie in base alla ripartizione in piani e alle relative zone termiche, fig. 35, si è osservato come tale condizione rispecchi ovviamente quella generale dell'edificio, presentando un elevato numero di irregolarità molto gravi, .

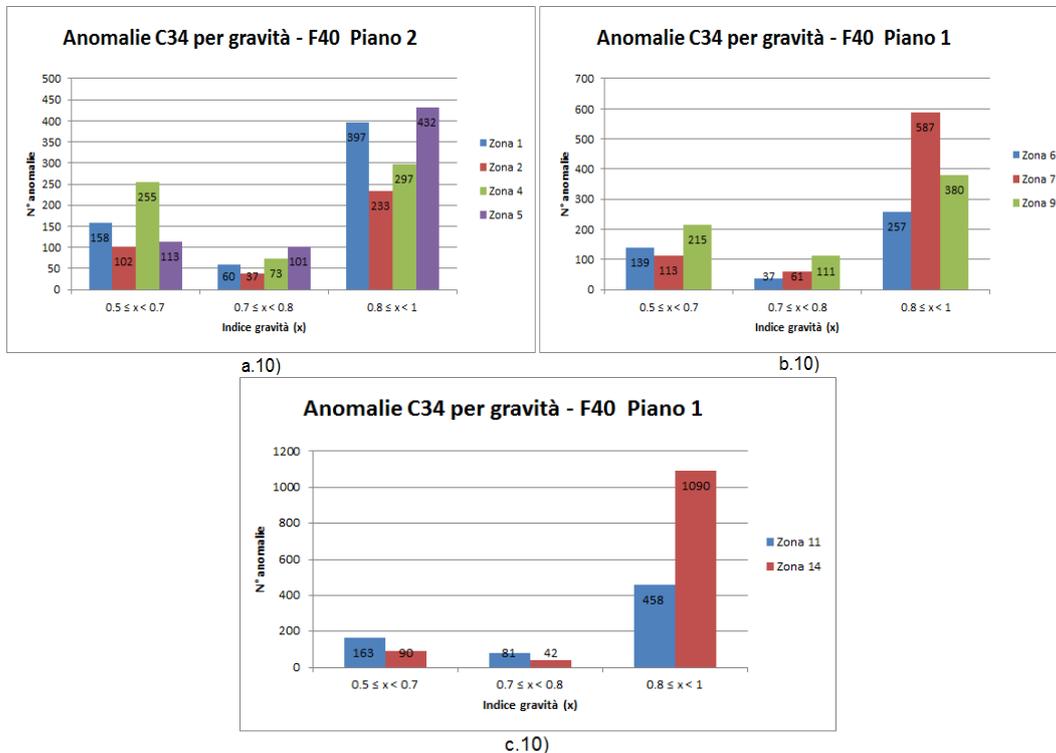


Figura 35 Istogrammi anomalie C34 per ogni piano dell'F40 suddivise per gravità: a.10), b.10) e c.10)

Si può quindi affermare che vi è un susseguirsi di situazione di malfunzionamenti dell'impianto di raffrescamento in tutti i piani dell'edificio, specialmente al piano 0. Tale risultato è maggiormente visibile osservando la fig. 6.46 in cui è mostrata proprio la ripartizione del numero di anomali per piano.

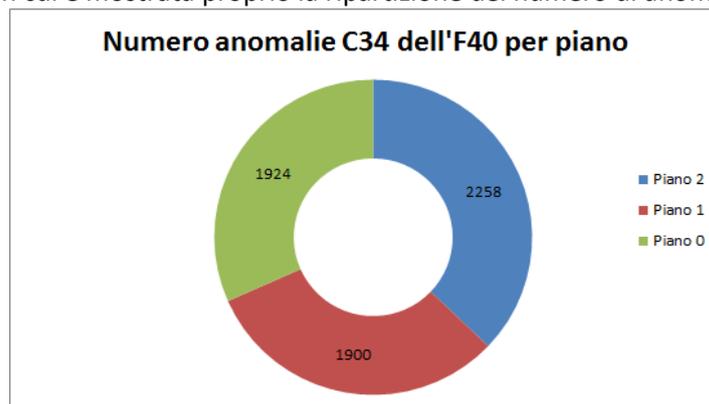
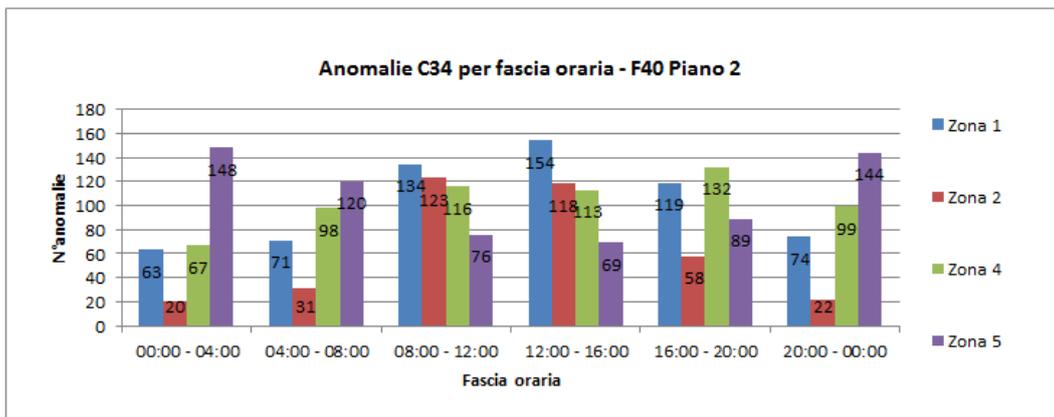
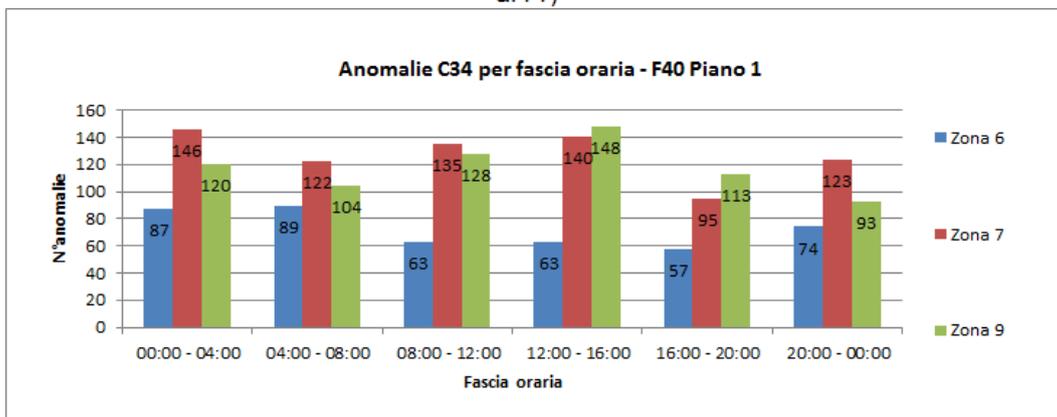


Figura 36 - Grafico del numero di anomalie C34 per F40 suddivise per piano

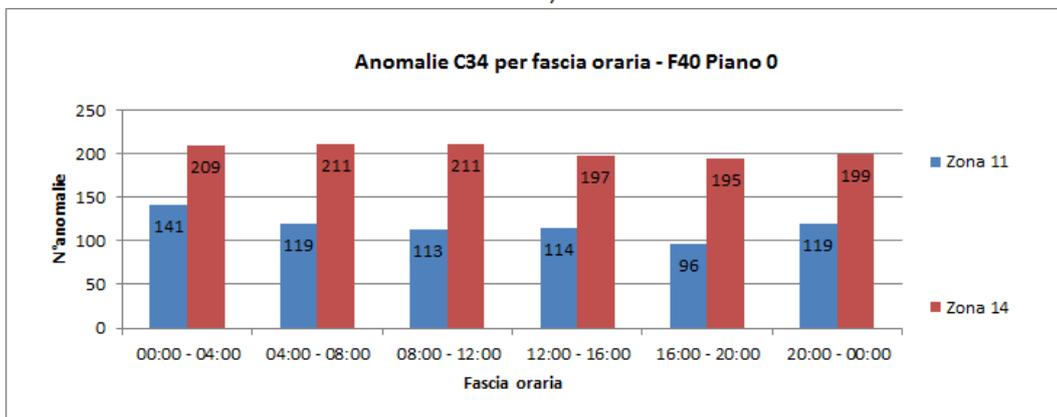
Esaminando, invece, la ripartizione delle anomalie per fascia oraria si nota come ai piani 0 e 1 si abbia un andamento simile delle relative zone che non tiene conto in nessun modo dell'orario di lavoro. Ogni ora il sistema fornisce la stessa quantità di energia, senza seguire una logica precisa. Nel caso invece del secondo piano si osserva che il numero di anomalie aumenta e diminuisce in concomitanza dell'inizio e della fine della giornata lavorativa soltanto per le zone 1, 2 e 4, mentre presenta uno sviluppo inverso per la sola zona 5, che non dovrebbe esserci. Tale situazione è deducibile dalla fig.37.



a.11)



b.11)



c.11)

Figura 37 - Istogrammi anomalie C34 per ogni piano dell’F40 suddivise per fascia oraria: a.11), b.11) e c.11)

Per quanto riguarda l’analisi delle anomalie per mese, si riscontra la stessa situazione osservata nella causa precedente C33, ossia un aumento del numero di singolarità dell’impianto di raffreddamento nel mese di Luglio soprattutto ai piani 0 e 1.

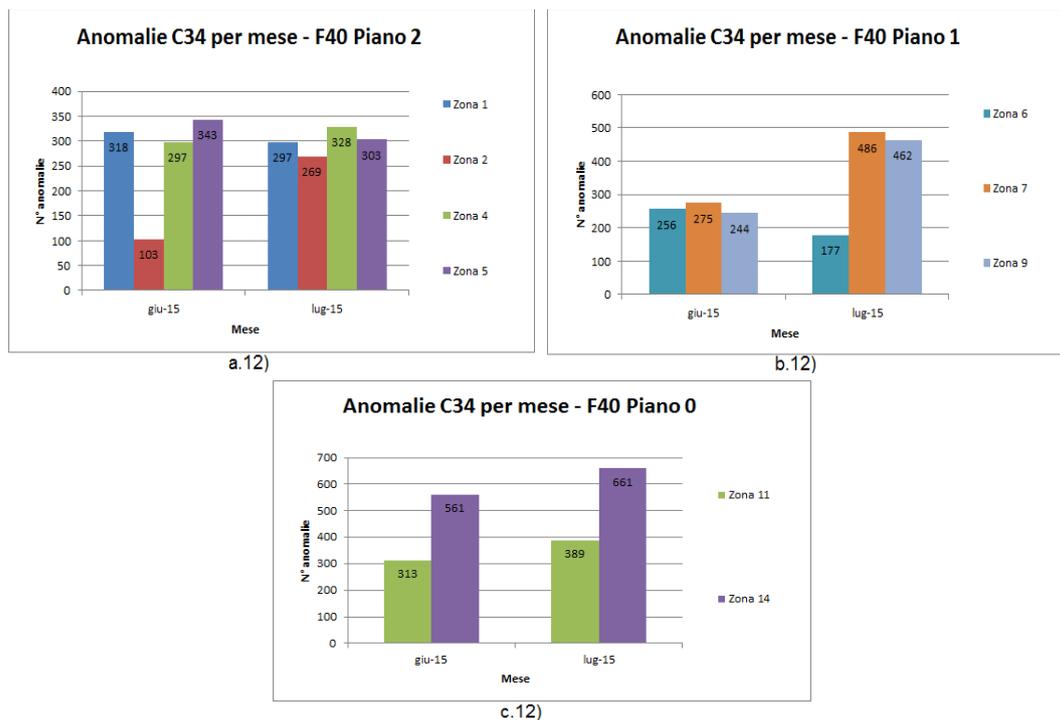


Figura 38- Istogrammi anomalie C34 per ogni piano dell’F40 suddivise per mese: a.12), b.12) e c.12)

In relazione alla regole diagnostiche C33 e C34 si deve considerare, inoltre, che la differenza di temperatura tra imposta e misurata dipende non solo dal sistema di isolamento termico ma anche dall’impianto di tubazioni realizzato per il raffrescamento. Nel caso specifico, infatti, è necessario osservare che, essendo l’F40 composto da tre piani, risulta evidente che ha al piano terra ci sarà una temperatura reale più vicina al quella di set-point. Ciò è spiegabile considerando che il fluido freddo, nel suo tragitto verso i piani superiori, avrà un aumento, anche se lieve, della sua temperatura che genererà ovviamente un differenza di temperatura non in linea con quella presente negli altri piani.

2.2 *Sperimentazione della diagnostica elettrica ad una rete di edifici (ENEA - Politecnico di Torino)*

Nella presente attività i modelli diagnostici elettrici (luce e condizionamento) sviluppati nelle precedenti annualità (RdS/2013/119 , RdS/PAR2013/060 e RdS/PAR2013/061) sono stati estesi alla rete di edifici attraverso un’attenta attività di calibrazione dei modelli stessi e quindi è stata fatta attività di sperimentazione sul caso reale.

Il primo step dell’attività è consistito nell’ampliare gli applicativi Java precedentemente sviluppati per l’edificio F40 in modo da elaborare i dati di consumo elettrico (illuminazione e fancoil) e di presenza dei tre piani dell’edificio F40 e delle otto palazzine del cluster (ad un solo piano) ai fini dell’analisi diagnostica. In una seconda fase, l’efficacia dei modelli diagnostici sviluppati nelle precedenti annualità (RdS/2013/119 , RdS/PAR2013/060 e RdS/PAR2013/061) è stata testata su periodi di tempo man mano più ampi. Opportune modifiche agli stessi modelli sono state apportate al fine di ridurre il numero di “falsi positivi” di anomalie rilevate. Quindi sono state analizzate le seguenti cause :

- C13a: Luci accese in assenza di persone
- C27: Fancoil accesi in assenza di persone

Tutti i parametri dei modelli diagnostici sono stati calibrati, considerando le caratteristiche dei dati e del comportamento di ogni edificio (es. i dati di consumo elettrico dell’edificio F40 espressi in kiloWatt, quelli della rete di edifici in Watt). Come illustrato in Figura 1, sono stati innanzitutto calibrati i parametri relativi

al metodo "Peak Detection", già introdotto nelle precedenti annualità (RdS/2013/119 , RdS/PAR2013/060 e RdS/PAR2013/061), ed inseriti in DB.

Dopo averne verificato l'efficacia, si è passati alla fase di sperimentazione dei modelli diagnostici. Il periodo di sperimentazione inizia il 26 Gennaio 2013 per l'edificio F40 e il 1 Aprile 2013 per la rete di edifici (date in cui iniziano, rispettivamente, i periodi di acquisizione dei dati) e termina a Giugno 2015.

Di seguito i risultati sperimentali per l'edificio F40 ed il cluster di 8 edifici F66-F73

2.3 Attività 1: Calibrazione ed implementazione dei modelli di preprocessing sulla rete di edifici "smartvillage"

Nella presente attività i modelli diagnostici dei consumi elettrici (luce e condizionamento) sviluppati nelle precedenti annualità (RdS/2013/119 , RdS/PAR2013/060 e RdS/PAR2013/061) per l'edificio F40 sono stati estesi al cluster di edifici "Smart Village" attraverso un'attenta fase di implementazione e calibrazione dei modelli stessi, seguita da una fase di sperimentazione sul caso reale.

Il primo step dell'attività è consistito nell'ampliare gli applicativi Java precedentemente sviluppati per l'edificio F40 in modo da elaborare i dati di consumo elettrico (illuminazione e fancoil) e di presenza dei tre piani dell'edificio F40 e delle otto palazzine del cluster (ad un solo piano) ai fini dell'analisi diagnostica. Gli applicativi Java leggono tali dati dal database "smarttowndb" in cui confluiscono tutte le informazioni acquisite dai diversi sistemi di monitoraggio distribuiti nel Centro ENEA e descritti nelle precedenti annualità (RdS/2012/ 229 e RdS/2013/121). Nel caso dell'edificio F40 il timestamp di acquisizione ed analisi dei dati è 10 minuti, nel caso del cluster di edifici 15 minuti. I profili di presenza sono ricavati dalla lettura dei badge dei dipendenti (ingresso/uscita dal centro e mensa) associati agli edifici di interesse.

In una seconda fase, l'efficacia dei modelli diagnostici sviluppati nelle precedenti annualità (RdS/2013/119 , RdS/PAR2013/060 e RdS/PAR2013/061) è stata testata su periodi di tempo man mano più ampi. Opportune modifiche agli stessi modelli sono state apportate al fine di ridurre il numero di "falsi positivi" di anomalie rilevate, "luci accese in assenza di persone" e "fancoil accesi in assenza di persone". Il calcolo degli indici diagnostici corrispondenti alle anomalie è basato sulla logica fuzzy applicata agli indici *S-function*, *MZ-score* dei picchi di consumo elettrico di illuminazione e dei fancoil individuati dal metodo "PeakDetection", e al dato normalizzato di presenza dell'edificio di interesse. Tale calcolo si compone dei tre step concettuali cause (C) – situation assessment (S) – preprocessing (P) già descritti nelle annualità precedenti (RdS/2013/119 , RdS/PAR2013/060 e RdS/PAR2013/061). Il valore degli indici diagnostici varia tra 0 e 1 a seconda che la gravità dell'anomalia sia, rispettivamente, minima o massima. Le formulazioni dei modelli diagnostici infine adottate sono riportate di seguito.

Anomalia C13a: Luci accese in assenza di persone

$$C13a = S1a \text{ AND NOT } P24c = \text{MIN}(S1a, 1-P24c)$$

Situation S1a: Consumo elettrico luci elevato (coincide con il preprocessing P1a)

$$S1a = P1a$$

$$P1a = \text{FuzzySet}(S\text{-function}) \text{ AND } \text{FuzzySet}(MZ\text{-score}) = \text{MIN}(\text{FuzzySet}(S\text{-function}), \text{FuzzySet}(MZ\text{-score}))$$

I Fuzzy Set applicati agli indici *S-function*, *MZ-score* sono funzioni sigmoidali:

$$\text{sigm}(S\text{function}) = \frac{1}{1 + e^{\left(-\frac{(S\text{function}-c)}{t}\right)}}$$

$$\text{sigm}(MZscore) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{(|MZscore|-c)}{t}}}$$

dove c e t sono i parametri della funzione sigmoide, specifici per ogni edificio.

PreprocessingP24c: valore normalizzato di presenza di piano dell'edificio

$P24c = (\text{presenze reali}) / (\text{presenze massime})$

Anomalia C27: Fancoil accesi in assenza di persone

C27 = S2a AND NOT P24c = MIN(S2a, 1-P24c)

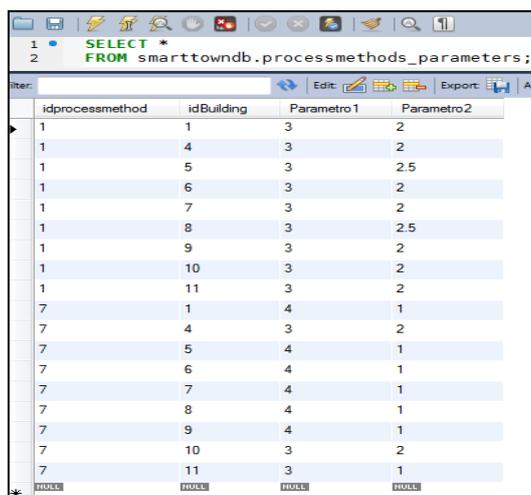
Situation S2a: Consumo elettrico fancoil elevato (coincide con il preprocessingP61)

S2a = P61

P61 = FuzzySet(*S-function*) AND FuzzySet(*MZ-score*) = MIN(FuzzySet(*S-function*), FuzzySet(*MZ-score*))

I Fuzzy Set applicati agli indici *S-function*, *MZ-score* sono, come nel caso precedente, funzioni sigmoidali. Il Preprocessing P24c, relativo alle presenze, è identico al caso precedente.

Successivamente, i parametri dei modelli diagnostici sono stati calibrati, considerando le caratteristiche dei dati e del comportamento di ogni edificio (es. i dati di consumo elettrico dell'edificio F40 espressi in kiloWatt, quelli della rete di edifici in Watt). Come illustrato in Figura 39, sono stati innanzitutto calibrati i parametri relativi al metodo "PeakDetection", già introdotto nelle precedenti annualità (RdS/2013/119 , RdS/PAR2013/060 e RdS/PAR2013/061), ed inseriti nella Tabella "processmethods_parameters" del database. Il metodo "PeakDetection" permette di individuare i picchi di consumo rispetto ai valori di consumo vicini (definiti dal Parametro 1 della Tabella "processmethods_parameters") e al contesto globale di una serie di dati di consumo di un'intera giornata (definito attraverso il Parametro 2). Tali parametri sono definiti sia per il consumo delle luci (idprocessmethod 1) sia per il consumo elettrico dei fancoil (idprocessmethod 7) per ogni edificio.



idprocessmethod	idBuilding	Parametro1	Parametro2
1	1	3	2
1	4	3	2
1	5	3	2.5
1	6	3	2
1	7	3	2
1	8	3	2.5
1	9	3	2
1	10	3	2
1	11	3	2
7	1	4	1
7	4	3	2
7	5	4	1
7	6	4	1
7	7	4	1
7	8	4	1
7	9	4	1
7	10	3	2
7	11	3	1

Figura 39 - Tabella processmethods_parameters: definizione dei parametri relativi al metodo "PeakDetection"

Comedescritto nelle precedenti annualità (RdS/2013/119 , RdS/PAR2013/060 e RdS/PAR2013/061), il metodo “PeakDetection” caratterizza i picchi di consumo potenzialmente anomali attraverso due indici: *S-function* e *MZ-score*. Nella tabella “preprocessing” del database, illustrata in Figura 40, vengono inseriti questi indici. il campo “idProcessingMethod” caratterizza gli indici in base all’uso finale di consumo (luci e fancoil in questo caso), il campo “idScada” identifica la specifica voce di consumo di ogni edificio.

idPreprocessing	Floor	idScada	idProcessingMethod	Timestamp	Value	processed
300084	1	167	1	2014-01-26 14:00:00	0.03	1
300085	1	167	2	2014-01-26 14:00:00	1.36382579858231	1
300134	1000	700	4	2014-01-26 14:00:00	14	0
300070	0	154	1	2014-01-26 14:00:00	0.04	1
300071	0	154	2	2014-01-26 14:10:00	1.98156955872759	1
300098	2	268	1	2014-01-26 14:10:00	0.065000000000	1
300099	2	268	2	2014-01-26 14:10:00	1.79234112048046	1
300127	1000	700	4	2014-01-26 14:10:00	14.1666666666667	0
158428	0	505	7	2014-01-26 14:30:00	53.320007324219	1
158429	0	505	8	2014-01-26 14:30:00	1.41673890469713	1
162944	1000	700	4	2014-01-26 14:30:00	14.5	0
158515	0	540	7	2014-01-26 14:45:00	33.3399963378905	1
158516	0	540	8	2014-01-26 14:45:00	1.90756649810659	1
158570	0	600	7	2014-01-26 14:45:00	10.01398230957	1
158571	0	600	8	2014-01-26 14:45:00	0.357054520126	1
159786	1000	700	4	2014-01-26 14:45:00	14.75	0
158466	0	521	7	2014-01-26 15:00:00	10	1
158467	0	521	8	2014-01-26 15:00:00	0.869274770139	1
158551	0	580	7	2014-01-26 15:00:00	16.6600036621095	1
158552	0	580	8	2014-01-26 15:00:00	-0.266331224037	1
159173	1000	700	4	2014-01-26 15:00:00	15	0
158572	0	600	7	2014-01-26 15:15:00	10.01398230957	1
158573	0	600	8	2014-01-26 15:15:00	0.357054520126	1
161634	1000	700	4	2014-01-26 15:15:00	15.25	0
300072	0	154	1	2014-01-26 15:40:00	0.035	1
300073	0	154	2	2014-01-26 15:40:00	0.835104756799	1
300128	1000	700	4	2014-01-26 15:40:00	15.6666666666667	0
300100	2	268	1	2014-01-26 15:50:00	0.095	1
300101	2	268	2	2014-01-26 15:50:00	0.754019367926	1
300142	1000	700	4	2014-01-26 15:50:00	16.8333333333333	0

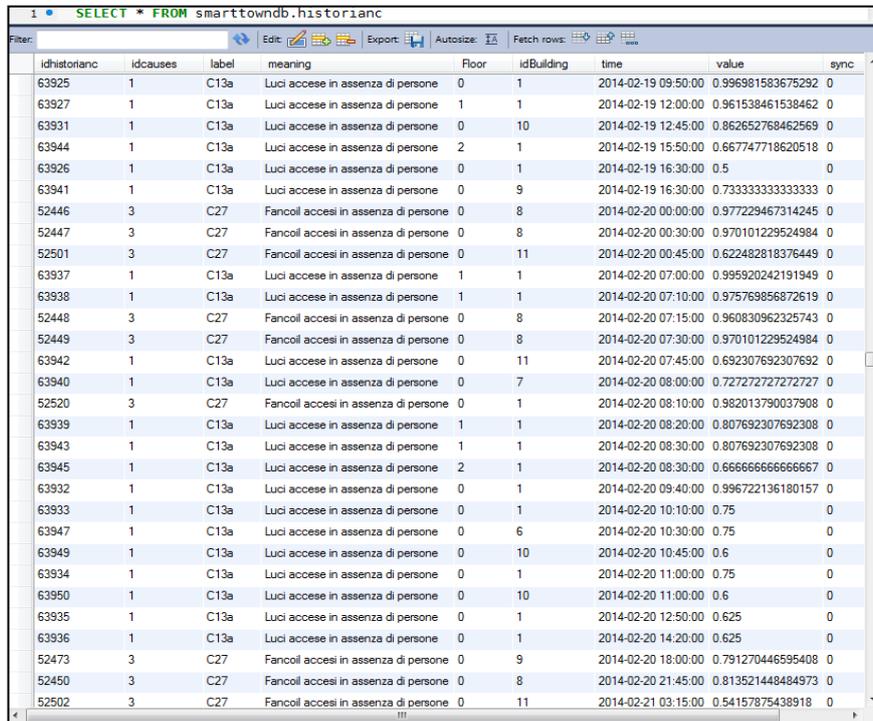
Figura 40 - Tabella preprocessing

La seconda parte della calibrazione riguarda i parametri dei fuzzyset. Una volta individuati, tali parametri sono stati inseriti all’interno della tabella “fuzzysset” del database(Figura 41).Come descritto nella definizione dei modelli diagnostici, i fuzzysset sono applicati ai dati di partenza (indici *S-function* e *MZ-score* dei picchi di consumo potenzialmente anomali) in modo da completare, insieme alla normalizzazione dei dati di presenza, la fase di preprocessing di ogni edificio.

idFuzzySet	Name	Type	Building	Parametro 1	Parametro 2	Parametro 3	Parametro 4
1	PeakSfunct	1	1	0.08	0.1	NULL	NULL
2	PeakMZSCSeem	1	1	2	0.2	NULL	NULL
5	PeakSfunct_Fancoil	1	1	0.05	0.01	NULL	NULL
6	PeakMZSCSeem_Fancoil	1	1	2	1	NULL	NULL
7	PeakSfunct	1	6	100	200	NULL	NULL
8	PeakMZSCSeem	1	6	1.5	0.5	NULL	NULL
10	PeakSfunct	1	4	100	200	NULL	NULL
11	PeakMZSCSeem	1	4	1.5	0.5	NULL	NULL
13	PeakSfunct	1	5	100	200	NULL	NULL
14	PeakMZSCSeem	1	5	1.5	0.5	NULL	NULL
16	PeakSfunct	1	7	500	200	NULL	NULL
17	PeakMZSCSeem	1	7	2	0.5	NULL	NULL
19	PeakSfunct	1	8	500	200	NULL	NULL
20	PeakMZSCSeem	1	8	2.5	0.7	NULL	NULL
22	PeakSfunct	1	9	150	100	NULL	NULL
23	PeakMZSCSeem	1	9	0.5	0.5	NULL	NULL
25	PeakSfunct	1	10	200	200	NULL	NULL
26	PeakMZSCSeem	1	10	1.8	0.5	NULL	NULL
28	PeakSfunct	1	11	700	200	NULL	NULL
29	PeakMZSCSeem	1	11	1.8	0.5	NULL	NULL
31	PeakSfunct_Fancoil	1	4	20	50	NULL	NULL
32	PeakMZSCSeem_Fancoil	1	4	0.5	0.2	NULL	NULL
33	PeakSfunct_Fancoil	1	5	20	50	NULL	NULL
34	PeakMZSCSeem_Fancoil	1	5	0.5	0.2	NULL	NULL
35	PeakSfunct_Fancoil	1	6	20	20	NULL	NULL
36	PeakMZSCSeem_Fancoil	1	6	0.5	0.2	NULL	NULL
37	PeakSfunct_Fancoil	1	7	20	20	NULL	NULL
38	PeakMZSCSeem_Fancoil	1	7	0.5	0.2	NULL	NULL
39	PeakSfunct_Fancoil	1	8	20	20	NULL	NULL
40	PeakMZSCSeem_Fancoil	1	8	0.8	0.2	NULL	NULL
41	PeakSfunct_Fancoil	1	9	20	20	NULL	NULL
42	PeakMZSCSeem_Fancoil	1	9	0.8	0.2	NULL	NULL

Figura 41 – Tabella fuzzysset: definizione dei parametri relativi ai fuzzysset

In seguito alla fase di preprocessing, gli applicativi Java sviluppati procedono con le fasi di situation assessment e calcolo degli indici diagnostici collegati alle due cause esaminate. Un indice diagnostico con valore uguale o maggiore a 0.5 indica un’anomalia effettiva: in questo caso i valori di causa, situation e preprocessing vengono inseriti, rispettivamente, nelle tabelle “historianc” (Figura 42), “historians” e “historianp” del database.



idhistorianc	idcauses	label	meaning	Floor	idBuilding	time	value	sync
63925	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	0	1	2014-02-19 09:50:00	0.996981583675292	0
63927	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	1	1	2014-02-19 12:00:00	0.961538461538462	0
63931	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	0	10	2014-02-19 12:45:00	0.862652768462569	0
63944	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	2	1	2014-02-19 15:50:00	0.657747718620518	0
63926	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	0	1	2014-02-19 16:30:00	0.5	0
63941	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	0	9	2014-02-19 16:30:00	0.733333333333333	0
52446	3	C27	Fancoil accesi in assenza di persone	0	8	2014-02-20 00:00:00	0.977229467314245	0
52447	3	C27	Fancoil accesi in assenza di persone	0	8	2014-02-20 00:30:00	0.970101229524984	0
52501	3	C27	Fancoil accesi in assenza di persone	0	11	2014-02-20 00:45:00	0.622482818376449	0
63937	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	1	1	2014-02-20 07:00:00	0.995920242191949	0
63938	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	1	1	2014-02-20 07:10:00	0.975769856872619	0
52448	3	C27	Fancoil accesi in assenza di persone	0	8	2014-02-20 07:15:00	0.960830962325743	0
52449	3	C27	Fancoil accesi in assenza di persone	0	8	2014-02-20 07:30:00	0.970101229524984	0
63942	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	0	11	2014-02-20 07:45:00	0.692307692307692	0
63940	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	0	7	2014-02-20 08:00:00	0.727272727272727	0
52520	3	C27	Fancoil accesi in assenza di persone	0	1	2014-02-20 08:10:00	0.982013790037908	0
63939	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	1	1	2014-02-20 08:20:00	0.807692307692308	0
63943	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	1	1	2014-02-20 08:30:00	0.807692307692308	0
63945	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	2	1	2014-02-20 08:30:00	0.666666666666667	0
63932	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	0	1	2014-02-20 09:40:00	0.996722136180157	0
63933	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	0	1	2014-02-20 10:10:00	0.75	0
63947	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	0	6	2014-02-20 10:30:00	0.75	0
63949	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	0	10	2014-02-20 10:45:00	0.6	0
63934	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	0	1	2014-02-20 11:00:00	0.75	0
63950	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	0	10	2014-02-20 11:00:00	0.6	0
63935	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	0	1	2014-02-20 12:50:00	0.625	0
63936	1	C13a	Luci accese in assenza di persone	0	1	2014-02-20 14:20:00	0.625	0
52473	3	C27	Fancoil accesi in assenza di persone	0	9	2014-02-20 18:00:00	0.791270446595408	0
52450	3	C27	Fancoil accesi in assenza di persone	0	8	2014-02-20 21:45:00	0.813521448484973	0
52502	3	C27	Fancoil accesi in assenza di persone	0	11	2014-02-21 03:15:00	0.54157875438918	0

Figura 42 - Tabella "historianc" del database "smarttowndb"

Dopo averne verificato la validità, si è passato alla fase di sperimentazione dei modelli diagnostici. Il periodo di sperimentazione parte dal 26 Gennaio 2013 per l’edificio F40 e dal 1 Aprile 2013 per la rete di edifici (date in cui iniziano, rispettivamente, i periodi di acquisizione dei dati) e prosegue tuttora. Per l’edificio F40, tuttavia, sono stati riscontrati e risolti dei problemi nell’acquisizione delle misure elettriche nel mese di Luglio 2014, quindi i valori dei consumi di luci e fancoil risultano attendibili solo a partire da quel periodo.

Per ogni edificio le analisi delle anomalie presenti nella tabella “historianc” sono consistite nella loro distribuzione per anno, per mese, per fasce orarie e per gravità.

Le figure seguenti illustrano i risultati ottenuti nel caso della distribuzione per fasce orarie delle anomalie “Fancoil accesi in assenza di persone” e “Luci accese in assenza di persone” per il cluster di edifici (Figura 43 e Figura 45) e per l’edificio F40 (**Errore. L’origine riferimento non è stata trovata.** e Figura 46) nel corso dell’anno Giugno 2014 (Luglio 2014 per l’edificio F40) – Giugno 2015. E’ possibile osservare che le anomalie relative alle luci accese in assenza di persone nell’edificio F40 (Figura 46) sono praticamente assenti nelle ore notturne poiché in questo edificio è applicato un controllo adattivo delle luci basato sulle presenze. Stessa cosa dicasi per l’accensione/spengimento dei fancoil nei periodi di riscaldamento e raffrescamento dell’edificio F40: il controllo è effettuato tramite l’opportuna impostazione dei setpoint di temperatura per ogni stanza sulla base delle corrispondenti presenze dei dipendenti, con particolare attenzione nel garantire comunque l’accensione dei fancoil nelle fasce orarie della prima mattina e del pranzo. La Figura 44 illustra le anomalie relative ai fancoil accesi in assenza di persone nell’edificio F40, in base a quanto appena detto è possibile osservare una netta diminuzione delle anomalie nelle ore notturne. La distribuzione delle anomalie relative alle luci e ai fancoil accesi in assenza di persone cambia notevolmente negli edifici del cluster, in cui non è applicato alcun tipo di controllo delle utenze elettriche e termiche: le anomalie relative

ai fancoil (Figura 43) e alle luci (Figura 45) si verificano anche nelle ore notturne e aumentano in corrispondenza dell'ingresso e dell'uscita dei dipendenti dagli edifici.

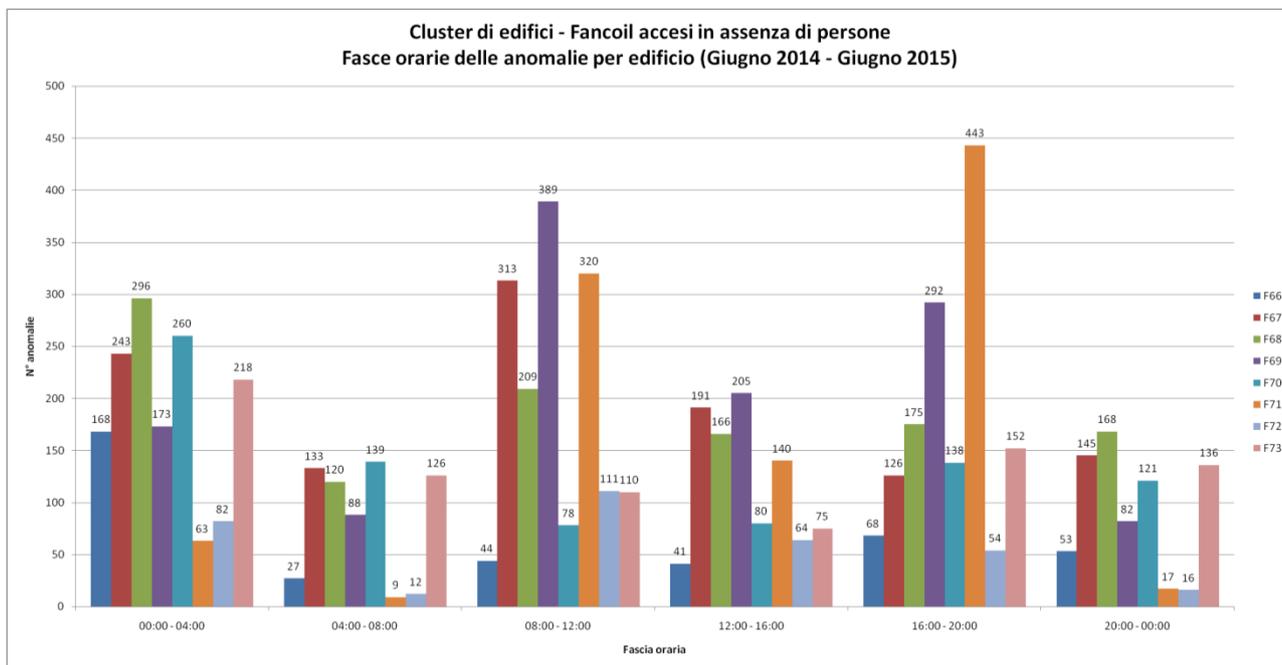


Figura 43 – Cluster di edifici, fancoil accessi in assenza di persone: fasce orarie in cui si verificano le anomalie nell'anno Giugno 2014 – Giugno 2015

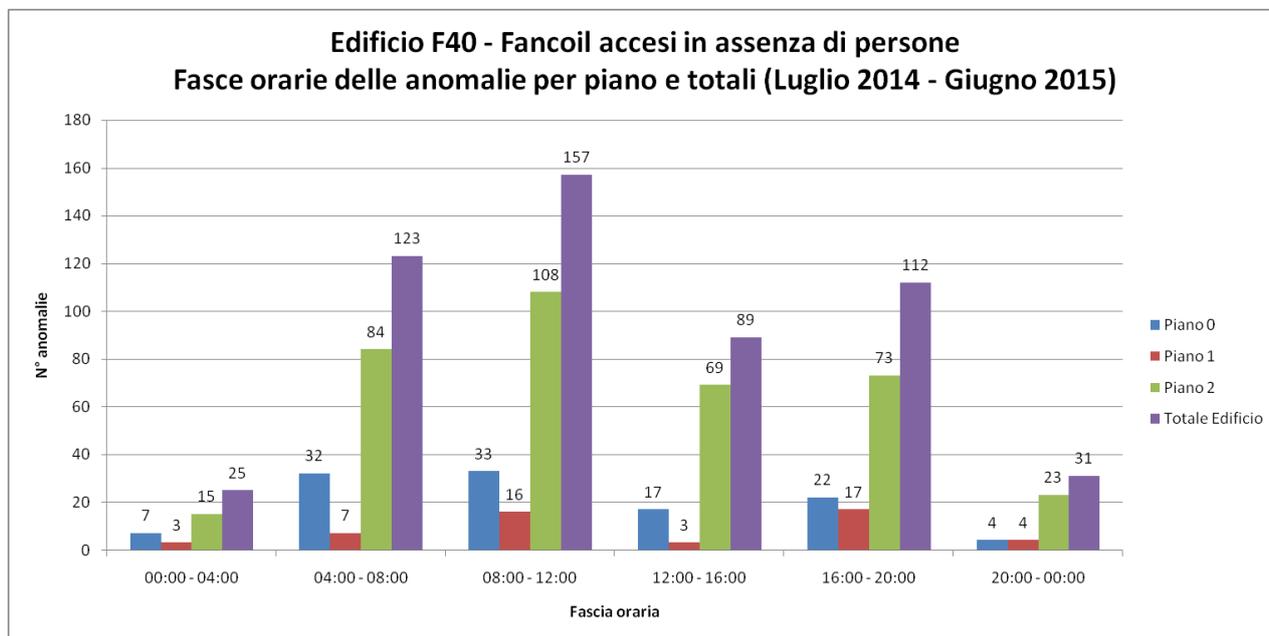


Figura 44 – Edificio F40, fancoil accessi in assenza di persone: fasce orarie in cui si verificano le anomalie nel periodo Luglio 2014 – Giugno 2015

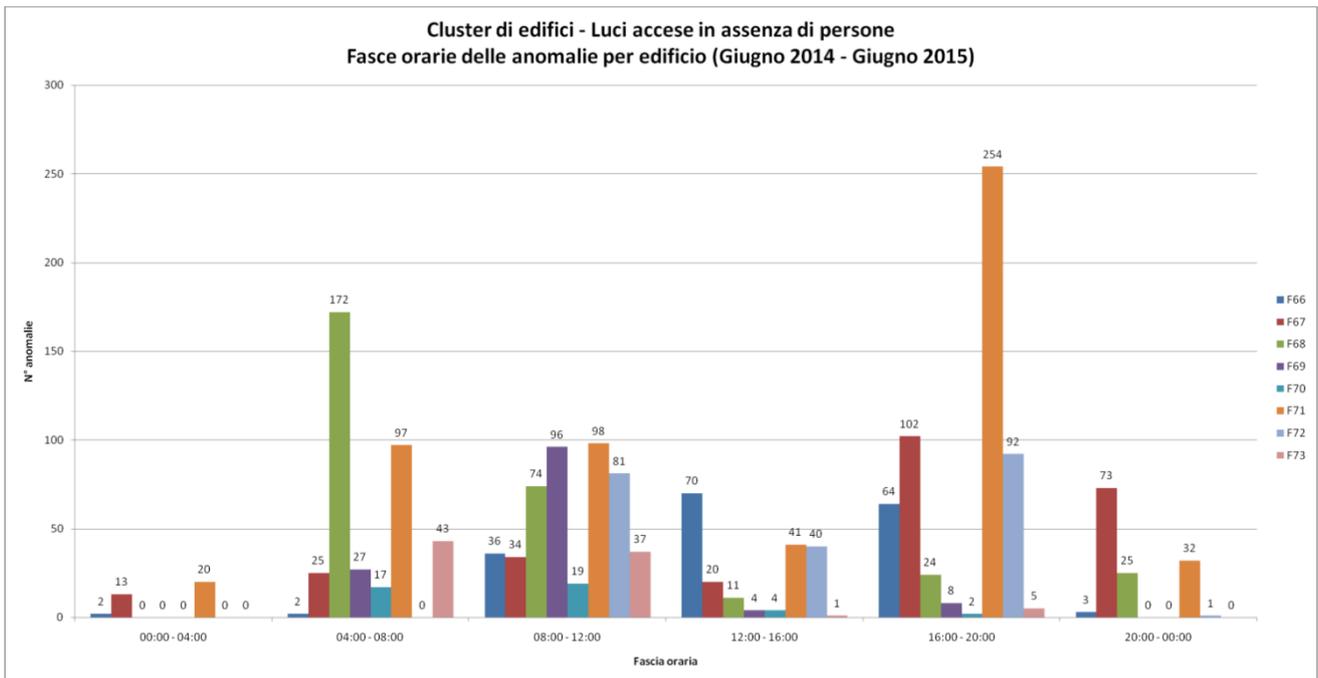


Figura 45 - Cluster di edifici, luci accese in assenza di persone: fasce orarie in cui si verificano le anomalie nell'anno Giugno 2014 – Giugno 2015

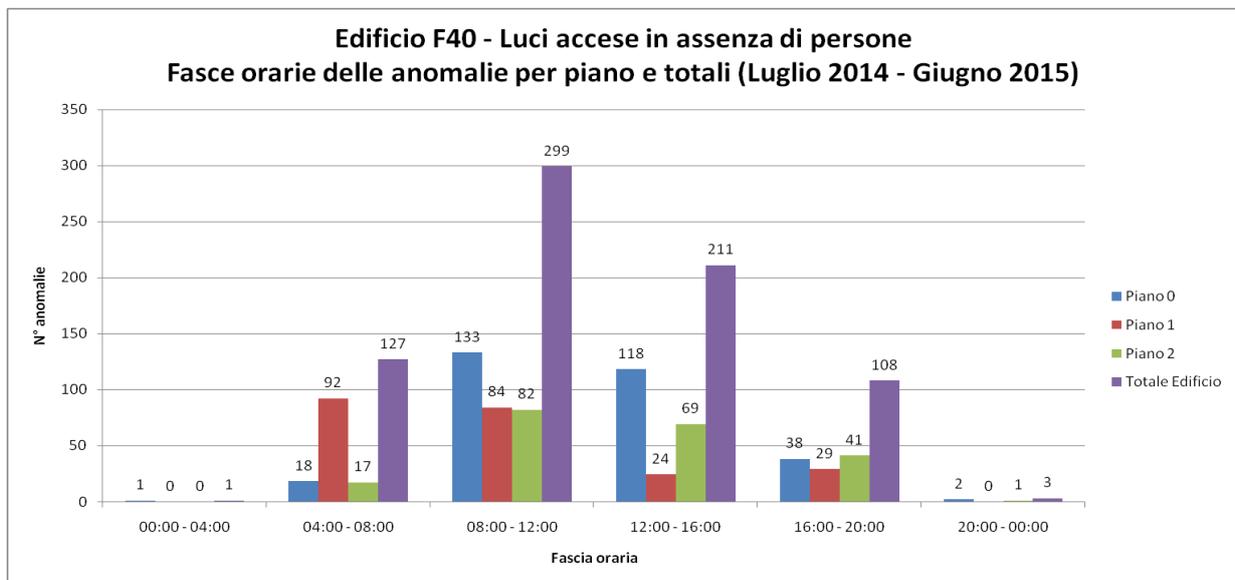


Figura 46 - Edificio F40, luci accese in assenza di persone: fasce orarie in cui si verificano le anomalie nel periodo Luglio 2014 – Giugno 2015

Le figure seguenti illustrano la distribuzione per indice di gravità delle anomalie di fancoil e luci accesi in assenza di persone per l'edificio F40 (Figura 48 e Figura 50) e per le otto palazzine del Cluster (Figura 47 e Figura 49). E' possibile osservare che il numero di anomalie di maggiore gravità (indice ≥ 0.8) è generalmente più basso del numero di anomalie meno gravi (indice compreso tra 0.5 e 0.7). Nel caso di "luci accese in assenza di persone", contraddicono questa tendenza il primo piano dell'edificio F40 (Figura 50), per motivi riconducibili a un problema del sistema di controllo adattivo delle luci, e l'edificio F68 (Figura 49). Per quanto riguarda le anomalie relative ai fancoil, gli edifici F69 e F71 presentano un numero di anomalie gravi (indice ≥ 0.8) maggiore di quello di anomalie meno gravi (indice compreso tra 0.5 e 0.7), inoltre si osserva che l'edificio F67 presenta un numero di anomalie con indice compreso tra 0.5 e 0.7 molto elevato rispetto alle altre palazzine (980 anomalie solo di questo tipo in un anno).

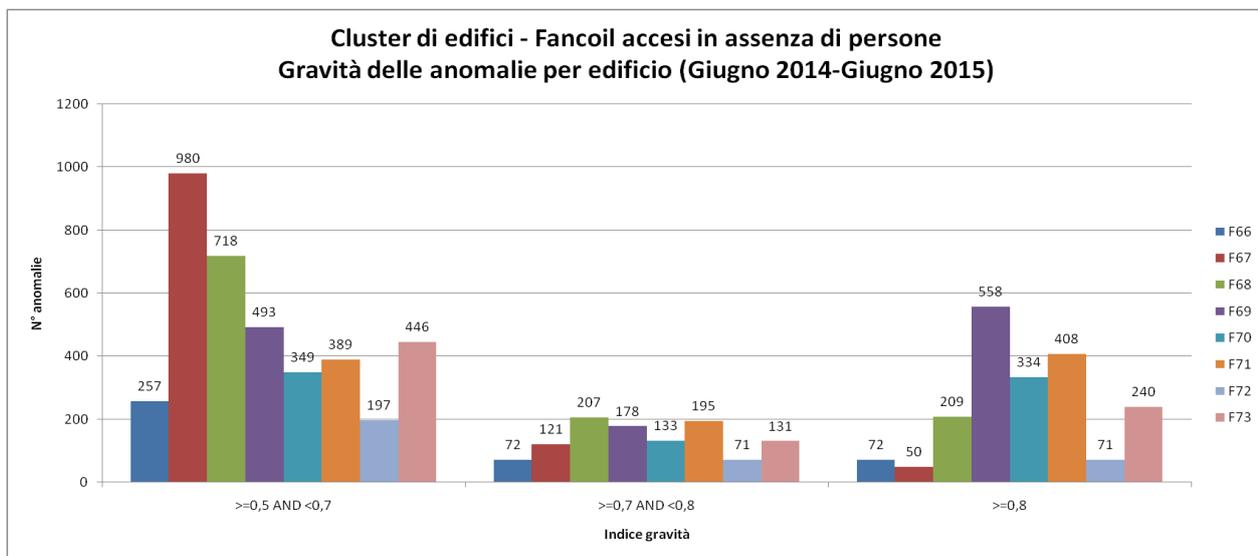


Figura 47 – Cluster di edifici, fancoil accesi in assenza di persone: indice di gravità delle anomalie nell’anno Giugno 2014 – Giugno 2015

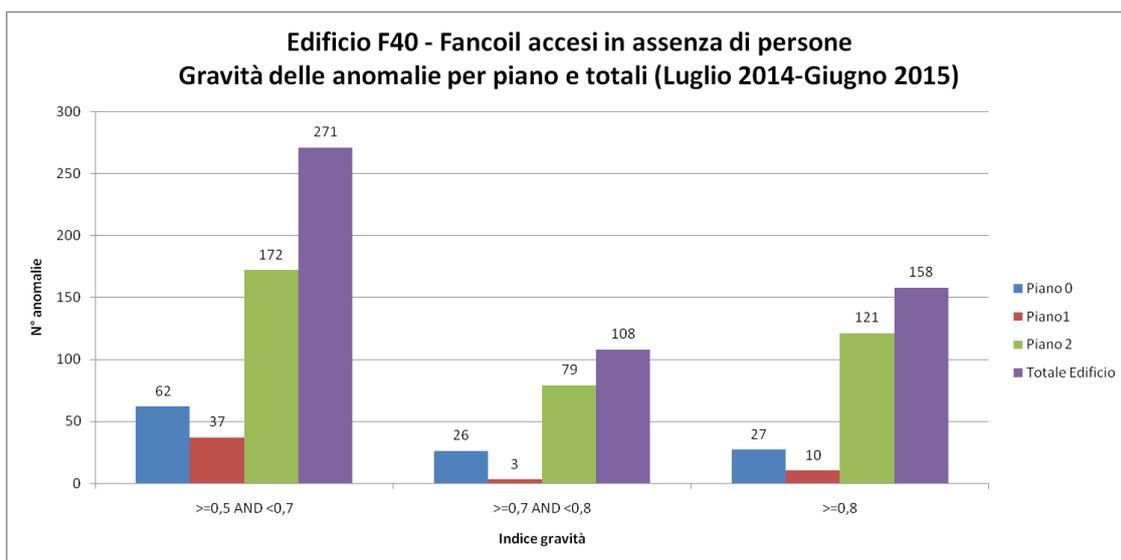


Figura 48 – Edificio F40, fancoil accesi in assenza di persone: indice di gravità delle anomalie nel periodo Luglio 2014 – Giugno 2015

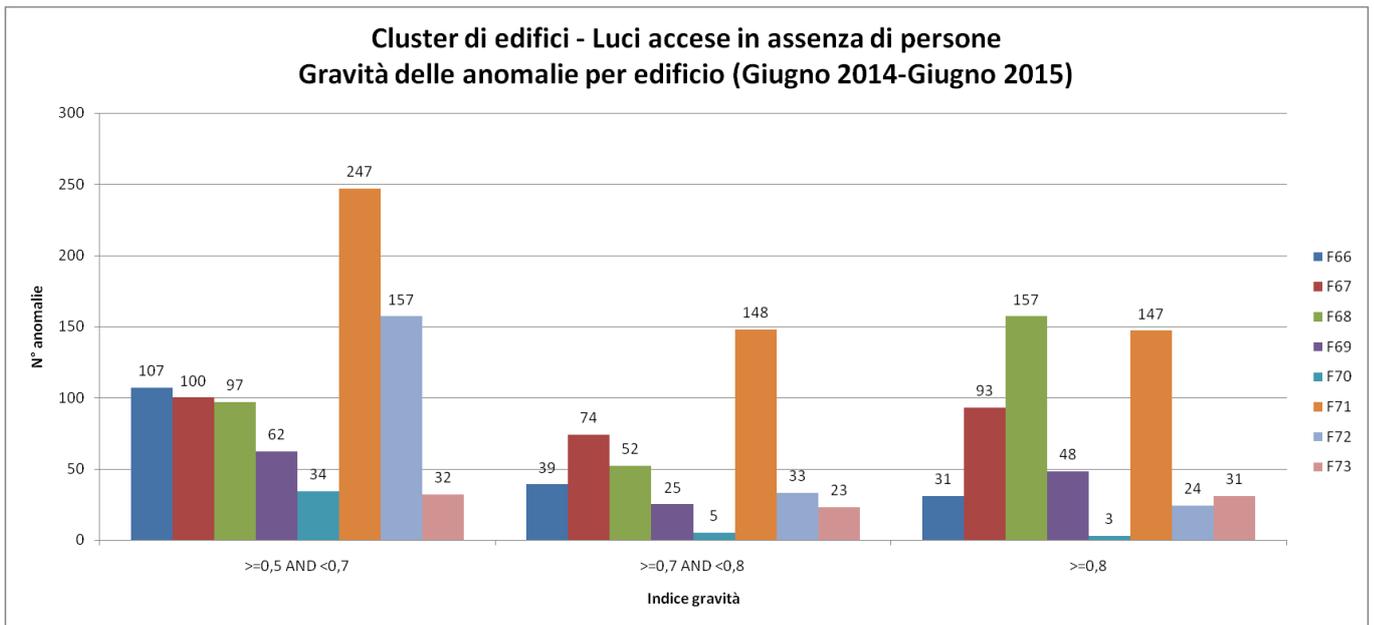


Figura 49 - Cluster di edifici, luci accese in assenza di persone: indice di gravità delle anomalie nell'anno Giugno 2014 – Giugno 2015

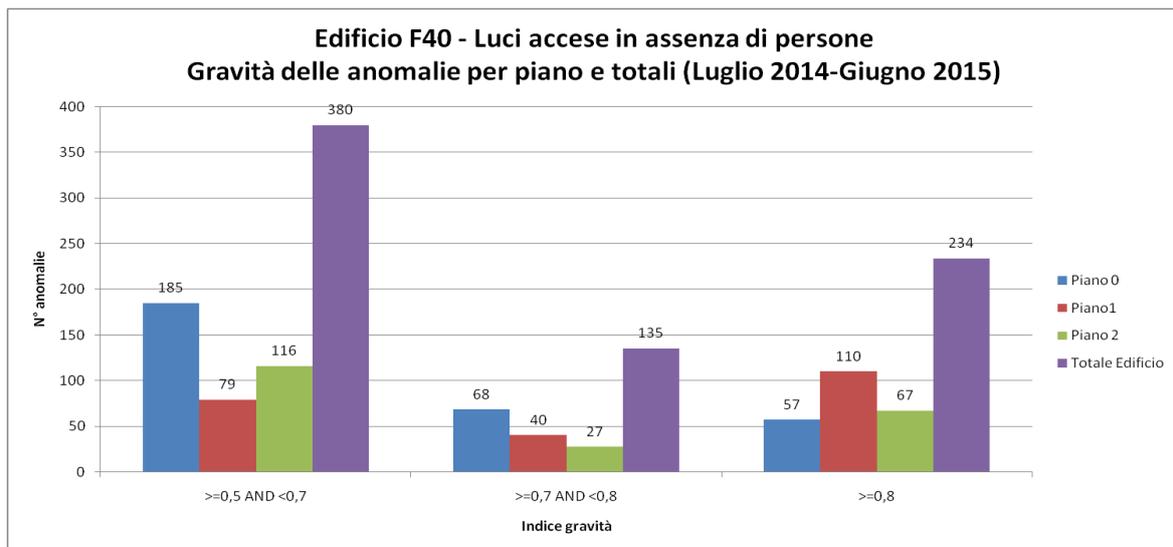


Figura 50 - Edificio F40, luci accese in assenza di persone: indice di gravità delle anomalie nel periodo Luglio 2014 – Giugno 2015

In Figura 51, Figura 52 e Figura 53 sono illustrate le distribuzioni mensili e annuali dell'anomalia "Fancoil accesi in assenza di persone" dell'edificio F40. E' normale osservare l'assenza di anomalie nei mesi di Ottobre e Aprile, quando l'edificio non è riscaldato/raffrescato. A causa di problemi nell'acquisizione dei dati nei periodi Novembre - Dicembre 2014 per il Piano Terra e Novembre – Dicembre 2014 – Gennaio 2015 per il Primo Piano, corrispondentemente negli stessi periodi sugli stessi Piano Terra e Primo Piano si osserva un numero molto basso di anomalie riscontrate. Il Secondo Piano dell'edificio è comunque quello più soggetto ad anomalie in quanto essendo l'ultimo Piano per sua conformazione è quello maggiormente esposto ai fattori climatici esterni e ai fenomeni di dispersione termica.

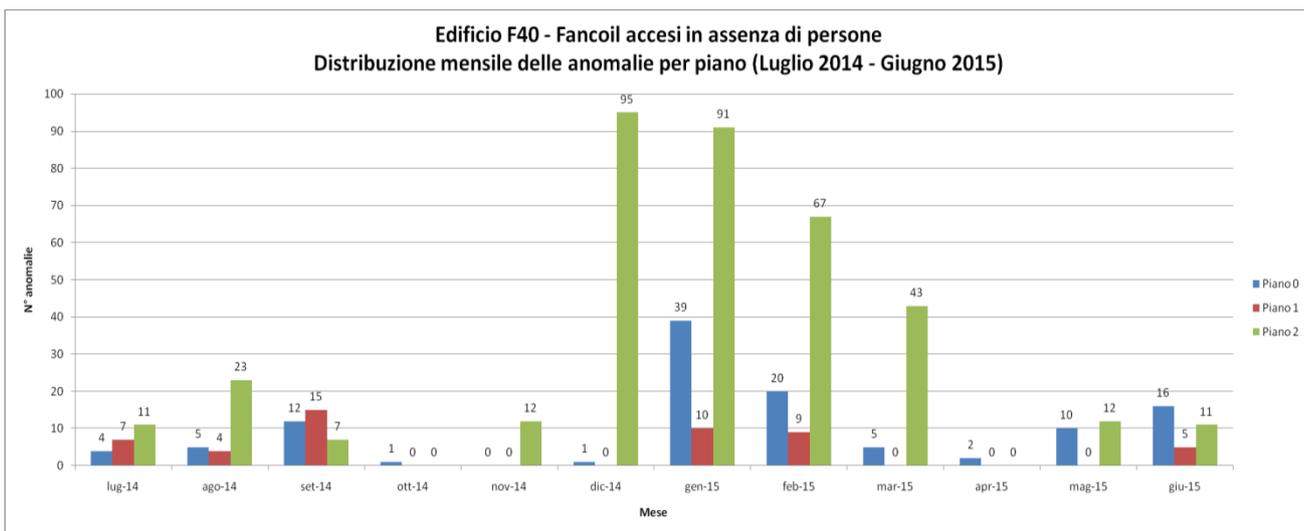


Figura 51 - Edificio F40, fancoil accesi in assenza di persone: distribuzione mensile delle anomalie per piano nel periodo Luglio 2014 – Giugno 2015

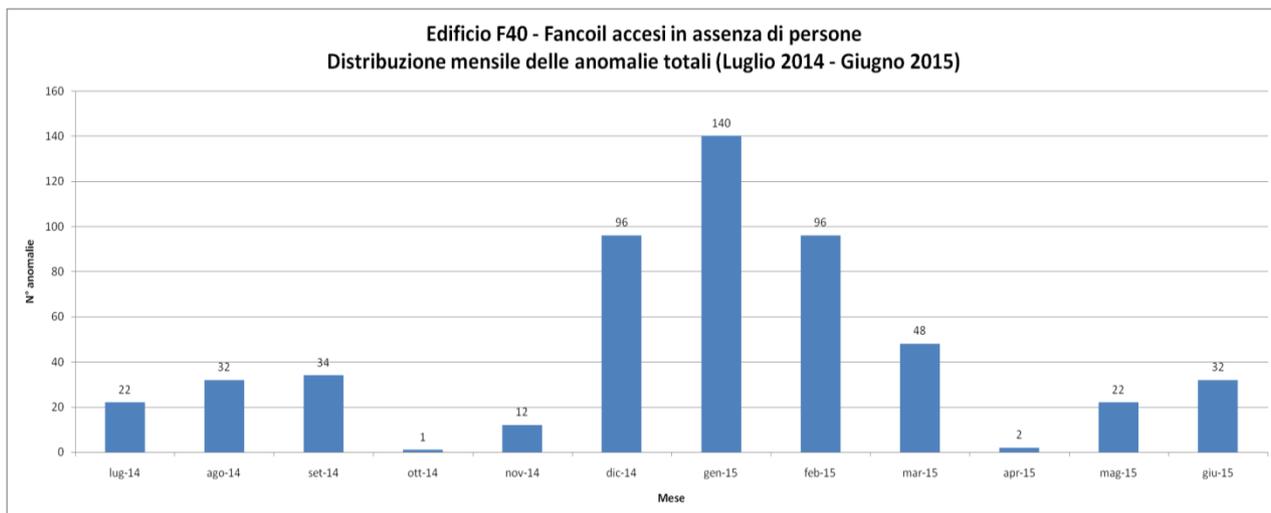


Figura 52 - Edificio F40, fancoil accesi in assenza di persone: distribuzione mensile delle anomalie totali nel periodo Luglio 2014 – Giugno 2015

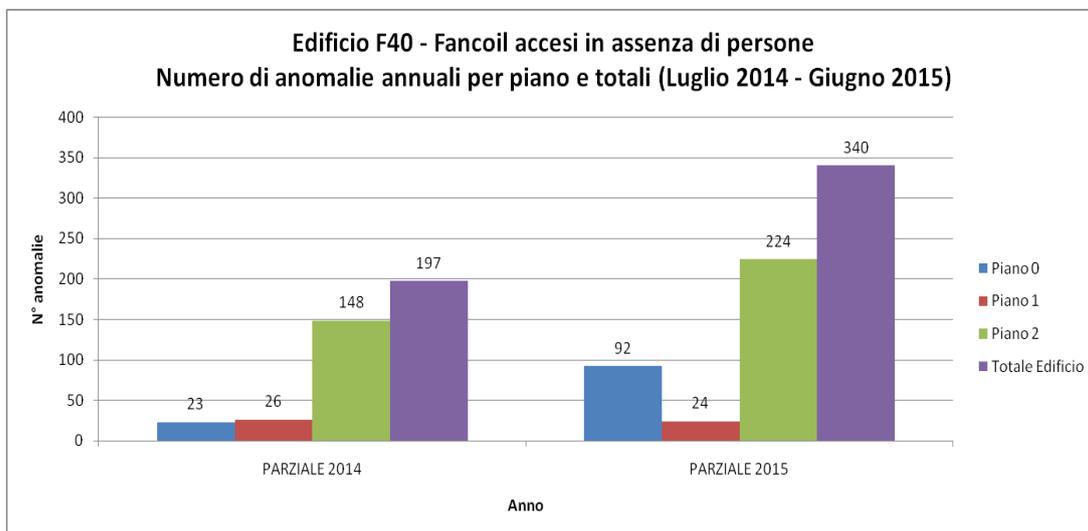


Figura 53 - Edificio F40, fancoil accesi in assenza di persone: numero di anomalie annuali nel periodo Luglio 2014 – Giugno 2015

Figura 54, Figura 55 e Figura 56 mostrano le distribuzioni mensili e annuali dell’anomalia “Luci accese in assenza di persone” dell’edificio F40. Anche in questo caso si sono verificati diversi problemi nell’acquisizione dei dati di consumo, in particolare mancanza di misurazioni nei periodi: Dicembre 2014 (pochi giorni) per il Piano Terra; da metà Novembre 2014 a fine Gennaio 2015 e dal 10 Febbraio 2015 a inizio Aprile 2015 per il Piano Primo; a Febbraio 2015 (cinque giornate) e dal 29 Marzo 2015 al 15 Aprile 2015 per il Secondo Piano. Escludendo il periodo caratterizzato da tali problemi nell’acquisizione dei dati (Novembre 2014 – Aprile 2015), il Piano Secondo presenta il minor numero di anomalie (99 totali) rispetto agli altri due Piani (rispettivamente 173 anomalie totali a Piano Terra e 178 anomalie totali al Primo Piano).

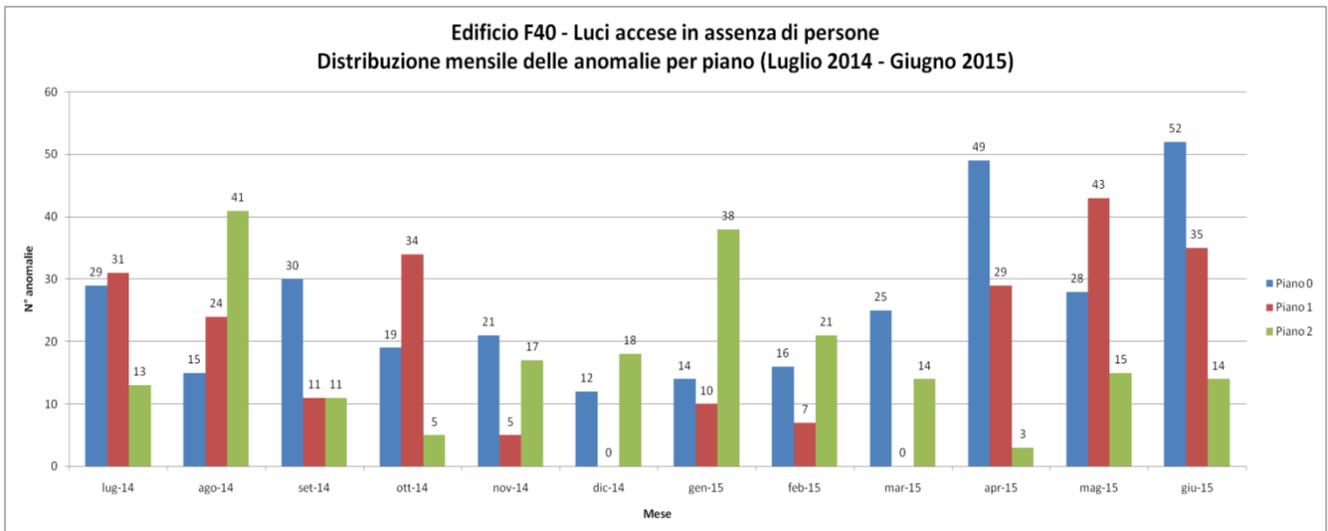


Figura 54 - Edificio F40, luci accese in assenza di persone: distribuzione mensile delle anomalie per piano nel periodo Luglio 2014 – Giugno 2015

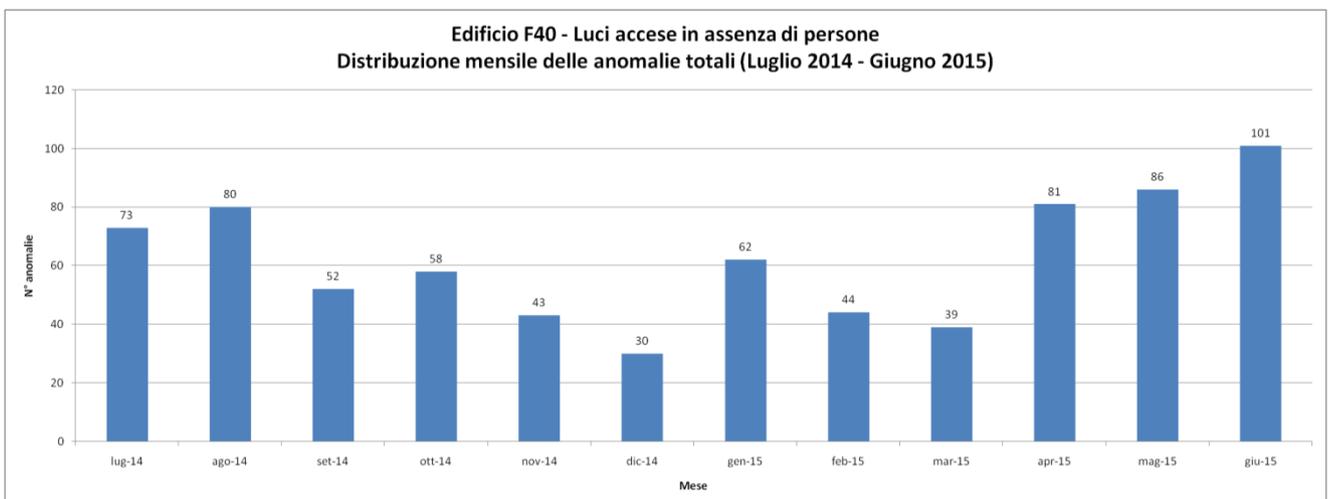


Figura 55 - Edificio F40, luci accese in assenza di persone: distribuzione mensile delle anomalie totali nel periodo Luglio 2014 – Giugno 2015

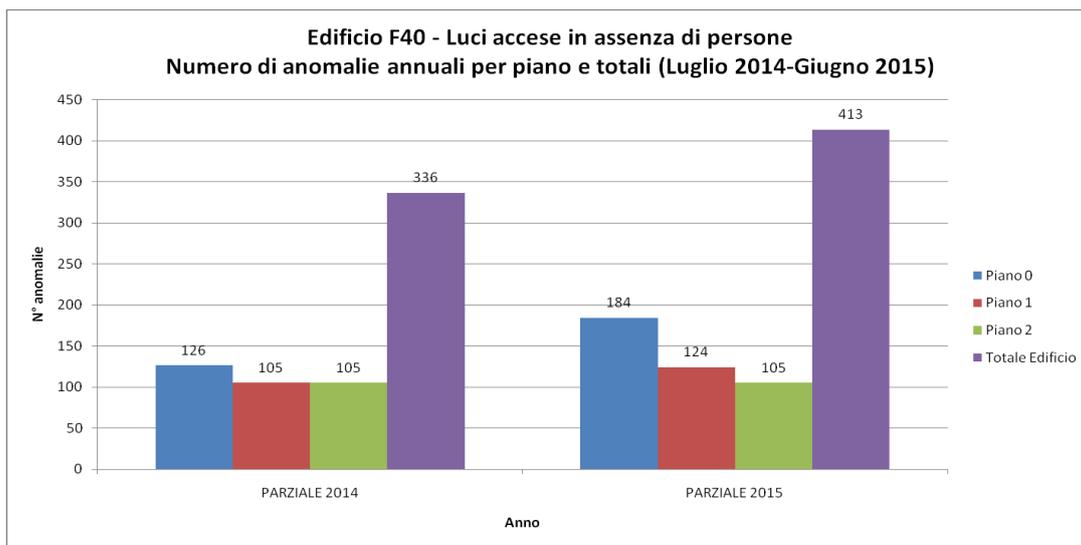


Figura 56 - Edificio F40, luci accese in assenza di persone: numero di anomalie annuali nel periodo Luglio 2014 – Giugno 2015

In Figura 57 e Figura 58 è possibile osservare, rispettivamente, il numero di anomalie “Fancoil accesi in assenza di persone” e “Luci accese in assenza di persone” per ogni edificio del Cluster e per ogni anno nel periodo Aprile 2013 – Giugno 2015. Nel caso dell’analisi relativa ai fancoil, l’edificio F68 è quello in cui si riscontra il maggior numero di anomalie (1930 totali), mentre l’edificio F72 risulta essere il più virtuoso (626 anomalie totali). Per quanto riguarda invece l’analisi delle luci accese in assenza di persone, l’edificio F71 presenta il maggior numero di anomalie (978 totali), l’edificio F70 il numero minore (77 anomalie totali).

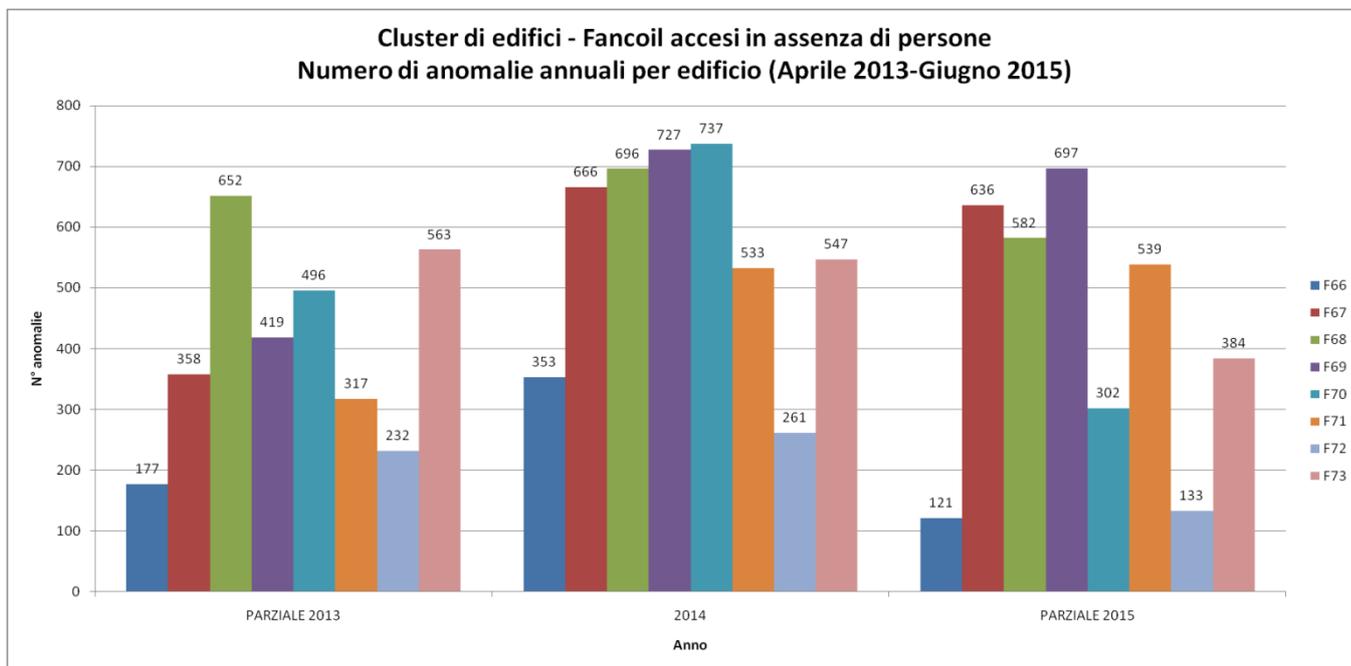


Figura 57 – Cluster di edifici, fancoil accesi in assenza di persone: numero di anomalie annuali per edificio nel periodo Aprile 2013 – Giugno 2015

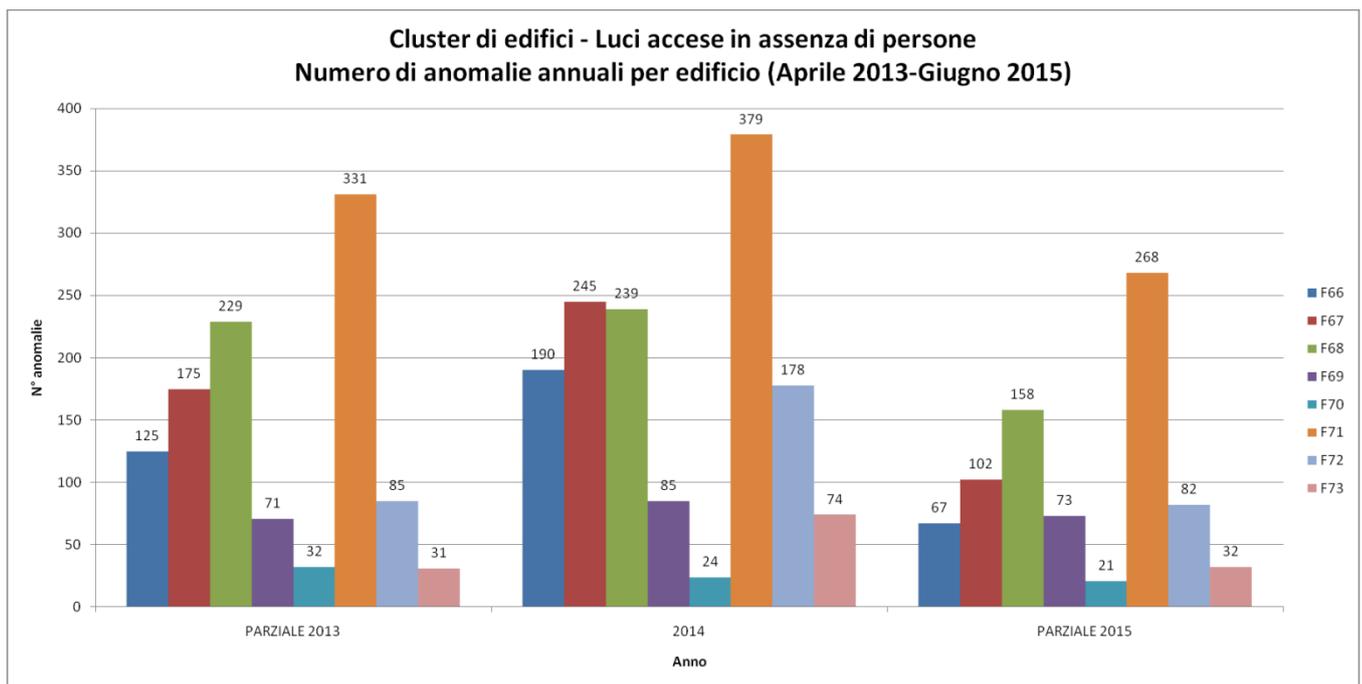


Figura 58 - Cluster di edifici, luci accese in assenza di persone: numero di anomalie annuali per edificio nel periodo Aprile 2013 – Giugno 2015

2.4 Estensione modulo di supervisione BEMS (Università Roma Tre)

Nella presente attività sono state estese le funzionalità realizzate nella precedente annualità (RdS/PAR2013/062) includendo : implementazione di un modulo di diagnostica a basso livello, implementazione di un modulo di previsioni meteo, implementazione di un modulo di controllo delle utenze elettriche di una rete di edifici, implementazione del modulo di ottimizzazione di un edificio, strategie di controllo predittivo distribuito per la regolazione della temperatura interna di edifici multizona, modelli stocastici per la diagnostica termica.

Per gli approfondimenti consultare il rapporto RdS/PAR2014/024.

2.4.1 Implementazione di un modulo di diagnostica di basso livello

Il modulo di diagnostica a basso livello ha lo scopo di identificare le anomalie nelle misure a livello del singolo sensore. In questa ottica sono stati definiti tre livelli di soglia indicanti diverse tipologie di malfunzionamento:

- **Soglia operativa.** La soglia operativa indica dei limiti oltre i quali il sensore sta funzionando in maniera non ottimale, ma non pregiudica la fruibilità della misura in sé (es. fattore di potenza diverso da 1 ma non troppo basso).
- **Soglia funzionale.** La soglia funzionale indica dei limiti oltre i quali il sensore non sta funzionando (es. potenza elettrica misurata maggiore di quella installata)
- **Fondo scala.** Il fondo scala indica dei limiti oltre i quali la misura eccede il valore indicato dalla scheda tecnica del sensore.

Tali soglie devono essere impostate a valle di una supervisione di un esperto che identifica a seconda di ciascuna misura dei valori plausibili da associare a ciascuna soglia. L'identificazione delle soglie opportune deve essere effettuata da degli esperti a valle di un accurato audit energetico dell'edificio e dell'analisi dell'installazione della sensoristica.

Per l'identificazione di questo tipo di anomalie è stato sviluppato un software che periodicamente controlla l'ultima misura rilevata e la confronta con le soglie impostate.

La campagna di identificazione è stata avviata a settembre 2014, la Figura 59 mostra il riepilogo del numero medio mensile di anomalie rilevate, suddivise per categoria. Durante il primo mese è stata portata a termine una campagna di tuning dei parametri, per cui sono state rilevate un cospicuo numero di anomalie a livello di fondo scala che sono rientrate a seguito di un’opportuna taratura. Il numero di anomalie si impenna a Gennaio 2015 in quanto sono state rilevate anomalie soprattutto a livello di fattori di potenza delle linee di quadro dell’edificio F40. Tali problematiche sono state in parte risolte a seguito di un intervento dei manutentori a Febbraio.

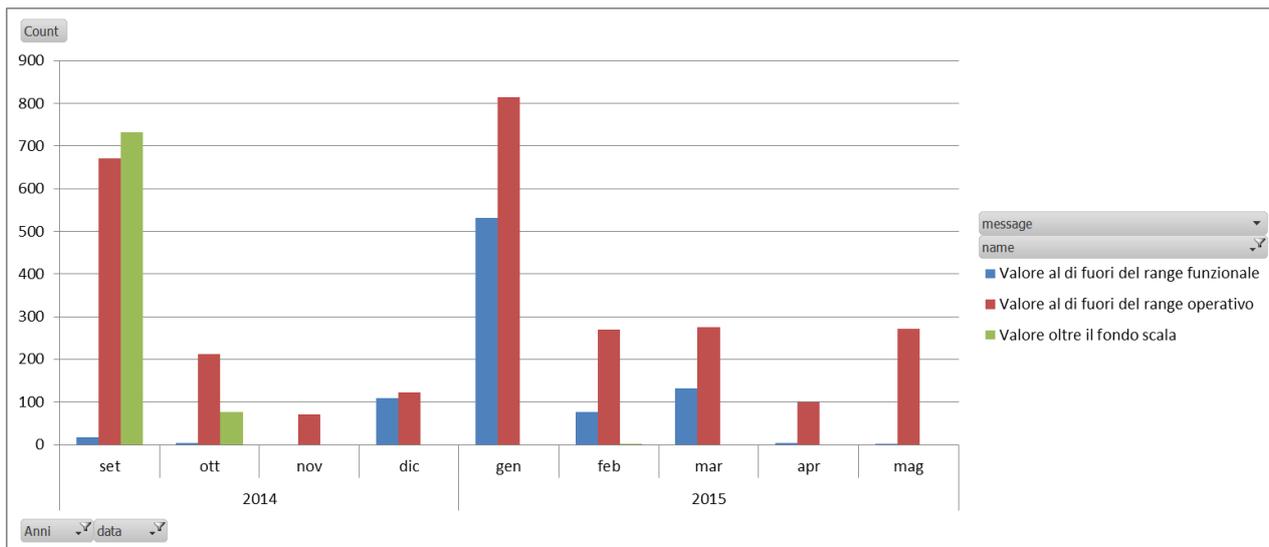


Figura 59. Riepilogo numero medio di anomalie di edificio

La Figura 60 e la Figura 61 mostrano il dettaglio delle anomalie suddivise per misura nel periodo considerato: come possiamo vedere sono tutte concentrate sul rilevamento del fattore di potenza. Il malfunzionamento del sensore è stato rilevato in particolare nella misura del fattore di potenza della fase 3 del piano terra dell’edificio.

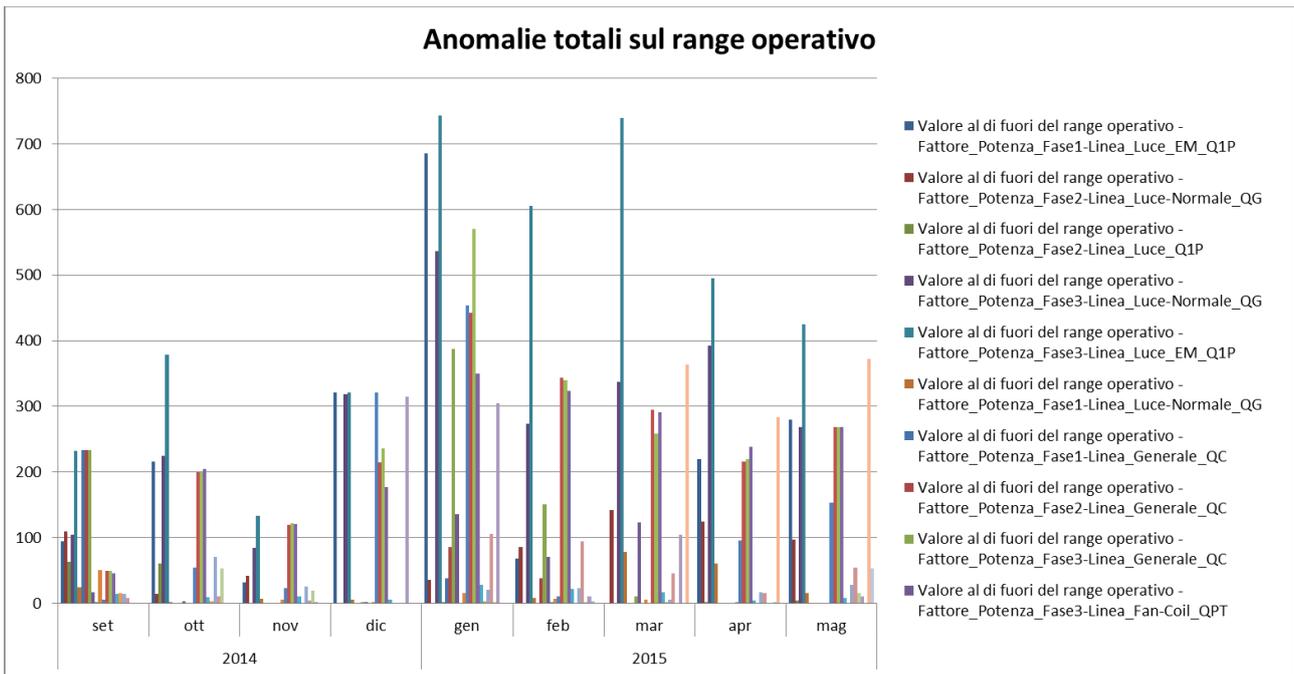


Figura 60. Anomalie totali sul range operativo

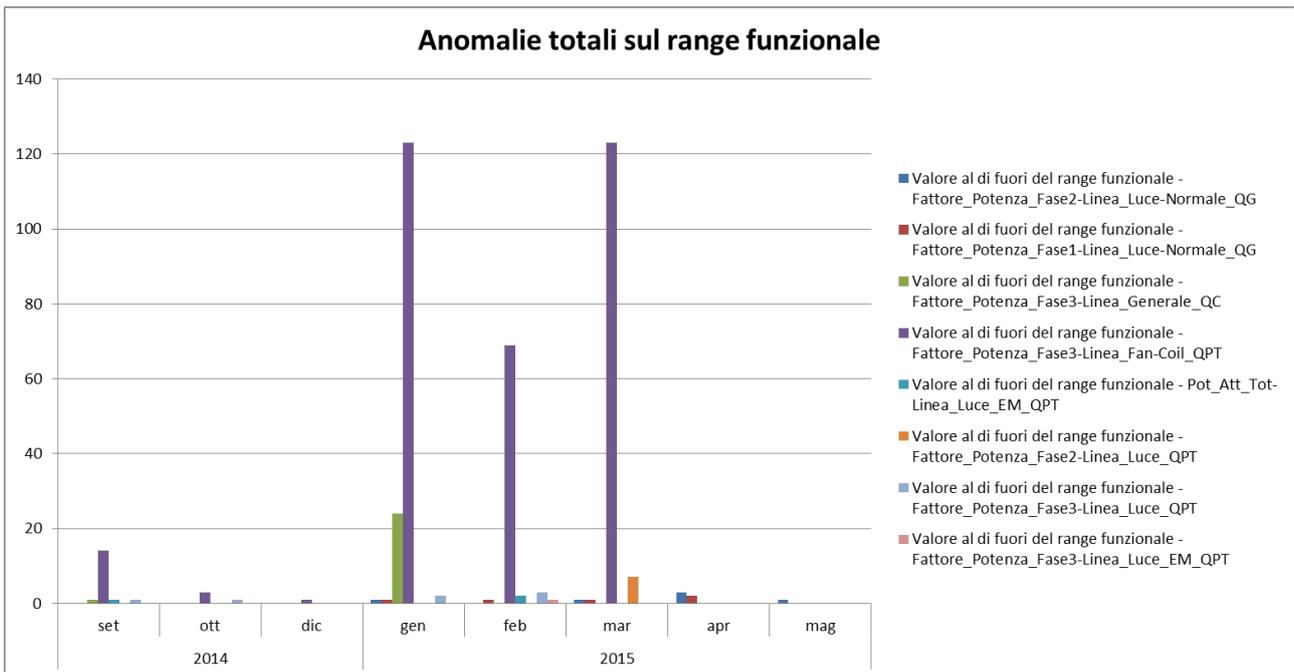


Figura 61. Anomalie totali sul range funzionale

Successivamente è stato effettuato uno studio delle anomalie suddiviso per piano: le anomalie sono uniformemente distribuite sul piano terra e primo piano, mentre in forma più lieve sul secondo piano

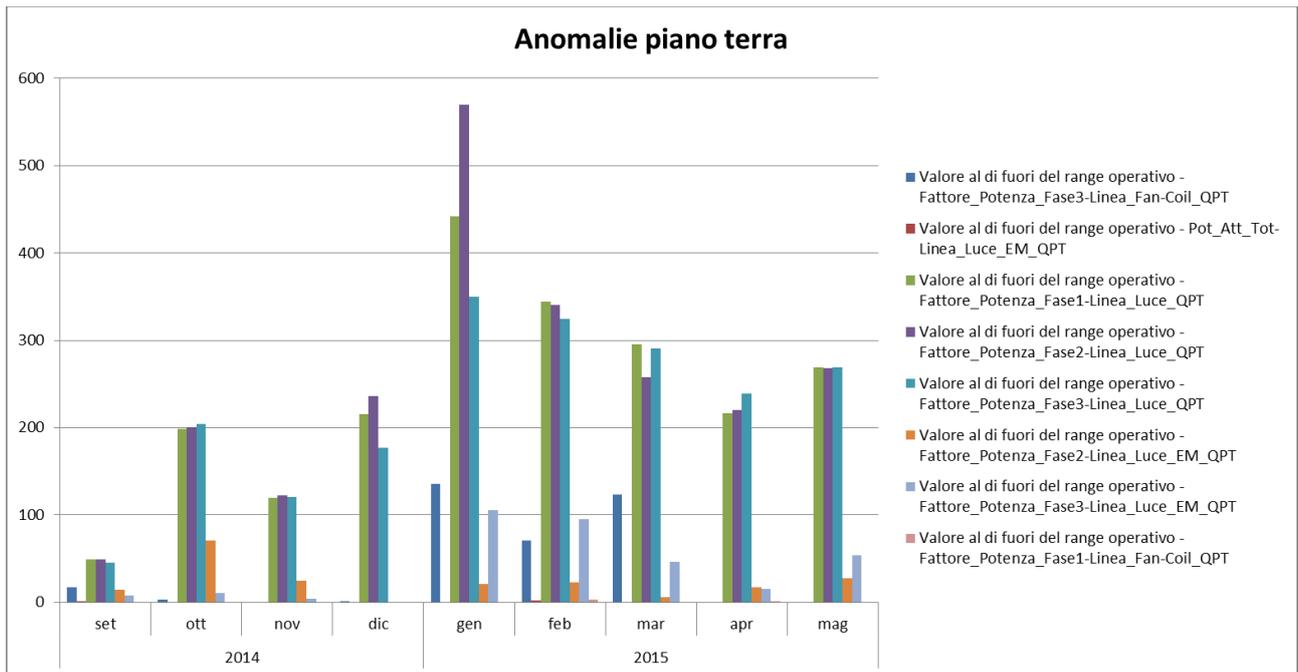


Figura 62. Anomalie piano terra F40

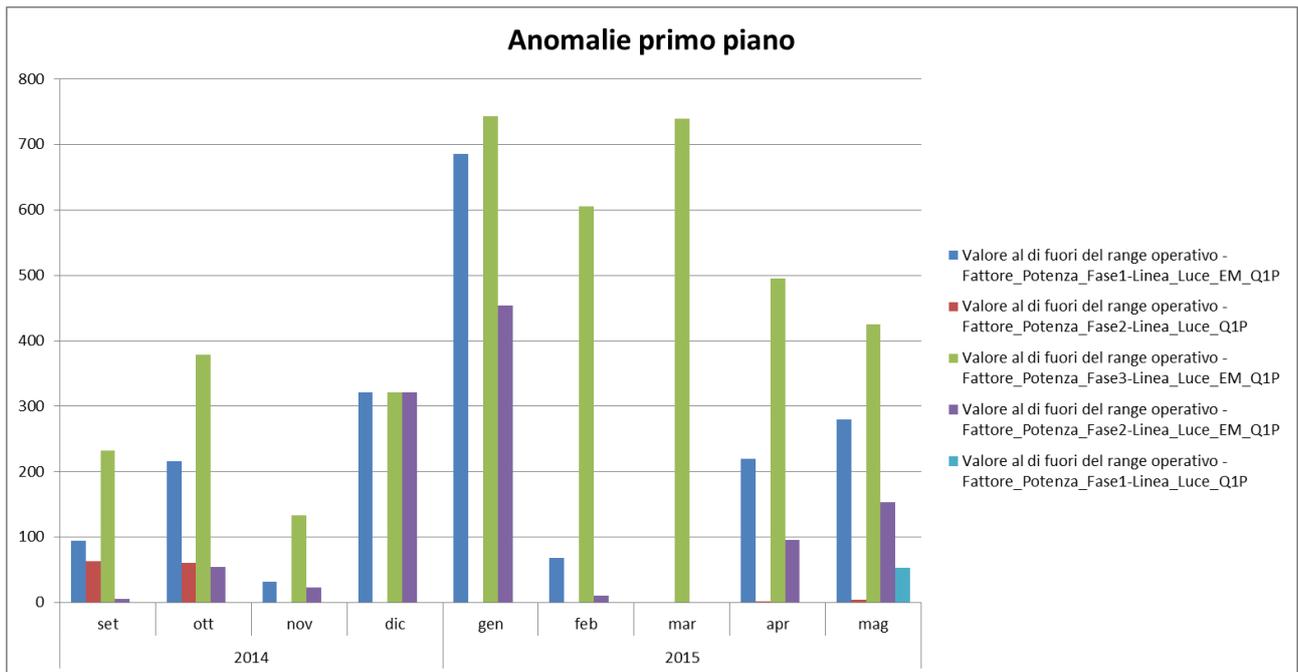


Figura 63. Anomalie primo piano F40

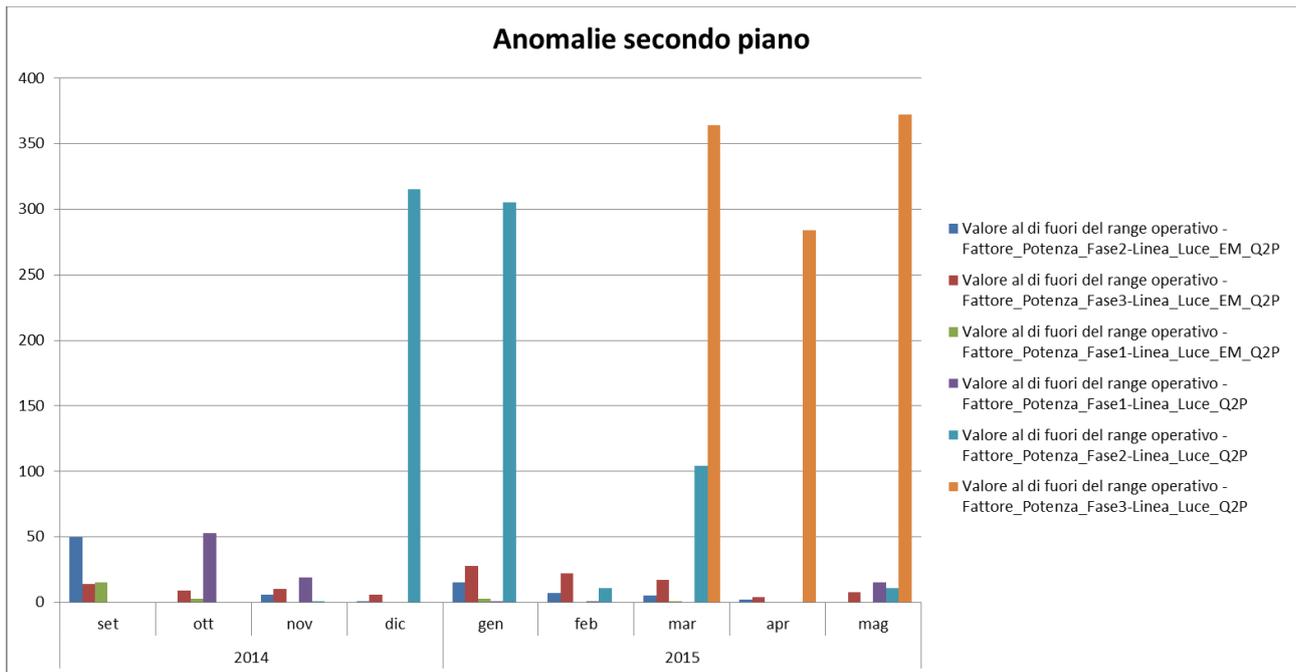


Figura 64. Anomalie secondo piano F40

2.4.2 Implementazione di un modulo di previsioni meteo

Il modulo di previsione dei dati meteorologici ha lo scopo di fornire le previsioni di temperatura ed umidità (successivamente esteso poi con la radiazione solare diretta e diffusa) sfruttando i dati forniti dal Sian ed adattandoli con le misure reali provenienti dalla centralina meteo installata nel C.R. Casaccia. In questo modo le previsioni sono adattate in tempo reale, ottenendo quindi una precisione maggiore. Tale modulo è implementato in Java per quanto riguarda la logica di gestione e con delle Stored Procedure in MySQL per la gestione dei dati e l'aggiornamento real time. La Figura 65 e Figura 66 mostrano gli andamenti di temperatura ed umidità prevista, misurata ed adattata.

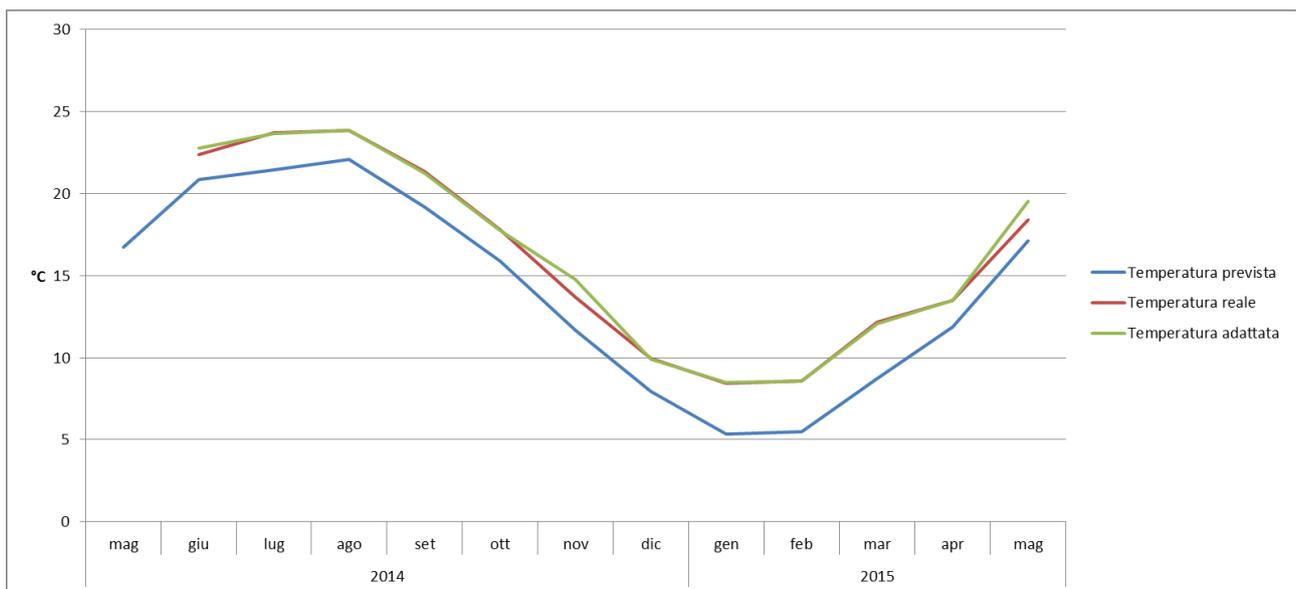


Figura 65. Temperature medie mensili nel C.R. Casaccia

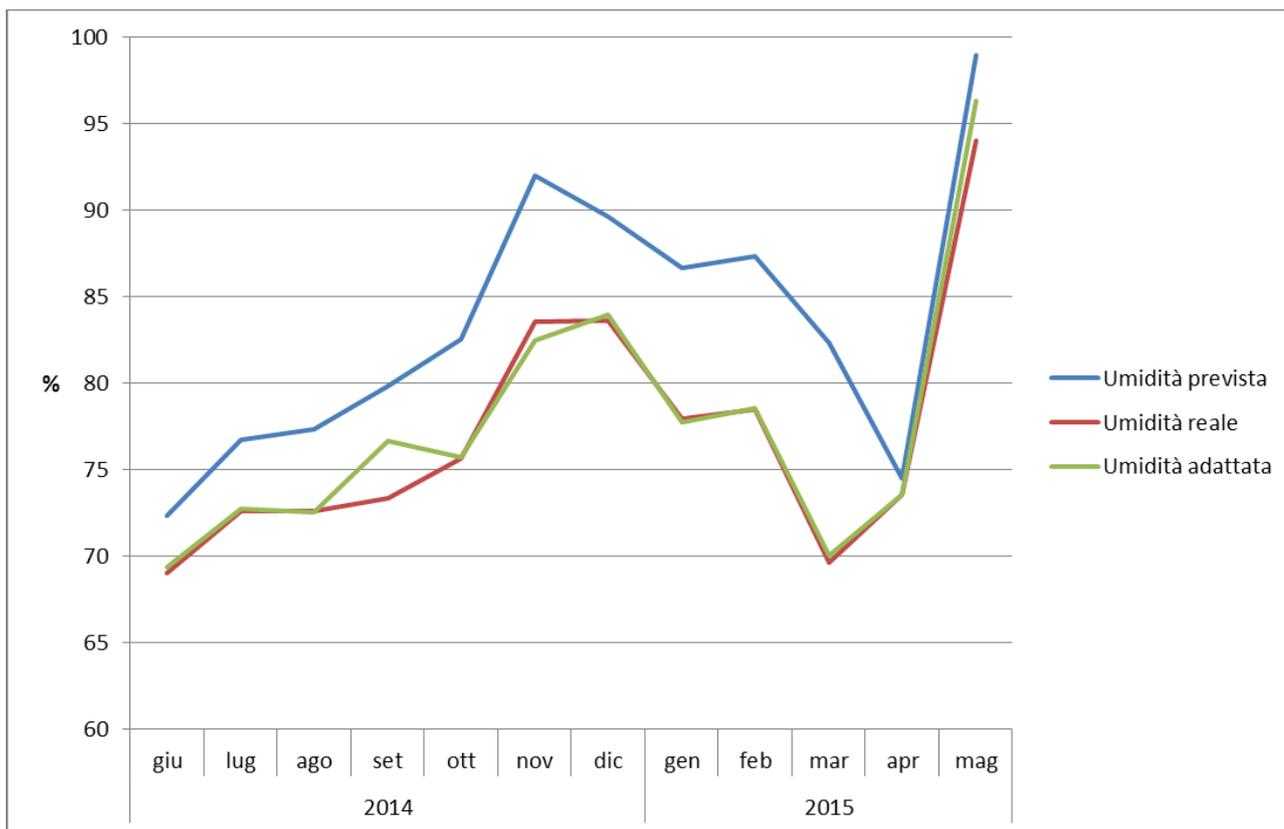


Figura 66. Umidità medie mensili nel C.R. Casaccia

2.4.3 Implementazione di un modulo di controllo delle utenze elettriche di una rete di edifici

Il modulo di controllo delle utenze elettriche prevede la gestione adattiva delle luci negli spazi comuni e dei fancoil delle stanze in funzione dell'effettivo bisogno del servizio da parte dell'utente. Il modulo di controllo sviluppato nelle annualità precedenti è stato esteso per l'interfacciamento con i BEMS della rete di edifici. E' stato sviluppato uno strato indipendente dalla metodologia di processamento delle attuazioni, tale procedura consente di impostare le attuazioni desiderate direttamente nella tabella SCADA del DB Smarttown, il modulo di interfacciamento avvia poi la procedura di chiamata di tipo REST o SOAP a seconda del BEMS associato all'edificio su cui si vuole inviare un comando di attuazione.

2.4.4 Implementazione di un modulo di ottimizzazione di un edificio

Nell'ottica del controllo ottimizzato di edificio è stato sviluppato un modulo che interfaccia il simulatore, sviluppato in MATLAB, con la logica di controllo ed attuazione della climatizzazione di edificio, sviluppata in Java. Per tale procedura sono state utilizzate delle librerie Java opensource che consentono la chiamata di processo a MATLAB embedded nel codice sorgente Java. Tale modulo è stato poi esportato sulla grid ENEA CRESCO per poter sfruttare il calcolo parallelo durante il processo di simulazione e rendere il servizio fruibile ai partners progettuali.

2.4.5 Strategie di controllo predittivo distribuito per la regolazione della temperatura interna di edifici multizona

L'obiettivo di questa attività è stato lo sviluppo di strategie adattive di Model Predictive Control (MPC) per la regolazione della temperatura interna di un edificio per uffici a tre zone, in cui ogni zona corrisponde ad una stanza occupata da un dipendente.

Le strategie MPC sviluppate vengono definite adattive poiché il calcolo dell'opportuna azione di controllo (con orizzonte di predizione di 10 minuti) tiene conto del livello di occupazione di ogni zona (in particolare quattro possibili livelli di occupazione compresi tra 0 e 1) al fine di ridurre il consumo energetico. In

particolare sono state analizzate due diverse strategie MPC adattive: una con set-point di temperatura di zona dinamici, l'altra con coefficienti di peso dinamici della funzione obiettivo.

La sperimentazione è stata condotta considerando innanzitutto l'accoppiamento termico tra le zone dell'edificio ed implementando quindi un'architettura MPC distribuita. Successivamente è stata analizzata anche un'architettura MPC decentralizzata (che non tiene conto cioè dell'accoppiamento termico tra le zone dell'edificio). I risultati sono stati valutati in termini di energia consumata e livello di comfort definito dalle temperature operative interne. Sempre nell'ambito della sperimentazione è stata considerata un'intera giornata lavorativa con riferimento a quattro diverse fasce temporali, ognuna corrispondente ad un diverso livello di occupazione per ogni zona. Per la valutazione dei risultati sono stati adottati due indici di performance: per il comfort, quando il livello di occupazione è massimo, la distanza media giornaliera delle temperature interne reali da quelle di setpoint nell'intero edificio, MAE_{TOT} ; per il consumo, il flusso d'aria totale emesso dai fancoil nell'intero edificio, M_{tot} .

Entrambe le strategie MPC adattive seguono bene i profili dei set-point di temperatura in ogni periodo della giornata, così come avviene per una strategia MPC classica (non adattiva, che non tiene conto cioè del livello di occupazione di ogni zona). Ciò è anche evidente dai risultati di MAE_{TOT} (Tabella 6): ogni configurazione riporta errori bassi di temperatura ed il controllo MPC distribuito presenta errori più piccoli rispetto a quello decentralizzato. Osservando la Tabella 6, è evidente il grande vantaggio dell'utilizzo di una strategia MPC adattiva: i risultati relativi a M_{tot} dimostrano che lo sforzo di controllo, e quindi il consumo energetico, di una configurazione MPC adattiva è molto più piccolo di quello di una strategia non adattiva. In particolare il MPC distribuito con coefficienti di peso dinamici offre le performance migliori in termini di comfort e consumo, ma d'altra parte richiede una fase preliminare di tuning molto accurata e non immediata dei coefficienti.

Tabella 6- Confronto dei risultati di strategie MPC adattive e non adattive

Dynamic Temperature Setpoints	MAE_{TOT} [°C]	M_{tot} [kg]
Distributed	0.084	3029
Decentralized	0.130	2954
Dynamic Weighting Coefficients	MAE_{TOT} [°C]	M_{tot} [kg]
Distributed	0.035	2148
Decentralized	0.051	2187
Non-adaptive MPC	MAE_{TOT} [°C]	M_{tot} [kg]
Distributed	0.073	4223
Decentralized	0.105	4117

In Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. (a) sono illustrate le evoluzioni della temperatura di ogni zona dell'edificio nel corso della giornata di sperimentazione risultanti dall'applicazione della strategia MPC con temperature di set-point dinamiche. In questo caso, quando una zona è completamente occupata, il set-point di temperatura è di 22 °C. Si osserva come la zona centrale, caratterizzata da occupazione nulla nell'intera giornata, raggiunga comunque temperature di circa 20 °C a causa degli scambi termici con la zona 1 e la zona 3. **La Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** (b) illustra le evoluzioni delle zioni di controllo in ogni zona dell'edificio nel corso della giornata di sperimentazione risultanti dall'applicazione della strategia MPC con temperature di set-point dinamiche. Il fan-coil della zona i fornisce aria calda ad una temperatura e ad una velocità dipendente dal segnale di controllo $u_{c,i}$ variabile tra 0 e 1. Ai fini di una simulazione più realistica, per i segnali di controllo sono definiti solo 5 possibili valori tra 0 e 1 con uno step di 0.25. In particolare si osserva che il segnale di controllo della seconda zona è sempre nullo poichè la zona è inoccupata per tutto il giorno.

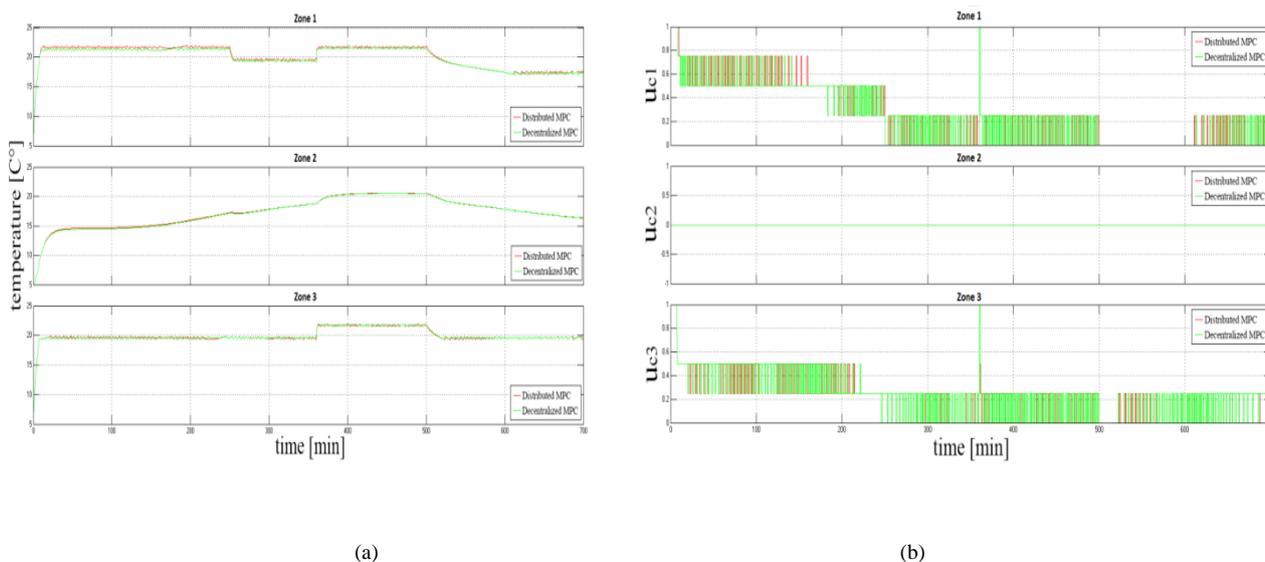


Figura 9. Andamento delle temperature (a) e dei segnali di controllo (b) ottenuti con MPC distribuito e MPC decentralizzato con temperature di set-point dinamiche per ogni zona dell'edificio

In conclusione, la strategia MPC distribuita con coefficienti di peso dinamici della funzione obiettivo si è rivelata essere la migliore in termini di consumo energetico e livelli di comfort. Tuttavia la strategia con temperature di set-point dinamiche è risultata più semplice da applicare.

2.4.6 Modelli stocastici per la diagnostica termica

Il primo obiettivo di questa attività è stato quello di realizzare un'applicazione basata su modelli di Markov nascosti (Hidden Markov Models, HMM) per l'analisi dei consumi termici della rete di edifici del Centro ENEA Casaccia in relazione con la situazione climatica esterna. Dalla valutazione di consumo termico e temperatura esterna della stagione estiva 2014, sono state individuate 3 fasce (basso, medio e alto) per un totale di 9 stati (Figura 67).

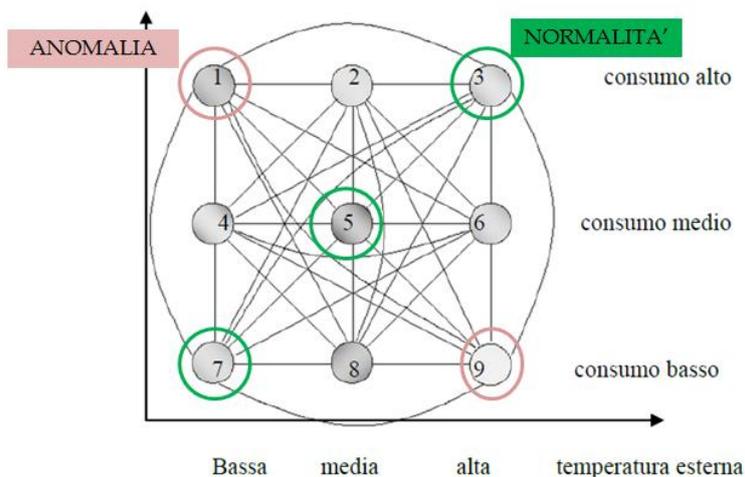


Figura 67 - Stati del modello HMM

Lo scopo è quello di mettere in luce le situazioni anomale identificate dagli stati 1 e 9. Gli stati normali sono il 3, il 5 e il 7, mentre gli altri stati sono intermedi. Per prima cosa l'applicazione compara consumo energetico e temperatura a dei riferimenti, in modo da inquadrarli in una fascia tra basso, medio e alto. Fatta questa operazione viene generato un simbolo elementare che andrà ad alimentare il modello di Markov che sposterà di volta in volta percentuale sui 9 stati in base proprio a consumo e temperatura.

Potremo così osservare nel tempo l'evoluzione dei consumi rispetto alla temperatura esterna, ed evidenziare eventuali situazioni anomale. Il modello di Markov calcola lo stato attuale considerando gli ultimi dodici simboli che nel nostro caso, con un timestamp di 15 minuti, corrispondono alle ultime 3 ore di consumi.

Parallelamente a questa analisi, un'altra analisi basata sulla teoria di Dempster-Shafer ci aiuta a identificare le cause di eventuali anomalie o a indicare il corretto funzionamento dell'impianto termico. In input utilizziamo diversi dati, in primis l'output del HMM che ci dà un'idea sui consumi, poi la portata dell'acqua nel circuito termico, il consumo elettrico dei fancoil e il delta di temperatura (la differenza tra temperatura di mandata e ritorno nel circuito termico). Questi dati vanno in pasto all'algoritmo basato sulla teoria di Dempster-Shafer che ci restituisce degli indici (BET): essi indicano se stiamo lavorando bene oppure ci aiutano a "scommettere" su una specifica causa di anomalia presente nell'impianto termico, es. malfunzionamento del sistema di controllo o guasto al sistema di pompaggio (Figura 68).

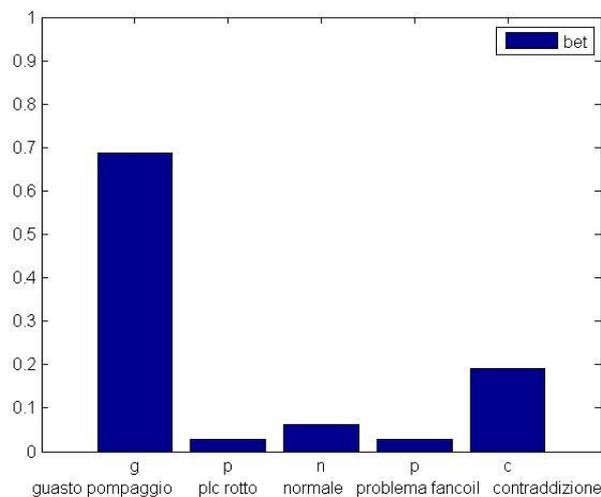


Figura 68 - Esempio di indici BET

2.5 Validazione ed analisi dati (Politecnico di Torino, ENEA)

In questa annualità è stato portato avanti il processo di verifica e collaudo del sistema di monitoraggio energetico e ambientale indoor implementato sul distretto di edifici situato presso il centro ENEA della Casaccia. Gli edifici in questione, costituenti lo "Smart Village", sono in totale 10 con destinazione d'uso prevalente di ufficio e sono oggetto di un progetto sperimentale di monitoraggio e diagnostica da remoto dal 2012.

Nel network di edifici realizzati presso lo Smart Village Casaccia sono state testate differenti tipologie di sensori e di BEMS che corrispondono a differenti livelli di monitoraggio e controllo.

L'edificio F40 rappresenta la configurazione più complessa, infatti è stato dotato di un elevato numero di sensori per il monitoraggio real time dei consumi energetici, elettrici e termici, e dei parametri ambientali outdoor e indoor; ciò consente di arrivare al controllo e gestione della singola stanza. In questo edificio il BEMS utilizzato, Easycon, è stato sviluppato da UMPI Elettronica.

Negli altri 9 edifici, dove il numero dei devices installati è stato più contenuto, il controllo può arrivare al livello di piano; il BEMS, denominato SEM, che ne consente la gestione è stato sviluppato da Almaviva mentre la strumentazione per il monitoraggio e controllo è stata fornita dall'azienda Energy Team.



Figura 69 - Planimetria dello Smart Village

2.5.1 Validazione e analisi dei dati

L'attività di validazione e analisi dei dati di monitoraggio iniziata nelle precedenti annualità (RdS/2013/121 e RdS/PAR2013/061), si è concentrata sulla verifica della qualità dei dati di natura energetica, ambientale e gestionale provenienti dalla sensoristica installata all'interno degli otto edifici componenti il cluster (e connessa centrale termica del distretto) e sull'edificio F40.

Per gli approfondimenti consultare il rapporto RdS/PAR2014/026.

L'attività svolta in questa annualità si è concentrata sulla verifica della qualità dei dati di natura energetica, ambientale e gestionale provenienti dalla sensoristica installata. La metodologia sviluppata in collaborazione con il Politecnico di Torino è descritta in dettaglio nel report (RDS/PAR 2014/026) dove viene esposta l'attività effettuata, maggiori dettagli relativamente alla descrizione degli edifici e ai primi risultati ottenuti dalla sperimentazione sono riportati all'interno dei rapporti RDS/PAR2013/119 e RDS/PAR2013/060.

L'attività di validazione e analisi dei dati di monitoraggio, iniziata nel 2013, si è concentrata sulla verifica della qualità dei dati di natura energetica, ambientale e gestionale provenienti dalla sensoristica installata. L'analisi dei dati riportata all'interno di questo report è stata effettuata su un periodo di campionamento più ampio rispetto a quella presentata nel PAR 2012. Il periodo di misura considerato va infatti dal 01 aprile 2013 al 16 maggio 2015: si hanno così due interi anni di analisi che dimostrano l'ottimizzazione del sistema di acquisizione dati nel tempo, partendo da una prima fase di statup, fino ad ottenere un sistema robusto e affidabile.

L'analisi della qualità dei dati è un'operazione che, come già descritto nei documenti prodotti in precedenza, deve essere ciclica e ripetitiva, in modo da poter verificare che, nel corso del tempo, tutto il processo avanzi con una progressiva ottimizzazione del sistema. In particolare per ogni sensore installato si sono verificate: l'accuratezza della grandezza misurata, il periodo di campionamento, la frequenza temporale di acquisizione, il numero totale di record registrati durante il periodo di monitoraggio, la quantità di dati mancanti e l'attendibilità dei dati acquisiti. I dati collezionati dalla piattaforma di acquisizione sono stati estratti ed elaborati fuori linea. Per ogni edificio si sono analizzati i dati di energia termica, di energia elettrica, di temperatura interna, di occupazione e i parametri ambientali esterni, allo

scopo di realizzare un unico database di riferimento per lo sviluppo di tutte le altre attività elencate a programma.

Nello specifico il processo di analisi condotto si struttura secondo le seguenti fasi:

1. *Verifica del corretto funzionamento dei sensori*

Per ogni parametro misurato si sono valutati l'accuratezza e la precisione del valore acquisito, e la correttezza della frequenza di campionamento.

2. *Individuazione degli errori*

Questa fase ha consentito di individuare gli errori di misura attraverso la verifica delle situazioni di fuori dominio, delle mancate risposte e delle anomalie dei valori. Nel caso specifico si sono riscontrate situazioni di:

- misure nulle
- valori anomali isolati
- valori anomali per periodi prolungati
- valori ingiustificati in alcuni periodi dell'anno (ad esempio potenza frigorifera presente in periodo invernale e non giustificata dai valori di energia frigorifera monitorati in centrale termica).

Inoltre, quando si parla di "mancate risposte", si intende una valutazione della qualità del dato anche in termini di numero di acquisizioni disponibili: affinché i campioni collezionati possano essere considerati accettabili per l'elaborazione, si è fissato come criterio che il numero di dati mancanti non superi il 5%.

3. *Correzione degli errori.*

In questa fase le anomalie riscontrate nella fase precedente vengono corrette eliminando i valori errati e integrando il database con nuovi dati ottenuti attraverso l'applicazione di metodi numerici di interpolazione lineare.

L'analisi di qualità dei dati condotta ha evidenziato che le problematiche riscontrate durante le analisi precedenti, e in particolare riportate all'interno del documento "*Ricerca di sistema elettrico 2013: Validazione, analisi e modelli di diagnostica energetica avanzata di reti di edifici*", sono state risolte. Il sistema di monitoraggio risulta ad oggi essere robusto e affidabile, e consente la costruzione di un database completo e indispensabile per le successive elaborazioni.

L'attività di elaborazione ed analisi dati si compone di più fasi che possono essere sintetizzate come di seguito:

1. *Verifica dei bilanci energetici*

Questa operazione è stata effettuata a completamento della verifica della qualità dei dati al fine di verificare la "robustezza" del sistema di monitoraggio. I dati misurati in ogni singolo edificio, sia termici che elettrici, sono stati in questa fase aggregati e messi a confronto con i dati di monitoraggio ottenuti al punto di erogazione dell'energia (es. contatore generale per l'energia elettrica e contabilizzatore di calore in Centrale Termica per l'energia termica). I risultati di tale operazione hanno verificato l'accettabilità dei valori misurati, evidenziando come gli errori emersi dal calcolo dei bilanci energetici si siano nel tempo ridotti e ad oggi ricadano nei ranges di accettabilità legati all'incertezza di misura.

Anche questa analisi conferma come la qualità dei dati sia migliorata nel corso della sperimentazione.

2. *Caratterizzazione e clusterizzazione dei profili di consumo energetico*

Sempre propedeutica al fine dell'applicazione e validazione di metodologie di benchmarking è la determinazione di profili di carico medio. Questa operazione si concretizza nella determinazione di profili tipici di consumo energetico per edifici per uffici con caratteristiche comuni a quelle del cluster. I profili tipici di potenza, sia elettrica che termica, sono determinati per i vari mesi dell'anno e riportano ranges di accettabilità che dovranno essere rispettati nel tempo. I profili sono costruiti

sia per i giorni feriali che per i festivi, sia per i dati aggregati che, dove possibile, disaggregati. Tale analisi consente sia un confronto trasversale tra edifici, sia un'analisi degli andamenti di carico del singolo edificio durante la campagna di monitoraggio.

I risultati, che durante il primo anno di analisi hanno evidenziato chiare anomalie nella gestione dell'energia, hanno consentito di mettere in pratica azioni di gestione e manutenzione che hanno portato alla diminuzione graduale degli errori. Il confronto dei profili appartenenti a diversi edifici ha infatti consentito, lo scorso anno, di identificare puntualmente e per ogni immobile le azioni di miglioramento da compiere. Il monitoraggio energetico in continuo ha dunque consentito di verificare l'effetto positivo degli interventi e di valutare i conseguenti risparmi energetici ed economici raggiunti. Lo stesso strumento ha inoltre permesso di quantificare i risparmi energetici ottenuti agendo sui sistemi di gestione impiantistica.

3. Definizione e valutazione di nuovi Key Performance Indicators (KPI)

Questa fase ha previsto il confronto dei KPI termici ed elettrici definiti all'interno del documento "Ricerca di sistema elettrico 2012: Metodi per l'analisi prestazionale di reti di edifici e test su dati sperimentali e simulatore", e la cui prima applicazione è riportata all'interno del documento "Ricerca di sistema elettrico 2013: Validazione, analisi e modelli di diagnostica energetica avanzata di reti di edifici", con gli stessi indicatori applicati questa volta ad un campione di dati più ampio.

Lo scopo è quello di validare i KPI già introdotti, di indicarne di nuovi (ove necessario e sulla base delle nuove informazioni acquisite) e di verificare il comportamento dei consumi energetici negli ultimi due anni di sperimentazione. In tal modo è possibile confrontare tra loro tutte gli edifici appartenenti al cluster sia dal punto dell'energia termica, sia dell'energia elettrica, sia dell'energia totale (energia primaria).

Gli indicatori energetici valutati espressi come rapporto tra:

- il consumo di energia elettrica e termica, in termini di:
 - consumo totale (Energia Primaria)
 - consumo di energia per fonti energetiche (Energia Elettrica, Energia Termica)
 - consumo di energia per usi finali (Riscaldamento/Raffrescamento per quanto riguarda l'Energia Termica, Condizionamento/Illuminazione/Forza motrice per quanto riguarda l'Energia Elettrica)
- e i fattori di normalizzazione, che ricadono all'interno delle categorie seguenti:
 - caratteristiche geometriche degli edifici (superfici e volumi)
 - fattori legati all'uso dell'edificio (presenza degli occupanti)
 - fattori climatici (temperature medie esterne, radiazione solare, ecc.)
 - parametri temporali (giorno, mese, anno)

Nello specifico, i principali indicatori di Energia Elettrica e di Energia Termica, calcolati per ogni edificio su base sia mensile sia annua, sono:

$$I_{el} = \frac{kWh_{el}}{m^2} \qquad I_{th} = \frac{kWh_{th}}{m^3} \qquad I_{th} = \frac{kWh_{th}}{m^3 \cdot GG}$$

Ulteriori indicatori sono riportati all'interno dell'elaborato finale.

4. Elaborazione di dati ambientali in relazione ai consumi energetici

L'analisi ambientale condotta in una prima fase di elaborazione dati (PAR 2013) è stata proseguita ed implementata, allo scopo di verificare se, ottimizzando i sistemi energetici, anche le condizioni ambientali avessero subito un miglioramento. Le analisi svolte hanno confermato i risultati attesi, dimostrando anche sotto questo punto di vista l'efficienza del sistema implementato.

Il confronto tra i risultati ottenuti in termini sia energetici che ambientali non è risultato del tutto immediato. Malgrado gli interventi già effettuati, i consumi energetici per condizionamento spesso non trovano correlazione con i fattori climatici esterni e interni. Nei casi analizzati, i profili temporali dei dati energetici monitorati spesso non trovano ancora una correlazione diretta con i parametri ambientali (ad

esempio le temperature esterne). Tale fattore evidenzia il fatto che la gestione del controllo degli impianti potrebbe essere ulteriormente ottimizzata.

Per quanto riguarda l'edificio F40, l'attività di analisi dati nel corso delle precedenti annualità ha evidenziato alcune incongruenze nel sistema di acquisizione che hanno comportato vari interventi di manutenzione e calibrazione, in effetti l'edificio F40 ha dimostrato che una maggiore complessità del sistema di monitoraggio e controllo può comportare la necessità di un periodo di messa a punto più lungo. Nell'arco della sperimentazione che abbraccia il triennio 2013-2015 le cause che hanno comportato le anomalie riscontrate si possono riassumere nella seguente casistica:

- errori di installazione della strumentazione, in particolare è stata riscontrata l'errata installazione di alcuni trasformatori amperometrici a livello di quadro elettrico dovuto ad errato cablaggio delle fasi, ciò ha comportato l'impossibilità di validare i dati precedentemente acquisiti. L'intervento risolutivo è stato effettuato a luglio 2014, le linee interessate dall'intervento sono state: linea luce normale pt,p1,p2; linea luce emergenza pt, linea fancoil pt, p1, p2.
- mancanza di comunicazione tra device installato in campo e BEMS, che si traduce sia in mancata acquisizione del dato monitorato che mancata attuazione del comando inviato, con conseguente perdita di risparmio energetico.
- Staratura del sensore (sonda di temperatura di ritorno del fluido termovettore e termostati di zona).

2.5.2 Verifica sperimentale delle metodologie di controllo adattivo e analisi dei risultati

Nei precedenti annualità sono state sviluppate metodologie di controllo adattivo e impostazione automatica dei set-point per la gestione ottimale degli edifici (RDS/PAR2013/060). In questa annualità, è stata effettuata la verifica sperimentale delle metodologie di controllo implementate relative alle utenze elettriche e termiche presso l'edificio F40, preso come caso di riferimento.

CASO ELETTRICO

Secondo la logica dell'energy on demand, presso l'edificio F40 viene fornita energia solo nel momento e nella misura in cui viene richiesta dagli utenti la cui presenza viene monitorata dal sistema di supervisione. Il monitoraggio della presenza viene effettuato tramite un sensore ad infrarossi posto all'interno della singola stanza. Inoltre il sistema di supervisione è in grado di estrapolare i dati della presenza dei dipendenti all'interno del Centro dal sistema di badge e quindi rilevarne l'orario di ingresso, uscita e accesso a mensa.

Per quanto riguarda l'illuminazione indoor è stato implementato un duplice controllo con differente livello di dettaglio, che di fatto corrisponde alle due linee di alimentazione delle lampade dell'edificio. La linea di emergenza alimenta le luci all'interno delle stanze e dei bagni ed una lampada su tre del corridoio, mentre la linea normale alimenta due ogni tre lampade del corridoio.



Figura 70- Schema alimentazione lampade presso l'edificio F40

In particolare le metodologie di controllo implementate per quanto riguarda l'illuminazione indoor sono le seguenti:

- a livello di singola stanza e presso i servizi igienici, grazie ai sensori di presenza ad infrarossi installati, le luci vengono spente in caso di assenza dell'utente o di luminosità naturale sufficiente.
- a livello di quadro elettrico di piano viene controllato lo spegnimento della linea che alimenta le lampade dei corridoi in funzione della presenza degli utenti rilevata tramite badge. Pertanto se il

numero di presenti è al di sotto della soglia impostata, il sistema “spegne le luci” dei corridoi del piano dell’edificio a cui afferiscono gli stessi dipendenti. Si riportano di seguito i valori di soglia impostati:

- P. terra il numero delle presenze ≤ 2
- P. primo e secondo il numero delle presenze ≤ 3 .

Si riporta di seguito il grafico delle potenze attive nel triennio di monitoraggio relativo alla linea elettrica di emergenza:

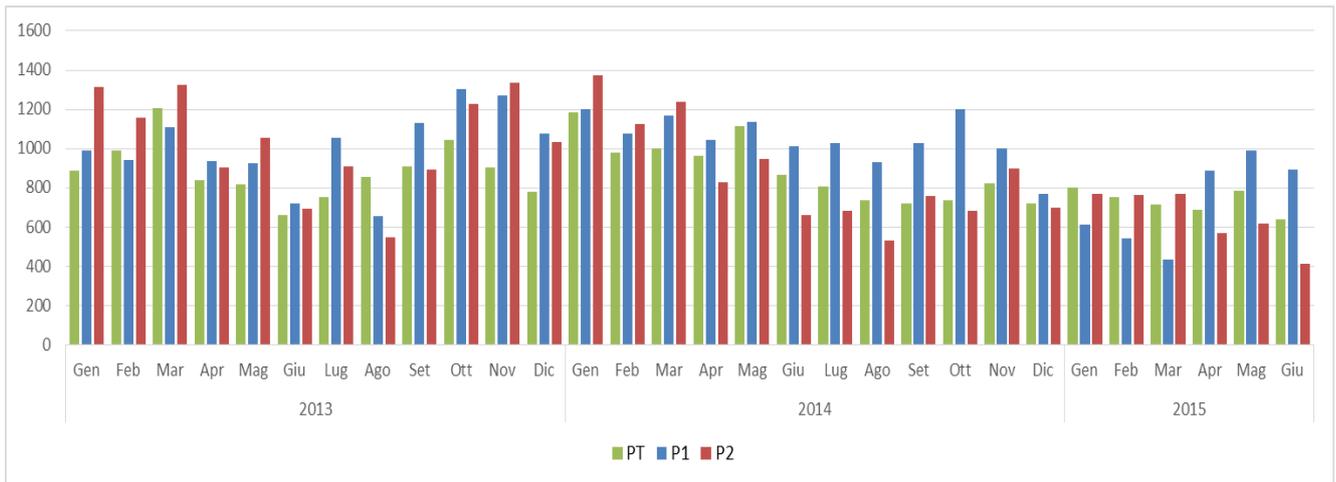


Figura 71: Potenze elettriche relative alla linea di emergenza

Per la stima dei risparmi conseguiti sono stati presi in esame e confrontati i mesi di gennaio e febbraio del 2013, periodo in cui è stato effettuato il solo monitoraggio, con lo stesso periodo del 2015 quando veniva effettuato il controllo di stanza tramite sensore ad infrarossi. Dall’analisi dei risultati è stato stralciato il 2014, in quanto il sistema era ancora in fase di calibrazione. Le misure validate si riferiscono solo al quadro elettrico del piano primo e secondo, in quanto al piano terra i dati relativi al 2013 non sono risultati validi a causa dell’erroneo cablaggio del TA come specificato nel precedente paragrafo.

Si riportano di seguito i grafici in cui si confrontano i profili della potenza elettrica ante e post attuazione riferiti ad un’intera settimana.

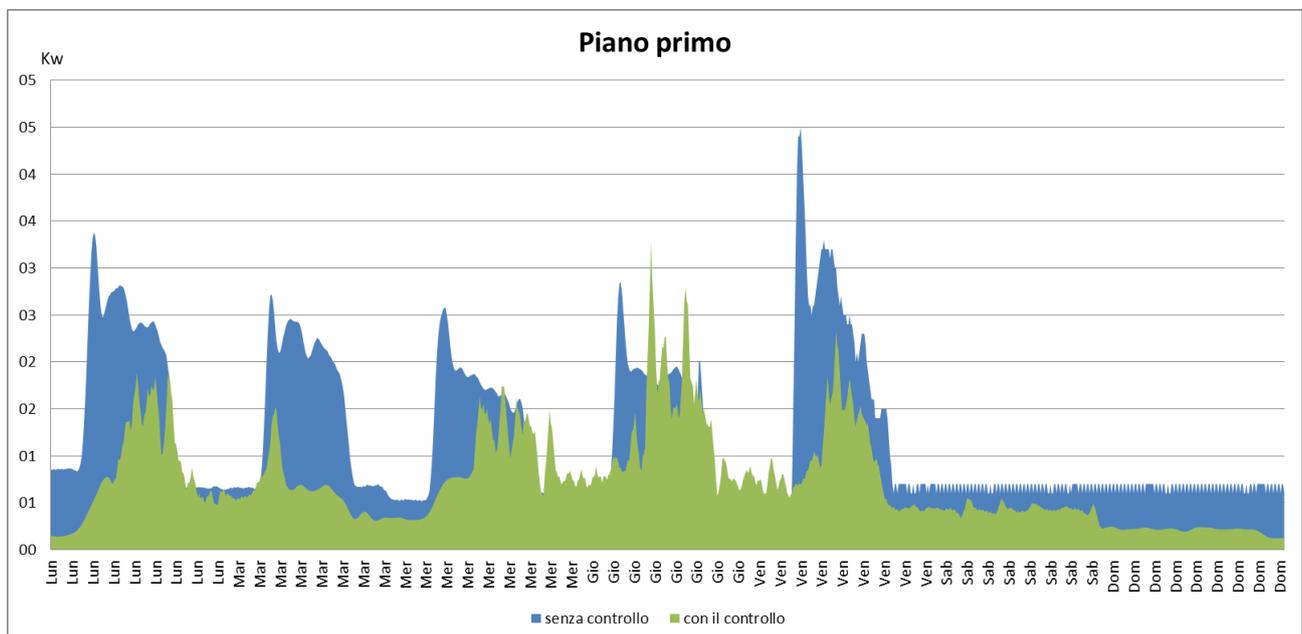


Figura 72- Confronto consumo energetico ante e post controllo - Piano Primo

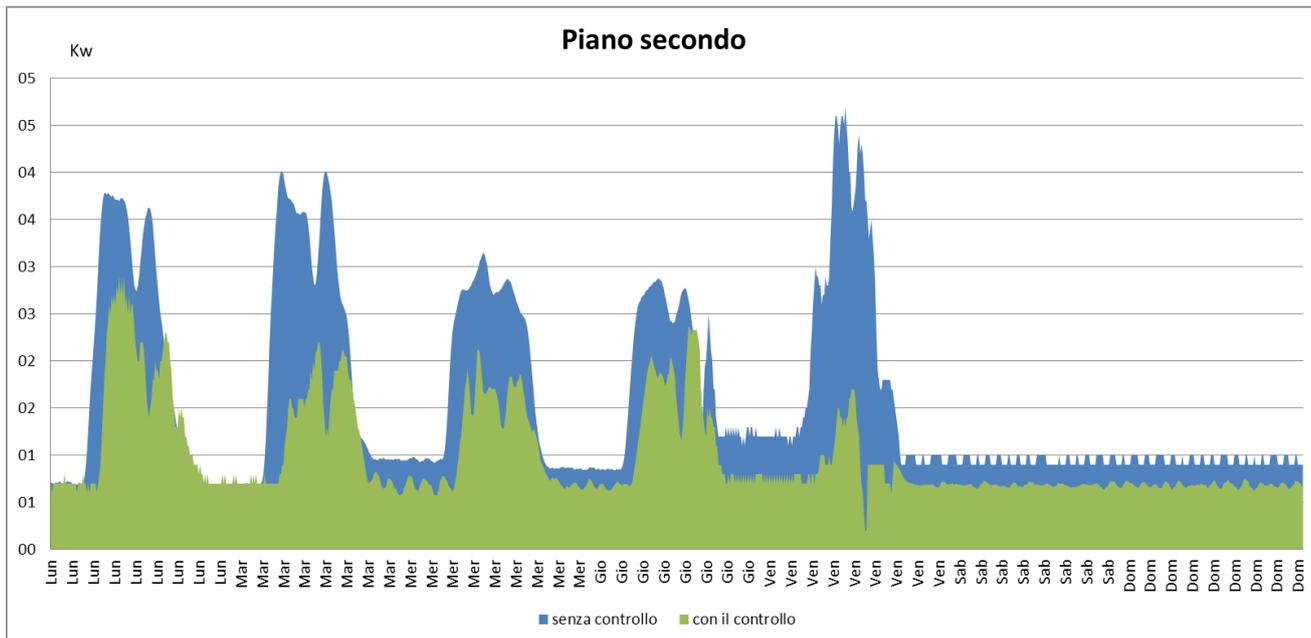


Figura 73 - Confronto consumo energetico ante e post controllo – Piano Secondo

Dall’andamento del grafico si nota un consumo quasi costante durante la notte in quanto, a vantaggio della sicurezza, vengono alimentate le lampade della linea di emergenza che corrispondono ad una delle tre presenti in corrispondenza del corridoio.

I risparmi conseguiti in seguito al controllo di stanza grazie all’impiego del sensore di presenza si riportano nella tabella che segue:

CONTROLLO DI STANZA	P1	P2	Totale
	[kWh]	[kWh]	[kWh]
gen- feb 2013	2410.4	3157.6	5568.0
gen- feb 2015	1472.2	1871.9	3344.1
% risparmio	39%	41%	40%

A livello della singola stanza, è possibile impostare da remoto il set point del termostato che controlla il fancoil presente. In assenza dell’utente, il set point del termostato viene settato ad un valore T di default, massimo in estate e minimo in inverno. Tale impostazione consente di spegnere in automatico le ventole del fan-coil dove non è richiesta di climatizzazione assicurando una riduzione dei consumi termici ed elettrici.

E’ stato effettuato un test per verificare il risparmio conseguito con il controllo dei set point del termostato di stanza disabilitando il controllo da remoto durante un giorno lavorativo (18 settembre 2015) ed è stato confrontato con un identico giorno della settimana (11 settembre 2015). Di seguito si riportano i grafici delle misure effettuate.

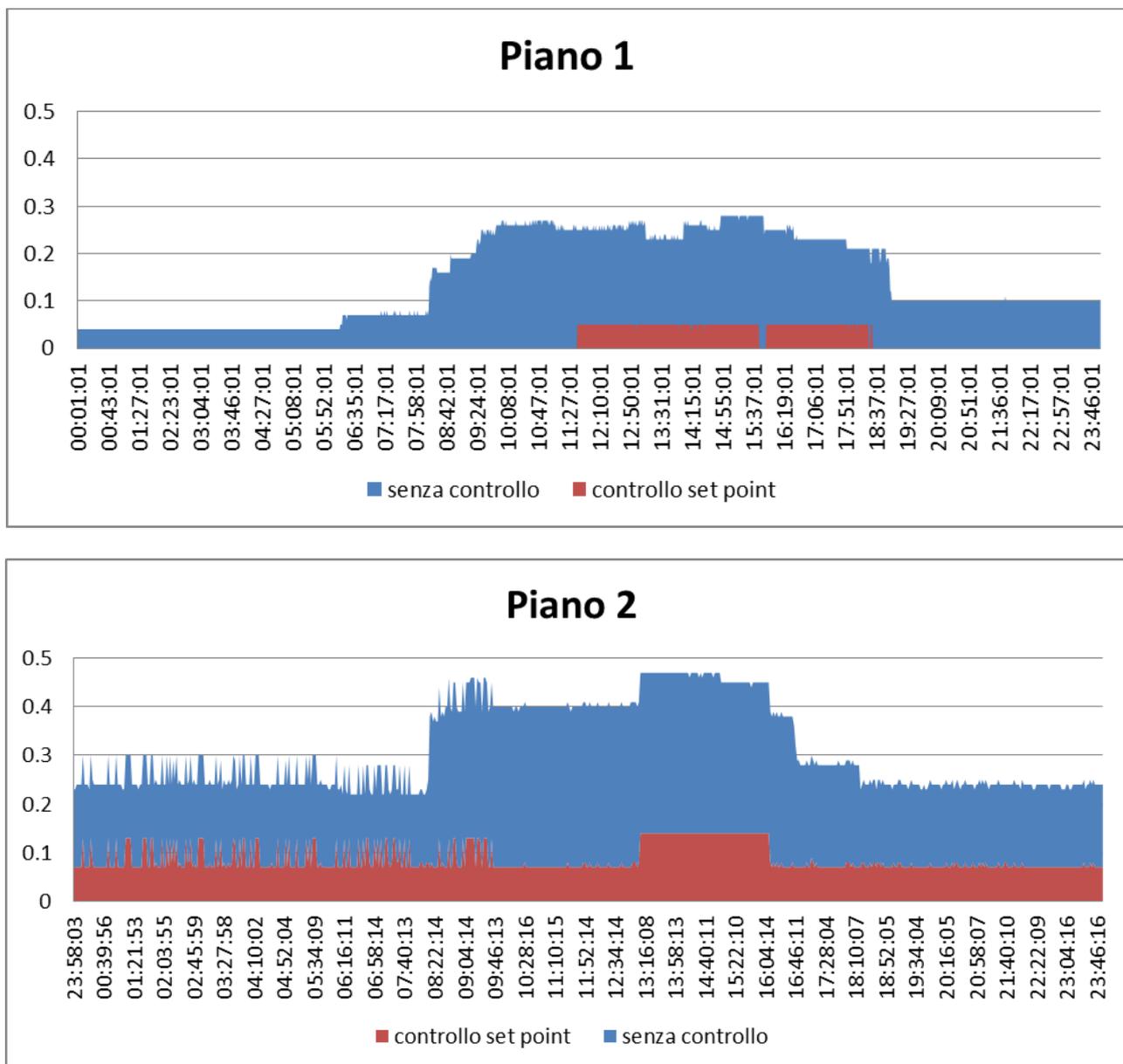


Figura 74-Confronto tra le potenze attive relative della linea fancoil con e senza controllo del termostato

Dai grafici si può notare che il controllo dell'accensione delle ventole tramite impostazione del termostato consente notevoli risparmi energetici in quanto la ventola non entra in funzione quando l'utente è assente, sia di notte che durante l'orario di lavoro, quando non è stata rilevata la timbratura del badge all'ingresso al Centro. Solo al piano secondo permane uno zoccolo di consumo dovuto al fatto che la sala riunioni ospitata su questo piano non viene controllata da remoto. In generale, in entrambi i piani, quando il controllo è attivo, si riscontra un consumo nelle ore centrali della giornata a riprova del fatto che le ventole dei fancoil entrano in funzione solo nelle ore più calde. Infatti il fancoil non entra in funzione se la temperatura rilevata nella stanza è inferiore al set point richiesto, in estate e viceversa in inverno, assicurando sempre il comfort dell'utente ma evitando inutili sprechi dovuti al funzionamento del fancoil quando all'interno della stanza si è già in una condizione di comfort. Il risparmio medio ottenuto nella sperimentazione condotta è stato del **75%**. Si prevede di effettuare ulteriori test in assenza di controllo nella prossima annualità soprattutto nella stagione invernale per un ulteriore riscontro dei risultati ottenuti.

Per apprezzare i risparmi conseguibili grazie ad un controllo a livello di quadro elettrico sono stati valutati i dati a disposizione relativi al cluster di 8 edifici dove è previsto esclusivamente il controllo a livello di quadro elettrico.

Si riportano di seguito i grafici in cui si evidenzia:

- il consumo elettrico relativo all'illuminazione per un intero anno per ciascun edificio del cluster ,
- l'incidenza dei consumi in funzione del giorno (feriale o festivo) e dell'ora (giorno o notte).

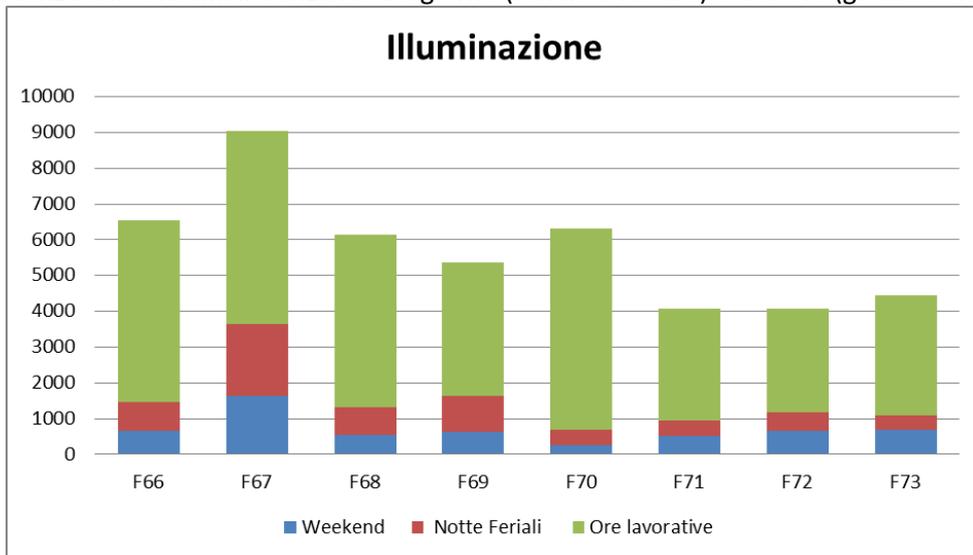


Figura 75- Incidenza dei consumi per illuminazione in funzione del giorno e dell'ora.

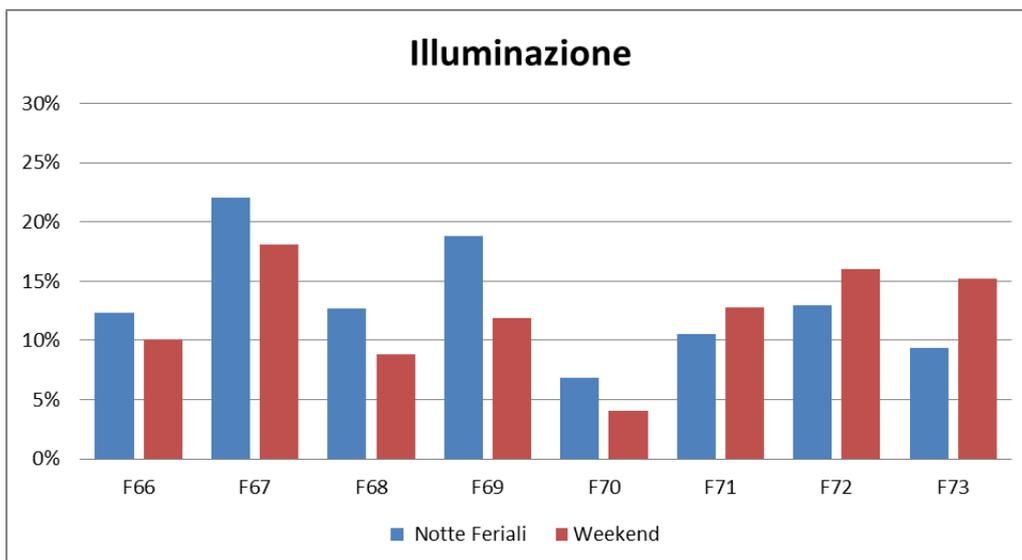


Figura 76- Confronto tra consumi nelle notte feriali e nei weekend

Si può notare che in generale le luci rimangono accese sia di notte che durante il weekend, pertanto un controllo a livello di quadro elettrico in grado di spegnere le luci quando i dipendenti sono assenti (notte e weekend), consente un risparmio medio per gli edifici considerati dell'ordine del **25%**.

La stessa analisi è stata effettuata anche per la linea fan-coil per verificare il risparmio conseguibile con un controllo a livello di quadro.

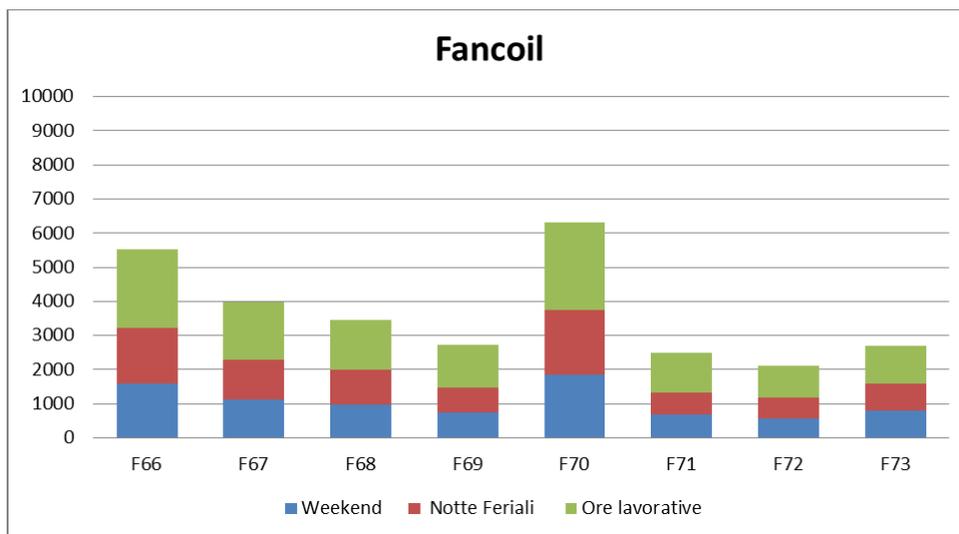


Figura 77 – Incidenza dei consumi per fancoil in funzione del giorno e dell'ora

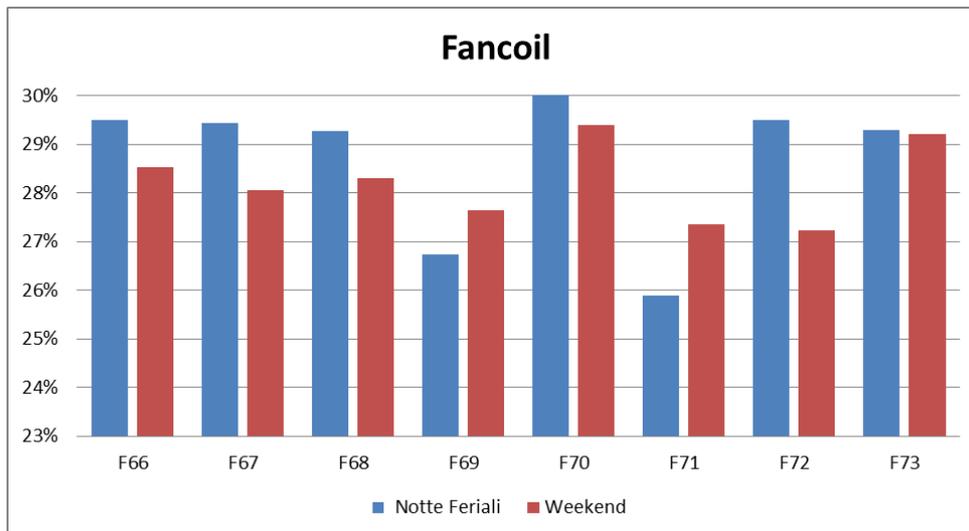


Figura 78- Confronto tra consumi nelle notti feriali e nei weekend

Nel caso dei fancoil il controllo a livello di quadro elettrico consente un risparmio medio del **57%**

In generale le differenti percentuali di consumo tra gli edifici evidenzia quanto incida, a parità di condizioni al contorno, il diverso comportamento degli utenti.

La tabella che segue sintetizza i coefficienti di risparmio per le utenze di illuminazione e fancoil con i differenti tipologie di controllo implementate:

Illuminazione	
Tipo di controllo	Coefficiente di risparmio
Controllo di linea	25%
Controllo di stanza	40%

Ventole fancoil	
Tipo di controllo	Coefficiente di risparmio
Controllo di linea	57%
Controllo set point di stanza	75%

Infine è stato calcolato il risparmio annuo conseguito sul consumo elettrico durante la sperimentazione condotta sull'edificio F40, in termini di energia elettrica (kWh), tonnellata equivalente di petrolio (tep) ed euro (considerato il costo reale sostenuto dall'Enea pari a 0.18 €/ kWh):

Risparmio annuo su consumo di energia elettrica						
Tipo di utenza	Tipo di controllo	Consumo con controlli attivi	Coefficiente di risparmio	Risparmio		
		kWh	%	kWh	tep	€
Fancoil	Controllo set point di stanza	1344	75%	4032	0.8	733.8
Luce corridoi	Controllo di linea	13000	25%	4333	0.8	788.7
Luce stanze	Controllo di stanza	27428	40%	18285	3.4	3327.9
Totali				26651	5.0	4850.4

CASO TERMICO

Il Centro Ricerche Casaccia è servito da un sistema di teleriscaldamento alimentato da una centrale termica composta da tre caldaie di potenza termica di 6.000.000 kCal/h ciascuna alimentate a Gas naturale. Il fluido surriscaldato a 120°C viene poi mandato alle 66 sotto-centrali termiche, ognuna delle quali serve uno o più edifici dei 166 edifici insistenti nel Centro.

L'edificio F40 è allacciato alla rete di teleriscaldamento descritta sopra, è infatti climatizzato da una centrale termica locale posta nel piano interrato dell'edificio stesso dove lo scambiatore termico acqua-acqua assicura nel periodo invernale l'alimentazione termica dell'intero edificio. L'acqua surriscaldata alimenta il circuito primario dello scambiatore di calore locale mentre nel periodo estivo, per il raffreddamento, vengono usati tre compressori da 30 kW ciascuno installati nella stessa sala. L'impianto dell'edificio F40 è composto da due circuiti idraulici separati, uno per il riscaldamento e uno per il raffreddamento, per cui alle singole utenze, fan-coil, arrivano due circuiti separati che alimentano gli scambiatori acqua-aria. La climatizzazione è completata dalle unità UTA che mandano aria climatizzata e filtrata nelle stanze, laboratori e hall tecnologica.

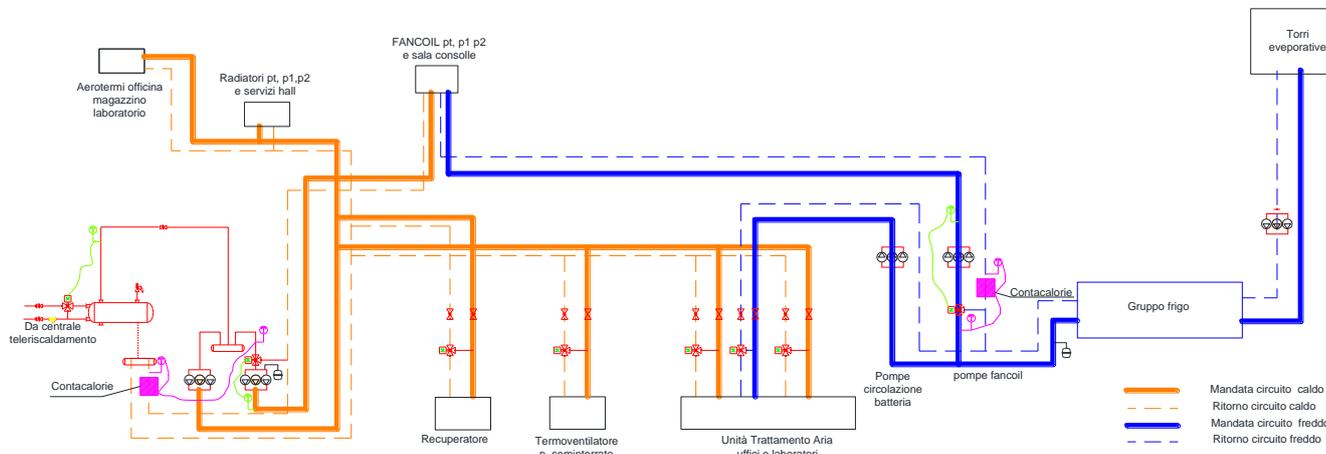


Figura 79 - schema centrale termica F40

Nella scorsa annualità, per consentire la gestione da remoto della valvola a tre vie è stata installata una centralina elettronica in grado di dialogare con il quadro di telecontrollo e con la regolazione pneumatica della valvola a tre vie che gestisce il passaggio dei fluidi, per la gestione ottimale della climatizzazione invernale. In questa annualità è stata testata la strategia di ottimizzazione basata sull'impostazione da remoto tramite BEMS, della temperatura di mandata del fluido termovettore del circuito di climatizzazione e dei termostati delle singole stanze.

Il monitoraggio dei consumi è stato intrapreso nel gennaio del 2013 per il circuito invernale e dal luglio 2014 per quello estivo. La sperimentazione della gestione ottimale dei set-point ha interessato la stagione invernale 2014-2015.

Si riportano di seguito i profili di consumo monitorati nelle scorse stagioni invernali:

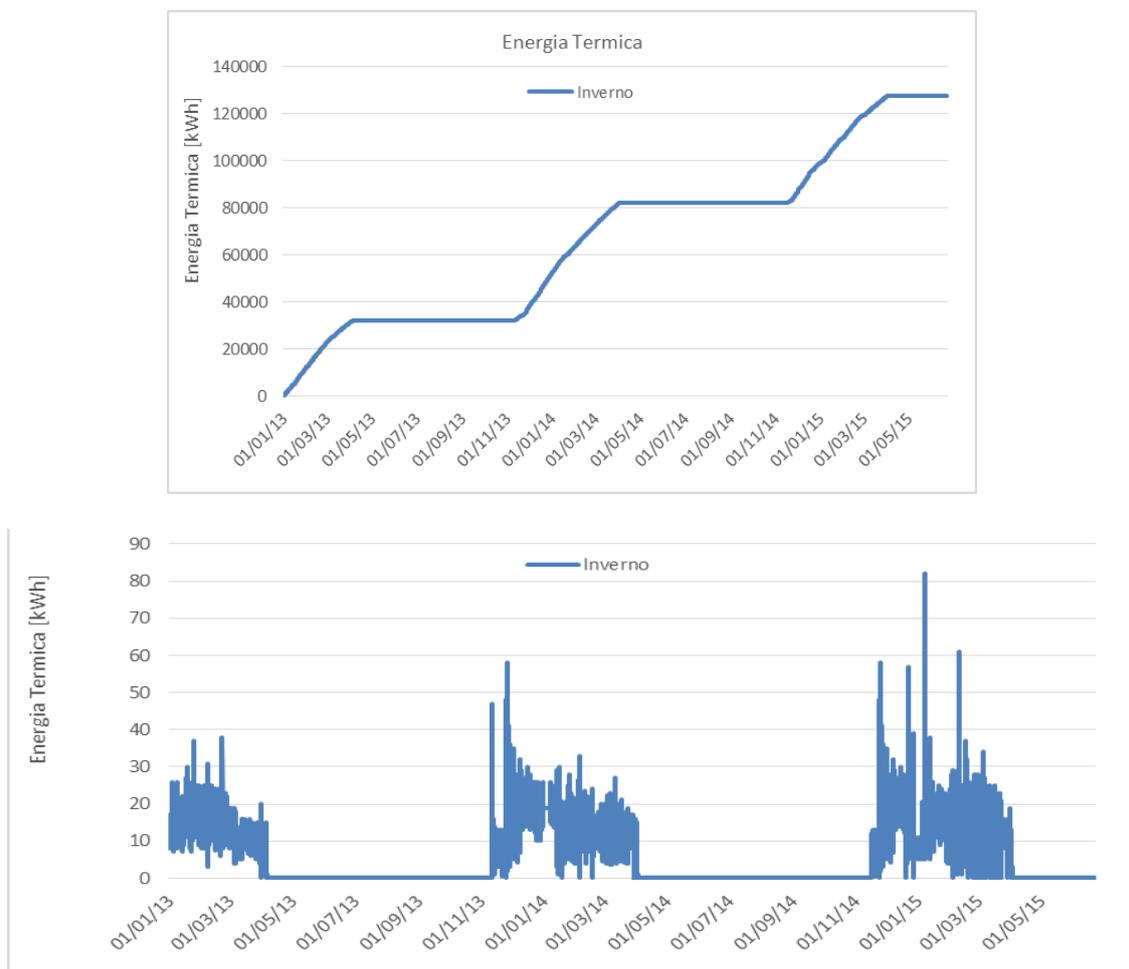


Figura 80: Consumo di energia termica per riscaldamento

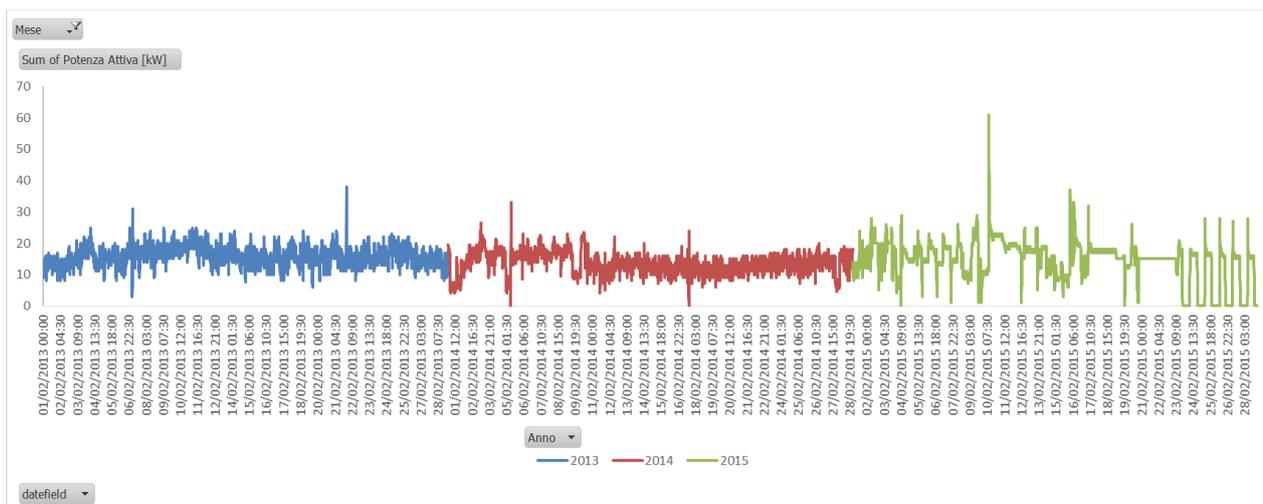


Figura 81- Profilo di potenza termica

Durante la sperimentazione condotta sono state attuate e testate le seguenti strategie di controllo basate sulla logica di ottimizzazione dei set point:

- a livello di centrale termica, è stata impostata da remoto la temperatura di mandata del fluido termovettore alla rete di distribuzione invernale tramite regolatori PID che controllano l’apertura della valvola a tre vie miscelatrice. Terminato l’orario di lavoro, il set point della temperatura di mandata veniva abbassato per consentire il riduzione dei consumi energetici.
- a livello della singola stanza, tramite BEMS è stato impostato il set point del termostato che controlla il fancoil presente. In assenza dell’utente, il set point del termostato è stato settato ad un valore T di default minimo in inverno. Tale impostazione consente di spegnere in automatico le ventole del fan-coil dove non è richiesta di climatizzazione assicurando una riduzione dei consumi termici ed elettrici, questi ultimi sono stati illustrati nel paragrafo precedente.

Prima della fase di sperimentazione la temperatura di mandata al circuito veniva impostata manualmente a circa 70°C e rimaneva fissa sia di giorno che di notte, così come i termostati di stanza venivano regolati autonomamente da ciascun utente. Durante la sperimentazione la regolazione dei setpoint è stata effettuata da remoto tramite piattaforma Easycon, si riporta di seguito un grafico che sintetizza i set point impostati:

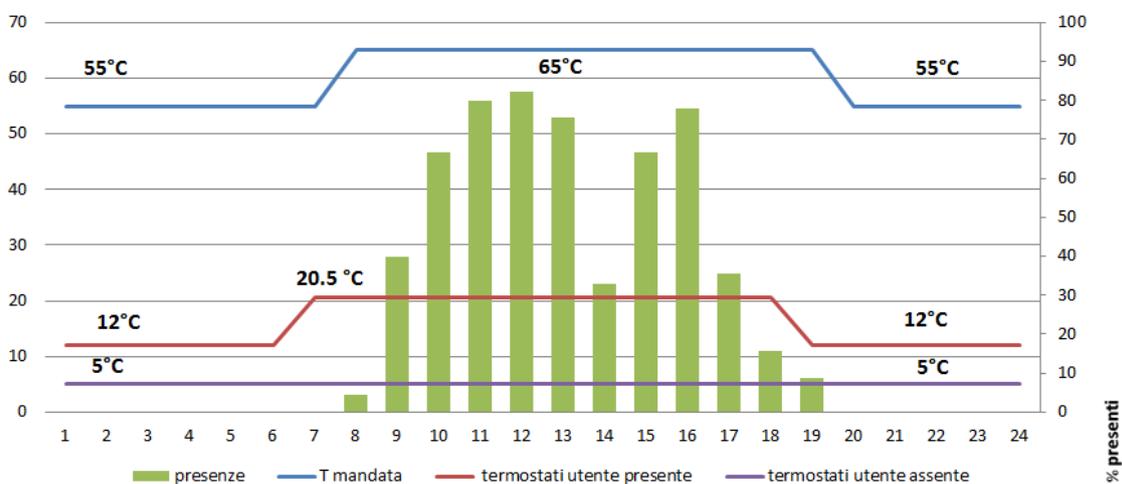


Figura 82- set- point INVERNO

Per poter assicurare un efficace controllo della domanda tramite il set point della temperatura interna sono stati impostati anche i seguenti parametri:

- range di variazione temperatura in regolazione permesso all'utente (ΔT max), in modo da delimitare l'azione non regolata dell'utente finale che potrebbe inficiare il controllo da remoto;
- isteresi termostato, per controllare il differenziale di temperatura (zona morta) ovvero l'ampiezza della fascia in cui non avvengono commutazioni di stato. Il ritardo con cui il sistema risponde alla variazione di temperatura rilevata è un parametro fondamentale per definire la condizione di confort nell'ambiente;
- offset di correzione valore temperatura letto, al fine di compensare eventuali differenze tra la temperatura rilevata dal termostato e quella reale dell'ambiente;

T max (range variazione utente)	+ - 3°
Isteresi termostato	0.5°
Offset correzione temperatura	0/+,- 3

Si riportano di seguito i grafici che consentono il confronto tra i consumi termici per ciascun mese invernale l'andamento delle temperature nelle stagioni monitorate.

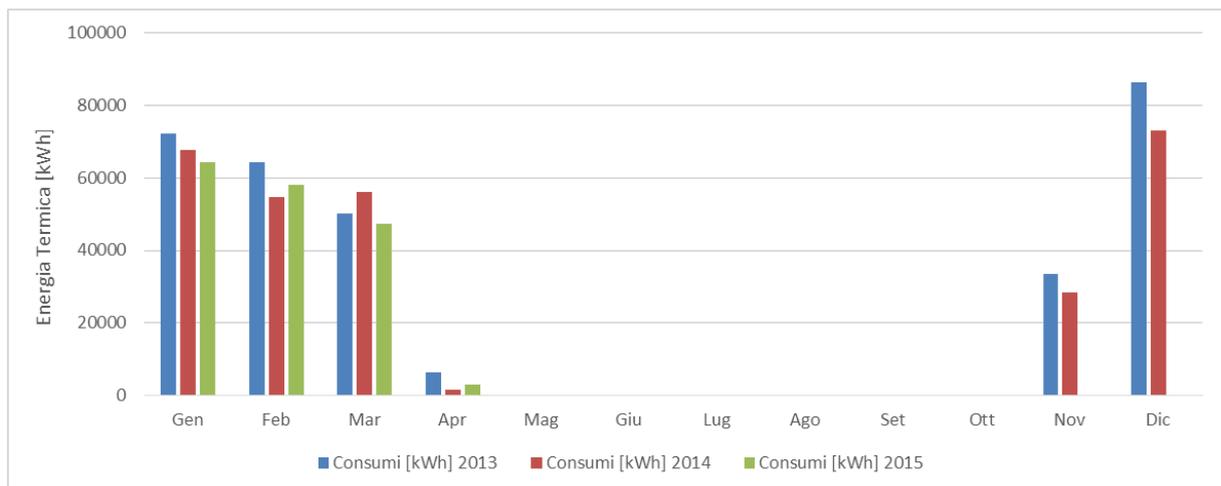


Figura 83- Consumi di energia termica

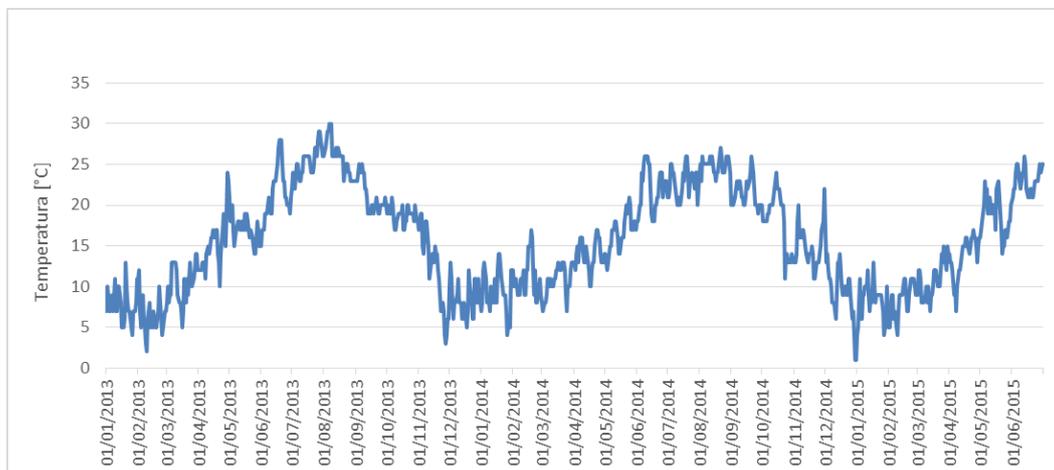


Figura 84- Temperatura media esterna

Per consentire il confronto tra stagioni differenti i consumi sono stati normalizzati in funzione dei Gradi Giorno calcolati.

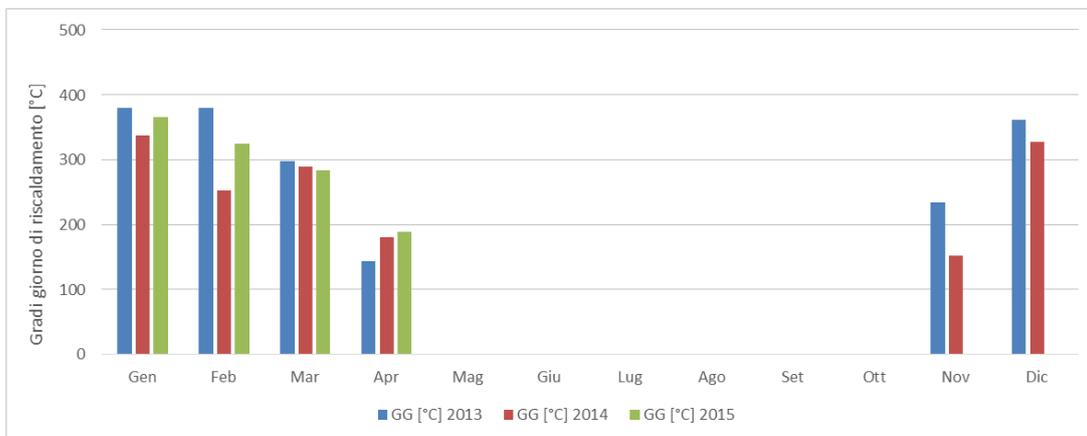


Figura 85- Gradi Giorno di riscaldamento

I consumi sono stato stati successivamente normalizzati in funzione dei gradi giorno reali consentendo in tal modo il confronto tra i differenti periodi.

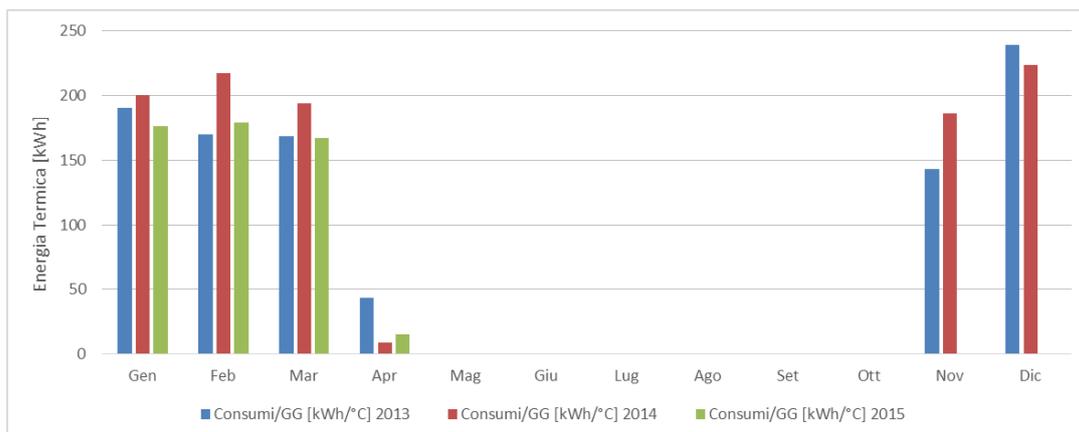


Figura 86- Consumi energia termica/Gradi Giorno

Nella sperimentazione condotta nella stagione invernale 2014-2015 è stato conseguito un risparmio di circa il 12% come evidenziato nella tabella successiva.

	Energia termica / GG	Coefficiente di risparmio
Inverno 2013-2014	214	12%
Inverno 2014-2015	187	

Infine è stato calcolato il risparmio annuo in termini di kWh, Tep conseguito sul consumo termico durante la sperimentazione condotta nell'ultima stagione invernale presso l'edificio F40:

Consumo per riscaldamento		Risparmio		
Inverno 2013-2014	Inverno 2014-2015	kWh	tep	€
kWh	kWh			
299916	274112	25804	2.2	2580.4

Sono stati effettuate ulteriori prove sperimentali con impostazione di notte del set point della temperatura di mandata molto basse in grado di chiudere la mandata del fluido caldo e consentire solo il ricircolo del fluido del circuito di ritorno. La chiusura della valvola di mandata al circuito invernale, ha causato un riflusso del fluido nel circuito di distribuzione dei radiatori con conseguente errore nella contabilizzazione dell'energia termica consumata, per questo motivo è stata inserita una valvola di ritegno come descritto nel paragrafo 2.8.3, per consentire nelle prossime annualità la sperimentazione e valutazione dei risultati ottenibili con lo spegnimento notturno dell'impianto di riscaldamento.

2.6 Metodologie per l'analisi del comportamento degli utenti e di trend detection (Politecnico di Torino)

Le azioni comportamentali degli utenti (come ad esempio apertura/chiusura finestre, uso dell'illuminazione artificiale, o uso dell'impianto di riscaldamento) negli edifici residenziali hanno un impatto significativo nella prestazione energetica degli edifici. Questa attività di ricerca riguarda la definizione, misurazione, modellazione del comportamento degli utenti legato all'uso dell'energia negli edifici. L'applicazione a casi di studio reali risulta una attività chiave in questo lavoro di ricerca: la qualità dei dati provenienti dalle misurazioni in campo sarà di importanza fondamentale per le attività di elaborazione ed analisi.

L'attività del gruppo TEBE si è delineata attraverso diversi studi, focalizzati dapprima nella definizione del ruolo chiave dell'utenza all'interno degli edifici. Infatti, uno degli ostacoli maggiori per raggiungere migliori risultati in termini di efficienza energetica degli edifici è la mancanza di una reale conoscenza dei fattori determinanti gli usi di energia, ma diversi studi di letteratura dimostrano che la divergenza tra il consumo reale e quello previsto dipendono, sia dalla realizzazione della costruzione degli impianti tecnici, che dal reale uso dei sistemi di controllo da parte dell'occupante. Il progetto ECBCS Annex 53 ha introdotto una categorizzazione dei fattori individuati quali regolatori del processo generale conducente ai consumi finali: tre di questi sono strettamente legati alla prestazione energetica dell'edificio (clima, involucro edilizio; impianti e sistemi energetici) ma altri tre fattori sono strettamente legati a come l'edificio viene gestito e operato (gestione e manutenzione; attività e comportamento degli occupanti; livello di richiesta di qualità ambientale interna). Pertanto, la conoscenza delle azioni degli utenti è fondamentale per una comprensione migliore volta al miglioramento delle previsioni delle prestazioni dell'edificio e dei reali consumi.

Sono stati quindi indagati quali sono i fattori che influenzano gli utenti ad interagire con l'ambiente interno per migliorare le condizioni di benessere. In particolare, sono stati analizzati 3 tipi di controllo: l'uso delle finestre (apertura e chiusura) in relazione alla ventilazione naturale, la regolazione del termostato in relazione all'energia termica per riscaldamento invernale; l'uso delle schermature solari in relazione alla luce naturale. Diverse tipologie di edifici variano rispetto ai temi di ricerca: l'uso dell'energia per riscaldamento viene particolarmente studiato in edilizia residenziale, i consumi energetici per illuminazione artificiale viene analizzato solo in edifici per uffici. Il comportamento legato all'apertura e alla chiusura delle finestre viene trattato nelle ricerche sia sugli edifici residenziali sia su edifici per uffici. I fattori influenzanti gli utenti, in particolare, vengono analizzati dividendo i parametri principali in 5 categorie di drivers: fisico-ambientale, contestuale, psicologici, fisiologici e sociali. Secondo l'analisi dei drivers emersi dagli studi svolti, è possibile definire quali drivers hanno la maggiore influenza che porta l'occupante a compiere un'azione. Questi drivers preminenti intercettano le cinque categorie, evidenziando così la complessità della ricerca sul comportamento dell'occupante. La categoria fisica-ambientale presenta il più alto numero di parametri, inoltre questi ultimi risultano essere dei drivers sia per gli uffici che per gli edifici residenziali.

Dagli studi svolti emerge invece che i parametri contestuali prevalenti sono drivers solamente per quanto riguarda gli edifici residenziali.

La metodologia per definire un modello di uso del termostato si delinea a partire dalla consapevolezza che il nostro agire è il risultato dell'interazione di differenti fattori interni ed esterni, legati a competenze, emozioni, norme sociali percepite, background culturale. Inoltre, non è sempre chiaro quale sia il comportamento più corretto per ogni situazione specifica. L'educazione è in grado di influenzare il comportamento dei cittadini, di informarli sulle questioni ambientali e sulle politiche energetiche da utilizzare per favorire taluni cambiamenti nelle loro abitudini. L'insegnamento fine a se stesso però, limitandosi a dire cosa è giusto o non giusto fare, non comporta risultati efficaci relativamente a modifiche comportamentali in merito alla sostenibilità, l'educazione ambientale dovrebbe invece concentrarsi sulla capacità di azione, su abilità e attitudini per affrontare in modo efficace i problemi della sostenibilità da un punto di vista pratico. Vengono quindi definiti dei programmi di engagement degli utenti per educare e responsabilizzare gli utenti ad un uso maggiormente consapevole dell'energia nelle abitazioni.

Gli strumenti e i metodi di engagement a cui si fa riferimento in questo report forniscono un inquadramento per sviluppare strategie e programmi di sostenibilità ambientale che contribuiscono a produrre benefici a livello ambientale ma anche organizzativo e a incoraggiare la cultura dell'innovazione e dell'engagement stesso. In questo report viene eseguita una revisione bibliografica della cultura organizzativa, meccanismi di input, strumenti e strategie di assegnazione delle priorità e di rilevamento e valutazione dei risultati ottenuti.

In questo report, vengono quindi identificati i principali metodi di engagement e delle azioni che gli impiegati possono incentivati ad eseguire e vengono quindi discussi gli strumenti tramite cui queste azioni impegnano gli utenti coinvolti alla sostenibilità ambientale. Brevi casi di studio assunti a titolo di esempio contribuiscono a chiarire le metodologie di coinvolgimento e a dare implicazioni pratiche. Le pratiche di engagement degli utenti alla sostenibilità ambientale nei luoghi di lavoro sono state indagate attraverso i reports di CSR (Corporate Social Responsibility) ovvero di Responsabilità Sociale delle imprese, ma anche attraverso materiale mediatico online incluso GreenBiz.com e Environmental Leader, e attraverso le interviste disponibili di persone di organizzazioni che hanno previsto o stanno effettuando programmi di user engagement.

È stata quindi predisposta una proposta di campagna di sensibilizzazione per gli utenti degli 8 edifici ("cluster") di ENEA Casaccia. Per redigere la proposta è stato definito lo stato di partenza dell'uso dell'energia nei diversi edifici sperimentatori. Sono stati quindi definiti la quantità di energia elettrica utilizzata per persona e per superficie di ogni singolo edificio: tali dati serviranno come base di riferimento per poi considerare l'efficacia della campagna di sensibilizzazione.

Il programma di engagement si basa essenzialmente su una competizione tra pari: gli utenti degli edifici pilota saranno messi a confronto in una gara di sostenibilità. Si propone di articolare la gara in tre diverse competizioni, ognuna delle quali si focalizza su aspetti della sostenibilità diversi, ma comunque circoscritti all'uso dell'energia all'interno degli edifici per uffici.

La prima gara prende come riferimento il valore di kWh/m² di energia elettrica medio dei diversi edifici relativo alla fase di riferimento (valore precedente all'inizio della sperimentazione, in modo tale da poter considerarlo considerare come benchmark) e sulla base di questo valore calcolare i kWh risparmiati, come differenza tra il valore consumato nel mese di riferimento e il valore di benchmark.

La seconda competizione invece si basa condizioni climatiche dell'ambiente interno che determinano il benessere degli impiegati in ufficio e la loro produttività. L'obiettivo è quello di mostrare come chi ottiene le migliori condizioni interne oltre a lavorare meglio è in grado anche di risparmiare energia.

Nella terza sfida invece, l'andamento settimanale del loro uso di energia verrà comparato e verrà definito un profilo di occupazione relativo al loro edificio, definendo gli utenti come "virtuoso" (uso cosciente dell'energia), "medio (uso nella media) ed "energivoro" (uso intensivo dell'energia).

L'elaborazione attraverso tecniche di analisi dati avanzate dei dati di monitoraggio della rete di edifici, già cominciata nelle precedenti annualità, è finalizzata allo sviluppo di modelli robusti per la diagnostica avanzata, a supporto della logica decisionale legata all'individuazione delle cause connesse alle potenziali

anomalie di consumo energetico o di qualità ambientale. Sulla base dei dati di monitoraggio del cluster di edifici la ricerca si è focalizzata sullo sviluppo di una procedura diagnostica concepita secondo una fase di “pre-processing” per l’individuazione delle anomalie (fault detection), una fase di “situation assessment” per l’individuazione di condizioni al contorno o delle proprietà dell’evento in corrispondenza dell’anomalia riscontrata, e in una fase di “diagnostics” per l’individuazione delle cause connesse alle anomalie riscontrate. Le logiche e gli algoritmi di diagnostica sviluppati nei precedenti contratti hanno visto la loro applicazione sia all’energia elettrica legata all’uso illuminazione o climatizzazione (ventilatori dei terminali aeraulici in ambiente) che all’energia termica per il riscaldamento e il raffrescamento ambientale.

L’attività di ricerca sui metodi di fault detection and diagnostics ha previsto nelle precedenti annualità lo sviluppo e l’implementazione su piattaforma (vedi Attività 3) di metodi robusti per l’individuazione automatica di valori singolari anomali di consumo elettrico e termico per effettuare analisi diagnostiche sulla rete di edifici. Le metodologie sviluppate sono basate sull’utilizzo di modelli inversi empirici sia statistici che di machine learning, secondo un approccio di analisi di dati di monitoraggio relativa agli edifici nel loro insieme e non su singoli componenti. In particolare la ricerca si è concentrata sull’impiego di reti neurali artificiali (RNA) ed ensembling di reti neurali, così come di metodi di clustering, pattern recognition e data mining per la caratterizzazione e stima degli usi finali di energia termica del cluster di 8 edifici e per lo sviluppo di tecniche innovative di FDD (Fault Detection and Diagnostic). La ricerca ha quindi prodotto processi robusti per l’individuazione di valori anomali di energia considerando le condizioni al contorno che li determinano e analisi di data fusion per l’individuazione delle cause connesse più plausibili.

In questa annualità, invece, la ricerca si è focalizzata sullo sviluppo di una metodologia e di algoritmi per l’individuazione di trend anomali di energia termica per il cluster di edifici nel Centro ENEA della Casaccia. L’obiettivo è stato quindi individuare un procedura di analisi che consentisse di analizzare e riconoscere in modo automatico la forma (o l’aspetto) del profilo giornaliero di energia termica di un edificio al fine di individuare anomalie nelle proprietà di sviluppo nel tempo della richiesta energetica ossia del “trend”. Tali metodologie risultano piuttosto importanti nella branca delle applicazioni di fault detection and diagnostics poiché i trend anomali di consumo di energia sono tra i fattori più importanti da rilevare potendo essi rappresentare sintomi di guasti o di una scorretta gestione e quindi causa di dispendio energetico.

La prima fase del processo sviluppato ha avuto l’obiettivo di individuare profili di consumo giornalieri caratteristici o tipici e cioè privi di anomalie (fault free) e tali da rappresentare trend di “riferimento” o di “benchmark” rispetto ai quali individuare la condizione di anomalia del trend di profilo temporale di consumo energetico. A tal fine sono state condotte dapprima opportune analisi di “data preparation” su data set caratterizzati da valori con frequenza oraria di potenza termica media, e di variabili al contorno quali la temperatura media interna, la temperatura media esterna, l’irradianza solare globale su piano orizzontale, la data e il giorno della settimana. A valle degli opportuni processi tipici della fase di data preparation, quali data cleaning, copertura dei missing data e outlier detection, sono state effettuate analisi di statistica descrittiva al fine di individuare correlazioni tra le variabili, range di variazione, frequenze di accadimento e analisi di visualizzazione per mezzo di rappresentazioni del tipo box plot e scatter plot delle variabili appartenenti al data set.

Al fine di individuare i profili di riferimento è stata condotta un’analisi di clustering con un algoritmo del tipo k-means con il fine di individuare gruppi di giorni simili rispetto al profilo orario giornaliero di potenza termica media per il riscaldamento ambientale. Al fine di individuare le variabili rispetto alle quali condurre il processo di classificazione non supervisionata sono state condotte opportune analisi di sensibilità e sulla base delle analisi effettuate con la statistica descrittiva sono stati individuati 5 diversi fattori o indicatori adimensionali capaci di rappresentare in maniera sintetica la forma di un profilo giornaliero di potenza media oraria. I fattori individuati sono presentati in Tabella 1. Si tratta di fattori adimensionali con un valore variabile tra 0 e 1 caratterizzati dal rapporto tra potenze o energie medie su base giornaliera. In particolare il fattore f1 è definito come il rapporto tra la potenza media e la potenza massima giornaliera, il fattore f2 come il rapporto tra la potenza minima e la potenza massima su base giornaliera, il fattore f3 come il rapporto tra la potenza minima e la potenza media su base giornaliera. I fattori f4 ed f5 invece descrivono l’impatto sul profilo giornaliero di potenza termica, del periodo lavorativo e del periodo di pausa pranzo: in particolare il fattore f4 è definito come il prodotto del rapporto tra la potenza media durante l’orario di

lavoro e la potenza media giornaliera, e del rapporto tra il numero di ore lavorative sul numero di ore in un giorno, mentre il fattore f5 è definito come il prodotto del rapporto della potenza media nel periodo di pausa pranzo e la potenza media giornaliera e del rapporto tra il numero di ore del periodo della pausa pranzo e il numero di ore in un giorno. Il numero di ore del periodo di lavoro e il numero di ore della pausa pranzo è stato ricavato attraverso un’analisi diretta del data set a disposizione. Attraverso opportune analisi di testing e di sensibilità i fattori sopra descritti si sono dimostrati ottimi descrittori della forma del profilo orario di potenza termica media su base giornaliera.

Tabella 7 - Fattori adimensionali per la descrizione del profilo di potenza media

Fattore	Definizione	Periodo di acquisizione
Daily Pavg/Pmax	$f1 = P_{avg,day} / P_{max,day}$	1 giorno
Daily Pmin/Pmax	$f2 = P_{min,day} / P_{max,day}$	1 giorno
Daily Pmin/Pavg	$f3 = P_{min,day} / P_{avg,day}$	1 giorno
Work Impact	$f4 = 11/24 P_{avg,work} / P_{avg,day}$	1 giorno (11 h lavorative, dalle 7 a.m. alle 18 p.m.)
Lunch Impact	$f5 = 2/24 P_{avg,lunch} / P_{avg,day}$	1 giorno (2 h pausa pranzo, dalle 12 a.m. alle 14 p.m.)

Per questo motivo essi sono stati utilizzati come variabili nell’algoritmo di clustering per la definizione dei profili simili di consumo giornaliero. L’algoritmo k-means si è dimostrato particolarmente efficace nell’individuare attraverso i 5 fattori sopra descritti i cluster di profili tipici di consumo per i giorni feriali e per i giorni festivi. In Figura 87 sono rappresentati i profili di potenza simili raggruppati in un cluster relativamente ai giorni feriali.

Per ogni cluster di profili è stato poi individuato, attraverso il valore delle variabili assunte in corrispondenza del *centroide* e un’analisi di intersezione delle frequenze dei valori che le variabili descrittive assumevano all’interno del cluster, un profilo medio di riferimento o di benchmark. Tale analisi ha consentito pertanto di individuare per ogni cluster un profilo tipico e privo di anomalie (corrispondente a un giorno reale del data set) da utilizzare per condurre l’analisi di trend detection. I valori che assumono i cinque fattori per ogni profilo di benchmark di ogni cluster, infatti, rappresentano i valori di riferimento da confrontare con i rispettivi fattori dei profili di testing al fine di individuare l’eventuale anomalia nel trend energetico.

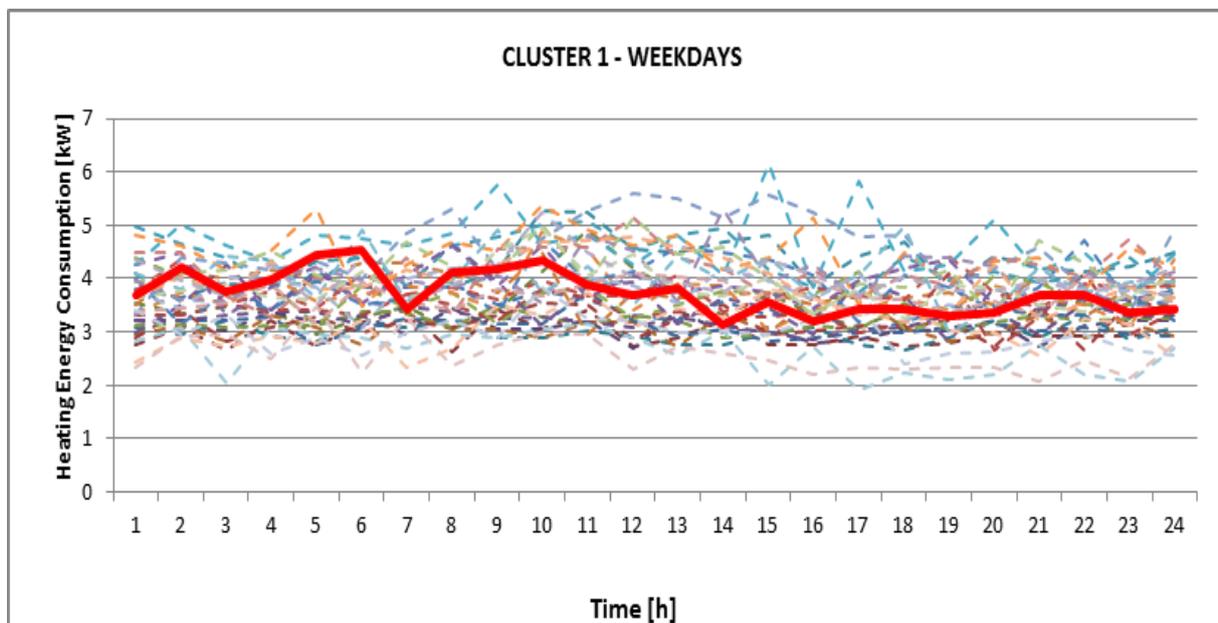


Figura 87 - Individuazione dei profili di potenza media oraria su base giornaliera all’interno di un cluster con evidenza del profilo di benchmark

La fase successiva è consistita, al fine di automatizzare il processo di diagnostica, nello sviluppo di un classificatore che permettesse di individuare sulla base di variabili rappresentative (predittori) uno dei cluster di profili individuato e quindi i valori dei fattori per il profilo rappresentativo di quel cluster per

condurre l'analisi di trend detection. Questa fase è stata sviluppata costruendo un albero di classificazione del tipo CART (classificazione and regression tree) il quale, sulla base di opportune elaborazioni della potenza giornaliera e delle altre variabili indipendenti (predittori) climatiche, consente di stimare la variabile categorica legata al cluster ("cluster n°"). In altre parole, consente di individuare il profilo di benchmark e i relativi fattori da utilizzare e confrontare con i fattori del profilo di testing da diagnosticare per l'individuazione di anomalie. Sono state pertanto individuate regole di inferenza basate sul confronto diretto tra i valori dei fattori del profilo di riferimento di ogni cluster e i valori dei fattori del profilo di testing per attivare il warning.

Quando il warning è verificato, è stato individuato un secondo processo diagnostico finalizzato a condurre un'analisi più approfondita sul profilo risultato potenzialmente anomalo. Questo secondo processo è finalizzato ad analizzare in modo dettagliato il trend del profilo orario su base giornaliera della potenza termica che è risultato anomalo dalla prima fase di diagnostica. Il processo si basa sull'applicazione di una tecnica di discretizzazione del profilo per mezzo di tratti lineari con un algoritmo del tipo "piecewise". Il profilo cumulato a 15 minuti di energia termica giornaliera è dapprima normalizzato e successivamente approssimato per fasce orarie con una serie di tratti lineari attraverso tecnica di interpolazione lineare. In Figura 88 è illustrata l'interpolazione lineare di tratti corrispondenti a fasce di consumo di 2 ore dell'energia termica per il riscaldamento dell'edificio F66 del cluster di edifici nelle giornate del 22 e 23 Dicembre 2014 e l'andamento corrispondente dei residui (scarto quadratico della differenza tra il valore reale del profilo e il valore approssimato). La conoscenza dell'equazione della retta di ogni tratto lineare interpolante consente di analizzare il valore del coefficiente angolare rappresentante la tendenza della retta. Il confronto tra i parametri di ogni retta che interpola il profilo di testing con i parametri delle rette che interpolano il profilo di riferimento nella corrispondente fascia oraria consente di verificare l'anomalia del trend e più in dettaglio in quali istanti il trend è risultato anomalo.

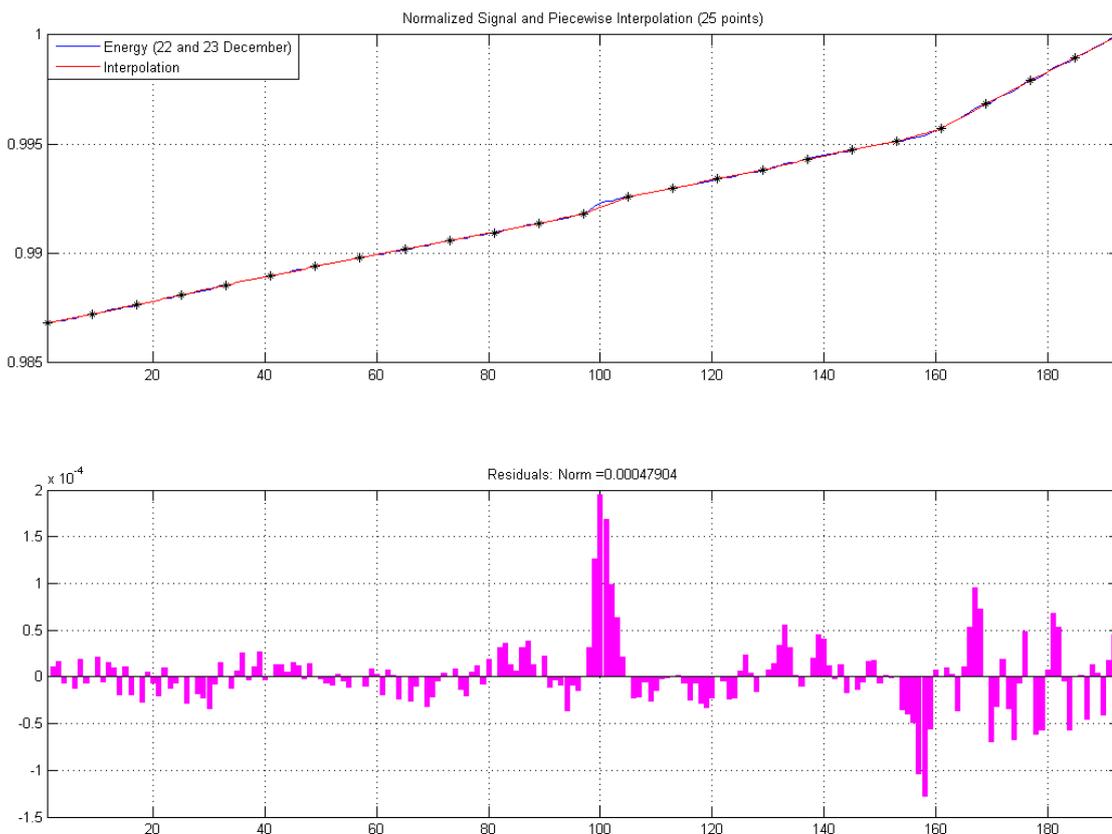


Figura 88 - Interpolazione lineare di tratti corrispondenti a 2 ore di valori di consumo di energia termica cumulata e andamento corrispondente dei residui.

2.7 Integrazione della ottimizzazione energetica termica ed elettrica (ENEA)

Nella precedente annualità (RdS/PAR2013/060) è stata sviluppata l’ottimizzazione multi-obiettivo dei consumi termici invernali relativi. In questa annualità tale lavoro è stato esteso integrando ai consumi termici anche quelli elettrici relativi all’assorbimento dei fan-coil mediante conversione in energia primaria totale (Tonnellate Equivalenti di Petrolio - TEP). Inoltre sono state realizzate anche alcune sperimentazioni relative all’ottimizzazione estiva relativa ai consumi elettrici (chiller + fancoil). Le sperimentazioni di questa annualità sono state tutte svolte attraverso l’upgrade del simulatore dell’edificio F40.

Con il presente lavoro si vuole descrivere una possibile strategia di ottimizzazione multi-obiettivo, applicabile ad edifici intelligenti, mirata alla riduzione del consumo energetico e, nel contempo, alla minimizzazione della percentuale di occupanti insoddisfatti, causata da “discomfort” termico.

Vengono studiati i consumi elettrici e termici, impiegati per il riscaldamento invernale, dello smart building F40, situato nel Centro Ricerche ENEA Casaccia.

L'edificio viene riscaldato/climatizzato tramite 57 fancoil. I consumi termici dipendono sia dalle temperature a cui vengono impostati i termostati delle diverse zone interne all'edificio, sia dalla temperatura dell'acqua di mandata che proviene dalla centrale termica e raggiunge i fancoil. I consumi elettrici dipendono dalla velocità delle ventole dei fancoil.

Vengono inoltre valutate le percentuali di insoddisfatti che occupano lo stabile grazie agli indici di PMV (Predicted Mean Vote) e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) presenti nella norma vigente UNI EN ISO 7730.

L'obiettivo è quello di ridurre il più possibile i consumi elettrici e termici dell'edificio, controllando in modo opportuno il comfort degli occupanti. La baseline è rappresentata dalle temperature di set point, di termostati e mandata, con cui è attualmente riscaldato l'edificio.

La metodologia impiegata prevede l'utilizzo di un simulatore in ambiente MATLAB/Simulink in grado di prevedere, basandosi sulle condizioni esterne (temperatura, umidità, velocità del vento, ecc...), sull'occupazione delle singole zone presenti nell'edificio, sulle impostazioni dei set point di mandata dell'acqua e dei termostati presenti nei singoli locali, il comportamento dell'edificio F40 in termini di consumi e di condizioni termo-igrometriche.

Il simulatore, dopo essere stato interfacciato opportunamente con un ottimizzatore in ambiente MATLAB, viene utilizzato per formulare la strategia ottima.

Attualmente per l'edificio F40 non vi è un controllo dinamico sulle temperature di set point di termostati e mandata, esse vengono mantenute costanti per l'intera stagione. In tal modo, oltre a non ottimizzare i consumi, non vi è alcun controllo sul PPD.

Per ovviare a ciò, si è deciso di procedere in questo modo:

- L'ottimizzatore fornisce gli input di cui ha bisogno il simulatore per un corretto funzionamento;
- Il simulatore restituisce gli output;
- Gli output vengono confrontati con il target da raggiungere;
- Se il target è stato raggiunto il processo termina, viceversa l'ottimizzatore provvede a generare nuovi input per il simulatore al fine di avvicinarsi il più possibile al target prefissato.

Il risultato è una variazione dinamica dei set point, di termostato e mandata dell'acqua, giorno per giorno, al fine di ridurre i consumi, termici ed elettrici, e controllare in modo opportuno il PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied).

L'edificio in questione è stato modellizzato utilizzando il software HAMbase. Esso permette di analizzare e simulare il comportamento di un edificio sfruttando il modello della temperatura interna, l'umidità dell'aria interna e il consumo di energia che occorre per il riscaldamento e il raffreddamento di un edificio multizona. L'acronimo HAMbase sta per Heat Air and Moisture balance ovvero indica i tre parametri principali del grado di benessere termico di un edificio. Il programma è stato sviluppato dai ricercatori dell'Università di Eindhoven, è open source ma lavora in ambiente di programmazione Matlab/Simulink.

I principali parametri da impostare in HAMbase sono:

- Dati meteorologici;
- Localizzazione geografica (latitudine, longitudine, altezza sul livello del mare);
- Numero di zone in cui è suddiviso l'edificio e le loro caratteristiche costitutive;
- Caratteristiche costruttive delle componenti interne all'edificio;
- Fenomeni di ombreggiamento;
- Descrizione dettagliata delle superfici che costituiscono ogni zona;
- Presenza di finestre;
- Arredamento;

I parametri forniti in input, richiesti dal simulatore riguardano:

- Potenza [W];
- Vapore [kg/s];
- Ventilation rate [g/s];

Per quanto riguarda i parametri forniti in output dal sistema troviamo:

- Temperatura [C];
- Umidità relativa [%];

Nel modello preso in considerazione l'unità fondamentale dell'edificio è la zona. Una zona può essere una stanza ma anche un numero di locali adiacenti soggetti alle stesse condizioni climatiche.

La centrale termica dell'intero centro Casaccia, è costituita da tre caldaie da 7 MW l'una alimentate a metano da cui si dirama la rete di teleriscaldamento che utilizza come fluido vettore acqua surriscaldata a 120 °C, pressurizzata a 400 kPa onde evitarne l'ebollizione, che a sua volta alimenta le sotto-centrali termiche a

servizio di gruppi di edifici. L'acqua, nelle condizioni appena descritte, raggiunge uno scambiatore di calore a fascio tubiero con potenza nominale pari a 430000kcal/h (516 kW) posto nella centrale termica dell'edificio F40. Il fluido termovettore caldo che serve il circuito fancoil si ottiene per scambio termico nel suddetto scambiatore. La portata nominale di fluido che alimenta il circuito dei fancoil è pari a 11,5 m³/h.

Un gruppo refrigeratore con una potenza nominale pari a 180000 frig/h (209 Kw), collegato ad una torre evaporativa all'esterno dell'edificio F40, ha il compito di generare fluido termovettore freddo per la stagione estiva. Il fluido raggiunge gli ambienti dove sono installati i fancoil grazie alla spinta di una elettropompa (in realtà sono tre ma in configurazione ridondante) caratterizzata da una portata massima Q di 11,5 m³/h e da una prevalenza manometrica H di 17 m. Si può facilmente risalire alla potenza conoscendo il peso specifico dell'acqua a quella temperatura e pressione ($P = \gamma QH$ con γ = peso specifico).

Una valvola a tre vie miscela l'acqua alle diverse temperature (mandata e ritorno), affinché raggiunga la temperatura corrispondente a quella impostata da Set-Point (in genere 65° C per la stagione invernale). Due contatori di energia, posti uno sul circuito di mandata e l'altro sul circuito di ritorno dei fancoil, hanno il compito di effettuare il bilancio energetico per il calcolo del consumo di energia termica [Wh].

Parametri del Simulatore F40 :

Input

1. Set Point termostati di zona : valore fornito dall'algorithmo di ottimizzazione;
2. Set Point mandata dell'acqua : valore fornito dall'algorithmo di ottimizzazione;
3. Velocità delle ventole dei fancoil : valore che può essere settato su 1 o 2 a seconda delle esigenze;
4. Condizioni meteo esterne : allo stato attuale vengono lette da un file meteo, si sta lavorando per far prendere al simulatore le condizioni meteo direttamente dalla stazione meteo installata nel Centro Ricerche ENEA Casaccia;
5. Presenza: valore che identifica le zone effettivamente occupate (zone attive) nell'edificio;
6. Occupazione: valore che identifica il numero di persone presenti all'interno delle singole zone attive.

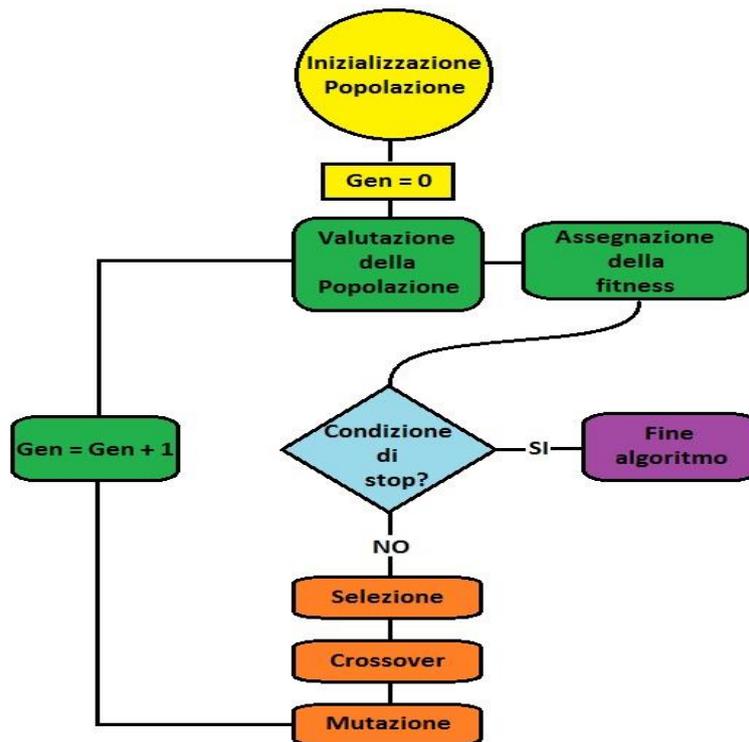
Output

1. Consumo di gas espresso in m³ ed in TEP;
2. Consumo elettrico derivante dalle ventole dei fancoil espresso in kWh ed in TEP;
3. Consumo termico per singola zona e totale espresso in kWh;
4. Andamento della Temperatura all'interno delle singole zone;
5. Andamento della Temperatura radiante all'interno delle singole zone;
6. Umidità relativa interna alle singole zone;
7. PPD orario nelle singole zone;

Per l'ottimizzazione si è utilizzato l'algoritmo evolutivo NSGA-II (Non dominated Sorting Genetic Algorithm), proposto da Kalyanmoy Deb nel 2000, che ordina le soluzioni in accordo al concetto di non dominanza: Soluzioni non dominate di una popolazione avranno rank 1; Soluzioni non dominate della stessa popolazione, escluse quelle a rank 1, avranno rank 2 e così via. Successivamente, a tutte le soluzioni appartenenti allo stesso rank viene assegnata la crowding distance, ovvero un valore che indica quanto una soluzione è isolata rispetto alle altre. Lo scopo della crowding distance è quello di preservare la diversità tra le soluzioni dello stesso fronte non dominato mantenendo una buona distribuzione di soluzioni. Nel confrontare due soluzioni viene comparato prima il rank, a parità di rank viene comparata la crowding distance.

I passi che NSGA-II esegue sono gli stessi di un qualsiasi algoritmo genetico:

1. Inizializzazione popolazione;
2. Assegnazione rank e crowding distance;
3. Applicazione operatori genetici;
4. Unione tra generazione padre e generazione figlia;
5. Assegnazione rank e crowding distance;
6. Selezione dei migliori;
7. Ritorno allo step 3 fino a che non è soddisfatta la condizione di stop.



Inizialmente si imposta il numero R di run dell'algoritmo, cioè il numero di volte che l'algoritmo verrà eseguito. Il processo di ottimizzazione, descritto nei passaggi che seguono, viene quindi ripetuto per R volte. Ciò ha senso in quanto, essendo l'algoritmo non deterministico, ogni esecuzione restituisce un insieme di soluzioni ottime differente. Il fronte ottimo di Pareto viene costruito scegliendo le soluzioni non dominate tra tutte quelle degli R run.

Successivamente si imposta il numero M di funzioni obiettivo che l'algoritmo deve ottimizzare.

Si definisce il range del problema, ovvero l'intervallo di valori in cui sono comprese le variabili di decisione.

Si specifica la grandezza della popolazione N ed il numero di generazioni G .

L'algoritmo inizializza la popolazione scegliendo, tra tutte le variabili appartenenti allo spazio di ricerca, N individui che andranno a costituire la popolazione iniziale. Quest'ultima sarà sottoposta a G iterazioni che la guideranno nel processo di ottimizzazione fino all'ottenimento di una popolazione finale di grandezza uguale a quella di partenza (N individui).

Diversi individui rappresentano diversi input al simulatore poiché ognuno di essi è associato alla coppia di valori: Set point di mandata e set point di termostato.

Il prodotto tra N , G ed R determina il numero di volte che il simulatore viene chiamato dall'algoritmo e di conseguenza il numero di valutazioni delle funzioni obiettivo. Queste ultime, basandosi sugli output restituiti dal simulatore, assegnano ad ogni individuo la fitness corrispondente. La fitness rappresenta un indice di qualità della soluzione, più è elevato il suo valore, migliore sarà la soluzione.

L'ottimizzazione inizia con la valutazione della fitness della popolazione iniziale, anche detta "popolazione genitore". Segue l'assegnazione ad ogni individuo di un "rank" e di una "crowding distance". Si effettua a questo punto la codifica in binario delle variabili di decisione.

Da questo punto in poi ogni individuo è identificato dal proprio cromosoma.

L'algoritmo continua con l'applicazione degli operatori genetici di Selezione, Crossover e Mutazione.

Selezione

L'operatore di selezione serve a dare risalto alle soluzioni migliori a discapito di quelle peggiori.

NSGA-II utilizza la selezione per torneo. In questo caso 2 individui alla volta, scelti casualmente tra tutti gli appartenenti alla popolazione, si scontrano. Sopravvive, e quindi viene inserito nella nuova popolazione, solamente l'individuo con "rank" minore e, a parità di "rank", l'individuo con "crowding distance" maggiore. Il processo prosegue fino a che non si è raggiunta una popolazione di grandezza pari a quella iniziale. La popolazione ottenuta dal processo di selezione è pronta per il crossover.

Crossover

L'operatore di crossover consente la creazione di nuove soluzioni precedentemente non esistenti combinando i bit di due soluzioni (genitori) e generando così una nuova soluzione (progenie).

Il crossover adottato è quello a singolo punto. Si fissa una certa probabilità di crossover pc .

Viene generato un numero casuale nell'intervallo $[0,1]$. Se tale numero è maggiore di pc il crossover non viene applicato e gli individui vengono semplicemente ricopiati. Viceversa, se il numero è inferiore a pc si procede con il crossover:

- Si genera un altro numero random che identifica il punto di taglio delle stringhe genitori;
- Una stringa e la successiva vengono tagliate nel suddetto punto ed avviene lo scambio di bit che genera altre due stringhe corrispondenti alla progenie.

L'operazione si ripete per un numero di volte pari alla metà della popolazione. In tal modo tutti gli individui vengono considerati una sola volta. La popolazione risultante, costituita ancora da N individui, è poi sottoposta a mutazione.

Mutazione

L'operatore di mutazione consente di esplorare in maniera più completa lo spazio di ricerca.

Viene adottata la mutazione normale secondo i seguenti passi:

- Si fissa una probabilità di mutazione pm molto bassa;
- La popolazione viene codificata in codice di Gray;
- Per ogni individuo viene generato un numero casuale nell'intervallo $[0,1]$;
- Se il suddetto numero è maggiore di pm non si effettua alcuna mutazione e l'individuo viene semplicemente copiato nella nuova popolazione;
- Viceversa se il numero generato è inferiore a pm , ogni bit della stringa che identifica l'individuo viene invertito (ogni 0 diventa 1, ogni 1 diventa 0);

- La popolazione viene decodificata da Gray a binaria;

Elitismo

La popolazione ottenuta tramite l'applicazione degli operatori genetici di selezione, crossover e mutazione, è costituita ancora da N individui e viene detta "popolazione figlia" per distinguerla dalla "popolazione genitore", rappresentata dagli N individui della popolazione precedente all'applicazione degli operatori genetici.

Per garantire l'elitismo la "popolazione genitore" e la "popolazione figlia" vengono unite formando una popolazione di 2N individui. Avviene dunque il processo di decodifica dei cromosomi corrispondenti agli individui.

Si valuta la fitness e, con le stesse modalità viste in precedenza, vengono selezionati i migliori N individui che costituiranno la nuova popolazione. Essa verrà sottoposta nuovamente a tutto il processo appena descritto per un numero di volte pari al numero di generazioni G impostato. Al raggiungimento di tale numero, termina il primo run di ottimizzazione.

L'algoritmo termina quando si raggiunge il numero massimo di run R impostato.

Gli R run generano R fronti di Pareto rappresentanti tutte le soluzioni non dominate per un determinato giorno. Confrontando gli R fronti si ottiene un unico fronte di Pareto che rappresenta l'insieme delle soluzioni ottime per quel giorno.

Nella figura sottostante è presente un esempio di fronte di Pareto.

In ascissa è rappresentato il consumo termico espresso in TEP, mentre in ordinata il PPD espresso in percentuale.

Si vuole sottolineare che tutte le soluzioni appartenenti al fronte di Pareto sono soluzioni ottime, tuttavia in base alle esigenze è possibile scegliere quella più appropriata.

Più ci si sposta verso sinistra, più si ottengono punti che rappresentano soluzioni a minor consumo energetico ma a maggior PPD (quindi minor comfort). Viceversa, più ci si sposta verso destra, più i punti rappresentano soluzioni a maggior consumo energetico ma a minor PPD (quindi maggior comfort).

Per prima cosa andiamo a definire le **funzioni obiettivo** che l'algoritmo deve ottimizzare. Si tratta di due funzioni obiettivo (di conseguenza M sarà pari a 2):

1. Fabbisogno energetico giornaliero dell'edificio F40 per il riscaldamento durante il periodo invernale. Tale funzione obiettivo è espressa in TEP ed è il risultato della somma dell'energia termica consumata dalla centrale termica e dell'energia elettrica consumata dalle ventole dei fan-coil.
2. Percentuale di insoddisfatti prevista (Predicted Percentage Dissatisfied, PPD) ovvero la percentuale di personale che occupa l'edificio F40 e, nelle condizioni rilevate, si dichiara insoddisfatto rispetto all'ambiente circostante. Tale valore è ottenuto mediando i PPD delle singole zone durante l'attività lavorativa.

Il **vincolo** del problema è il seguente:

$$PPD_{\text{constraint}} = \max(PPD < 10\%)$$

Ovvero, l'ottimizzazione, ad ogni iterazione, cerca di raggiungere un valore di PPD, che sia massimo ma sempre al di sotto della soglia del 10 % imposta da normativa.

Per quanto riguarda il **range del problema**, le variabili di decisione in input al simulatore assumono valori discreti nei seguenti intervalli:

- Set point di mandata [50:1:80];
- Set point di termostato [19:0,1:23].

L'intero spazio di ricerca è quindi costituito da 1271 variabili.

Considerando che per ogni possibile coppia di valori di set point in ingresso al simulatore esso impiega un certo tempo prima di restituire gli output necessari all'ottimizzazione, è opportuno scegliere i parametri N, G ed R in modo tale che l'intero processo di ottimizzazione non risulti troppo oneroso dal punto di vista computazionale, e allo stesso tempo restituisca un numero di punti sufficienti alla costruzione del fronte di Pareto.

Dalle prove effettuate, un buon compromesso si ha per:

N = popolazione iniziale = 30;

G = numero di generazioni = 4;

R = numero di run dell'algoritmo = 3;

Il numero totale di chiamate effettuate dall'algoritmo al simulatore è calcolato come:

$$Chiamate = N \cdot (G + 1) \cdot R = 30 \cdot (4 + 1) \cdot 3 = 450$$

Si noti che, poiché ogni processo di ottimizzazione prevede una popolazione iniziale, nel computo delle chiamate totali, si deve sempre sommare 1 al numero di generazioni desiderato.

Ogni ottimizzazione prevede dunque 450 esecuzioni del simulatore. Il tempo impiegato per effettuare l'intera ottimizzazione per un singolo giorno è di circa 100 minuti.

Per 1271 variabili è necessaria una **codifica a 12 bit**. Ogni individuo sarà identificato dal proprio cromosoma (una stringa binaria di 12 bit).

Per quanto riguarda gli operatori genetici si è scelto:

pc = probabilità di crossover = 0.8;

pm = probabilità di mutazione = 1/1271;

2.7.1 Stagione invernale

La stagione invernale che si vuole simulare va dal 21 dicembre al 20 marzo. La strategia di ottimizzazione dell'intera stagione prevede:

1. L'individuazione del fronte ottimo di Pareto per ogni singolo giorno. Ad ogni punto del fronte è associata una coppia di valori di set point (termostato e mandata) ed un valore di PPD (mediato nelle sole ore lavorative (8-19) per le sole zone attive cioè quelle effettivamente riscaldate);
2. La scelta di uno solo tra i punti del fronte ottimo. Tale scelta è dettata dalla necessità di rispettare la normativa UNI EN ISO 7730 sul microclima in ambienti di lavoro moderati. Essa prevede che la percentuale di insoddisfatti non superi mai il 10% del personale presente nell'edificio. Per tale motivo ogni giorno viene scelto il punto ottimo che presenti un PPD (ottimo) tale che:

$$PPD_{\text{optimal}} = \max(PPD < 10\%)$$

Questo perché, massimizzando il PPD (rimanendo sempre sotto la soglia prevista da normativa), si minimizza il consumo di energia.

Una volta scelto il punto ottimo per un giorno si procede all'ottimizzazione del giorno successivo. Quest'ultimo avrà come condizioni iniziali le condizioni finali del giorno precedente.

3. La definizione di un profilo ottimo stagionale. Profilo ottenuto sommando i consumi dei singoli giorni e mediando il PPD degli stessi.
4. Il confronto del profilo ottimo stagionale con il profilo non ottimizzato al fine di valutare sia il risparmio energetico globale sia l'andamento del PPD. Il profilo non ottimizzato è quello con cui viene riscaldato di norma l'edificio F40, ovvero tenendo i set point di termostato e di mandata costanti per l'intera stagione invernale.

La scelta di tali temperature è stata effettuata verificando quali sono le tipiche temperature di utilizzo dell'impianto e dei fancoil impiegati:

Baseline 1:

Set point termostato = 21° C;
Set point mandata = 60° C.

Baseline 2:

Set point termostato = 21° C;
Set point mandata = 65° C.

Baseline 3:

Set point termostato = 21° C;
Set point mandata=70° C.

Prima di mostrare i risultati relativi all'ottimizzazione, è opportuno rendersi conto di quali siano i consumi ed i rispettivi valori di PPD di una strategia non ottimizzata.

Baseline 1

A tal fine è stata effettuata una prima simulazione con set point di mandata e termostato costanti:

Set point termostato = 21° C;
Set point mandata = 60° C.

In figura 1 e 2 sono mostrati rispettivamente l'andamento giornaliero dei consumi (somma di consumo termico ed elettrico del fancoil) espresso in TEP ed il PPD giornaliero espresso in percentuale.

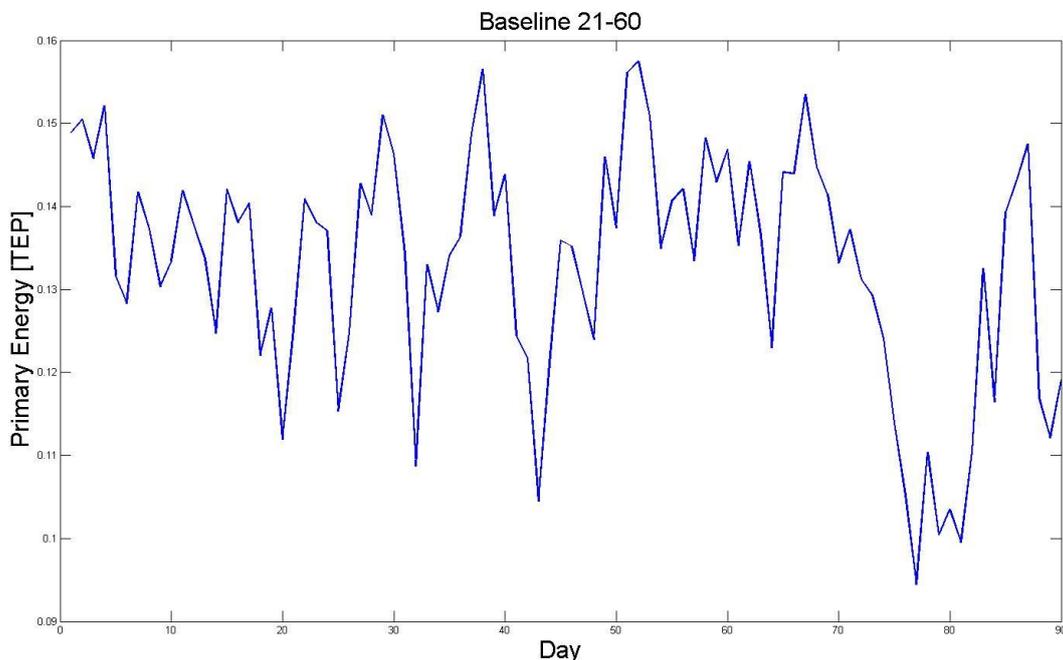


Figura 89: Andamento stagionale consumi di energia primaria.

Il consumo totale stagionale (somma di energia termica ed energia elettrica per alimentare le ventole dei fancoil) per tale strategia è risultato essere pari a 11.9651 TEP.

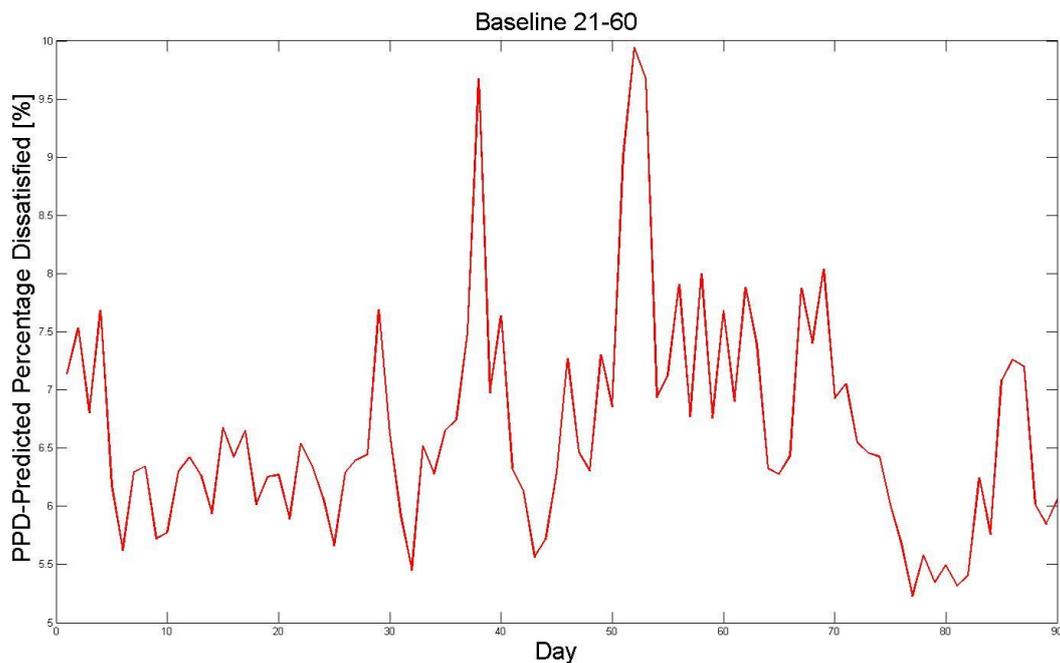


Figura 90: Andamento stagionale PPD.

Il PPD medio stagionale corrispondente è pari al 6,66 %.

Baseline 2

Una seconda simulazione è stata effettuata con set point di mandata e termostato costanti:

Set point termostato = 21° C;
Set point mandata = 65° C.

In figura 3 e 4 sono mostrati rispettivamente l'andamento giornaliero dei consumi (somma di consumo termico ed elettrico del fancoil) espresso in TEP ed il PPD giornaliero espresso in percentuale.

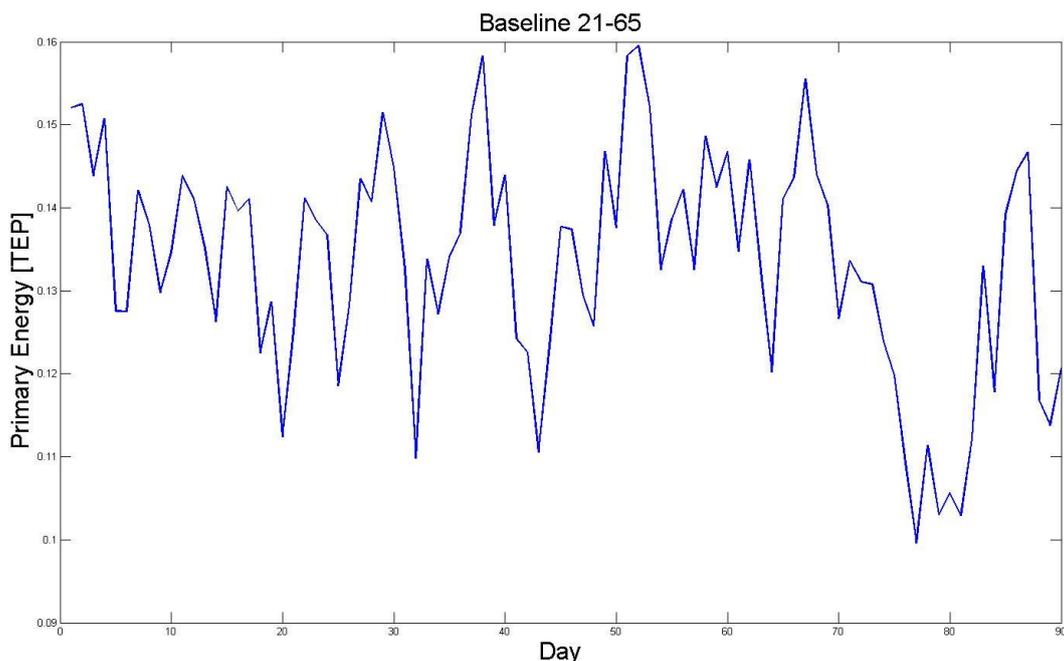


Figura 91: Andamento stagionale consumi di energia primaria.

Il consumo totale stagionale (somma di energia termica ed energia elettrica per alimentare le ventole dei fancoil) per tale strategia è risultato essere pari a 12.0168 TEP.

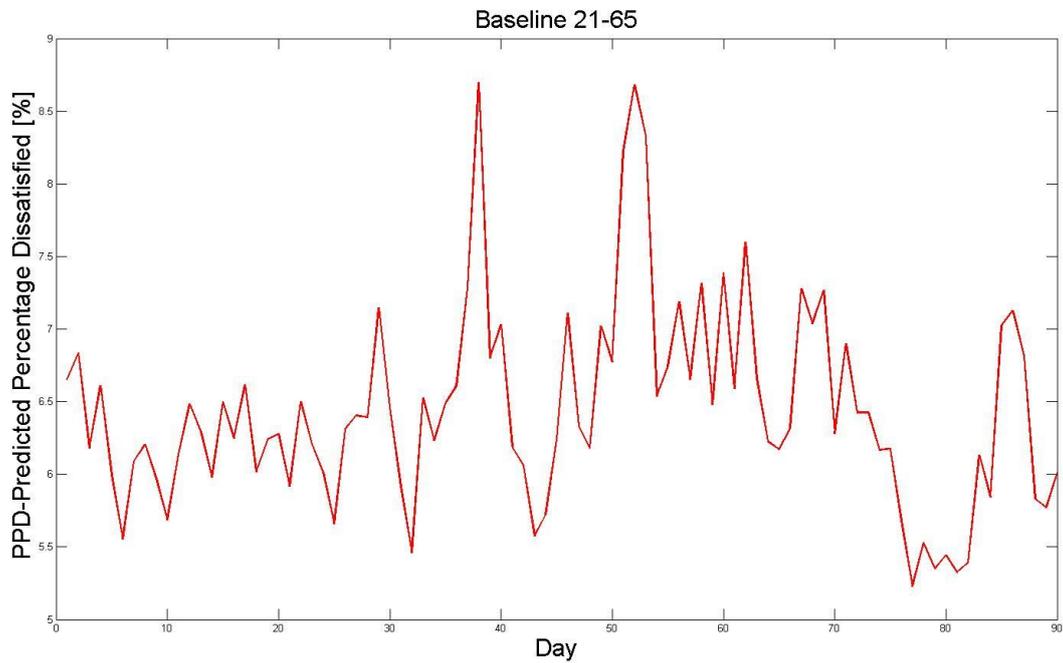


Figura 92: Andamento stagionale PPD.

Il PPD medio stagionale corrispondente è pari al 6,44 %.

Baseline 3

Una terza simulazione è stata effettuata con set point di mandata e termostato costanti:

Set point termostato = 21° C;

Set point mandata = 70° C.

In figura 5 e 6 sono mostrati rispettivamente l'andamento giornaliero dei consumi (somma di consumo termico ed elettrico del fancoil) espresso in TEP ed il PPD giornaliero espresso in percentuale.

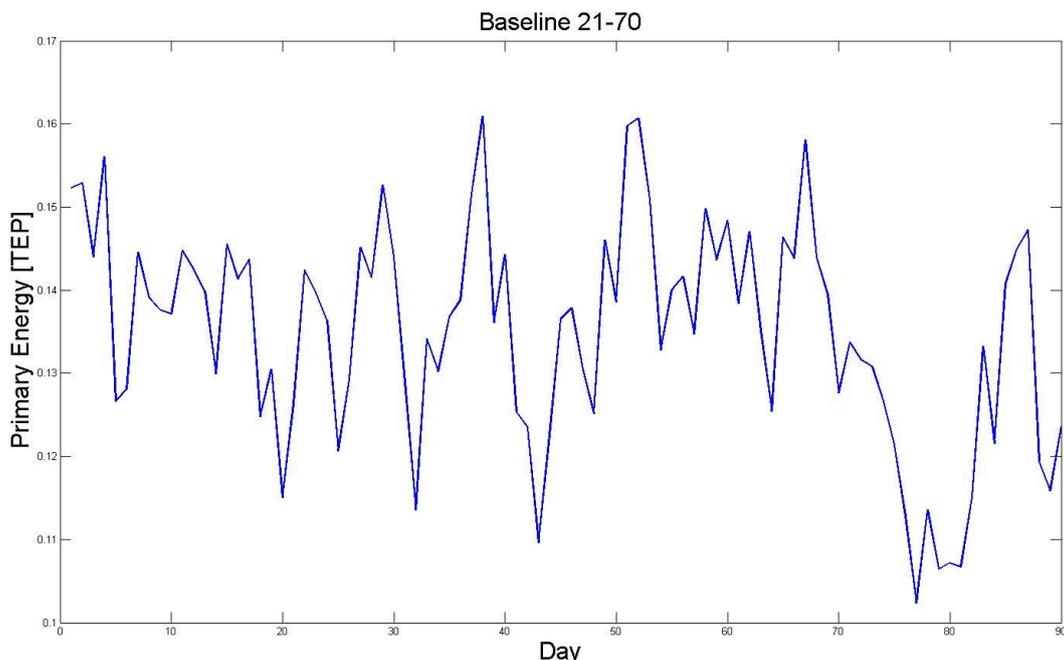


Figura 93: Andamento stagionale consumi di energia primaria.

Il consumo totale stagionale (somma di energia termica ed energia elettrica per alimentare le ventole dei fancoil) per tale strategia è risultato essere pari a 12,1489 TEP.

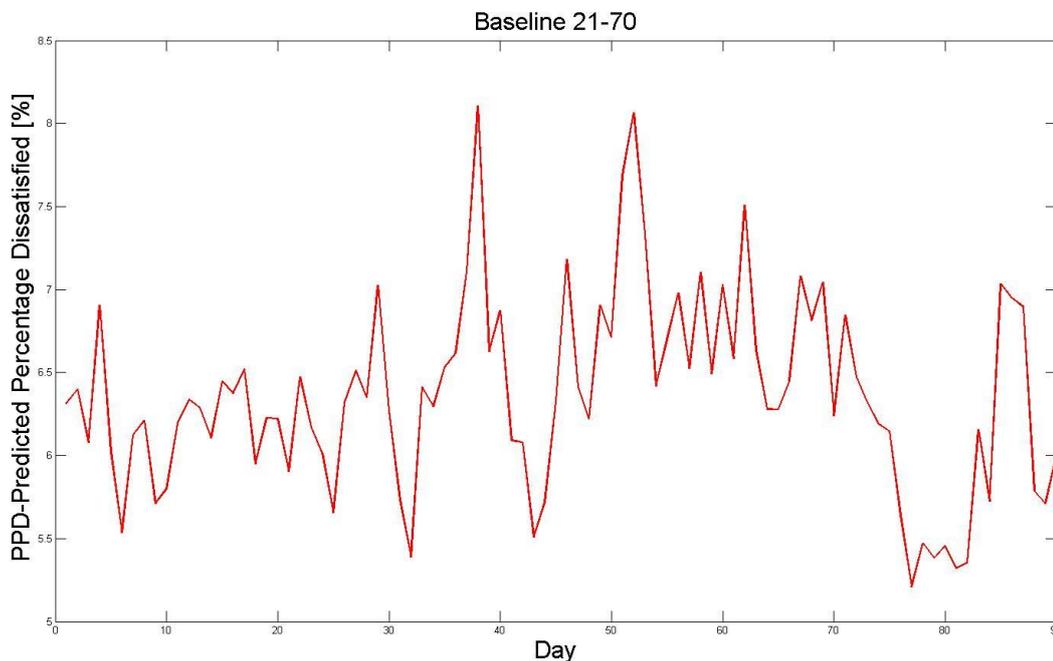


Figura 94: Andamento stagionale PPD.

Il PPD medio stagionale corrispondente è pari a 6,36 %.

Vengono mostrati di seguito i risultati ottenuti utilizzando una strategia ottimizzata che, come già accennato, ha previsto la variazione giornaliera dei set-point dei termostati e di mandata al fine di ridurre il consumo di energia primaria e, allo stesso tempo, controllare opportunamente il comfort.

La stagione simulata comprende i giorni che vanno dal 21 dicembre al 20 marzo per un totale di 90 giorni.

Sono stati ottenuti 90 fronti di Pareto differenti, uno per ogni giorno.

Per ovvi motivi ne vengono mostrati solamente 4 (uno per ogni mese) nelle figure 7, 8, 9 e 10.

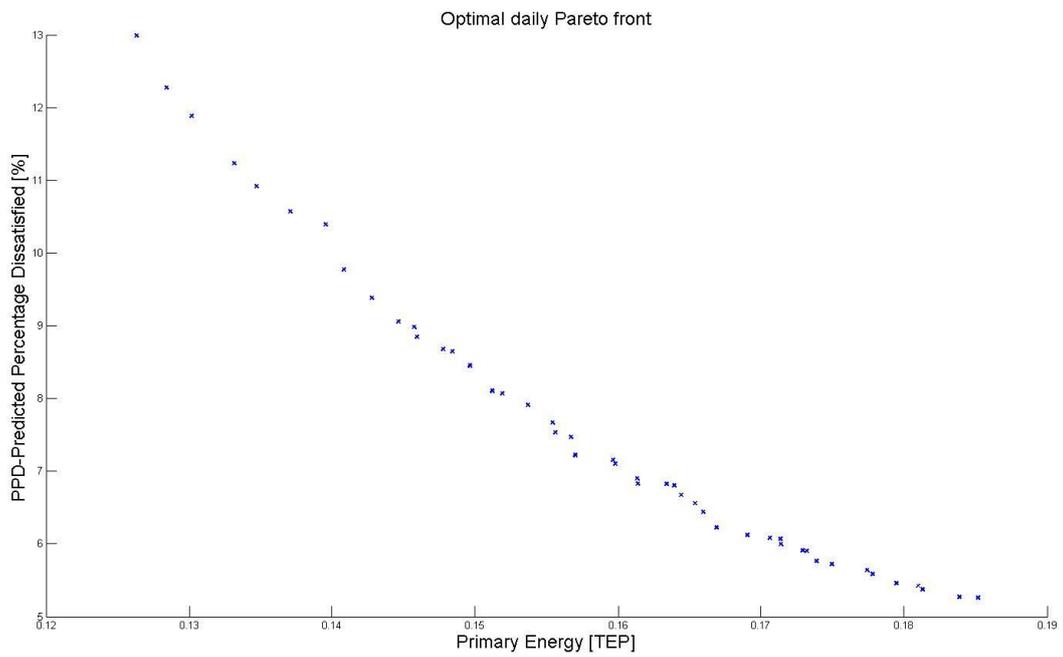


Figura 95: Fronte di Pareto giorno di Dicembre

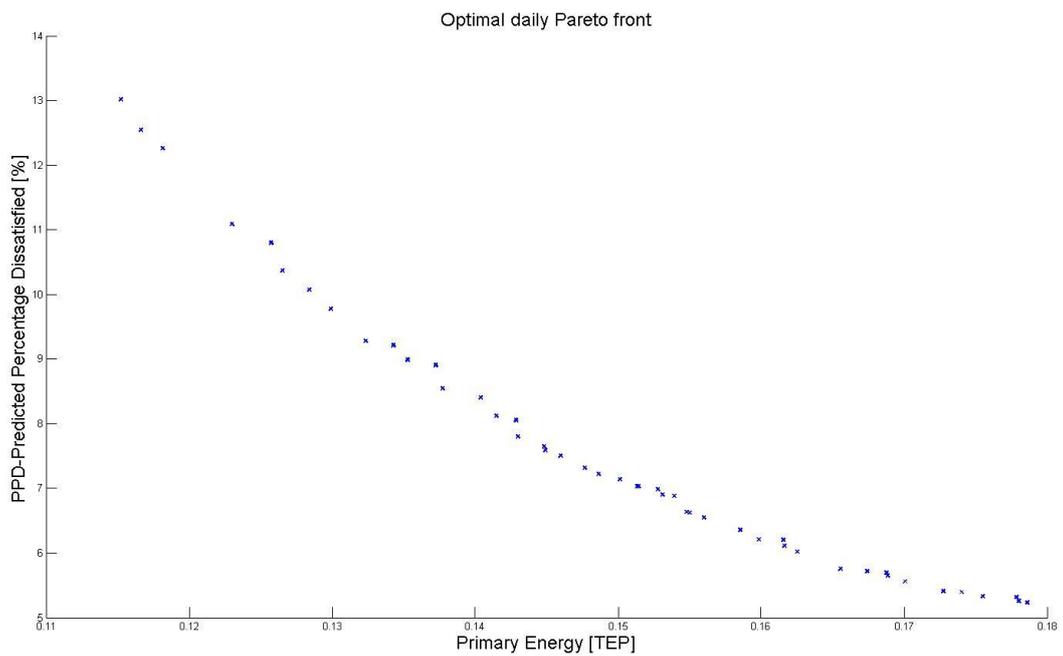


Figura 96: Fronte di Pareto giorno di Gennaio

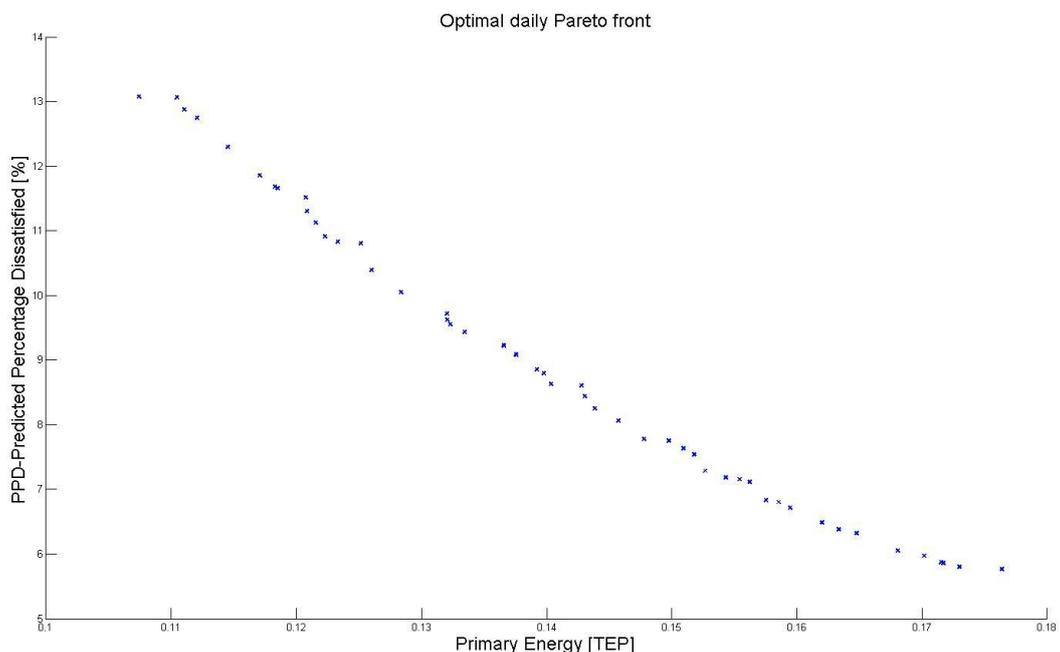


Figura 97: Fronte di Pareto giorno di Febbraio

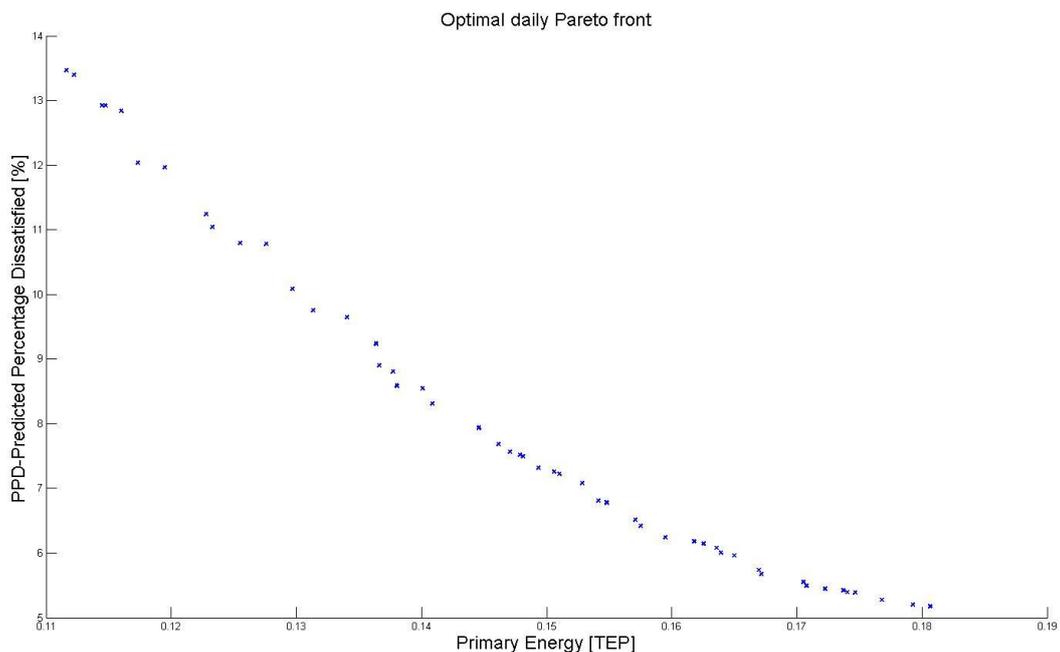


Figura 98: Fronte di Pareto giorno di Marzo

Si prenda ora in considerazione un unico fronte fra i 90 ottenuti, ad esempio il fronte del giorno di Gennaio. Poiché ogni soluzione del fronte di Pareto è una soluzione ottima la scelta della soluzione migliore è stata effettuata andando a considerare la normativa UNI EN ISO 7730 relativa al microclima per ambienti di lavoro di tipo moderato. Essa prevede che la percentuale prevista di insoddisfatti (PPD - Predicted Percentage Dissatisfied) non sia mai superiore al 10%. A questo punto, al fine di ridurre il più possibile il consumo di energia primaria, si è scelto un punto del fronte che garantisce il minor consumo, mantenendo però il PPD al di sotto del 10% (Fig. 11).

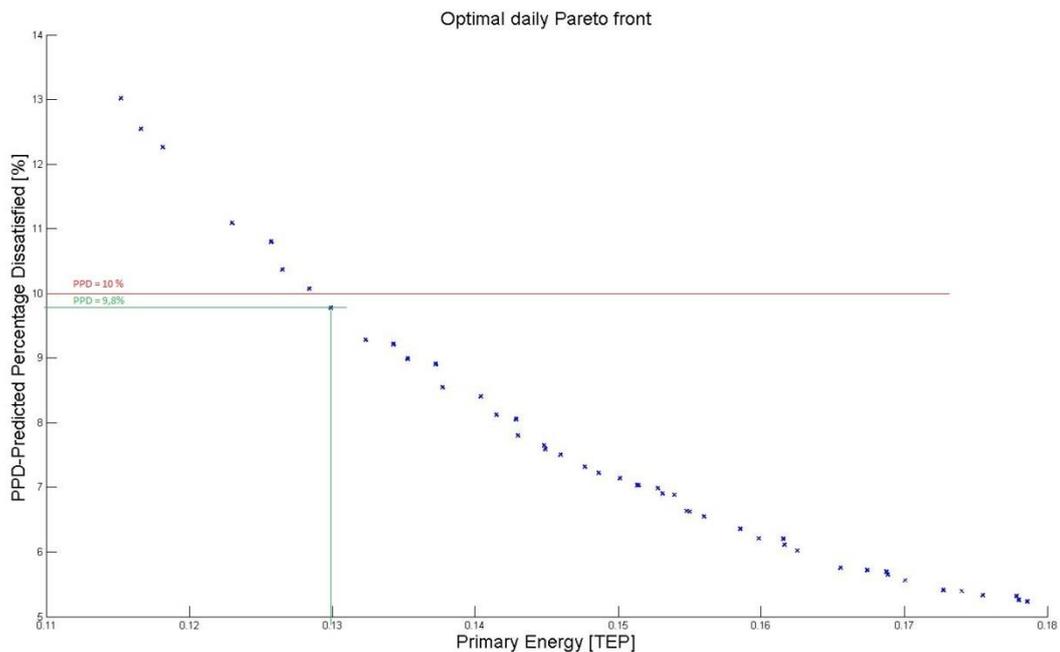


Figura 99: Scelta della soluzione ottima giornaliera sul fronte di Pareto.

Il punto considerato corrisponde ad un consumo giornaliero di energia primaria pari a 0,13 TEP e ad un PPD medio giornaliero pari a 9,8 %.

Tale operazione è stata ripetuta per tutti i 90 fronti.

È possibile a questo punto mostrare l'andamento dei consumi e del PPD, relativi alla stagione ottimizzata, rispettivamente in figura 12 e 13.

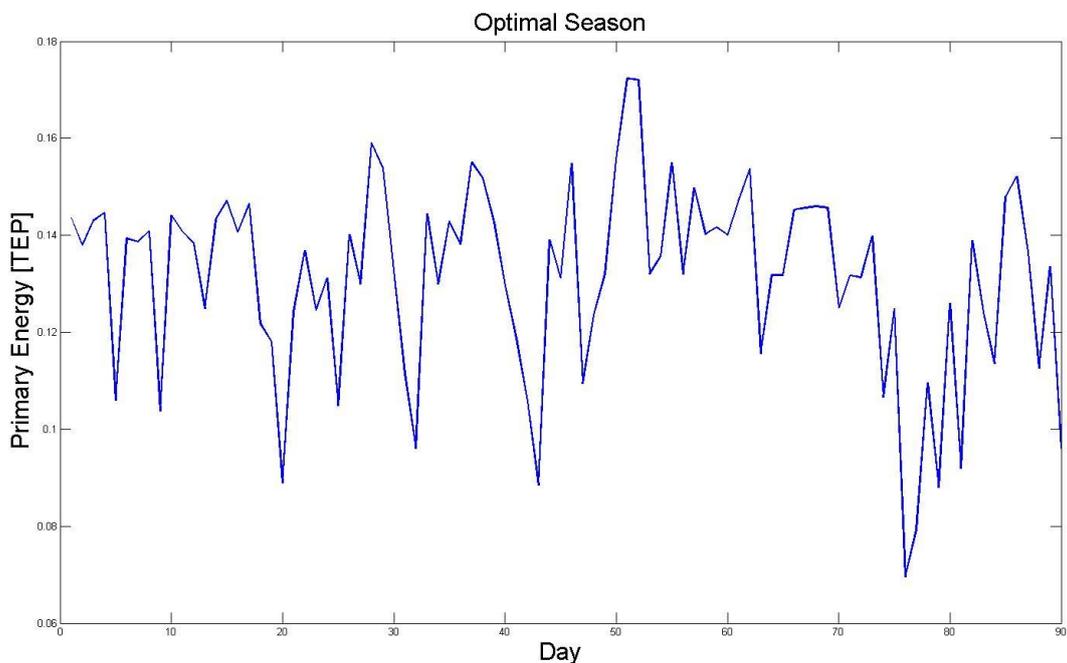


Figura 100: Andamento stagionale consumi di energia primaria della stagione ottimizzata.

Il consumo totale stagionale (somma di energia termica ed energia elettrica per alimentare le ventole dei fancoil) per la strategia ottimizzata è risultato essere pari a 11,6713 TEP.

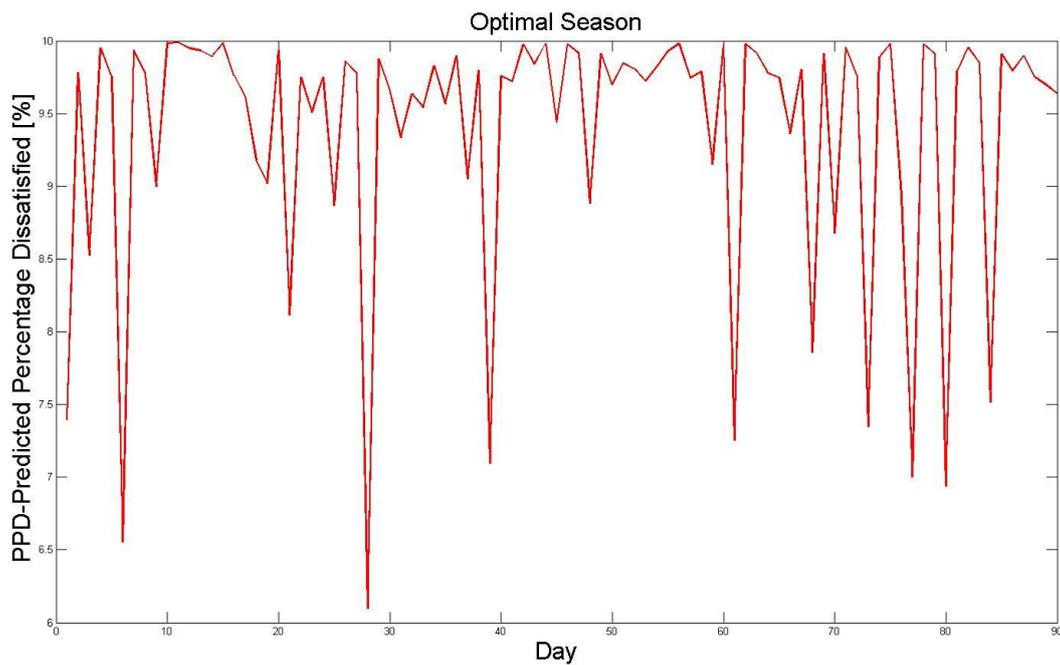


Figura 101: Andamento stagionale PPD della stagione ottimizzata.

Il PPD medio stagionale corrispondente è pari a 9,4 %.

In figura 14 vengono confrontati i consumi relativi alla Baseline (21-60), con i consumi della stagione ottimizzata.

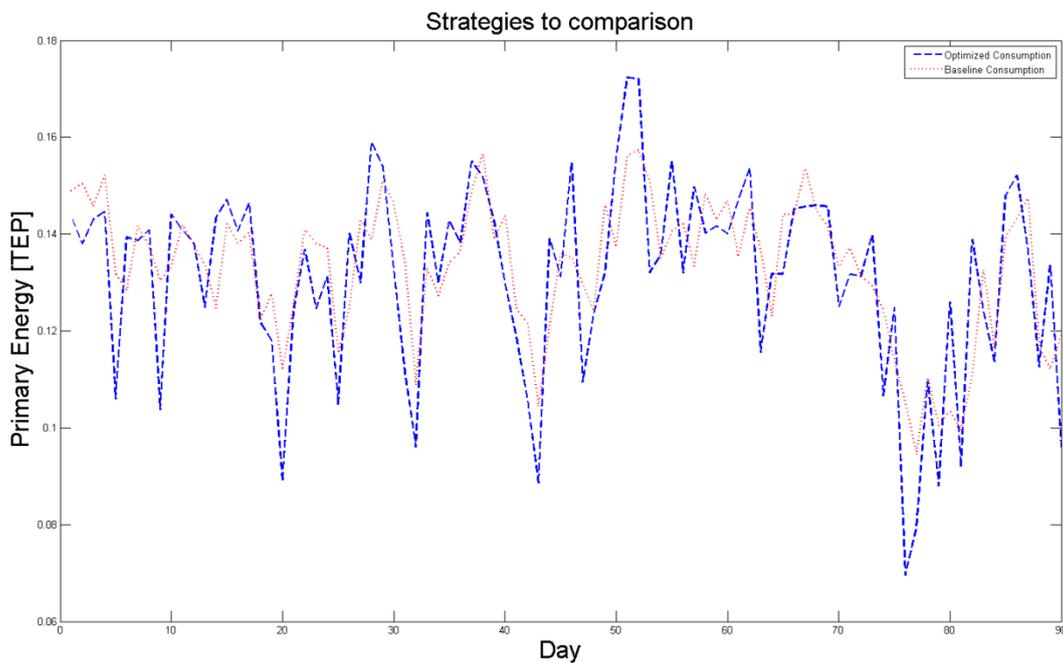


Figura 102: Confronto tra consumi di energia primaria della strategia ottima e della baseline (21-60).

In figura 15 viene confrontato il PPD relativo alla Baseline (21-60), con il PPD della stagione ottimizzata.

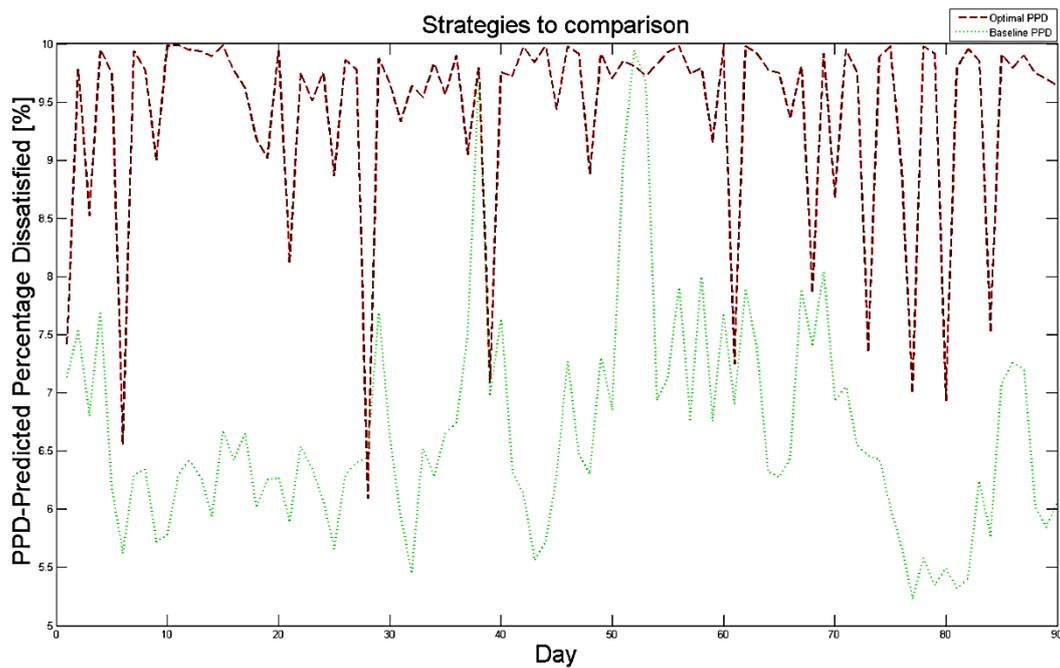


Figura 103: Confronto tra PPD della strategia ottima e PPD della baseline (21-60).

In figura 16 vengono confrontati i consumi relativi alla Baseline (21-65), con i consumi della stagione ottimizzata.

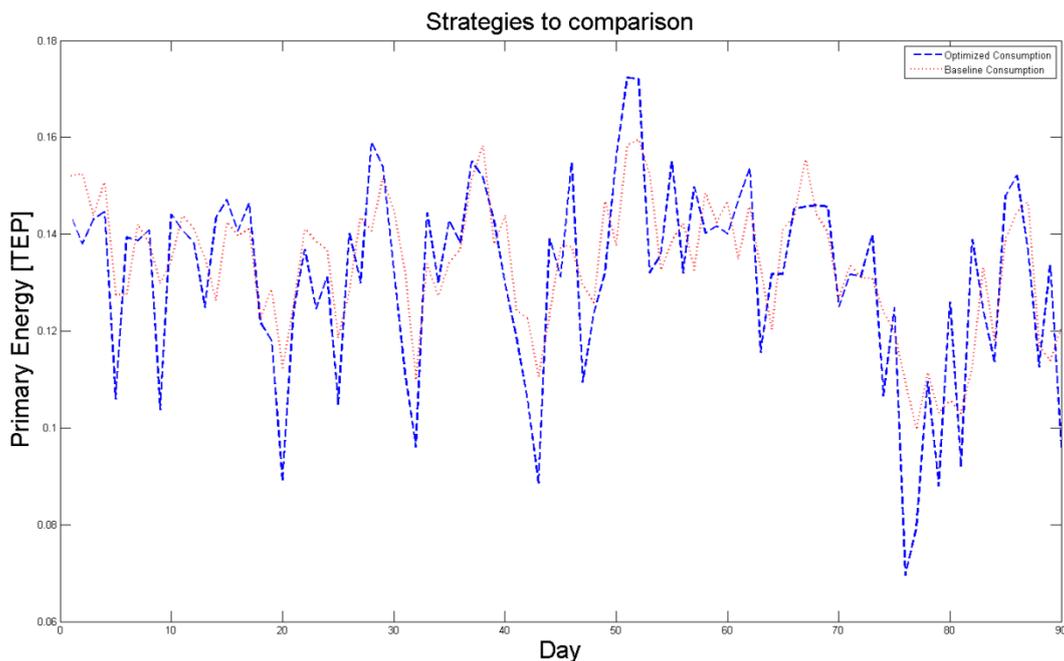


Figura 104: Confronto tra consumi di energia primaria della strategia ottima e della baseline (21-65).

In figura 17 viene confrontato il PPD relativo alla Baseline (21-65), con il PPD della stagione ottimizzata.

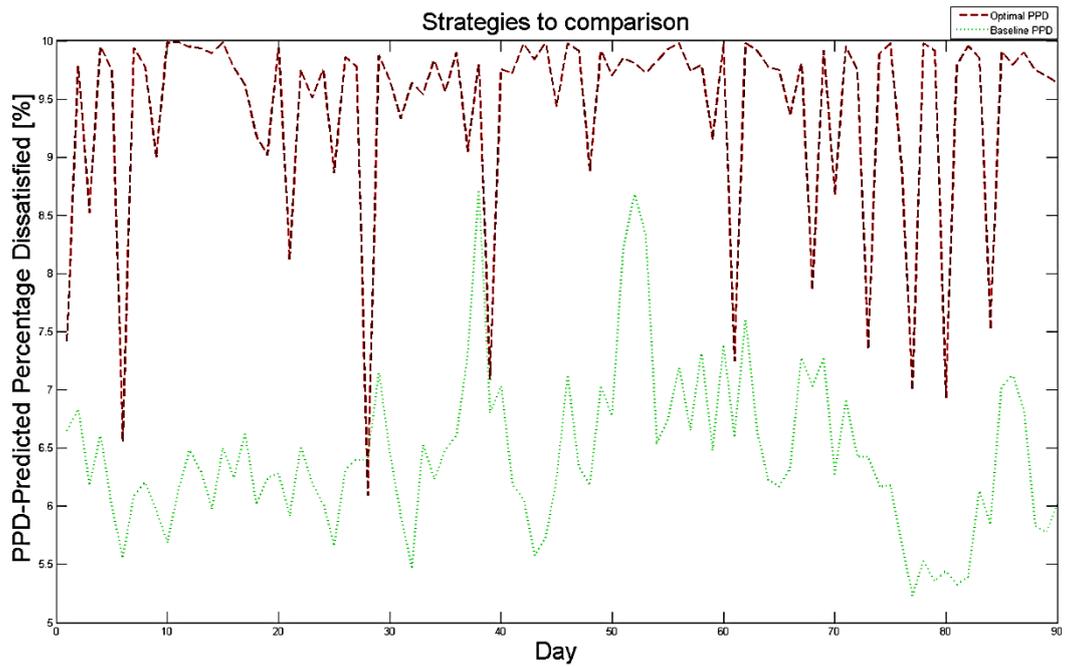


Figura 105: Confronto tra PPD della strategia ottima e PPD della baseline (21-65).

In figura 18 vengono confrontati i consumi relativi alla Baseline (21-70), con i consumi della stagione ottimizzata.

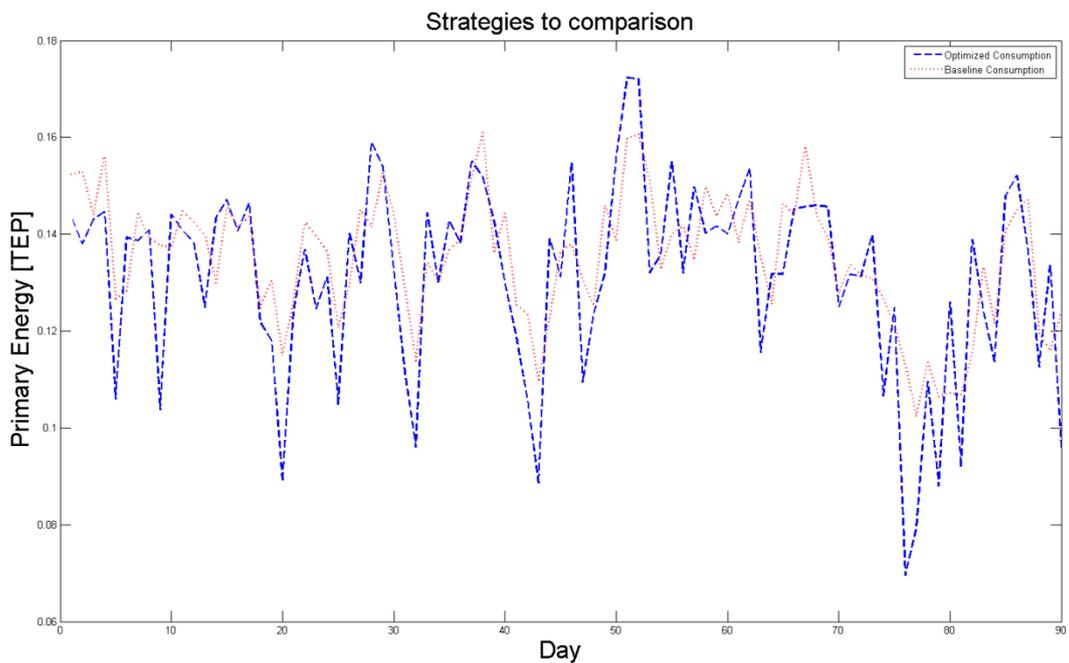


Figura 106: Confronto tra consumi di energia primaria della strategia ottima e della baseline (21-70).

In figura 19 viene confrontato il PPD relativo alla Baseline (21-70), con il PPD della stagione ottimizzata.

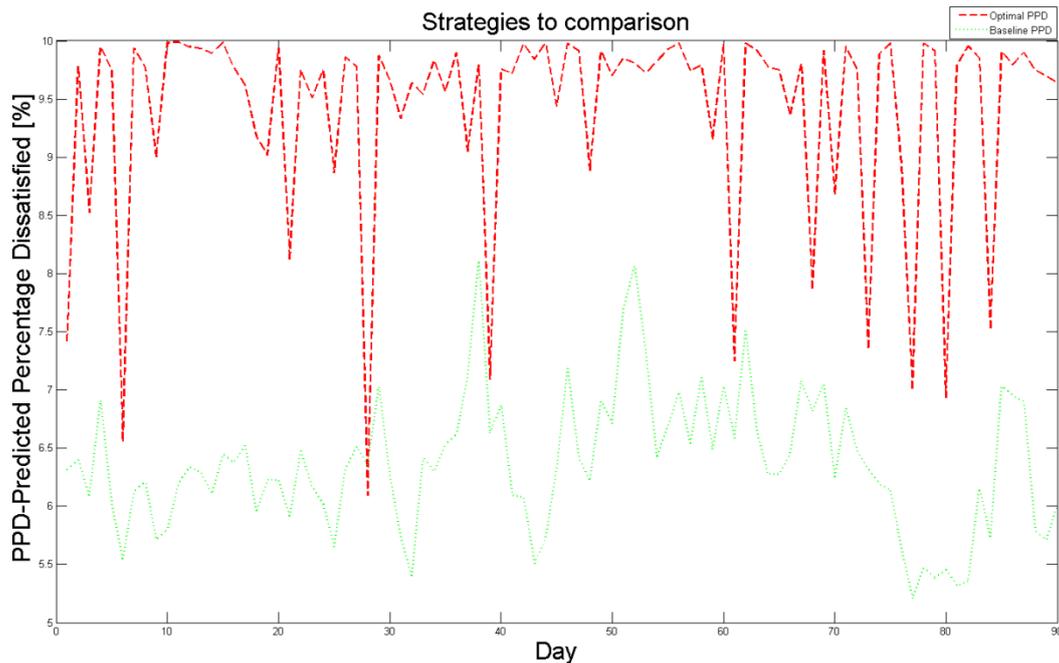


Figura 107: Confronto tra PPD della strategia ottima e PPD della baseline (21-70).

Nella tabella 8 è possibile osservare i consumi ed i valori di PPD medi relativi alle diverse strategie utilizzate:

Tabella 8 - Confronto tra le strategie utilizzate

	PPD medio stagionale [%]	Energia primaria stagionale [TEP]
Baseline (21-60)	6,66	11,965
Baseline (21-65)	6,44	12,017
Baseline (21-70)	6,36	12,149

Nella tabella 2 è possibile quantificare in percentuale i risparmi energetici sull'intera stagione invernale:

Tabella 9 Risparmio energetico percentuale della strategia ottima rispetto alle diverse Baseline

Risparmio rispetto alla Baseline (21-60) [%]	Risparmio rispetto alla Baseline (21-65) [%]	Risparmio rispetto alla Baseline (21-70) [%]

2.7.2 Stagione estiva

Come per la stagione invernale, prima di procedere con l'ottimizzazione, è stata effettuata una ricerca esaustiva per il periodo estivo. Al fine di valutare i consumi elettrici derivanti dal gruppo frigo, impiegato per il raffreddamento dell'edificio F40, e le corrispettive percentuali di discomfort, espresse mediante l'indice di PPD (Predicted Percentage Dissatisfied), si è simulato il periodo che va dal 12 giugno al 31 luglio, per un totale di 50 giorni. Il mese di agosto non è stato preso in considerazione poiché in quei giorni il Centro Casaccia rimane chiuso per due settimane e la maggior parte del personale prende le ferie proprio nel mese di agosto. La ricerca esaustiva effettuata, servirà per quantificare il risparmio energetico e valutare le differenze di comfort tra la baseline e la strategia ottimizzata.

Le Baseline di riferimento hanno previsto la variazione dei set point di mandata dell'acqua e di termostato all'intero dei seguenti intervalli:

Set point mandata = 8° C – 15° C con step di 1° C;
Set point termostato = 21° C – 24° C con step di 1° C;

Ogni combinazione mandata-termostato costituisce una baseline da prendere come riferimento per le strategie di ottimizzazione future. Una singola baseline prevede il raffrescamento dell'edificio con i set point mandata-termostato fissi per l'intera stagione. Non vi è dunque alcun controllo dinamico. Quest'ultimo verrà implementato in futuro durante la fase di ottimizzazione.

Nella tabella seguente vengono riportati consumi totali stagionali e PPD medi stagionali relativi al raffrescamento con set point di mandata a 8° C:

Tabella 10: Supply water temperature 8° C

Simulation period: June 12 – July 31	Supply water temperature [°C]	Set point thermostat [°C]	Total Consumption [kWh]	Mean PPD [%]
50 days	8	21	16.460	6,55
50 days	8	22	14.601	8,36
50 days	8	23	13.022	11,25
50 days	8	24	9.864	13,94

Nella tabella seguente vengono riportati consumi totali stagionali e PPD medi stagionali relativi al raffrescamento con set point di mandata a 9° C:

Tabella 11: Supply water temperature 9° C

Simulation period: June 12 – July 31	Supply water temperature [°C]	Set point thermostat [°C]	Total Consumption [kWh]	Mean PPD [%]
50 days	9	21	15.598	6,7
50 days	9	22	14.051	8,5
50 days	9	23	12.840	11,4
50 days	9	24	9.639	14,1

Nella tabella seguente vengono riportati consumi totali stagionali e PPD medi stagionali relativi al raffrescamento con set point di mandata a 10° C:

Tabella 12: Supply water temperature 10° C

Simulation period: June 12 – July 31	Supply water temperature [°C]	Set point thermostat [°C]	Total Consumption [kWh]	Mean PPD [%]
50 days	10	21	14.953	6,9
50 days	10	22	13.423	8,7
50 days	10	23	12.322	11,5
50 days	10	24	9.515	14,2

Nella tabella seguente vengono riportati consumi totali stagionali e PPD medi stagionali relativi al raffrescamento con set point di mandata a 11° C:

Tabella 13: Supply water temperature 11° C

Simulation period: June 12 – July 31	Supply water temperature [°C]	Set point thermostat [°C]	Total Consumption [kWh]	Mean PPD [%]
50 days	11	21	14.198	7,1
50 days	11	22	12.898	8,9
50 days	11	23	11.322	11,5
50 days	11	24	9.236	14,4

Nella tabella seguente vengono riportati consumi totali stagionali e PPD medi stagionali relativi al raffrescamento con set point di mandata a 12° C:

Tabella 14: Supply water temperature 12° C

Simulation period: June 12 – July 31	Supply water temperature [°C]	Set point thermostat [°C]	Total Consumption [kWh]	Mean PPD [%]
50 days	12	21	13.436	7,4
50 days	12	22	12.202	9,1
50 days	12	23	10.909	11,8
50 days	12	24	8.922	14,9

Nella tabella seguente vengono riportati consumi totali stagionali e PPD medi stagionali relativi al raffrescamento con set point di mandata a 13° C:

Tabella 15: Supply water temperature 13° C

Simulation period: June 12 – July 31	Supply water temperature [°C]	Set point thermostat [°C]	Total Consumption [kWh]	Mean PPD [%]
50 days	13	21	12.625	7,68
50 days	13	22	11.572	9,44
50 days	13	23	10.315	12
50 days	13	24	8.895	15,1

Nella tabella seguente vengono riportati consumi totali stagionali e PPD medi stagionali relativi al raffrescamento con set point di mandata a 14° C:

Tabella 16: Supply water temperature 14° C

Simulation period: June 12 – July 31	Supply water temperature [°C]	Set point thermostat [°C]	Total Consumption [kWh]	Mean PPD [%]
50 days	14	21	11.797	8,1
50 days	14	22	10.836	9,74
50 days	14	23	9.730	12,3
50 days	14	24	8.260	15,2

Nella tabella seguente vengono riportati consumi totali stagionali e PPD medi stagionali relativi al raffrescamento con set point di mandata a 15° C:

Tabella 17: Supply water temperature 15° C

Simulation period: June 12 – July 31	Supply water temperature [°C]	Set point thermostat [°C]	Total Consumption [kWh]	Mean PPD [%]
50 days	15	21	10.942	8,56
50 days	15	22	10.057	10,13
50 days	15	23	8.856	12,4
50 days	15	24	7.037	15,8

Basandosi sui risultati delle tabelle precedenti è possibile delineare i fronti di Pareto delle baseline. Nella figura 1 sono presenti due fronti di Pareto, ognuno dei quali presenta una temperatura di set point del termostato costante. In particolare il fronte rosso identifica una temperatura di set point di termostato pari a 21° C, mentre il fronte blu una temperatura di set point di termostato pari a 22° C. Si può notare come al diminuire della temperatura di mandata dell'acqua, il consumo del gruppo frigo cresce mentre il valore del PPD diminuisce. Ciò è lecito poiché essendo nel periodo estivo, la temperatura dell'acqua tende a risalire molto velocemente (concordemente con le condizioni meteo esterne all'edificio). Inoltre, al diminuire della temperatura dell'acqua, si avrà un raffrescamento maggiore con conseguente decremento della percentuale di insoddisfatti.

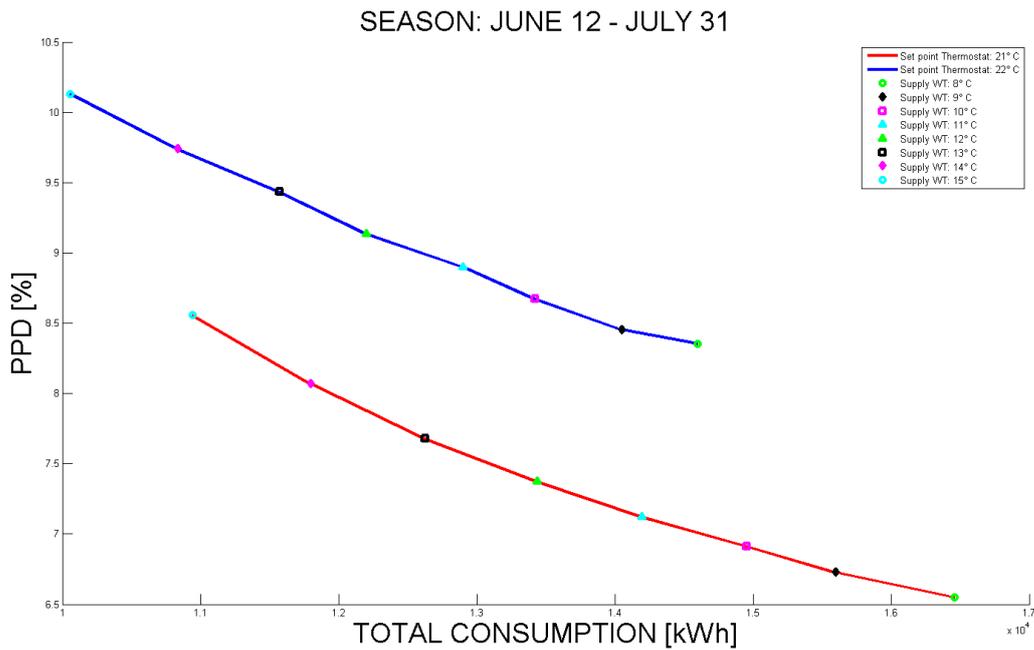


Figura 108: Fronti di Pareto per temperature di set point di termostato pari a 21° C e 22° C

Nel caso reale l'edificio F40 viene raffrescato con una temperatura di mandata pari a 11° C ed una temperatura di termostato pari a 21° C: ciò corrisponde ad un consumo di 14.198 kWh e ad un PPD di 7,1 %.

La norma UNI EN ISO 7730:2006 sul microclima in ambienti di lavoro moderati prevede che il PPD non superi il 10 % del totale dei dipendenti. É possibile ridurre il consumo di energia elettrica destinata al raffrescamento dell'edificio a fronte di un aumento della percentuale di insoddisfatti, compatibilmente con il limite imposto da normativa:

$$PPD \leq 10\%$$

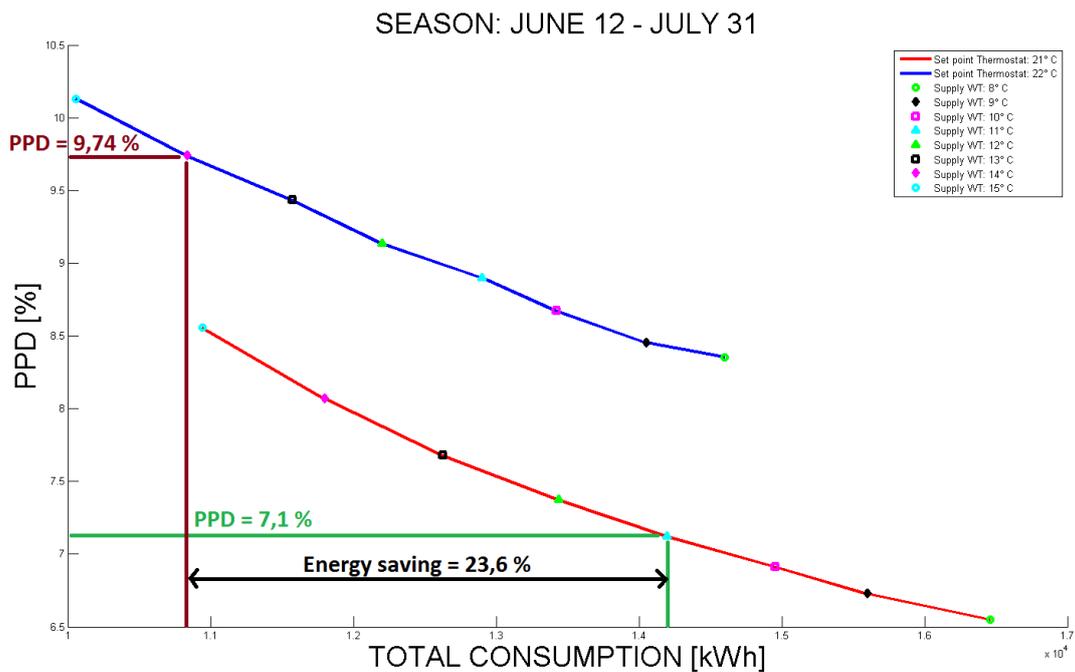


Figura 109: Casi a confronto

La figura seguente mostra le differenze in termini di consumi energetici e di percentuale di insoddisfatti se ci si sposta dal caso reale al caso di interesse.

La tabella riassume i risultati ottenuti:

Tabella 18: Risultati

	Supply water temperature [°C]	Set point thermostat [°C]	Total Consumption [kWh]	Mean PPD [%]	Energy saving [%]
Real case	11	21	14.198	7,1	-
Interesting case	14	22	10.836	9,74	23,6

A fronte di un incremento di insoddisfatti del 2,64 %, rimanendo sempre entro i limiti previsti dalla normativa, è possibile ridurre il consumo energetico del 23,6 %.

2.8 Gestione ed upgrade infrastrutture dello Smart Village (ENEA)

2.8.1 Gestione ed upgrade della infrastruttura ICT

All'interno del progetto denominato "Risparmio di energia nei settori Industriali, si colloca la Linea B "Gestione ottimale delle Reti di Edifici", nella quale è prevista un'attività denominata "Smart Village" implementata sulla Griglia computazionale ENEA. L'infrastruttura pilota di ricerca ha il fine di dimostrare paradigmi e tecnologie delle Smart Cities applicate ad un sottoinsieme di edifici del Campus ENEA di Casaccia. Tale attività è svolta in collaborazione fra le Unità Tecniche ENEA DTE-SEN e DTE-ICT. In particolare il Progetto prevede l'integrazione tra di loro di un insieme di applicativi che interessano i domini dello smart lighting, smart building e smart mobility realizzando un sistema centrale di supervisione che garantisce l'integrazione dei dati provenienti dai diversi ambiti.

La seguente relazione riguarda l'attività svolta dall'Unità Tecnica ICT il cui compito comprende l'implementazione delle diverse piattaforme server e delle infrastrutture di rete, lo sviluppo e/o la personalizzazione degli applicativi, il deployment di questi sull'infrastruttura, le necessarie ottimizzazioni per il corretto funzionamento del sistema.

Fondamentale per il progetto è stata la presenza dell'infrastruttura ENEA di Virtualizzazione, basata su tecnologia VMWARE che consente di ospitare i servizi di gestione, di trasporto ed elaborazione dei dati del progetto, garantendo così la loro disponibilità e la salvaguardia nel tempo.

2.8.2 Upgrade Piattaforma di Visualizzazione

E' stata effettuato un upgrade della piattaforma di visualizzazione delle grandezze rilevate da una serie di sensori, mediante M3NG e una nuova Dashboard. Per i diversi ambiti applicativi dello Smart Village sono state realizzate le seguenti componenti software:

- Componenti Software per la raccolta dei dati di mobilità
 - E' stato realizzato un modulo software automatizzato "temporizzato" (daemon) che raccoglie i dati relativi alla mobilità, stimando il numero di individui che impegnano, durante la giornata, percorsi predefiniti all'interno di Casaccia;

- un modulo automatico “temporizzato” (daemon) che raccoglie i dati di attraversamento, pedonale, automobilistico e dei pullman, della strada monitorata dal dispositivo denominato SmartEye;
- un modulo per il monitoraggio della eventuale presenza di nebbia sul sito di Casaccia;
- una interfaccia grafica di visualizzazione che mostra la foto satellitare di Casaccia con sovrapposto un grafo che rappresenta i percorsi di attraversamento delle persone con informazioni relative alla “quantità stimata” di individui per tratta.
- Il medesimo grafico mostra anche i dati misurati di attraversamento rilevati tramite SmartEye.
- Viene anche mostrato un indicatore di presenza di nebbia.

- Componenti Software per la raccolta delle KPI

Relativamente alle KPI selezionate da Enea:

- è stato sviluppato un modulo automatico “temporizzato” (daemon) per la lettura delle informazioni delle KPI dall’apposito database e l’inserimento nel sistema di monitoraggio che provvede a mostrarne i valori;
- sono state create delle rappresentazioni grafiche sotto forma di una serie di mappe per la rappresentazione dello stato delle KPI in termini di validità del dato in una scala di tre valori e colori a rappresentare uno stato di Critical, Warning o OK

- Componenti Software per la raccolta dei dati dei sensori

E’ stato sviluppato un modulo automatico “temporizzato” (daemon) che:

- legge i valori dei sensori “low-level” presenti in Enea, ne decodifica le informazioni, e ne inserisce i valori nel sistema di monitoraggio;
- legge i valori dei sensori “high-level” presenti in Enea, ne decodifica le informazioni, e ne inserisce i valori nel sistema di monitoraggio;
- Relativamente ai dati raccolti è stato implementato un insieme di grafici sotto forma di mappe che mostra le planimetrie degli edifici (piani) in cui sono presenti i sensori. Ogni planimetria mostra le stanze presenti sul piano con un indicatore per ogni sensore presente nella stanza, indicante lo “stato” del sensore in termini di validità del dato in una scala di tre valori e colori a rappresentare uno stato di Critical, Warning o OK.

- Tecnologie Software per la realizzazione dei Daemon

Per uniformare la gestione, configurazione e manutenzione, tutti moduli sono stati raggruppati in due demoni principali sviluppati interamente in Java, come da richiesta di Enea:

- Il demone BuildingAndKPIDaemon si occupa di raccogliere:
 - Le informazioni delle KPI; Gli “allarmi” relativi degli edifici (low-level);
 - I valori dei sensori presenti negli edifici (high-level).
- MobilityAndSEGraphDaemon si occupa di raccogliere:
 - Le informazioni rilevate dallo SmartEye relativamente all’attraversamento della strada;
 - Le informazioni relative alla presenza di nebbia sul sito di casaccia, così come rilevate dallo SmartEye;
 - Stima il numero di persone che attraversano le strade all’interno di casaccia in base ai dati relativi ai badge e alla destinazione di default di ogni dipendente che attraversa un tornello.

- Dashboard

E' stata sviluppata una nuova modalit  grafica, in forma di Dashboard, per la fruizione delle informazioni raccolte e storicizzate mediante M3NG.

La dashboard consente la visualizzazione di una serie di indicatori grafici (ad orologio, grafo, mappe, ecc..). La nuova componente si differenzia dal normale sistema di rappresentazione di M3NG in quanto consente, agli utenti autorizzati, di "disegnare" il proprio cruscotto indipendentemente gli uni dagli altri, in completa autonomia, senza richiedere l'intervento di un sistemista o tecnico software.

- Tecnologie utilizzate per lo sviluppo della Dashboard

La dashboard   sviluppata utilizzando:

- Linguaggio PHP;
- Linguaggio Javascript;
- Linguaggio Perl;
- Redis (in-memory data structure store).

Di seguito una serie di screenshot di esempio della dashboard.

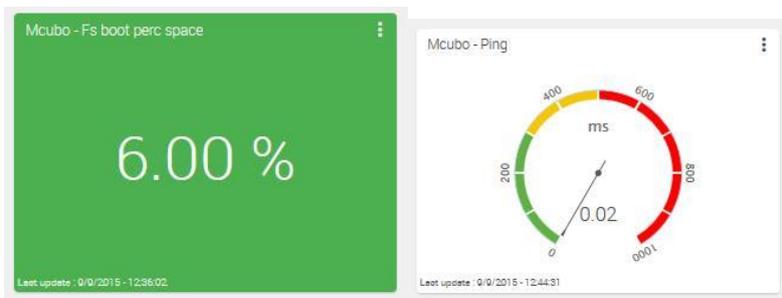


Figura 110- esempio di dashboard per la visualizzazione dei KPI

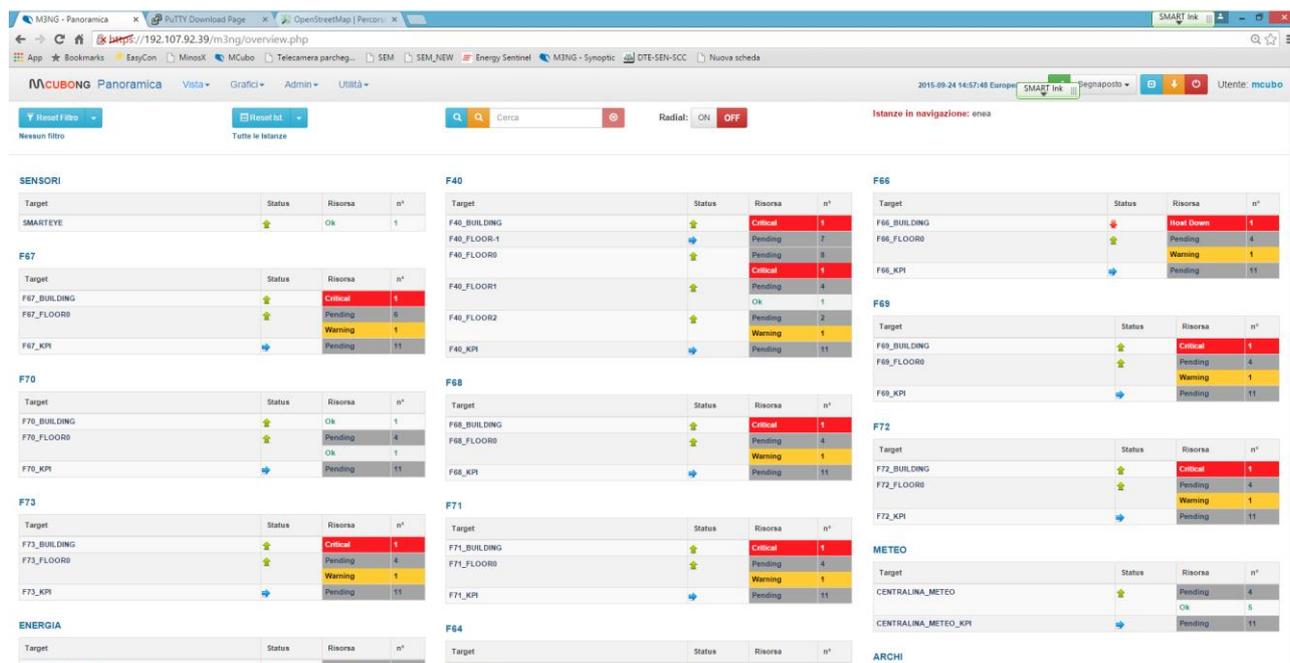


Figura 111- Screenshot del sommario dei dati disponibili

2.8.3 Implementazione delle facilities sperimentali

Per consentire di estendere nelle prossime annualità la sperimentazione delle strategie di gestione e ottimizzazione intrapresa presso il singolo edificio ad una rete di edifici, sono stati implementati i sistemi di attuazione e controllo presenti sia presso il cluster di 8 edifici che presso l'edificio F40.

Nella centrale termica del cluster è stata inserita una nuova valvola di regolazione a tre vie del circuito invernale. Tale valvola è stata integrata localmente con un nuovo regolatore che si interfaccia con la piattaforma SEM sviluppata da Almagora per consentirne la gestione da remoto.



Figura 112 – Centrale termica cluster, inserimento valvola a tre vie

Presso il cluster il fluido surriscaldato proveniente dalla rete di teleriscaldamento della Casaccia, dopo essere passato attraverso lo scambiatore presente nella centrale termica viene smistato ai singoli edifici, pertanto il controllo da remoto di tale valvola consente l'impostazione del setpoint della temperatura di mandata del fluido termovettore al fine di regolarne la portata al circuito di distribuzione. Inoltre, per consentire il controllo di tale valvola vengono trasmesse alla piattaforma di controllo anche le temperature di mandata e ritorno del fluido necessarie a definire gli algoritmi di ottimizzazione.

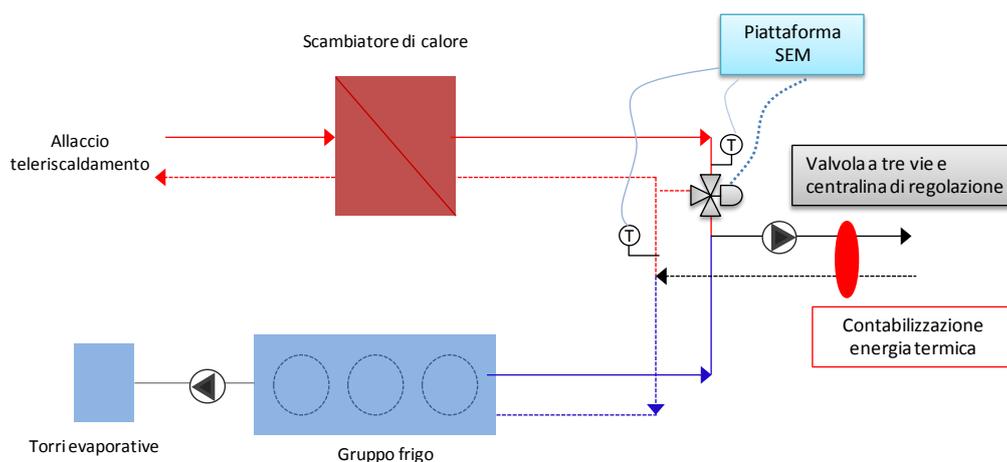


Figura 113- Schema centrale termica cluster

Presso l'edificio F40, è stato necessario sostituire la valvola a tre vie pneumatica del circuito estivo, non funzionante, con una nuova valvola elettrica gestita dal regolatore Yokogawa già installato la scorsa

annualità al fine di estendere la sperimentazione delle strategie di ottimizzazione implementate anche nella stagione estiva.



Figura 114 - Centrale termica F40, sostituzione valvola a tre vie circuito estivo

Inoltre è stato inserita una valvola di non ritorno sul circuito di alimentazione dei radiatori, in quanto durante la sperimentazione condotta in questa annualità si è verificato che, la chiusura della valvola di mandata al circuito invernale, causa un riflusso del fluido nel circuito di distribuzione dei radiatori con conseguente errore nella contabilizzazione dell'energia termica consumata.

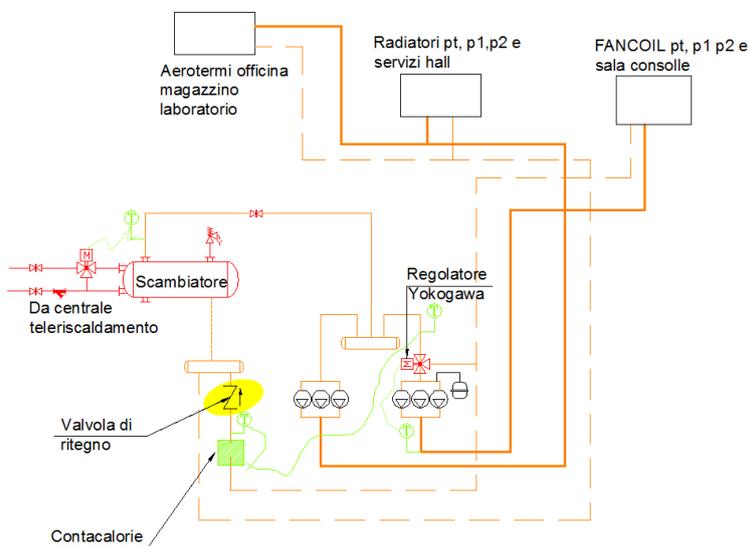


Figura 115- Schema circuito invernale con inserimento di valvola di ritegno

2.8.4 Upgrade piattaforma SEM

E' stato effettuato un aggiornamento della piattaforma SEM all'ultima release. Tale upgrade ha comportato l'installazione sui server di ENEA della piattaforma dedicata SEM aggiornata alla versione 3.11. In tale aggiornamento è stata prevista una nuova versione di SemLite, che utilizza le librerie HighCharts per la costruzione dei grafici interattivi.

Sono state implementate anche le seguenti funzioni della piattaforma Sem :

- Ampliamento delle funzioni di Allarme Real-time con l’inserimento di soglie di allarme legate ad una misura. Nella sezione di "Visualizza Curve" e "Confronta Periodi" è stata aggiunta la funzionalità "Statistiche", che mostra i valori di somma, media, massimo e minimo delle curve (i valori si aggiornano in relazione allo zoom sul grafico).
- Aggiunta la pagina "Analisi di Correlazione", con le curve di regressione costruite sulla base delle selezioni dell'utente.
- Installata la versione Microstrategy 10.0 per utente Named User (Server +Web) che prevede anche la manutenzione annuale (per il primo anno). Tale prodotto consente di produrre Report utili per analisi di Business Intelligence.
- Aggiornata, alla nuova versione 3.11, sui server di ENEA anche la parte relativa al monitoraggio e attuazione delle valvole a tre vie. E’ possibile in tale sezione controllare in tempo reale la temperatura di mandata, quella di ritorno e il valore preimpostato per la temperatura di Set Point. Ovviamente quest’ultimo valore è possibile modificarlo al valore desiderato e in automatico la modifica verrà inviata alla valvola stessa.
- Installazione in ENEA, su un loro dispositivo denominato Energy Box (Pc Box), degli applicativi SEM Z-wave e Z-wave Sync. Tramite SEM Z-wave siamo in grado di leggere i dati misurati provenienti dai sensori Z-wave e di effettuare attuazione sugli stessi, mentre tramite il Z-Wave Sync siamo in grado di sincronizzare i dati misurati e recuperati dall’Energy Box con il DB della piattaforma SEM in modo da poter effettuare un’analisi più accurata sulle misurazioni.

Infine è stato sviluppato un modulo software in grado di generare automaticamente la reportistica da inviare al gestore o all’energy manager della rete di edifici al fine di agevolare la supervisione del building network, la valutazione ed il confronto delle prestazioni tra gli edifici, la predisposizione di interventi di manutenzione in caso di guasto sia dei sensori che degli impianti. Per la realizzazione dei report in automatico a livello di piattaforma SEM è stato utilizzato lo strumento di Business Intelligence Microstrategy.

I contenuti della reportistica sono riconducibili a tre categorie principali:

- Diagnostica:
 - Missing data, ovvero segnalazione del mancato funzionamento dei devices installati o mancata comunicazione tra questi ed il BEMS.
 - Diagnostica low level, consente di individuare le misure che risultano al di fuori del range operativo, funzionale o fondo scala e che evidenziano un mal funzionamento della sensoristica installata o del sistema monitorato e che necessitano di un pronto intervento di verifica o manutenzione.
 - Diagnostica di high level, effettua la segnalazione automatica di anomalie riscontrate dal sistema di supervisione grazie all’impiego di opportuni algoritmi sviluppati da ENEA, fornisce informazioni utili all’individuazione di eventuali malfunzionamenti e alla conseguente valutazione delle azioni di miglioramento.
- Monitoraggio: viene schedato l’invio dei dati monitorati dei consumi energetici relativi alle principali utenze finali, delle condizioni ambientali indoor e outdoor, della presenza degli occupanti, organizzati per facilitare la lettura e l’interpretazione da parte del gestore.
- KPI: indici relativi ai consumi termici, elettrici e delle condizioni di confort degli utenti che consentono un rapido ed efficace confronto tra gli edifici appartenenti alla stessa rete.

Nella tabella seguente sono specificati i contenuti dei singoli report :

D1 Missing data

- D1.1 Valori a Zero intera giornata. Il report elenca, per ogni edificio, le misure che sono rimaste a zero per un'intera giornata. Il filtro temporale applicato è relativo agli ultimi 30 giorni. Viene inviato via mail una volta al mese.

Mese	Giorno	Canale	Metriche	Valore
Agosto 2015	22/08/2015	Energia Termica Caldo Edificio F 66		0
		Sensore Presenza Vicino F 66		0
		Sensore Presenza Lontano F 66		0
	23/08/2015	Energia Termica Caldo Edificio F 66		0
		Sensore Presenza Vicino F 66		0
		Sensore Presenza Lontano F 66		0
	29/08/2015	Energia Termica Caldo Edificio F 66		0
		Sensore Presenza Vicino F 66		0
		Sensore Presenza Lontano F 66		0
	30/08/2015	Energia Termica Caldo Edificio F 66		0
		Sensore Presenza Lontano F 66		0

- D1.2 Misure Mancanti. Il report elenca le misure che non hanno inviato le 96 misure previste in un giorno. Il filtro temporale applicato è relativo agli ultimi 30 giorni e la schedulazione è prevista ad inizio mese.

Struttura: Centralina F64

Mese	Giorno	Canale	Metriche	Slot Presenti / 96
Luglio 2015	21/07/2015	Portata Acqua Calda		91
		Portata Acqua Fredda		91
		Potenza Riscaldamento		91
		Potenza Raffrescamento		91
		Delta T		91
		T1		91
		T2		91

- D1.3 Valori Costanti nelle 24 h. Il report elenca i canali di ciascuna struttura i cui valori sono rimasti costanti in tutte le misure di un giorno. Il filtro temporale applicato è relativo agli ultimi 30 giorni e la schedulazione è prevista ad inizio mese. Il report è schedulato ad inizio mese.

Struttura: Centrale Termica Cluster

Mese	Giorno	Canale	Metriche	Differenza	Min	Max
Luglio 2015	05/07/2015	CDZ Edificio Centrale Termica		0	661	661
	11/07/2015	CDZ Edificio Centrale Termica		0	661	661

D2 Diagnostica low level - Treshold

Il report riporta i canali di ciascuna struttura i cui valori hanno superato le soglie di scala, operative e funzionali. Il filtro temporale applicato è relativo al giorno precedente. Il report è schedulato giornalmente.

Canale: Differenza Temperatura Edificio F 66

Giorno	Frazione Oraria	Valore	Minfullscale	Maxfullscale	Maxfunctionalthreshold	Minfunctionalthreshold	Minoperativethreshold	Maxoperativethreshold
28/07/2015	13:45	0,65	1	60	5	1	0	5
	15:30	0,64	1	60	5	1	0	5
	17:15	0,63	1	60	5	1	0	5

M1 Monitoraggio

- M1 Riepilogo consumi per mese. Il report presenta per ogni edificio, le principali misure monitorate, aggregate a livello mensile. Il report è schedulato per essere ricevuto ad inizio mese.

RAGGRUPPAMENTO A PAGINE: Struttura:

Righe di dati: 36 | Colonne di dati:

Mese	GME kWh	GME kVarh	CDZ kWh	FEM kWh	FM (Calcolato) kWh	Illuminazione kWh	Temperatura Interna	Acqua (l)	Delta T	Energia Termica Caldo kWh
Ottobre 2012	399,69	154,12	1,87		224,08	173,74	0,00	0,00	0,00	0,00
Novembre 2012	1.812,81	1.076,83	20,48		1.096,34	696,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dicembre 2012	1.897,90	943,63	24,01		1.302,39	571,50	0,00	11,30	0,00	29,00
Gennaio 2013	2.209,99	972,71	28,67		1.553,94	627,37	0,00	1.087,00	0,00	3.635,70
Febbraio 2013	2.108,79	914,68	23,89		1.463,82	621,08	0,00	2.225,20	0,00	6.577,48
Marzo 2013	2.112,68	1.031,30	24,92		1.396,83	690,93	0,00	2.253,40	0,00	2.245,83
Aprile 2013	1.999,35	915,03	15,77		1.413,91	569,67	0,00	441,40	0,00	104,99
Maggio 2013	2.128,69	1.018,93	11,87		1.445,13	671,69	0,00	36,20	0,00	0,00
Giugno 2013	2.351,57	1.108,77	34,29		1.763,71	553,57	0,00	3.943,60	0,00	0,00
Luglio 2013	2.417,80	1.205,46	69,17		1.861,28	487,35	0,00	4.429,50	0,00	1,00
Agosto 2013	2.012,07	1.017,24	468,65		1.139,99	403,43	0,00	4.064,60	0,00	1,90
Settembre 2013	2.188,84	660,69	404,58		1.193,04	591,22	0,00	3.323,40	0,00	2,30
Ottobre 2013	2.157,15	392,95	219,61		1.169,99	767,55	0,00	0,30	0,00	0,00
Novembre 2013	2.191,44	493,12	365,25		1.130,19	696,00	0,00	3.704,70	0,00	7.488,40
Dicembre 2013	1.845,85	353,08	336,98		975,52	533,35	0,00	3.997,20	0,00	15.446,70
Gennaio 2014	2.290,51	506,14	442,23		1.203,93	644,34	0,00	5.901,40	0,00	13.429,40
Febbraio 2014	2.133,02	530,57	383,68		1.118,30	631,03	0,00	4.755,70	0,00	10.467,00
Marzo 2014	2.377,28	614,00	426,21		1.263,83	687,24	0,00	6.145,60	0,00	11.407,00
Aprile 2014	1.925,79	121,49	234,47		1.195,56	495,76	0,00	283,70	0,00	522,90
Maggio 2014	2.136,47	235,57	234,91		1.280,61	620,95	0,00	0,00	0,00	0,00
Giugno 2014	2.261,98	347,00	488,03		1.288,30	485,65	21,87	5.662,70	0,55	3,70
Luglio 2014	2.417,46	436,66	668,19		1.219,37	529,90	23,59	4.051,30	0,36	1,20
Agosto 2014	2.098,56	64,03	632,34		1.139,28	326,94	24,26	4.191,20	0,67	1,80

- M3 Temperatura Media Giornaliera. Il report presenta, per la sede di Casaccia, la temperatura media giornaliera e la relativa umidità. Il filtro temporale applicato è relativo all'anno precedente e anno corrente. L'invio tramite mail avviene ad inizio mese.

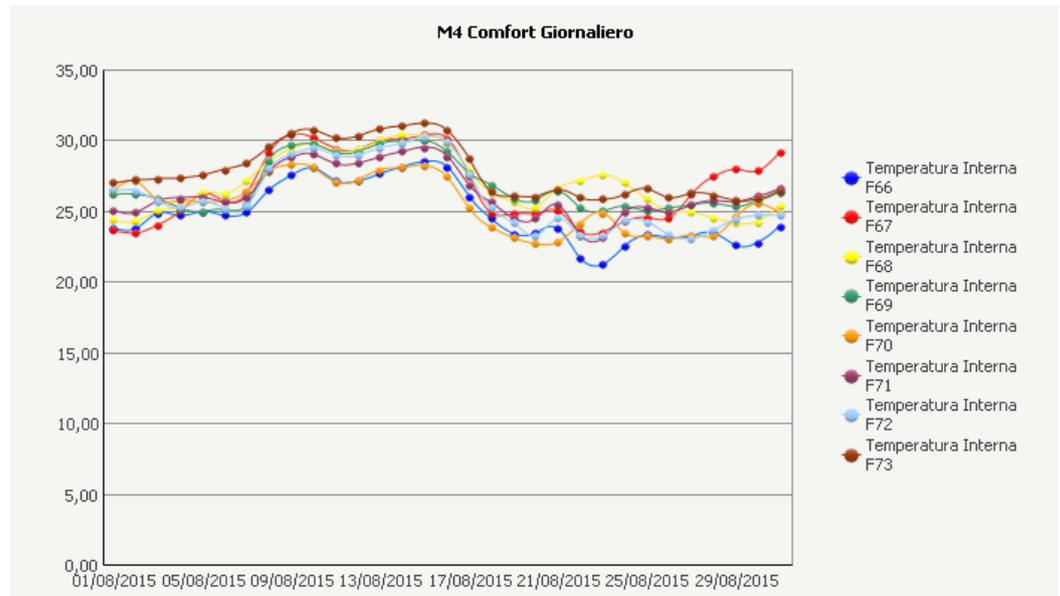
RAGGRUPPAMENTO A PAGINE: Sede: Mese:

Giorno	Metrice Temperatura	Umidità
01/09/2015	25,81	57,47
02/09/2015	23,97	79,12
03/09/2015	24,15	79,20
04/09/2015	23,60	87,31
05/09/2015	22,91	83,75
06/09/2015	21,30	76,50
07/09/2015	21,28	76,30
08/09/2015	21,10	60,77
09/09/2015	20,37	58,14

- **M4 Comfort Giornaliero.** Il grafico presenta, per ciascun edificio, l'andamento dei valori medi di temperatura interna, giorno per giorno. Il filtro temporale applicato è relativo al mese precedente solo nella fascia oraria lavorativa (dalle 8 alle 19 del periodo 15 novembre 2014 – 15 aprile 2015). E' schedato ad inizio mese.

RAGGRUPPAMENTO A PAGINE: Mese: **Agosto 2015**

Righe di



KPI

- **K1.1 kWh Mese / Superficie.** Il report presenta, per ogni edificio, il riepilogo mensile dei consumi al metro quadrato, suddiviso per tipologia di utenza (CDZ, MEF, ecc.). L'invio via mail avviene ad inizio mese.

Mese	Metriche GME Attiva / Sup	GME Reattiva / Sup	Illumin. / Sup	FEM / Sup	FM (Calcolato) / Sup	CDZ / Sup
Ottobre 2012	0,90	0,35	0,39	0,00	0,50	0,00
Novembre 2012	4,08	2,43	1,57	0,00	2,47	0,05
Dicembre 2012	4,27	2,13	1,29	0,00	2,93	0,05
Gennaio 2013	4,98	2,19	1,41	0,00	3,50	0,06
Febbraio 2013	4,75	2,06	1,40	0,00	3,30	0,05
Marzo 2013	4,76	2,32	1,56	0,00	3,15	0,06
Aprile 2013	4,50	2,06	1,28	0,00	3,18	0,04
Maggio 2013	4,79	2,29	1,51	0,00	3,25	0,03
Giugno 2013	5,30	2,50	1,25	0,00	3,97	0,08
Luglio 2013	5,45	2,71	1,10	0,00	4,19	0,16
Agosto 2013	4,53	2,29	0,91	0,00	2,57	1,06
Settembre 2013	4,93	1,49	1,33	0,00	2,69	0,91
Ottobre 2013	4,86	0,89	1,73	0,00	2,64	0,49
Novembre 2013	4,94	1,11	1,57	0,00	2,55	0,82
Dicembre 2013	4,16	0,80	1,20	0,00	2,20	0,76
Gennaio 2014	5,16	1,14	1,45	0,00	2,71	1,00
Febbraio 2014	4,80	1,19	1,42	0,00	2,52	0,86
Marzo 2014	5,35	1,38	1,55	0,00	2,85	0,96
Aprile 2014	4,34	0,27	1,12	0,00	2,69	0,53
Maggio 2014	4,81	0,53	1,40	0,00	2,88	0,53
Giugno 2014	5,09	0,78	1,09	0,00	2,90	1,10
Luglio 2014	5,44	0,98	1,19	0,00	2,75	1,50
Agosto 2014	4,73	0,14	0,74	0,00	2,57	1,42

- K1.3 kWh Mese / Utenti Medi. Il report presenta, per ogni edificio, il riepilogo mensile dei consumi per utente, suddiviso per tipologia di utenza (CDZ, MEF, ecc.).

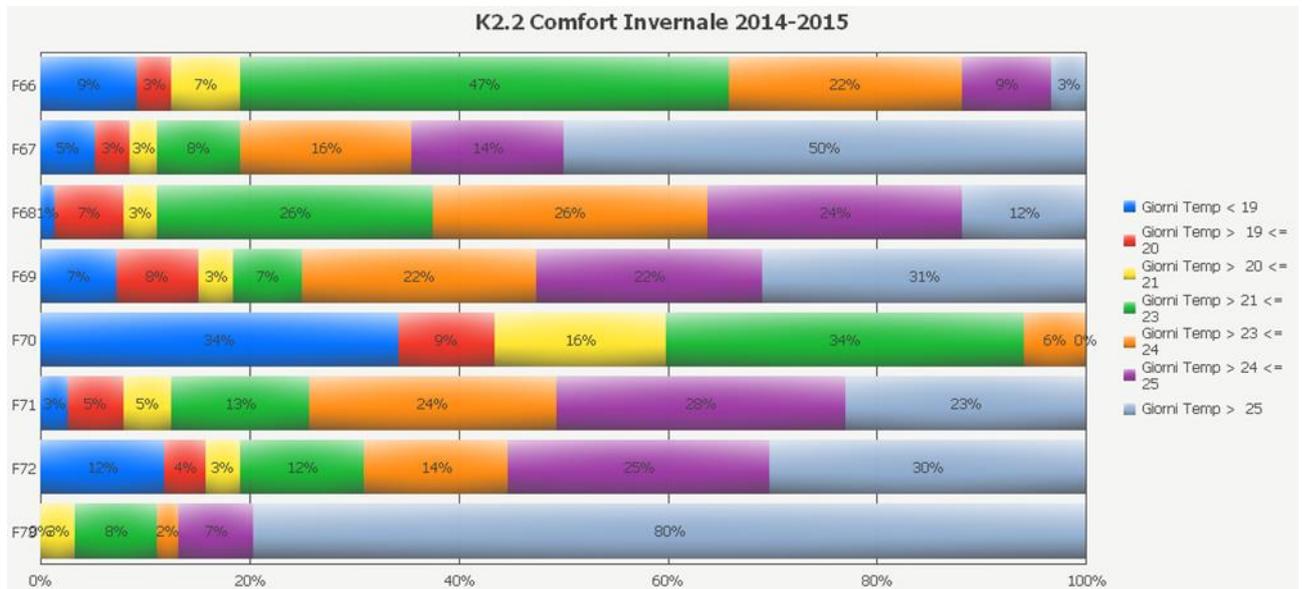
RAGGRUPPAMENTO A PAGINE: Struttura:

Mese	Metriche FM (Calcolato)/Utenti	GME Attiva/Sup	GME Reattiva / Utenti	Illumin./Utenti	FEM/Utenti	CDZ/Utenti
Gennaio 2014	56,62	110,16	52,72	35,46	0,00	18,08
Febbraio 2014	54,68	97,10	43,02	25,61	0,00	16,81
Marzo 2014	60,52	98,39	39,28	19,73	0,00	18,15
Aprile 2014	54,61	79,06	15,69	15,75	0,00	8,70
Maggio 2014	65,34	94,06	18,09	22,28	0,00	6,44
Giugno 2014	57,81	94,88	31,86	16,72	0,00	20,35
Luglio 2014	59,42	107,73	39,09	20,96	0,00	27,36
Agosto 2014	49,76	85,13	27,91	13,84	0,00	21,53
Settembre 2014	57,55	96,10	42,00	22,36	0,00	16,19
Ottobre 2014	67,27	93,14	25,31	24,96	0,00	0,91
Novembre 2014	72,98	114,15	40,59	33,30	0,00	7,86
Dicembre 2014	58,86	96,57	42,45	25,08	0,00	12,63
Gennaio 2015	56,71	98,61	50,27	28,08	0,00	13,82
Febbraio 2015	58,66	103,06	55,03	29,03	0,00	15,37
Marzo 2015	64,94	108,83	53,36	25,12	0,00	18,77
Aprile 2015	72,05	93,35	22,09	16,68	0,00	4,61
Maggio 2015	62,63	85,36	26,84	18,73	0,00	4,01
Giugno 2015	56,71	93,51	41,05	19,57	0,00	17,22
Luglio 2015	55,83	108,12	39,98	15,43	0,00	36,86
Agosto 2015	47,99	95,11	40,62	19,72	0,00	27,41
Settembre 2015	37,27	67,53	36,04	16,60	0,00	13,66

- K2.1 kWh Termici Normalizzati. Il report presenta, per ogni edificio, il riepilogo mensile dei consumi, normalizzato rispetto ai GG Convenzionali e rispetto ai GG Reali della località.

Anno	Mese	Metriche kWh / GG Reali kWh / GG Convenzionali
2013	Gennaio 2013	73,56 / 69,97
	Febbraio 2013	38,79 / 36,90
	Marzo 2013	11,80 / 11,22
	Aprile 2013	1,23 / 1,17
	Maggio 2013	1,12 / 1,07
	Giugno 2013	1,33 / 1,27
	Luglio 2013	2,26 / 2,15
	Agosto 2013	4,44 / 4,22
	Settembre 2013	2,93 / 2,79
	Ottobre 2013	1,20 / 1,14
	Novembre 2013	5,66 / 5,38
	Dicembre 2013	6,65 / 6,33
2014	Gennaio 2014	7,74 / 7,40
	Febbraio 2014	6,46 / 6,18
	Marzo 2014	6,89 / 6,59
	Aprile 2014	1,41 / 1,34
	Maggio 2014	1,19 / 1,14
	Giugno 2014	3,67 / 3,51
	Luglio 2014	3,47 / 3,32
	Agosto 2014	2,84 / 2,71
	Settembre 2014	3,06 / 2,93
	Ottobre 2014	1,28 / 1,22
	Novembre 2014	3,51 / 3,36
	Dicembre 2014	6,50 / 6,22

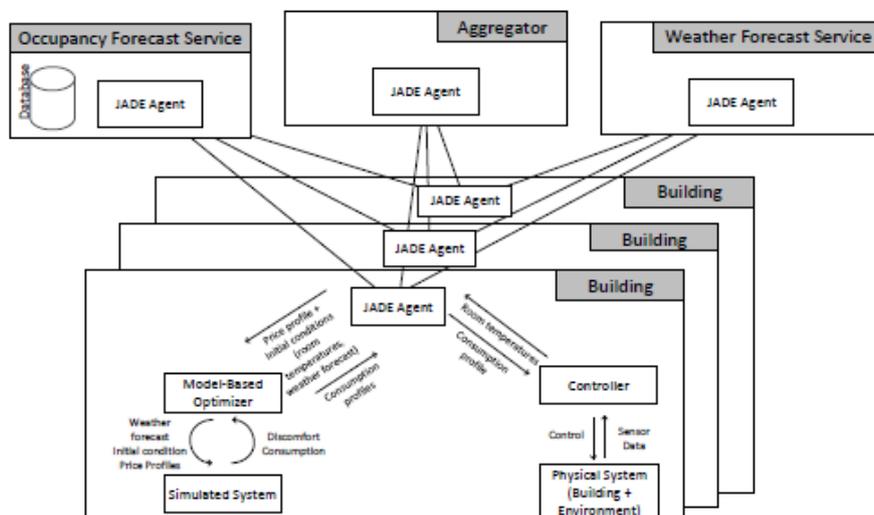
- **K2.2 Comfort invernale.** Il grafico visualizza la distribuzione delle giornate nelle varie categorie di comfort nel periodo 15 novembre 2014 – 15 aprile 2015. La temperatura media è calcolata tra le 8 e le 19.



3 Sviluppo di metodologie in ottica ‘smart district’

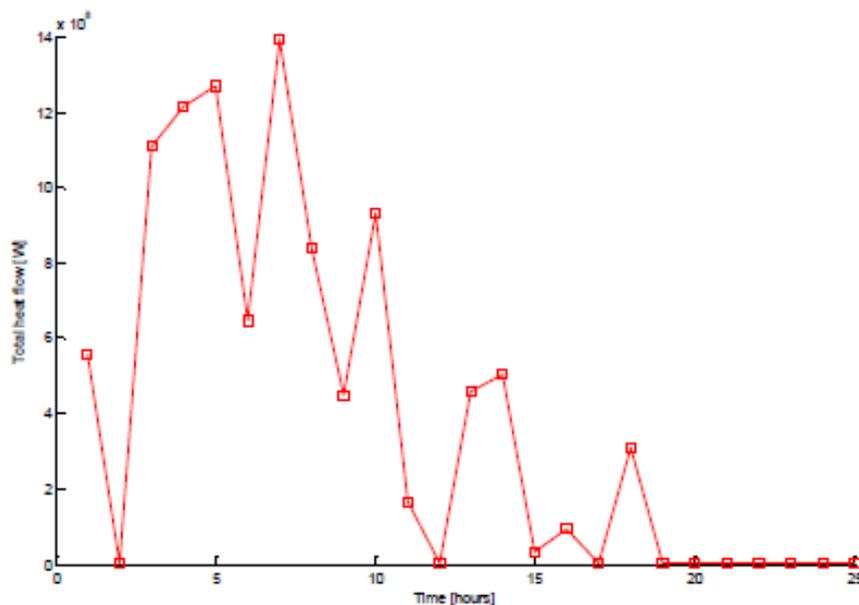
3.1 Metodologie basate su modelli ad agenti finalizzate al Demand Side Management in micro distretti (ENEA)

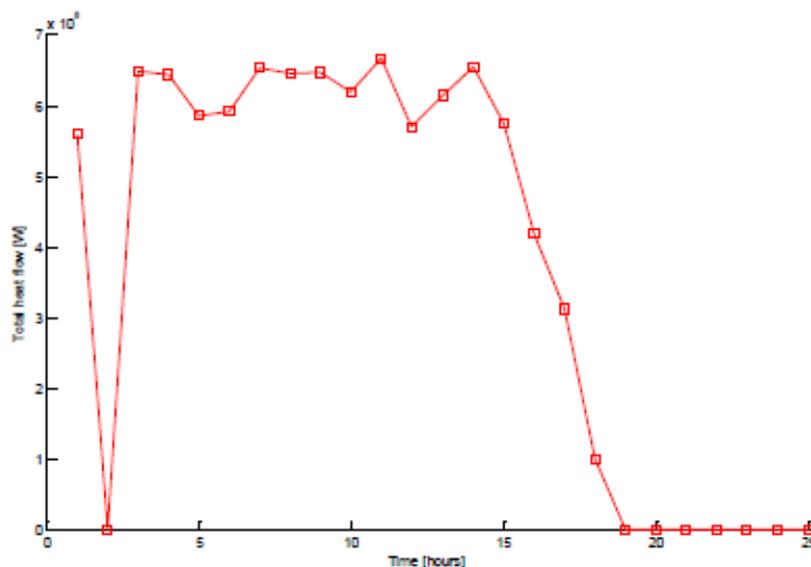
In questa attività è stata investigata una metodologia di ottimizzazione dei consumi che ha come obiettivo finale quello della gestione di un micro-distretto ed in particolare ci si è focalizzati sul parte di gestione attiva della domanda (Demand Side Management - DSM). L’approccio che si è voluto studiare si basa proprio su un mix di metodologie che simulino le attività di un aggregatore di consumi che deve gestire un blocco di edifici. In quest’ottica è stata progettato ed implementato il seguente caso studio basato su modellazione ad agenti. Il sistema è composto dai seguenti agenti :



- Aggregatore : è il meta-agente che si occupa di trovare una soluzione plausibile sub-ottimale sulla base delle richieste che arrivano dagli agenti 'Building' , dai dati forniti dai servizi previsionali e secondo i vincoli del sistema (es. energia disponibile)
- Servizio di previsione dell'occupazione : è l'agente che si occupa di stimare l'occupazione degli edifici
- Servizio di previsione meteo : è l'agente che si occupa di fornire le previsioni meteo
- Building : è l'agente che si occupa di simulare un edificio. In particolare esegue due task : si occupa di trovare la propria soluzione ottima locale (che sarà comunicata all'agente 'Aggregatore') e si occupa di attuare le impostazioni fornite dall'aggregatore.

In questo studio sono stati considerati consumi termici invernali con l'obiettivo di trovare delle soluzioni che riducano i picchi di domanda (peak-shaving). Nella figura a sinistra il consumo termico della rete di 8 edifici oggetto dello studio senza alcuno sistema di ottimizzazione ed a destra lo stesso in cui è stato applicato la metodologia proposta.





3.2 Calibrazione ed upgrade simulatore dei consumi energetici (Università Politecnica delle Marche)

Nella precedente annualità (RdS/PAR2013/063) è stato sviluppato un simulatore in Matlab/Simulink dei consumi termici/elettrici in grado di riprodurre gli effetti prestazionali di differenti strategie di controllo a livello di singolo edificio grazie all'impostazione automatica dei setpoint di temperatura (termostati di stanza e centrale termica) e dei valori di dimmerazione delle luci indoor. Tale simulatore ha la finalità di messa a punto di strategie day-ahead di controllo e gestione e differisce sostanzialmente dai simulatori sviluppati ai fini di progettazione degli edifici. Sulla base di un processo di calibrazione su un database di learning (apprendimento) il simulatore è stato in grado di raggiungere una notevole precisione su scala giornaliera e pertanto si è deciso di utilizzarlo anche come potenziale predittore nei moduli di ottimizzazione, in attesa di avere informazioni sufficienti da un robusto set di dati. Inoltre, nel PAR precedente è stata affrontata una calibrazione preliminare del simulatore della rete di edifici.

Nel PAR 2014, l'attività è proseguita secondo le seguenti linee di attività:

- Evoluzione del simulatore di edificio: dynamic pricing ed integrazione di sistemi di generazione distribuita e storage.
- Calibrazione del simulatore di rete di edifici a partire dai dati sperimentali
- Integrazione del simulatore di rete di edifici con algoritmi di ottimizzazione e controllo

Per gli approfondimenti consultare il rapporto RdS/PAR2014/025.

3.2.1 Evoluzione del simulatore di edificio: introduzione della funzionalità dynamic pricing

Una delle principali "funzioni di costo" da ottimizzare nella gestione della domanda degli edifici è proprio la riduzione della spesa energetica in termini puramente economici. Nel simulatore presentato nello scorso PAR era già predisposta la possibilità di inserire il costo delle commodities energetiche gas naturale ed energia elettrica. Queste, tuttavia, erano considerati come parametri in ingresso costanti e non modificabili. Mentre la costanza del prezzo del gas naturale continua a rimanere valida, almeno nell'arco del trimestre, altrettanto non si può dire per il prezzo dell'energia elettrica che, al contrario, può passare da un andamento costante durante l'arco della giornata (tariffa flat) ad uno bi-orario (con diversificazione del prezzo tra giorno e notte o per fascia oraria, ad esempio) ad uno addirittura variabile su base oraria (dynamic pricing). La funzione di costo implementata nel simulatore prevede per il costo dell'energia

elettrica una voce di spesa fissa, indipendente cioè dai consumi, ed una variabile proporzionale all'energia consumata. La prima voce racchiude la quota di allaccio (quota fissa per punto di prelievo) e la quota per impegno di potenza (quota fissa ma dipendente dalla potenza impegnata); la seconda voce, quella variabile, racchiude le tre opzioni presentate in precedenza (flat, per fasce orarie o dynamic pricing) che verranno di seguito dettagliate.

Tariffa per Fasce orarie

La normativa italiana definisce tre fasce orarie (F1, F2 ed F3). Nelle tabelle seguenti (Tabelle 1-3) vengono riportati i prezzi di riferimento fissati dall'Autorità e applicati ai clienti che scelgono le condizioni regolate (servizio di maggior tutela) - valori al netto delle imposte [11]. In particolare si riportano le condizioni per clienti non domestici con potenza impegnata superiore a 16,5 kW, vale a dire la tariffa di riferimento per lo "smart village" del CR Casaccia. Nel simulatore è stata implementata una funzione che alloca ogni ora del giorno alla fascia oraria opportuna e poi assegna il costo dell'energia.

Il costo totale annuo dell'energia elettrica sarà quindi dato da tre componenti evidenziate in rosso nelle tabelle 1-3:

1. Quota fissa (€/anno)
2. Quota fissa di potenza (€/kW impegnato)
3. Quota variabile, "componente energia", calcolata in maniera variabile con la fascia oraria (€/kWh)

L'algoritmo di ottimizzazione potrà intervenire, ovviamente, soltanto sull'ultima componente.

CLIENTI NON DOMESTICI

- **Servizi di vendita:** energia (PE), dispacciamento (PD), commercializzazione vendita (PCV), componenti di perequazione (PPE) e di dispacciamento (DISPbt)

- **Servizi di rete:** distribuzione, trasporto (TRAS), misura (MIS)

- **Oneri generali:** componenti A (A2, A3, A4, A5, Ae, As), UC (UC3, UC4, UC6, UC7) e MCT

Fascia F1: dalle 8 alle 19 nei giorni dal lunedì al venerdì, escluse le festività nazionali

Fascia F2: dalle 7 alle 8 e dalle 19 alle 23 nei giorni dal lunedì al venerdì e dalle 7 alle 23 del sabato, escluse le festività nazionali

Fascia F3: dalle 23 alle 7 nei giorni dal lunedì al sabato e tutte le ore dei giorni di domenica e festività nazionali

UtENZE con potenza disponibile superiore a 16,5 kW

Quota energia (€/kWh)	Servizi di vendita			Servizi di rete	Oneri generali *	TOTALE		
	fascia F1	fascia F2	fascia F3			fascia F1	fascia F2	fascia F3
gennaio 2014	0,10214	0,09959	0,07777	0,00696	0,068362	0,177462	0,174912	0,153092
febbraio 2014	0,09316	0,09511	0,07941			0,168482	0,170432	0,154732
marzo 2014	0,09351	0,10190	0,08029			0,168832	0,177222	0,155612
Quota fissa (€/anno)	72,8708			25,5020	138,9214	237,2942		
Quota potenza (€/kW/anno)				31,8626		31,8626		

Tabella 1. Tariffe I trimestre 2014

* Valori per consumi mensili nei limiti di 4 GWh

Quota energia (€/kWh)	Servizi di vendita			distribuz.	trasporto	misura	Servizi di rete	Oneri generali *	TOTALE		
	fascia F1	fascia F2	fascia F3						fascia F1	fascia F2	fascia F3
aprile 2014	0,08954	0,09433	0,07913	0,00063	0,00633		0,00696	0,070672	0,167172	0,171962	0,156762
maggio 2014	0,08910	0,09378	0,08112						0,166732	0,171412	0,158752
giugno 2014	0,09419	0,09349	0,07813						0,171822	0,171122	0,155762
Quota fissa (€/anno)	73,2251			4,8235		20,6785	25,5020	138,9214	237,6485		
Quota potenza (€/kW/anno)				31,8626			31,8626		31,8626		

Tabella 2. Tariffe II trimestre 2014

* Valori per consumi mensili nei limiti di 4 GWh

Quota energia (€/kWh)	Servizi di vendita			Servizi di rete	Oneri *	TOTALE		
	fascia F1	fascia F2	fascia F3			fascia F1	fascia F2	fascia F3
luglio 2014	0,09065	0,08481	0,07322	0,00696	0,071242	0,168852	0,163012	0,151422
agosto 2014	0,08116	0,08599	0,07823			0,159362	0,164192	0,156432
settembre 2014	0,08921	0,08764	0,07616			0,167412	0,165842	0,154362
Quota fissa (€/anno)	73,2251			25,5020	140,1781	238,9052		
Quota potenza (€/kW/anno)				31,8626		31,8626		

Tabella 3. Tariffe III trimestre 2014

* Valori per consumi mensili nei limiti di 4 GWh

Tariffa con Dynamic Pricing basata sui dati del Mercato del giorno prima (MGP)

Per quanto riguarda la tariffa con il dynamic pricing orario, ancora non presente in Italia, si è pensato di ricostruire un ipotetico costo orario del kWh a partire dalle “condizioni per clienti non domestici” descritte nella punto precedente. In pratica, la tariffa è stata ricostruita riprendendo gli stessi costi riportati nelle Tabelle 1-3 (quota fissa, quota potenza, servizi di rete ed oneri) e sostituendo la voce “servizi di vendita” della quota energia suddivisa per fascia oraria con il prezzo unico dell’energia (PUN) così come contrattato nel mercato del giorno prima (MGP). La tabella 4 riporta, a titolo di esempio, l’andamento PUN tratto dal mercato del giorno prima (MGP) per il giorno 22 luglio 2014. Poiché gli esiti mercato del giorno prima (MGP) sono pubblici a partire dalle ore 10.45 del giorno precedente e sono esportabili dal sito del gestore del mercato elettrico [12-13], il simulatore è in grado di importare tali dati per elaborare scenari energy management “day-ahead” anche interfacciandosi con algoritmi di ottimizzazione predisposti.

Ora	PUN nel MGP (€/MWh)
1	44,387317
2	42,121934
3	40,327479
4	39,747179
5	39,730175
6	40,380776
7	41,424328
8	46,811744
9	51,430029
10	51,408514
11	50
12	49,591492
13	44,76245
14	43,653503
15	45
16	45,01
17	48,92
18	49,087234
19	50
20	53,14134
21	54,413723
22	55,743613
23	50,211278
24	48,730987

Tabella 4. PUN mercato del giorno prima (MGP) il giorno 22 luglio 2014

Costo del gas naturale

Come anticipato all’inizio del paragrafo il costo del gas naturale è stato modellato costante (tariffa flat). In pratica, il consumo di gas naturale di determinato periodo viene moltiplicato per un valore tariffario costante nel trimestre ed espresso in €/m3.

3.2.2 Evoluzione del simulatore di edificio: Integrazione di sistemi di generazione distribuita e storage

Nell’evoluzione del progetto verso la valutazione di scenari di demand response, un ruolo sempre più importante verrà ricoperto dalla flessibilità del consumatore finale (edificio) nel modificare la propria curva di domanda energetica. Per questo motivo il simulatore di edificio verrà arricchito di moduli volti alla simulazione di sistemi di micro- (co-)generazione distribuita e storage che possono contribuire a rendere flessibile la domanda di energia a parità di servizio (e quindi confort) richiesto.

Modello microturbina a gas ad uso cogenerativo

Nel simulatore di edifici è stato implementato il modello di una microturbina (MGT) cogenerativa da 100 kWe e 155 kWt. Il modello si basa su una MGT Turbec T-100-CHP che è stata ampiamente studiata dal gruppo di ricerca di sistemi energetici dell’Università Politecnica delle Marche. Il modello sviluppato è di tipo black-box. Di seguito alcuni risultati:

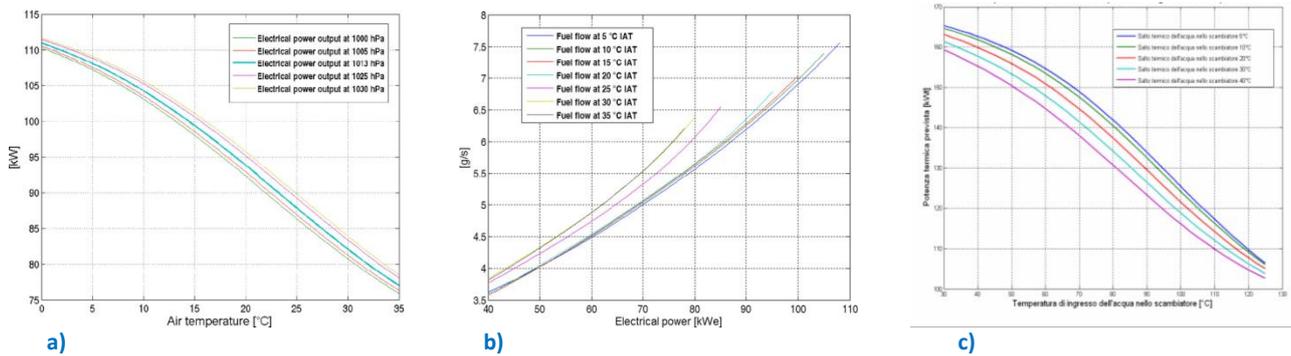


Figura 116 Risultati del modello di reti neurali: Potenza elettrica vs. Temperatura (a); consumo combustibile vs. Potenza elettrica (b); Potenza termica vs. Temperatura ingresso scambiatore a recupero (c)

Performance of the ANN and ANFIS tools applied in this study.

Predicted quantity	Range	MAE	RMSE	MRE (%)	R ²	Predicting tool
Power output	75–110 kW	0.8241 kW	1.0745 kW	0.8646	0.9999	Levenberg–Marquardt ANN
Fuel mass flow	3.5–7.5 g/s	0.0437 g/s	0.0660 g/s	0.9402	0.9998	Bayesian Regularization ANN
NO _x concentration	2–6 ppmv	0.1246 ppmv	0.1678 ppmv	3.42	0.9981	Levenberg–Marquardt ANN
CO concentration	0–425 ppmv	8.2785 ppmv	11.946 ppmv	11.98	0.9962	Sugeno ANFIS

Tabella 5. Prestazioni delle reti neurali

Modello fotovoltaico

Il modello dell’impianto fotovoltaico calcola la produzione oraria dell’impianto fotovoltaico data la posizione geografica, la direzione e l’angolo di montaggio dei pannelli. Si può specificare il profilo di irraggiamento diffuso e diretto nell’anno in caso sia noto. In caso contrario è calcolata la produzione teorica (cielo sereno). La funzione restituisce la produzione fotovoltaica corrispondente al profilo meteo orario ed il capacity factor dell’impianto, dato il valore di potenza di picco dell’impianto.

Modello di storage termico

Sono stati sviluppati diversi modelli di accumulo termico. Un primo modello, molto generico, in cui si considera il fluido all’interno dell’accumulo come completamente miscelato e quindi a T costante all’interno dello storage. Il secondo modello introduce il fenomeno della stratificazione del fluido, ipotizzando una suddivisione in 3 strati in cui si distingue lo strato caldo in cima al serbatoio, lo strato freddo in basso ed uno strato a temperatura intermedia nel mezzo. Il terzo modello, più generico, considera il serbatoio diviso in un numero N di nodi, quindi in un numero N di strati.

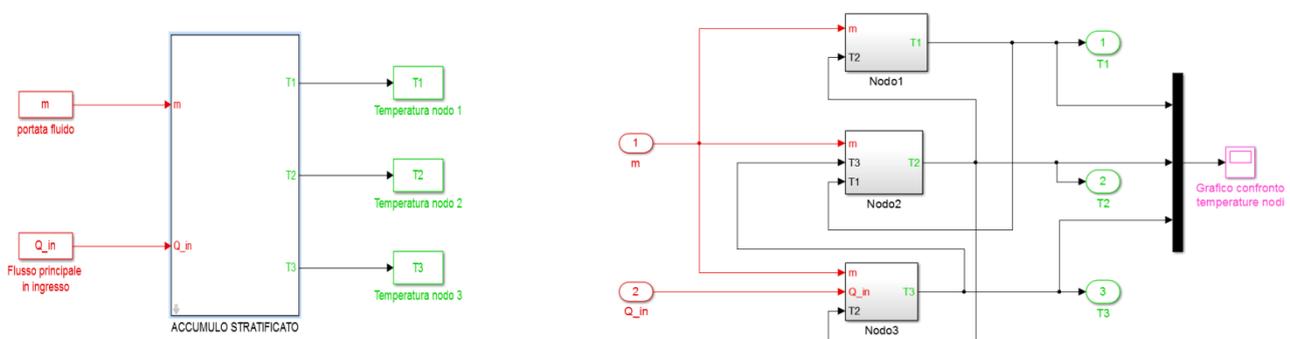


Figura 117 - Modello in Simulink dello storage termico a 3 strati

Il modello Simulink è stato testato per la simulazione di un accumulo termico con le seguenti ipotesi: vasca interrata in cemento armato di dimensioni 12,3x11x3,6 metri; spessore delle pareti di 25cm e al loro interno presentano 16cm di materiale isolante (polistirene espanso); vasca riempita in tutto il suo volume (460 m³) tranne che per gli ultimi 10 cm.

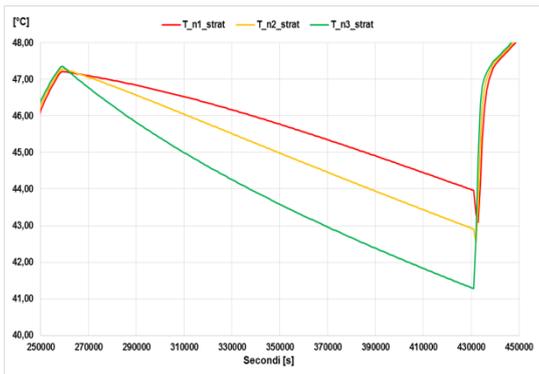


Figura 118 Simulazione delle temperature interne

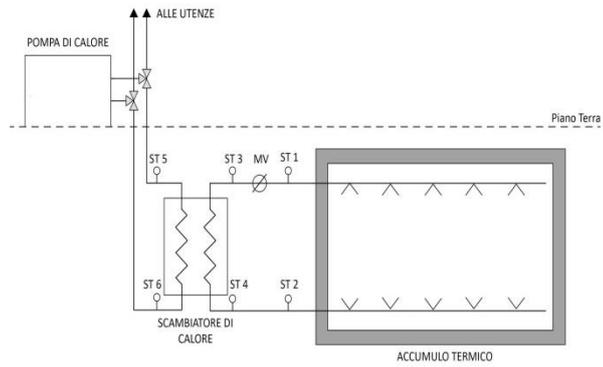


Figura 119- Schema dell'accumulo simulato

Modello di storage elettrico

Lo sviluppo del modello di storage elettrico ha l'obiettivo di ricreare in ambiente Simulink® le equazioni che ne governano il funzionamento teorico per poi poterlo valutare e confrontare con eventuali dati reali una volta disponibili. La strategia di modellazione è stata quella di modellare lo storage elettrico senza dover modellare le reazioni chimiche interne ma considerando come parametri di ingresso quelli in genere disponibili nei datasheet forniti dai produttori.

Nella figura 5 è rappresentato lo schema Simulink per la procedura di calcolo della corrente di carica e scarica: attraverso il comando Switch il modello riconosce la direzione del flusso di potenza, se entrante o uscente dallo storage, e applica il rispettivo rendimento di inverter.

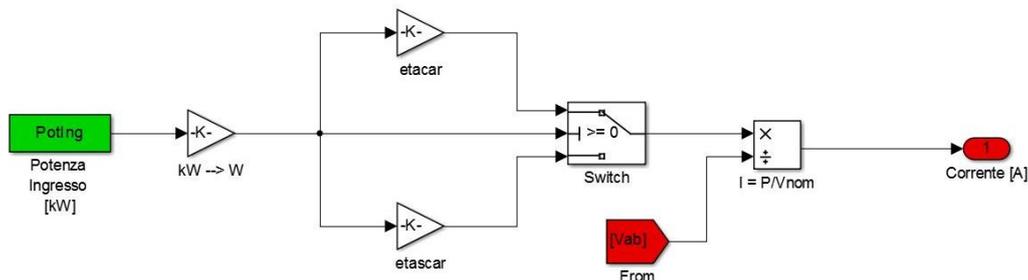


Figura 120 calcolo della corrente di carica/scarica con Vab variabile

Il parametro principale nella caratterizzazione di uno storage elettrico è lo stato di carica (SOC= state of charge): un numero che va da 0 per batteria completamente scarica a 1 per batteria completamente carica. La tipologia del calcolo del SOC utilizzata in questo studio viene definita "Coulomb Counting", poiché come si può vedere dalla formula seguente viene misurata la quantità di carica elettrica che passa in un determinato istante di tempo con una determinata corrente.

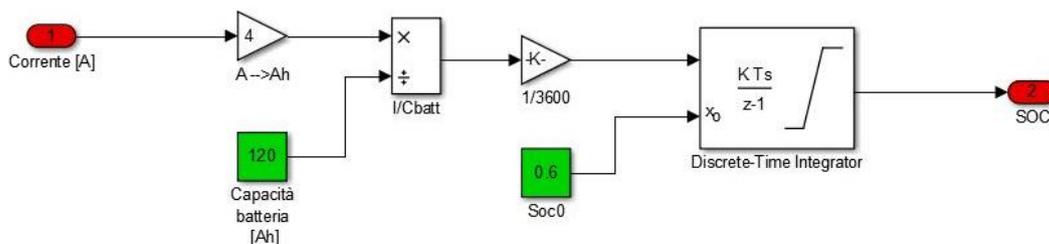


Figura 121 Modello Simulink per il calcolo della stato di carica (SOC)

In Figura 7 è riportato il circuito equivalente finale per lo storage elettrico.

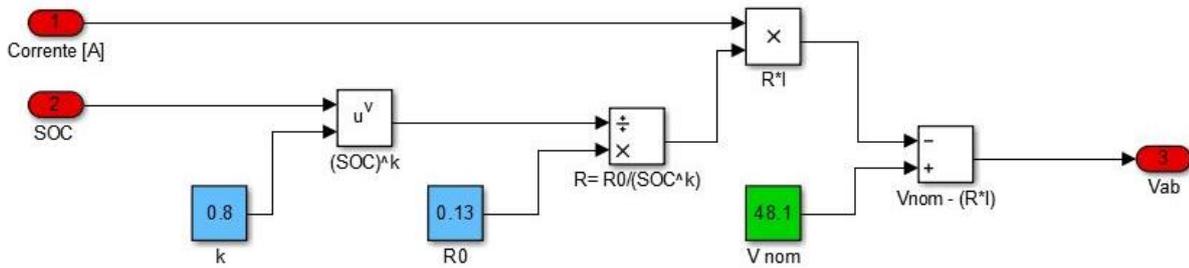


Figura 122 Modello del circuito equivalente

La figura 8 mostra i primi risultati (corrente e SOC) ottenuti dalla simulazione di una settimana di funzionamento di una batteria agli ioni di Litio da 5.8 kWh.

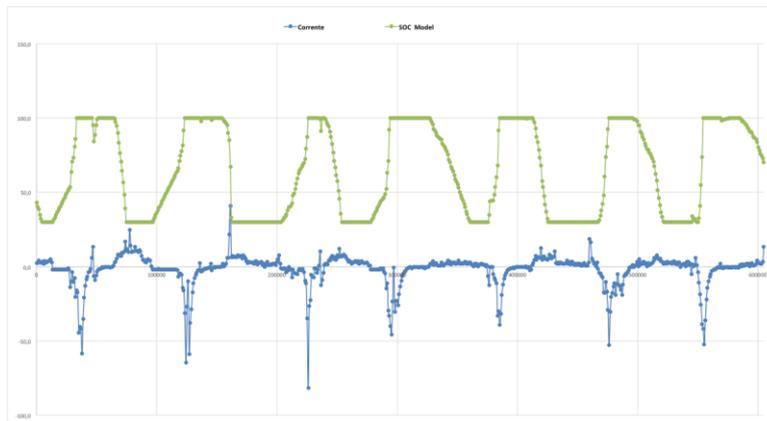
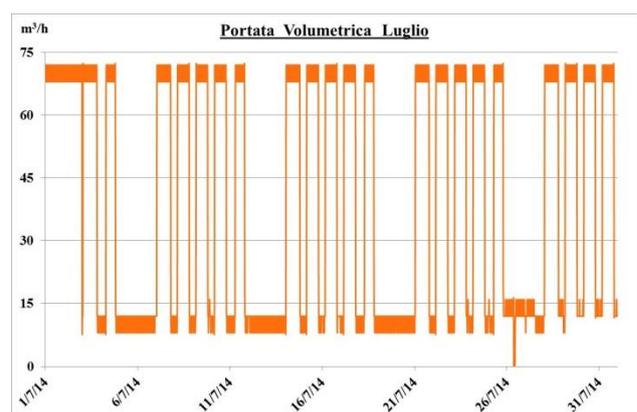
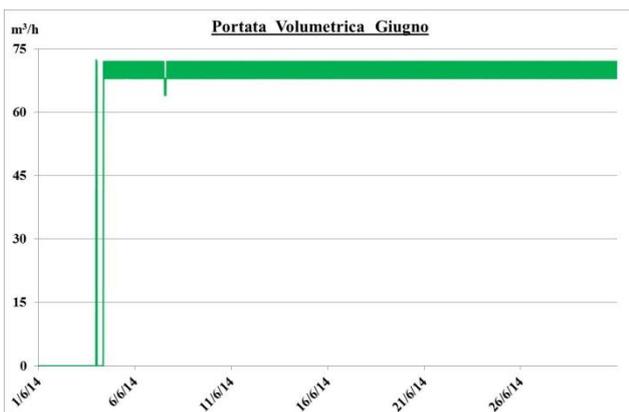


Figura 123 Primi risultati (corrente e SOC) delle simulazioni dello storage elettrico riferiti ad una settimana

3.2.3 Calibrazione del simulatore della rete di edifici a partire dai dati sperimentali

Dati reali: portata



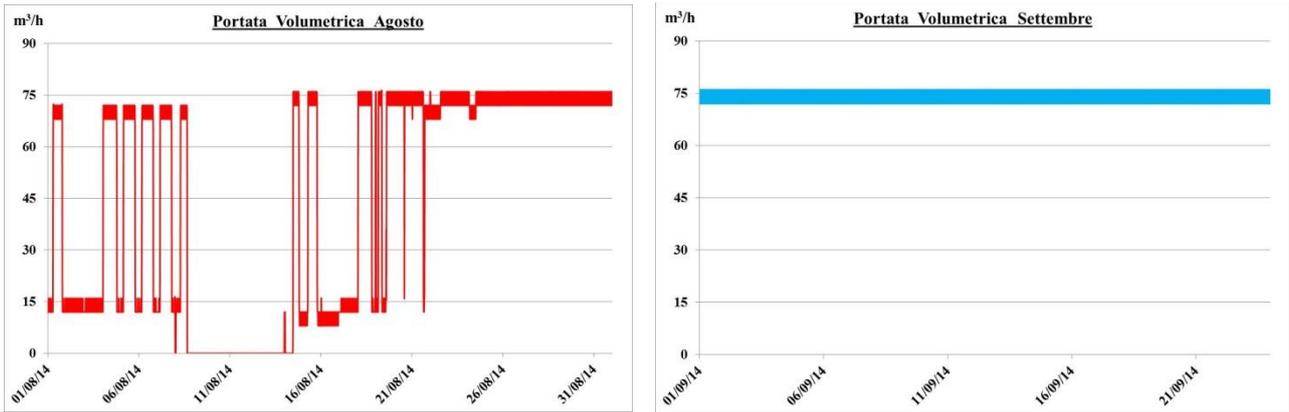


Figura 124 Dati reali di portata rilevati tra giugno e settembre 2014 (centrale termica)

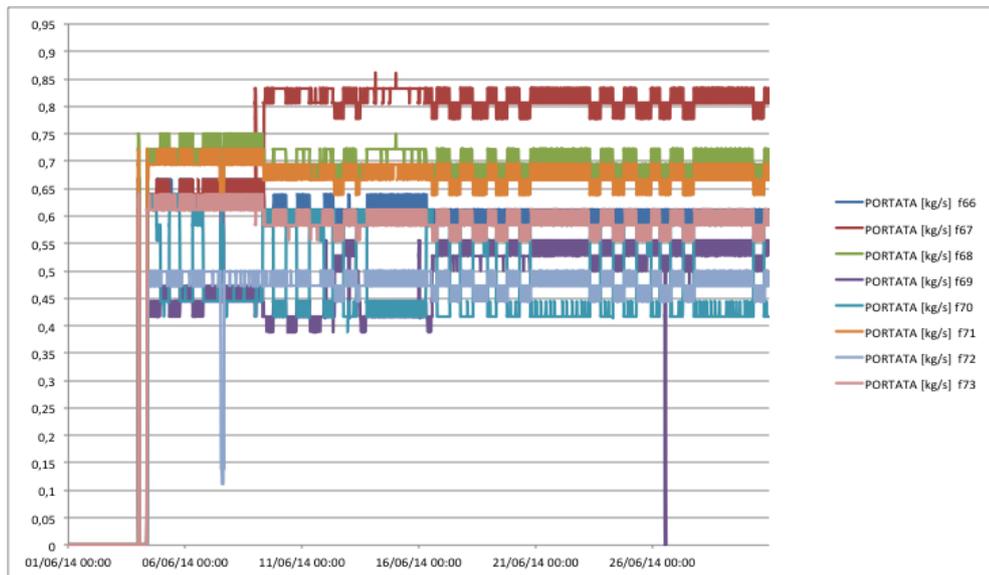
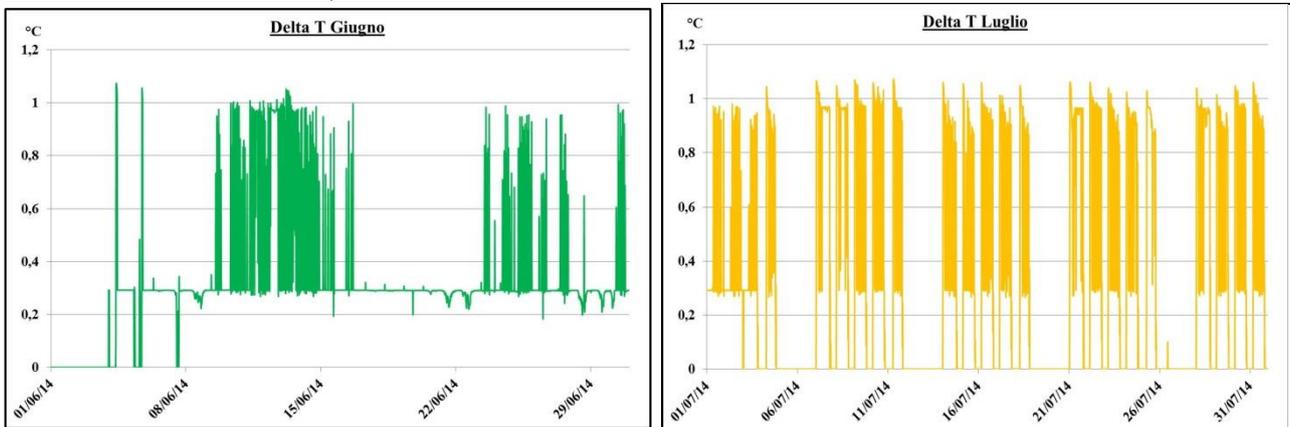


Figura 125 - Dati reali di portata rilevati a giugno 2014 (singoli edifici)

Edificio	F66	F67	F68	F69	F70	F71	F72	F 73
Percentuale portata di ciascun edificio [%]	12.5	16	14.5	10.5	10.5	14	10	12

Dati reali: differenza di temperatura mandata-ritorno



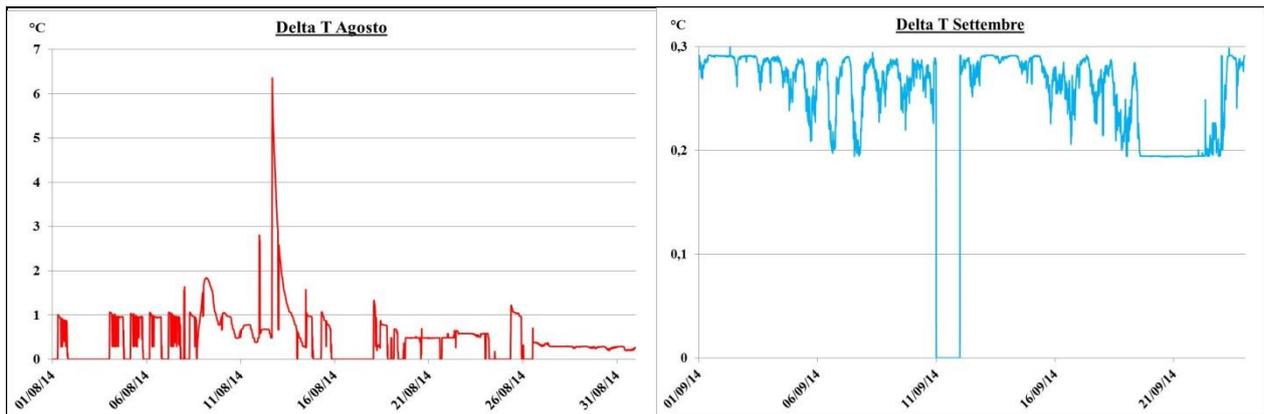


Figura 126 Dati reali di delta T rilevati tra giugno e settembre 2014 (centrale termica)

Dati reali: energia frigorifera

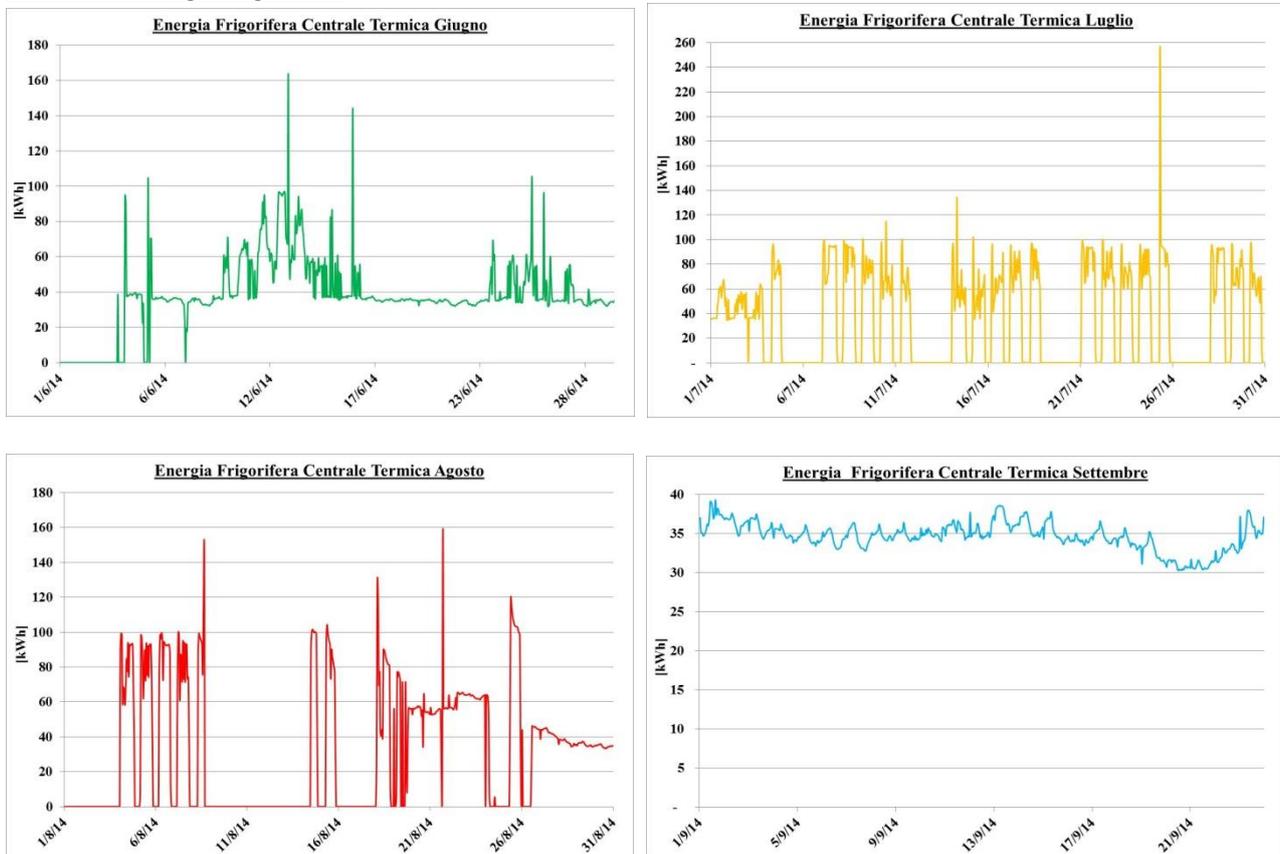


Figura 127 Dati reali di energia frigorifera rilevati tra giugno e settembre 2014 (centrale termica)

Modellazione del cluster di edifici

Ogni edificio del cluster è stato suddiviso in cinque zone microclimatiche accorpando più uffici con le stesse caratteristiche termoigrometriche, zone 1, 3 e 5. Le zone 2 e 4 sono rispettivamente i servizi igienici ed il corridoio, l’F67 è suddiviso in sei zone, in quanto è stata aggiunta una monozona per il piano interrato. Dalla figura sottostante si può vedere la suddivisione delle zone nei vari stabili del cluster.

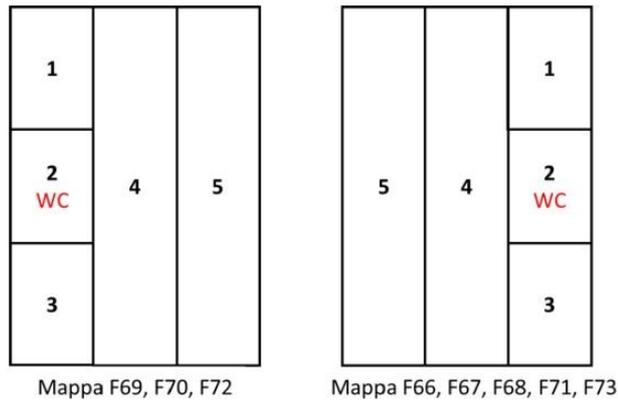


Figura 128 - Suddivisione delle zone degli edifici del cluster

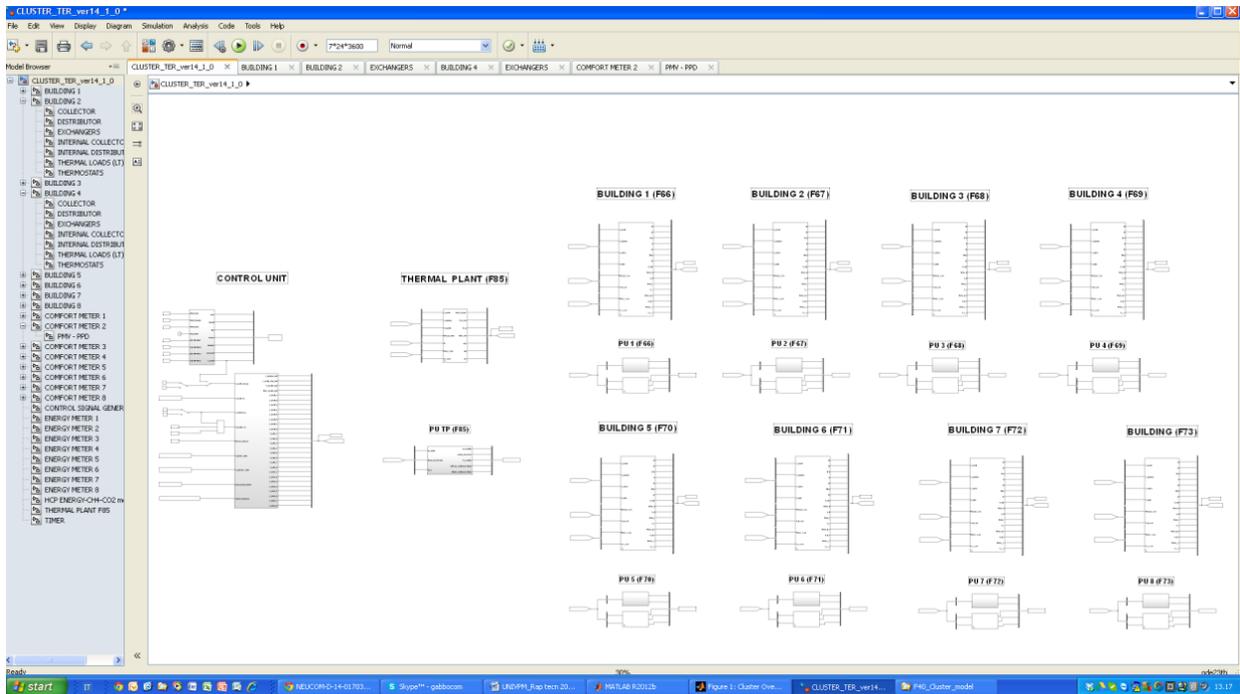


Figura 129 Schermata iniziale in Simulink del simulatore del cluster di edifici

Validazione del cluster di edifici

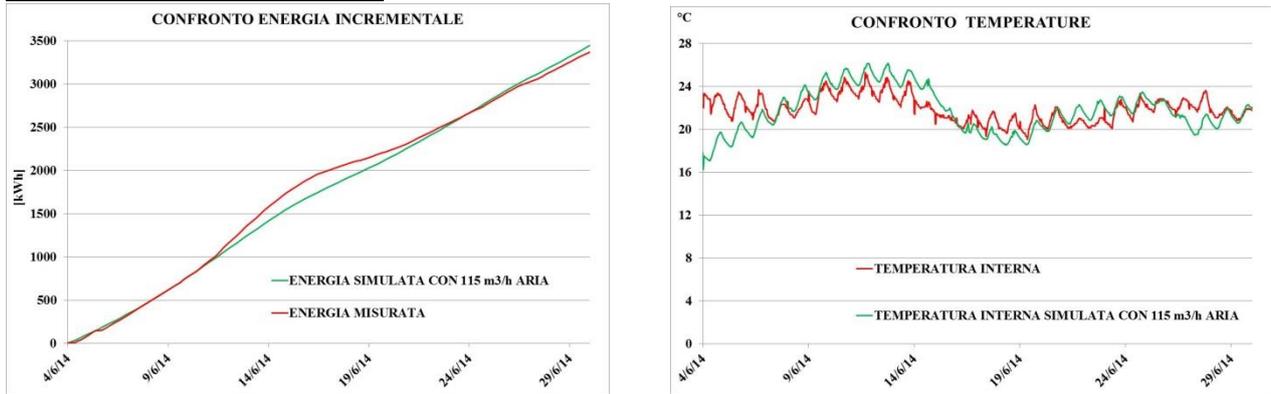


Figura 130- Confronto tra dati misurati e simulati dell'energia incrementale e della temperatura interna dell'edificio F66 nel mese di Giugno 2014

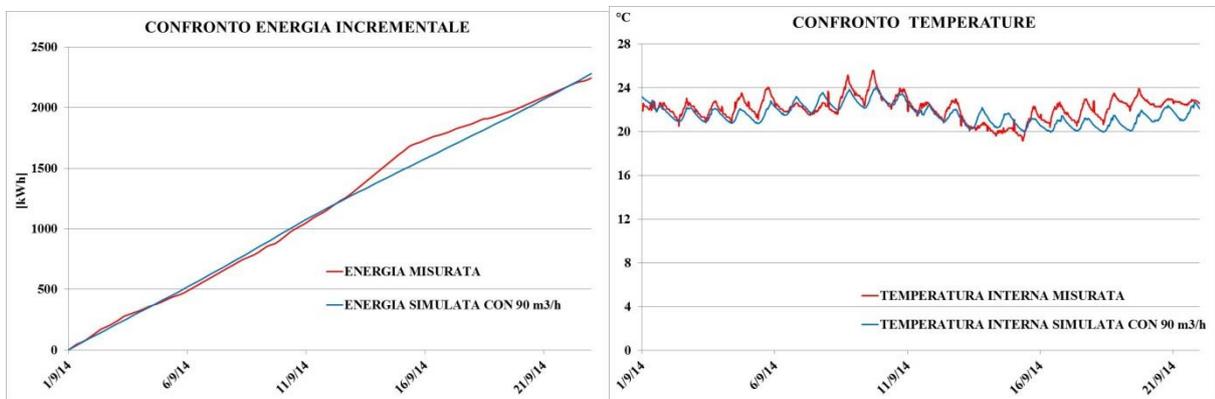


Figura 131 - Confronto tra dati misurati e simulati dell'energia incrementale e della temperatura interna dell'edificio F66 nel mese di Settembre 2014

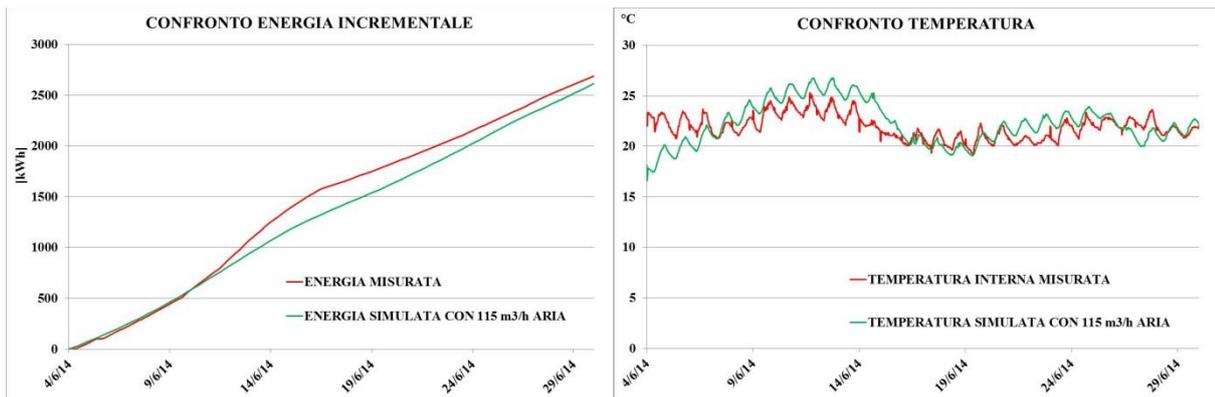


Figura 132- Confronto tra dati misurati e simulati dell'energia incrementale e della temperatura interna dell'edificio F72 nel mese di Giugno 2014

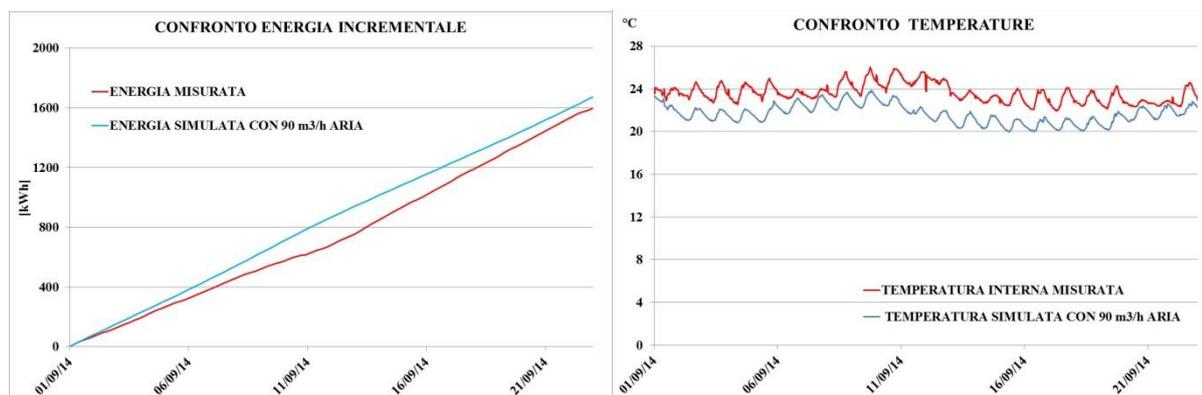


Figura 133- Confronto tra dati misurati e simulati dell'energia incrementale e della temperatura interna dell'edificio F72 nel mese di Settembre 2014

Al pari di quanto svolto nella precedente annualità, il software di simulazione della rete di edifici è stato migliorato in modo tale da poter interagire semplicemente con algoritmi di ottimizzazione e controllo sviluppati esternamente al simulatore. L'integrazione è consistita nel rendere il simulatore 'facilmente' richiamabile dall'ottimizzatore ogni qualvolta quest'ultimo aveva la necessità di valutare una nuova soluzione. Ovvero, ogni volta che l'ottimizzatore dovrà valutare una nuova configurazione di set point questi verranno passati al simulatore il quale restituirà come risultato i valori di consumi e confort.

4 Le tecnologie locali integrate per abilitare le "smart building network" (ENEA)

4.1 Concept progettuale di una 'smart room'

Obiettivo dello studio:

Lo stato dell'arte e della tecnica e le ricerche di mercato mostrano che esistono sistemi completi di controllo proposti da varie case costruttrici. I vari componenti, sensori, attuatori o controllori, pur colloquiando con protocolli standard tra loro e con i relativi sistemi, costituiscono spesso architetture chiuse che non si prestano a possibili integrazioni, modifiche e/o adattamenti a specifiche applicazioni. Questa caratteristica ha indotto a pensare ad un sistema, che utilizzando componentistica commerciale, faccia riferimento a componenti realizzati allo scopo. Ciò consentirà di:

- avere sensori in grado di pre_elaborare i segnali delle grandezze fisiche acquisite estraendo da essi contenuti informativi intrinseci alle evoluzioni e alle dinamiche degli stessi,
- avere la possibilità di correlare varie grandezze fisiche dei vari sensori tra loro ottenendo ulteriori informazioni di "sistema strumentale" che altrimenti sarebbero nascoste,
- studiare un protocollo di regolazione e controllo dei flussi energetici,
- dotare il sistema di intelligenza e di capacità di apprendimento degli stili di fruizione energetica della "Room" con l'obiettivo di aumentare confort e risparmio,
- avere a disposizione un'architettura del sistema versatile per poter supportare sistemi strumentali in prova,
- avere a disposizione una centralina di elaborazione su cui sperimentare protocolli di gestione e controllo,
- avere a disposizione una centralina in grado di acquisire e dimostrare in modo oggettivo i risultati di risparmio e di livello di confort rispetto ad una "Room" omologa su cui non agisce il sistema di regolazione e controllo.

Quindi l'obiettivo è quello della realizzazione di:

- sensori e/o moduli integrati innovativi da brevettare e da ingegnerizzare e proporre al mercato della domotica in collaborazione con produttori di sensori, microelettronica e sistemi di controllo.
- Sistemi di acquisizione, memorizzazione, trattamento e regolazione da implementare su piattaforme standard.

La funzionalità e la capacità di elaborazione elevata facente uso di DSP, Pattern Recognition, Correlazioni e Confronti con tabelle ottimali dei parametri ambientali oggettivi e l'analisi e individuazione di stili di fruizione e di richiesta di servizio saranno alla base del presente lavoro.

Progetto:

Si strumentano con sensori commerciali e associati a schede Arduino che consente oltre che al trattamento dei segnali, l'acquisizione, di due stanze/ufficio omologhe (esposizione, uso occupazione ... ecc...)

Una di esse si dota di sistema di controllo intelligente ed esperto in grado di ottimizzare i consumi energetici e massimizzare il confort utilizzando in input i segnali pretrattati dei sensori e operando sui dispositivi di controllo delle utenze.

Si fa un confronto sulle due stanze per dimostrare i risultati raggiunti ed eventualmente avere indicazioni su dove agire per inseguire l'ottimizzazione e migliorare le prestazioni del sistema.

Target da raggiungere:

Ottimizzazione contemporanea del confort e del consumo energetico con l'obiettivo di azzerare lo spreco energetico e massimizzare il confort.

Messa a punto dei codici di controllo dei parametri definiti come "target"

Ottimizzazione della strumentazione e sviluppo di sensori innovativi con capacità di analisi locale dei dati acquisiti

Verifica dei risparmi ottenuti sia termici che elettrici.

Verifica oggettiva dei profili di confort raggiunti.

Acquisizioni e necessità per l'attività:

Sensori ambientali

Sensori Temperatura grezzi (di cui tre da esterno) da interfacciare ad Arduino

Sensori di Umidità grezzi (di cui tre da esterno) da interfacciare ad Arduino

Luxmetri grezzi e da interfacciare ad Arduino

Sensori di CO₂ grezzi e da interfacciare ad Arduino

Sensori Acustico _ Vibrazionali grezzi e da interfacciare ad Arduino

Anemometri (di cui uno da esterno) grezzi e da interfacciare ad Arduino

Sensori di stato

- Apertura finestre grezzi e da interfacciare ad Arduino
- Apertura Porta grezzi e da interfacciare ad Arduino
- Presenza infrarossi grezzi e da interfacciare ad Arduino

Attuatori di controllo

- Interruttori Fancoil grezzi e da interfacciare ad Arduino
- Interruttore Illuminazione con possibilità di regolazione e da interfacciare ad Arduino
- Interruttori Utenze Postazione lavoro e da interfacciare ad Arduino
- Ambiente Arduino con tutti gli "shield" per la comunicazione, l'interfacciamento e il controllo
- Starter kit di Raspberry Pi 2
- Raspberry Pi 2 completo e con interfaccia per Arduino
- Board Randa Raspberry and Arduino
- Movimentazione tenda
- Regolazione ventilatore
- Ventilatori ambientali

- P.C. da definire su cui implementare il codice di controllo e con cui programmare Arduino

Che cos'è l'intelligenza di gruppo

Come accenneremo più avanti, quello che avviene in un branco di animali ad esempio durante la caccia è dovuto all'intelligenza di gruppo. Di questi esempi se ne possono fare moltissimi, anche le api, le formiche, gli uccelli, i pesci, hanno una intelligenza di gruppo che li porta ad ottenere risultati strabilianti.

Studiare l'etologia e riportare i processi logici e comportamentali di gruppi di animali, nelle realizzazioni umane è sicuramente molto speculativo.

Infatti nel nostro caso riuscire a creare delle reti di sensori e di attuatori in grado di rispondere alle logiche di intelligenza di gruppo, consente di massimizzare le potenzialità consentite dalle reti di sensori ed attuatori.

Vediamo ad esempio il singolo sensore come un elemento di un gruppo. Da solo è in grado di monitorare una grandezza fisica e quindi su questo segnale si potranno stabilire soglie, studiare il trend di crescita o di decrescita e poco altro. Integrare invece i segnali provenienti da una rete di sensori in grado di monitorare più grandezze fisiche, ad esempio umidità, ventilazione, concentrazione di ossigeno o di CO₂, illuminazione, stato acustico - vibrazionale di un ambiente ecc... ci consente, oltre ad avere i relativi trend dei segnali, di operare elaborazioni complesse, di avere altre indicazioni quale ad esempio quella della presenza numerica di persone negli ambienti, il comportamento delle stesse, riuscendo a definire le usanze e gli stili di vita, indicazioni queste fondamentali e importantissime per il controllo ottimale e l'ottimizzazione dell'utilizzo delle risorse energetiche. Il sistema esperto che ne deriverebbe, consentirebbe di ridurre anche il numero e il tipo di sensori senza rinunciare ad avere indicazioni molto precise anche per le grandezze fisiche non direttamente misurate! (Misure indirette)

4.2 *Sperimentazione di sensoristica finalizzata alla gestione attiva della domanda e sviluppo di un 'Energy Box'*

Il controllo e l'automazione della gestione degli edifici richiede sistemi strumentali in grado di svolgere queste funzioni:

- misura delle grandezze elettriche coinvolte nelle forniture di energia alle singole utenze,
- regolazione della temperatura dei radiatori termici,
- attuazione di comandi da piattaforme software di controllo e gestione,
- analisi dei dati a mezzo di codici di controllo e valutazione al fine di ottimizzare i consumi e il confort
- archiviazione dei dati provenienti dai sistemi installati,

Le funzioni descritte precedentemente, sono assicurate dai seguenti componenti del sistema:

- Smart Plug:

componente in grado di misurare l'energia fornita all'utenza ad essa collegata e la possibilità di comandarne l'accensione e lo spegnimento da remoto. La gestione di questo hardware è assicurata da un sistema che si basa su tecnologia radio con protocollo di comunicazione Z-wave. Ciò consente di fare a meno del cablaggio dei cavi di collegamento riducendo i costi di installazione. Per assicurare lunghe tratte di collegamento, le singole smart plug sono programmate per la ripetizione dei segnali ricevuti in modo da formare una rete radio di comunicazione.

- Smart Valve:

al fine di regolare la temperatura all'interno delle singole stanze il sistema prevede una valvola motorizzata di dimensioni ridotte funzionante a batteria in grado di aprire e chiudere il flusso del fluido termovettore nel radiatore termico. Anche questo componente si innesta nel sistema radio precedentemente discusso acquisendo le stesse funzionalità ed operatività.

- Smart Switch:

componente simile alla Smart Plug ma dedicato all'installazione non a parete ma ad esempio in quadri elettrici di smistamento delle linee con possibilità di gestire flussi energetici maggiori.

- Piattaforma di controllo:

ogni componente descritto precedentemente si collega alla relativa piattaforma di supervisione fornendo i propri dati acquisiti e ricevendo le azioni da svolgere. Dalle prove effettuate sul sistema è emerso che le varie soluzioni proposte dal mercato non colloquiano tra loro. Inoltre il software su cui si basano queste piattaforme risulta essere chiuso e quindi non modificabile a piacimento.

La stessa piattaforma provvede alla archiviazione dei dati su un data base che risiede su un server dedicato.

Le prove sperimentali eseguite hanno messo in luce che i sistemi da noi testati non hanno piena compatibilità e un altro elemento importante riguarda l'impossibilità di modellare il software di gestione, controllo e attuazione per sviluppare e implementare i codici messi a punto in ENEA.

Questi risultati ci hanno spinto a sviluppare in collaborazione con Almaviva s.p.a. al fine di consentirci la massima versatilità e modellabilità del software una piattaforma personalizzata che si collega al mondo strumentale con protocolli di comunicazione standard come Z-wave.

L'architettura di questo software prevede degli input e a seguito di valutazioni e analisi produce degli output di controllo e regolazione.

Infatti i sensori di luminosità, quelli di temperatura, di umidità, di ventilazione ecc... e altri input derivanti dall'acquisizione della data, ora, previsioni meteo, latitudine ecc... vengono processati e in base a soglie e definizioni di intervento producono i comandi per attuare le azioni di controllo e regolazione come ad esempio lo spegnimento/accensione dell'illuminazione ambientale, la regolazione del flusso termico la disattivazione di alcune utenze controllate o il ritardo di accensione di altre utenze meno "urgenti" ad orari in cui l'energia costa meno.

4.3 Sviluppo di un'applicazione per il rilevamento della presenza tramite tecnologia mobile

L'obiettivo di questa attività è stato quello di progettare e sviluppare un'applicazione per SmartPhone/Tablet che permettesse al sistema di gestione centrale (Building Energy Management System-BEMS) di capire se in una determinata area o stanza di un edificio fossero presenti delle persone. Va subito detto che tale applicazione non è utilizzata per controllare la presenza o meno del personale all'interno di uffici, infatti uno dei primi requisiti è quello che l'applicazione non deve gestire dati sensibili dell'utente. Essa viene utilizzata solamente per verificare la presenza o meno di persone all'interno di un'area specifica al fine di ottimizzare la richiesta di risorse energetiche (riscaldamento, aria condizionata, illuminazione etc.).

4.3.1 Requisiti e specifiche

L'obiettivo dell'applicazione è quindi quello di monitorare la presenza di un utente all'interno di un edificio e all'interno di un locale o ufficio che si trova nell'edificio stesso. L'utente dell'applicazione può quindi trovarsi in uno dei seguenti stati:

Al di fuori dell'edificio.

In un'area all'interno dell'edificio, ma non nel suo ufficio.

All'interno dell'edificio, nel suo ufficio.

Quando l'applicazione rileva un cambiamento di stato deve inviare l'informazione ad un sistema centrale appositamente realizzato per gestire questa informazione.

L'applicazione deve poter funzionare in background e deve poter essere avviata in automatico quando il dispositivo viene riaccessato e/o riavviato.

L'utente non deve inserire nell'applicazione dati personali per cui le informazioni che vengono inviate al sistema centrale non contengono dati sensibili dell'utente come il nome o la matricola. Il sistema deve sapere se in un certo locale dell'edificio sono presenti una o più persone ma non deve conoscere l'identità di queste persone né altre informazioni che possano far risalire all'identità di queste persone.

L'applicazione deve essere sviluppata sia per i dispositivi che supportano iOS (iPhone, iPad, iPod Touch) che per i dispositivi che supportano Android.

Come già detto l'applicazione deve interfacciarsi con il sistema centrale. In questa prima fase, soprattutto nella fase di test dell'applicazione, si è deciso di sviluppare un altro sistema server con funzionalità minime per verificare il corretto funzionamento dell'applicazione. In seguito si effettueranno le opportune modifiche per interfacciare l'applicazione con il sistema server esistente.

4.3.2 Progettazione dell'applicazione

I primi mesi dell'attività sono stati spesi per decidere la migliore tecnologia da utilizzare per il rilevamento. Come prima tecnologia si è pensato di utilizzare il GPS di cui ogni SmartPhone è dotato. Si è quindi sviluppata una prima applicazione a livello prototipale che utilizzasse questa tecnologia. Si è però subito constatato che tale tecnologia non è adatta nei luoghi chiusi perché i segnali del GPS sono molto deboli e non consentono di capire con una certa precisione se all'interno di un locale o edificio sia presente o meno una persona. Inoltre tale tecnologia pone dei problemi di privacy perché il GPS funziona anche al di fuori degli uffici o edifici per cui l'utente deve continuamente interagire con l'applicazione per ricordarsi di attivare o disattivare il GPS. Un ultimo punto a svantaggio di questa tecnologia è quello legato ai consumi della batteria del dispositivo dove l'applicazione è installata. È infatti noto che un'applicazione che utilizza il GPS consuma una notevole quantità di energia.

Un'altra possibilità è quella data dal rilevamento del segnale wifi, infatti ogni sorgente wifi ha un identificativo univoco e in un edificio ci sono diverse sorgenti di questo tipo. Il problema è che in questo modo si può capire se l'utente è all'interno di un edificio ma non si riesce a capire se l'utente si trova o meno all'interno di un locale specifico. Inoltre i segnali wifi potrebbero sovrapporsi con altri per cui l'esatta localizzazione dell'utente è molto difficile se non impossibile.

La tecnologia più promettente per risolvere il problema dell'esatta localizzazione di un utente sembra essere quella basata sullo standard iBeacon di proprietà Apple.

Un beacon è un piccolo dispositivo che emette dei segnali bluetooth a bassa energia che possono essere intercettati da uno smartphone/tablet, in generale da un dispositivo mobile che supporti questa tecnologia. Per poter intercettare ed elaborare il segnale emesso dal beacon sul dispositivo mobile deve essere installata un'applicazione appositamente sviluppata.

Rispetto ai vecchi dispositivi bluetooth, un beacon non richiede la sincronizzazione manuale dei due dispositivi ma è in grado di essere intercettato direttamente dal dispositivo. Non serve altro che l'utente abiliti il Bluetooth.

Questi dispositivi sono molto semplici, poco costosi e non richiedono alcuna installazione. Elaborando la potenza del segnale captato, si è in grado di calcolare la prossimità tra il dispositivo e il beacon evidenziando tre valori: lontano, vicino e nelle dirette vicinanze (oltre all'ingresso/uscita da una regione) Tale tecnologia risolve sicuramente i problemi della localizzazione nei luoghi chiusi, i problemi legati al consumo di energia e i problemi di privacy. In sostanza possiamo schematizzare come segue la sequenza di azioni necessarie a fornire il supporto per la localizzazione degli utenti:

Nell'ufficio del dipendente deve essere presente un beacon che emette il segnale bluetooth. Il segnale bluetooth emesso dal beacon contiene alcune informazioni come l'identificativo del beacon che è univoco. Per cui ogni locale o ufficio che si vuole monitorare deve avere il suo beacon.

Nel dispositivo del dipendente deve essere installata l'applicazione relativa. È evidente che l'applicazione deve prevedere una fase iniziale di configurazione nella quale viene associato il numero di stanza all'identificativo del beacon della stanza. Si potrebbe pensare di inserire manualmente l'identificativo del beacon ma questa procedura potrebbe generare dei problemi. Infatti l'identificativo del beacon è una stringa di caratteri alfanumerici molto lunga ed un solo carattere sbagliato comprometterebbe il funzionamento dell'applicazione. È stata quindi prevista una procedura automatica per reperire l'identificativo del beacon. In questo caso l'utente deve solamente inserire il numero di stanza in cui risiede.

Ogni qual volta il dipendente entra o esce dall'ufficio (considerando che usualmente porta con se il suo dispositivo) l'applicazione installata rileva la presenza o l'assenza del segnale bluetooth del beacon.

Ogni qual volta l'applicazione sul dispositivo rileva un cambiamento del segnale bluetooth emesso dal beacon, invia un messaggio al sistema centrale, tipicamente un sistema server segnalando la presenza o l'assenza nell'ufficio del dipendente, il tutto in forma anonima: come abbiamo già detto non è necessario conoscere l'identità delle persone che escono ed entrano dai loro uffici, bensì il loro numero.

Il server, a sua volta, gestisce tutte le informazioni provenienti da tutti i dispositivi dei dipendenti e decide le politiche da attuare in fatto di domanda di servizi.

4.3.3 Tecnologie

In questa sezione verranno descritte le tecnologie utilizzate per il funzionamento dell'applicazione. Poiché, come già detto, sono stati impiegati alcuni mesi per testare la validità della tecnologia GPS, verrà descritta anche quest'ultima per completezza.

iBeacon

La tecnologia iBeacon usa il Bluetooth Low Energy per trasmettere un identificatore che viene ricevuto da una applicazione o un sistema operativo compatibile. L'identificatore può essere usato per determinare la posizione fisica del dispositivo o scatenare un'azione collegata alla posizione.

Lo standard iBeacon è stato presentato da Apple al WWDC 2013 (Worldwide Developers Conference) come parte di iOS7. Esistono diversi costruttori di hardware che rispettano le specifiche iBeacon: fra i più importanti citiamo Estimote e Kontakt.



Figura 134 - Struttura fisica di un beacon Estimote

Gli oggetti beacon sono grandi circa come una moneta da due euro, non hanno necessità di essere installati e hanno una batteria da orologio che ne può promuovere la durata da un mese a due anni, a seconda della frequenza di advertising dell'oggetto. Una durata così lunga è garantita dall'utilizzo della tecnologia Bluetooth Low Energy. La comunicazione fra un beacon e l'applicazione è unilaterale: il beacon può inviare segnali broadcast che l'applicazione può captare, ma l'applicazione non può comunicare direttamente col beacon.

La struttura di un pacchetto di advertising di un beacon è la seguente:

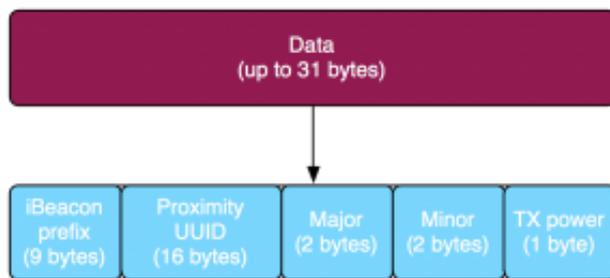


Figura 135-Struttura di un pacchetto di advertising di un beacon

Ogni beacon si identifica con un ID principale noto come UUID (128 bit), a cui seguono due ID opzionali: Major e Minor (16 bit l'uno).

All'interno di un'applicazione è possibile scegliere di monitorare solamente i beacon che rispettano un certo tipo di UUID.

Ogni beacon ha un suo firmware, che ne regola le caratteristiche e ne determina la durata. Le caratteristiche regolabili sono:

Potenza di trasmissione (tx power): i dispositivi trasmettono il segnale con una potenza di base conosciuta come tx. Mentre il segnale viaggia, la sua potenza diminuisce con l'aumentare della distanza. Un tx più alto significa un maggiore raggio di azione del segnale ma una minore durata della batteria, al contrario un tx basso garantisce una vita della batteria più lunga ma un raggio di azione inferiore.

Intervallo di advertising: E' la frequenza con cui un beacon trasmette segnale. Un intervallo di 100 ms implica che il segnale viene trasmesso ad una frequenza di 10 volte al secondo, mentre un intervallo più lungo, ad esempio 500 ms, implica che il segnale verrà trasmesso solo due volte al secondo, preservando maggiormente la batteria, ma facendo diminuire anche la prontezza delle risposte dell'applicazione. Non esiste una scelta ottimale per tutte le situazioni, a seconda del contesto sarà opportuno regolare di conseguenza questo intervallo.

La specifica ufficiale Apple indica 100 ms come l'intervallo da utilizzare, ma la maggior parte dei costruttori e degli utenti lo setta ad un valore più alto, in modo da migliorare la durata senza inficiare troppo l'esperienza dell'utente dell'applicazione.

Per configurare i parametri del beacon, ogni casa produttrice ha un metodo: alcuni, come Estimote e Kontakt hanno sviluppato delle applicazioni mobile apposite, altri, come Minew, propongono un client GATT: il vantaggio principale di supportare quest'ultima soluzione è che è possibile configurare anche molti beacon insieme.

Il punto di forza fondamentale dei beacon è di riuscire ad attuare la microlocazione senza ricorrere a satelliti e altre tecnologie, il che è perfetto per ambienti indoor. La microlocazione ha diversi scopi, dall'orientamento all'interno di un edificio a motivi commerciali. Per attuare la microlocazione si ha bisogno del concetto di distanza: il metodo più diffuso per calcolare in real time la distanza da un beacon è calcolare il rapporto fra il tx power e il measured power. Il measured power è la potenza del segnale del beacon che si sta ricevendo in quell'istante, mentre il tx power è un valore definito del beacon, configurabile e comunicato attraverso il pacchetto di advertising.

Le applicazioni principali fino a questo momento per questa tecnologia sono state in ambito commerciale e di gestione di eventi.

Es1) Un negoziante può posizionare uno o più beacon all'interno della propria attività commerciale per far sapere ad un cliente che abbia l'apposita applicazione che è presente uno sconto speciale per un certo

articolo, oppure che è presente un nuovo prodotto nel reparto surgelati. Il tutto avverrebbe in maniera automatica all'avvicinamento del cliente ad un certo settore del negozio o al negozio stesso.

Es2) Un museo può impiegare i beacon per mostrare all'utente una descrizione dell'opera d'arte che ha di fronte semplicemente trovandosi a pochi metri di distanza da essa.

Es3) In uno stadio si possono impiegare i beacon per aiutare gli spettatori a trovare il proprio posto.

Es4) In un aeroporto di San Francisco si utilizzano i beacon per far arrivare i non vedenti a destinazione.

Un altro punto di forza della tecnologia è che, con le dovute librerie, si può integrare facilmente ad applicazioni già esistenti.

Non è possibile affidare un payload al pacchetto di advertising trasmesso dal beacon: la logica applicativa si trova tutta nella applicazione. L'applicazione è incaricata di individuare l'ID del beacon che ha rilevato, chiedere a un server o interrogare una propria base di dati riguardo l'identità di quel beacon e attivare l'operazione collegata a quel beacon.

Questo aspetto costringe in qualche modo ad avere una applicazione diversa per ogni tipo di servizio legato ai beacon: è prevedibile che in un futuro i beacon, o un tecnologia simile, riescano a inviare dei dati propri, in modo tale da poter avere installata una sola applicazione che sia compatibile con tutti i tipi di beacon.

Gli ostacoli principali ad una adozione su larga scala dei beacon sono:

Operazioni richieste all'utente: avere lo smartphone con sé e acceso, con l'applicazione attiva, con il bluetooth attivo e con ogni probabilità una connessione ad internet per comunicare col server dedicato.

Molti consumatori ancora oggi temono di essere "tracciati". I rivenditori possono essere spaventati dai dati "rubati" dai beacon, anche se in realtà i beacon passano solo informazioni, non registrano nulla.

Inoltre è presente il problema di dover procurarsi i beacon, configurarli correttamente e fornire gli utenti di un'applicazione adeguata: questi compiti non sono di competenza di un commerciante, che si dovrà affidare con ogni probabilità ad aziende e servizi esterni che gli procurino il materiale necessario.

Bluetooth Low Energy (BLE)

Bluetooth low energy (Bluetooth LE, BLE, Bluetooth Smart) è una tecnologia di trasmissione radio progettata dal Bluetooth Special Interest Group ed è mirata ad applicazioni nel campo della salute, del fitness, dei beacon, della sicurezza e dell'intrattenimento domestico.

In confronto al Bluetooth Classico, Bluetooth Smart fornisce un **consumo di energia ridotto** a pari raggio di azione.

Bluetooth Smart fu originariamente introdotto col nome di Wibree dalla Nokia nel 2006. È stato inserito nello standard Bluetooth originale nel 2010 con l'adozione delle Bluetooth Core Specification Version 4.0.

I più moderni sistemi operativi, sia mobile che desktop, adottano nativamente questo standard. Il Bluetooth SIG predice che per il 2018 più del 90 per cento degli smartphone supporteranno il Bluetooth Smart.

Il Bluetooth Smart usa la stessa frequenza radio (2.4 GHz) del Bluetooth Classico, che permette a dispositivi dual-mode di condividere la stessa antenna.

Ha 40 canali da 2 MHz , bit rate di 1 Mbit/s e la massima potenza di trasmissione è di 10 mW. In confronto al vecchio standard Bluetooth, ha un tempo minimo per inviare dati di 3 ms invece di 100 ms, tempo di latenza di 6 ms invece che di 100 ms e il picco di consumo di corrente si ha a 15 mA invece che 30 mA.

La comunicazione BLE consiste in due parti principali: **advertising e connecting**.

L’advertising è un meccanismo di scoperta di dispositivi vicini unilaterale. I dispositivi che vogliono essere scoperti possono trasmettere pacchetti di dati in intervalli da 20 ms a 10 s. Più è corto l’intervallo, più è corta la vita della batteria, ma il dispositivo può essere individuato più velocemente. I pacchetti possono essere lunghi fino a 47 byte e consistono di:

- 1 byte di preambolo
- 4 byte indirizzo di accesso
- 2-39 bytes advertising channel PDU

3 bytes CRC

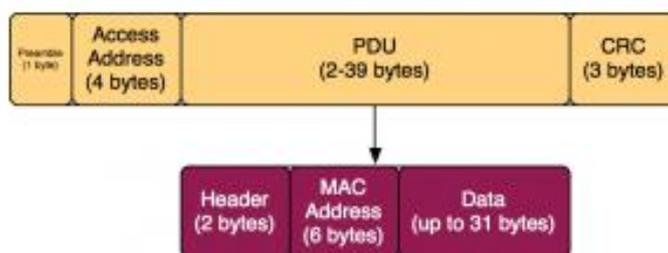


Figura 136 - Struttura di un generico pacchetto Bluetooth Smart

Per i canali di advertisement, l’indirizzo di accesso è sempre 0x8E89BED6. Per i canali di dati, è sempre diverso.

Il PDU ha il suo header (2 byte: dimensione del payload e suo header – informazioni aggiuntive, come se il dispositivo supporta connessioni ecc.) e il vero e proprio payload (fino a 37 byte).

Infine, i primi 6 byte del payload rappresentano il MAC address del dispositivo, e l’informazione vera e propria del payload può essere lunga fino a 31 byte.

I dispositivi BLE possono operare in una modalità di solo advertising e non connettibile (dove tutte le informazioni sono contenute nell’advertisement), ma possono anche permettere connessioni (e di solito lo fanno).

Dopo che un dispositivo viene scoperto, la connessione può essere stabilita. A questo punto è possibile leggere i servizi che offre un certo dispositivo BLE, e per ogni servizio le sue caratteristiche. Ogni caratteristica offre certi valori, i quali possono essere letti, scritti o entrambe e cose. Per esempio un termostato smart può offrire un servizio per leggere la temperatura/umidità corrente (come caratteristica del servizio) e un altro servizio e altre caratteristiche per settare la temperatura desiderata. Tuttavia, I beacon non usano connessioni, si appoggiano unicamente sulla modalità di solo advertising di cui si è parlato poco fa.

GPS

Il GPS (Geo Positioning System) è una tecnologia molto impiegata per la rilevazione della posizione a livello planetario tramite **coordinate geografiche** attraverso una **rete di satelliti** in orbita attorno alla Terra ,

soprattutto in ambito mobile. La tecnologia nacque e fu prevalentemente utilizzata in ambito militare, finché nel 1956 divenne disponibile anche al pubblico. Da allora è stata utilizzata in numerose applicazioni, dagli smartphone ai navigatori satellitari, dalle rilevazioni topografiche alla sincronizzazione degli orologi terrestri.

Il principio di funzionamento si basa su un metodo di posizionamento sferico (**trilaterazione**), che parte dalla misura del tempo impiegato da un segnale radio http://it.wikipedia.org/wiki/Segnale_radio a percorrere la distanza satellite-ricevitore.

Poiché il ricevitore non conosce quando è stato trasmesso il segnale dal satellite, per il calcolo della differenza dei tempi il segnale inviato dal satellite è di tipo orario, grazie presente sul satellite: il ricevitore calcola l'esatta distanza di propagazione dal satellite a partire dalla differenza (dell'ordine dei microsecondi) tra l'orario pervenuto e quello del proprio orologio sincronizzato con quello a bordo del satellite, tenendo conto della velocità di propagazione del segnale.

Ciascun satellite emette su due canali: L1, l'unico disponibile al servizio SPS (per uso civile), e L2 per l'uso esclusivo per il servizio PPS (uso militare). Le frequenze portanti sono di 1575,42 MHz e di 1227,6 MHz rispettivamente, derivate da un unico oscillatore ad alta stabilità di clock pari a 10,23MHz che viene moltiplicato per 154 e 120 per ottenere la frequenza delle due portanti.

Lo scopo della doppia frequenza è quello di eliminare l'errore dovuto alla rifrazione atmosferica. Su queste frequenze portanti, modulate in fase, viene modulato il messaggio di navigazione che ha una velocità di trasmissione pari a 50 bit per secondo con una modulazione numerica di tipo binario.

La funzione del ricevitore di bordo è prima di tutto quella di identificare il satellite attraverso la banca dati di codici che quest'ultimo ha in suo possesso; infatti ogni satellite ha un codice e il ricevitore lo identifica grazie a quest'ultimo. L'altra funzione importante del ricevitore è quella di calcolare il *delta t*, ovvero il tempo impiegato dal segnale per arrivare dal satellite al ricevitore. Esso viene ricavato dalla misura dello slittamento necessario ad adattare la sequenza dei bit ricevuta dal satellite a quella identica replicata dal ricevitore di bordo.

4.3.4 Architettura del Sistema

La figura 4 illustra l'architettura del Sistema completo. Come già detto, per quanto riguarda la parte server, al momento non viene utilizzato il sistema esistente. Si è preferito sviluppare un secondo sistema server con funzionalità minime per il test dell'applicazione. Dopo la fase di test verrà utilizzato il sistema server esistente che dovrà comunque essere integrato per soddisfare le necessità dell'applicazione.

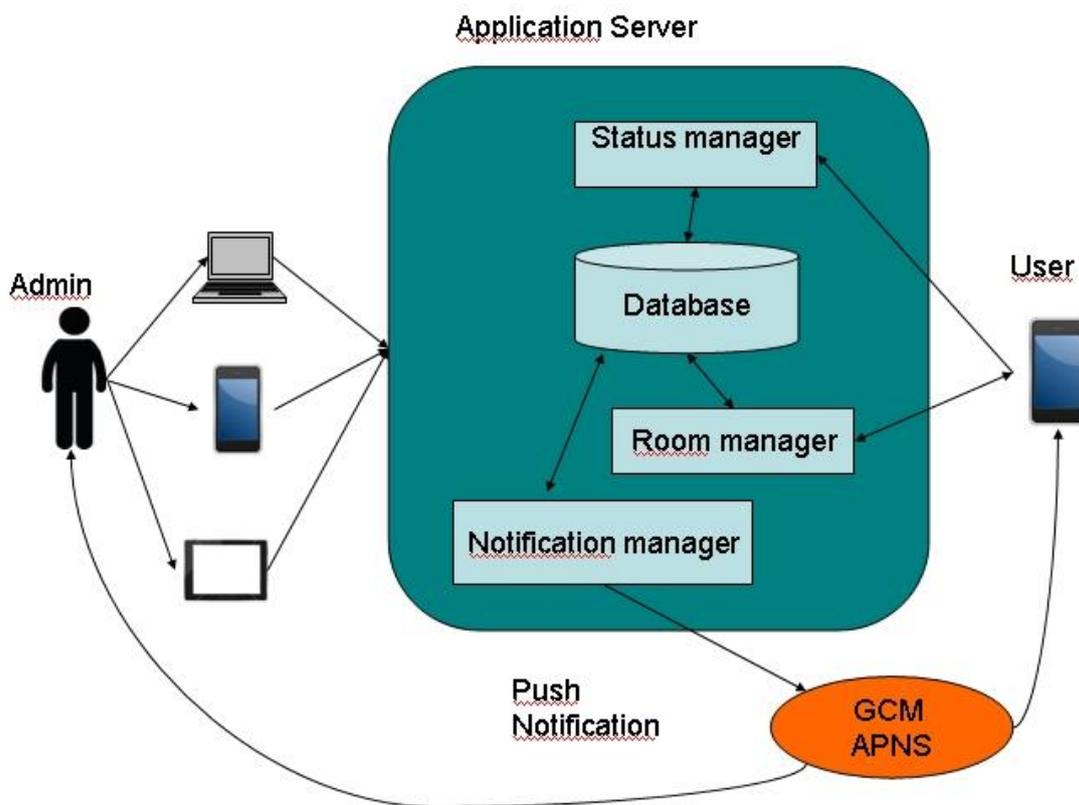


Figura 137 - Architettura del Sistema

Lo schema mostra che il sistema completo può essere suddiviso in tre parti logiche:

L'utente dell'applicazione, rappresentato dallo SmartPhone a destra. A seconda degli spostamenti dell'utente vengono inviate le informazioni al Server.

La parte server, costituita da un Application Server. Nell'Application Server sono installati diversi moduli ognuno dei quali svolge un ruolo ben preciso.

L'amministratore del Sistema, a sinistra, che può accedere al Sistema Server mediante diversi Client (Browser, Applicazione Desktop dedicata, SmartPhone, Tablet etc). A tal proposito sono stati implementati dei prototipi di Client su SmartPhone/Tablet sia per dispositivi iOS che per dispositivi Android.

Le informazioni contenute nel database dell'Application Server, organizzate, controllate e gestite dall'Amministratore del Sistema sono principalmente di due tipi: Stanza-BeaconId e Stanza-StatoUtente. La prima serve a specificare, per ogni stanza, quale sia il suo beacon di riferimento, identificato appunto tramite l'id. La seconda serve ad indicare, per ogni stanza, quante persone sono al suo interno in un determinato istante e a raccogliere informazioni sui movimenti dei dipendenti in quella stanza.

Entrambe queste informazioni vengono registrate in un database, dal momento che devono essere costantemente tenute in memoria, anche in caso di spegnimento della macchina, inoltre si deve poter accedere a tutti gli stati di una stanza in un arco di tempo (es. mensile) dal momento che questi dati sono di utilità per il BEMS(Building Energy Management System), lo strumento software che rientra nel contesto più ampio dello Smart Building Network.

Lo Status Manager e il Room Manager sono due moduli che entrano in gioco nella comunicazione fra il server e il client utilizzato dall'utente.

Il Room Manager riceve le richieste da parte dell'utente riguardanti le stanze in fase di configurazione, ha il compito di affidare all'utente l'identificativo del beacon di quella stanza, un indicatore presente nella

tabella delle stanze del DB per indicare che un “posto” all’interno della stanza è stato occupato; questo tid viene assegnato al singolo utente quando fa richiesta del beacon della propria stanza e viene rilasciato solo quando lo stesso utente decide di rilasciare l’id. In questo modo si evita che un numero anomalo di persone richiedano l’ID del beacon di una stanza. In ogni caso, attraverso i client da amministratore, è possibile configurare questi valori.

Lo Status Manager comunica con il client in maniera unidirezionale: infatti il client comunica, appena essa varia, la situazione dell’utente e lo Status Manager si occupa di registrarla opportunamente nel database, ma non restituisce alcun risultato al client, in modo da non occupare in modo superfluo la rete del client e non dare un carico di lavoro ulteriore al server.

Nella figura 4 si nota anche un componente al di fuori dell’Application Server denominato GCM/APN (*Google Cloud messaging/Apple Push Notification*). Questo componente sta ad indicare che il Sistema può inviare delle notifiche push sia all’utente che all’amministratore del sistema. L’invio di queste notifiche push verso gli utenti finali potrebbero essere decise anche dall’amministratore del sistema.

Le notifiche push sono dei messaggi asincroni che un dispositivo mobile può ricevere e sono relativi ad una specifica applicazione. L’applicazione Smart Building è abilitata a ricevere notifiche push. Inoltre anche l’applicazione su dispositivo mobile per la gestione del sistema utilizzata dall’amministratore è abilitata a ricevere le notifiche push. Le sigle GCM e APN sono relative ai due sistemi utilizzati da Android ed Apple per gestire le notifiche push. Il componente relativo è stato disegnato al di fuori dell’Application Server perché, per funzionare, il sistema di notifiche push ha bisogno di interfacciarsi con i sistemi Android e/o Apple.

Un esempio di notifica push potrebbe essere quella che il sistema avvisa un utente che è assente dalla sua stanza oltre un certo tempo per cui potrebbero essere disabilitati alcuni servizi come il riscaldamento o l’illuminazione.

Un altro compito dello Status Manager è quello di controllare, in maniera asincrona, lo stato delle stanze e dei locali gestiti. Per fare un esempio se una stanza risulta essere vuota da più di un certo tempo potrebbe notificare all’utente di questa stanza il fatto che potrebbero essere disabilitati alcuni servizi.

4.3.5 Test e Funzionamento

Per testare l’applicazione si è fatto ricorso a tre approcci differenti, uno basato su **simulazioni interne** all’applicazione stessa, uno basato su **simulazioni** su altri **dispositivi mobili** (iPhone e iPad) e uno basato su **dispositivi fisici** (beacon Estimote).

Simulazione interna all’applicazione

Una delle classi dell’applicazione è chiamata TimedBeaconSimulator: è in grado di simulare l’entrata e l’uscita dal campo di azione di un beacon in maniera programmatica, si possono modificare gli intervalli di entrata e uscita dal campo e si possono modificare il numero di beacon e la frequenza con cui appaiono. Il tutto viene gestito attraverso una collezione di beacon che viene riempita o svuotata a seconda dei casi, il tutto sincronizzato da uno ScheduledExecutorService con il metodo scheduleAtFixedRate, che prende come parametro una unità di tempo da usare come intervallo fra una esecuzione e l’altra.

Grazie alla classe sopra descritta, è stato possibile valutare con efficacia il funzionamento dei metodi didEnter e didExit del servizio di base e il loro funzionamento, soprattutto in una fase iniziale del lavoro dove non si avevano a disposizione dei beacon fisici da utilizzare.

Simulazione attraverso dispositivi mobili

Non avendo a disposizione beacon fisici per la maggior parte del tempo di lavoro, si è fatto un uso massiccio di applicazioni per iOS che rendono il telefono in grado di emettere segnale in bluetooth 4.0 rendendolo di fatto un vero e proprio beacon. Grazie a questi beacon simulati si è stati in grado di valutare l'efficacia del meccanismo di rilevazione dei beacon e di precisione nel valutare la distanza dagli stessi.

Test con beacon Estimote

Durante il periodo finale dell'attività sono stati effettuati dei test anche con essi e l'applicazione risulta perfettamente funzionante. Questi test sono stati effettuati posizionando il beacon al centro di un ufficio, attivando il monitoraggio e muovendo il dispositivo all'interno della stanza e al di fuori per verificare che funzionasse la rilevazione di eventi (entrata/uscita) e che venissero comunicati correttamente al server.

Parte server

Per quanto riguarda la parte server dell'applicazione sono stati effettuati numerosi test di funzionamento, anche in caso di connessione assente, improvvisa uscita dall'applicazione, dati di input errati ed altre condizioni di errore. Il tutto viene gestito in modo efficace e senza causare crash dell'applicazione.

Notifiche push

Le notifiche push sono state testate in diversi contesti di uso reali:

telefono attivo e applicazione aperta

telefono attivo e applicazione chiusa

telefono con lo schermo bloccato e applicazione aperta in background

telefono con lo schermo bloccato e applicazione chiusa

telefono spento

In tutti questi casi la notifica è arrivata puntualmente a destinazione. Toccando la notifica si accede alla activity principale della applicazione.

Test in ambiente di lavoro

In questo ambiente sperimentale ha preso piede un test, ancora in corso, dell'applicazione, con un vero beacon Estimote, in particolar modo alcuni dipendenti hanno installato la applicazione scaricata dal Google Playstore, hanno impostato attraverso l'interfaccia dell'applicazione la stanza di riferimento in modo da ottenere il beaconID e hanno iniziato a monitorare il beacon posto all'interno della stanza.

Dapprima il valore della distanza per la quale un utente era considerato all'interno della stanza era settata a 4 metri, il feedback ricevuto dai dipendenti-tester dopo la prima giornata di utilizzo ha portato a diminuire questo valore a 3 metri per le seguenti ragioni:

- si può ragionevolmente presupporre che ponendo l'oggetto beacon più o meno al centro della stanza un raggio di 3 metri a partire da quel punto possa coprire l'intera superficie della stanza;

- si sono riscontrate dei limiti nella precisione della misurazione della distanza che tendono a crescere in maniera più che proporzionale all'aumentare della effettiva distanza dal beacon. Questo è dovuto alle inevitabili interferenze, di varia natura, che sono presenti all'interno di un edificio, sia di natura elettromagnetica che di natura fisica, come ostacoli e muri.

Gli obiettivi prefissati per la durata del servizio in esecuzione sono stati pienamente raggiunti, il servizio può rimanere nello stato "running" per molte ore di seguito senza mai essere ucciso dal sistema operativo, tranne in casi di estrema necessità di memoria, che però si è verificata solo nei dispositivi tecnicamente meno dotati della media.

Il tutto ha funzionato senza problemi particolari nei successivi giorni di testing per quanto riguarda il monitoring e il ranging del beacon, gli utenti hanno dato un contributo a risolvere dei piccoli problemi legati a situazioni particolari di utilizzo, come l'uscita improvvisa dall'applicazione da parte dell'utente mentre si mandano richieste al server. Alcuni utenti hanno riscontrato dei piccoli problemi di visualizzazione dei componenti grafici (scritte con disposizione del testo diversa da quella originariamente progettata ad esempio), che sono problemi comuni derivanti dalla enorme varietà di dimensione dei dispositivi e di conseguenza degli schermi disponibili nel mondo Android: questi problemi sono stati risolti, al momento attuale, per tre "classi" di dimensione degli schermi: piccoli schermi (meno di 4 pollici) schermi medio grandi (dai 4 ai 6 pollici) e schermi grandi (dai 6 pollici in su). Lo schermo su cui sono stati effettuati la maggioranza dei test rientrano nella seconda categoria, uno solo rientra nella prima.

Un limite attuale della tecnologia impiegata, lato Android, è che solo il 55% dei telefoni Android attualmente supporta il Bluetooth 4.0, indispensabile per il funzionamento dell'applicazione, secondo quanto riportato dal Google Play Store, tuttavia questi numeri sono destinati a crescere nel tempo in quanto ogni nuovo telefono prodotto nasce con già in dotazione l'antenna Bluetooth Smart. Questo limite ha impedito di fatto di far testare l'applicazione ad un numero più elevato di persone, dal momento che molti dipendenti non possedevano un dispositivo adeguato.

I test in esecuzione non coinvolgono ancora la parte del sistema che si deve interfacciare con la rete di edifici vera e propria: questo significa che di fatto non si è ancora collegato lo status-manager del server con il BEMS dell'edificio, che si occupa di regolare l'erogazione di energia elettrica per l'edificio, quindi in concreto ancora non si accendono e spengono le luci a seconda della presenza o non presenza del dipendente. Prima di implementare le funzionalità che coinvolgono anche sistemi esterni e complessi, si vuole essere sicuri che tutto il sistema server-applicazione funzioni correttamente.

4.3.6 SmartBuilding Admin

Smart Building Admin è la soluzione progettata e sviluppata come un prototipo di applicazione per l'amministratore, che lo aiuti a gestire le stanze, la loro corrispondenza con i beacon e il numero di utenti presenti in ciascuna stanza e il numero di token assegnabili. Il numero di token assegnati è pari al numero di dipendenti iniziali nella stanza meno il numero di dipendenti che l'hanno richiesto. Quando si rilascia il beaconID si rilascia anche un token, che è rappresentato semplicemente da un numero all'interno del database.

L'applicazione è tutta basata sulla comunicazione fra dispositivo e room-manager dell'application server. Nella schermata principale vengono mostrate le stanze già presenti nel server e toccandole si visualizzano i dettagli di ciascuna stanza. Si può modificare una stanza o facendo un tocco lungo nella schermata principale e selezionando "Modify" dal menu che compare oppure si può premere il bottone a forma di matita in alto nella schermata dei dettagli. Quando si va a modificare una stanza già presente si possono modificare solamente il numero di utenti che dovrebbero essere presenti nella stanza e il numero di token assegnati.

Per cancellare una stanza si può toccare a lungo la stanza e selezionare poi "Delete" dal menu che compare oppure si può premere il tasto x in alto a destra.

Per creare una nuova stanza, dalla schermata principale si può premere il tasto + in alto a destra che porta l'utente ad una schermata dove si possono inserire i relativi campi riguardanti la nuova stanza da monitorare, compresi edificio, numero di stanza, id del beacon e le informazioni relative agli utenti (numero di token assegnati e numero di dipendenti che ci si aspetta nella stanza).

Per lo sviluppo dell'applicazione sono state utilizzate le seguenti tecnologie e/o strumenti.

L'applicazione Smart Building per i dispositivi Android è stata sviluppata in Java utilizzando Android Studio, il tool ufficiale di Google per lo sviluppo di applicazioni per dispositivi mobili.

L'applicazione Smart Building per i dispositivi Apple è stata sviluppata in Objective-C/Swift utilizzando il tool Xcode, il tool dedicato allo sviluppo di tali applicazioni.

Per quanto riguarda il lato server, la relativa applicazione è stata sviluppata utilizzando la tecnologia Java Enterprise ed è stata installata su un Application Server JBoss disponibile in Cloud su piattaforma OpenShift.

Per quanto riguarda il lato client dell'amministratore di sistema sono stati sviluppati dei semplici prototipi per diverse piattaforme: applicazione web, applicazione per Android, applicazione per iOS, applicazione desktop in Java, applicazione desktop per Mac.

4.3.7 Distribuzione dell'applicazione

Come è noto le applicazioni sviluppate per i dispositivi mobili, siano esse per la piattaforma iOS che per la piattaforma Android devono essere distribuite per mezzo dei rispettivi store: App Store per la piattaforma iOS e Google Play Store per la piattaforma Android. Entrambi gli store richiedono che l'applicazione soddisfi certi requisiti e sia corredata con altre informazioni, icone, immagini etc. Dopo la sottomissione delle applicazioni nei rispettivi store esse sono sottoposte ad una revisione prima di essere disponibili per l'acquisto. Nel caso del Google Play Store la revisione viene in genere fatta in poche ore e sembra essere una cosa più o meno automatica. Nel caso dell'App Store occorre almeno una settimana affinché l'applicazione venga revisionata. La revisione eseguita dall'App Store non è affatto automatica ed è sicuramente molto più rigorosa. Ad esempio la Apple è molto attenta nella revisione di applicazioni che utilizzano sistemi di localizzazione e che possano invadere la privacy dell'utente finale. L'applicazione Smart Building avrebbe avuto sicuramente problemi di revisione se fosse stata sviluppata utilizzando la tecnologia GPS.

Per quanto riguarda l'applicazione Smart Building essa è già disponibile nel Google Play Store. Nell'App store sarà disponibile nelle prossime settimane.

I link per poter vedere la scheda dell'applicazione nel Google Play Store sono i seguenti:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.enea.newsmartbuilding&hl=en>
per la versione in inglese della scheda.

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.enea.newsmartbuilding&hl=it>
per la versione in italiano della scheda.

4.3.8 Ulteriori sviluppi

L'applicazione Smart Building è più che un prototipo. Essa comprende già le funzionalità necessarie per un utilizzo basilico. Indubbiamente può essere migliorata ed espansa, a seguito di novità nelle caratteristiche dei beacon o di novità nei server di amministrazione o addirittura a seguito dell'impiego di una nuova tecnologia.

Una prima espansione possibile sarebbe già attuabile al momento, ed è quella di utilizzare, per riconoscere gli ID dei beacon, non l'UUID ma il major e minor. Questo permetterebbe di separare i beacon a seconda delle loro posizioni fisiche, stabilendo dei legami fra il grado di identificatore e specificità del luogo in cui si trova il beacon. Per fare un esempio, supponiamo che l'UUID sia identico per tutti i beacon che si trovino all'interno di una stessa struttura lavorativa, per esempio che la sede della Casaccia dell'ENEA sia collegata ad uno specifico UUID. A questo punto, si potrebbe collegare ad ogni edificio un id major e ad ogni stanza un id minor, di modo che i beacon appartenenti a due stanze su uno stesso piano vengano distinti

solamente per il loro minor id, essendo identici per UUID e major. Due stanze in due piani diversi avrebbero sicuramente due major diversi e i due minor potrebbero anche coincidere.

Per quanto riguarda la tecnologia beacon, si ha l'impressione che sia ancora piuttosto primitiva, con delle lacune in termini di precisione e la mancanza di flessibilità derivante dal fatto che si è costretti a possedere l'applicazione relativa a uno specifico beacon per poterne sfruttare le potenzialità, del resto la possibilità che ogni beacon che si incontra per strada possa interagire col nostro telefono senza il consenso dell'utente è ancora peggiore, una sfida per il futuro consiste dunque nel trovare il giusto compromesso fra comodità di utilizzo, sicurezza e tutela del diritto alla privacy.

I beacon sono stati utilizzati in modi anche molto interessanti, fra i progetti più interessanti ce ne sono alcuni che promettono la mappatura completa di edifici e strutture chiuse in modo da sapere in ogni istante in quale punto dell'edificio siamo, offrendo di fatto un servizio di posizionamento indoor che potrebbe essere utile in molti casi, basti pensare a grandi fiere o edifici particolarmente dispersivi, o in cui non sono disponibili o non è possibile chiedere informazioni. In un ambito come quello dell' "Energy On Demand" probabilmente è uno spreco di risorse andare ad acquistare almeno il triplo dei beacon per effettuare le triangolazioni necessarie alla rilevazione di precisione dell'utente, comunque è innegabile che potrebbe avere dei risvolti interessanti in futuro.

Un discorso a parte merita lo sviluppo dell'applicazione per gli SmartWatch, sia quelli che supportano la piattaforma Android sia l'Apple Watch di cui già esiste un prototipo. È interessante approfondire lo sviluppo di applicazioni per questi dispositivi che si adattano alle problematiche degli Smart Building e delle Smart Cities più in generale.

5 Partecipazione ai network di ricerca europei e disseminazione scientifica (ENEA)

La gestione ottimale di reti edifici è ampiamente connesso con alcune reti di ricerca europee sulle smart cities alle quali ENEA partecipa e dove in alcuni casi svolge un ruolo di coordinamento primario, come nel "Joint Program EERA Smart City", la "Smart City Stakeholders Platform", il "JPI Urban Europe", la "Member State Smart City Initiative" ed il "Covenant of Mayors".

Per quanto attiene al "Joint Program EERA Smart City" ENEA svolge un'attività di coordinamento e di co-coordinamento su due sotto programmi denominati rispettivamente Urban Energy Networks ed Energy-efficient Interactive Building, nel contesto di un più ampio programma di ricerca chiamato Joint Programme on Smart Cities (JPSC), nell'ambito dell'European Energy Research Alliance (EERA).

Il JPSC ha l'obiettivo di favorire una politica atta a migliorare l'efficienza energetica e l'integrazione delle risorse energetiche rinnovabili nelle aree urbane. Il programma prevede lo sviluppo di strumenti e metodologie scientifiche che facilitino e stimolino piani d'intervento, progetti e attività intelligenti del "sistema energia" in ambiti urbani. Al fine di raccogliere ed elaborare il maggior numero possibile di progetti realizzati fino ad oggi in tutti gli stati membri partecipanti alla JPSC, è stata sviluppata una piattaforma di tipo aperto per la registrazione di informazioni utili allo scopo.

Nella annualità RdS/2013/119 è stata effettuata l'analisi delle k-word da utilizzare nella piattaforma a cui attribuire valore in un'ottica di definizione di indicatori e descrittori dei progetti di ricerca, successivamente utilizzati per la definizione del modello dati che permette la raccolta delle informazioni citate ed è in grado di fornire la base dati per lo sviluppo di profili di interrogazione standardizzati.

Invece per quanto attiene al "JPI Urban Europe" ENEA, oltre a rappresentare il Ministero (MIUR) è dall'ottobre dell'anno scorso vice-chair del Governing Board. Il network europeo Urban Europe, partecipato da stati membri ed associati, converge su iniziative di ricerca volte a ripensare e a

ricomprendere l'elemento urbano in una visione olistica in grado di sfruttare le sinergie economiche, sociali ed ambientali idonee a rafforzare la posizione globale dell'Europa.

L'obiettivo è quello di una ricerca coordinata che, con iniziative innovative di lungo respiro, sia in grado di contribuire allo sviluppo della forma urbana in tempi di cambiamento globale.

L'approccio - integrativo ed interdisciplinare - è di tipo orizzontale sui temi dell'economia, della società, dei trasporti e dell'ecologia in modo da consentire la ricucitura di questi con i grandi megatrends urbani, primo tra tutti l'energia.

La visione del programma promuove interazioni tra ricercatori appartenenti agli Stati membri partecipanti, policy-makers, imprese e società civile determinando un approccio innovativo e impact-oriented.

Urban Europe pone come prioritaria l'esplorazione dei 4 pillars dello sviluppo urbano in un orizzonte temporale di ampio respiro (2020-2050), delineando un'azione il cui intento è quello di produrre risultati di ricerca in grado di sostenere la creazione di aree urbane europee dove l'elevata qualità degli standards rendano gradevoli i luoghi in cui vivere e lavorare al fine di consentire all'Europa di diventare una guida per lo sviluppo urbano.

La pilot phase 2012-2013 è servita per comporre un quadro di riferimento utile alla profonda comprensione della complessità del fenomeno urbano; successivamente (2013-2015) è stata elaborata la Strategic Research and Innovation Agenda in cui, grazie alla presenza ENEA, sono stati inseriti gli aspetti salienti dei temi energetici in ambito urbano: dalle reti di edifici alle reti urbane in senso lato.

La roadmap proposta nella SRIA si concretizzerà nella modulazione di bandi congiunti che i singoli stati membri partecipanti decideranno di finanziare in quote variabili. In tale ambito le competenze ENEA relative alle reti di edifici ed ai network urbani risulteranno indubbiamente strategici.

Il progetto di Coordination and Support Action finanziata da FP7 JPROG_REGIONS-2013 denominato BOOST in cui ENEA ha coordinato il Work Package sull'Allineamento dei programmi di ricerca terminerà a gennaio 2016. A questa prima CSA presumibilmente ne seguirà una seconda che consentirà di portare ulteriormente avanti il percorso già iniziato con l'idea di fondo di orientare la ricerca verso temi genericamente legati alla progettazione integrata, segnatamente, una prospettiva concreta di città interconnesse.

Nell'ambito delle attività del Governig Board e del Management Board ed in qualità di vice-chair sono stati enfatizzati alcuni dei punti di forza di ENEA in merito a ICT, sensor networks and urban data.

E' stato più volte sottolineato in diverse occasioni come diventi prioritario - per quanto attiene allo sviluppo ex novo di aree urbane, nonché il recupero di quelle esistenti - modellare un set di strumenti progettuali innovativi che siano in grado di integrare i dati reali derivanti dai consumi e dai recuperi (electricity, fuel, waste, water) in una logica complessiva di progettazione/costruzione/gestione sostenibile di edifici e reti di edifici.

Per entrambe le reti, la disseminazione scientifica dei risultati è stata realizzata oltre che con la partecipazione a network internazionali anche attraverso la partecipazione convegni e workshop in cui sono state promosse le attività già realizzate o in corso di svolgimento.

6 Conclusioni

L'obiettivo di questa linea di attività riguarda lo sviluppo di una metodologia per la gestione integrata di una rete di edifici terziari da applicare in uno Smart Village sperimentale, al fine di supportare il gestore energetico nell'attuare politiche di controllo della domanda basate su una modellistica avanzata che non penalizzi il comfort dell'utente evitando quanto più possibile distacchi dalla rete.

In particolare l'idea di base è quella di dotare la rete di edifici di sensoristica, sistemi di attuazione e di trasmissione dati e di un sistema centralizzato dove viene sviluppata la modellazione della rete, la diagnostica su ogni edificio della rete, la comparazione tra le prestazioni dei vari edifici, la gestione ottimale e l' 'active demand'.

Gli obiettivi perseguiti nel triennio riguardano quindi metodologie di modellazione dei consumi termici ed elettrici, metodologie di analisi dati avanzata (diagnostica) e controllo adattivo, metodologie per

l'impostazione automatica di set point per la gestione ottimale degli edifici e per attuare le richieste di 'active demand'.

Nel PAR 2012 le metodologie sviluppate nei PAR precedenti sono state applicate alla diagnostica e controllo adattivo delle luci di un edificio reale, è stato sviluppato un simulatore semplificato di consumi termici di una rete di edifici e sono state sviluppate metodologie di ottimizzazione multiobiettivo le quali sono state testate su dati simulati.

Nel PAR 2013 gli obiettivi principali hanno riguardato l'estensione di modelli diagnostici e di controllo al caso della climatizzazione, il potenziamento dell'infrastruttura Smart Village e la validazione su simulatore di metodologie per l'active demand.

In questa annualità sono state...

Le attività si sono realizzate secondo i seguenti obiettivi

1. Implementazione ed applicazione alla rete di edifici dei modelli diagnostici, controllo ed ottimizzazione
2. Sviluppo di metodologie in ottica 'smart district'
3. Le tecnologie locali integrate per abilitare le "smart building network"

Nel primo obiettivo è stato implementato e validato su singolo edificio il modello diagnostico sulla linea termica sviluppato nella precedente annualità e successivamente è stato esteso alla rete di edifici insieme ai modelli diagnostici elettrici (luce e condizionamento) sviluppati precedentemente attraverso un'attenta attività di calibrazione dei modelli stessi.

Per le metodologie di ottimizzazione e gestione attiva della domanda, è stato esteso su simulatore il lavoro dell'annualità precedente (riferito alla sola energia termica) al caso elettrico/termico invernale ed estivo. Tale studio ha evidenziato, come nel caso dell'annualità precedente riferito al caso invernale, che il margine potenziale di risparmio energetico è molto interessante (20%) a costo di un piccolo aumento del discomfort degli utenti e comunque entro le direttive europee.

E' esteso il modulo di supervisione dei BEMS sviluppato nell'annualità precedente. I risultati di tali sperimentazioni saranno quindi attentamente valutati per avere un riscontro reale dei benefici che si ottengono in casi reali e ne sarà generata una reportistica opportuna. Oltre a questo è continuata la fondamentale attività di validazione e benchmarking dei dati. La piattaforma è stata estesa con un opportuno modulo di previsione dati meteo, fondamentale per poter implementare logiche di ottimizzazione predittiva, con un modulo di calcolo dei KPI (Key Performance Indicators) e con un modulo di diagnostica a basso livello che mira ad individuare anomalie funzionali ed operative dei singoli sensori.

Nel secondo obiettivo sono state ampliate le funzionalità del simulatore sviluppato nelle precedenti annualità in ottica di distretto e demand/response. Quindi, è stato introdotto il concetto di 'dynamic pricing', ovvero simulando che il costo dell'energia possa variare nel corso della giornata in modo tale da andare verso l'implementazione in futuro di strategie di demand/response e strategie di ottimizzazione multi-obiettivo che tengano in considerazione simultaneamente consumi-comfort-costo. Il simulatore del cluster di edifici è stato calibrato sui smart building realizzati presso il CR Casaccia a partire dai dati sperimentali in modo tale da cercare di ottenere livelli di precisione simili a quelli del simulatore singolo edificio. In secondo luogo è stato integrato con gli algoritmi di ottimizzazione e controllo in modo che questi comunichino in modo analogo a quanto già fatto per il simulatore singolo edificio. Inoltre questo integra anche alcuni moduli preliminari di produzione, come ad esempio moduli fotovoltaici, e storage in modo tale da avere una versione embrionale di 'smart district', tema che, con le sue problematiche di gestione ottimale, sarà sviluppato in annualità successive.

Nel terzo obiettivo, è stato sviluppato un concept progettuale per l'integrazione della sensoristica e controllori di una tipica stanza ufficio in un unico sistema (rilevazione T/umidità/presenza/CO2/apertura finestre, controllo prese/luci/climatizzatore, dialogo remoto). Lo scopo è l'avvio di un percorso di abbattimento dei costi strumentali e di installazione, la facilitazione del colloquio con BEMS (che in prospettiva dovrebbe molto snello), il colloquio con il sistema di supervisione della rete ed infine con

l'utente. In una prospettiva applicativa futura uno "smart energy box" dovrebbe essere installato in ogni stanza dello smart building e distribuire a livello locale parte della intelligenza della rete. In questa annualità è stato quindi progettato ed approvvigionato un prototipo preliminare che in futuro verrà installato e sperimentato in una specifica stanza ("smart room") dell'edificio più avanzato realizzato presso il CR Casaccia in termini di sensorialità e funzionalità smart ed impiegate alcune tecnologie già in commercio (es. smart plug, smart valve) per valutarne la fattibilità nella gestione della domanda attraverso la loro integrazione nei sistemi di supervisione e controllo.

Un'altra tipologia chiave di informazione per implementare il concetto di "energy on demand" (controllo adattivo sulla necessità istantanea e locale di energia) e quindi raggiungere elevati saving energetici è la informazione sulla presenza di persone. Le scelte attualmente utilizzate in ambienti ad accesso non controllato (sensori di presenza + trasmissione remota del dato) hanno il difetto di incidere pesantemente sui costi di acquisto ed installazione. Altre alternative, quali il test sull'uso della postazione di lavoro (PC) o sulla presenza di uno smart phone del lavoratore potrebbero essere molto vantaggiose. A tal fine è stato sviluppato un prototipo mediante implementazione di una app installata sullo smart phone del lavoratore che comunicherà al sistema centrale se una unità mobile (quindi evitando problemi di archiviazione di dati sensibili) è presente all'interno del centro o dell'edificio o all'interno di una specifica area (o stanza).

Infine, l'ENEA si è impegnata nella diffusione dei risultati attraverso la partecipazione ai network di ricerca europei e a convegni/workshop nazionali ed internazionali mirata alla disseminazione scientifica delle attività svolte.

La gestione ottimale di reti edifici è una tematica di notevole interesse nell'ambito delle reti di ricerca europee sulle smart cities alle quali ENEA partecipa e dove in alcuni casi svolge un ruolo di coordinamento primario, come nel "Joint Programme EERA Smart City", la "Smart City Stakeholders Platform", il "JPI Urban Europe", la "Member State Smart City Initiative" ed il "Covenant of Mayors".

Nel contesto europeo infatti ENEA si propone come punto di riferimento italiano riguardo al tema delle reti di edifici e distretti; in precedenza è stata sviluppata una metodologia di valutazione e di implementazione di iniziative e progetti smart cities basata su una piattaforma open source che ospita un database di tutti i progetti censiti.

Infine, è stata fatta ampia opera di diffusione dei risultati a convegni, seminari, workshop sia a livello nazionale che internazionale ottenendo anche alcuni riconoscimenti importanti.

Il principale prodotto è stato realizzato in questo triennio è la piattaforma Smart Village.

Area applicativa / destinatari

Questo prodotto fornisce strumenti per il monitoraggio, la diagnostica e l'ottimizzazione energetica di reti di edifici, soprattutto per il settore terziario in particolare pubblico (uffici, scuole, università, caserme, ospedali, etc.) ma anche per il settore privato (centri direzionali, centri sportivi e polifunzionali, distretti industriali). In prospettiva è in grado di coinvolgere anche il settore residenziale (condomini privati ed edilizia sociale) con soluzioni orientate all'ottimizzazione del "sistema edificio" piuttosto che verso la "singola unità abitativa". Pertanto i soggetti destinatari del prodotto sono principalmente i gestori, energy manager, di reti di edifici sia pubblici che privati.

Descrizione del prodotto

La piattaforma Smart Village è in grado di effettuare da remoto diagnostica, supervisione e gestione ottimale di reti di edifici al fine di minimizzare il consumo energetico massimizzando il comfort degli utenti anche in uno scenario di active demand. Inoltre è potenzialmente in grado di correlare la domanda energetica con la produzione (eventualmente da fonte rinnovabile) al fine di gestire l'active demand, accrescere la consapevolezza del corretto utilizzo degli edifici orientando il comportamento degli utenti, dare un importante supporto diagnostico con conseguente riduzione dei costi di gestione e manutenzione. Il partenariato potenzialmente coinvolto è rappresentato da aziende di building automation, asset management, aggregators, ESCO, global Service, aziende di servizi informatici e telecomunicazione (cloud,

data center, IT), aziende di distribuzione elettrica, aggregators ed energy traders (per gli aspetti di active demand).

Informazioni tecniche

La piattaforma Smart Village è un prodotto che integra Database, una serie di applicativi dedicati ed un software per la simulazione ed il calcolo numerico. In particolare il Database contiene le informazioni ed i parametri funzionali al processamento della diagnostica e dell'ottimizzazione, uno storico delle regole, degli eventi e delle eventuali attuazioni che ne derivano. Il software MATLAB è utilizzato per la simulazione delle prestazioni energetiche degli edifici e per l'ottimizzazione della termoregolazione. Gli applicativi sono stati implementati in JAVA ed eseguono i task di diagnostica e di interfacciamento al suo interno con il software MATLAB ed esternamente con qualsiasi altro modulo che ne possa richiedere l'interazione, ovvero il prodotto si configura come un sistema aperto verso l'esterno con opportuni web service.

Novità, originalità e utilità del prodotto

La piattaforma Smart Village propone nuovi modelli e strategie per il conseguimento del risparmio energetico ed ambientale di una rete di edifici grazie ad un sistema di diagnostica ed ottimizzazione centralizzato che può portare a notevoli risparmi energetici ed economici con costi di investimento contenuti essendo fondati principalmente su automazione ed intelligenza, senza ricorrere ad interventi strutturali o a sostituzione di componenti dell'involucro esterno. Considerare una rete di edifici ha l'effetto di razionalizzare e semplificare la gestione dei singoli edifici, inoltre apporta dei vantaggi all'operatore gestore, in quanto la funzione di supervisione (diagnosi e controllo) viene svolta da un'unica postazione remota con la possibilità di confronto tra le prestazioni dei singoli edifici, riducendo i costi di gestione e di manutenzione. Inoltre il NIS, grazie alla possibile interazione con il mercato energetico, è in grado di assicurare la gestione attiva della domanda energetica degli utenti. Il NIS è in grado di fornire gli strumenti che consentono un indubbio risparmio energetico ed ambientale in linea con gli obiettivi di riduzione e risparmio del 20% entro il 2020, stabiliti dall'Unione Europea.

7 Abbreviazioni ed acronimi

BEMS : Building Energy Management System

FDD : Fault Detection and Diagnosis

MOEA : Multi-Objective Evolutionary Algorithm

NSGA : Non dominated Sorting Genetic Algorithm

PMV : Predicted Mean Vote

PPD : Predicted Percentage of Dissatisfied

PID : Proporzionale Integrativa Derivativa