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

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Gestione integrata di una rete di edifici in uno Smart Village : sperimentazione di diagnostica avanzata per la climatizzazione, implementazione e test di algoritmi di ottimizzazione orientati alla domanda attiva per il caso termico invernale ed implementazione di strumenti di visualizzazione grafica integrata

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

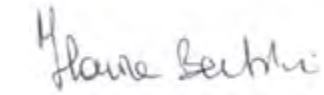
Report RdS/PAR2013/060

GESTIONE INTEGRATA DI UNA RETE DI EDIFICI IN UNO SMART VILLAGE: SPERIMENTAZIONE DI DIAGNOSTICA AVANZATA PER LA CLIMATIZZAZIONE, IMPLEMENTAZIONE E TEST DI ALGORITMI DI OTTIMIZZAZIONE ORIENTATI ALLA DOMANDA ATTIVA PER IL CASO TERMICO INVERNALE ED IMPLEMENTAZIONE DI STRUMENTI DI VISUALIZZAZIONE GRAFICA INTEGRATA

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

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico
Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA
Piano Annuale di Realizzazione 2013
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 e "smart village"
Responsabile del Progetto: Ilaria Bertini, ENEA



Ringraziamenti M. Bonomo, M. Camponeschi (Università Roma Tre)

Indice

SOMMARIO 5

1 INTRODUZIONE 6

2 ESTENSIONE DEI MODELLI DIAGNOSTICI E DI CONTROLLO 9

2.1 MODELLO DI DIAGNOSTICA DELLA CLIMATIZZAZIONE 9
2.1.1 Il Peak Detection 10
2.1.2 I fuzzy set e la logica fuzzy 11
2.1.3 Il modello di data fusion 13
2.1.4 Analisi preliminare 16
2.1.5 Implementazione 21
2.2 SPERIMENTAZIONE : DIAGNOSTICA CLIMATIZZAZIONE 28
2.2.1 Distribuzione delle anomalie per piano 29
2.2.2 Distribuzione delle anomalie per fasce orarie 32
2.2.3 Classificazione anomalie per livello di gravità 33
2.2.4 Distribuzione delle anomalie gravi per piano 36
2.3 SVILUPPO MODULO SUPERVISIONE BEMS 39
2.4 SVILUPPO DIAGNOSTICA CASO TERMICO 40
2.5 VALIDAZIONE, ANALISI E MODELLI DI DIAGNOSTICA ENERGETICA AVANZATA 43
2.5.1 Analisi dei dati raccolti in fase operativa dai sistemi di monitoraggio installati sul cluster di edifici 43
2.5.2 KPI rete di edifici: elaborazione e analisi dati energetici del monitoraggio in campo. Caratterizzazione dei profili di consumo e benchmark 44
2.5.3 Diagnostica su consumi di natura termica. Sviluppo di modelli di diagnostica avanzata attraverso i dati del monitoraggio in campo 46

3 GESTIONE ED UPGRADE INFRASTRUTTURA SMART VILLAGE 49

3.1 IMPLEMENTAZIONE DEL SISTEMA DI CONTROLLO ORIENTATO ALL'OTTIMIZZAZIONE 50
3.2 UPGRADE PIATTAFORMA EASYCON 53
3.3 UPGRADE PIATTAFORMA SEM 56
3.3.1 Misure Storiche 57
3.3.2 Misure Realtime 64
3.3.3 Cap Message 68
3.3.4 Telecontrollo 71
3.4 ACQUISIZIONE SMART PLUG 73
3.5 SVILUPPO ED APPLICAZIONE STRUMENTI DI VISUALIZZAZIONE INTEGRATA SU SMART VILLAGE 76
3.5.1 Mobilità 76
3.5.2 Energia : edifici ed illuminazione 82
3.6 GESTIONE DELL'INFRASTRUTTURA ICT 84

4 SVILUPPO E VALIDAZIONE SU SIMULATORE DI METODOLOGIE PER ACTIVE DEMAND 88

4.1 UPGRADE SIMULATORE TERMICO 88
4.1.1 Centrale termica 88
4.1.2 Illuminazione 89
4.1.3 Consumi elettrici fan-coil 90
4.2 TUNING SU DATI REALI 90
4.3 RICHIAMI TEORICI 94
4.3.1 Algoritmi di ottimizzazione multi-obiettivo 94
4.3.2 Indici di confort ambientale 96
4.4 IMPLEMENTAZIONE ED INTEGRAZIONE CON ALGORITMI DI OTTIMIZZAZIONE 101
4.5 SPERIMENTAZIONE : OTTIMIZZAZIONE INVERNALE SU SIMULATORE 104
4.5.1 Simulazioni intera stagione 105
4.5.2 Risultati ottimizzazione stagionale 111
4.5.3 Risultati ottimizzazione giornaliera 115

5 PARTECIPAZIONE AI NETWORK DI RICERCA EUROPEI E DISSEMINAZIONE SCIENTIFICA 121

6 CONCLUSIONI 123
7 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI 125

Sommario

In questo report vengono descritte le attività ed i risultati conseguiti per la gestione integrata di una rete di edifici in uno 'Smart Village' sperimentale.

Il fattor comune di questo secondo anno di attività del nuovo triennio è stato quindi quello di validare su un caso reale le metodologie sviluppate nella precedente annualità e di svilupparne di nuove (evoluzione simulatore ed algoritmi di diagnostica) orientate alla gestione di una rete di edifici.

Le attività di sviluppo sono state portate avanti in collaborazione con il Politecnico di Torino, l'Università di Roma Tre e l'Università Politecnica delle Marche. Inoltre, sono state svolte tutte le attività che dovranno portare alla fine del triennio ad una implementazione reale di gestione attiva della domanda energetica. In tal senso sono state sviluppate nuove funzionalità sullo Smart Village, sia dal punto di vista software che di approvvigionamenti.

In particolare in questo rapporto si descrivono le attività sviluppate da ENEA.

Il primo punto ha riguardato l'estensione dei modelli diagnostici e di controllo. In particolare sono realizzate le seguenti attività : sviluppo di modelli di diagnostica termica e della climatizzazione, sviluppo di un modulo supervisione dei BEMS, validazione ed analisi dati, sperimentazione della diagnostica della climatizzazione su un edificio pilota.

Nel secondo obiettivo sono stati sviluppati e sperimentati su simulatore gli scenari di active demand definiti nella precedente annualità. In particolare la sperimentazione, che ha riguardato l'ottimizzazione dei consumi termici invernali di un edificio pilota, ha mostrato che ci sono margini potenziali di risparmio molto interessanti.

La terza attività ha riguardato l'ampliamento delle funzionalità dello 'Smart Village Casaccia'. In particolare sono descritte le implementazioni di funzionalità finalizzate al controllo ottimale, attraverso l'acquisto ed installazione di opportuna strumentazione. Quest'ultima attività di sviluppo è essenziale per poter estendere le strategie di diagnostica, controllo ed ottimizzazione, che quest'anno ENEA ha sperimentato su un singolo edificio, a tutta la rete degli edifici monitorati. A tal fine inoltre sono stati realizzati degli aggiornamenti software per i BEMS tali che rendano possibile l'interfacciamento di questi con il modulo di supervisione e controllo. Infine, è stato realizzato su piattaforma web uno strumento di visualizzazione integrata dello Smart Village che visualizza in tempo reale i consumi energetici di edifici e illuminazione esterna, le anomalie energetiche e lo stato della mobilità pedonale interna.

Infine, l'ultimo punto ha riguardato la diffusione dei risultati attraverso la partecipazione di ENEA a Network Internazionali e convegni e lo sviluppo di strumenti a supporto alla valutazione ed archiviazione di progetti all'interno dei network di cui ENEA fa parte per la diffusione.

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 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 prestazione dei vari edifici, la gestione ottimale e l' 'active demand'.
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 e per attuare le richieste di 'active demand'.
Nel precedente PAR le metodologie sviluppate sono state applicate alla diagnostica e controllo adattivo 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. In questa annualità gli obiettivi principali hanno riguardato l'estensione di modelli diagnostici e di controllo, il potenziamento dell'infrastruttura Smart Village e la validazione su simulatore di metodologie per l'active demand.

Il primo obiettivo ha riguardato l'estensione dei modelli diagnostici e di controllo, già sviluppati nei PAR precedenti.
Il modello diagnostico relativo alla linea luci, validato su singolo edificio nella annualità precedente, è stato applicato alla linea del condizionamento.
Le logiche di diagnostica sviluppate in precedenza sono state implementate per il caso termico, attraverso un data fusion che tiene conto degli indicatori di preprocessing, situation assessment e cause. Nei precedenti PAR infatti era stato sviluppato l'approccio generale basato su una struttura decisionale ad albero che partendo dai dati grezzi questi vengono elaborati ed aggregati secondo stadi successivi fino a risalire alle possibili cause che hanno generato un'anomalia. Analogamente al PAR precedente, sono stati definiti sia gli opportuni fuzzy set che le regole di aggregazione ed il tutto è stato implementato sulla piattaforma ICT 'Smart Village'. L'implementazione e la validazione di tale sistema di diagnostica delle anomalie sull'impianto termico è stata applicata su un edificio di riferimento del C.R. Casaccia (edificio F40).
E' stato inoltre sviluppato un modulo di supervisione del Building Energy Management System (BEMS) dell'edificio F40 che permette il controllo delle temperature di set point dei termostati di stanza.
Grazie alla rilevante quantità di dati provenienti dalla rete è possibile comparare le prestazioni degli edifici che ne fanno parte; a tal fine sono stati definiti nuovi Key Performance Indicators (KPI) appositamente ottimizzati per il modello della rete ed in particolare, il lavoro sviluppato nel PAR 2012 sugli indicatori elettrici è stato esteso al caso termico.
Il costante monitoraggio energetico della rete genera un database considerevole di dati che è stato oggetto di validazione e analisi per dare adeguata robustezza ai dati.
L'attività è stata svolta in collaborazione con l'Università Roma Tre e il Politecnico di Torino.

Il secondo obiettivo ha riguardato lo sviluppo e la validazione su simulatore di metodologie per active demand; l'erogazione dell'energia in funzione della domanda che diventa parte attiva del sistema in quanto resa flessibile e adattabile. A tal fine, nella precedente annualità, è stato sviluppato un simulatore in Matlab/Simulink dei consumi termici in grado di riprodurre differenti strategie di controllo sia a livello di singolo edificio che di rete di edifici grazie all'impostazione automatica dei setpoint di temperatura (termostati di stanza e centrale termica) dei BEMS installati.

In questa annualità sono state migliorate alcune funzionalità del simulatore termico. La prima riguarda il lavoro della centrale termica/frigorifera che viene considerata non solo in condizioni di rendimento costante ma anche in situazioni di carico parziale. La seconda, relativa alle condizioni al contorno, include ora anche il costo dell'energia, oltre al meteo e all'occupazione.
Tutte le condizioni al contorno venivano gestite staticamente tramite importazione di file; in questa annualità il simulatore è stato predisposto in modo tale da gestire tali importazioni dinamicamente con l'aggancio a modelli predittivi (che saranno sviluppati nel PAR successivo). E' stata inserita altresì la modellazione dei consumi elettrici integrandoli con quelli termici simulando il controllo dell'accensione e spegnimento dei fan-coil e la dimmerazione dell'illuminazione indoor.
Inoltre è stata effettuata un'attività di assessment del simulatore; a partire dai dati sperimentali degli edifici monitorati nello Smart Village, è stata effettuata una calibrazione del simulatore al fine di conseguire una migliore corrispondenza tra il modello ed il comportamento reale degli edifici.
Il simulatore è stato poi integrato con gli algoritmi di ottimizzazione in un ambiente unico. Questi ultimi forniscono al simulatore i valori delle variabili di controllo (es. set point temperature) il quale invia al modulo di ottimizzazione i dati per il calcolo delle funzioni di costo le quali, insieme ai dati relativi alle condizioni al contorno procede all'ottimizzazione multiobiettivo minimizzando il discomfort degli utenti e minimizzando i consumi energetici.
Il risultato da conseguire al termine del triennio è un sistema simulatore-ottimizzatore-modelli integrato in un ambiente unico.
L'attività è stata svolta in collaborazione con l'Università Politecnica delle Marche.

La terza attività è stata finalizzata all'ampliamento delle funzionalità dello Smart Village sperimentale situato presso il CR ENEA Casaccia.
Una prima attività si è focalizzata nello sviluppo ed applicazione strumenti di visualizzazione integrata su Smart Village a supporto della gestione energetica della rete in termini di monitoraggio e diagnostica delle utenze energetiche oggetto della ricerca. Tale strumento, realizzato su piattaforma web, consente di visualizzare in tempo reale i consumi energetici di edifici e illuminazione esterna, le anomalie energetiche nonchè lo stato della mobilità pedonale interna. I suddetti sistemi di integrazione e visualizzazione delle informazioni si poggiano su infrastrutture ICT distribuite dell'ENEA (cloud/griglia computazionale), per le quali si rende necessario provvedere alla manutenzione e upgrading delle stesse in termini di sistemi computazionali, storage, e networking, e allo sviluppo e/o customizzazione delle opportune soluzioni software.
Le implementazioni strumentali (hardware e software) dell'infrastruttura dello Smart Village hanno mirato ad un controllo ottimale in grado di assicurare delle prestazioni avanzate in termini di diagnostica, controllo ed ottimizzazione, già sperimentata su un singolo edificio, a tutta la rete degli edifici monitorati.
A tal fine è stata acquisita ulteriore strumentazione hardware atta al monitoraggio e gestione delle singole utenze della linea forza motrice tramite l'impiego di smart plug; tali apparati permettono di monitorare i consumi elettrici di singole utenze e di attuarne l'accensione e lo spegnimento dialogando con il sistema di supervisione in modalità wireless. L'obiettivo è quello di monitorare i consumi delle postazioni di lavoro e di conseguenza anche la presenza degli occupanti e ricostruire il profilo di utenza al fine di attuare strategie di domanda attiva. Per quanto riguarda il controllo a livello di edificio, presso le centrali termiche di due edifici dello Smart Village sono stati inseriti regolatori configurabili, in particolare presso l'edificio F 40, tali regolatori sono stati calibrati per consentire da remoto di impostare la temperatura di mandata del fluido termovettore del circuito che alimenta i circuiti estivo ed invernale dei fan-coil.
Contestualmente al potenziamento della dotazione hardware si sono resi necessari degli aggiornamenti software per i BEMS, con l'obiettivo di rendere possibile l'interfacciamento ottimale di questi con il modulo di supervisione e controllo. In particolare per la piattaforma di controllo dell'edificio F40, preso come edificio di riferimento, è stato necessario lo sviluppo di una nuova release del software di gestione Easycon per consentire il controllo da remoto dei termostati all'interno delle singole stanze tramite l'invio con cadenza oraria dei set-point e per trasmettere tutti i parametri misurati in formato XML al sistema di

supervisione. Inoltre la piattaforma di controllo remoto SEM della rete di edifici è stata integrata con opportuni web service per consentire ad applicazioni esterne di richiedere dati e inviare comandi on/off e di settaggi di set point.

L'ultimo obiettivo riguarda 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.

2 Estensione dei modelli diagnostici e di controllo

Il modello diagnostico sulla linea luci validato su singolo edificio nella annualità precedente (RdS/2013/119) è stato applicato alla linea del condizionamento di un edificio pilota (par. 2.1). e validato sperimentalmente su un edificio pilota (par. 2.2).
Inoltre, nell'ottica di implementare un modello di gestione attiva della domanda (RdS/2013/119), è stato sviluppato (par. 2.3) un modulo di supervisione del Building Energy Management System (BEMS) dell'edificio F40 che permette il controllo delle temperature di set point dei termostati di stanza e della temperatura di set point dell'acqua di mandata della centrale termica.
Le logiche di diagnostica sviluppate in precedenza (RdS/2011/323 e RdS/2012/229) sono state estese al caso termico (par. 2.4), attraverso un data fusion che tiene conto degli indicatori di preprocessing, situation assessment e cause. Nei precedenti PAR infatti era stato sviluppato l'approccio generale basato su una struttura decisionale ad albero che partendo dai dati grezzi questi vengono elaborati ed aggregati secondo stadi successivi fino a risalire alle possibili cause che hanno generato un'anomalia. Analogamente al PAR precedente (RdS/2013/119), sono stati definiti sia gli opportuni fuzzy set che le regole di aggregazione ed il tutto sarà implementato nella prossima annualità sulla piattaforma ICT 'Smart Village' e validato sugli edifici di riferimento del C.R. Casaccia.
Infine, è proseguita l'attività di validazione ed analisi dati (par. 2.5) in quanto l'attività continua di monitoraggio energetico della rete genera un database considerevole che necessita di essere validato e successivamente analizzato per dare adeguata robustezza ai dati.

2.1 Modello di diagnostica della climatizzazione

In questa annualità è stato esteso il modello di diagnostica della illuminazione indoor, implementato e sperimentato nella precedente annualità, al caso della climatizzazione.
Il lavoro ha riguardato in modo specifico la sperimentazione e l'implementazione delle logiche di diagnosi relativamente alla linea fancoil dell'edificio F40. Si è voluto verificare il comportamento energetico dei fancoil dell'edificio attraverso strategie che consentano di rilevare eventuali aspetti di conduzione sub-ottimali, dovuti a:

- ✓ eventuali malfunzionamenti;
- ✓ cattiva gestione ;
- ✓ eccessiva obsolescenza di alcuni componenti ;
- ✓ comportamenti errati da parte delle persone che ne usufruiscono .

Sono stati elaborati , sulla base dei dati acquisiti tramite sensori e operazioni di data fusion , alberi di concatenazione tra cause da diagnosticare e relativi sintomi deducibili dai dati o da elaborazioni intermedie , in grado di supportare l'attività diagnostica .
Sulla base di un'analisi di sensibilità preliminare , è stato verificato che la potenza elettrica , tra i parametri ambientali ed energetici ,risulta essere la grandezza più efficace per il rilevamento delle anomalie e l'individuazione delle relative cause .
A tal fine è stato utilizzato il " peak detection method" che, risulta particolarmente efficace nel rilevare le anomalie in tutte quelle applicazioni che richiedono l'analisi di grandi quantità di dati in tempo reale come nel caso di monitoraggio dei consumi energetici . L'utilizzo di alcuni indici sintetici come "Sfunction" e " ModifiedZScore ", combinati tra loro ,consente anche di quantificare la severità delle anomalie riscontrate ,e quindi di fornire informazioni circa la priorità di intervento da associare ad ognuna di esse. Modified Z Score è basato sulla distanza e la direzione di ogni valore anomalo individuato rispetto al valore medio di osservazioni normali (osservazioni che non contengono valori anomali).
Successivamente, per definire le possibili cause associate alle anomalie riscontrate, sono state implementate alcune regole di individuazione automatica delle cause associabili ad alcune tipologie di anomalie attraverso tecniche di data fusion secondo la logica fuzzy.

2.1.1 Il Peak Detection

Per la rilevazione di valori anomali all'interno di un set di dati il "peak detection method" è in grado di identificare ed analizzare i picchi (spikes) presenti in una serie temporale di dati. Nei dati di distribuzione di energia e potenza , i picchi indicano improvvise richieste eccessive.
L'algoritmo utilizzato per la rilevazione dei picchi nelle serie di dati fa riferimento ad una funzione picco S, che associa un punteggio (score) ad ogni elemento della serie.

Se $\boldsymbol{T = x_1, x_2, \ldots\ldots x_N}$ è una serie temporale univariata (di una sola variabile) campionata in maniera uniforme,contenente N valori;
$\boldsymbol{x_i}$ un dato $\boldsymbol{i^{th}}$ punto in T,con relativo score $\boldsymbol{S(i, x_i, T)}$:
$\boldsymbol{x_i}$ **è un picco se** $\boldsymbol{S(i, x_i, T) \geq \theta}$ **,** dove $\boldsymbol{\theta}$ **è un valore specificato di soglia** adeguatamente calcolato.

Partiamo dall'osservazione che un picco è chiaramente un picco locale e che non tutti i picchi individuati sono "veri" picchi. Pertanto si considera un vero picco se ha la caratteristica di avere un valore ragionevolmente grande anche nel contesto globale.
Negli steps che seguono, in cui si articola l'algoritmo implementato per la" peak detection",si specifica come eliminare alcuni dei picchi locali rilevati utilizzando il contesto globale (l'intera serie temporale).

- Si inizializza l'insieme dei picchi O come insieme vuoto;

- Si inizializza il valore di **k** (in genere **tra 1 e 5**) e di un ulteriore costante **h** (in genere **tra 1 e 3**); in particolare k rappresenta la grandezza della finestra d'analisi dei campioni intorno al picco, maggiore sarà tale valore , migliore la valutazione del peso del campione di volta in volta preso in esame in quanto avendo più punti di comparazione si evitano la rivelazione di falsi outliers;
- Si calcola il valore della funzione picco S per ognuno degli N punti in T;

- Si calcola la media **m'**e la deviazione standard **s'**di tutti i valori positivi della funzione picco S;

- Si eliminano i picchi locali che sono "piccoli" nel contesto globale. In particolare, si inseriscono nell'insieme O solo i punti x_i della serie temporale che soddisfano la seguente condizione:

$$\boldsymbol{S(k, i, x_i, T) - m' > h * s'} \qquad (1)$$

con **m'**ed **s'** rispettivamente **la media e la deviazione standard di tutti i valori positivi della funzione S;**

- Si eliminano quei picchi che sono troppo "vicini" tra di loro (ossia nella stessa finestra di dimensione k). Per ogni coppia di picchi adiacenti x_i e x_j in O, se $|j - i| \leq k$ si rimuove dall'insieme O il valore più piccolo trax_i e x_j

A questo punto ci si chiede come calcolare la Sfunction che rileva in modo evidente la "spigolosità" del punto x_i in un contesto locale. Esistono diversi approcci per il suo calcolo; nei tests effettuati, è stato utilizzato tale algoritmo :

calcolo della media , per un assegnato punto x_i in T, tra la massima distanza di x_i dai suoi k vicini a sinistra e i suoi k vicini a destra (dove k è un parametro intero positivo stabilito dall'utente,che deve essere tanto più piccolo quanto più i picchi da individuare sono di breve durata). I valori di $\boldsymbol{S(k, i, x_i, T)}$ indicano l'importanza dell'altezza del picco all'istante di tempo i-esimo:

$$S(k, i, x_i, T) = \frac{max\{x_i - x_{i-1}, x_i - x_{i-2}, x_i - x_{i-k}\} + max\{x_i - x_{i+1}, x_i - x_{i+2}, x_i - x_{i+k}\}}{2}$$

Tale funzione calcola per ogni punto della serie il suo valore utilizzando la finestra locale di dimensione 2k attorno a quel punto. Tutti i punti con un valore positivo della funzione picco sono picchi candidati.

Il metodo prevede la determinazione dell'indice modified zscore sulla base della stima del valor medio e della deviazione standard per il set di dati X osservati.
Il valore di modified zscore viene calcolato per ogni valore anomalo individuato nel seguente modo:

$z_m = \frac{x_{out} - \overline{x}_{rob}}{s_{rob}}$ dove x_{out} è un valore outlier

$\overline{x}_{rob}$ è la media dei valori non outlier $x_{non-out}$

s_{rob} è la deviazione standard di $x_{non-out}$

2.1.2 I fuzzy set e la logica fuzzy

La fuzzy logic chiamata anche "logica sfumata " è la denominazione di un concetto matematico che esprime in sé un modo di affrontare la risoluzione di qualsiasi tipo di problema superando la rigidità della logica classica . La ricerca della soluzione ai problemi non è più basata solamente sul noto paradigma "vero o falso" , bensì sull'indecisione elementare "if then else " che offre ogni volta soluzioni alternative da scegliere partendo da un'ipotesi iniziale .
L'idea di rappresentare la conoscenza in modo "sfumato" è stata formalizzata per la prima volta da Lofti Zade nel 1965 . Egli riteneva restrittiva la tradizionale teoria degli insiemi secondo la quale un dato elemento appartiene o non appartiene ad un certo insieme ; in base a questa teoria si può dire che gli insiemi hanno contorni perfettamente definiti (crisp).
Nella realtà invece spesso i contorni degli insiemi non sono definiti in modo netto , ma sono graduali : la separazione netta tra verità e falsità , tipica della logica classica e del mondo digitale , raramente rispecchia l'impostazione umana dei problemi, a maggior ragione se sono presenti imprecisioni o incertezze. Nella logica fuzzy quindi una proposizione può essere vera al 70% (e non vera al 30%) (fig.2.1) ; tale logica permette di violare il principio del terzo escluso ed il principio di non contraddizione .

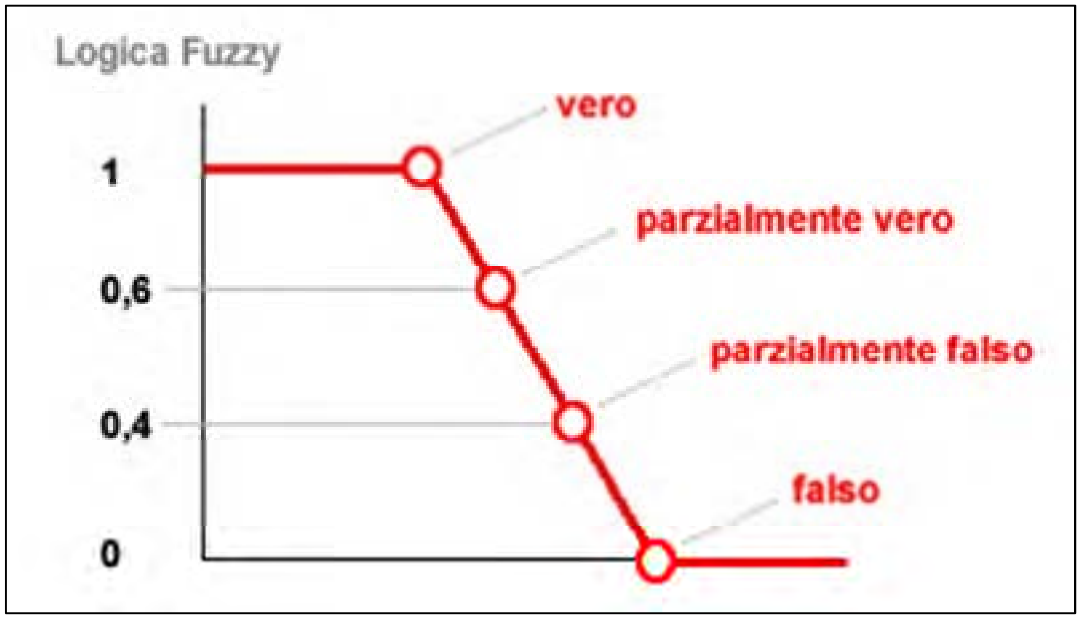


Fig.2.1-Logica fuzzy e crisp

Secondo questo ragionamento non si deve più parlare di appartenenza o non appartenenza di un dato elemento ad un insieme bensì del suo *"grado di appartenenza".*
La dottrina "fuzzylogic" esprime infatti con un'opportuna funzione il grado di appartenenza (function member ship) di un " oggetto" ad una " categoria " .
Tale funzione può descrivere infiniti valori tra le due estremità 0 e 1; se vale 0 l'oggetto è totalmente estraneo alla categoria , mentre se vale 1 ne è totalmente identificato . Per permettere l'esistenza degli strati intermedi però vengono definiti degli operatori logici chiamati modificatori che rappresentano gli attributi con i quali si può determinare se la natura dell'oggetto è un po' più , o un po' meno vicina ad una delle due estremità della definizione . In pratica la funzione di appartenenza può avere qualsiasi forma (a scalino , gaussiana o triangolare) purché il suo valore medio esprima con chiarezza la posizione dell'oggetto.
I sistemi fuzzy, basati sulla logica sfumata , rappresentano un metodo innovativo per progettare sistemi di controllo o di supporto decisionale in quanto l'implementazione software della logica fuzzy è computazionalmente poco onerosa.
Nella teoria classica dei sistemi infatti si dice che si conosce il modello matematico di un sistema quando si dispone di una o più equazioni che descrivono le relazioni fra le variabili di ingresso e quelle di uscita . Spesso però la modellazione matematica di un sistema risulta molto complessa se non addirittura impossibile a meno di forti approssimazioni , a causa dell'elevato numero di variabili e della frequente non linearità del processo.

Con la logica fuzzy, il sistema di equazioni viene sostituito da una famiglia di regole logiche del tipo " if-then" che creano una corrispondenza tra insiemi fuzzy appartenenti a spazi diversi .
Tale tipo di approccio , più semplice di quello classico , si presta particolarmente nel caso di problemi fortemente non lineari, in cui l'intuizione e l'esperienza umana svolgono un ruolo fondamentale .
Una nuova terminologia è utilizzata per definire tutti gli elementi della logica fuzzy. Di seguito viene riportato il significato dei termini più importanti usati:

- **Variabile linguistica (variabile fuzzy)**: è la variabile descrittiva impiegata in un processo (temperatura,velocità,ecc.).
- **Insieme fuzzy (fuzzy Set):** è l'insieme delle coppie ordinate costituite dai valori della variabile linguistica e dai corrispondenti gradi di appartenenza ad una determinata funzione di appartenenza.
- **Funzione di appartenenza (Membership Function**, **MF) :** è la funzione che, descrivendo in modo analitico la forma di un insieme fuzzy ,permette di associare ad ogni valore di una variabile linguistica un determinato grado di appartenenza.
- **Grado di appartenenza :** valore che definisce l'appartenenza di una variabile linguistica all'insieme fuzzy corrispondente per mezzo di un numero compreso fra 0 e 1 utilizzando il valore attuale della variabile.
- **Fuzzificazione**: il processo che converte il set di dati originali in valori di appartenenza fuzzy cioè seleziona la funzione di appartenenza più idonea a rappresentare il set di dati.
- **Regolafuzzy:** istruzione del tipo "Se (if) la *Premessa* è...allora (then) la *Conclusione* è …"che permette di associare gli ingressi alle uscite.
- **Inferenza:** procedimento attraverso il quale in base al grado di verità della premessa viene attivato l'insieme fuzzy di uscita.
- **Defuzzificazione:** processo di calcolo del valore di uscita (crisp) di un sistema fuzzy in base alla somma dei contributi di tutte le regole.

Poiché la logica fuzzy è un'estensione della logica booleana , anch'essa definisce delle operazioni logiche che ricalcano quelle esistenti fra gli insiemi ovvero l'unione (or) , l'intersezione (and) e il completamento (not) . L'unione max (A,B) fra due categorie fuzzy A e B considera il massimo valore di appartenenza fra le due e , quindi se un oggetto appartiene per 0,3 ad A e per 0,6 a B , l'unione esprimerà il valore 0,6 .

L'intersezione minima (A,B) è l'operazione opposta che considera il valore di appartenenza minimo, che nell'esempio è 0,3.
Il completamento di un oggetto a una categoria si ottiene sottraendo da 1 il valore di appartenenza , $\bar{A} = 1 - A($ nell'esempio il completamento di A è 0,7 , mentre il completamento di B è 0,4) .
Su queste azioni elementari si basa l'operazione decisionale più importante nelle logiche fuzzy "if then else " che può essere descritta con alcuni esempi di inferenza, quali: " se la temperatura (T) della stanza è abbastanza fredda allora accendi un po' di più il riscaldamento (R), altrimenti accendilo un po' di meno ".
Questo esempio si traduce in termini informatici con istruzioni cicliche del tipo "if T< (poco T) then R = R + (10 minuti) else if T > (troppo T) then R=R-10 ".
La flessibilità delle regole decisionali permette di inventare svariati motori inferenziali , adattandoli alle necessità applicative con la definizione di soglie di decisione graduate su diversi livelli d'intervento .

2.1.3 Il modello di data fusion

Tramite tecniche di data fusion, basate su logica fuzzy, sono state implementate regole d'individuazione automatica delle cause connesse ad alcune tipologie di anomalie .
La prima fase del lavoro (Preprocessing) si è caratterizzata pertanto nella valutazione delle grandezze rilevate e delle pre-elaborazioni effettuate : innanzitutto il consumo elettrico anomalo dei fancoils, denominato P61 (outlier potenza elettrica fancoils); poi il preprocessing P51 ,che indica l'orario di lavoro; infine il preprocessing P24c che indica la percentuale di occupazione di piano (tab.2.1).

Tab.2.1-Tabella delle anomalie trattate nel preprocessing

consumo elettrico fan coil (kWh) (raffrescamento/riscaldamento)	**P61. Outlier potenza elettrica fancoils**
orario di lavoro	**P51. Working Schedule**
dati di afflusso	**P24c. Percentuale di presenza di piano**

Nella fase successiva, quella del Situation Assessment , sono definite le possibili situazioni determinate dall' aggregazione di una o più evidenze . Le situazioni prese in esame sono definite S2a (accensione di un elevato numero di fancoil) e S30 (alto numero di presenza di piano fuori orario di lavoro) (tab.2.2).

Tab.2.2 –Tabella degli eventi trattati

S2a.	**Accensione di un elevato numero di fan coil**
S30.	**Alto numero di presenza di piano fuori orario di lavoro**

L'ultima fase del processo è quella che consente di risalire alla causa delle anomalie come combinazione di una o più situazioni ipotizzate . Nel caso di studio , una possibile causa di consumo elettrico eccessivo dovuto ad un utilizzo non corretto dei fancoils è stata identificata come " l'occupante lascia i fan accesi al di fuori degli orari di lavoro" e denominata C27 (tab.2.3).

Tab.2.3-Tabella della causa dell'anomalia ipotizzata

C27. L'occupante lascia i fan accesi al di fuori degli orari di lavoro

Di seguito viene rappresentato l'albero decisionale (fig.2.2) :

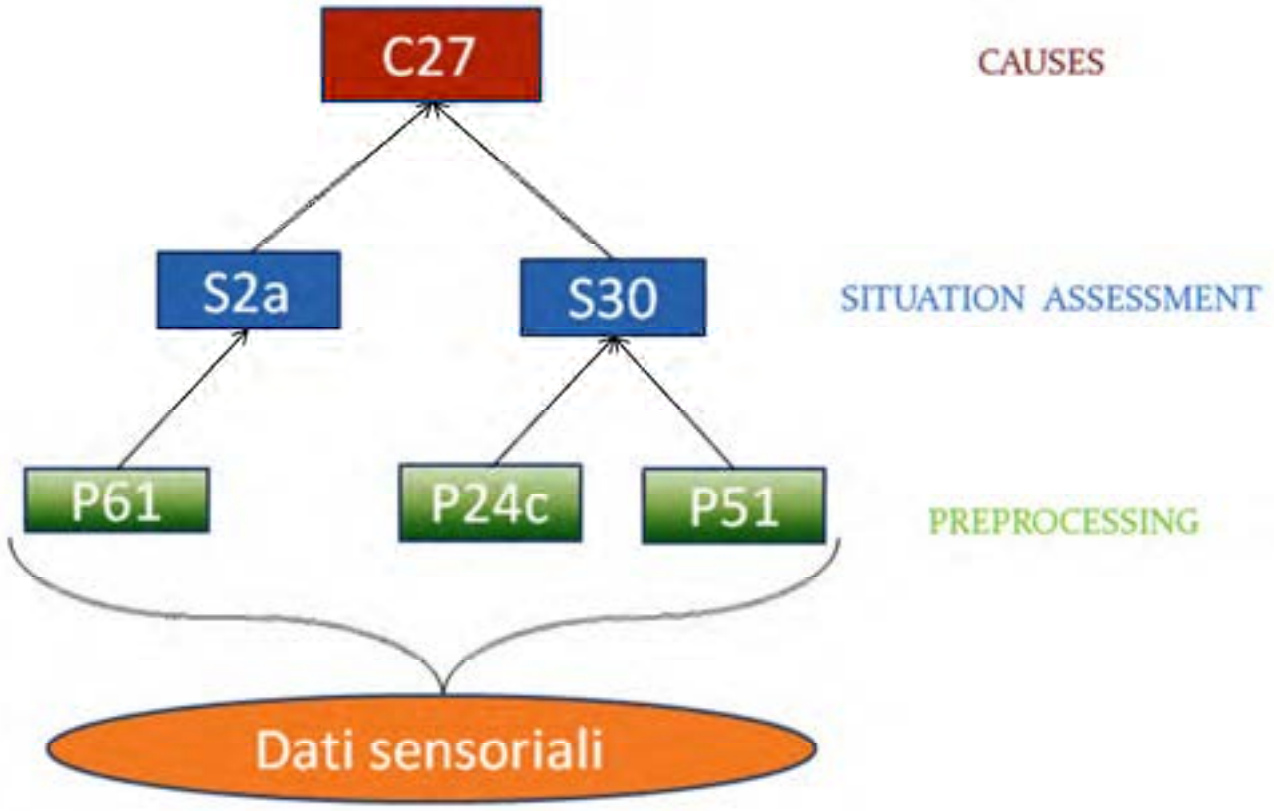


Fig.2.2- Sistema di rilevazione delle anomalie

La causa presa in considerazione è:

C27= "L'occupante lascia i fan accesi al di fuori degli orari di lavoro"

La causa C27,corrispondente a tale circostanza, è definita come:

C27=S2a AND NOT S30

dove: **S2a**="Accensione contemporanea di un numero eccessivo di fan-coil"

S30="Alto numero di presenza di piano fuori orario di lavoro"

A loro volta, S2a e S30 sono espresse tramite le seguenti relazioni:

S2a=P61
S30=P51 AND P24c

Si procede , quindi , alla fuzzyficazione dei preprocessing relativi all'analisi in questione .In primo luogo, sono definiti i seguenti fuzzy set, il cui argomento è il valore di potenza al minuto (kW/min):

F1= " E' stato rilevato un picco " = " il valore di Sfunction è alto "
F2= " E' stato rilevato un outlier " = " il valore del ModifiedZScore è alto "

Per la modellazione di tali funzioni si sono utilizzate funzioni di appartenenza sigmoidali , tipiche della logica fuzzy :

$$\boldsymbol{sigm(x) = \frac{1}{1 + e^{(-\frac{(x-c)}{t})}}}$$

Dove :

c ⟶ rappresenta l'ascissa del punto di flesso a cui corrisponde in ordinata un valore pari a 0.5
t ⟶ influisce sulla pendenza della curva nel punto di coordinate (c, 0.5)
x ⟶ è l'argomento della funzione sigmoidale

Per definire la funzione sigmoidale adeguata sono state svolte diverse prove finalizzate a realizzare una curva più idonea possibile al nostro caso. Come si evidenzia dal grafico (fig.2.3) la curva, variando il parametro c subisce una traslazione lungo l'asse delle ascisse, mentre all'aumentare del valore del parametro t si presenta sempre meno ripida.
Si è pervenuti quindi alla conclusione che la migliore soluzione fosse:

per F1 ⟶ **c=0,05 ,t=0,01**

per F2 ⟶ **c=2, t=1**

Per quanto riguarda l'argomento, x risulta di volta in volta il valore letto nella colonna Sfunction e MZscore del Database.

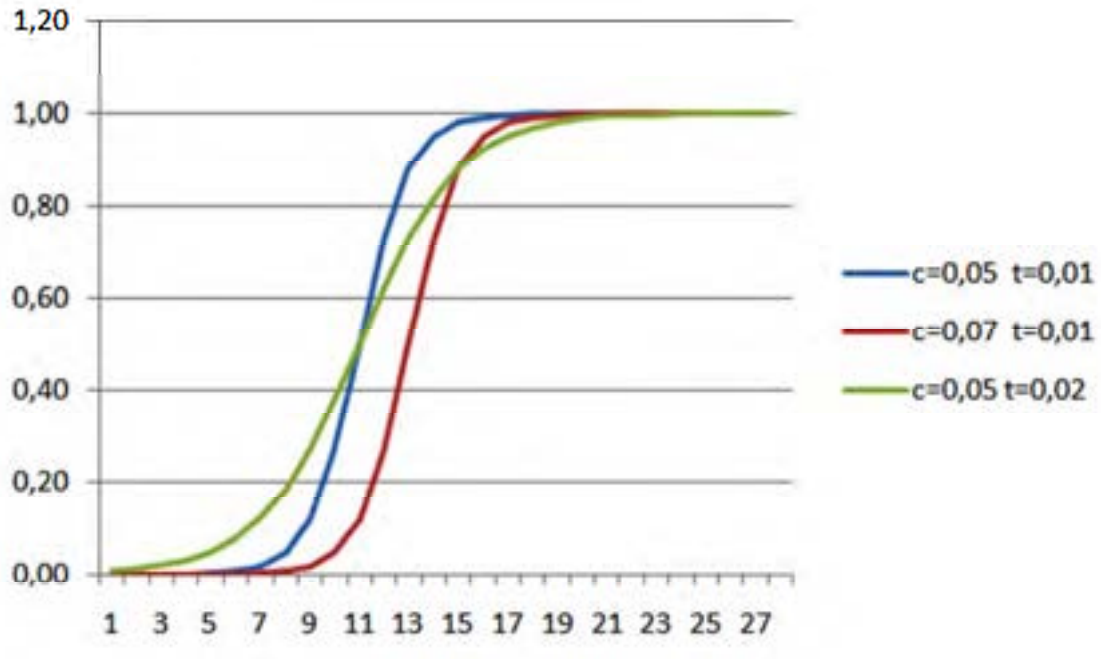


Fig.2.3- Confronto tra sigmoidi

- ✓ **P61:** individua solo le anomalie certe e si ricava attraverso l'operazione di AND logico tra F1 e F2 (matematicamente corrisponde al calcolo del minimo tra i due valori)

- ✓ **P24c :** non necessita di fuzzyficazione in quanto è già un valore sfumato in [0,1]

- ✓ **P51 :** mette in evidenza la condizione "fuori orario di lavoro" e si definisce attraverso la funzione inversa della funzione gaussiana **1-gauss(x)** essendo :

$$gauss(x) = e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

dove **μ** ⟶ media dei valori presi in esame ;
σ ⟶ deviazione standard che regola l'ampiezza della "campana";
x ⟶ argomento della funzione gaussiana.

Essendo **x** l'orario completo del giorno e di conseguenza **μ=12**,sono state effettuate delle prove per individuare il valore di **σ** più adeguato al caso di studio (fig.2.4). La scelta è ricaduta su **σ =6** e **μ=12**.

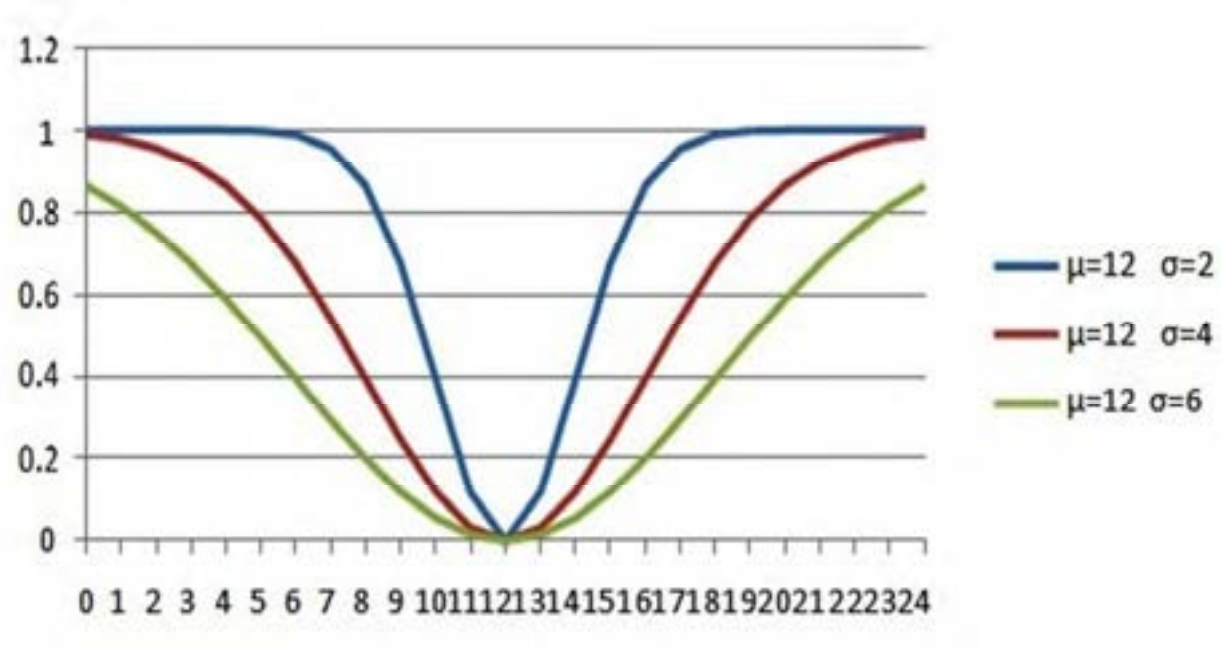


Fig.2.4-Funzioni gaussiane inverse a confronto

2.1.4 Analisi preliminare

Una volta viste le dinamiche del segnale di potenza attiva dei fancoil si è voluto verificare la robustezza della metodologia per un caso di anomalia certa , nota la causa a priori . Si è scelto un range di tempo specifico, dal 22 al 23 dicembre 2013 per l'analisi del segnale .
Per vedere se l'algoritmo correttamente individuasse le anomalie, si è provato a generare un picco elevato sul segnale della potenza attiva.
Il giorno 23 dicembre giorno feriale ma particolare , perché caratterizzato da bassa affluenza , tra le 10:30 e le 10:40 sono stati spenti tutti i fancoil del secondo piano dell'edificio F40 e, successivamente , è stato generato un picco di potenza accendendo gli stessi per 30 minuti fuori orario di lavoro e con un basso numero di stanze occupate .
In Fig.2.5 è possibile constatare l'andamento grafico della potenza attiva:

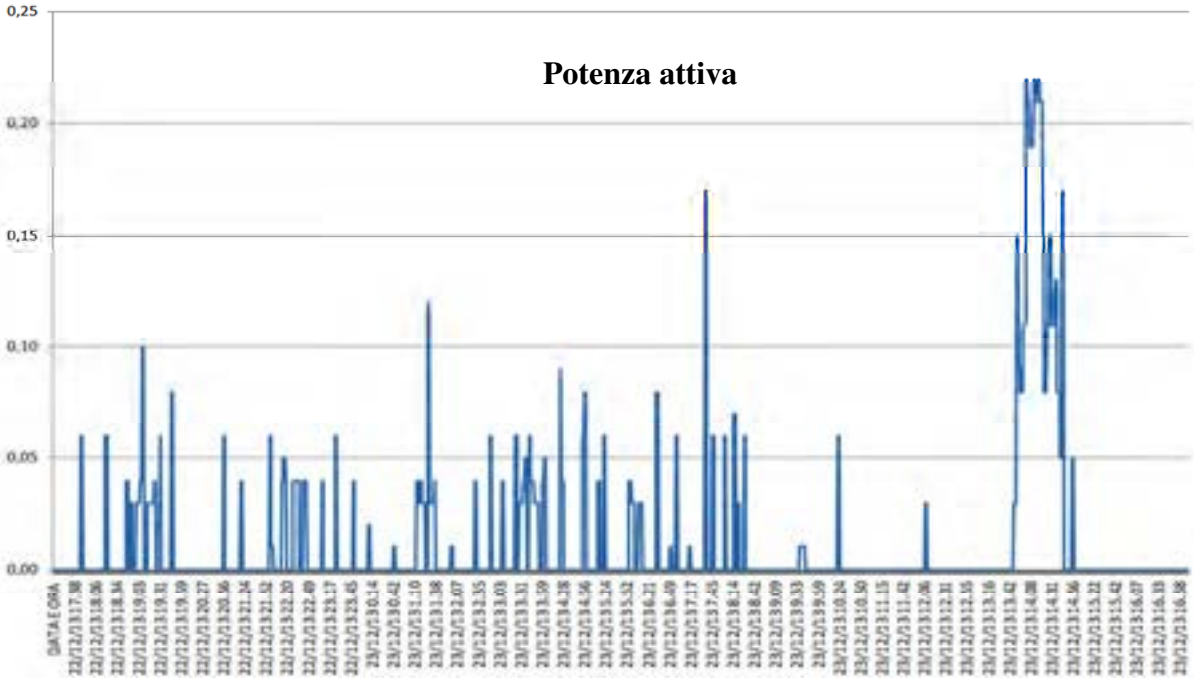


Fig.2.5-Potenza attiva fan-coil con anomalia generata

Tramite l'algoritmo di peak detection, si è proceduto a verificare se effettivamente i valori della Sfunction evidenziavano il picco, andando ad individuare le variazioni sulrange, al cui interno si trova il picco assoluto.

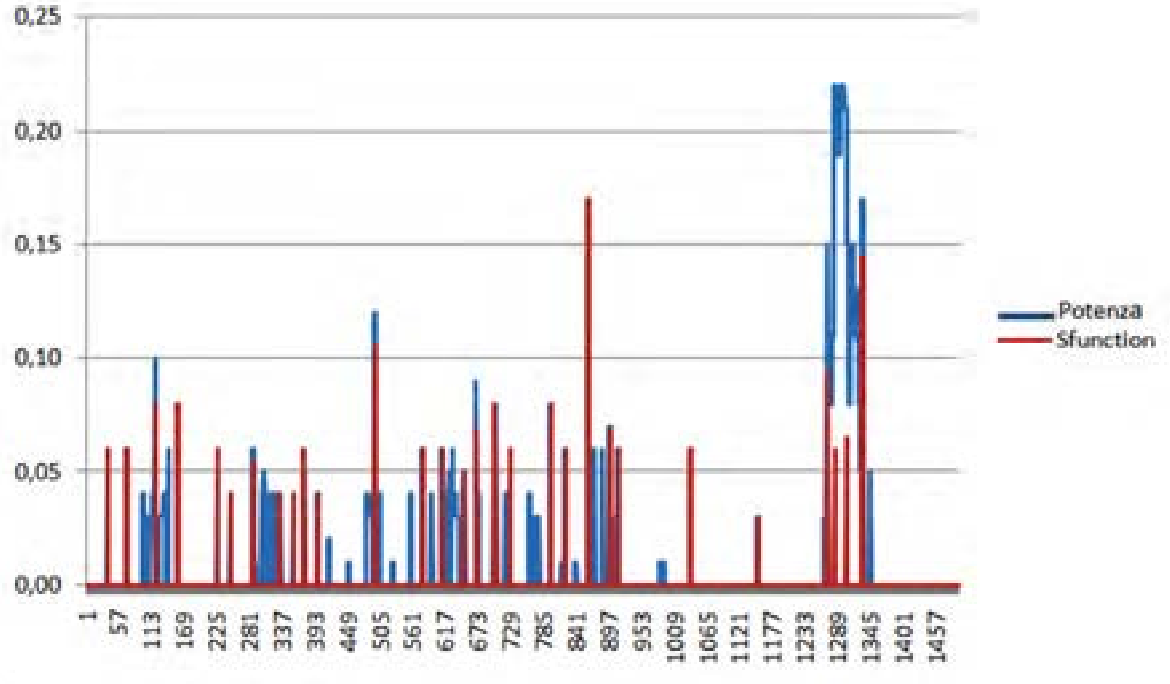


Fig. 2.6-Potenza attiva ed sfunction al minuto con h=1 e k=3

Dalla fig.2.6 possiamo notare in **blu** i valori del segnale originale della potenza attiva relativi al 22 e 23 dicembre 2013 ; in **rosso** si notano invece i valori della Sfunction che individuano le anomalie del segnale, cioè le variazioni.

Come si può vedere dalla figura, il settore dove non vi sono picchi corrisponde all'arco di tempo in cui i fancoil sono stati spenti, mentre nel momento in cui sono stati riattivati si registra un picco massimo, ovvero un'anomalia.

Anche in questo caso i dati sono stati forniti in txt ed elaborati tramite Netbeans per poter ricavare i valori di Sfunction. Si è potuto notare, intervenendo su k e h ed utilizzando un range più ampio,che Netbeans non elabora nessun valore di Sfunction.
La migliore condizione per la rilevazione di anomalie si ha quando si attribuiscono a k e h rispettivamente i valori 4 e 1 .
Nel grafico di figura 2.7 sono riportati i valori di potenza relativi ai giorni 22 e 23 dicembre campionati ad intervalli di 10 minuti con i picchi individuati nel caso k=4 e h=1.

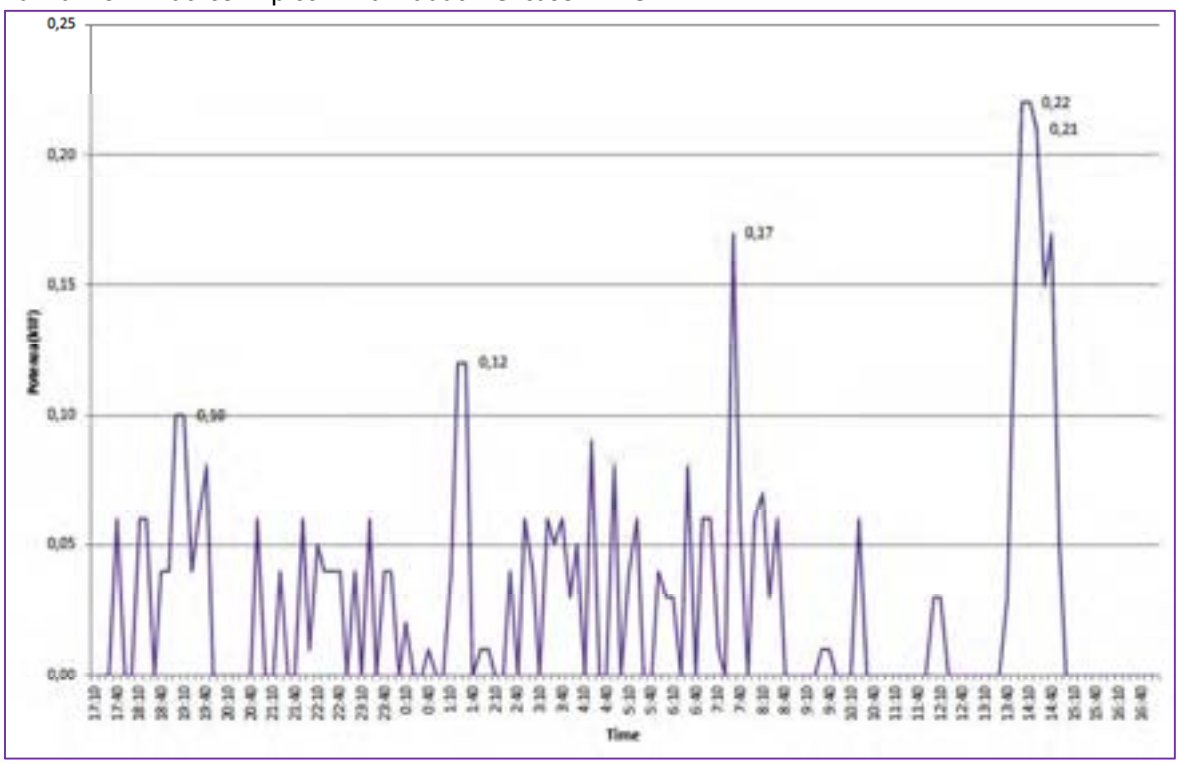


Fig.2.7- Potenza ogni 10 minuti k=4 e h=1

Mentre nel grafico sottostante (fig.2.8) vediamo come l'Sfunction segue il segnale di potenza massima identificando i picchi , e quindi le anomalie relative.

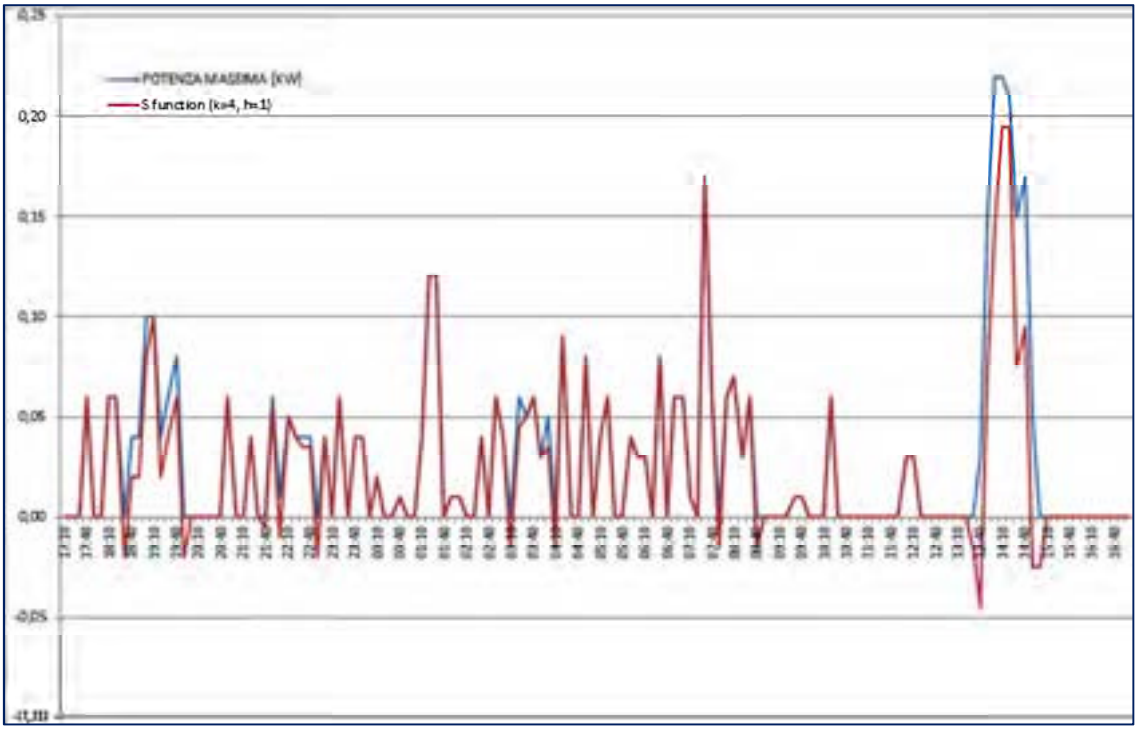


Fig.2.8- Potenza e Sfunction ogni 10 minuti k=4 e h=1

Vengono riportati di seguito in tabella 2.4 e graficamente in figura 2.9 alcuni dati che ci danno indicazioni sull'entità dell'anomalia tenendo conto delle presenze .
In particolare si nota che intorno alle 14:00, il valore di C27 aumenta notevolmente in corrispondenza dell'accensione contemporanea di tutti i fancoil.
In verde sono evidenziati i valori dell'anomalia che ritroveremo successivamente nell'analisi in Java.

Tab. 2.4- Risultati della sperimentazione condotta

Date	Hour	S function	Mzscore	F1	F2	P61	P24c	P51	S2a	S30	C27
23/12/2013	13:10	0,00	-0,70	0,01	0,21	0,01	0,17	0,04	0,01	0,04	0,01
23/12/2013	13:20	0,00	-0,70	0,01	0,21	0,01	0,17	0,05	0,01	0,05	0,01
23/12/2013	13:30	-0,02	-0,70	0,00	0,21	0,00	0,17	0,07	0,00	0,07	0,00
23/12/2013	13:40	-0,05	0,30	0,00	0,15	0,00	0,17	0,08	0,00	0,08	0,00
23/12/2013	13:50	0,08	4,3	0,95	0,9	0,9	0,17	0,1	0,9	0,1	0,9
23/12/2013	14:00	0,15	6,63	0,99	0,99	0,99	0,11	0,12	0,99	0,11	0,89
23/12/2013	14:10	0,19	5,17	0,99	0,95	0,95	0,11	0,13	0,95	0,11	0,89
23/12/2013	14:20	0,19	5	0,99	0,94	0,94	0,11	0,15	0,94	0,11	0,89
23/12/2013	14:30	0,08	4,3	0,95	0,9	0,9	0,11	0,17	0,9	0,11	0,89
23/12/2013	14:40	0,1	4,96	0,99	0,95	0,95	0,11	0,2	0,95	0,11	0,89
23/12/2013	14:50	-0,03	0,97	0,00	0,26	0,00	0,11	0,22	0,00	0,11	0,00
23/12/2013	15:00	-0,03	-0,70	0,00	0,21	0,00	0,06	0,25	0,00	0,06	0,00
23/12/2013	15:10	0,00	-0,70	0,01	0,21	0,01	0,06	0,27	0,01	0,06	0,01

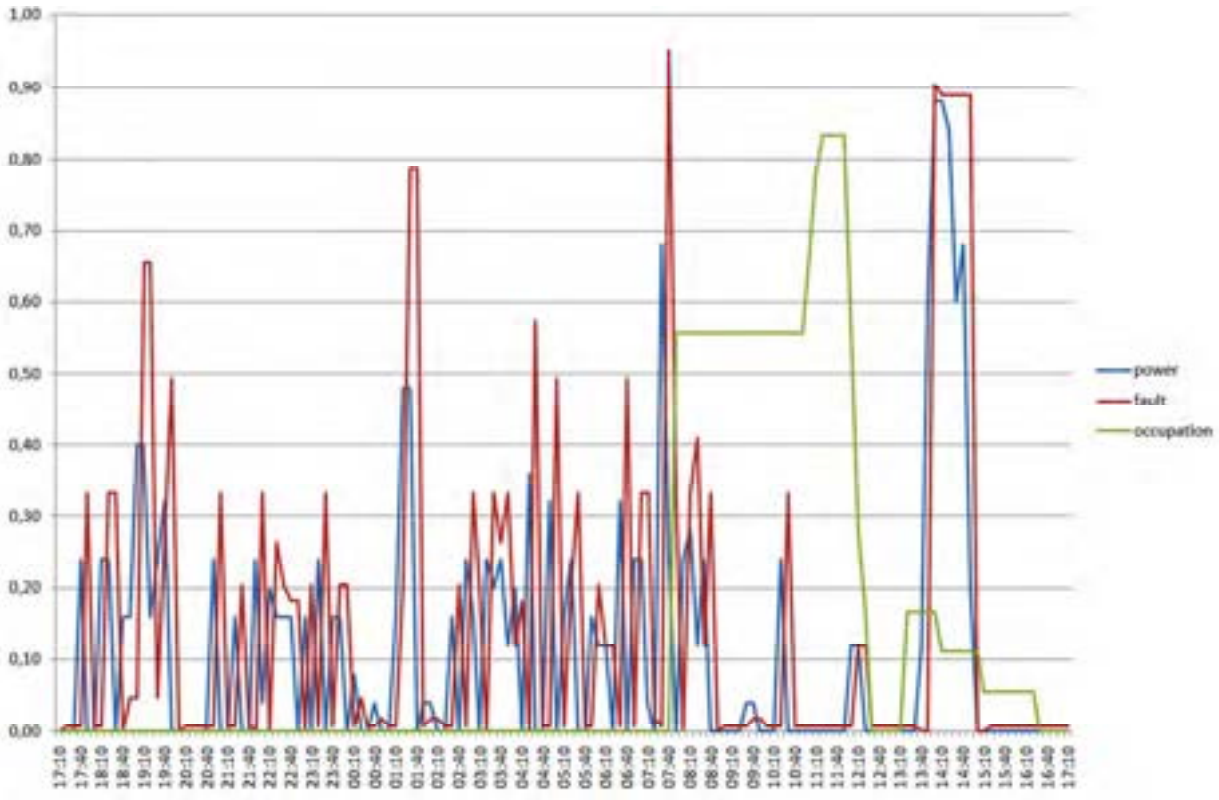


Fig.2.9- Grafico anomalia(C27) e presenze con k=4 e h=1

Nella tabella successiva (tab.2.5) sono riportati sinteticamente i diversi gradi di allarme che corrispondono ai valori di C27 (L'occupante lascia i fan accesi al di fuori degli orari di lavoro):

Tab.2.5 - Anomalie riscontrate (JAVA)

Date	Hour	S function	Mzscore	F1	F2	P61	P24c	P51	S2a	S30	C27
23/12/2013	01:30	0,12	3,30	1,00	0,79	0,79	0,00	0,97	0,79	0,00	0,79
23/12/2013	07:30	0,17	4,96	1,00	0,95	0,95	0,00	0,47	0,95	0,00	0,95
23/12/2013	14:10	0,19	5,17	0,99	0,95	0,95	0,11	0,13	0,95	0,11	0,89
23/12/2013	14:20	0,19	4,91	0,99	0,94	0,94	0,11	0,15	0,94	0,11	0,89

Considerando che la valutazione dell'entità dei picchi di consumo elettrico è correlato all'orario di lavoro ed al livello di occupazione degli ambienti, possiamo dire che la regola diagnostica implementata restituisce valori accettabili e coerenti .

I gradi di allarme più gravi (fig.2.10) si registrano infatti in corrispondenza di un basso livello di occupazione degli ambienti e quando tutti i fancoil vengono accesi contemporaneamente, intorno alle ore 14:00 del 23 Dicembre ; anche l'anomalia delle ore 1:30 appare logica , con l'indicatore C27 che assume il valore finale di 0,79. E' possibile , infatti , che durante la notte si abbia un picco di consumo in quanto l'edificio risulta vuoto.

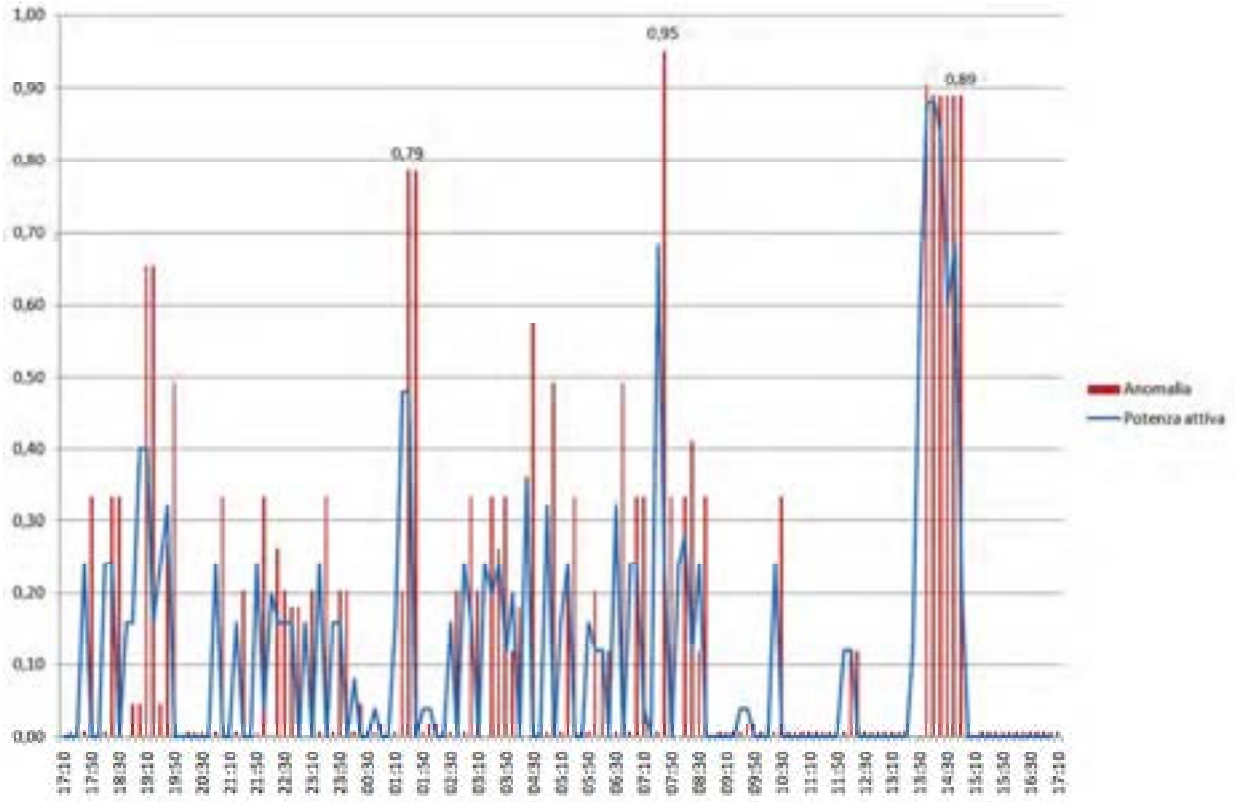


Fig.2.10-Gradi di allarme per le anomalie

Possiamo pertanto concludere che, dai risultati ottenuti , è evidente che l'espressione C27 = S2a AND NOT S30 restituisce valori coerenti con l'idea che sta alla base del processo diagnostico ipotizzato. La metodologia proposta risulta in grado di risalire correttamente alla causa che ha generato l'anomalia in esame, fornendo un valore sfumato del grado di allarme in funzione delle variabili che vengono monitorate.

2.1.5 Implementazione

Per verificare il funzionamento della regola diagnostica nella pratica, è stata implementata un'applicazione in codice Java in grado di gestire ed elaborare i dati rilevati per un'analisi dell'intero sistema . Prima di passare al database in tempo reale sono state fatte ulteriori prove in "locale" (off-line) tramite MySQL, per evitare che si creassero eventuali problemi sul database reale e nello stesso tempo per una verifica completa del codice Java. I dati presi in esame sono contenuti in una tabella di test del database smarttowndb e non rilevati in real time .Per effettuare un'analisi più accurata , è stato implementato un metodo per calcolare in modo preciso le presenze effettive nel periodo di tempo preso in considerazione associando ai dati rilevati un codice identificativo. Di seguito (fig.2.11) viene riportato il diagramma EER dove sono rappresentate le correlazioni tra le varie tabelle che rientrano nel processo di rilevamento delle anomalie.

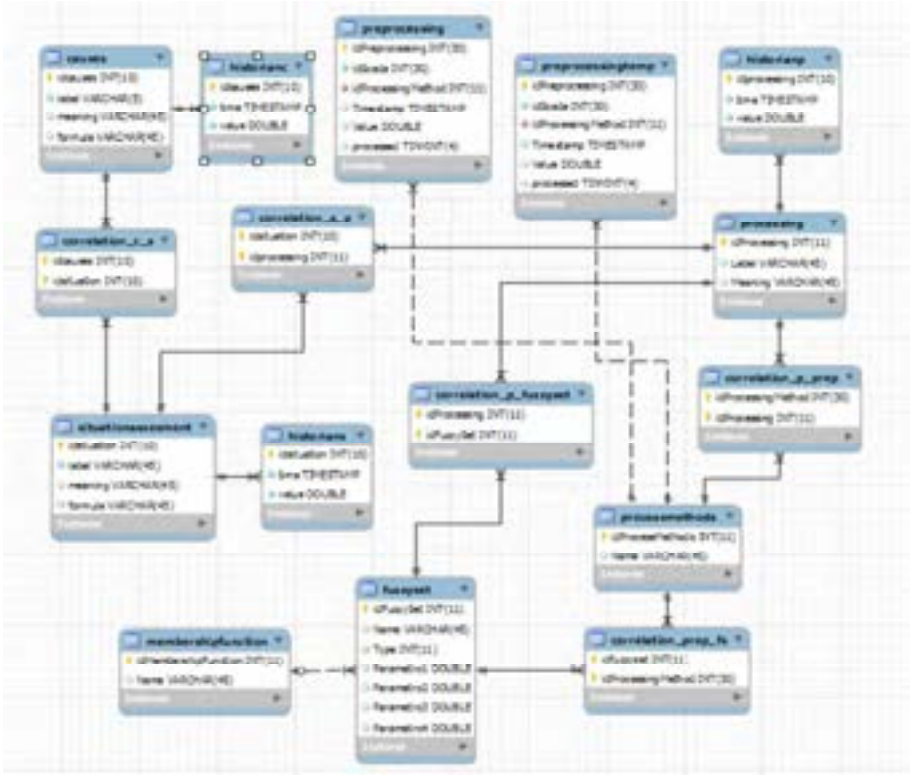


Fig.2.11- Diagramma EER

Vediamo in dettaglio i contenuti delle tabelle e le loro funzioni:

- *Preprocessing :* contiene dati sperimentali inviati in base al rispettivo timestamp, che vengono analizzati e sottoposti ad ulteriori operazioni di calcolo. All'interno sono presenti i valori di Sfunction e Mzscore relativi ai picchi;

- *Fuzzyset*: contiene i parametri relativi alle diverse operazioni di fuzzyficazione dei dati, espresse in processmethods e membershipfunction;

- *Processing, situation assesment, causes* individuano e identificano le evidenze (P), le situazioni(S) , le cause(C) e le operazioni matematiche che le legano;

- *Correlation_c_s,correlation_s_p,correlation_pfuzzyset*, correlation_p_prep,correlation_prep_fs esprimono le correlazioni che sussistono tra tutte le grandezze in gioco durante l'analisi di diagnostica;

- *Historianp, historians, historianc*: segnalano i valori anomali eventualmente riscontrati.

Il thread DBlinkerthread, durante il suo ciclo operativo si collega inizialmente al Database locale, dove sono presenti tutti i dati dell'edificio F40 divisi in tabelle,con i valori relativi al meteo,potenza attiva, energia attiva ,allarmi,ecc… .Quest'operazione fa riferimento alla classe DataBaseManager appartenente al pacchetto datacommunication, ove vi sono variabili di istanza (o attributi) privati, per la definizione dei parametri necessari alla connessione al DB(nome,URL,username,password) (Fig.2.12) .

```
private String DbName;
private String URL;
private String user;
private String password;
private DataBaseManager serverDbManager;
private Connection serverConnection;
```

Fig.2.12-Variabili di istanza privati per la connessione al DB

Vengono utilizzati metodi pubblici (utilizzabili anche da altre classi) in grado di eseguire diverse funzionalità:

`public void connectToDB()`	gestiscono la connessione e disconnessione al DB
`public void disconnectFromDB()`	

Infine vi sono i metodi che svolgono le operazioni su Database MySQL:

`public ResultSet executeQuery(String query)`	operazioni di select sul Database
`public int executeUpdate(String update)`	operazioni di aggiornamento sul DB come modifica /cancellazione di campi o record di tabelle
`public ResultSet executeOperation(String operation)`	qualsiasi operazione di cui non sia noto a priori l'effetto sul DB

Completata la connessione al Database (MySQL), il thread legge in automatico ed in modo cronologico la tabella "historian" dove sono registrati tutti i dati presenti in **smarttowndb**.
Il thread (**DBlinkerthread**) tramite la query indicata:

```
String query1= "SELECT h.ID, h.Timestamp, h.Value FROM "+this.DbName+".historian h"
```

seleziona l' Id, Timestamp e valori di potenza attiva dei fancoils del piano d'interesse (nel nostro caso il secondo piano con id = 272) dalla tabella "historian" presente nel database .
Una volta selezionati questi dati e l'id, i valori di Sfunction e MZscore, cioè i valori relativi ai picchi, vengono inseriti in una tabella "preprocessing " del database, di timestamp in timestamp, simulando il funzionamento in tempo reale (fig.2.13):

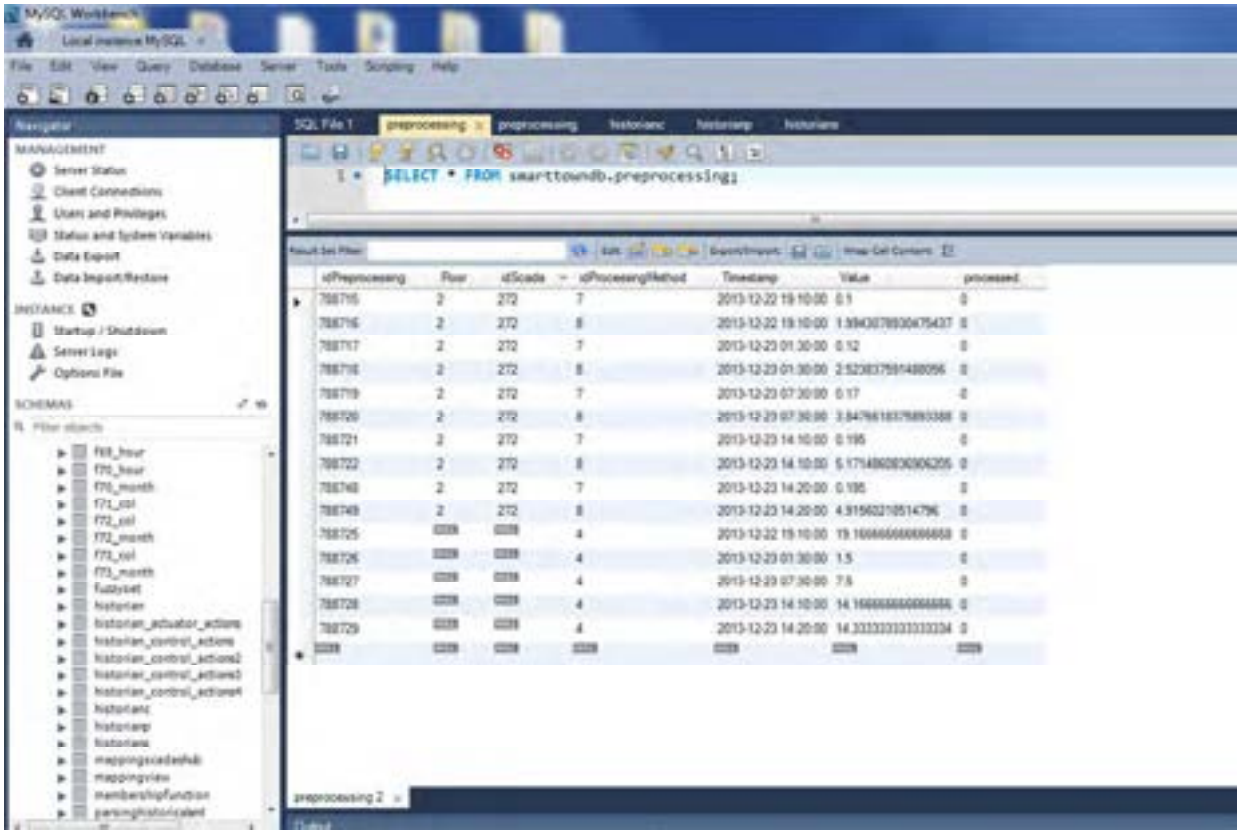


Fig.2.13-Tabella preprocessing in MySQL Workbench

Oltre all'id relativo al piano secondo , sono presenti nell'idProcessingMethod due valori "7" e "8" che indicano rispettivamente le due funzioni Sfunction e MZscore relative alla potenza attiva dei fancoil, come di seguito evidenziati (fig.2.14) :

idProcessMethods	Name
8	PeakMZSCSeem_Fancoil
7	PeakSfunct_Fancoil

Fig.2.14-Codici di idProcessingMethod

Entrambi gli indici PeakSfunct_Fancoil e PeakMZSCeem_Fancoil verranno fuzzificati con i parametri (0,05 e 0,01) e (2 e 1) già definiti nel paragrafo precedente.(Fig.2.15)

idFuzzySet	Name	Type	Parametro1	Parametro2
1	PeakSfunct_light	1	0.08	0.1
2	PeakMZSCSeem_light	1	10	8
3	WorkingHours	2	12	4
4	AnnResidual_light	1	1	1
5	PeakSfunct_Fancoil	1	0.05	0.01
6	PeakMZSCSeem_Fancoil	1	2	1
7	WorkingHours_Fancoil	2	12	4

Fig.2.15-Parametri di fuzzificazione

L'operazione di AND logico applicata ai suddetti risultati restituisce l'evidenza P61. Viene effettuata la fuzzyficazione anche del Working Schedule, inserito in preprocessing con idProcessingMethod= 4, relativo al medesimo timestamp per ottenere la P51 (Fig.2.16)

idPreprocessing	Floor	idScada	idProcessingMethod	Timestamp	Value	processed
788715	2	272	7	2013-12-22 19:10:00	0.1	0
788716	2	272	8	2013-12-22 19:10:00	1.9943078930475437	0
788717	2	272	7	2013-12-23 01:30:00	0.12	0
788718	2	272	8	2013-12-23 01:30:00	2.523837591488056	0
788719	2	272	7	2013-12-23 07:30:00	0.17	0
788720	2	272	8	2013-12-23 07:30:00	3.8476618375893388	0
788721	2	272	7	2013-12-23 14:10:00	0.195	0
788722	2	272	8	2013-12-23 14:10:00	5.1714860836906205	0
788748	2	272	7	2013-12-23 14:20:00	0.195	0
788749	2	272	8	2013-12-23 14:20:00	4.91560218514796	0
788725	NULL	NULL	4	2013-12-22 19:10:00	19.166666666666668	0
788726	NULL	NULL	4	2013-12-23 01:30:00	1.5	0
788727	NULL	NULL	4	2013-12-23 07:30:00	7.5	0
788728	NULL	NULL	4	2013-12-23 14:10:00	14.166666666666666	0
788729	NULL	NULL	4	2013-12-23 14:20:00	14.333333333333334	0
NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Fig.2.16-Acquisizione e analisi dati in pseudo tempo reale

Nella fase successiva si interviene sul thread"Diagnostics ", per la determinazione delle situations, sulla base della combinazione delle evidenze, per risalire alle cause connesse alle anomalie rilevate, secondo l'albero decisionale della figura 5.10 del paragrafo precedente. Tale thread lavora concorrentemente al thread "DBlinkerthread"ed è in grado di leggere e scrivere sul database .
Nel thread Diagnostics si procede dal **processing** , nel quale sono analizzati le grandezze relative alla potenza elettrica fancoils al dato di presenza normalizzato e all'orario di lavoro (fig.2.17).

idProcessing	Label	Meaning
1	P1a	NULL
2	P1b	NULL
3	P8a	NULL
4	P8b	NULL
5	P51	Orario di lavoro
6	P24c	% stanze occupate
7	P59	% punti stanza > 500 lux
8	P60	Residuo elevato
9	P61	Outlier potenza elettrica fancoils

Fig.2.17- Processing

Si passa alla determinazione delle **situations** attraverso l'aggregazione di una o più evidenze specificate nel processing come di seguito:

```
case 2: s=S30(P[5],P[6]);
break;
case 5: s=S2a(P[9]);
break;
```

Le situazioni prese in esame, identificate con S2a e S30 , sono riconducibili a combinazioni di misure dei processing determinate in precedenza, come si evidenzia nella tabella riportata di seguito (fig.2.18). (N.B. gli indici dell'array P indicano i valori di idprocessing a cui la situations fa riferimento).

idsituation	label	meaning	formula
1	S1a	NULL	P1a OR P1b OR (0.7P8a + 0.3P8b)
2	S30	NULL	P51 AND P24c
5	S2a	Accensione di un elevato numero di fan coil	P61
4	S1c	Consumo anomalo	P1a OR P1b OR (0.7P8a + 0.3P8b) OR P60
3	S33a	Irraggiamento naturale sufficiente	P59

Fig.2.18-Situations assessment

L'ultima fase del processo diagnostico è quella della valutazione dell'entità della causa (causes) associata all'anomalia, sulla base delle situazioni ipotizzate .

```
    case 3: c=C27(S[5],S[2]);
    break;
    default: c=0;
        break;
}
C[idCause]=c;
if (C[idCause]>=0.5){
```

Nel codice Java illustrato, la routine per il calcolo di C27 è legata all'array S. Gli indici dell'array S indicano l'IdSituations della fig.5.22 . Viene fissata nel codice una soglia pari a 0,5 che, se superata dall'indicatore C27 rileva che si è in presenza di un'anomalia, il cui livello di gravità è determinato dal divario dal limite stesso. Sotto viene riportata la tabella relativa alle causes (fig.2.19):

idcauses	label	meaning	formula
1	C13a	Luci accese al di fuori degli orari di lavoro	S1a AND NOT S30
2	C53	Luci accese in orario di lavoro con illuminazione esterna sufficiente	S1c AND S33a
3	C27	L'occupante lascia i fan accesi al di fuori degli orari di lavoro	S2a AND NOT S30

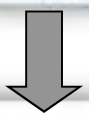
Fig.2.19-Causes

I dati elaborati vengono riportati in automatico nelle tabelle historianp, historians e historianc (fig.2.20) con i valori relativi ai parametri C27, S30 , S2a, P51, P24c e P61.

Vediamo di seguito le segnalazioni delle anomalie rilevate alle 14:10 e 14:20 del 23/12/2013:

idhistorianp	idprocessing	Floor	time	value
7	5	2	2013-12-23 14:10:00	0.13644819491668148
8	6	2	2013-12-23 14:10:00	0.1111111111111111
9	9	2	2013-12-23 14:10:00	0.9597470351896251
10	5	2	2013-12-23 14:20:00	0.1564523509357656
11	6	2	2013-12-23 14:20:00	0.1111111111111111
12	9	2	2013-12-23 14:20:00	0.9481776931739504

idhistorians	idsituation	Floor	time	value
5	2	2	2013-12-23 14:10:00	0.1111111111111111
6	5	2	2013-12-23 14:10:00	0.9597470351896251
7	2	2	2013-12-23 14:20:00	0.1111111111111111
8	5	2	2013-12-23 14:20:00	0.9481776931739504



idhistoranc	idcauses	label	meaning	Floor	time	value	sync
3	3	C27	L'occupante lascia i fan accesi al di fuori degli orari di lavoro	2	2013-12-23 14:10:00	0.0000000000000000	0
4	3	C27	L'occupante lascia i fan accesi al di fuori degli orari di lavoro	2	2013-12-23 14:20:00	0.0000000000000000	0

Fig.2.20-Segnalazione delle anomalie

I valori che troviamo nelle seguenti tabelle corrispondono perfettamente a quelli della tabella 5.4 relativa alla fase di sperimentazione, a conferma della validità del metodo diagnostico implementato.

2.2 Sperimentazione : diagnostica climatizzazione

Dopo aver verificato l'efficacia del metodo diagnostico in un arco di tempo di 24 ore dal giorno 22 al 23 dicembre 2013, individuando i picchi di consumo elettrico dei fan coil del piano secondo e la relativa causa identificata con C27, cioè " l'occupante lascia i fan coil accesi al di fuori dell'orario di lavoro ", si è ritenuto opportuno procedere ad una ulteriore verifica della metodologia utilizzata , tramite l'elaborazione dei dati reali sui consumi relativi a tutti e tre i piani dell'edificio F40, in un arco di tempo più ampio, dal 15/11/2013 al 15 /3/ 2014 ,con una cadenza temporale di 10 minuti.
Si è intervenuti ancora una volta sul codice Java apportando le opportune modifiche e sono state attivate tutte le operazioni eseguite nella fase di sperimentazione precedentemente indicate . Sono stati estratti i dati dal database , elaborati e riempite in automatico le varie tabelle a partire dal preprocessing, fino a completare le tabelle historians, historianp e historianc.

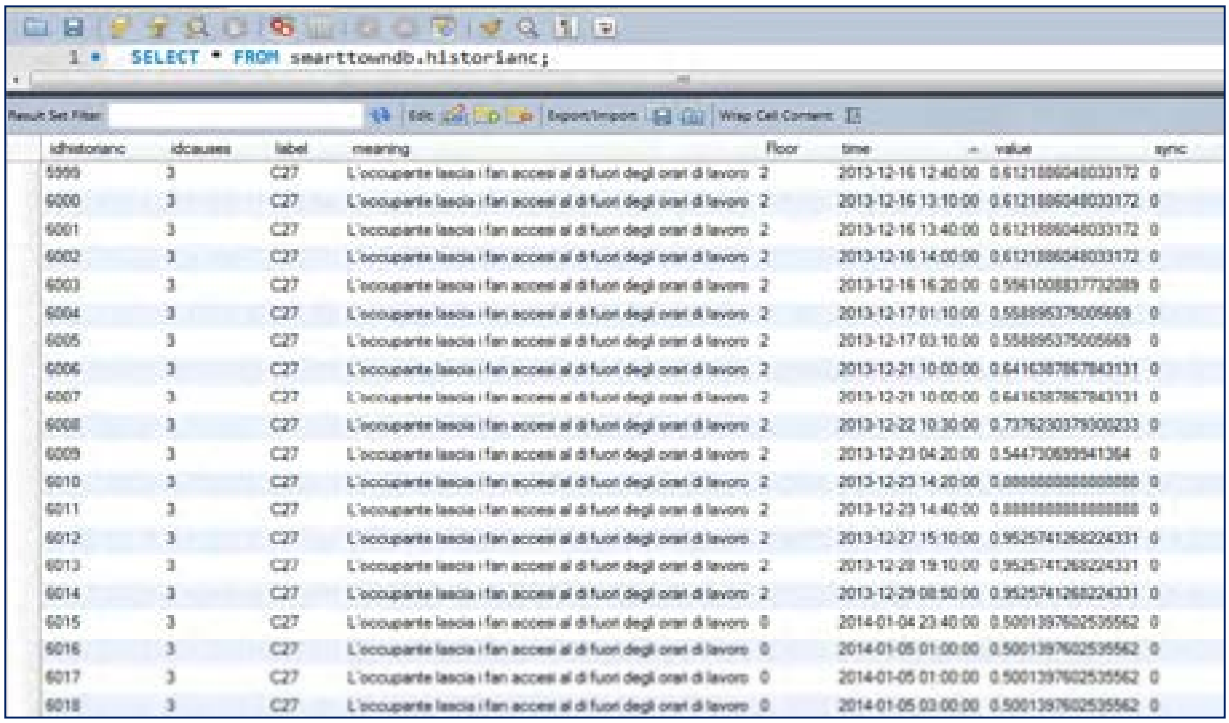


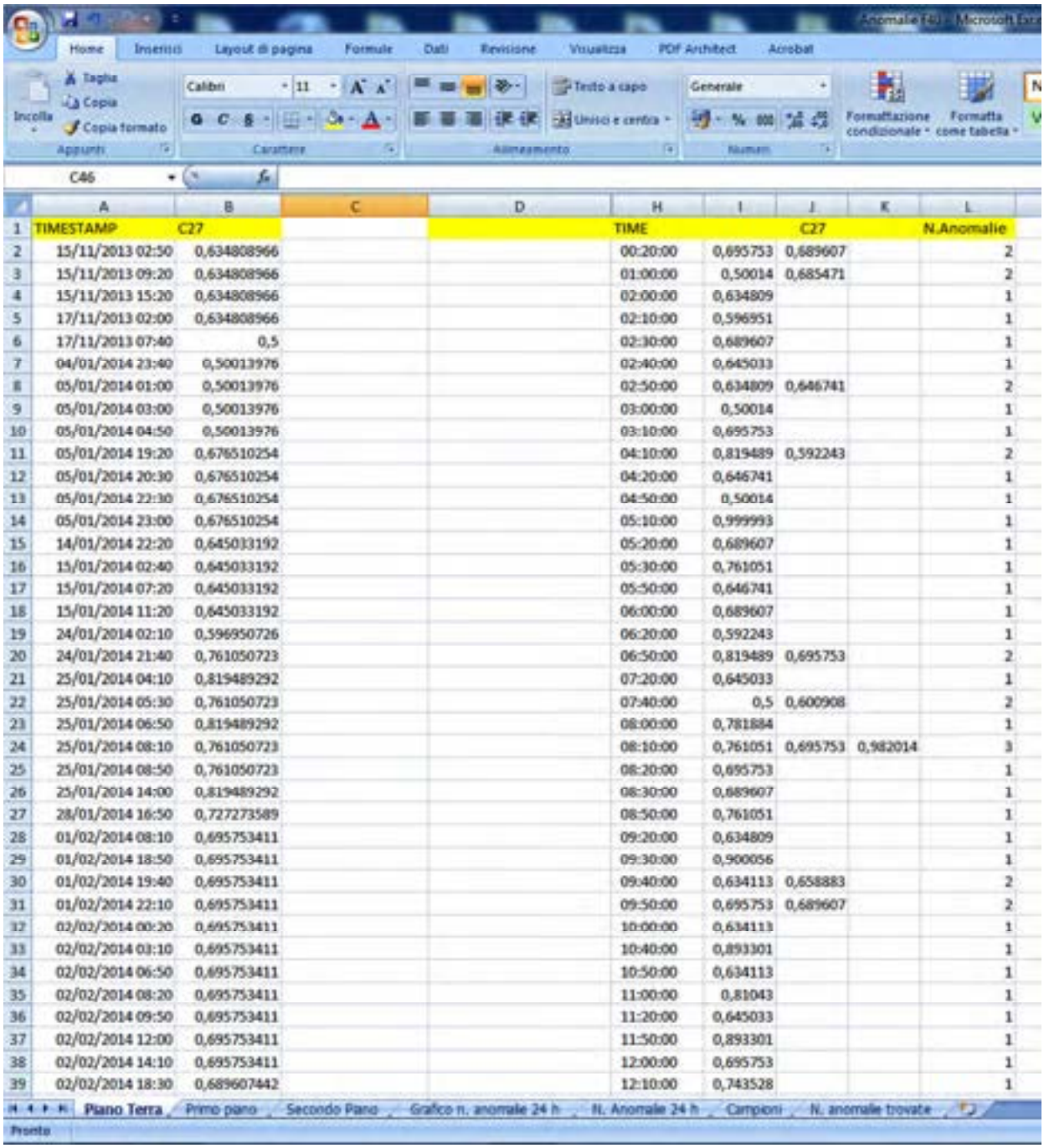
Fig.2.21-Alcune delle anomalie rilevate

In historianc in MySQL , ritroviamo tutti i valori anomali di consumo elettrico relativi ai fan coil dei tre piani dell'edificio, compresi quelli rilevati nella precedente sperimentazione del 23/12/2013 con il valore 0.888 corrispondente a C 27(tab. 5.24).
Nella figura 2.21 sono riportati solo una parte dei dati del piano terra e del secondo piano; la tabella historianc infatti , relativamente al periodo compreso tra il 15/11/2013 e il 15/03/2014, evidenzia complessivamente ben 198 anomalie .
I valori anomali rilevati dalla tabella historianc sono stati riportati in Excel , ripartiti per piano, con l'indicazione del timestamp , per poter effettuare successivamente una serie di analisi dei dati per sapere :

- ✓ Come sono distribuite le anomalie sui tre piani dell'edificio F40;
- ✓ In quale fascia oraria sono maggiormente concentrate ;
- ✓ Quali sono le anomalie con indicatori di gravità più elevata.

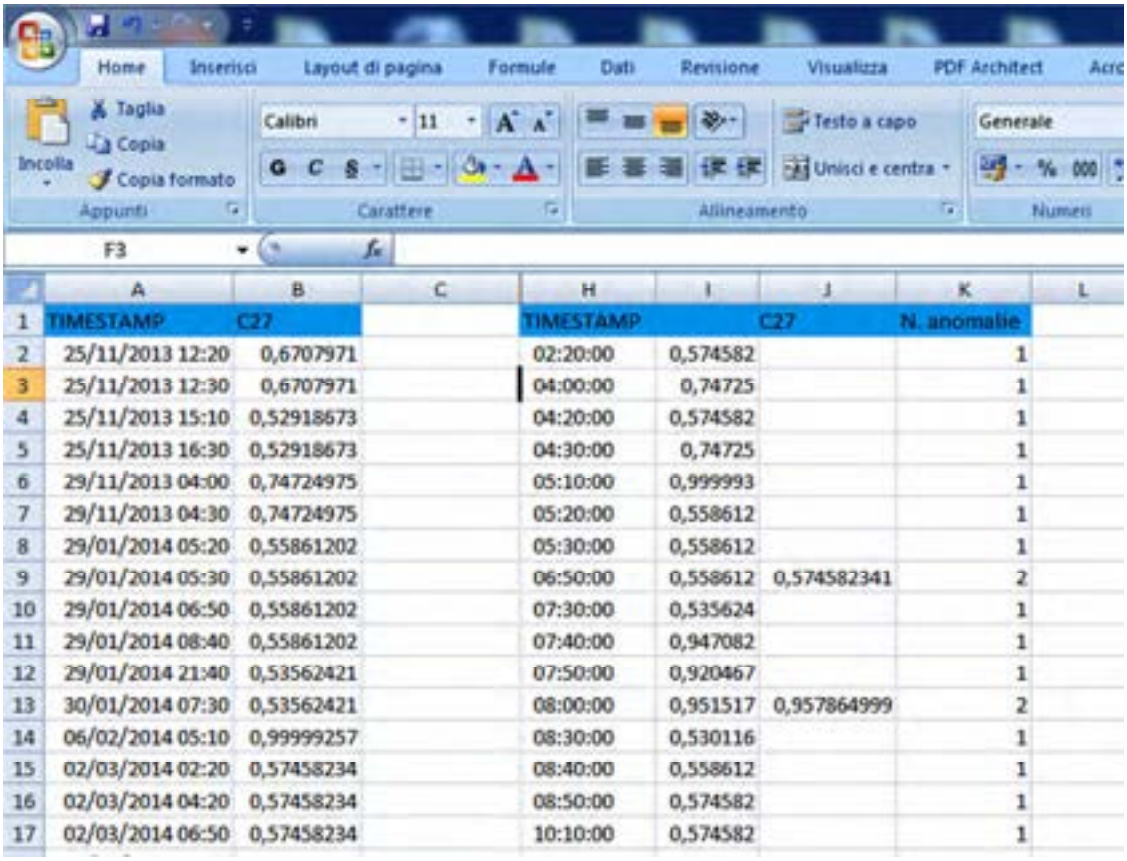
2.2.1 Distribuzione delle anomalie per piano

Nelle figure (2.22-2.23-2.24) sono riportate parte delle anomalie relative al piano terra, primo e secondo piano , con i rispettivi valori .



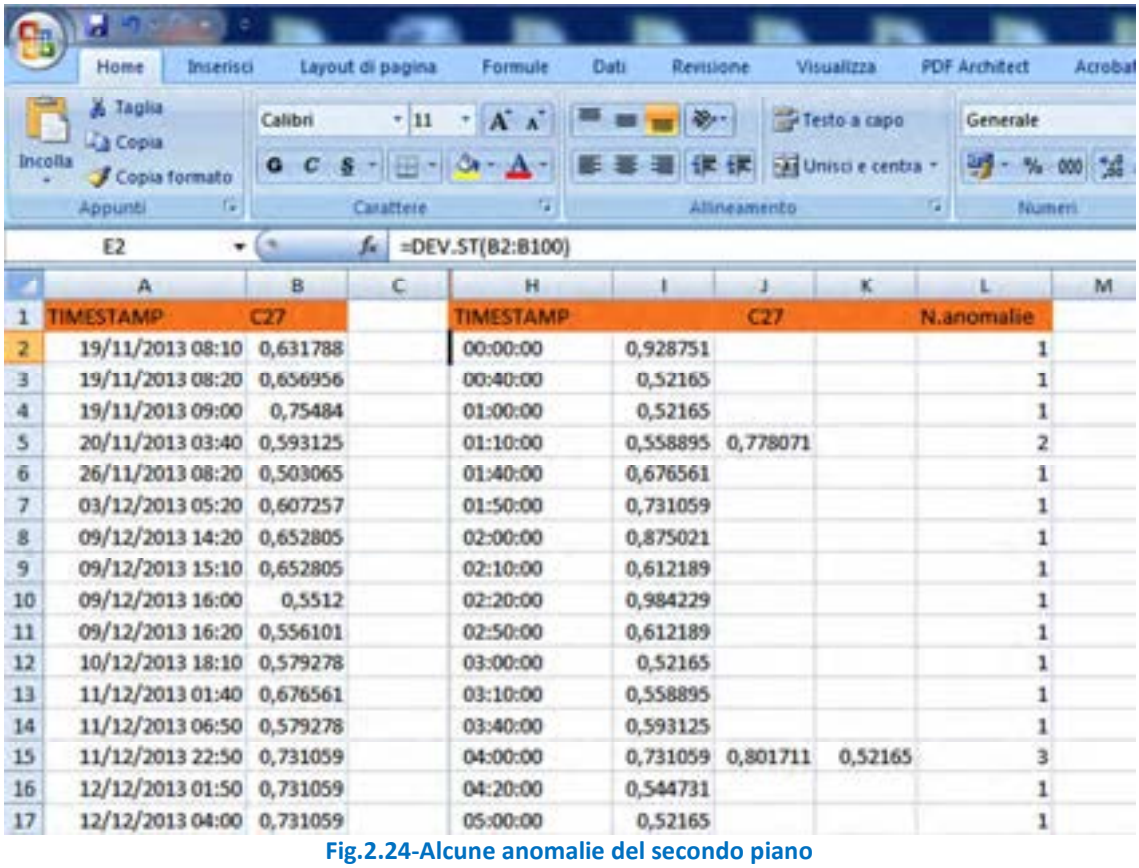
	A	B	C	D	H	I	J	K	L
1	TIMESTAMP	C27			TIME		C27		N.Anomalie
2	15/11/2013 02:50	0,634808966			00:20:00	0,695753	0,689607		2
3	15/11/2013 09:20	0,634808966			01:00:00	0,50014	0,685471		2
4	15/11/2013 15:20	0,634808966			02:00:00	0,634809			1
5	17/11/2013 02:00	0,634808966			02:10:00	0,596951			1
6	17/11/2013 07:40	0,5			02:30:00	0,689607			1
7	04/01/2014 23:40	0,50013976			02:40:00	0,645033			1
8	05/01/2014 01:00	0,50013976			02:50:00	0,634809	0,646741		2
9	05/01/2014 03:00	0,50013976			03:00:00	0,50014			1
10	05/01/2014 04:50	0,50013976			03:10:00	0,695753			1
11	05/01/2014 19:20	0,676510254			04:10:00	0,819489	0,592243		2
12	05/01/2014 20:30	0,676510254			04:20:00	0,646741			1
13	05/01/2014 22:30	0,676510254			04:50:00	0,50014			1
14	05/01/2014 23:00	0,676510254			05:10:00	0,999993			1
15	14/01/2014 22:20	0,645033192			05:20:00	0,689607			1
16	15/01/2014 02:40	0,645033192			05:30:00	0,761051			1
17	15/01/2014 07:20	0,645033192			05:50:00	0,646741			1
18	15/01/2014 11:20	0,645033192			06:00:00	0,689607			1
19	24/01/2014 02:10	0,596950726			06:20:00	0,592243			1
20	24/01/2014 21:40	0,761050723			06:50:00	0,819489	0,695753		2
21	25/01/2014 04:10	0,819489292			07:20:00	0,645033			1
22	25/01/2014 05:30	0,761050723			07:40:00	0,5	0,600908		2
23	25/01/2014 06:50	0,819489292			08:00:00	0,781884			1
24	25/01/2014 08:10	0,761050723			08:10:00	0,761051	0,695753	0,982014	3
25	25/01/2014 08:50	0,761050723			08:20:00	0,695753			1
26	25/01/2014 14:00	0,819489292			08:30:00	0,689607			1
27	28/01/2014 16:50	0,727273589			08:50:00	0,761051			1
28	01/02/2014 08:10	0,695753411			09:20:00	0,634809			1
29	01/02/2014 18:50	0,695753411			09:30:00	0,900056			1
30	01/02/2014 19:40	0,695753411			09:40:00	0,634113	0,658883		2
31	01/02/2014 22:10	0,695753411			09:50:00	0,695753	0,689607		2
32	02/02/2014 00:20	0,695753411			10:00:00	0,634113			1
33	02/02/2014 03:10	0,695753411			10:40:00	0,893301			1
34	02/02/2014 06:50	0,695753411			10:50:00	0,634113			1
35	02/02/2014 08:20	0,695753411			11:00:00	0,81043			1
36	02/02/2014 09:50	0,695753411			11:20:00	0,645033			1
37	02/02/2014 12:00	0,695753411			11:50:00	0,893301			1
38	02/02/2014 14:10	0,695753411			12:00:00	0,695753			1
39	02/02/2014 18:30	0,689607442			12:10:00	0,743528			1

Fig.2.22-Alcune anomalie piano terra



	A	B	C	H	I	J	K	L
1	TIMESTAMP	C27		TIMESTAMP		C27	N. anomalie	
2	25/11/2013 12:20	0,6707971		02:20:00	0,574582		1	
3	25/11/2013 12:30	0,6707971		04:00:00	0,74725		1	
4	25/11/2013 15:10	0,52918673		04:20:00	0,574582		1	
5	25/11/2013 16:30	0,52918673		04:30:00	0,74725		1	
6	29/11/2013 04:00	0,74724975		05:10:00	0,999993		1	
7	29/11/2013 04:30	0,74724975		05:20:00	0,558612		1	
8	29/01/2014 05:20	0,55861202		05:30:00	0,558612		1	
9	29/01/2014 05:30	0,55861202		06:50:00	0,558612	0,574582341	2	
10	29/01/2014 06:50	0,55861202		07:30:00	0,535624		1	
11	29/01/2014 08:40	0,55861202		07:40:00	0,947082		1	
12	29/01/2014 21:40	0,53562421		07:50:00	0,920467		1	
13	30/01/2014 07:30	0,53562421		08:00:00	0,951517	0,957864999	2	
14	06/02/2014 05:10	0,99999257		08:30:00	0,530116		1	
15	02/03/2014 02:20	0,57458234		08:40:00	0,558612		1	
16	02/03/2014 04:20	0,57458234		08:50:00	0,574582		1	
17	02/03/2014 06:50	0,57458234		10:10:00	0,574582		1	

Fig.2.23-Alcune anomalie del primo piano



	A	B	C	H	I	J	K	L	M
1	TIMESTAMP	C27		TIMESTAMP		C27		N.anomalie	
2	19/11/2013 08:10	0,631788		00:00:00	0,928751			1	
3	19/11/2013 08:20	0,656956		00:40:00	0,52165			1	
4	19/11/2013 09:00	0,75484		01:00:00	0,52165			1	
5	20/11/2013 03:40	0,593125		01:10:00	0,558895	0,778071		2	
6	26/11/2013 08:20	0,503065		01:40:00	0,676561			1	
7	03/12/2013 05:20	0,607257		01:50:00	0,731059			1	
8	09/12/2013 14:20	0,652805		02:00:00	0,875021			1	
9	09/12/2013 15:10	0,652805		02:10:00	0,612189			1	
10	09/12/2013 16:00	0,5512		02:20:00	0,984229			1	
11	09/12/2013 16:20	0,556101		02:50:00	0,612189			1	
12	10/12/2013 18:10	0,579278		03:00:00	0,52165			1	
13	11/12/2013 01:40	0,676561		03:10:00	0,558895			1	
14	11/12/2013 06:50	0,579278		03:40:00	0,593125			1	
15	11/12/2013 22:50	0,731059		04:00:00	0,731059	0,801711	0,52165	3	
16	12/12/2013 01:50	0,731059		04:20:00	0,544731			1	
17	12/12/2013 04:00	0,731059		05:00:00	0,52165			1	

Fig.2.24-Alcune anomalie del secondo piano

Il grafico 2.25 riassume per ogni piano il numero di anomalie verificatesi :

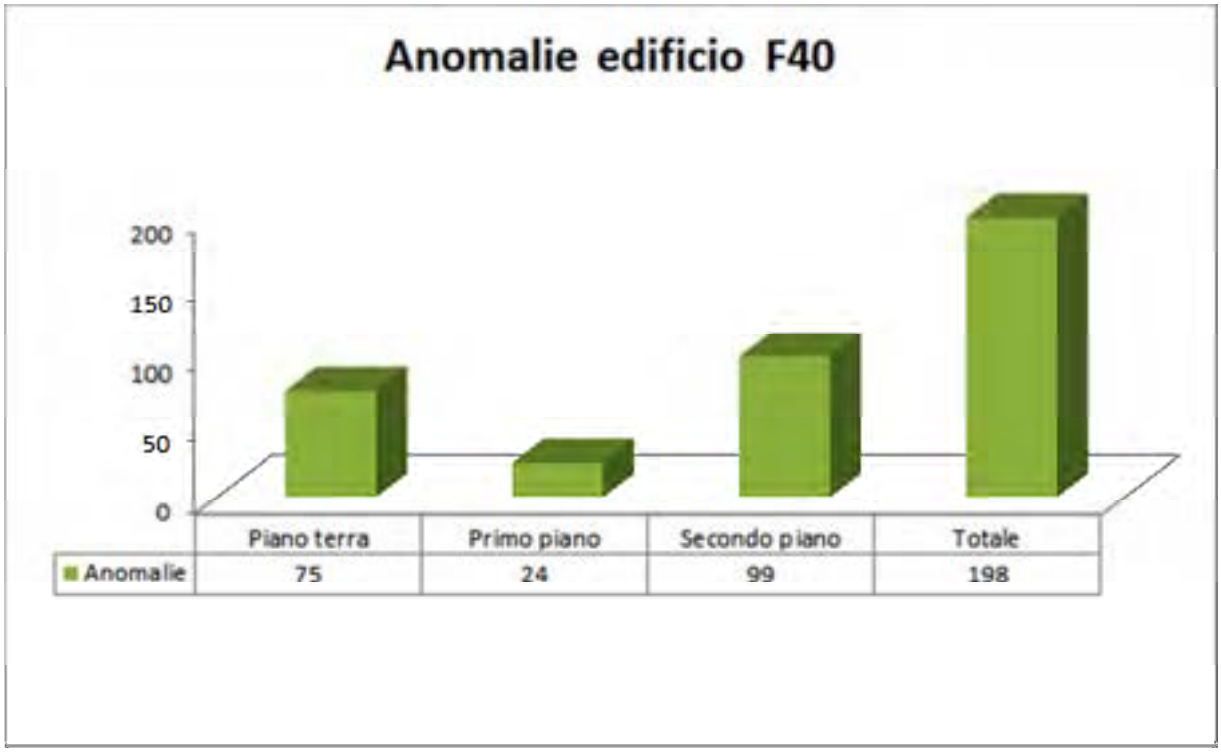


Fig.2.25-Distribuzione delle anomalie per piano

Nell'arco dei quattro mesi sono state registrate alla stessa ora più anomalie (fig 2.26).

TIME	C27			N.Anomalie
00:20:00	0,695753	0,689607		2
01:00:00	0,50014	0,685471		2
02:00:00	0,634809			1
02:10:00	0,596951			1
02:30:00	0,689607			1
08:10:00	0,761051	0,695753	0,982014	3

Fig.2.26- Più anomalie nella stessa ora al piano terra

Ad una prima osservazione appare evidente che il piano secondo, con 99 anomalie , è quello che presenta inefficienze più significative relativamente ai consumi elettrici. Per effettuare un'analisi più precisa e dettagliata del comportamento energetico dei fancoil dell'edificio si è proceduto a raggruppare gli eventi anomali per fasce orarie in cui si sono verificate , considerando sempre un range di 24 ore. Si è ritenuto opportuno utilizzare tale procedura per avere un quadro completo e più preciso sulla distribuzione delle anomalie nell'arco della giornata e per poter meglio discriminare le anomalie sistematiche , di cui sono note e giustificabili le cause, da quelle non sistematiche che si presentano in modo inaspettato.

2.2.2 Distribuzione delle anomalie per fasce orarie

La figura 2.27 riassume per ogni piano il numero di anomalie secondo la fascia oraria ; nell'ultima colonna della tabella sono riportate anche le relative percentuali.

Time	Piano terra	Primo piano	Secondo piano	N. Anomalie	N.Anomalie/198
00:00	2	0	2	4	2%
01:00	2	0	5	7	4%
02:00	6	1	4	11	6%
03:00	2	0	3	5	3%
04:00	4	3	4	11	6%
05:00	4	3	4	11	6%
06:00	4	2	9	15	8%
07:00	3	3	4	10	5%
08:00	7	5	8	20	10%
09:00	6	0	7	13	7%
10:00	3	1	9	13	7%
11:00	3	0	3	6	3%
12:00	2	2	5	9	5%
13:00	3	1	6	10	5%
14:00	2	0	7	9	5%
15:00	2	1	5	8	4%
16:00	2	1	6	9	5%
17:00	2	0	2	4	2%
18:00	2	0	2	4	2%
19:00	3	0	2	5	3%
20:00	1	0	0	1	1%
21:00	2	1	0	3	2%
22:00	4	0	1	5	3%
23:00	4	0	1	5	3%

Fig.2.27- Numero di anomalie su 24 h

Gran parte dei valori anomali, evidenziati in rosso, si registra nel periodo di tempo che va dalle 04:00 alle 10:00 . Infatti la diagnosi effettuata rileva che su 24 ore, in tale fascia oraria, si ha il 46,97% delle anomalie, sempre dovute allo stesso indicatore C27, mentre la percentuale massima di valori anomali di consumo, pari al 10%, si registra alle ore 08:00. Un dato questo significativo in quanto ci consente di individuare, in modo preciso, in quale intervallo di tempo della giornata si concentra il maggior numero di anomalie (figg.2.28-2.29).

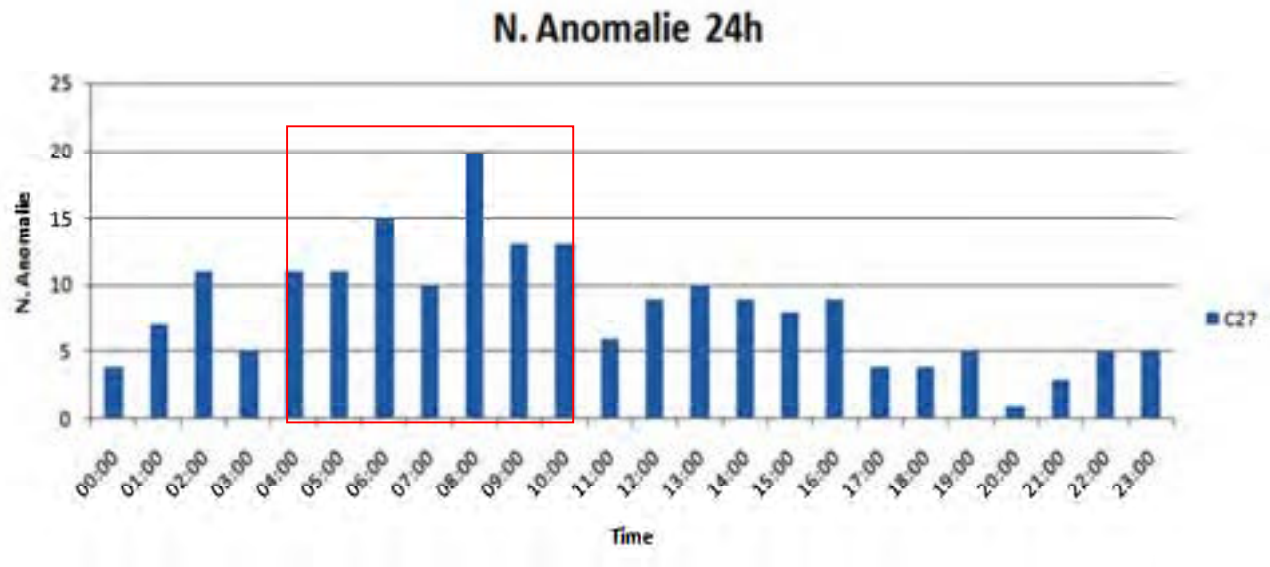


Fig. 2.28- C27 in 24 ore

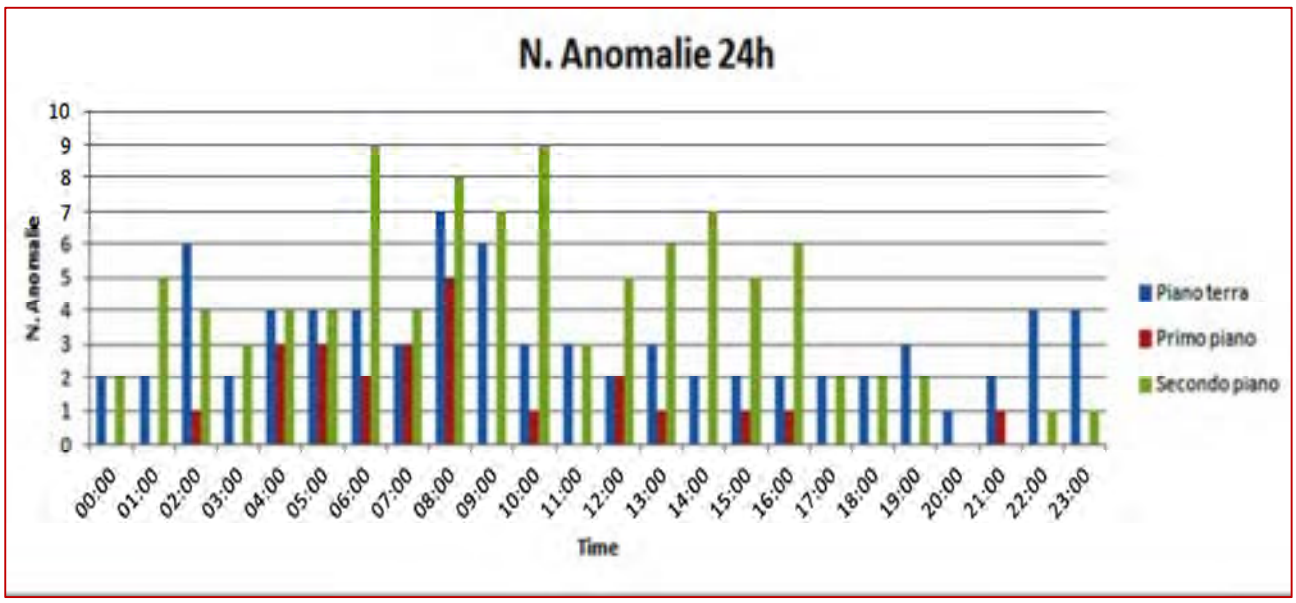


Fig.2.29-Numero di anomalie distribuite sui tre piani

2.2.3 Classificazione anomalie per livello di gravità

Tenendo presente che i valori anomali di consumo di elettricità sono definiti sulla base di una soglia di riferimento prefissata, pari a 0,5 possiamo constatare che le 198 anomalie rilevate all'interno della tabella historianc , hanno valori che variano da 0,5 a 0,999. Per avere una informazione immediata e più esaustiva sull'entità delle diverse anomalie registrate sui tre piani dell'edificio, si è proceduto a classificarle in ordine crescente da 0.5 a 1 , tenendo conto anche dei valori ripetuti (fig.2.30).

Valore Anomalia	N. di Anomalie
0,5/0,6	56
0,6/0,7	76
0,7/0,8	27
0.8/0.9	21
0.9/1	18

Fig.2.30- classificazione anomalie

Osservando il grafico ,si nota che la maggior parte delle anomalie hanno valori compresi tra 0,6 e 0,7 (76 anomalie) e che su 198 valori anomali, 132 sono compresi nella fascia tra 0,5 e 0,7. Il grafico ad istogramma seguente (fig.2.31) le rappresenta in maniera efficace.

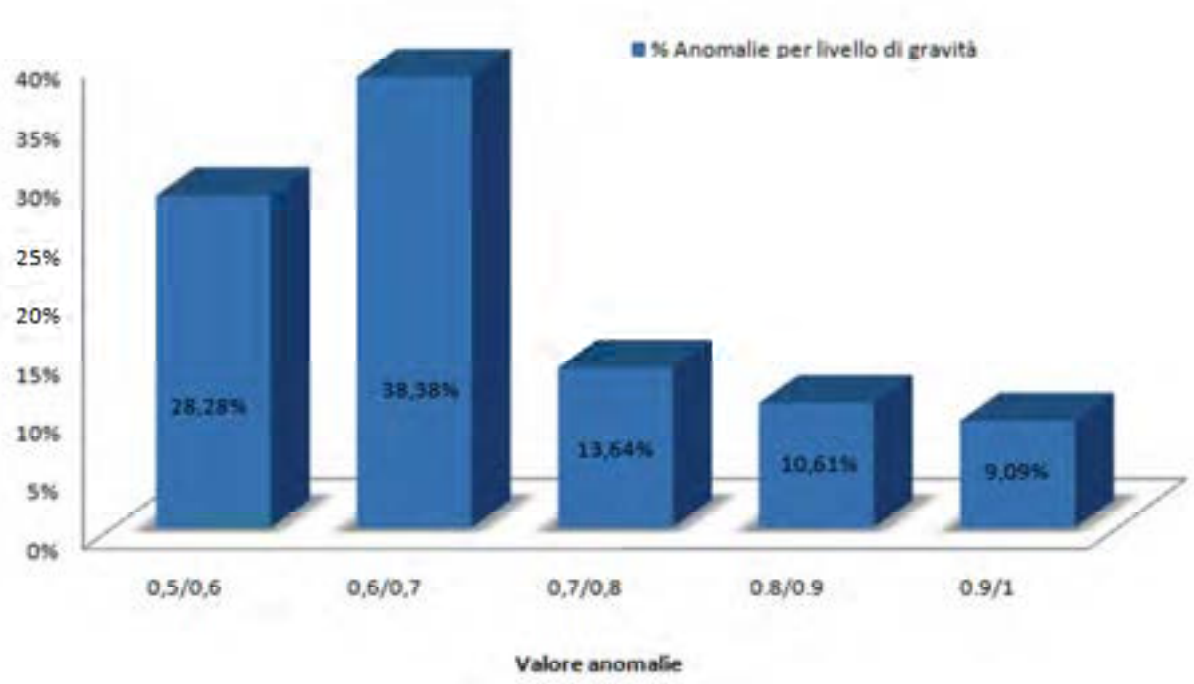


Fig.2.31- Numero di anomalie in base al valore

Notiamo inoltre, come evidenziato in rosso in fig.2.30, che ci sono ben 39 anomalie gravi, con valori compresi tra 0,8 e 1. E' un dato importante, perché ci da informazioni sullo " stato di salute" del sistema ed è un indicatore significativo di inefficienza nella gestione dei consumi energetici dell'edificio .
Di seguito , nella figura 2.32 vengono riportate le percentuali tenendo conto sempre di un arco di tempo di 24 ore .

Time	Piano terra	Primo piano	Secondo piano	N. Anomalie Gravi	N. Anomalie gravi in %
00:00	0	0	1	1	3%
01:00	0	0	0	0	0%
02:00	0	0	2	2	5%
03:00	0	0	0	0	0%
04:00	1	0	1	2	5%
05:00	1	1	1	3	8%
06:00	1	0	2	3	8%
07:00	0	2	2	4	**10%**
08:00	1	2	1	4	**10%**
09:00	1	0	1	2	5%
10:00	1	0	1	2	5%
11:00	2	0	1	3	8%
12:00	0	0	1	1	3%
13:00	0	1	2	3	8%
14:00	1	0	4	5	13%
15:00	0	0	1	1	3%
16:00	0	0	0	0	0%
17:00	0	0	1	1	3%
18:00	0	0	0	0	0%
19:00	0	0	1	1	3%
20:00	0	0	0	0	0%
21:00	0	0	0	0	0%
22:00	0	0	0	0	0%
23:00	1	0	0	1	3%

Fig.2.32- Numero anomalie gravi edificio in 24 h

Dalla tabella in Excel, notiamo che nell'edificio F40 dalle 7:00 alle 8:00 si ha il 20% delle anomalie gravi con un picco del 13% alle ore 14:00. Confrontando i dati della presente tabella con quelli relativi al numero totale di anomalie, risulta confermato che il numero maggiore di valori anomali, si registra nel corso della mattinata con 93 anomalie , pari al 46,97% del totale e che nello stesso range temporale, ben 20 sono anomalie gravi.

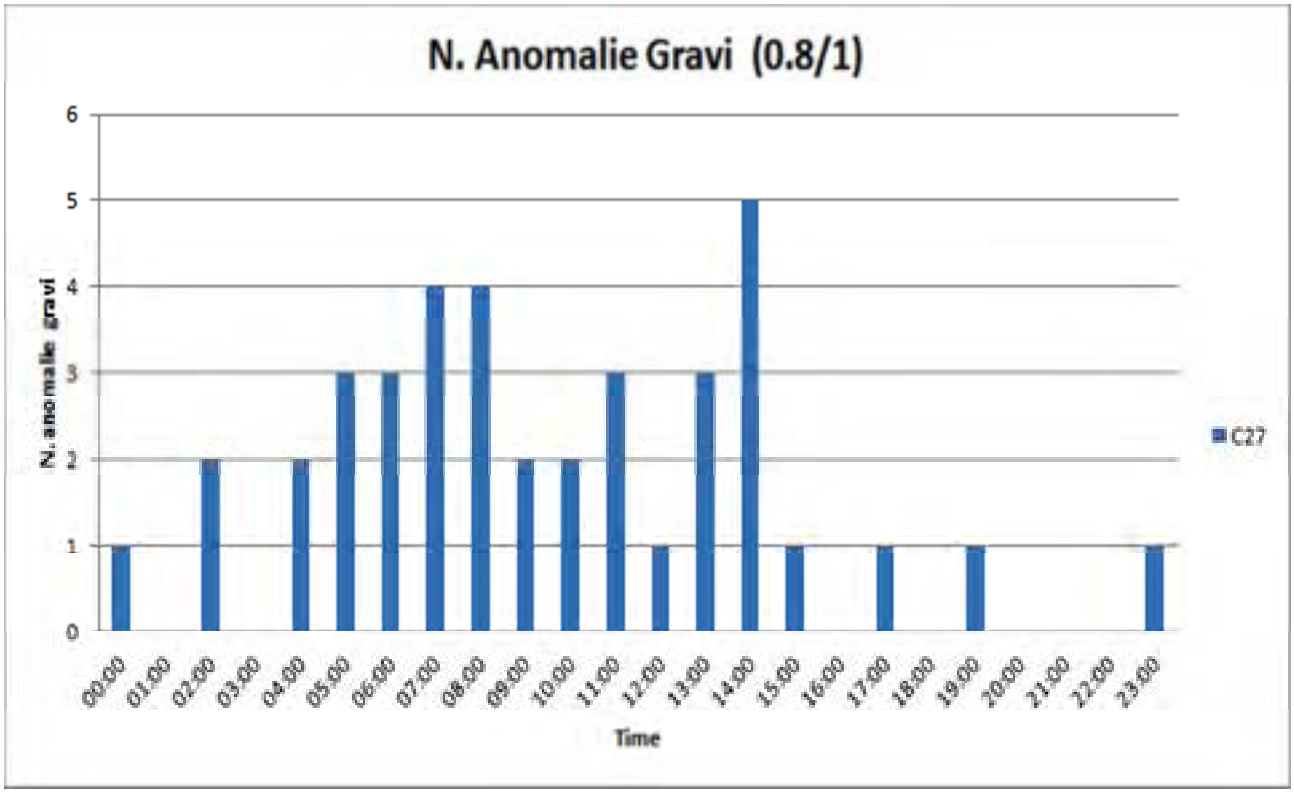


Fig.2.33- Numero anomalie gravi comprese tra 0,8 e 1

Dalla lettura del grafico ad istogramma in fig 6.13 si evince che, dalle 07:00 alle 08:00 si hanno ben 8 anomalie gravi, con un picco di 5 anomalie alle 14:00.

2.2.4 Distribuzione delle anomalie gravi per piano

Per avere un quadro immediato della situazione, nella tabella (fig 2.34), vengono riportate le percentuali delle anomalie gravi "per piano", rapportate al numero complessivo di quelle registrate nell'edificio F40, distribuite nel modo seguente :

Time	Piano terra	%gravi	Primo piano	%gravi	Secondo piano	%gravi	N. Anomalie Gravi 0.8/1
00:00	0	0%	0	0%	1	100%	1
01:00	0	0%	0	0%	0	0%	0
02:00	0	0%	0	0%	2	100%	2
03:00	0	0%	0	0%	0	0%	0
04:00	1	50%	0	0%	1	50%	2
05:00	1	33%	1	33%	1	33%	3
06:00	1	33%	0	0%	2	67%	3
07:00	0	0%	2	50%	2	50%	4
08:00	1	25%	2	50%	1	25%	4
09:00	1	50%	0	0%	1	50%	2
10:00	1	50%	0	0%	1	50%	2
11:00	2	67%	0	0%	1	33%	3
12:00	0	0%	0	0%	1	100%	1
13:00	0	0%	1	33%	2	67%	3
14:00	1	20%	0	0%	4	80%	5
15:00	0	0%	0	0%	1	100%	1
16:00	0	0%	0	0%	0	0%	0
17:00	0	0%	0	0%	1	100%	1
18:00	0	0%	0	0%	0	0%	0
19:00	0	0%	0	0%	1	100%	1
20:00	0	0%	0	0%	0	0%	0
21:00	0	0%	0	0%	0	0%	0
22:00	0	0%	0	0%	0	0%	0
23:00	1	100%	0	0%	0	0%	1

Fig. 2.34-Peso in percentuale gravità anomalia

Appare evidente che è ancora al secondo piano dove si registrano più anomalie con valori compresi tra 0.8 e 1 rispetto al piano terra e al primo piano, come nel grafico di fig.2.35 :

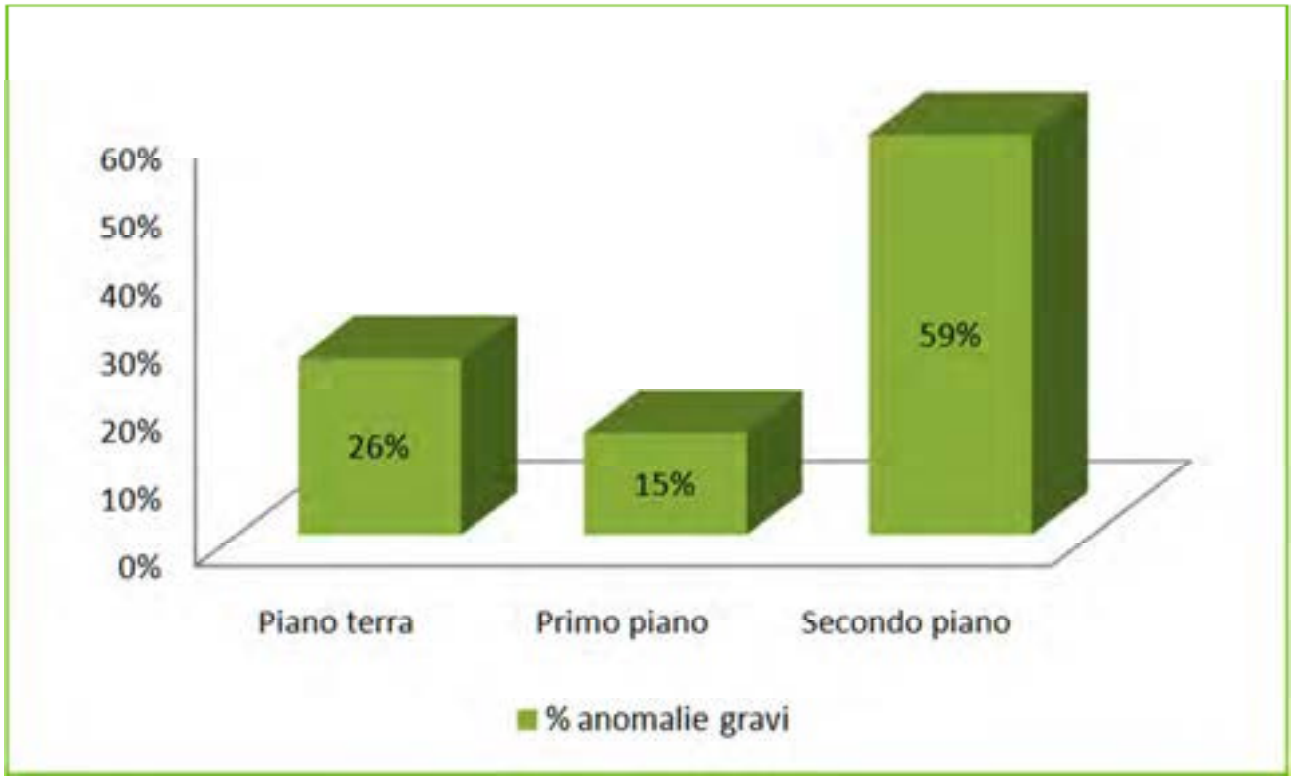


Fig.2.35- Distribuzione delle anomalie gravi per piano

Infatti, delle 5 anomalie registrate alle ore 14:00, ben 4 si verificano al secondo piano(80%) ed 1 al piano terra(20%) come risulta dalla fig.6.14.
Una ulteriore analisi dei dati è stata fatta anche per verificare il " peso" delle anomalie gravi per ogni piano, in rapporto al numero totale di anomalie relative ai singoli piani su 24 ore, come di seguito :

$$\%tot = \frac{\text{Numero di anomalie gravi per piano di 24h}}{\text{Numero di anomalie per piano di 24h}}$$

Dalla figura 2.36 relativa al "%tot" risulta che c'è una distribuzione di percentuali alte di anomalie abbastanza continua dalle 04:00 alle 15:00 sempre al secondo piano.

Time	%tot piano terra	%tot primo piano	%tot secondo piano
00:00	0%	0%	50%
01:00	0%	0%	0%
02:00	0%	0%	50%
03:00	0%	0%	0%
04:00	25%	0%	25%
05:00	25%	33%	25%
06:00	25%	0%	22%
07:00	0%	67%	50%
08:00	14%	40%	13%
09:00	17%	0%	14%
10:00	33%	0%	11%
11:00	67%	0%	33%
12:00	0%	0%	20%
13:00	0%	100%	33%
14:00	50%	0%	57%
15:00	0%	0%	20%
16:00	0%	0%	0%
17:00	0%	0%	50%
18:00	0%	0%	0%
19:00	0%	0%	50%
20:00	0%	0%	0%
21:00	0%	0%	0%
22:00	0%	0%	0%
23:00	25%	0%	0%

Fig. 2.36- Distribuzione anomalie gravi per piani

Nel seguente grafico sono riportate le percentuali delle anomalie gravi dei tre piani dell'edificio F40 .

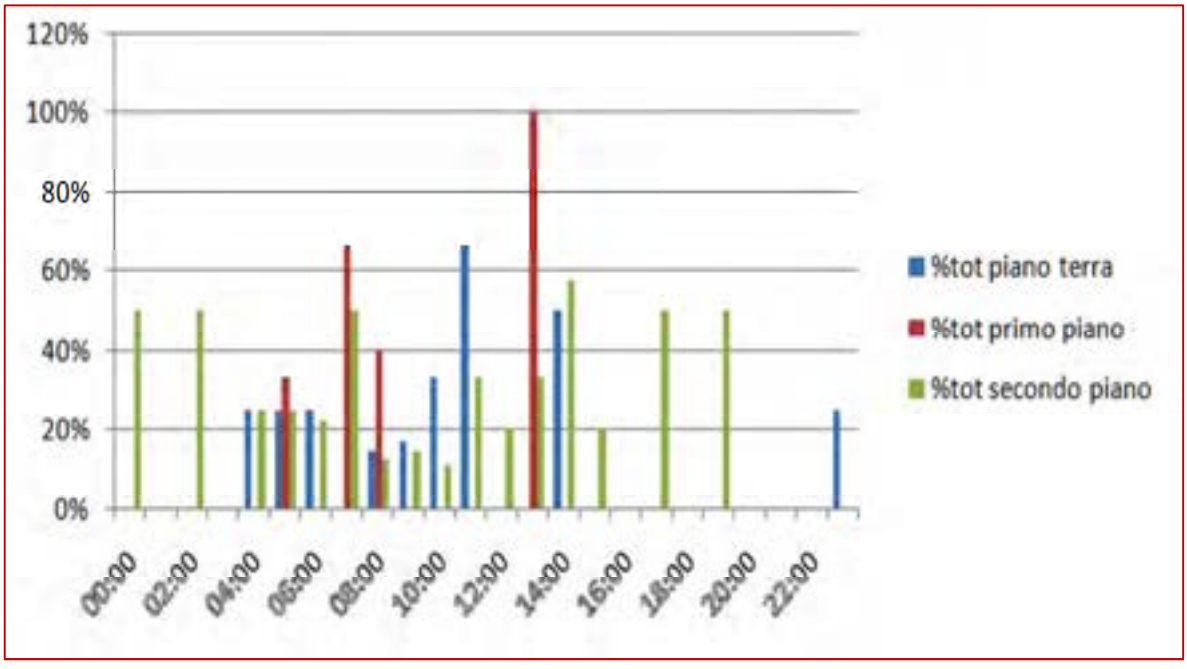


Fig.2.37-Percentuali anomalie gravi per ogni piano

Dalla analisi dei risultati si possono trarre le seguenti conclusioni:

- ✓ Il piano che manifesta maggiori problematiche è sicuramente il piano secondo dove si registra oltre il 50% dei picchi di consumo anche gravi , per una serie di motivi legati sia al fatto che l'impianto è abbastanza datato, sia alle caratteristiche strutturali dell'edificio. Ricordiamo che l'edificio F40, dove è stata attivata la sperimentazione, è stato edificato negli anni '80 ed è caratterizzato dall'appartenenza alla classe energetica più bassa e che richiederebbe una efficace manutenzione ordinaria per individuare in tempo guasti e malfunzionamenti, mentre risulta , per esempio , che alcuni termostati pneumatici presenti nei singoli ambienti , sono stati disattivati proprio per mancanza di manutenzione.
  I valori anomali di consumo nel corso della giornata , più rilevanti al piano secondo, sono dovuti al fatto che i fancoil sono tenuti al massimo durante l'orario di lavoro , per garantire condizioni di comfort adeguate al personale , in quanto il secondo piano, essendo l'ultimo piano dell'edificio, è soggetto ad una maggiore dispersione di calore perché la copertura della palazzina non garantisce un adeguato isolamento termico e necessiterebbe di ristrutturazione.
  Inoltre la centrale termica si trova nel locale seminterrato della palazzina e le tubazioni attraverso cui passa il fluido vettore probabilmente sono ostruite da incrostazioni , per cui il fluido non riesce ad arrivare al piano secondo con una portata sufficiente . Ciò fa sì che i termostati nelle stanze non raggiungono mai la temperatura di set point impostata a 21 gradi ed i fancoil rimangono sempre accesi .

- ✓ Le irregolarità di consumo elettrico registrate invece nelle ore notturne sono dovute molto probabilmente al fatto che i fancoil spesso vengono lasciati accesi dal personale dopo l'orario di lavoro .

2.3 Sviluppo modulo supervisione BEMS

In questa annualità è stato estesa la piattaforma software realizzata nelle precedenti annualità con dei moduli che ne permettono la comunicazione con i BEMS installati presso il C.R: Casaccia.
Per il dettaglio di questa attività svolta da **Università di Roma Tre** si fa riferimento a RdS/PAR2013/062 .

Le funzionalità principali introdotte riguardano l'interfacciamento trasparente con i sistemi di ottimizzazione (es. MATLAB) e la regolazione dei termostati delle stanze secondo profili prestabiliti dal processo di ottimizzazione, permettendo quindi una gestione più efficiente della temperatura interna. Tale approccio inoltre predispone per una futura applicazione della demand/response.
L'applicativo di regolazione dei termostati dell'edificio F40 è inserito nel business intelligence layer della piattaforma integrata di data fusion, agisce sulla regolazione dei setpoint dei termostati di stanza dell'edificio e si interfaccia con il dataware layer per l'acquisizione dati.
L'applicativo è stato realizzato in Java e comunica con il Building Energy Management System (BEMS) tramite RESTful WebServices (WS) come mostrato nella figura 2.38.

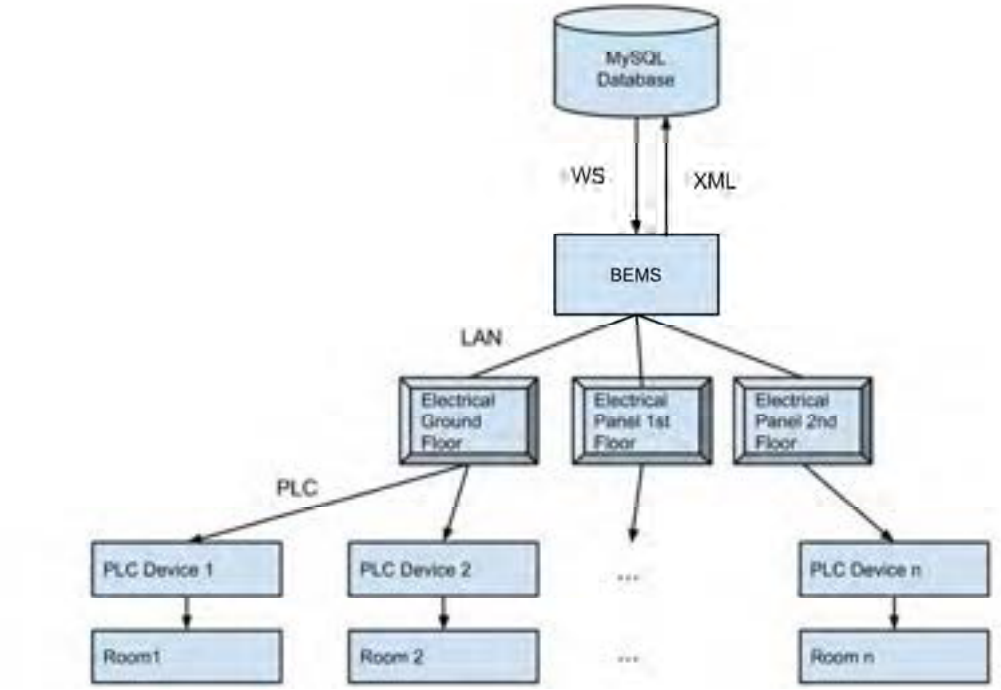


Figura 2.38. Schema del sistema di interfacciamento piattaforma-edificio F40

Il BEMS successivamente tramite Power Line Communication (PLC) instrada i comandi di attuazione ai device situati in ogni stanza. L'applicativo è predisposto per l'attuazione di profili statici, secondo uno scheduling giornaliero, o dinamici, dipendenti da forzanti esterne come le condizioni meteorologiche e l'occupazione delle stanze.

2.4 Sviluppo diagnostica caso termico

L'attività relativa alla diagnostica termica è incentrata sull'applicazione di regole basate sulla logica fuzzy riguardanti la centrale termica. Questa attività è stata svolta da ENEA in collaborazione con Università di Roma Tre (RdS/PAR2013/062) e Politecnico di Torino (RdS/PAR2013/061).
Tale attività è strettamente correlata alla diagnostica elettrica relativa all'annualità precedente e si basa nuovamente sul principio suddivisione della diagnostica nella fase di preprocessing, situazioni e cause. La data fusion è ottenuta secondo la già sperimentata logica fuzzy.
Le membership functions ed i relativi parametri sono state scelti a valle di un benchmarking creato appositamente nell'edificio F40, in cui, quando possibile, sono state provocate intenzionalmente delle anomalie.

Le cause prese in esame sono:

- ***C1 : 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. Le variabili fuzzy utilizzate sono mostrate in Tabella 66 : l'orario di lavoro è espresso come funzione gaussiana del tempo, centrata in 12, mentre il consumo termico è espresso come sigmoide.

Tabella 6. Funzioni di appartenenza dei preprocessing per la causa C_1

Label	Significato	Membership Function	Parametri
P1	Working Time	$e^{\left(\frac{-(x-m)^2}{2s^2}\right)}$	m = 12 s = 5
P2	Consumo termico caldo	$\frac{1}{1+e^{\left(-\frac{(x-c)}{t}\right)}}$	c = 1 t= 0.5

Una volta definiti i preprocessing, sono state identificate le situazioni ad essi correlate, ottenute relazionando i preprocessing secondo la logica booleana di AND,OR,NOT (^,v,-).

- *Consumo termico alto al di fuori dell'orario di lavoro:* $S_1 = (-P_1 \wedge P_2)$
- *Consumo termico basso durante l'orario di lavoro:* $S_2 = (P_1 \wedge - P_2)$

La causa risultante è data dall'OR logico delle tre situazioni:
$C_1 = S_1 \vee S_2$

- ***C2: 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, come mostrato nella Tabella7. La funzione di occupazione non è stata fuzzyficata in quanto già normalizzata.

Tabella 7. Funzioni di appartenenza dei preprocessing per la causa C_1

Label	Significato	Membership Function	Parametri
P1	Working Time	$e^{\left(\frac{-(x-m)^2}{2s^2}\right)}$	m = 12 s = 7
P2	Consumo termico caldo	$\frac{1}{1+e^{\left(-\frac{(x-c)}{t}\right)}}$	c = 1 t= 0.5
P3	Percentuale di Occupazione	%	

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

- *Consumo termico alto al di fuori dell'orario di lavoro in assenza di occupazione:*

$S_1 = (-P_1 \wedge P_2 \wedge -P_3)$

- *Consumo termico basso durante l'orario di lavoro in presenza di occupazione:*

$S_2 = (P_1 \wedge - P_2 \wedge P_3)$

La causa risultante è data dall'OR logico delle tre situazioni:
$C_2 = S_1 \vee S_2$

- **C3:** ***Scorretto funzionamento della valvola miscelatrice del fluido freddo in centrale termica***

Tale causa mira ad identificare uno scorretto funzionamento della valvola di miscelazione del fluido. Per identificare l'anomalia sono stati utilizzati il delta tra il set point della temperatura di mandata impostato e

la temperatura effettivamente misurata e la percentuale di chiusura della valvola, come mostrato nella Tabella8. Il delta è stato fuzzyficato con una sigmoide.

Tabella 8. Funzioni di appartenenza dei preprocessing per la causa C_3

Label	Significato	Membership Function	Parametri
P1	Differenza tra Set Point della mandata impostato e Temperatura misurata	$\frac{1}{1+e^{\left(-\frac{(x-c)}{t}\right)}}$	c = 1 t = 0.5
P2	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*: $S_1 = (-P_1 \wedge -P_2)$
- *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*: $S_2 = (P_1 \wedge P_2)$

La causa risultante è data dall'OR logico delle tre situazioni:
$C_3 = S_1 \vee S_2$

- ***C4: Staratura del termostato di stanza in periodo estivo***

La staratura del termostato di stanza viene identificata qualora per una determinata zona dell'edificio venga rilevata una differenza sostanziale tra la temperatura interna e quella impostata in una o più stanze. Anche in questo caso il delta di temperatura viene valutato tramite una sigmoide.

Tabella 9. Funzioni di appartenenza dei preprocessing per la causa C_4

Label	Significato	Membership Function	Parametri
P1..Pn	Differenza tra Set Point di stanza impostato e Temperatura Interna	$-e^{\left(-\frac{x^2}{2s^2}\right)}$	s = 5

La situazione relativa a tale preprocessing è:

- Una o più stanze di una zona termica presentano una temperatura interna maggiore del setpoint impostato*:* $S_1 = (P_1 \text{XOR } P_2 \text{ XOR } \dots \text{ XOR } P_n)$

La causa è direttamente relazionata all'unica situazione.

- ***C5: Malfunzionamento del sistema di raffrescamento***

Tale causa avviene qualora per una determinata zona in tutte le stanze viene rilevata una differenza tra il set point e la temperatura interna maggiore di una soglia (Tabella10).

Tabella 10. Funzioni di appartenenza dei preprocessing per la causa C_5

Label	Significato	Membership Function	Parametri
P1..Pn	Differenza tra Set Point di stanza impostato e Temperatura Interna	$-e^{\left(-\frac{x^2}{2s^2}\right)}$	s = 5

- *Tutte le stanze di una zona hanno una temperatura maggiore del setpoint impostato*: $S_1 = (P_1 \wedge P_2 \wedge \ldots \wedge P_n)$

Anche questo caso la causa è direttamente relazionata all'unica situazione.

2.5 *Validazione, Analisi e modelli di diagnostica energetica avanzata*

L'attività di ricerca di questa attività, condotta dal **Politecnico di Torino** (RdS/PAR2013/…), e si è declinata secondo diverse fasi e obiettivi finalizzati all'individuazione di metodologie per la diagnostica degli edifici. In questo paragrafo queste fasi qui sono brevemente riassunte evidenziando metodologie adottate e risultati conseguiti.

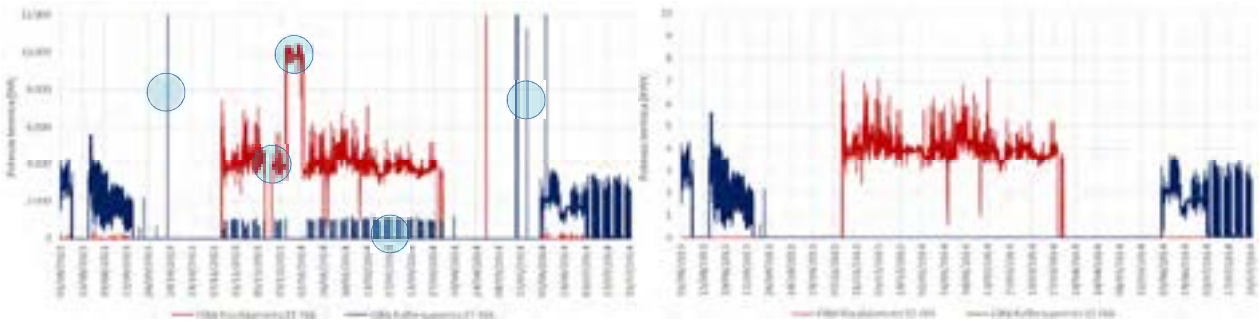
2.5.1 Analisi dei dati raccolti in fase operativa dai sistemi di monitoraggio installati sul cluster di edifici

L'attività è consistita nella continuazione del 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. Tali edifici (in totale 8 più la centrale termica del distretto), che presentano caratteristiche simili dal punto di vista dimensionale, impiantistico e costruttivo, hanno tutti destinazione d'uso ufficio e, dal 2011, sono oggetto di un progetto sperimentale di monitoraggio e diagnostica da remoto. Maggiori dettagli relativamente alla descrizione degli edifici e ai primi risultati ottenuti dalla sperimentazione sono riportati all'interno dei rapporti RdS/2012/229 e RdS/2013/121.
L'attività di validazione e analisi dei dati di monitoraggio, iniziata nel 2012, 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). L'analisi dei dati è stata effettuata su un periodo di campionamento di un anno esatto (01 agosto 2013 – 31 luglio 2014). Tutti i dati, tranne le presenze, sono stati acquisiti con un time step di 15 minuti. 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. L'approccio utilizzato per lo svolgimento di questa attività si basa essenzialmente sull'applicazione di tre fasi conseguenti:

1. Individuazione degli errori, effettuata attraverso la verifica delle situazioni di fuori dominio, delle mancate risposte e delle anomalie dei valori;
2. localizzazione degli errori che causano le anomalie;

correzione degli errori, la quale è stata di 2 tipi: eliminazione dei valori errati e integrazione di nuovi dati ottenuti attraverso metodi numerici di interpolazione lineare. Si riporta un esempio in

3. Figura2.39.



Dati grezzi Dati corretti

Figura 2.39: Esempio di correzione dei dati di energia termica e frigorifera dell'edificio F66 per tutto il periodo di misura.

La verifica ha permesso di evidenziare che, a parte i dati di presenza di tutti gli edifici e le temperature interne dell'edificio F67, tutte le altre informazioni acquisite, sottoposte ad un opportuno processo di correzione, ove necessario, sono risultate attendibili ed elaborabili. Si conferma dunque con questa analisi la qualità del sistema di monitoraggio, che malgrado richieda ancora piccoli interventi di ottimizzazione già identificati, è migliorato grazie alle cicliche verifiche di qualità dei dati.

2.5.2 KPI rete di edifici: elaborazione e analisi dati energetici del monitoraggio in campo. Caratterizzazione dei profili di consumo e benchmark

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

- *Verifica dei bilanci energetici*

Questa operazione si effettua a completamento della verifica della qualità dei dati (Attività 1) ed è mirata a verificare la "robustezza" del sistema di monitoraggio. I dati misurati in ogni singolo edificio, sia termici che elettrici, vengono 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 siano ridotti e ricadano nei ranges di accettabilità legati all'incertezza di misura.

- *Definizione e valutazione di nuovi Key Performance Indicators (KPI)*

Questa fase prevede la determinazione e l'applicazione di nuovi KPI termici, insieme ai KPI 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.*" al nuovo campione di dati monitorati. Lo scopo è quello di validare i KPI già introdotti e di inserirne di nuovi al fine di poter confrontare gli edifici appartenenti al cluster sia dal punto dell'energia termica, sia dell'energia elettrica, sia dell'energia totale (energia primaria). Gli indicatori energetici introdotti in questa attività sono espressi come rapporto tra il consumo di energia elettrica e termica in termini di:

- consumo totale
- consumo di energia per usi finali
- consumo di energia per fonti energetiche

e fattori di normalizzazione che ricadono all'interno delle categorie seguenti:

- caratteristiche geometriche (superfici e volumi)
- fattori legati all'uso dell'edificio (ove possibile utilizzare i dati di presenza)
- fattori climatici.

- *Caratterizzazione e clusterizzazione dei profili di consumo energetico*

Questa operazione si concretizza nella determinazione di profili 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. I risultati evidenziano chiare anomalie nella gestione dell'energia, che possono essere risolti attraverso interventi di gestione e manutenzione. Il confronto dei profili appartenenti a diversi edifici consente di identificare puntualmente, per ogni immobile, dove intervenire. Il monitoraggio energetico in continuo consentirà successivamente di verificare l'effetto positivo degli interventi e di valutare i risparmi energetici ed economici ottenuti. Lo stesso strumento avrà in un secondo momento lo scopo di valutare eventuali risparmi energetici ottenibili agendo sui sistemi di gestione impiantistica. Un esempio di utilizzo della profilatura energetica per valutare il risparmio dovuto ad interventi di gestione è illustrato in Figura.40. Il primo profilo di potenza frigorifera illustra la variazione del controllo dell'impianto nel mese di luglio 2014 rispetto al mese di giugno 2014 per l'edificio F66. Le due immagini successive illustrano i profili medi di potenza frigorifera nei mesi di giugno e luglio e l'energia media giornaliera consumata, sia durante i giorni feriali che durante i giorni festivi. Dai profili di energia si può stimare il risparmio giornaliero ottenibile di energia frigorifera (circa 25 kWh nei giorni feriali e circa 150 kWh nei festivi) apportando modifiche al controllo degli impianti frigoriferi (in particolare nel caso specifico spegnendo l'impianto).

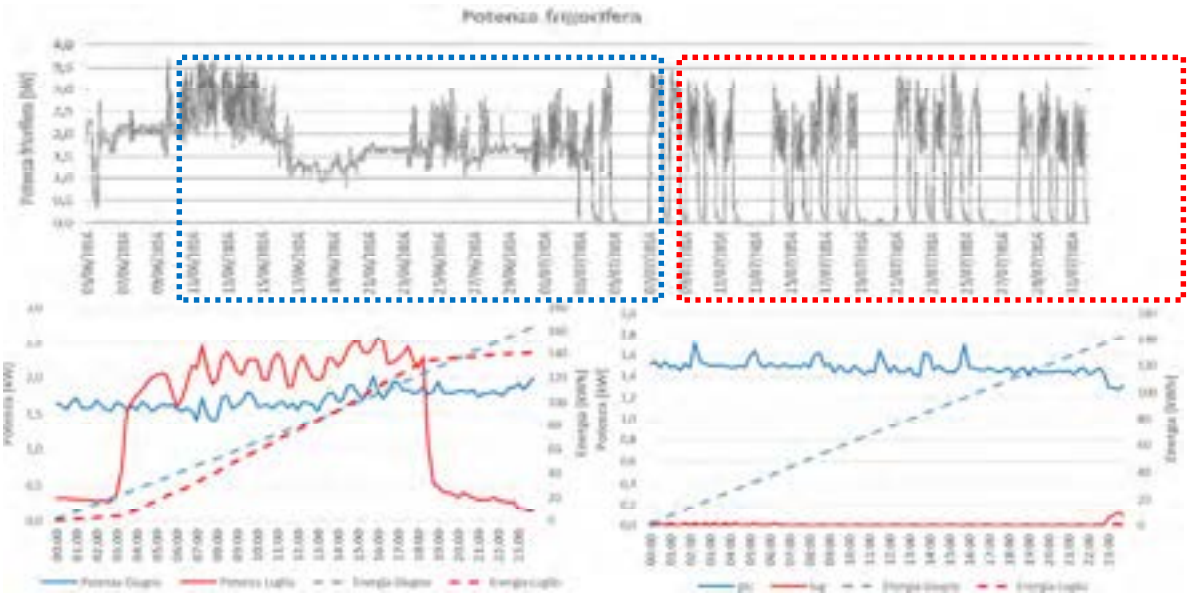


Figura 2.40: Profili giornalieri di potenza ed energia frigorifera. Edificio F66. Giugno-Luglio 2014.

- *Elaborazione di dati ambientali in relazione ai consumi energetici*

Malgrado 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."* si fosse preferito non effettuare analisi di comfort termico, in quanto i sensori di temperatura non erano stati installati all'interno di ambienti rappresentativi ma all'interno di corridoi, in questa fase si è deciso di utilizzare comunque tali informazioni disponibili per evidenziare il legame che sussiste tra parametri ambientali e consumi energetici. A tale scopo le elaborazioni vengono illustrate attraverso metodi di rappresentazione innovativi, che consentono la valutazione dell'edificio dal punto di vista del comfort e dei consumi energetici in diverse stagioni dell'anno.

2.5.3 Diagnostica su consumi di natura termica. Sviluppo di modelli di diagnostica avanzata attraverso i dati del monitoraggio in campo

L'obiettivo di questa attività è strettamente legato allo sviluppo di una metodologia per la gestione integrata e l'ottimizzazione del cluster di 8 edifici all'interno dello smart village sperimentale del C. R. ENEA Casaccia. Il fine è quello di supportare politiche di controllo della domanda di energia basate su una modellistica avanzata che tenga conto del comfort dell'utente evitando distacchi dalla rete e anomalie energetiche. Sulla base dell'elaborazione dei dati di monitoraggio del cluster di edifici (attività già cominciata nei precedenti contratti), la ricerca ha previsto lo sviluppo della procedura diagnostica concepita secondo la suddivisione logica dei sintomi e delle anomalie individuate ("pre-processing"), di eventi connessi all'anomalia ("situation assessment"), delle cause effettive, e le loro relazioni attraverso l'uso di alberi decisionali e in generale di metodi di data fusion. Le logiche di diagnostica sviluppate sono connesse all'utilizzo dell'energia termica sia per il riscaldamento che per il raffrescamento ambientale. Sono stati definiti sia opportuni fuzzy set che regole di aggregazione per la successiva implementazione sulla piattaforma ICT 'Smart Village'. Il risultato atteso è un sistema di rilevazione delle anomalie con l'individuazione della causa per la linea di condizionamento ambientale, analogo a quello dell'illuminazione, che le identifichi e le segnali in tempo quasi reale.
L'attività di ricerca ha previsto l'applicazione di metodo robusti 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). Sono state implementate metodologie fondate sull'utilizzo sia di modelli inversi empirici sia di metodi statistici, seguendo un approccio del tipo top-down e quindi finalizzato a condurre analisi di rilevamento di anomalie sulla base di dati di monitoraggio relativi agli edifici nel loro insieme.
In particolare la ricerca condotta ha previsto la verifica delle potenzialità e dei limiti di tre differenti tecniche di data mining per condurre analisi di fault detection su valori di energia e potenza relativi all'uso finale riscaldamento e raffreddamento. Sono state sperimentate le potenzialità di un algoritmo di classificazione (CART), e di due tecniche di clustering (K-Means e DBSCAN). Con i metodi CART e K-Means il rilevamento dei valori anomali è stato condotto per ogni classe o cluster individuato, attraverso il metodo GESD (generalized estreme studentized deviate manyoutlier procedure). Il metodo DBSCAN, invece, ha consentito di individuare per via diretta i valori anomali attraverso lo stesso processo di clusterizzazione. A seguito dell'individuazione dei valori anomali per ogni classe individuata sono stati introdotti alcuni indici sintetici che hanno consentito di quantificare la severità della anomalie riscontrate.
Inoltre è stata condotta un'analisi dei consumi energetici di riscaldamento (periodo Febbraio – Marzo 2014) e raffreddamento (periodo Giugno – Luglio 2014) tramite tecniche di "neural ensembling" del tipo Basic Ensemble Method (BEM) per la rilevazione di comportamenti energetici anomali (fault detection). In particolare, il training delle RNA è stato eseguito su un dataset privo di fault in modo da condurre in seguito un'analisi di fault detection di testing basata sul valore dei residui tra valore di consumo stimato dal BEM e valore di consumo reale. Le variabili di input dell'ensemling neurale (id del giorno della settimana, id dell'ora del giorno, temperatura interna dell'edificio, temperatura esterna, radiazione solare e, nel caso del raffreddamento, umidità relativa esterna), tutte misurate al quarto d'ora, determinano la variabile dipendente di output, ossia il valore di potenza termica al quarto d'ora adoperata per il riscaldamento/raffrescamento di ogni edificio del cluster. Un fault coincide con la presenza di un picco nella serie temporale dei residui, la cui severità è quantificata da due indici: peakfunction S e modified z score. L'utilizzo dei residui permette di effettuare un'analisi multivariata: un valore di consumo viene considerato anomalo non necessariamente perché elevato ma in relazione alle condizioni in cui l'edificio opera in quell'istante. Nel caso in esame l'analisi dei residui ha permesso quindi di individuare valori di consumo effettivamente anomali, ma anche le conseguenze di cambiamenti di gestione e l'errata acquisizione dei valori di potenza termica. In relazione al riscaldamento, i fault di consumo individuati con questa metodologia sono principalmente collocati nella fascia mattutina e serale, e sono riconducibili ad un leggero abbassamento dei consumi termici nella seconda metà di Marzo 2014 rispetto al mese precedente.
In Figura2.41 si illustra, a titolo d'esempio, il consumo reale dell'edificio F66 e quello leggermente maggiore stimato dal BEM neurale, con i relativi residui. Il valore molto elevato dei residui negli ultimi 2 giorni di

Marzo è dovuto ad un errore di acquisizione della potenza termica, che risulta essere pari a zero ma che, per quanto appreso dai modelli, dovrebbe invece essere molto più alta. Un esempio di fault effettivo individuato grazie all'analisi dei residui è illustrato in Figura2.42. In questo caso infatti, nella giornata del 21 Luglio, ad una temperatura esterna più bassa di circa 5 °C rispetto alla media del periodo (temperatura media di 22.9 °C nella giornata del 21/07), non corrisponde un abbassamento della potenza termica impiegata per il raffreddamento (alle 14.45 del 21/07 si impiega una potenza termica di 2.8 kW, pari a quella utilizzata nelle giornate più calde). L'attività di ricerca si è fondata inoltre su opportune analisi di comparazione e accoppiamento tra diversi metodi di FDD. Sulla base dei modelli sviluppati nel precedente contratto, sono state sperimentate tecniche di combinazione in cui i residui derivanti dall'ensembling delle reti neurali sono stati analizzati con tecniche di pattern recognition per l'individuazione di fault caratteristici a partire dalla loro classificazione.

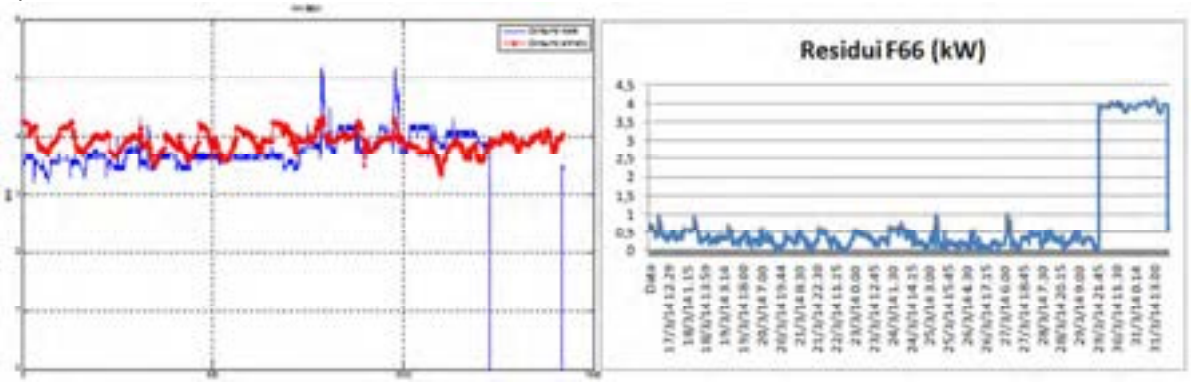


Figura 2.41: Potenza termica reale e stimata per il riscaldamento e residui dell'edificio F66. Marzo 2014.

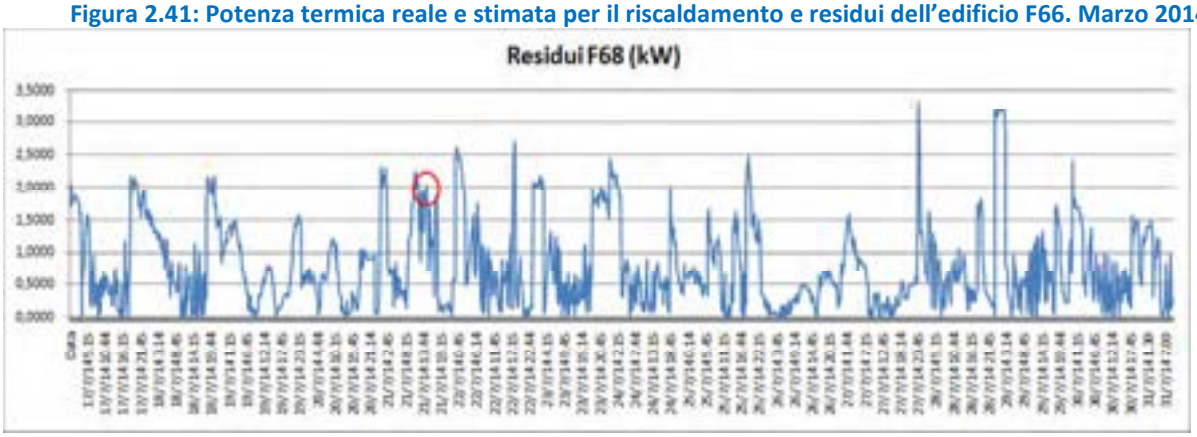


Figura 2.42: Residui relativi alla potenza termica per il raffreddamento dell'edificio F68. Luglio 2014.

A partire dalle analisi di fault detection sopra descritte, sono state implementate, attraverso opportuni fuzzy set, cinque diverse regole diagnostiche per risalire alle cause connesse alle anomalie riscontrate nell'ambito del riscaldamento/raffreddamento degli edifici. In particolare sono state analizzate le seguenti cause:

1) ***Malfunzionamento del timer in centrale termica***: in questo caso la regola che si è introdotta è "Consumo termico alto (funzione di membership: sigmoide) al di fuori dell'orario di lavoro (funzione di membership: gaussiana)".
2) ***Scorretta gestione della distribuzione del calore***: la regola introdotta è "Consumo termico alto (funzione di membership: sigmoide) in orario di lavoro (funzione di membership: gaussiana) e in assenza di occupazione (valore percentuale di occupazione di edificio)" oppure "Consumo termico basso in orario di lavoro e in presenza di occupazione" con identiche funzioni di membership.
3) ***Scorretto funzionamento della valvola miscelatrice in centrale termica***: la regola introdotta è "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" oppure "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".

4) ***Staratura del termostato di stanza in periodo estivo***: la regola introdotta è "Una o più stanze di una zona termica presentano una temperatura interna maggiore del setpoint impostato".
5) ***Anomalia impianto di raffrescamento*****:** la regola introdotta è "Tutte le stanze di una zona hanno una temperatura maggiore del setpoint impostato".

3 Gestione ed upgrade infrastruttura Smart Village

Nell'ambito dei precedenti PAR (RdS/2012/053, RdS/2013/119), presso lo Smart Village sperimentale del C.R. della Casaccia, è stata realizzata una rete di smart buildings che conta attualmente 10 edifici dotati di sistemi di monitoraggio dei consumi energetici e dei dati ambientali, sistemi di attuazione e trasmissione dati e di una piattaforma ICT di supervisione centralizzata e aperta, in fase di sviluppo presso ENEA.
Tale sistema di supervisione permette di elaborare i dati acquisiti per effettuare una diagnostica remota e avanzata sia sul singolo edificio ed utenza della rete che sul loro insieme grazie alla comparazione delle prestazioni dei vari edifici, inoltre provvede all'ottimizzazione dei consumi e all'applicazione di strategie di active demand colloquiando con i sistemi di controllo commerciali installati sugli edifici ovvero i Building Energy Management Systems (BEMS).

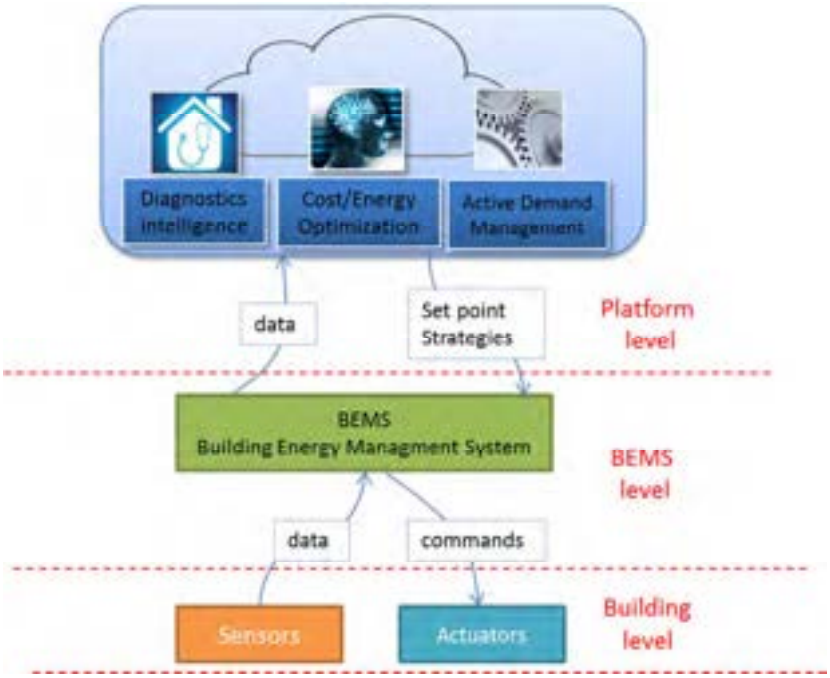


Figura 3.1- Architettura del sistema

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 al fine di individuare un kit competitivo sia in termini di risparmio energetico conseguibile che di costi di installazione. Il punto di partenza è stato costituito dalle tecnologie più innovative disponibili sul mercato che sono state successivamente integrate e implementate per soddisfare le esigenze dettate dalla ricerca in corso.
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 scegliere differenti strategie di controllo sia a livello di intero edificio che di piano, fino al controllo della singola stanza; 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.
In questa annualità, è stato approfondito il tema della gestione della richiesta energetica per la climatizzazione sia dal punto di vista della diagnostica che del controllo remoto in ottica di active demand del network di edifici, sono state pertanto effettuate le attività di implementazione dei sistemi di attuazione e controllo propedeutiche alla sperimentazione delle metodologie sviluppate e testate sul simulatore.

Figura 2.2 - Planimetria dello Smart Village

3.1 Implementazione del sistema di controllo orientato all'ottimizzazione

Presso le centrali termiche di due edifici dello Smart Village, F40 e F64, sono stati inseriti regolatori configurabili; nell'edificio F40, preso come riferimento, tali regolatori sono stati calibrati per consentirne il controllo e ottimizzazione da remoto.
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 cadauna alimentate a Gas naturale. Il fluido surriscaldato a 120°C viene poi mandato alle 66 sottocentrali termiche, ognuna delle quali serve uno o più edifici dei 166 edifici insistenti nel Centro. Questo impianto consta di una rete di tipo a poligonale chiusa di tubazioni di vari diametri, da 35 mm a 254 mm e con una estensione di circa 15.000m tra il circuito di mandata e quello di ritorno.
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 raffrescamento, 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 raffrescamento, per cui alle singole utenze, fan coil, arrivano due circuiti separati che alimentano gli scambiatori acqua-aria. La climatizzazione è completata delle unità UTA che mandano aria climatizzata e filtrata nelle stanze, laboratori e hall tecnologica.

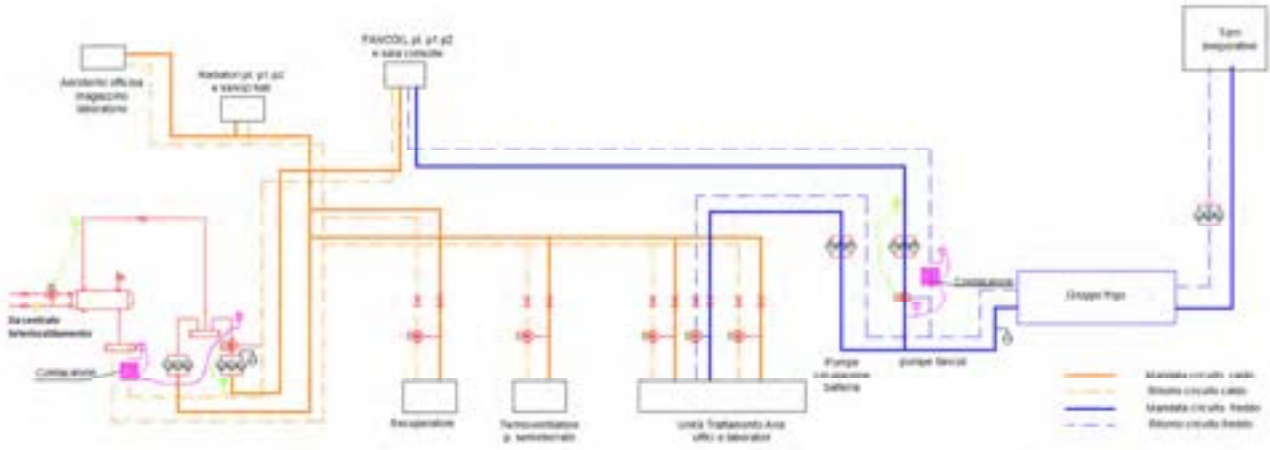


Figura 3.3- Schema impianto termico F40

Nel periodo invernale il fluido termovettore proveniente dalla centrale di teleriscaldamento arriva al circuito primario dello scambiatore di edificio a circa 120°C. All'uscita del primario dello scambiatore abbiamo circa 105-110 °C quindi un delta T di 10-15 °C.
Il secondario dello scambiatore alimenta l'intero edificio con una temperatura di mandata 70°C e temperatura di ritorno di 60°C per un Δ T di 10°C.
Per quanto riguarda il circuito dei fan coil abbiamo una T di mandata di 65°C e una T di ritorno di 60°C.

Per consentire la sperimentazione delle strategie di ottimizzazione sviluppate, (Rif. Rds/2013/122, e RdS/2013/119), sono stati inseriti due regolatori Yokogawa in grado di controllare e regolare la temperatura del fluido termovettore agendo sulla centralina pneumatica della valvola a tre vie (fig. 3.4), inoltre sono state installate sonde per il monitoraggio della temperature di mandata e ritorno in base alla quali vengono impostati gli algoritmi di ottimizzazione.

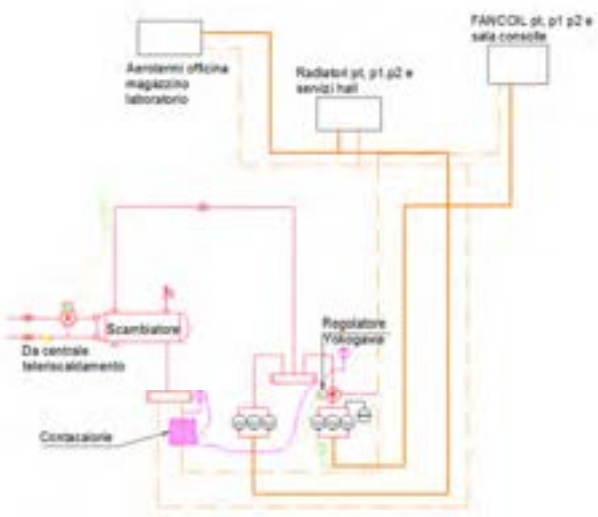


Figura 3.4 - Particolare del circuito regolazione fan coil

Il regolatore acquisisce in ingresso il valore della temperatura e la confronta con un valore di riferimento, ovvero il set point inviato dal sistema di supervisione, la differenza, il cosiddetto segnale di errore, viene quindi usato per determinare il valore della variabile di uscita del controllore cioè la percentuale (0-100%) di apertura della valvola a tre vie. Per determinare la percentuale di apertura il regolatore usa una logica ormai largamente utilizzata nei processi industriali: la regolazione PID (Proporzionale Integrativa Derivativa).

Il modello del regolatore Yokogawa installato è il UT55A ed è dotato di un ampio display (Fig 3.5) dove si possono leggere tutte le grandezze necessarie alla regolazione.

Figura 3.5 - Display regolatore UT55A

La grandezza di input è la temperatura di mandata, il segnale di regolazione in uscita è un 4-20 mA, il set point è impostabile sia in modo locale che remoto.
Il regolatore si programma totalmente con il software LL50A che permette la programmazione locale per mezzo di un'interfaccia a infrarossi-usb, e da remoto, tramite rete Ethernet con specifico indirizzo IP. Il software LL50A permette anche il tuning delle variabili impostate/calcolate e la generazione del relativo grafico.

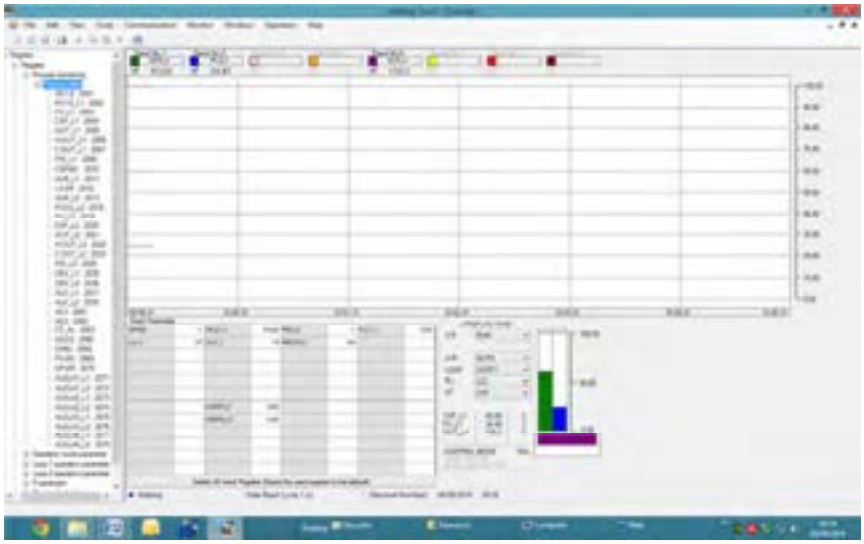


Figura 3.6 - Programma LL50A gestione remota regolatore

Al fine di assicurare una regolazione quanto più stabile e veloce, durante la fase di tuning per l'individuazione dei parametri PID, si è utilizzato il metodo basato su approssimazioni successive per ottenere la convergenza ad un controllo ottimale. Il regolatore PID agisce su una valvola pneumatica di regolazione che ha una dinamica relativamente lenta di cui si deve tener conto per l'ottimizzazione del ciclo di controllo. Nel nostro caso, considerando quindi che l'attuazione di tipo pneumatico innesca anche fenomeni di inerzia di rilievo, i parametri ottimali trovati per il PID sono:

Azione Proporzionale P=20%, Azione Integratrice I=20% , Azione Derivatrice D=10%.

Finita la fase di individuazione dei parametri ottimali PID e testato il buon funzionamento della regolazione, si è passati alla fase di sperimentazione ed in particolare si sono effettuate delle prove su diversi valori di temperature, durante le quali il regolatore PID ha mantenuto ottimamente i parametri di temperatura impostati.

Nella nostra sperimentazione abbiamo simulato diversi tipi di condizioni meteo ed eventi straordinari e di conseguenza abbiamo calcolato diversi tipi di set point di temperatura. Tali set point sono stati poi inseriti

nel regolatore per testare la funzionalità dell'impianto e valutare quanto si può ridurre la temperatura di mandata dei fan-coil senza peggiorare il confort ottimizzando l'utilizzo della risorsa energetica.
Nel grafico che segue sono visibili i dati dei transitori di temperatura ai vari set-point di temperatura in una prova effettuata.

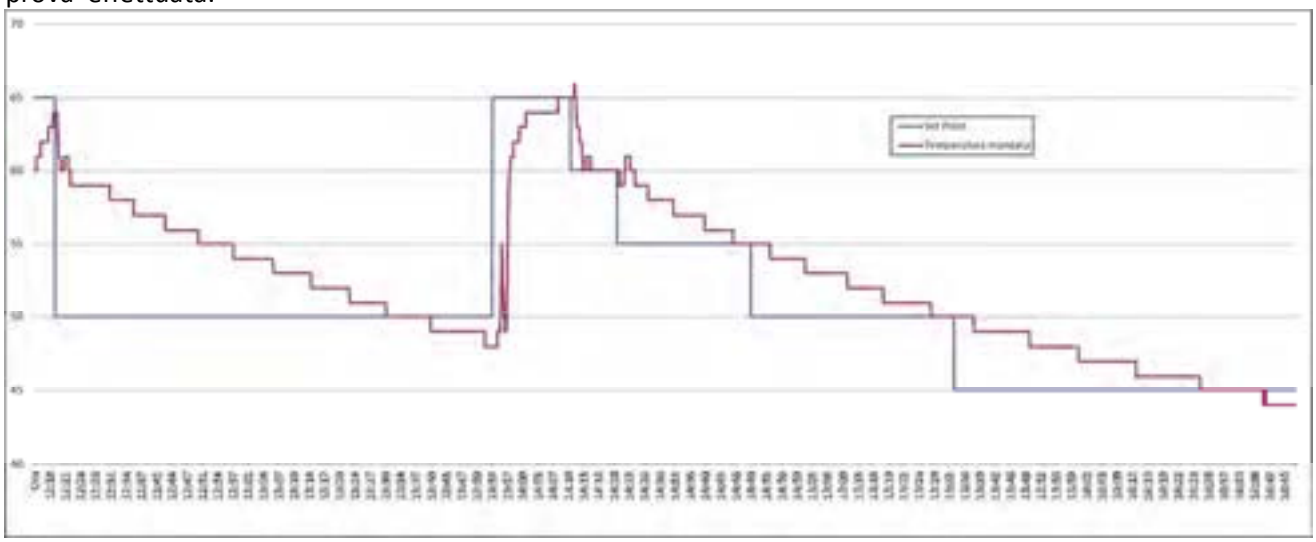


Figura 3.7 - Risultati di un test del regolatore PID

3.2 Upgrade piattaforma EasyCon

La strategia di ottimizzazione sviluppata si basa sul controllo da remoto dei set point dei BEMS tramite l'impostazione della temperatura di mandata del fluido termovettore del circuito di climatizzazione e dei termostati delle singole stanze. A tal fine è stato necessario realizzare, in collaborazione con la società UMPI elettronica, un upgrade e customizzazione dei BEMS installati, in particolare della piattaforma di controllo Easycon dell'edificio F40, preso come edificio di riferimento.

Attualmente presso la control room dell'edificio F40 è ospitato il dispositivo server che comunica, attraverso la rete Ethernet, con i moduli installati in corrispondenza dei quadri elettrici di piano. Il server è dotato di un applicativo software (SW Easycon) che permette la visualizzazione, configurazione e controllo di tutte le periferiche del sistema. L'accesso al sistema di telecontrollo avviene puntando all'indirizzo del server tramite un browser di navigazione. L'applicativo Easycon rende disponibili tutti i dati e le informazioni alla piattaforma di supervisione (realizzato da Enea), mediante una esportazione in formato XML e riceve dallo stesso applicativo i comandi di configurazione dei termostati e di comando di attivazioni mediante l'utilizzo di web-services.

Come descritto nel paragrafo precedente, presso la centrale termica sono state inseriti due centraline di controllo e termoregolazione in grado di rilevare i parametri termici, comunicarli al server remoto e gestire i comandi di regolazione delle elettrovalvole del circuito termico, estivo e invernale. Tale implementazione ha richiesto la modifica e ottimizzazione del centralino di telecontrollo, in modalità sia hardware che firmware, in modo da disporre di dispositivi in grado di gestire un flusso di comunicazione powerline più veloce e sostenuto rispetto al precedente.

Inoltre è stata sviluppata una nuova release del software di gestione in grado di consentire il controllo da remoto dei termostati all'interno delle singole stanze tramite l'invio con cadenza oraria dei set-point; tale impostazione richiedeva infatti una specifica di scambio dati tra centraline e server ad una frequenza decisamente più elevata (controllo orario) rispetto a quanto ipotizzato inizialmente (controllo giornaliero).

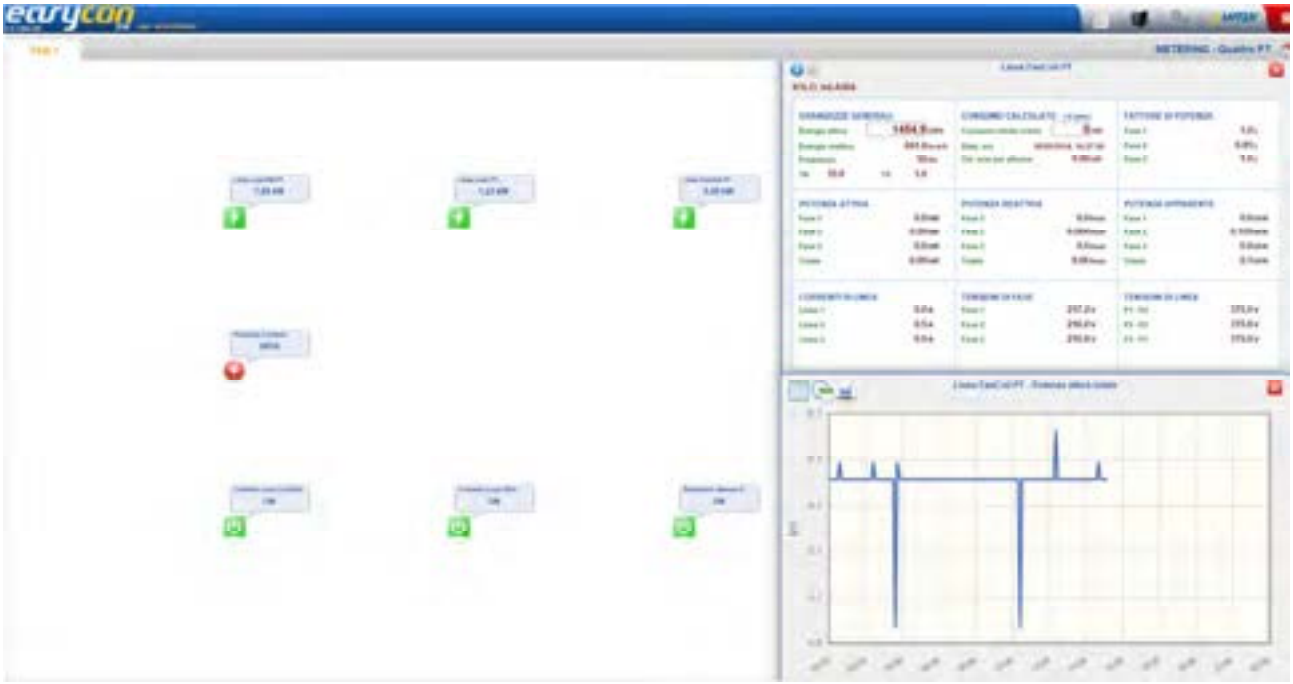


Figura 3.8- Nuova versione sw EasyCon : layout di piano

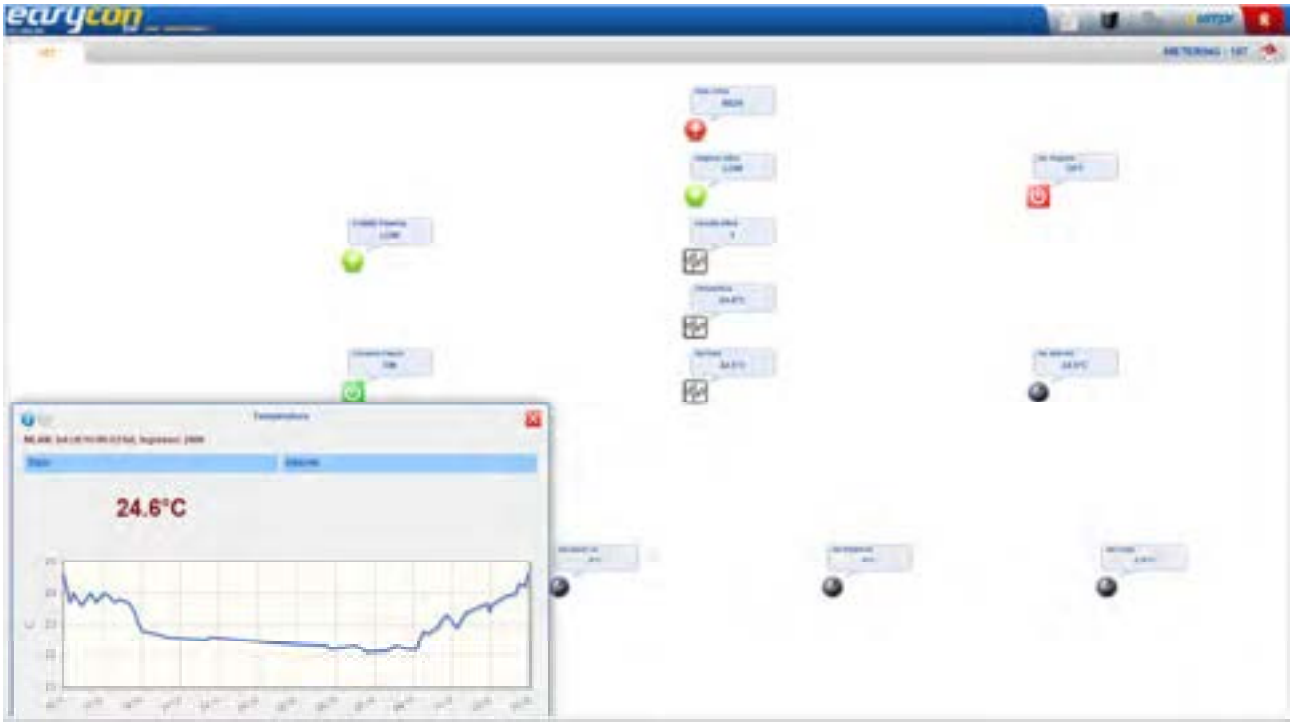


Figura 3.9- Nuova versione sw EasyCon : dettaglio misure stanza

Figura 3.10- Nuova versione sw EasyCon : dettaglio misure centrale termica

Attualmente da remoto, tramite termostato, è possibile la lettura della temperatura dell'aria all'interno della stanza e l'impostazione automatica e dinamica del set point ovvero della temperatura di riferimento che deve essere raggiunta e mantenuta per assicurare il comfort degli occupanti, pertanto si prefigurano due scenari principali:

- utente assente: il termostato viene impostato 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. La rilevazione delle presenze avviene tramite il sistema di monitoraggio delle presenze messo a punto nella precedente annualità basato sull'impiego del badge di presenza.

- utente presente: viene impostata una T di confort che tiene conto delle condizioni meteorologiche previste nel rispetto delle prescrizioni normative vigenti, consentendo di effettuare il controllo attivo della domanda.

Per poter assicurare un efficace controllo della domanda tramite il set point della temperatura interna sono state implementate ulteriori funzioni per il controllo da remoto dei 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;
- impostazione stagione attiva estate/inverno.

L'integrazione hardware e firmware realizzata ha permesso di comunicare con i termostati in modo più rapido e preciso, anche grazie al collegamento del comando di abilitazione direttamente sulla 1° velocità in luogo della 3° come in precedenza. Inoltre il sistema è in grado di trasmettere tutti i parametri misurati in formato XML al sistema di supervisione.

Infine, in ogni stanza è stato predisposto uno switch di sicurezza che consente di escludere la stanza dal controllo remoto del condizionamento in caso di eventuali situazioni di emergenza o malfunzionamento del

sistema, analogamente a quanto era già stato realizzato per il controllo dell'illuminazione artificiale dove un interruttore esterno consente di passare dal controllo automatico a quello manuale.

Figura 3.11- Switch manuale

La figura che segue schematizza i controlli effettuati da remoto a livello di stanza.

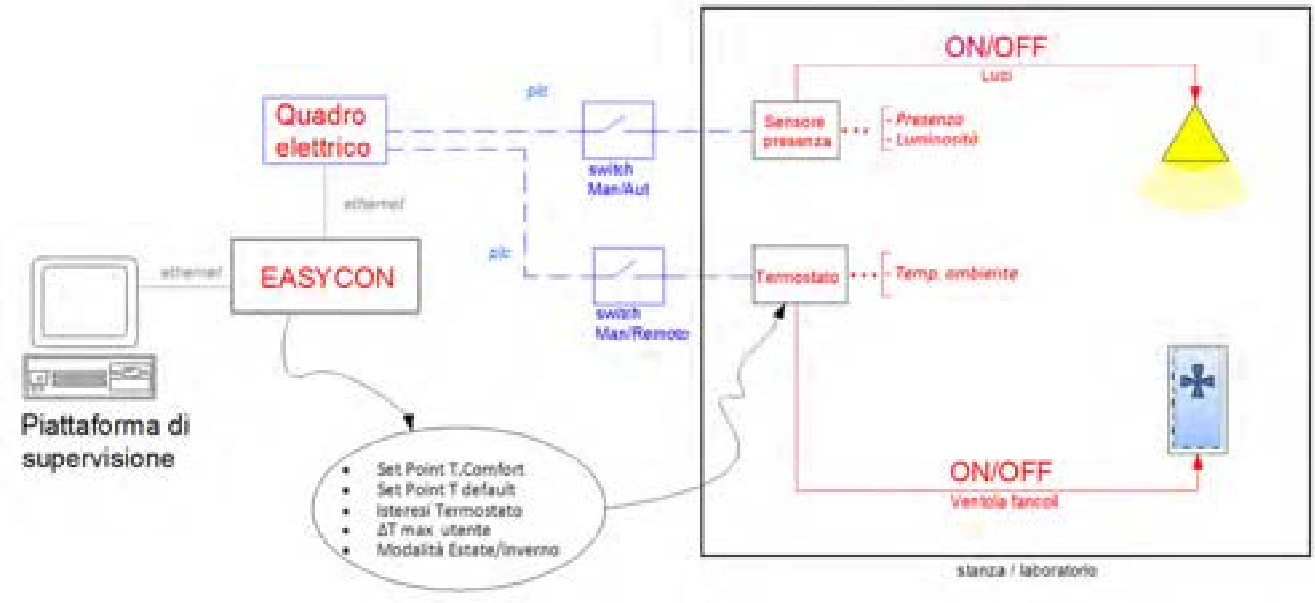


Figura 3.12- Schema gestione a livello di stanza

3.3 Upgrade piattaforma SEM

Al fine di consentire ad applicazioni esterne la richiesta di dati e l'invio di comandi di accensione/spegnimento e settaggi di set point (es. temperature di stanza) in una rete di edifici si è provveduto, in collaborazione con la società Almaviva, ad integrare la piattaforma di controllo remoto della rete di edifici SEM con opportuni web service.

3.3.1 Misure Storiche

Questi servizi hanno il compito di estrarre i dati storici e real time dal DB e di restituirli in formato XML al chiamante.
Il progetto è stato realizzato in .net, mediante programmazione C# e la realizzazione di pagine .scv, ed utilizza la libreria System.Xml, per la scrittura dei tag Xml in formato valido.

1) Per testare un servizio in fase di sviluppo ci sono due modi alternativi, sviluppare un client .net o java oppure utilizzare il programma freeware Fiddler.

2) Per invocare un servizio tramite client bisogna inserire le seguenti righe di codice (l'esempio è stato costruito per il servizio ArchivioMisure, metodo MisureGiorno):

```
HttpWebRequest request = (HttpWebRequest)WebRequest.Create("http://nomeserver/ArchivioMisure.svc/MisureGiorno?azienda={azienda}&idcanale={idcanale}&idcanale2={idcanale2}&datainizio={datainizio}&datafine={datafine}&cosfi={cosfi}&parametro={parametro}");
request.Method = "GET";
request.ContentType = "application/xml";
Convert.ToBase64String(ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes("Utenza" + ":" + "Password"));
request.Headers.Set("Authorization", svcCredentials);
HttpWebResponse webResponse = (HttpWebResponse)request.GetResponse();
Stream webStream = webResponse.GetResponseStream();
StreamReader responseReader = new StreamReader(webStream);
string response = responseReader.ReadToEnd();
Console.Out.WriteLine(response);
responseReader.Close();
```

Le credenziali fornite, Utenza e Password, vengono verificate accedendo alla tabella dm_d_login_webservices dello schema DB nrg_30.

I servizi chiamati sono:

1. **Misure Giorno**

Il servizio restituisce, in formato xml, il consumo di energia attiva (kwh) giornaliero, il consumo procapite e il consumo su superficie del canale passato come parametro di input. E' possibile richiedere uno o più giorni attraverso i parametri di data inizio e data fine.
I parametri da passare in input sono:

- ***Azienda (Codice Identificativo Azienda)***
- ***Id Canale (Codice Identificativo Canale)***
- ***Id Canale 2 (Codice Identificativo Canale di reattiva nel caso di cosfi – non obbligatorio)***
- ***Data Inizio (nel formato aaaammgg)***
- ***Data Fine (nel formato aaaammgg)***
- ***Cosfi (stringa SI che identifica la presenza del cosfi – non obbligatorio)***
- ***Parametro (stringa 0/1 che identifica la presenza del valore del parametro – non obbligatorio)***

Esempio di xml nel caso in cui il parametro cosfi è no e il campo parametro è 0 :
struttura [description=Curva di Consumo]

```
<sensor value="673.8" value_m2="135.628019" value_procapite="1773.157895" giorno="01/01/2014" />
```

Esempio di xml nel caso in cui il paramtero cosfi è Sì (in questo caso la chiamata al servizio deve contenere l'indicazione del canale di reattiva:
struttura [description=Cosfi]
<sensor value="0.89" giorno="01/01/2014" />

2. Misure

Il servizio restituisce i dati di consumo di energia attiva/reattiva (Kw) al quarto d'ora di un canale passato come parametro in input. La richiesta può essere fatta per uno o più giorni e il formato che restituisce è in xml.
Anche questo servizio viene invocato tramite la seguente chiamata:

```
HttpWebRequest request = (HttpWebRequest)WebRequest.Create("http://nomeserver/ArchivioMisure.svc/Misure?azienda={azienda}&idcanale={idcanale}&idcanale2={idcanale2}&datainizio={datainizio}&datafine={datafine}&cosfi={cosfi}");
request.Method = "GET";
request.ContentType = "application/xml";
Convert.ToBase64String(ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes("Utenza" + ":" + "Password"));
request.Headers.Set("Authorization", svcCredentials);
HttpWebResponse webResponse = (HttpWebResponse)request.GetResponse();
Stream webStream = webResponse.GetResponseStream();
StreamReader responseReader = new StreamReader(webStream);
string response = responseReader.ReadToEnd();
Console.Out.WriteLine(response);
responseReader.Close();
```

I parametri di input sono:

- ***Azienda (Codice Identificativo Azienda)***
- ***Id Canale (Codice Identificativo Canale)***
- ***Id Canale 2 (codice Id del canale di Reattiva in caso di cosfi– non obbligatorio)***
- ***Data Inizio (nel formato aaaammgg)***
- ***Data Fine (nel formato aaaammgg)***
- ***Cosfi (stringa SI che identifica la presenza del cosfi– non obbligatorio)***

Esempio di xml nel caso in cui non sia stato indicato il Cosfi:
struttura [description=Curva di Consumo]
<sensor value="26.4" value_m2="1.328502" value_procapite="17.368421" giorno_ora="01/01/2014 0.15" />
<sensor value="25.6" value_m2="1.288245" value_procapite="16.842105" giorno_ora="01/01/2014 0.30" />
<sensor value="26.4" value_m2="1.328502" value_procapite="17.368421" giorno_ora="01/01/2014 0.45" />
<sensor value="26.4" value_m2="1.328502" value_procapite="17.368421" giorno_ora="01/01/2014 1.00" />

Esempio di xml nel caso in cui sia stato richiesto il Cosfi:
struttura [description=Cosfi]
<sensor value="0.75" giorno_ora="01/01/2014 0.15" />
<sensor value="0.73" giorno_ora="01/01/2014 0.30" />
<sensor value="0.79" giorno_ora="01/01/2014 0.45" />

3. **Misure Orarie**

Il servizio restituisce i dati di consumo di energia attiva/reattiva (Kw) per ogni ora del giorno o più giorni indicati come parametri di input. Tale richiesta restituisce un file xml.
I parametri di input sono:

- ***Azienda (Codice Identificativo Azienda)***
- ***Id Canale (Codice Identificativo Canale)***
- ***Id Canale 2 (codice Id del canale di Reattiva in caso di cosfi – non obbligatorio)***
- ***Data Inizio (nel formato aaaammgg)***
- ***Data Fine (nel formato aaaammgg)***
- ***Cosfi (stringa SI che identifica la presenza del cosfi – non obbligatorio)***

La stringa di chiamata è:

```
HttpWebRequest request = (HttpWebRequest)WebRequest.Create("http://nomeserver/ArchivioMisure.svc/MisureOrarie?azienda={azienda}&idcanale={idcanale}&idcanale2={idcanale2}&datainizio={datainizio}&datafine={datafine}&cosfi={cosfi}");
request.Method = "GET";
request.ContentType = "application/xml";
Convert.ToBase64String(ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes("Utenza" + ":" + "Password"));
request.Headers.Set("Authorization", svcCredentials);
HttpWebResponse webResponse = (HttpWebResponse)request.GetResponse();
Stream webStream = webResponse.GetResponseStream();
StreamReader responseReader = new StreamReader(webStream);
string response = responseReader.ReadToEnd();
Console.Out.WriteLine(response);
responseReader.Close();
```

Esempio di xml nel caso in cui non sia stato indicato il Cosfi:

```
struttura [ description=Curva di Consumo ]
<sensor value="26.2" value_m2="5.273752" value_procapite="68.947368" giorno_ora="01/01/2014 1.00" />
<sensor value="26.2" value_m2="5.273752" value_procapite="68.947368" giorno_ora="01/01/2014 2.00" />
<sensor value="26.2" value_m2="5.273752" value_procapite="68.947368" giorno_ora="01/01/2014 3.00" />
<sensor value="26" value_m2="5.233494" value_procapite="68.421053" giorno_ora="01/01/2014 4.00" />
```

Esempio di xml nel caso in cui sia stato richiesto il Cosfi:

```
struttura [ description=Cosfi ]
<sensor value="0.76" giorno_ora="01/01/2014 1.00" />
<sensor value="0.78" giorno_ora="01/01/2014 2.00" />
```

4. **Misure Non Elettriche**

Il servizio restituisce i dati di consumo al quarto d'ora di una determinata misura, indicata in input, per uno o più giorni. Tale richiesta restituisce un file xml.
I parametri di input sono:

- ***Azienda (Codice Identificativo Azienda)***
- ***Id Canale (Codice Identificativo Canale)***
- ***Data Inizio (nel formato aaaammgg)***

- ***Data Fine (nel formato aaaammgg)***

La stringa di chiamata è la seguente:

```
HttpWebRequest request = (HttpWebRequest)WebRequest.Create("http://nomeserver/ArchivioMisure.svc/MisureNonElettriche?azienda={azienda}&idcanale={idcanale}&datainizio={datainizio}&datafine={datafine}");
request.Method = "GET";
request.ContentType = "application/xml";
Convert.ToBase64String(ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes("Utenza" + ":" + "Password"));
request.Headers.Set("Authorization", svcCredentials);
HttpWebResponse webResponse = (HttpWebResponse)request.GetResponse();
Stream webStream = webResponse.GetResponseStream();
StreamReader responseReader = new StreamReader(webStream);
string response = responseReader.ReadToEnd();
Console.Out.WriteLine(response);
responseReader.Close();
```

Esempio di xml:
struttura [description=Curva di Consumo]

```
<sensor value="26.4" value_m2="1.328502" value_procapite="17.368421" giorno_ora="01/01/2014 0.15" />
<sensor value="25.6" value_m2="1.288245" value_procapite="16.842105" giorno_ora="01/01/2014 0.30" />
<sensor value="26.4" value_m2="1.328502" value_procapite="17.368421" giorno_ora="01/01/2014 0.45" />
```

5. Misure Orarie Non Elettriche

Il servizio restituisce i dati di consumo non elettrici, per ciascuna ora del giorno indicato nei parametri di input. Tale richiesta restituisce un file xml.
I parametri di input sono:

- ***Azienda (Codice Identificativo Azienda)***
- ***Id Canale (Codice Identificativo Canale)***
- ***Data Inizio (nel formato aaaammgg)***
- ***Data Fine (nel formato aaaammgg)***

La stringa di chiamata è la seguente:

```
HttpWebRequest request = (HttpWebRequest)WebRequest.Create("http://nomeserver/ArchivioMisure.svc/MisureOrarieNonElettriche?azienda={azienda}&idcanale={idcanale}&datainizio={datainizio}&datafine={datafine}");
request.Method = "GET";
request.ContentType = "application/xml";
Convert.ToBase64String(ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes("Utenza" + ":" + "Password"));
request.Headers.Set("Authorization", svcCredentials);
HttpWebResponse webResponse = (HttpWebResponse)request.GetResponse();
Stream webStream = webResponse.GetResponseStream();
StreamReader responseReader = new StreamReader(webStream);
string response = responseReader.ReadToEnd();
```

Console.Out.WriteLine(response);
responseReader.Close();

Esempio di xml:
struttura [description=Curva di Consumo]
<sensor value="26.2" value_m2="5.273752" value_procapite="68.947368" giorno_ora="01/01/2014 1.00" />
<sensor value="26.2" value_m2="5.273752" value_procapite="68.947368" giorno_ora="01/01/2014 2.00" />
<sensor value="26.2" value_m2="5.273752" value_procapite="68.947368" giorno_ora="01/01/2014 3.00" />
<sensor value="26" value_m2="5.233494" value_procapite="68.421053" giorno_ora="01/01/2014 4.00" />

6. Misure Mese

Il servizio restituisce, in formato xml, il consumo di energia attiva (kwh) mensile, il consumo procapite e il consumo su superficie del canale passato come parametro di input. E' possibile richiedere uno o più giorni attraverso i parametri di data inizio e data fine.
Il servizio viene invocato tramite la seguente chiamata:

HttpWebRequest request = (HttpWebRequest)WebRequest.Create("http://*nomeserver*/ArchivioMisure.svc/MisureMese?azienda={azienda}&idcanale={idcanale}&datainizio={datainizio}&datafine={datafine}");
request.Method = "GET";
request.ContentType = "application/xml";
Convert.ToBase64String(ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes("*Utenza*" + ":" + "*Password*"));
request.Headers.Set("Authorization", svcCredentials);
HttpWebResponse webResponse = (HttpWebResponse)request.GetResponse();
Stream webStream = webResponse.GetResponseStream();
StreamReader responseReader = new StreamReader(webStream);
string response = responseReader.ReadToEnd();
Console.Out.WriteLine(response);
responseReader.Close();

I parametri in da passare in input sono:

- ***Azienda (Codice Identificativo Azienda)***
- ***Id Canale (Codice Identificativo Canale)***
- ***Data Inizio (nel formato aaaammgg)***
- ***Data Fine (nel formato aaaammgg)***

Esempio di xml:
struttura [description=Curva di Consumo]
<sensor value="12273.6" value_m2="2470.531401" value_procapite="32298.947368" mese="201401" />

7. Misure Istantanee

Il servizio restituisce, in formato xml, il consumo di energia attiva (kwh) istantaneo attraverso il passaggio della data inizio, data fine, ora e minuti inizio, ora e minuti fine e del canale.
Il servizio viene invocato tramite la seguente chiamata:
HttpWebRequest request = (HttpWebRequest)WebRequest.Create("http://*nomeserver*/ArchivioMisure.svc/

```
MisureIstantanee?azienda={azienda}&idcanale={idcanale}&datainizio={datainizio}&datafine={datafine}&or
ainizio={orainizio}&minutiinizio={minutiinizio}&orafine={orafine}&minutifine={minutifine}");
request.Method = "GET";
request.ContentType = "application/xml";
Convert.ToBase64String(ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes("Utenza" + ":" + "Password"));
request.Headers.Set("Authorization", svcCredentials);
HttpWebResponse webResponse = (HttpWebResponse)request.GetResponse();
Stream webStream = webResponse.GetResponseStream();
StreamReader responseReader = new StreamReader(webStream);
string response = responseReader.ReadToEnd();
Console.Out.WriteLine(response);
responseReader.Close();
```

I parametri in da passare in input sono:

- ***Azienda (Codice Identificativo Azienda)***
- ***Id Canale (Codice Identificativo Canale)***
- ***Data Inizio (nel formato aaaammgg)***
- ***Data Fine (nel formato aaaammgg)***
- ***Ora inizio***
- ***Minuti inizio***
- ***Ora fine***
- ***Minuti fine***

Esempio di xml:

```
struttura [ description=Curva di Consumo ]
<sensor value="6.6" giorno_ora="01/01/2014 0.00" />
<sensor value="6.4" giorno_ora="01/01/2014 0.15" />
<sensor value="6.6" giorno_ora="01/01/2014 0.30" />
<sensor value="6.6" giorno_ora="01/01/2014 0.45" />
<sensor value="6.4" giorno_ora="01/01/2014 1.00" />
<sensor value="6.6" giorno_ora="01/01/2014 1.15" />
```

8. Misure Istantanee Non Elettriche

Il servizio restituisce, in formato xml, il consumo istantaneo di una misura non elettrica attraverso il passaggio della data inizio, data fine, ora e minuti inizio, ora e minuti fine e l'identificativo del canale.
Il servizio viene invocato tramite la seguente chiamata:

```
HttpWebRequest request = (HttpWebRequest)WebRequest.Create("http://nomeserver/ArchivioMisure.svc/
MisureIstantaneeNonElettriche?azienda={azienda}&idcanale={idcanale}&datainizio={datainizio}&datafine={
datafine}&orainizio={orainizio}&minutiinizio={minutiinizio}&orafine={orafine}&minutifine={minutifine}");
request.Method = "GET";
request.ContentType = "application/xml";
Convert.ToBase64String(ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes("Utenza" + ":" + "Password"));
request.Headers.Set("Authorization", svcCredentials);
HttpWebResponse webResponse = (HttpWebResponse)request.GetResponse();
Stream webStream = webResponse.GetResponseStream();
StreamReader responseReader = new StreamReader(webStream);
string response = responseReader.ReadToEnd();
```

Console.Out.WriteLine(response);
responseReader.Close();

I parametri in da passare in input sono:

- ***Azienda (Codice Identificativo Azienda)***
- ***Id Canale (Codice Identificativo Canale)***
- ***Data Inizio (nel formato aaaammgg)***
- ***Data Fine (nel formato aaaammgg)***
- ***Ora inizio***
- ***Minuti inizio***
- ***Ora fine***
- ***Minuti fine***

Esempio di xml:
struttura [description=Curva di Consumo]
<sensor value="9000" giorno_ora="01/01/2014 0.00" />
<sensor value="8400" giorno_ora="01/01/2014 0.15" />
<sensor value="9200" giorno_ora="01/01/2014 0.30" />
<sensor value="8800" giorno_ora="01/01/2014 0.45" />
<sensor value="9000" giorno_ora="01/01/2014 1.00" />

9. Misure Puntuali

Il servizio restituisce, in formato xml, il consumo di energia attiva (kwh) preciso di un determinato giorno e ora di una azienda per tutti canali.
Il servizio viene invocato tramite la seguente chiamata:
HttpWebRequest request = (HttpWebRequest)WebRequest.Create("http://*nomeserver*/ArchivioMisure.svc/MisurePuntuali?azienda={azienda}&sede={sede}&data={data}&ora={ora}&minuti={minuti}");
request.Method = "GET";
request.ContentType = "application/xml";
Convert.ToBase64String(ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes("*Utenza*" + ":" + "*Password*"));
request.Headers.Set("Authorization", svcCredentials);
HttpWebResponse webResponse = (HttpWebResponse)request.GetResponse();
Stream webStream = webResponse.GetResponseStream();
StreamReader responseReader = new StreamReader(webStream);
string response = responseReader.ReadToEnd();
Console.Out.WriteLine(response);
responseReader.Close();

I parametri in da passare in input sono:

- ***Azienda (Codice Identificativo Azienda)***
- ***Sede***
- ***Data (nel formato aaaammgg)***
- ***Ora***
- ***Minuti***

Esempio di xml:
struttura [description=Curva di Consumo]
<sensor canale="Contatore generale 1" tipo_misura="1" unita_misura="W" value="138500" giorno_ora="01/01/2014 20.00" />

<sensor canale="Contatore generale 1" tipo_misura="2" unita_misura="VAr" value="18000" giorno_ora="01/01/2014 20.00" />
<sensor canale="Contatore Generale 2" tipo_misura="1" unita_misura="W" value="105500" giorno_ora="01/01/2014 20.00" />
<sensor canale="Contatore Generale 2" tipo_misura="2" unita_misura="VAr" value="7500" giorno_ora="01/01/2014 20.00" />

3.3.2 Misure Realtime

Il servizio MisureRealTime ha il compito di estrarre i dati in tempo reale dal DB e di restituirli in formato XML al chiamante.

1. **Misurazioni**

Il servizio restituisce, in formato xml, il consumo real time di energia elettrica e non elettrica in base ai parametri passati in input.
Il servizio viene invocato tramite la seguente chiamata:

```
HttpWebRequest request = (HttpWebRequest)WebRequest.Create("http://nomeserver/MisureRealTime.svc/Misurazioni?azienda={azienda}&sede={sede}&edificio={edificio}&piano={piano}&dettaglio={dettaglio}&idlinea={idlinea}&tipomisura={tipomisura}");
request.Method = "GET";
request.ContentType = "application/xml";
Convert.ToBase64String(ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes("Utenza" + ":" + "Password"));
request.Headers.Set("Authorization", svcCredentials);
HttpWebResponse webResponse = (HttpWebResponse)request.GetResponse();
Stream webStream = webResponse.GetResponseStream();
StreamReader responseReader = new StreamReader(webStream);
string response = responseReader.ReadToEnd();
Console.Out.WriteLine(response);
responseReader.Close();
```

I parametri in da passare in input sono:

- ***Azienda (Codice Identificativo Azienda) – dato obbligatorio***
- ***Sede (Codice Identificativo Sede) – dato obbligatorio***
- ***Edificio (Codice Identificativo Edificio)***
- ***Piano (Codice Identificativo Piano)***
- ***Dettaglio (flag per il dettaglio)***
- ***Linea (Codice Identificativo Linea)***
- ***Tipo Misura (Codice Identificativo Tipo Misura)***

Il parametro Sede è obbligatorio ma, se si vogliono avere i dati di tutte le sedi bisogna impostare il valore a 0.
Tutti gli altri parametri possono essere in alternativa e, in base a ciò che si è passato in input, la struttura del xml cambia.
Esempio di xml con il solo passaggio dell'azienda ma la sede a 0:
struttura [description=Almaviva]
<sensor struttura="Casal Boccone" type="Contatore generale - Potenza attiva" value="960.3573" unit="KW" time="18/06/2014 14:15:44" />
<sensor struttura="Catania Contact" type="Contatore generale - Potenza attiva" value="147.0138" unit="KW" time="18/06/2014 14:15:44" />

<sensor struttura="Estensi" type="Contatore generale - Potenza attiva" value="688.9952" unit="KW" time="18/06/2014 14:15:44" />

Esempio di xml con il passaggio dell'azienda, sede e edificio:
struttura [description=Scalo Prenestino]
<sensor struttura="Intera Sede" type="Contatore generale - Potenza attiva" value="1124,4632" unit="KW" time="18/06/2014 15:18:22" num_linee="2" />
<sensor struttura="Intera Sede" type="Contatore generale - Reattiva trifase" value="213,8209" unit="KVAr" time="18/06/2014 15:18:22" num_linee="2" />

Esempio di xml con il passaggio dell'azienda, sede, edificio e dettaglio "Si":

<sensor struttura="Scalo Prenestino" type="Contatore generale 1 - Potenza attiva" value="666,9137" unit="KW" time="18/06/2014 15:22:06" num_linee="1" />
<sensor struttura="Scalo Prenestino" type="Contatore generale 1 - Reattiva trifase" value="183,7485" unit="KVAr" time="18/06/2014 15:22:06" num_linee="1" />
<sensor struttura="Scalo Prenestino" type="Contatore generale - Fattore di Potenza" value="0,964" unit="" time="18/06/2014 15:22:06" num_linee="1" />

Esempio di xml con il passaggio dell'azienda, sede, edificio, linea e tipo misura:
struttura [description=Scalo Prenestino - Intero edificio]
<sensor struttura="Scalo Prenestino - Intero edificio" type="Contatore generale 1 - Potenza attiva" value="600,2001" unit="KW" time="18/06/2014 15:48:19" num_linee="1" />
<sensor struttura="Scalo Prenestino - Intero edificio" type="Contatore Generale 2 - Potenza attiva" value="600,2001" unit="KW" time="18/06/2014 15:48:19" num_linee="1" />

2. **Misurazioni Giorno**

Il servizio restituisce i dati al quarto d'ora, in formato xml, delle misure corrispondenti ai parametri passati in input, dalla mezzanotte all'ultimo slot disponibile. Se non viene specificato il canale, i dati vengono raggruppati secondo i parametri inseriti.
Il servizio viene invocato tramite la seguente chiamata:

```
HttpWebRequest request = (HttpWebRequest)WebRequest.Create("http://nomeserver/MisureRealTime.svc/MisurazioniGiorno?azienda={azienda}&sede={sede}&edificio={edificio}&piano={piano}&idlinea={idlinea}&canale={canale}&tipomisura={tipomisura}");
request.Method = "GET";
request.ContentType = "application/xml";
Convert.ToBase64String(ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes("Utenza" + ":" + "Password"));
request.Headers.Set("Authorization", svcCredentials);
HttpWebResponse webResponse = (HttpWebResponse)request.GetResponse();
Stream webStream = webResponse.GetResponseStream();
StreamReader responseReader = new StreamReader(webStream);
string response = responseReader.ReadToEnd();
Console.Out.WriteLine(response);
responseReader.Close();
```

I parametri in da passare in input sono:

- ***Azienda (Codice Identificativo Azienda) – dato obbligatorio***
- ***Sede (Codice Identificativo Sede) – dato obbligatorio***
- ***Edificio (Codice Identificativo Edificio)***

- ***Piano (Codice Identificativo Piano)***
- ***Linea (Codice Identificativo Linea) – dato obbligatorio***
- ***Canale (Codice Identificativo Linea) – dato obbligatorio se si vuole ottenere il cosfi. In questo caso il tipo misura deve valere 3***
- ***Tipo Misura (Codice Identificativo Tipo Misura)***

Esempio di xml con il passaggio dell'azienda, sede e linea:
canale [description=CANALE]
<sensor value="1264.4221" day="18/06/2014 00:00:00" slot="1" unit="KW" />
<sensor value="1322.3564" day="18/06/2014 00:00:00" slot="2" unit="KW" />
<sensor value="1284.0455" day="18/06/2014 00:00:00" slot="3" unit="KW" />
<sensor value="1335.0916" day="18/06/2014 00:00:00" slot="4" unit="KW" />

Esempio di xml con il passaggio dell'azienda, sede, linea, canale e tipo misura = 3 per ottenere il cosfi:
canale [description=CANALE]
<sensor value="0.976481479594564" day="18/06/2014 00:00:00" slot="1" unit="" />
<sensor value="0.969759540138226" day="18/06/2014 00:00:00" slot="2" unit="" />
<sensor value="0.973539312248736" day="18/06/2014 00:00:00" slot="3" unit="" />
<sensor value="0.969864074533266" day="18/06/2014 00:00:00" slot="4" unit="" />

3. Misurazioni Ieri

Il servizio restituisce i dati al quarto d'ora, in formato xml, delle misure corrispondenti ai parametri passati in input, per tutti i 96 slot relativi al giorno precedente la data corrente. Se non viene specificato il canale, i dati vengono raggruppati secondo i parametri inseriti.
Il servizio viene invocato tramite la seguente chiamata:

```
HttpWebRequest request = (HttpWebRequest)WebRequest.Create("http://nomeserver/MisureRealTime.svc/MisurazioneIeri?azienda={azienda}&sede={sede}&edificio={edificio}&piano={piano}&idlinea={idlinea}&canale={canale}&tipomisura={tipomisura}");
request.Method = "GET";
request.ContentType = "application/xml";
Convert.ToBase64String(ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes("Utenza" + ":" + "Password"));
request.Headers.Set("Authorization", svcCredentials);
HttpWebResponse webResponse = (HttpWebResponse)request.GetResponse();
Stream webStream = webResponse.GetResponseStream();
StreamReader responseReader = new StreamReader(webStream);
string response = responseReader.ReadToEnd();
Console.Out.WriteLine(response);
responseReader.Close();
```

I parametri in da passare in input sono:

- ***Azienda (Codice Identificativo Azienda) – dato obbligatorio***
- ***Sede (Codice Identificativo Sede) – dato obbligatorio***
- ***Edificio (Codice Identificativo Edificio) obbligatorio se indicato il piano***
- ***Piano (Codice Identificativo Piano)***
- ***Linea (Codice Identificativo Linea) – dato obbligatorio***
- ***Canale (Codice Identificativo Linea) – dato obbligatorio se si vuole ottenere il cosfi. In questo caso il tipo misura deve valere 3***
- ***Tipo Misura (Codice Identificativo Tipo Misura)***

Esempio di xml con il passaggio dell'azienda, sede e linea:

canale [description=CANALE]
<sensor value="1264.4221" day="18/06/2014 00:00:00" slot="1" unit="KW" />
<sensor value="1322.3564" day="18/06/2014 00:00:00" slot="2" unit="KW" />
<sensor value="1284.0455" day="18/06/2014 00:00:00" slot="3" unit="KW" />

Esempio di xml con il passaggio dell'azienda, sede, edificio e linea:

canale [description=CANALE]
<sensor value="1264.4221" day="18/06/2014 00:00:00" slot="1" unit="KW" />
<sensor value="1322.3564" day="18/06/2014 00:00:00" slot="2" unit="KW" />
<sensor value="1284.0455" day="18/06/2014 00:00:00" slot="3" unit="KW" />
<sensor value="1335.0916" day="18/06/2014 00:00:00" slot="4" unit="KW" />
<sensor value="1265.516" day="18/06/2014 00:00:00" slot="5" unit="KW" />
<sensor value="1287.0234" day="18/06/2014 00:00:00" slot="6" unit="KW" />
<sensor value="1223.2344" day="18/06/2014 00:00:00" slot="7" unit="KW" />
<sensor value="1307.121" day="18/06/2014 00:00:00" slot="8" unit="KW" />

Esempio di xml con il passaggio dell'azienda, sede, linea, canale e tipo misura = 3 per ottenere il cosfi:

canale [description=CANALE]
<sensor value="0.976481479594564" day="18/06/2014 00:00:00" slot="1" unit="" />
<sensor value="0.969759540138226" day="18/06/2014 00:00:00" slot="2" unit="" />
<sensor value="0.973539312248736" day="18/06/2014 00:00:00" slot="3" unit="" />
<sensor value="0.969864074533266" day="18/06/2014 00:00:00" slot="4" unit="" />

4. **Misurazioni Sede All**

Viene restituito l'ultimo valore disponibile per le misure della sede, in formato xml, raggruppate secondo il tipo linea e la struttura dell'edificio.
Il servizio viene invocato tramite la seguente chiamata:

```
HttpWebRequest request = (HttpWebRequest)WebRequest.Create("http://nomeserver/MisureRealTime.svc/MisurazioneSedeAll?azienda={azienda}&sede={sede}");
request.Method = "GET";
request.ContentType = "application/xml";
Convert.ToBase64String(ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes("Utenza" + ":" + "Password"));
request.Headers.Set("Authorization", svcCredentials);
HttpWebResponse webResponse = (HttpWebResponse)request.GetResponse();
Stream webStream = webResponse.GetResponseStream();
StreamReader responseReader = new StreamReader(webStream);
string response = responseReader.ReadToEnd();
Console.Out.WriteLine(response);
responseReader.Close();
```

I parametri in da passare in input sono:

- ***Azienda (Codice Identificativo Azienda) – dato obbligatorio***
- ***Sede (Codice Identificativo Sede) – dato obbligatorio***

Esempio di xml:

struttura [type=Cabina Condominiale]
<sensor struttura="Potenza attiva" piano="Intero edificio " type="Contatore generale - Potenza attiva" value="147,2694" unit="KW" time="19/06/2014 10:14:19" />
<sensor struttura="Reattiva trifase" piano="Intero edificio " type="Contatore generale - Reattiva trifase" value="33987,9" unit="VAr" time="19/06/2014 10:14:19" />
<sensor struttura="Potenza attiva" piano="Intero edificio " type="Trasformatori - Potenza attiva" value="148,7587" unit="KW" time="19/06/2014 10:14:19" />
<sensor struttura="Potenza attiva" piano="Intero edificio " type="Linea cucina - Potenza attiva" value="27,7644" unit="KW" time="19/06/2014 10:14:19" />
<sensor struttura="Potenza attiva" piano="Intero edificio " type="Linea cucina - Potenza attiva" value="23,78" unit="KW" time="19/06/2014 10:14:19" />
struttura [type=Galileo - A]
<sensor struttura="Potenza attiva" piano="Intero edificio " type="Contatore generale - Potenza attiva" value="95,1374" unit="KW" time="19/06/2014 10:14:19" />
<sensor struttura="Reattiva trifase" piano="Intero edificio " type="Contatore generale - Reattiva trifase" value="50897,8" unit="VAr" time="19/06/2014 10:14:19" />
<sensor struttura="Metano" piano="Intero edificio " type="Metano - Metano" value="0" unit="Smc" time="19/06/2014 10:14:19" />
<sensor struttura="Potenza attiva" piano="Intero edificio " type="Trasformatori - Potenza attiva" value="0" unit="KW" time="19/06/2014 10:14:19" />
struttura [type=Galileo - B]
<sensor struttura="Potenza attiva" piano="Intero edificio " type="Contatore generale - Potenza attiva" value="58,7467" unit="KW" time="19/06/2014 10:14:19" />
<sensor struttura="Reattiva trifase" piano="Intero edificio " type="Contatore generale - Reattiva trifase" value="19824,3" unit="VAr" time="19/06/2014 10:14:19" />
<sensor struttura="Metano" piano="Intero edificio " type="Metano - Metano" value="0" unit="Smc" time="19/06/2014 10:14:19" />

3.3.3 Cap Message

Il Web Service CAPMsg_SEM si occupa della ricezione di un messaggio nel formato CAP (Common Alerting Protocol) e della sua memorizzazione nel Database, allo scopo di trarre informazioni dettagliate sulle anomalie verificatesi nel sistema, tramite reportistica appropriata. Tale formato è quello utilizzato dal sistema diagnostico per inviare segnalazioni di anomalie.

Il Web Service è di tipo RestFul ed è accedibile alla URL http://nomeserver/WebServiceSem/ CAPMsg_SEM.svc

Il relativo WSDL è disponibile alla URL http://nomeserver/WebServiceSem/ CAPMsg_SEM.svc?wsdl.
La sicurezza è garantita dalla richiesta di autenticazione, effettuata tramite http Basic Authentication. Le credenziali di accesso ed privilegi associati vengono verificati tramite accesso al DB degli utenti.
E' da precisare che tali credenziali vengono trasmessi nell'Header della chiamata http e con una codifica base 64.
Il progetto è stato realizzato in .net, mediante programmazione C# e la realizzazione di pagine .scv.

1) Per testare un servizio in fase di sviluppo ci sono due modi alternativi, sviluppare un client .net o java oppure utilizzare il programma freeware Fiddler.

2) Per invocare un servizio tramite client bisogna inserire le seguenti righe di codice
HttpWebRequest request = (HttpWebRequest)WebRequest.Create(URL);

```
   request.Method = "POST";
   request.ContentType = "application/xml";
   request.ContentLength = DATA.Length;
   string svcCredentials = Convert.ToBase64String(ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes(Utenza + ":" + password));
   request.Headers.Set("Authorization", svcCredentials);
   StreamWriter requestWriter = new StreamWriter(request.GetRequestStream(),
System.Text.Encoding.ASCII);
   requestWriter.Write(DATA);
   requestWriter.Close();
```

dove per **URL** bisogna inserire quella sopra descritta
e per il campo **DATA** bisogna indicare un messagio in formato xml di prova, ad esempio:
“DATA = @"<?xml version = '1.0' encoding = 'UTF-8'?>

```
  <alert xmlns = 'urn:oasis:names:tc:emergency:cap:1.2'>
 <identifier>KSTO1055887203</identifier>
 <sender>KSTO@NWS.NOAA.GOV</sender>
 <sent>2003-06-17T14:57:00-07:00</sent>
 <status>Actual</status>
 <msgType>Alert</msgType>
 <scope>Public</scope>
 <info>
  <category>Met</category>
  <event>SEVERE THUNDERSTORM</event>
  <responseType>Shelter</responseType>
  <urgency>Immediate</urgency>
  <severity>Severe</severity>
  <certainty>Observed</certainty>
  <eventCode>
   <valueName>SAME</valueName>
   <value>SVR</value>
  </eventCode>
  <expires>2003-06-17T16:00:00-07:00</expires>
  <senderName>NATIONAL WEATHER SERVICE SACRAMENTO CA</senderName>
  <headline>SEVERE THUNDERSTORM WARNING</headline>
  <description> AT 254 PM PDT...NATIONAL WEATHER SERVICE DOPPLER RADAR INDICATED A SEVERE
THUNDERSTORM OVER SOUTH CENTRAL ALPINE COUNTY...OR ABOUT 18 MILES SOUTHEAST OF
KIRKWOOD...MOVING SOUTHWEST AT 5 MPH. HAIL...INTENSE RAIN AND STRONG DAMAGING WINDS ARE
LIKELY WITH THIS STORM.</description>
  <instruction>TAKE COVER IN A SUBSTANTIAL SHELTER UNTIL THE STORM PASSES.</instruction>
  <contact>BARUFFALDI/JUSKIE</contact>
  <area>
   <areaDesc>EXTREME NORTH CENTRAL TUOLUMNE COUNTY IN CALIFORNIA, EXTREME NORTHEASTERN
CALAVERAS COUNTY IN CALIFORNIA, SOUTHWESTERN ALPINE COUNTY IN CALIFORNIA</areaDesc>
   <polygon>38.47,-120.14 38.34,-119.95 38.52,-119.74 38.62,-119.89 38.47,-120.14</polygon>
   <geocode>
    <valueName>SAME</valueName>
    <value>006109</value>
   </geocode>
   <geocode>
    <valueName>SAME</valueName>
```

```
      <value>006009</value>
     </geocode>
     <geocode>
      <valueName>SAME</valueName>
      <value>006003</value>
     </geocode>
    </area>
  </info>
</alert>";"
```

Il metodo esposto da questo servizio per la ricezione di un messaggio CAP è:

1. **MSG**

Parametri in ingresso:

- xmlMsg: tipo stringa contenente l'XML con il messaggio inviato

Ogni messaggio PAC consiste in un tag <alert>, che può contenere uno o più tag <info>, ciascuno dei quali può includere uno o più tag di tipo <area> oppure di tipo <resource>. In molte circostanze un messaggio CAP di tipo "Alert" deve includere almeno un elemento <info>.

<**alert**>
Il tag di tipo < alert > fornisce informazioni di base sul messaggio corrente : il suo scopo , la sua sorgente e suo stato , così come un identificatore univoco per il messaggio ed eventuali collegamenti ad altri messaggi correlati .
Un tag < alert > può essere utilizzato da solo per i riconoscimenti del messaggio, ma la maggior parte dei tag < alert > includono almeno un segmento <info> .
<**info**>
Il tag di tipo <info> descrive un evento previsto o effettivo, in termini di urgenza (tempo a disposizione per preparare) , gravità (intensità di impatto) e certezza (fiducia nell'osservazione o previsione). Esso può anche fornire Istruzioni per la risposta adeguata da parte dei destinatari del messaggio e vari altri dettagli (durata pericolo, parametri tecnici , informazioni di contatto , link a fonti di informazione aggiuntivi, ecc). Diversi tag <info> possono essere utilizzati per descrivere parametri differenti (ad esempio , per diverse probabilità o fasce di intensità) o di fornire le informazioni in più lingue .
<**resource**>
Il tag di tipo <resource> fornisce un riferimento opzionale per ulteriori informazioni relative al tag <info>, all'interno del quale appare nella forma di un asset digitale, come un'immagine o un file audio .
<**area**>
Il tag <area> descrive un'area geografica in cui il tag <info> si applica . Sono supportate descrizioni testuali o codificate (come i codici postali), ma viene preferita la rappresentazione geospaziale, utilizzano forme (poligoni e cerchi) oppure valori di latitudine, longitudine e altitudine.
L' uso primario del Messaggio PAC Alert è quello di realizzare un unico veicolo per attivare tutti i tipi di allarme e sistemi di allarme pubblico. Questo riduce il carico di lavoro associato con l'utilizzo di più sistemi di allarme, mentre migliora l'affidabilità tecnica e l'efficacia target- audience. Inoltre aiuta a garantire la coerenza nella informazioni trasmesse su sistemi di consegna multipli.
Un'applicazione secondaria di PAC è normalizzare avvertimenti da varie fonti in modo che possano essere aggregati e confrontati in forma tabellare o grafica. Sebbene progettato principalmente come uno standard di interoperabilità per l'utilizzo tra i sistemi di allarme e di altri sistemi di informazione di emergenza, il Messaggio PAC di Alert può essere consegnato direttamente per avvisare i destinatari su diverse reti .

Il Messaggio PAC Alert può essere utilizzato anche da sistemi di sensori come formato per la segnalazione di eventi significativi, ai sistemi e ai centri di raccolta e di analisi .
Il Web Service si occupa della memorizzazione sul database del contenuto del messaggio inviato.
Per ogni messaggio CAP ricevuto, effettua la scrittura di un record nella tabella dm_d_CAPalert e di uno o più records nella tabella dm_d_CAPinfo. In base al contenuto del tag "Category" e "Response Type", rilevati nella parte "info" scrive uno o più records nella tabella cap_info_other. Se il tag "eventCode" è valorizzato scrive in cap_params uno o più record con l'id_tipo 1. Se il tag "parameter" è valorizzato scrive uno o più record in cap_params con l'id_tipo 2. Inoltre effettua la scritttura di uno o più records nella tabella dm_d_CAPresource, di uno o più records nella tabella dm_d_CAParea dove, se è valorizzato il tag "geocode", scrive uno o più record in cap_params con l'id_tipo 3.

- Codici di risposta

Un aspetto importante di una chiamata REST è quella di ritornare il codice di risposta HTTP appropriato. I principali codici di risposta sono:

- **200 OK**: la richiesta ha avuto successo;
- **201 Created**: la richiesta è stata processata e il risultato è la creazione di una nuova risorsa. A questa deve essere assegnato un URL (o più di uno) da ritornare al client chiamante;
- **204 No Content**: il server ha processato la richiesta ma non ha bisogno di ritornare nulla al client;
- **303 See Other**: si tratta di una redirect, e dice che la risposta alla richiesta può essere trovata in un URL diverso da quello contattato ;
- **400 Bad Request**: il server non capisce la richiesta a causa di errori nella sintassi;
- **401 Unauthorized**: la richiesta richiede l'autenticazione dell'utente. La risposta deve avere un campo "WWW-Authenticate" nel suo header, che contenga un challenge applicabile alla risorsa richiesta;
- **404 Not Found**: la risorsa richiesta non è stata trovata;
- **405 Method Not Allowed**: il metodo specificato nella richiesta non è applicabile alla risorsa identificata dall'URL. La risposta deve avere un campo "Allow" nel suo header, che contenga la lista dei metodi validi per quella risorsa;
- **422 Unprocessable Entity**: il server riconosce il formato della richiesta, ma non è in grado di processare le istruzioni in essa contenute.

3.3.4 Telecontrollo

Il Web Service Telecontrollo_SEM si occupa della scrittura di un valore di un registro, oppure dell'accensione/spegnimento di un carico elettrico controllato da uno strumento.
Il Web Service è di tipo RestFul ed è accedibile alla URL http://sem.almaviva.it/Telecontrollo_SEM.svc
Il relativo WSDL è disponibile alla URL http://sem.almaviva.it/Telecontrollo_SEM.svc?wsdl. : .29
La sicurezza è garantita dalla richiesta di autenticazione, effettuata tramite http Basic Authentication. Le credenziali di accesso ed privilegi associati vengono verificati tramite accesso al DB degli utenti.
E' da precisare che tali credenziali vengono trasmessi nell'Header della chiamata http e con una codifica base 64.
I metodi esposti da questo Servizio per la scrittura di un valore su uno strumento sono:

- getValue
- setValue
- executeOnOff

1.1. getValue

-

Parametri in ingresso:

- vcId: tipo long (64 bit) con l'identificativo univoco del canale da pilotare. La tabella dm_d_strumenti, attraverso il vcid di input, permetterà di individuare lo strumento, la porta e il registro da leggere.

- Codici di risposta:

Un aspetto importante di una chiamata REST è quella di ritornare il codice di risposta HTTP appropriato oltre al corpo del messaggio di cui siamo interessati. I principali codici di risposta sono:

- **200 OK**: la richiesta ha avuto successo;
- **201 Created:** la richiesta è stata processata e il risultato è la creazione di una nuova risorsa. A questa deve essere assegnato un URL (o più di uno) da ritornare al client chiamante;
- **204 No Content**: il server ha processato la richiesta ma non ha bisogno di ritornare nulla al client;
- **303 See Other**: si tratta di una redirect, e dice che la risposta alla richiesta può essere trovata in un URL diverso da quello contattato ;
- **400 Bad Request**: il server non capisce la richiesta a causa di errori nella sintassi;
- **401 Unauthorized**: la richiesta richiede l'autenticazione dell'utente. La risposta deve avere un campo "WWW-Authenticate" nel suo header, che contenga un challenge applicabile alla risorsa richiesta;
- **404 Not Found**: la risorsa richiesta non è stata trovata;
- **405 Method Not Allowed**: il metodo specificato nella richiesta non è applicabile alla risorsa identificata dall'URL. La risposta deve avere un campo "Allow" nel suo header, che contenga la lista dei metodi validi per quella risorsa;
- **422 Unprocessable Entity**: il server riconosce il formato della richiesta, ma non è in grado di processare le istruzioni in essa contenute.

Per un elenco completo dei codici di risposta http si rimanda alla pagina di Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_HTTP_status_codes

1.2. setValue

Parametri in ingresso:

- **vcId**: tipo long (64 bit) con l'identificativo univoco del canale da pilotare.
- **value**: tipo long (64 bit) con il valore richiesto

La tabella dm_d_strumenti, attraverso il vcid di input, permetterà di individuare lo strumento, la porta e il registro da sovrascrivere.

- Codici di risposta

Un aspetto importante di una chiamata REST è quella di ritornare il codice di risposta HTTP appropriato oltre al corpo del messaggio di cui siamo interessati. I principali codici di risposta sono:

- **200 OK**: la richiesta ha avuto successo;
- **201 Created**: la richiesta è stata processata e il risultato è la creazione di una nuova risorsa. A questa deve essere assegnato un URL (o più di uno) da ritornare al client chiamante;
- **204 No Content**: il server ha processato la richiesta ma non ha bisogno di ritornare nulla al client;
- **303 See Other**: si tratta di una redirect, e dice che la risposta alla richiesta può essere trovata in un URL diverso da quello contattato ;
- **400 Bad Request**: il server non capisce la richiesta a causa di errori nella sintassi;
- **401 Unauthorized**: la richiesta richiede l'autenticazione dell'utente. La risposta deve avere un campo "WWW-Authenticate" nel suo header, che contenga un challenge applicabile alla risorsa richiesta;
- **404 Not Found**: la risorsa richiesta non è stata trovata;
- **405 Method Not Allowed**: il metodo specificato nella richiesta non è applicabile alla risorsa identificata dall'URL. La risposta deve avere un campo "Allow" nel suo header, che contenga la lista dei metodi validi per quella risorsa;

- **422 Unprocessable Entity**: il server riconosce il formato della richiesta, ma non è in grado di processare le istruzioni in essa contenute.

Per un elenco completo dei codici di risposta http si rimanda alla pagina di Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_HTTP_status_codes
La modalità di richiesta è asincrona e non garantisce che il comando venga effettivamente eseguito dall'apparato, per questo occorre controllare il valore assunto dal registro dopo l'esecuzione del comando.
Se vengono inviati più comandi allo stesso canale prima che il sistema abbia effettivamente mandato la richiesta all'apparato l'ultimo comando sovrascriverà quelli precedenti (non esiste una coda).

1.3. ExecuteOnOff

La funzione invia la richiesta per aprire o chiudere uno dei canali dell'apparato.
Parametri in ingresso:

- **vcId**: tipo long (64 bit) con l'identificativo univoco del canale da pilotare
- **value**: tipo boolean con lo stato richiesto al canale (false=off?)

Codici di risposta
Un aspetto importante di una chiamata REST è quella di ritornare il codice di risposta HTTP appropriato. I principali codici di risposta sono:

- **200 OK**: la richiesta ha avuto successo;
- **201 Created**: la richiesta è stata processata e il risultato è la creazione di una nuova risorsa. A questa deve essere assegnato un URL (o più di uno) da ritornare al client chiamante;
- **204 No Content**: il server ha processato la richiesta ma non ha bisogno di ritornare nulla al client;
- **303 See Other**: si tratta di una redirect, e dice che la risposta alla richiesta può essere trovata in un URL diverso da quello contattato;
- **400 Bad Request**: il server non capisce la richiesta a causa di errori nella sintassi;
- **401 Unauthorized**: la richiesta richiede l'autenticazione dell'utente. La risposta deve avere un campo "WWW-Authenticate" nel suo header, che contenga un challenge applicabile alla risorsa richiesta;
- **404 Not Found**: la risorsa richiesta non è stata trovata;
- **405 Method Not Allowed**: il metodo specificato nella richiesta non è applicabile alla risorsa identificata dall'URL. La risposta deve avere un campo "Allow" nel suo header, che contenga la lista dei metodi validi per quella risorsa;
- **422 Unprocessable Entity**: il server riconosce il formato della richiesta, ma non è in grado di processare le istruzioni in essa contenute.

Per un elenco completo dei codici di risposta http si rimanda alla pagina di Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_HTTP_status_codes
La modalità di richiesta è asincrona e non garantisce che il comando venga effettivamente eseguito dall'apparato, per questo occorre controllare lo stato dello strumento dopo l'esecuzione del comando.
Se vengono inviati più comandi allo stesso canale prima che il sistema abbia effettivamente mandato la richiesta all'apparato l'ultimo comando sovrascriverà quelli precedenti (non esiste una coda).

3.4 Acquisizione Smart Plug

La piattaforma centralizzata è in grado di ricevere real time i dati dalla sensoristica installata ed inviare da remoto i comandi di accensione/spegnimento e settaggi di set point della rete di edifici. In particolare la strumentazione installata garantisce il controllo da remoto delle utenze elettriche relative alle ventole dei fancoil e delle luci. Per quanto riguarda il monitoraggio e gestione delle singole utenze della linea forza motrice, si prevede l'impiego di smart plug. Le smart plug sono di semplice installazione, non richiedono

alcuna cablatura, in quanto vengono collocate tra la presa elettrica ed i dispositivi da monitorare, fungono da misuratori del consumo elettrico del carico connesso e da attuatori, consentendo l'on/off e in alcuni casi, come per le lampade, di regolarne l'intensità. Si tratta di dispositivi wireless, che si basano su un protocollo aperto di comunicazione, Z-Wave, che utilizza onde radio a bassa potenza ed è impiegato soprattutto per la domotica in ambito residenziale.

Attualmente sono state selezionate e acquistate diverse tipologie di smart plug che verranno installate nella prossima annualità presso uno o più edifici pilota, al fine di verificare le prestazioni e potenzialità. Questi dispositivi consentono di monitorare i consumi delle postazioni di lavoro e, sulla base dell'andamento delle potenze impegnate, monitorare la presenza degli occupanti e ricostruire il profilo di utenza al fine di attuare strategie di domanda attiva. Inoltre consentono di gestire qualsiasi dispositivo elettrico collegato, permettendo di controllare e ottimizzare il consumo di eventuali utenze come split o luci, connesse alla linea forza motrice, attualmente non gestita a livello di quadro, in quanto alimenta carichi non interrompibili (UPS, CED, etc.)

Si riporta di seguito una tabella che riassume e confronta le caratteristiche delle differenti tipologie di smart plug acquistate:

Tabella 3.1 – Confronto tra le tipologie di smart plug

Nome	Wall Plug	Smart Energy Switch	Plug-in On/Off Module
Azienda	Fibaro	Aeon Labs	Everspring
Descrizione e funzionalità:	• Controllo di un dispositivo elettrico. • Controllo ON / OFF • Misura il consumo di energia del carico connesso. • Allerta in caso de sovraccarico (> 2500W) • Allerta quando la temperatura > 55 ° C • Controllo di carichi a livello locale per mezzo del pulsante incorporato. • Indica in tempo reale il consumo grazie all'anello LED. • Prova la copertura della rete Z-Wave • Attualizzabile via radio con controller Z-Wave.	• Controllo di un dispositivo elettrico. • Funzioni ON / OFF e regolazione dell'illuminazione fino a 625 W di potenza.. • Misura il consumo del carico connesso. • Controllo del carico via pulsante locale integrato. • LED di stato integrato. • Funziona anche da ripetitore Z-Wave. • Può essere controllato con un radiocomando, un software da PC, o qualsiasi altro controller Z-Wave.	• Controllo di qualsiasi dispositivo collegato. • Interazione locale: un pulsante per cambiare, inclusione, esclusione, associazione • Funzione di misuratore energetico. • Funzione di spegnimento automatico in caso di sovraccarico. • Può essere controllato con un radiocomando, un PC o qualsiasi altro tipo di controller Z-Wave. • Display: LED indicatore di stato.
Tipo di modulo:	ricevitore Z-Wave	ricevitore Z-Wave	• Comportamento wireless trasmettitore • Tipo Z-Wave: schiavo
Alimentazione	110-230 V AC ± 10% 50/60Hz	230 V, 50 Hz	230 V, 50 Hz
Potenza massima:	2,5 kW	2,3 kW /10 A max	3 kW
Consumo:	0,1-1 W		
Frequenza:	868,42 MHz	868.42 MHz	868,42 MHz
Distanza di trasmissione:	50 m campo libero, 30 m al chiuso	30 m	fino a 100 m in esterni, fino a 30 m in interni

Temperatura funzionamento:	0-40 ° C		0-40 ° C
Altro:	Normative: EN 55015 ed EN 60669-2-1	Certificazioni: UL, FCC, CE, C-TICK, ROHS	
Foto:			

Sfruttando l'interoperabilità tra le smart plug verranno testati anche differenti tipologie di gateway Z-WAVE per il monitoraggio e controllo remoto dei devices installati, mentre tramite interfaccia web è previsto l'accesso remoto della piattaforma di controllo per l'acquisizione dati ed il controllo. Di seguito la tabella di confronto tra i differenti centri di Centri di controllo wireless Z-Wave.

Tabella 3.2 –confronto tra le tipologie di gateway

Nome	**Fibaro Home Center 2**	**Vera Lite**	**RaspBerryPi Modello B**
Azienda:	Fibaro	MiCasaVerde	Domotica da Vinci
Descrizione:	• Gateway di comunicazione via radio con sensori e attuatori domotici Z-Wave per il controllo dei dispositivi installati. • Si collega al server centrale usando una connessione Interne. • Il modulo Z-Wave interno, permette il controllo di tutti i nodi presente nella rete Z-Wave anche tramite Smartphone.	• Gateway Z-Wave, con un'interfaccia web in flash come principale interfaccia utente. • Una seconda interfaccia ottimizzata per essere consultata con uno smartphone. • Consente il controllo dei dispositivi installati. • Basso consumo energetico: meno di 10 W.	• Gateway Z-Wave da realizzare ed implementare per il controllo dei dispositivi installati. • Componenti: – 1 RaspBerryPi Modello B – 1 adattatore USB Z-Wave, di Aeon Labs – 1 case bianco.
Dati tecnici:	• Processore: Intel Atom, 1,6 GHz • Memoria: 1 GB di RAM, 2 GB di disco rigido SLC • Disco: 4 GB Disco di backup MLC • Case: Alluminio	• CPU: 500 MHz MIPS SOC • Flash NAND 32 MB • Memoria: DDR2 64 MB • 1 porta USB • 1 porta WAN • Antenna Z-WAVE interna • Dimensioni: 116mm x 95mm x 44mm • WiFi ---	• Processore Broadcom BCM2835 700MHz ARM1176JZFS con FPU e VideoCore 4 GPU • GPU fornisce Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, e un decodificatore 1080p30 H.264 high-profile. • Potenza GPU: 1 Gpixel/s, 1.5

		• Alimentazione: AC 100 ~ 240 v, 50 ~ 60 Hz • Output: DC 12V / 2A • Alimentazione a batteria: 4 AA (incluse)	Gtextel/s, o 24 GFLOPS, con filtro di texture e infrastruttura DMA. • 512MB di Ram • Avvio da SD card, con Linux • Socket Ethernet 10/100 BaseT • Socket HDMI; Socket USB 2.0;Socket RCA; Socket SD • Alimentato da un socket microUSB • Uscita audio: jack da 3.5mm • Header footprint for camera connection
Foto:			

3.5 Sviluppo ed applicazione strumenti di visualizzazione integrata su Smart Village

Per lo sviluppo di sistemi di diagnostica remota e automazione avanzata di reti di edifici è stata realizzato, attraverso una collaborazione con la ditta HarpaItalia, uno strumento avanzato su web ad uso dell'energy manager tramite lo sviluppo di moduli software in grado di consentire la visualizzazione in tempo reale degli eventi all'interno dello Smart Village del CR Casaccia, in particolare afferenti alle tematiche esaminate: edifici, illuminazione e mobilità.
Il sistema sviluppato consente quindi un monitoraggio avanzato grazie alla graficizzazione e rappresentazione dei seguenti elementi:

- flussi interni su grafi, i cui nodi sono gruppi di edifici, mentre gli archi rappresentano i percorsi pedonali del Centro;
- monitoraggio delle variabili misurate relative agli oggetti attivi, ovvero : 10 edifici, le torri faro del parcheggio, l'illuminazione del viale led, sia tramite tabelle che su mappa georeferenziata;
- segnalazione di anomalie dei moduli di diagnostica (par. 1.1 e RdS/2013/119).

3.5.1 Mobilità

Il componente mobilità si occupa di monitorare il traffico umano che insiste sui tratti di strada che collegano i vari edifici del campus.
Considerando una rappresentazione – tipica nei modelli di reti di trasporto - a livello Grafo, i cui nodi sono gruppi di edifici e gli archi i tratti di strada, vengono realizzate le seguenti funzioni:

- viene calcolato il traffico umano relativo ad ogni arco, in funzione delle rilevamento dell'uso dei badge per entrare nel campus o per muoversi – entro certi limiti – nel campus stesso;
- il grafo viene "caricato" con un tempo di aggiornamento dei quindici minuti;
- contemporaneamente al carico del grafo, il motore genera il dato che viene passato al sistema di monitoraggio e rappresentazione;
- lo stato di "traffico" umano viene rappresentato dalla applicazione di monitoraggio che legge i valori e le traduce visivamente attribuendo colori diversi agli archi;

Per realizzare il software, è stato scritto un componente che effettua una sorta di “replay” di quanto è avvenuto – dal punto di vista dei passaggi con badges – in una giornata tipo.
Il risultato è la vista di mappe e tabelle che riportano, con un aggiornamento dato dal tempo caratteristico prescelto ovvero 15 minuti, lo stato di carico del grafo.
Per fare ciò sono stati definiti tre grafi che rappresentano tutti i possibili percorsi all’interno del centro avendo come origine tre diversi punti (ingresso principale, ingresso secondario e mensa). In tale grafo ogni nodo rappresenta un insieme di edifici tra loro adiacenti.

Figura 3.13 : grafo percorsi ingresso principale

Figura 3.14 : grafo percorsi ingresso secondario

Figura 3.15 : grafo percorsi mensa

Il software sviluppato – in forma di demone - realizza le seguenti funzioni:

- calcola il carico – su ogni singolo arco e per ciascuna direzione – in termini di numerosità di persone che occupano il percorso;
- popola il database dei carichi calcolati su 15 minuti per scopi di successivo calcolo;
- inserisce nel sistema di monitoraggio il dato singolo derivante da ciascun passaggio di badge;

Il sistema di monitoraggio gestisce i valori, per ciascun arco e per ciascun verso, implementando una logica di allarme in funzione del traffico stesso e memorizzando costantemente i dati in forma originale.
A livello iniziale si sono definite le soglie di warning e critical ai valori rispettivamente di 10 e 20.
Quindi il colore degli archi, nel sistema di monitoraggio, sarà verde da 0 a 10, giallo da 11 a 20, rosso oltre 21.
Di seguito le viste tabellari e grafiche del sistema di monitoraggio realizzato relativo alla parte mobility.
Nella schermata iniziale sono presenti anche le informazioni relative aglii edifici, di cui nel seguito.

Figura 3.16 : vista tabellare (mobilità)

Figura 3.17 : vista grafica (mobilità)

3.5.2 Energia : edifici ed illuminazione

Il sistema di "Smart Village" di ENEA prevede sensori e sottosistemi specifici messi in opera per gestire la componente energetica ed ambientale.
Il meccanismo di funzionamento generale è il seguente:

- I sottosistemi monitorizzano le componenti e memorizzano nel database una serie di informazioni, fra cui gli eventi considerati notifiche di severità warning;
- Il software – sotto forma di demone – estrae ciclicamente le informazioni di notifica e li inserisce nel sistema di monitoraggio;
- Il sistema di monitoraggio segnala la ricezione di una notifica ponendo a Warning l'oggetto indicato – sia un edificio, sia un piano di edificio, sia un oggetto energetico o la stazione meteo;

Il sistema di monitoraggio rappresenta sia in modo tabellare che su mappa geografica lo stato delle componenti previste.
Sono gestite in questa fase:

- 10 edifici;
- le torri faro del parcheggio;
- un viale interno.

Di seguito sono riportate le schermate rispettivamente delle grandezze relative alla energia, ai building e la mappa complessiva.

Target	Resource	Group	Status	Last Checked	Attempt	Report	Resource Information
CENTRALE_TERMICA	STATO_GLOBALE		OK	2014/07/10 19:00:00	1/3		OK:Value is [# 0]
CENTRALINA_METEO	STATO_GLOBALE		OK	2014/07/10 19:00:00	1/3		OK:Value is [# 0]
F40_BUILDING	STATO_GLOBALE		WARNING	2014/09/02 16:36:15	3/3		Stato Globale Warning [Status 1]
F40_FLOOR-1	STATO_GLOBALE		OK	2014/07/10 19:00:00	1/3		OK:Value is [# 0]
F40_FLOOR0	STATO_GLOBALE		WARNING	2014/09/01 13:50:00	3/3		WARNING: " [Status 1]
F40_FLOOR1	STATO_GLOBALE		WARNING	2014/09/01 16:30:00	3/3		WARNING: " [Status 1]
F40_FLOOR2	STATO_GLOBALE		WARNING	2014/09/01 15:50:00	3/3		WARNING: " [Status 1]
F64_BUILDING	STATO_GLOBALE		OK	2014/09/02 16:35:44	1/3		Stato Globale OK [Status 0]
F64_CT	STATO_GLOBALE		OK	2014/07/10 19:00:00	1/3		OK:Value is [# 0]
F64_FLOOR0	STATO_GLOBALE		OK	2014/07/10 19:00:00	1/3		OK:Value is [# 0]
F66_BUILDING	STATO_GLOBALE		OK	2014/09/02 16:36:16	1/3		Stato Globale OK [Status 0]
F66_FLOOR0	STATO_GLOBALE		OK	2014/07/10 19:00:00	1/3		OK:Value is [# 0]
F67_BUILDING	STATO_GLOBALE		OK	2014/09/02 16:35:45	1/3		Stato Globale OK [Status 0]
F67_FLOOR0	STATO_GLOBALE		OK	2014/07/10 19:00:00	1/3		OK:Value is [# 0]
F68_BUILDING	STATO_GLOBALE		OK	2014/09/02 16:35:41	1/3		Stato Globale OK [Status 0]
F68_FLOOR0	STATO_GLOBALE		OK	2014/07/10 19:00:00	1/3		OK:Value is [# 0]
F69_BUILDING	STATO_GLOBALE		OK	2014/09/02 16:35:45	1/3		Stato Globale OK [Status 0]
F69_FLOOR0	STATO_GLOBALE		OK	2014/07/10 19:00:00	1/3		OK:Value is [# 0]
F70_BUILDING	STATO_GLOBALE		OK	2014/09/02 16:35:41	1/3		Stato Globale OK [Status 0]
F70_FLOOR0	STATO_GLOBALE		OK	2014/07/10 19:00:00	1/3		OK:Value is [# 0]
F71_BUILDING	STATO_GLOBALE		OK	2014/09/02 16:36:11	1/3		Stato Globale OK [Status 0]
F71_FLOOR0	STATO_GLOBALE		OK	2014/07/10 19:00:00	1/3		OK:Value is [# 0]
F72_BUILDING	STATO_GLOBALE		OK	2014/09/02 16:36:10	1/3		Stato Globale OK [Status 0]
F72_FLOOR0	STATO_GLOBALE		OK	2014/07/10 19:00:00	1/3		OK:Value is [# 0]
F73_BUILDING	STATO_GLOBALE		OK	2014/09/02 16:35:55	1/3		Stato Globale OK [Status 0]
F73_FLOOR0	STATO_GLOBALE		OK	2014/07/10 19:00:00	1/3		OK:Value is [# 0]

Figura 3.18 : vista tabellare (energia)

Figura 3.19 : vista grafica (energia)

Tutto il sistema software è stato installato predisponendo un'apposita macchina virtuale sulla griglia computazionale ENEA.

3.6 Gestione dell'infrastruttura ICT

Nell'ambito del progetto "Risparmio di energia nei settori Industria" linea di attività "Estensione dei modelli diagnostici e di controllo" svoltasi nel corso del 2014, il compito dell'unità ENEA-UTICT è relativo all' implementazione e gestone della griglia computazionale alla base dell' l'infrastruttura ICT denominata 'Smart Village' dell'ENEA.
Tale infrastruttura pilota nasce con l'intento di dimostrare paradigmi e tecnologie delle Smart Cities applicate ad un sottoinsieme di edifici del Campus ENEA-Casaccia. Il Progetto prevede l'integrazione degli applicativi che interessano i domini dello smart lighting, smart building e smart mobility così da realizzare un sistema centrale di supervisione che gestisce la mole di dati eterogenei.
Nella linea di attività "Estensione dei modelli diagnostici e di controllo", si segnala la convenzione stipulata con la società ABSTRACT INFORMATICA S.N.C. relativa al supporto sistemistico, fornito dalla società in questione, per la gestione delle diverse piattaforme server, delle infrastrutture di rete e le necessarie ottimizzazioni per il corretto funzionamento del sistema-pilota.
In particolare, le attività svolte hanno riguardato :

- Aggiornamento delle postazioni di lavoro.
- Individuazione dei prerequisiti per l'installazione dei server necessari.
- Preparazione di macchine virtuali.
- Installazione di sistemi operativi.
- Configurazione di reti, servizi di rete e policy di rete.
- Configurazione del servizio di backup.
- Aggiornamenti software e servizi
- Analisi prestazioni
- Configurazione utenti e accessi
- Catalogazione dei sensori nei punti di rilevazione dei dati
- Analisi dei protocolli di comunicazione e interfacciamento con base dati Enea
- Gestione del complesso dei software di installazione
- Esecuzione periodica di snapshot delle macchine su VMware
- Installazione e configurazione dei fix-pack sulle macchine interessate
- Controllo del corretto funzionamento del software e successiva clonazione delle macchine virtuali.
- Migrazione e bilanciamento delle risorse assegnate sul cluster di virtualizzazione
- Manutenzione del software e compilazione della reportistica per la gestione futura da parte del personale Enea

Prima di procedere all'installazione è stato necessario valutare il numero dei server necessari per l'elaborazione, per la conservazione dei dati ricevuti dai sensori, per la gestione dei server stessi e per la pubblicazione su server web dei risultati ottenuti. Il risultato ha tenuto conto del carico di lavoro per ciascuna macchina, dei requisiti di rete e di sicurezza per garantire la massima gestibilità, stabilità e affidabilità al sistema.
Il cluster VMWARE messo a disposizione da UTICT (l'unità tecnica ICT di ENEA) è composto da n. 7 server Blade HS21 , l'hipervisor adottato è Vmware Vsphere 4 Enterprise; la configurazione comprende :

Totale CPU(core)	:	54
Risorse di calcolo CPU	:	127Ghz
Memoria RAM	:	222 GByte
Storage	:	42 Terabyte

E' stata creata e installata su di esso una Virtual Machine con le caratteristiche di seguito indicate :

- Nome server: M3ENERGY.CASACCIA.ENEA.IT
- Indirizzo IP: 192.168.92.96
- Numero cpu: 1
- Quantità RAM: 1 GB
- Capacità di storage: 20 gb
- Connettività di rete: Gigabit
- Sistema Operativo: Centos linux 64bit versione 6.3

Per consentire l'installazione del server si è reso necessario :

- Eseguire analisi delle prestazioni del sistema di virtualiazzazione e per evitare sbilanciamenti di carichi di lavoro , per cui si è reso necessario un intervento di espansione del cluster fisico con l'aggiunta di n.2 unita server fisiche IBM BladeCenter HS21 . L'espansione è stata eseguita in modalita hot swap (a caldo) , per evitare interruzioni di servizio.
- Creare una LUN (Logical Unit Number, spazio storage dedicato) sul sistema Storage EMC , della dimensoine di 500 Gigabyte , oltre alla creazione logica , eseguita attraverso l'interfaccia web dello storage EMC 2 in dotazione all'unità , è stato necessario eseguire l'operazione di “mappatura” e “formattazione” sul cluster di server VMWARE. La LUN eredita la funzionalità di protezione dati offerta dal sistema storage in dotazione all'unità tecnica che prevede una configurazione degli array dei dischi rigidi di tipo RAID 6 che tollera la rottura di n.3 dischi contemporaneamente.
- Procurarsi il software Centos versione 6.3 scaricando la distribuzione Linux dal repository http://linuxsoft.cern.ch/centos/6.3/isos/x86_64/
- Attribuzione degli indirizzi IP selezionati su un'opportuna rete e successiva configurazione del DNS primario e secondario e del Gateway per ciascuna macchina.
- Configurazione preventiva del firewall al fine di proteggere i server da accessi non autorizzati e permettere l'uso e la manutenzione del software, anche da remoto per gli operatori abilitati.

L'installazione del sistema operativo sul server è avvenuta con la modalità interattiva, utilizzando le funzionalità di controllo remoto offerte dal software VMWARE. La scelta dei parametri di installazione del sistema operativo è stata fatta in conformità alle specifiche tecniche richieste dal fornitore del software Harpaltalia per lo sviluppo del sistema di visualizzazione integrata (par. 3.1).
In seguito alla prima installazione sono stati effettuati sul server gli aggiornamenti sofware richiesti per mantenere alto il livello di sicurezza.
Sul server sono stati configurati gli utenti che hanno diritto ad accedere alla macchina e contemporaneamente si sono limitati gli accessi dall’esterno al fine di rendere più sicura la macchina stessa.
E’ stata infine effettuata una profilazione degli utenti al fine di distinguere gli amministratori dagli utenti con minori privilegi.
Prima di affrontare la fase di installazione è stata creata una “copia istantanea” della macchina virtuale, il cosiddettio “snapshot “ per garantire un possibile ripristino in seguito a problemi nella fase di installazione. (Uno snapshot del disco è una copia del file del disco della macchina virtuale ad un certo punto nel tempo. Esso preserva il file system del disco e la memoria di sistema della macchina virtuale, consentendo di ritornare alla situazione precedente nel caso sorgano problemi)
La virtual machine è stata successivamente configurata per il backup. Il sistema di backup utilizzato è IBM Tivoli Storage Manager in adozione nella rete del centro,
E' stato configurato anche il sistema di backup proprietario del sistema di virtualizzazione VmWare DataRecovery versione 2 che permette di eseguire il backup a livello dell'intera macchina virtuale e non a livello file.
Il sistema di backup è stato testato simulando una situazione di disaster recovery , con la perdita totale della virtual machine , ipotizzando ad esempio la rottura contemporanea di 3 dischi fissi nell'array che ospita la LUN (caso limite) .

Sono state effettuate nuovamente operazioni di “snapshot” , con i vari software installati ma non ancora personalizzati .
Per permettere agli operatori di fare training sulla piattaforma HarpaItalia , la Virtual Machine è stata “clonata” su un sistema vmware Vsphere Esxi , secondario, utilizzato dall'unità tecnica dell'Enea come ambiente di test.
All'interno del progetto è stata eseguita l'istallazione di un "sensore", “ Smart Eye “ per l'acquisizione degli spostamenti lungo il viale tra gli edifici F66 – F73 del centro Ricerche ENEA Casaccia.
Il sensore ottico, opportunamente configurato può acquisire anche immagini video, ma al momento viene utilizzato solo per rilevare movimenti di persone lungo il viale, la cui funzione è quella di contare il numero di transiti delle persone.
Il sensore e' stato installato su un palo dell’illuminazione esistente, opportunamente predisposto dai tecnici della manutenzione del centro, ed e' connesso in rete tramite sistema Wifi.

Queste le caratteristiche del sensore smart-eye :

- Accesso rete Wifi diretto
- Interfaccia rj45
- memoria integrata 32 gb
- operatività diurna e notturna
- configurazione attraverso Web Application integrata

Per permettere una adeguata copertura del segnale wifi e' stato quindi istallato un Access Point presso l'ed F66 (a pochi metri dalla telecamera).

Queste le caretteristiche dell'access point utilizzato:
Marca : Aruba Network
Modello AP-93
Protocolli supportati : 802.11a/b/g/n A
Velocità massima teorica : 300 Mbps

L'access Point è stato configurato in rete attraverso il controller dedicato che ha permesso la gestione integrata degli oltre 90 access point presenti nel centro.

Sulla rete wifi di enea si accede solo tramite autenticazione; per i dispositivi di questo tipo l'autenticazione avviene preconfigurando sul sistema Wifi i MAC-address autorizzati. La telecamera ha la possibilità di presentarsi con piu' MAC-address ed e' stato necessario fissarne uno con il quale si presenta al sistema wifi lavorando anche per fare in modo che l'IP rilasciato dalla rete e fornito alla telecamera sia sempre lo stesso in modo che la telecamera possa inviare i propri dati al sistema di gestione o essere interrogata.

Un altro ambito di lavoro è stato il controllo del corretto interfacciamento tra i sensori messi in funzione per la realizzazione del progetto Smart Village e le macchine preposte alla collezione dei dati.
I sensori per la rilevazione dei dati, forniti dalla società Energy Team, sono tutti certificati come sistemi di gestione dell’energia con lo standard BSI ISO 50001. I sensori sono collegati al X-meter DIN che è un analizzatore di grandezze elettriche multifunzione provenienti da moduli opzionabili. Accanto al X-meter DIN è stato affiancato l’apparato X-RWU GOLD che è un Datalogger Multifunzione che consente di monitorare, archiviare, e gestire stati di impianto, allarmi, grandezze analogiche, temperature di processo e ambientali e misure di altri contatori generici.
Grazie alla ricca dotazione di opzioni che il sistema offre, è possibile prelevare le informazioni raccolte dalla rete di apparati X RWU utilizzando il modem Gsm/Gprs o il collegamento alla rete Ethernet, abilitando l’apparato tramite l’inserimento dell’apposita scheda Lan, o sfruttare il Bus di comunicazione RS485, fornito di base sull’X RWU, oppure utilizzando l’insieme dei vari vettori di comunicazione disponibili. Tutti gli X-

meter DIN sono stati montati con il modulo opzionale XM5 che è un'interfaccia ad una scheda ethernet che assegna un indirizzo IP all'analizzatore e permette le comunicazioni con il server fisico destinatario dei dati raccolti.

4 Sviluppo e validazione su simulatore di metodologie per active demand

L'obiettivo di questa attività prevede l'implementazione del modello di active demand teorizzato nella precedente annualità (RdS/2013/119) attraverso metodologie per la modulazione dell'erogazione dell'energia in funzione della domanda che diviene parte attiva del sistema in quanto resa flessibile e adattabile.
A tal fine, nella precedente annualità (RdS/2013/120), è stato sviluppato un simulatore in Matlab/Simulink dei consumi termici in grado di riprodurre differenti strategie di controllo sia a livello di singolo edificio che di rete di edifici grazie all'impostazione automatica dei setpoint di temperatura (termostati di stanza e centrale termica) dei BEMS installati.
In questa annualità sono state migliorate alcune funzionalità del simulatore termico (par. 4.1). La prima consente di poter simulare anche situazioni di carico parziale della centrale termica/frigorifera, la seconda riguarda la modellazione dei consumi elettrici integrati con quelli termici simulando il controllo dell'accensione e spegnimento dei fan-coil e la dimmerazione dell'illuminazione indoor.
Inoltre, è stato effettuato l'assessment del simulatore (par. 4.2). Ovvero, a partire dai dati sperimentali degli edifici monitorati nello Smart Village, è stata effettuata una calibrazione del simulatore al fine di conseguire una migliore corrispondenza tra il modello ed il comportamento reale degli edifici.
Il simulatore è stato integrato (par. 4.3) con gli algoritmi di ottimizzazione sviluppati nella precedente annualità (RdS/2013/122) in un ambiente unico. Questi ultimi forniscono al simulatore i valori delle variabili di controllo (es. set point temperature) il quale fornisce al modulo di ottimizzazione i dati per il calcolo delle funzioni di costo le quali, insieme ai dati relativi alle condizioni al contorno, procede all'ottimizzazione multiobiettivo minimizzando il discomfort degli utenti e minimizzando i consumi energetici.
Infine, la sperimentazione (par. 4.4) ha riguardato la comparazione di diversi scenari a partire dal caso di riferimento reale ed ha mostrato che ci sono margini di risparmio potenziali molto interessanti (circa il 20%).

4.1 Upgrade simulatore termico

In questa attività, svolta dall'Università Politecnica delle Marche (RdS/PAR2013/063), sono state migliorate alcune funzionalità del simulatore termico/elettrico (sia nella versione edificio singolo che in quella cluster di edifici) sviluppato nel PAR precedente (RdS/2013/120). Nel PAR 2012 la centrale termica/frigorifera era stata simulata ipotizzando un rendimento medio annuo costante sia per la caldaia che per il gruppo frigorifero; il simulatore della centrale termica/frigorifera è stato migliorato facendo variare il rendimento in funzione del fattore di carico e delle condizioni ambientali esterne. Inoltre, sono stati modellati i consumi elettrici integrandoli con quelli termici simulando il controllo dell'accensione e spegnimento dei fan-coil e la dimmerazione dell'illuminazione indoor.
Nella prossima annualità sarà inserito anche il costo dell'energia come condizione al contorno, sia attraverso scenari tariffari flat, biorari o di dynamic pricing su base oraria.

4.1.1 Centrale termica

Il modello della centrale termica include sia il modello del generatore di calore che quello del gruppo frigorifero. Rispetto al PAR 2012 il rendimento della caldaia (eta) ed il COP del gruppo frigorifero (eer) sono stati modellati con maggiore accuratezza e sono variabili, per ogni time-step di calcolo, in funzione sia del fattore di carico degli impianti che delle condizioni ambientali esterne, qualora fossero influenti (come nel caso del gruppo frigo). La figura sottostante mostra le curve di performance inserite nel modello.

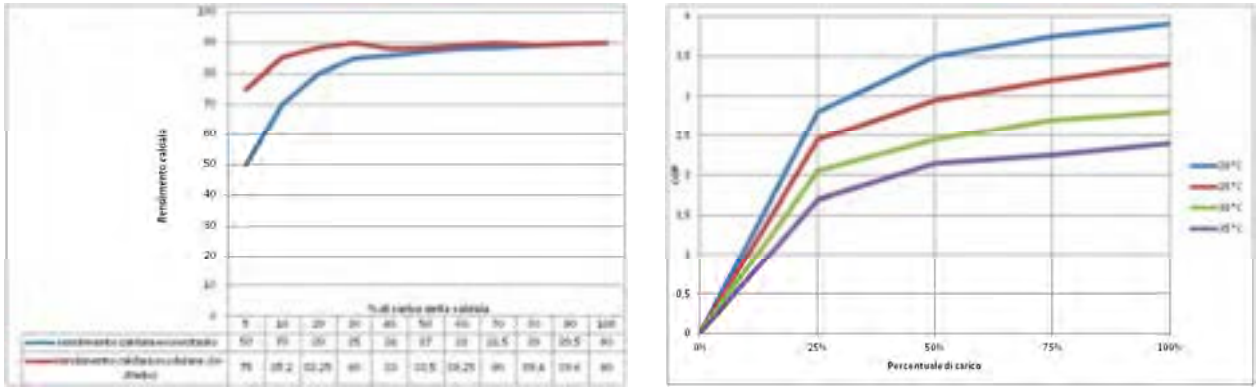


Figura 4.1 : curve di performance

4.1.2 Illuminazione

La modellazione dei consumi elettrici dovuti all'illuminazione è partita dal lavoro sviluppato durante il PAR 2011, ulteriormente perfezionato prevedendo un sistema di controllo con dimmerizzazione. Nell'attuale simulatore è stato inserito il modello "white box" sviluppato allora che, in funzione delle presenze, individua le stanze potenzialmente attive e associa loro un consumo individuato grazie alla fase di audit sui corpi illuminanti. Oltre al controllo ON-OFF dell'illuminazione è stato anche inserito un blocco di controllo "dimmerizzazione" per modulare la potenza delle lampade in un range definibile dall'utente e per ora impostato tra il 20% ed il 100% della potenza. Nelle figure sottostanti è possibile vedere il blocco Simulink del modello di illuminazione ed i risultati di simulazione di 60 giorni.

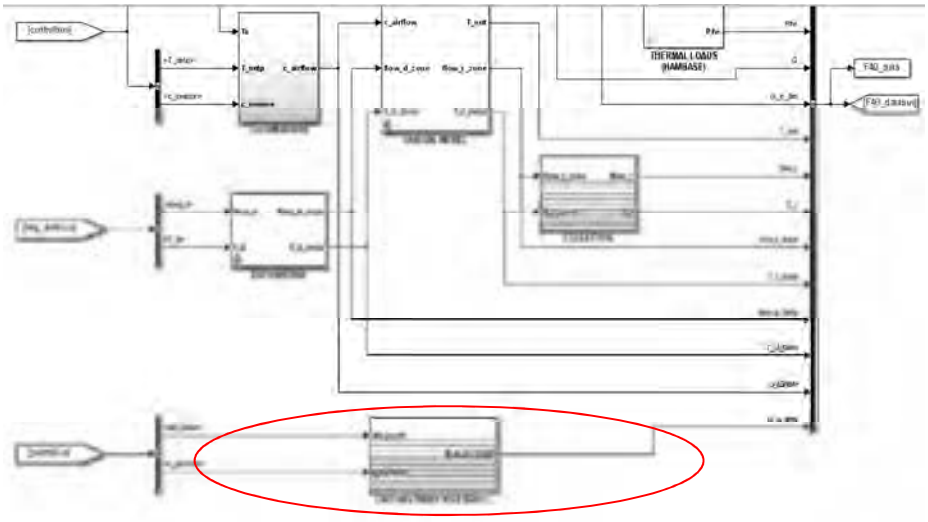


Figura 4.2 : blocco Simulink

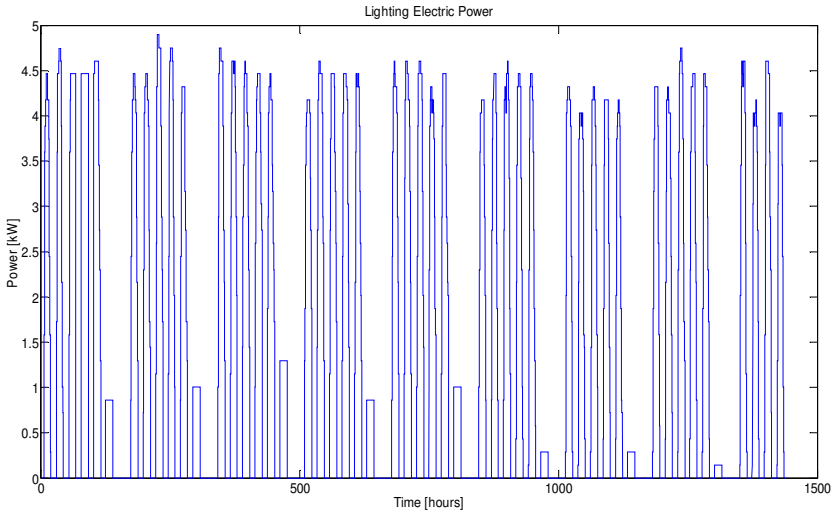


Figura 4.3 : simulazione

4.1.3 Consumi elettrici fan-coil

Il modello dei consumi elettrici dei terminali termici è stato inserito all'interno del blocco di simulazione dei fan-coil che quindi, rispetto alla versione sviluppata nel PAR 2012, ha una uscita in più.

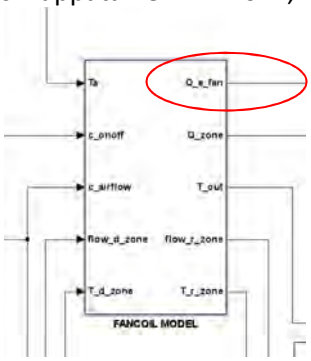


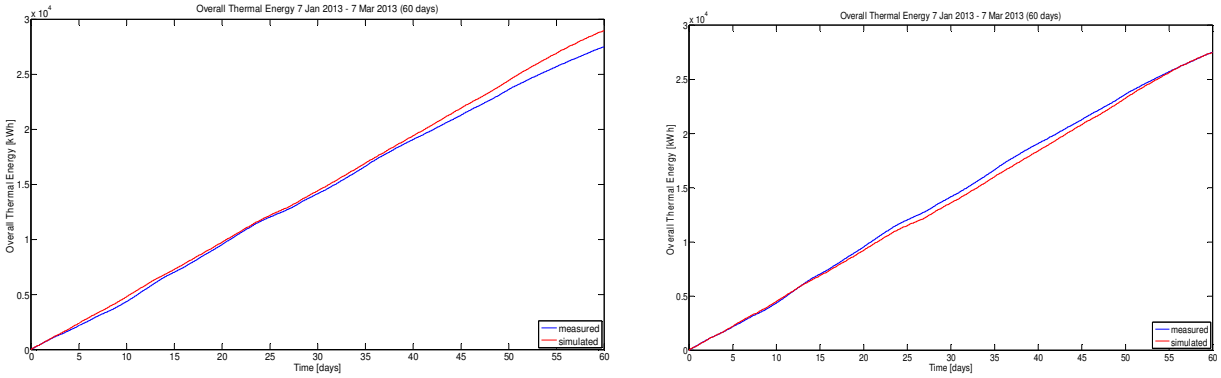
Figura 4.4 : dettaglio modello fan-coil

4.2 Tuning su dati reali

La seconda linea di attività, svolta dall'Università Politecnica delle Marche (RdS/PAR2013/063), è consistita nella valutazione del simulatore a partire dai dati sperimentali degli edifici monitorati al fine di conseguire una migliore corrispondenza tra il modello ed il comportamento reale degli edifici. Inoltre, il simulatore è stato predisposto per essere integrato con algoritmi di ottimizzazione in modo da arrivare ad una ottimizzazione multiobiettivo che minimizzi sia il discomfort degli utenti sia i consumi energetici.

A seguito dell'attività di monitoraggio iniziata nel PAR precedente, con l'aumentare della disponibilità dei dati è stato possibile arrivare ad una definizione dei parametri di ingresso al simulatore soddisfacenti e con margini di errori decisamente accettabili. E' importante comunque sottolineare come la procedura di assessment del simulatore sia avvenuta principalmente in maniera euristica che potrebbe essere ulteriormente perfezionata. I principali parametri su cui si è intervenuto per un "tuning" fine del modello sono stati: i) gli apporti gratuiti; ii) il set-point di temperatura ambiente ed infine iii) alcune minime modifiche all'involucro edilizio. Il risultato della simulazione è il frutto dell'effetto combinato di questi fattori ovviamente con pesi diversi: gli apporti gratuiti legati alle presenze agiscono più sul carico termico

dinamico mentre le modifiche all'involucro edilizio agiscono maggiormente sull'inerzia termica dell'edificio. La struttura dell'involucro è abbastanza definita una volta noto il progetto della struttura, quindi la calibrazione può essere fatta andando a modificare solo leggermente superfici e spessori. Al contrario il valore degli apporti gratuiti (funzione del profilo di presenza orario negli edifici) sono stati fissati in maniera "arbitraria" dall'utente all'interno del margine di manovra fornito dai range disponibili in bibliografia per ciascuna componente: a) calore sensibile dell'occupante; b) produzione di umidità da parte dell'occupante; c) apporto postazione PC.
Per quanto riguarda i set-point della temperatura ambiente, è importante sottolineare che gli edifici sono modellati per zone termicamente omogenee e che il blocco di simulazione del termostato è programmato per mantenere la temperatura di set-point di queste macrozone. Come conseguenza si ha che il termostato di ciascuna macrozona è programmato per mantenerla in temperatura senza considerare che al suo interno ci possano essere uffici potenzialmente vuoti. Volendo chiarire con un esempio: poiché nel modello dell'edificio F40 ci sono 12 macrozone scaldate, impostando la temperatura di set-point di ciascuna zona a 21°C, il simulatore del termostato tenderà a mantenere la temperatura di set-point in tutte le macrozone sia che nell'edificio ci siano 12 o 20 o 44 stanze attive. Questa ipotesi semplificativa riduce di molto il tempo di modellazione dell'edificio, il tempo ed il peso del calcolo della simulazione ma introduce un potenziale fattore di scostamento tra dati reali e dati simulati.
Le due figure sottostanti mostrano il confronto tra l'andamento dell'energia termica simulato e misurato sia nel caso in cui non vengano simulati gli apporti gratuiti (a) sia in quello in cui questi vengano simulati (b). Il confronto tra le due figure dimostra qualitativamente come il fatto di considerare gli apporti gratuiti legati al profilo di presenza migliori il risultato della simulazione.



a) risultati senza apporti gratuiti b) risultati con apporti gratuiti

Figura 4.5 : andamento dell'energia termica simulato e misurato

Di seguito vengono riportati i grafici di confronto tra energia termica reale e simulata su base oraria, bioraria e giornaliera. Come si può vedere, più è piccolo l'intervallo che si intende simulare maggiore è lo scostamento dei risultati della simulazione dal dato reale; questo è ovvio vista la quantità dei parametri in gioco (meteo, profili di presenza, comportamento degli occupanti, funzionamento degli impianti e dei terminali termici).

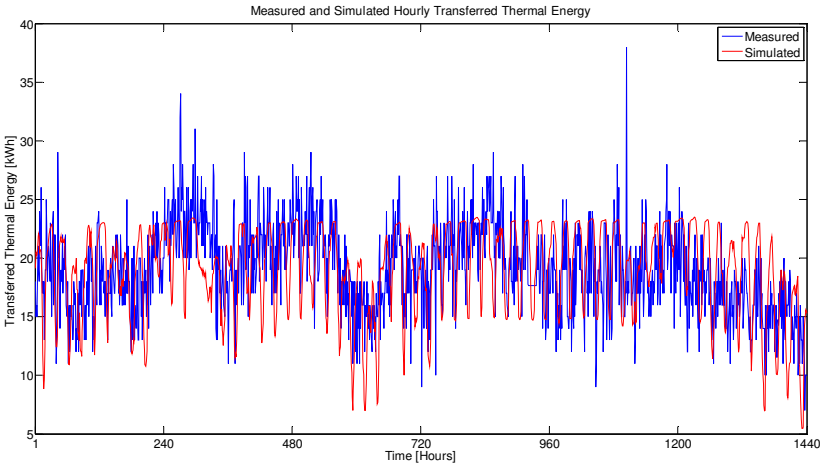


Figura 4.6 : energia termica reale e simulata su base oraria

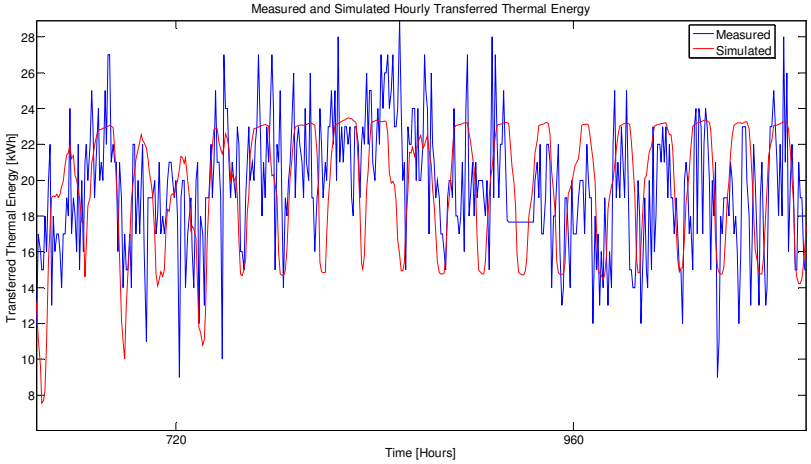


Figura 4.7 : energia termica reale e simulata su base bioraria

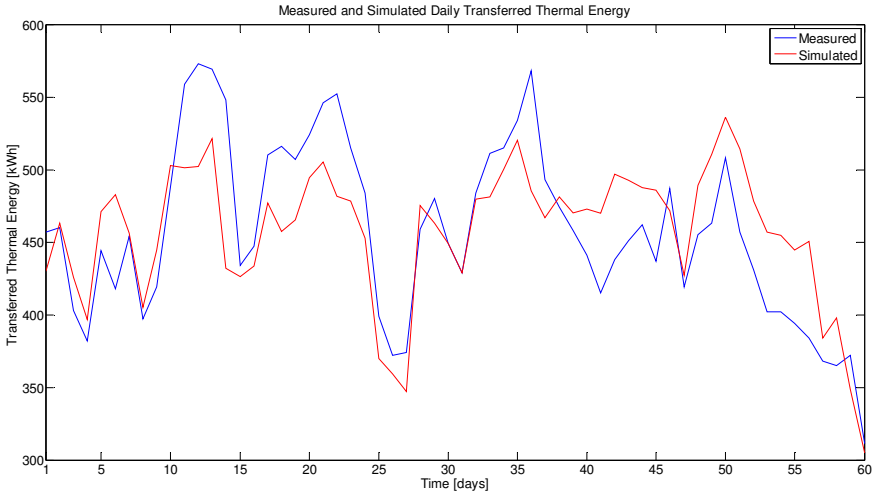


Figura 4.8 : energia termica reale e simulata su base giornaliera

Analisi degli errori sul calcolo dell'energia termica

Le considerazioni qualitative fatte in precedenza, trovano riscontro quantitativo andando a quantificare gli errori dei risultati della simulazione rispetto ai dati reali. In particolare dalla tabella sottostante emerge come il fatto di considerare gli apporti gratuiti legati al profilo di presenza migliori i risultati della simulazione. Considerando il caso con gli apporti gratuiti, l'errore medio percentuale assoluto giornaliero si attesta intorno al 7%; più alto (18%) nel caso di l'errore medio percentuale assoluto. L'analisi dell'errore relativo dimostra ulteriormente la bontà del processo di tuning del simulatore. L'errore relativo calcola lo scostamento tra valore simulato e reale in percentuale rispetto al valore reale. Togliendo le prime ore di transitorio iniziale della simulazione, l'errore relativo massimo è inferiore al 5%.
In conclusione, il tuning del simulatore su dati reali può essere definito soddisfacente. Tuttavia questo è soltanto un primo importante passo; il processo di tuning dovrà continuare da oggi in avanti attraverso un monitoraggio continuo rispetto ai dati acquisiti. I prossimi step potranno essere il test della prossima stagione invernale e quelli sulla stagione estiva appena trascorsa, appena saranno disponibili tutti i dati necessari per il funzionamento del simulatore.

Tabella 4.1 : errori sul calcolo dell'energia termica

	Senza apporti gratuiti	Con apporti gratuiti
Mean Absolute Percentage Error giornaliero	9.36 %	7.06 %
Mean Absolute Percentage Error biorario	18.68 %	16.22 %
Mean Absolute Percentage Error orario	17.93 %	18.30 %
Absolute error massimo	1473 kWh	741.51 kWh
Absolute error medio	461 kWh	327.14 kWh
Absolute error minimo	0 kWh	0 kWh
Errore relativo massimo	28.5 %	28.5 %
Errore relativo massimo (senza transitorio iniziale)	11.5 %	4.6 %
Errore relativo medio (senza transitorio iniziale)	3.9 %	2.6 %
Errore relativo minimo (senza transitorio iniziale)	0.9 %	7.1 %

4.3 Richiami teorici

In questa sezione vengono brevemente richiamati alcuni concetti che sono stati usati nell'implementazione e nella sperimentazione.

4.3.1 Algoritmi di ottimizzazione multi-obiettivo

Gli algoritmi Multi-Obiettivo o Multi-Objective Algorithm (MOA) sono tutti quegli algoritmi in grado di ottimizzare i MOP. Tali algoritmi si dividono in due categorie fondamentali basate sul tipo di approccio al multi-obiettivo. Gli algoritmi definiti classici sono incentrati su un approccio basato sulle preferenze, mentre quelli multi-obiettivo sono basati sull'approccio ideale. Si è già ampiamente parlato nel capitolo 2 delle differenze tra i due tipi di approcci, ma è bene sottolineare che gli algoritmi classici vengono così denominati perché cronologicamente precedenti rispetto all'approccio multi-obiettivo.
Il primo a proporre un algoritmo che fosse in grado di gestire problemi multi-obiettivo fu Box nel 1957 tramite il metodo della somma pesata. Nel 1971 Haimes, Lasdon e Wismer proposero il metodo del vincolo ϵ in cui si ottimizza un'unica funzione obiettivo e le altre vengono trattate come vincoli del problema. Shaffer, nel 1984, fu il primo ad affrontare i problemi multi-obiettivo in maniera innovativa, ossia con l'approccio ideale. Seguirono Fonseca e Fleming nel 1993 proponendo il MOGA, Deb con l'NSGA nel 1994 migliorato poi con l'aggiunta dell'elitismo nel 2000 e rinominato NSGA-II. Nel 1998 Zitzler e Thiele proposero SPEA.

Gli algoritmi genetici sono tra i più utilizzati nel campo della computazione evolutiva. Come è già stato introdotto, il funzionamento dei GA si basa sul DNA di ogni individuo che viene influenzato dai genitori e dal processo di mutazione. Identificare una soluzione con il DNA è un aspetto peculiare dei GA binari ed ha un'implicazione teorica molto significativa. Parlare di DNA di una soluzione implica l'identificarne il cromosoma od il *genotipo*, ossia una combinazione genetica che identifica univocamente quella soluzione. In un problema di ottimizzazione identificare una variabile o un insieme di variabili con un cromosoma significa rappresentare queste variabili. Il procedimento inverso, ossia associare ad un genotipo le rispettive variabili di decisione, significa ricavare il *fenotipo*. Facendo riferimento alla genetica umana, una serie di cromosomi, ossia il nostro genotipo, determinano il colore dei nostri occhi, ossia il fenotipo.

Gli algoritmi evolutivi multi-obiettivo o Multi-Objective Evolutionary Algorithm (MOEA) sono una estensione degli algoritmi genetici classici e vengono suddivisi in due grandi insiemi: elitari e non. Tale

suddivisione vuole sottolineare la notevole distinzione tra i due approcci, in quanto l'elitismo determina un netto miglioramento dei MOEA.
I MOEA elitari sono tra i migliori algoritmi multi-obiettivo noti in letteratura. Mentre nei MOEA non elitari può accadere che passando da una generazione all'altra vengano perse soluzioni buone, l'elitismo evita che ciò accada. Tra questi il più popolare è NSGA-II.
L'NSGA-II è un algoritmo genetico proposto da Kalyanmoy Deb nel 2000 ed è una revisione evoluta dell'NSGA, dello stesso Deb, risalente al 1994. La sigla NSGA (Non dominated Sorting Genetic Algorithm) sta a sottolineare come le soluzioni al problema di ottimizzazione vengano ordinate in accordo al concetto di non dominanza. Nasce con l'esigenza di risolvere i problemi legati ai precedenti algoritmi. Infatti gli algoritmi evolutivi che utilizzano il concetto di dominanza e la tecnica del *Fitness Sharing* presentano un alto grado di complessità computazionale, non fanno uso dell'elitismo ed hanno bisogno di specificare un parametro aggiuntivo, quale il σ_{share}.
NSGA-II prevede che tutte le soluzioni di una popolazione vengano classificate secondo un ordine di dominanza. Le soluzioni non dominate della popolazione avranno rank 1. Le soluzioni non dominate tra tutta la popolazione, escluse quelle a rank 1, avranno rank 2 e così via. La complessità computazionale di questa procedura è la somma delle complessità richieste nell'identificazione di ogni insieme non dominato. È importante notare che una volta identificato il primo insieme non dominato, il numero di soluzioni rimanenti è minore del numero originale di individui della popolazione, quindi le classificazioni successive alla prima richiederanno una complessità computazionale minore. L'intero processo di classificazione ha complessità *O(MN2)*, con M numero di obiettivi ed N grandezza della popolazione.
La figura 4.9 mostra un esempio di ordinamento per livelli di una popolazione di 10 individui in un problema di minimizzazione di due funzioni obiettivo.
Una volta assegnato un rank a tutte le soluzioni viene assegnata la crowding distance, ovvero un valore che, come il niche count, indica quanto una soluzione è isolata. Lo scopo è quello di preservare la diversità tra le

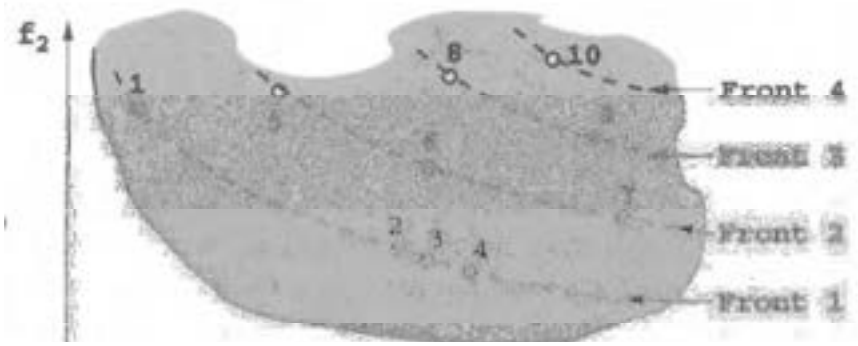


Figura 4.9: Esempio di ordinamento per livelli di 10 individui

soluzioni dello stesso fronte non dominato mantenendo quindi una buona distribuzione di soluzioni. La crowding distance viene applicata in maniera indipendente ad ogni insieme di soluzioni aventi lo stesso rank. Le soluzioni vengono ordinate iterativamente in ordine peggiorativo rispetto ad ogni funzione obiettivo. Alle soluzioni estreme, aventi la migliore e la peggior fitness in un determinato obiettivo, viene assegnata crowding distance pari ad infinito. Per le altre viene assegnato un valore proporzionale alla distanza tra la i-esima soluzione e le soluzioni precedente e successiva come mostrato in figura 4.10. Più la crowding distance è elevata, più la soluzione è isolata.
Nel confrontare due soluzioni viene comparato prima il rank, se hanno stesso rank viene comparata la crowding distance. In tal modo si evita il problema riscontrato in MOGA in cui una soluzione con fitness maggiore potrebbe essere dominata da una con fitness minore.
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.

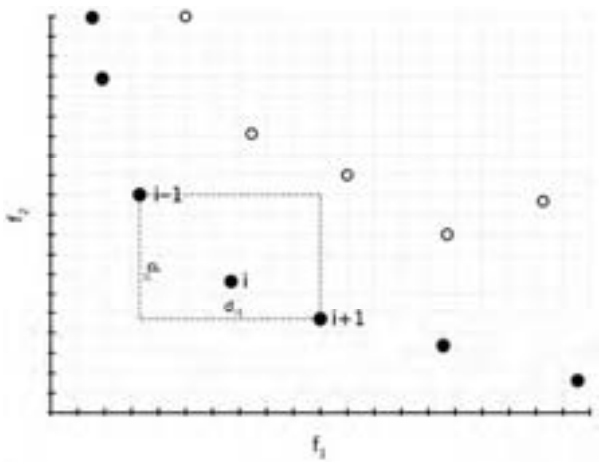


Figura 4.10: Esempio di assegnazione della crowding distance

L'unione tra la generazione padre e la figlia consente di conservare le soluzioni migliori della generazione precedente. Tale elitismo è definito *elitismo generazionale*. Se la popolazione iniziale è costituita da N individui, l'unione porta ad avere una popolazione di 2N individui. Di questi vengono scelti gli N migliori in base al rank ed alla crowding distance: se gli individui di rank 1 sono minori di N vengono inseriti tutti, altrimenti vengono selezionati a partire da quelli con crowding distance più alta.
Oltre al vantaggio di evitare le situazioni presentate, NSGA-II non costringe il decisore a scegliere parametri iniziali, come α o σ_{share}.
Tuttavia NSGA-II prevede un calcolo computazionale più elevato rispetto ad altri algoritmi, in quanto rank e crowding distance vengono calcolati su una popolazione di 2N individui. Inoltre l'uso della crowding distance mantiene la diversità tra le soluzioni a discapito della proprietà di convergenza al fronte di Pareto reale.

4.3.2 Indici di confort ambientale

Con il termine microclima, si fa riferimento alle condizioni climatiche di un determinato ambiente. Tali condizioni sono caratterizzate da una gamma di parametri fisici tra cui temperatura, umidità relativa, temperatura radiante e velocità dell'aria. Essi modificano la percezione dell'ambiente da parte degli occupanti ed è sul loro controllo che si indirizzano le strategie tese al miglioramento del comfort termico.
Le condizioni microclimatiche degli ambienti di lavoro possono essere diverse in funzione di:

- Ciclo produttivo (produzioni legate a temperature particolari);
- Caratteristiche ambientali (lavori in sotterraneo, in altura ecc.);
- Caratteristiche strutturali dei luoghi di lavoro (materiali costruttivi, loro proprietà termiche, ecc.);
- Impianti utilizzati per controllare le condizioni climatiche (ventilatori, condizionatori, ecc.).

In casi estremi le condizioni microclimatiche costituiscono un vero e proprio rischio per la salute mentre, nella maggior parte dei casi, tali condizioni modificano solamente il senso di benessere ed il comfort negli ambienti.
Gli attuali obblighi normativi prevedono la tutela del benessere del lavoratore in senso globale, ovvero pongono l'attenzione non solo sugli agenti di rischio di tipo tradizionale, ma anche sugli aspetti di tipo "ergonomico". Vale a dire quelli che non determinano patologie di tipo gravoso pur influendo sul benessere psicofisico del lavoratore.
Un controllo non adeguato delle condizioni microclimatiche, può causare un notevole grado di disagio ai lavoratori.

Il bilancio termico dell'organismo
Il corpo umano può essere definito come un sistema contenente un nucleo che produce calore, rappresentato da fegato, intestino, cervello ed apparato muscolare, circondato da un rivestimento di tessuti che lo isolano dall'ambiente esterno. Un sistema termoregolatore mantiene la temperatura interna in un intervallo di 36 °C - 37°C bilanciando i due fattori principali che regolano la temperatura corporea:

- Il calore metabolico;
- Il tasso di perdita di calore.

L'organismo umano scambia energia con l'esterno per lo più sotto forma di calore entrante o uscente dall'organismo medesimo.
Il bilancio termico dei suddetti flussi di calore, viene espresso da una sommatoria che ha come unità di misura una potenza, poiché si tratta di energia riferita all'unità di tempo e di superficie corporea:

$$S = M - W \pm C \pm R \pm K \pm C_{res} \pm E_{res} - E$$

- M = calore prodotto dai processi metabolici, dipende dalla singola persona, in particolare dal metabolismo basale e dall'attività svolta dall'individuo;
- W = cessione di energia meccanica, cioè la parte di energia prodotta (M) che si trasforma in energia meccanica;
- C = convezione con l'aria ambiente. Se la pelle di un individuo è ad una temperatura più alta rispetto all'aria circostante, quest'ultima a contatto con la pelle subisce un processo di riscaldamento dando origine ad una corrente convettiva con relativa cessione di calore dall'individuo all'ambiente;
- R = irraggiamento rispetto ai corpi che costituiscono l'ambiente. Ogni oggetto, compreso il corpo umano, che si trovi ad una temperatura superiore allo zero assoluto, emette radiazioni all'infrarosso. Se la temperatura di una persona è maggiore dell'ambiente circostante si ha una perdita di calore per irraggiamento. Viceversa, se la temperatura è minore rispetto all'ambiente circostante, si ha un flusso di calore in senso inverso;
- K = conduzione rispetto ai corpi solidi con cui l'organismo si trova a contatto. È la modalità di scambio calorico che prevede il trasferimento di energia termica, tramite contatto, da un mezzo esterno al corpo umano. Il flusso energetico dipende dalle temperature relative del corpo e dell'oggetto con cui esso è in contatto;
- C_{res} = variazione di temperatura dell'aria respirata. Processo legato alla respirazione e condizionato dalle differenze tra la temperatura dell'aria esterna e quella dell'aria respirata dall'individuo;
- E_{res} = variazione di umidità dell'aria respirata. Processo legato alla respirazione e condizionato dalle differenze tra l'umidità dell'aria esterna e quella dell'aria respirata dall'individuo;
- E = evaporazione a livello cutaneo, che coinvolge i fenomeni di sudorazione e di traspirazione insensibile. La sudorazione permette al corpo di cedere all'ambiente parte del suo calore interno. Dal momento che i tessuti sono composti in gran parte da acqua, tale meccanismo risulta essere molto efficiente. Se la temperatura esterna è più elevata di quella corporea non si ha alcuna perdita di calore per convezione o radiazione, viceversa il raffreddamento corporeo avviene tramite il sistema di traspirazione/evaporazione.

Nella maggior parte dei casi è possibile trascurare alcuni parametri e ridurre l'equazione di bilancio termico alla seguente:

$$S = M + W + C + R + E$$

Si sono scelti segni tutti positivi, tuttavia va ricordato che i parametri assumono valore negativo o positivo a seconda che vi sia cessione o assorbimento di calore da parte dell'organismo.
Quando i termini energetici non si bilanciano reciprocamente si determina un accumulo di calore nell'organismo (S > 0), oppure una dispersione di calore all'esterno (S < 0). La situazione di equilibrio si raggiunge quando S = 0. Tale stato prende il nome di "omeotermia" ed è essenziale per lo svolgimento delle varie funzioni dell'organismo, il quale attiva diversi meccanismi per mantenere questa condizione. Il mantenimento dello stato di omeotermia consente di mantenere un adeguato livello di attenzione da parte del lavoratore.
La perdita o l'acquisizione di calore viene controllata con la vasodilatazione periferica, riducendo o aumentando lo scambio termico tra la circolazione sanguigna e l'ambiente esterno, con la sudorazione, con i brividi e con la modifica dell'attività metabolica.

Ambienti lavorativi
Negli ambienti di lavoro possono sussistere una vasta gamma di condizioni climatiche. In tal senso si individuano due tipologie di ambienti:

- Gli ambienti severi;
- Gli ambienti moderati.

Gli ambienti severi sono caratterizzati da condizioni climatiche che possono compromettere, anche pesantemente, la salute dei lavoratori. Il lavoro davanti al forno di una pizzeria ad esempio, o nelle celle frigorifere di un'azienda alimentare, può comportare, nei confronti del lavoratore, danni fisici provenienti dall'uso incontrollato dell'esposizione a temperature estreme.
L'attenzione è rivolta ai restanti tipi di ambienti di lavoro come ad esempio gli uffici, in cui le condizioni di temperatura, umidità e ventilazione, più che a mettere a repentaglio l'incolumità del lavoratore, possono alterare il suo stato di benessere psicofisico, causando un disagio ed automaticamente una riduzione generalizzata della performance lavorativa. In tal caso si parla di ambienti moderati e la misura delle condizioni microclimatiche si effettua per valutare gli indici di comfort termico. Tra gli indici maggiormente usati ci sono gli indici di Fanger, il PMV (Predicted Mean Vote - Voto Medio Previsto) ed il PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied - Percentuale Prevista di Insoddisfatti), descritti nella norma UNI EN ISO 7730:2006.

Normativa
Per definire una strategia di azione, atta sia alla minimizzazione del consumo di energia termica, sia al corretto controllo del comfort in ambienti moderati, è necessario considerare le normative che regolano tali ambienti.
3.3.1 Sicurezza sul lavoro in ambienti chiusi
Il D. Lgs. 81/80, riguardante la normativa sulla sicurezza sul lavoro in ambienti chiusi, obbliga il datore di lavoro alla valutazione di tutti gli agenti di rischio, ma, per quanto riguarda il benessere del lavoratore legato alle condizioni microclimatiche dell'ambiente, non fornisce indicazioni di tipo quantitativo sui valori dei parametri microclimatici da rispettare. Di seguito vengono citate alcune righe di tale decreto.
" 1.9.1 Aerazione dei luoghi di lavoro chiusi
1.9.1.1. *Nei luoghi di lavoro chiusi, è necessario far sì che tenendo conto dei metodi di lavoro e degli sforzi fisici ai quali sono sottoposti i lavoratori, essi dispongano di aria salubre e in quantità sufficiente anche ottenuta con impianti di aerazione;*
1.9.1.2. *Se viene utilizzato un impianto di aerazione, esso deve essere sempre mantenuto funzionante. Ogni eventuale guasto deve essere segnalato da un sistema di controllo, quando ciò è necessario per salvaguardare la salute dei lavoratori.*
1.9.2 Temperatura dei locali

1.9.2.1. *La temperatura nei locali di lavoro deve essere adeguata all'organismo umano durante il tempo di lavoro, tenuto conto dei metodi di lavoro applicati e degli sforzi fisici imposti ai lavoratori;*
1.9.2.2. *Nel giudizio sulla temperatura adeguata per i lavoratori si deve tener conto della influenza che possono esercitare sopra di essa il grado di umidità ed il movimento dell'aria concomitanti;*
1.9.2.3. *La temperatura dei locali di riposo, dei locali per il personale di sorveglianza, dei servizi igienici, delle mense e dei locali di pronto soccorso deve essere conforme alla destinazione specifica di questi locali;*
1.9.2.4. *Le finestre, i lucernari e le pareti vetrate devono essere tali da evitare un soleggiamento eccessivo dei luoghi di lavoro, tenendo conto del tipo di attività e della natura del luogo di lavoro;*
1.9.2.5. *Quando non è conveniente modificare la temperatura di tutto l'ambiente, si deve provvedere alla difesa dei lavoratori contro le temperature troppo alte o troppo basse mediante misure tecniche localizzate o mezzi personali di protezione;*
1.9.2.6. *Gli apparecchi a fuoco diretto destinati al riscaldamento dell'ambiente nei locali chiusi di lavoro di cui al precedente articolo, devono essere muniti di condotti di fumo privi di valvole regolatrici ed avere tiraggio sufficiente per evitare la corruzione dell'aria con i prodotti della combustione, ad eccezione dei casi in cui, per l'ampiezza del locale, tale impianto non sia necessario.*
1.9.3 Umidità
1.9.3.1. *Nei locali chiusi di lavoro delle aziende industriali nei quali l'aria è soggetta ad inumidirsi notevolmente per ragioni di lavoro, si deve evitare, per quanto possibile, la formazione della nebbia, mantenendo la temperatura e l'umidità nei limiti compatibili con le esigenze tecniche."*
Il decreto non prevede limiti o parametri numerici da rispettare per le condizioni microclimatiche degli ambienti di lavoro, ma ribadisce la necessità di tener conto, nelle valutazioni, delle attività lavorative svolte.
Il benessere termo-igrometrico o thermal comfort è definito dall'American Society of Heating Ventilation and Air-conditioning Engineers (ASHRAE) come "*quel particolare stato della mente che esprime soddisfazione nei confronti dell'ambiente termico circostante".* È l'appagamento che le persone provano all'interno di un ambiente circa la sensazione termica.
Studi sperimentali condotti dal danese P. Ole Fanger hanno evidenziato come, in edifici per uffici con scadenti condizioni di comfort termo-igrometrico, vi sia un decisivo abbattimento del grado di attenzione con conseguente ripercussione sul rendimento.

Indici di comfort termo-igrometrico
La norma UNI EN ISO 7730:2006 presenta i metodi per prevedere la sensazione termica globale ed il grado di disagio (insoddisfazione termica) delle persone esposte in ambienti termici moderati. Questi ultimi presentano variazioni contenute delle grandezze fondamentali legate all'ambiente (temperatura dell'aria, temperatura radiante, umidità relativa e velocità dell'aria) e ciò consente l'intervento, in maniera efficace, del sistema di termoregolazione dell'organismo con i metodi descritti in precedenza.
Il benessere termo-igrometrico è una condizione soggettiva che dipende da una serie di fattori. Per la sua valutazione, Fanger ha stabilito due equazioni descritte in dettaglio nella UNI EN ISO 7730:2006.
La prima rappresenta il Predicted Mean Vote (PMV) ed è una funzione matematica così definita:

$$PMV = \left[0{,}303 * e^{(-0{,}036*M)} + 0{,}028\right] * \{(M-W) - 3{,}05 * 10^{-3} * [5733 - 6{,}99 * (M-W) - R_h] - 0{,}42 * [(M-W) - 58{,}15] - 1{,}7 * 10^{-5} * M * (5867 - R_h) - 0{,}0014 * M * (34 - t_a) - f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a) - 3{,}96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_s + 273)^4]\}$$

Il PMV esprime il livello di gradimento di un ampio campione di persone che lavorano nello stesso edificio e che esprimono la propria sensazione termica attraverso una scala psicofisica (Tabella 4.2).

Tabella 4.2: Campo di variabilità del PMV e valutazione dell'ambiente termico

PMV	VALUTAZIONE AMBIENTE TERMICO
+3	molto caldo
+2	caldo
+1	leggermente caldo
0	neutro
-1	fresco
-2	freddo
-3	molto freddo

Il voto medio previsto dipende da:

- M = metabolismo energetico [W/m^2];
- W = potenza meccanica efficace [W/m^2];
- R_h = umidità relativa [%];
- h_c = coefficiente di convezione tra aria e abiti [W/m^2 K];
- t_a = temperatura dell'aria [°C];
- f_{cl} = coefficiente di area dell'abbigliamento = f (I_{cl});
- I_{cl} = isolamento termico dell'abbigliamento [W K/m^2];
- t_{cl} = temperatura superficiale media del vestiario [°C];
- t_s = temperatura radiante [°C].

Il PMV è correlato sperimentalmente al PPD, un indice che rappresenta la percentuale di lavoratori che, nelle condizioni rilevate, si dichiarano insoddisfatti rispetto all'ambiente circostante.

$$PPD = 100 - 95 * e^{-(0{,}03353*PMV^4 + 0{,}2179*PMV^2)}$$

La figura 4.11 mostra l'andamento del PPD in funzione del PMV.

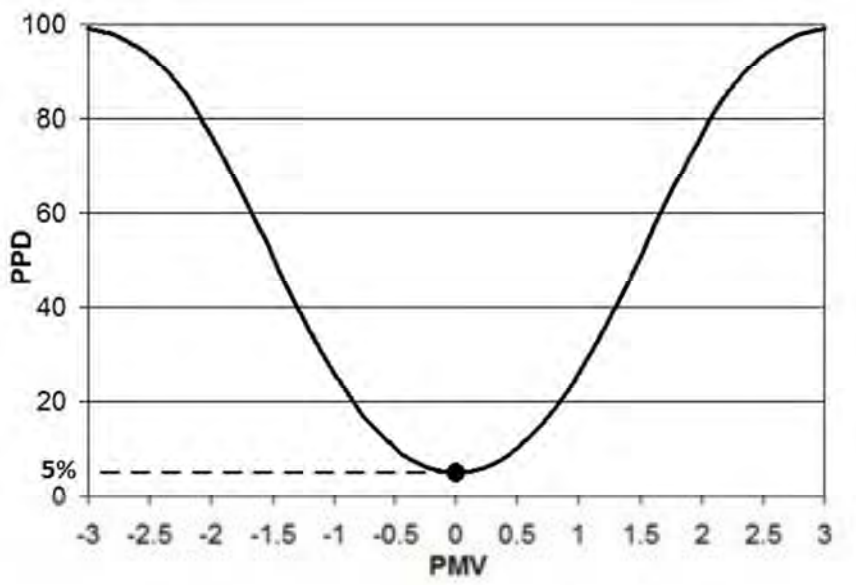


Figura 4.11: Andamento del PPD al variare del PMV

In ascissa è presente il PMV con una scala descritta in precedenza, in ordinata vi è il PPD in percentuale.
Si noti come in condizioni di PMV = 0, il PPD è pari al 5%. Questo sta a significare che anche in condizioni ottimali dal punto di vista del comfort termico, esiste una piccola popolazione di soggetti che giudica comunque insoddisfacenti le condizioni microclimatiche dell'ambiente. Ciò è dovuto al fatto che la percezione dell'ambiente termico dipende anche dalla diversa sensibilità individuale che è legata a fattori quali sesso, età, origine geografica ecc.
La norma UNI EN ISO 7730:2006 stabilisce l'intervallo di accettabilità di PMV tra -0,5 e +0,5, di conseguenza afferma che per trovarsi in una situazione di benessere, il PPD non deve superare il 10%. Inoltre, non è possibile utilizzare gli indici di valutazione PMV e PPD in tutte le condizioni lavorative ma solamente quando determinati parametri siano compresi nei seguenti intervalli (Tabella 4.3).

Tabella 4.3: Limiti di applicabilità del criterio PMV-PPD

▪ M	▪ Compreso tra 46 e 232 W/m^2
▪ I_{cl}	▪ Compreso tra 0 e 0,310 m^2 °C/W
▪ t_a	▪ Compreso tra 10 e 30 °C
▪ V_{ar} (velocità dell'aria)	▪ Compreso tra 0 e 1 m/s

4.4 Implementazione ed integrazione con algoritmi di ottimizzazione

Questa attività ha avuto come obiettivo quello di implementare ed integrare gli algoritmi di ottimizzazione con il simulatore.

L'ottimizzazione multi-obiettivo avviene mediante l'utilizzo dell'algoritmo evolutivo NSGA-II, descritto nel paragrafo 4.3.1, per i seguenti motivi:

- È un algoritmo evolutivo e, in quanto tale, si adatta al problema computazionale in questione che prevede la ricerca della soluzione ottima tra un numero elevato di possibili alternative;
- È l'algoritmo evolutivo più recente;
- Non ha bisogno di alcuna inizializzazione, l'ottimizzazione cioè non è influenzata dal decisore;

- Consente di esplorare l'intero spazio di ricerca ovvero tutte le possibili soluzioni;
- È population based e quindi non considera un'unica soluzione alla volta ma opera parallelamente su un insieme di soluzioni, modificandole iterativamente, fino ad ottenere quella migliore;

Ordina le soluzioni in base al concetto di non dominanza, permettendo di ottenere il fronte di Pareto ottimo.

Si passa ora alla descrizione dello script in ambiente MATLAB realizzato per effettuare l'ottimizzazione. Per semplicità non viene trascritto interamente ma ci si limita alle descrizione delle funzioni principali.
Lanciando il file "ScriptCall90Days_NoNotte.m" vengono caricate le matrici, contenenti i dati relativi alle simulazioni con fan-coils attivi nelle sole ore lavorative, precedentemente illustrate. Un "ciclo for" consente di richiamare per 89 volte, una per ogni giorno da ottimizzare, la funzione "OttGiornFunction_NoNotte.m" che, prese in input le suddette matrici, inizializza il problema multi-obiettivo. Ogni chiamata alla funzione "OttGiornFunction_NoNotte.m" prevede:

- La definizione dell'algoritmo da utilizzare, già implementato in MATLAB, tramite il comando "Prob.optType = {'nsga2'};".
- La valutazione delle funzioni obiettivo tramite "ObjectiveVal.m" per l'assegnazione della fitness. Tale operazione è ripetuta per tutte le generazioni impostate nel settaggio dei parametri dell'algoritmo (descritti in dettaglio nel paragrafo successivo);
- L'ottimizzazione multi-obiettivo, per il giorno considerato, tramite il comando "out = moop(Prob);"
- La restituzione del fronte di Pareto ottimo per quel giorno;

Ognuno dei fronti di Pareto, frutto dell'intero processo di ottimizzazione, è costituito dall'insieme delle soluzioni non dominate relative al giorno corrispondente. La singola soluzione appartenente ad un determinato fronte identifica univocamente:

1. La combinazione di set-point ottima per quel determinato giorno a PPD medio giornaliero fissato;
2. Il consumo energetico associato a quel PPD per quel determinato giorno.

È importante sottolineare che il calcolo del PPD medio giornaliero, diversamente dal caso stagionale, avviene nel seguente modo:

- Si prendono i valori di PPD orari, restituiti dall'apposita funzione implementata in MATLAB, nelle sole dodici zone attive ovvero nelle zone effettivamente occupate;
- Si mediano tutti i valori di PPD delle diverse zone, ora per ora, considerando solamente le ore in cui è presente il personale negli uffici (8.00-19.00), per ottenere i PPD orari dell'intero edificio;
- I singoli valori di PPD delle corrispondenti ore vengono mediati tra loro per ottenere un unico valore che rappresenta il PPD medio giornaliero dell'intero edificio.

La differenza dal caso precedente è dovuta al fatto che tale PPD è calcolato come media giornaliera e non più stagionale. In questo modo si riesce ad avere un controllo diretto sul singolo giorno, con la possibilità di scegliere un PPD più o meno basso, in funzione del consumo desiderato, sempre in accordo con la normativa vigente.
Per minimizzare il consumo energetico si è scelta, da ogni fronte di Pareto, la soluzione che prevede un PPD medio giornaliero il più alto possibile al di sotto del 10 %.
Il codice, alla fine di tutto il processo restituisce:

- La matrice delle 89 combinazioni di set-point ottimi giornalieri;
- La matrice degli 89 PPD medi giornalieri dell'intero edificio;
- La matrice degli 89 consumi energetici giornalieri dell'intero edificio;

Settaggio parametri ed evoluzione di NSGA-II

Inizialmente viene impostato il **numero R di run dell'algoritmo**, cioè il numero di volte che l'algoritmo verrà eseguito. Per un motivo che sarà chiaro a breve si è scelto di impostare **R = 3**. Il processo di ottimizzazione, descritto nei passaggi che seguono, viene quindi ripetuto per tre 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 quelle dei tre differenti run.

Successivamente si inserisce il **numero M di funzioni obiettivo**. Le funzioni obiettivo che l'algoritmo deve ottimizzare sono **2**, la minimizzazione di PPD e la minimizzazione di consumo di metano.

Si definisce il **range del problema**, ovvero l'intervallo di valori in cui sono comprese le variabili di decisione. Sia i set-point di mandata che i set-point di zona assumono valori discreti rispettivamente negli intervalli **[30:1:80]** e **[17:0,5:22,5]**.

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 (nel nostro caso 612 variabili), **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).

Il prodotto tra N, G ed R determina il numero di chiamate dell'algoritmo alla funzione obiettivo, cioè il numero di individui che vengono valutati dalla funzione obiettivo. Quest'ultima, presi in input i parametri di ogni individuo, restituisce come output la fitness corrispondente.

In genere si sceglie un numero di chiamate pari ad 1/4 del numero di punti appartenenti a tutto lo spazio di ricerca. Essendo lo spazio di ricerca costituito da 612 punti, si sono considerate 150 chiamate impostando:

- N = 10;
- G = 4;
- R = 3;

Si fa presente 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:

$$Chiamate = N \cdot (G + 1) \cdot R = 10 \cdot (4 + 1) \cdot 3 = 150$$

Si procede 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.

Per 612 variabili è necessaria una codifica a 10 bit. Da questo punto in poi ogni individuo è identificato dal proprio cromosoma (una stringa binaria di 10 bit).

L'algoritmo continua con l'applicazione degli operatori genetici.

Tipo di selezione

NSGA-II utilizza la **selezione per torneo**. In questo caso 2 individui alla volta, scelti casualmente tra i 10 della 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.

Tipo di crossover
Il crossover adottato è quello **a singolo punto** secondo le modalità esplicate nel capitolo 4. La probabilità p_c di crossover è fissata a 0,8. Viene generato un numero casuale nell'intervallo [0,1]. Se tale numero è maggiore di p_c il crossover non viene applicato e gli individui vengono semplicemente ricopiati. Viceversa, se il numero è inferiore a 0,8 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 da 10 individui, è poi sottoposta a mutazione.

Tipo di mutazione
Viene adottata la **mutazione normale** secondo i seguenti passi:

- Si fissa una probabilità di mutazione p_m molto bassa pari a 1/612;
- 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 p_m non si effettua alcuna mutazione e l'individuo viene semplicemente copiato nella nuova popolazione;
- Viceversa se il numero generato è inferiore a p_m, 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 10 individui e viene detta "popolazione figlia" per distinguerla dalla "popolazione genitore", rappresentata dai 10 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 20 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 10 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.

4.5 Sperimentazione : ottimizzazione invernale su simulatore

L'attività sperimentale ha avuto come obiettivo quello di capire i margini potenziali di risparmio di diverse strategie di ottimizzazione in funzione di realizzare un controllo attivo della domanda.

Nelle pagine che seguono con il termine "set-point di mandata" si fa riferimento alla temperatura imposta all'acqua di mandata che circola all'interno dei fan-coils destinati al riscaldamento dell'edificio. Con il termine "set-point di zona" si vuole intendere la temperatura imposta ai termostati all'interno delle singole zone da climatizzare. Entrambi i set-point sono relativi all'intero edificio e cioè a tutte le 12 zone riscaldate. I corridoi, privi di ventilconvettori, non possono essere riscaldati e di conseguenza non sono controllati e vengono esclusi dall'analisi.
Si parlerà di "edificio" facendo riferimento sempre allo smart building F40 del Centro Ricerche ENEA Casaccia.
La "stagione" comprende 89 giorni dal 16 novembre al 12 febbraio.

Il "consumo" è da intendersi in termini di m^3 di metano consumati dalla caldaia per riscaldare l'edificio nell'arco della suddetta stagione. Il consumo stagionale è calcolato come somma dei singoli consumi giornalieri.
I valori di confronto utilizzati per stimare le potenzialità della strategia suggerita sono quelli di funzionamento reale dell'edificio F40. Quest'ultimo attualmente viene riscaldato per l'intera giornata, notte inclusa, mantenendo il set-point di mandata a 65° C ed il set-point di zona a 21° C.
Come si è visto nel paragrafo 4.3.2 il PPD dipende da una serie di fattori derivanti dalle condizioni ambientali, dal tipo di lavoro svolto, dall'organismo degli occupanti e dall'abbigliamento degli stessi. È quindi un parametro soggettivo, che varia da individuo ad individuo.
Non potendo analizzare tutte le possibili situazioni, è necessario considerare alcuni parametri come costanti durante tutto lo studio. In particolare i parametri riguardanti il bilancio termico del corpo umano ed il tipo di abbigliamento. Tenendo conto del periodo invernale e del tipo di lavoro in ambiente moderato si è scelto:

- M = metabolismo energetico = 70 W/m^2, corrispondente alla potenza totale media erogata da un individuo (uomo medio di 70 kg) durante un attività lavorativa di tipo sedentario (ufficio o laboratorio) divisa per la superficie corporea dell'individuo stesso;
- W = potenza meccanica efficace = 0 W/m^2, si assume cioè che non vi sia cessione di potenza meccanica da parte del corpo umano verso l'esterno. È un'approssimazione lecita considerato il tipo di lavoro;
- CLO = impedenza termica del vestiario = 1, è un coefficiente che tiene conto di tutti quei parametri che regolano l'isolamento termico dell'abbigliamento (CLOthing). CLO = 1 equivale ad un gradiente termico di 0,18° C su un'area di 1 m^2 attraversata da un flusso termico di 1 Kcal/h. Ciò corrisponde ad un individuo che indossa biancheria intima, camicia, pantaloni, giacca, calzini e scarpe.

I restanti fattori, propri dell'edificio, necessari al calcolo del PPD quali umidità relativa, temperatura e temperatura radiante, variano dinamicamente poiché frutto delle elaborazioni del simulatore. Quest'ultimo legge i dati meteorologici esterni da un file Meteo locale che non costituisce una previsione bensì una registrazione relativa all'anno 2005. Il file riporta, giorno per giorno, ora per ora, i seguenti parametri:

- Radiazione solare diffusa [W/m^2];
- Temperatura esterna [°C];
- Radiazione solare diretta [W/m^2];
- Copertura nuvolosa (coefficiente nell'intervallo [1÷8] dove 1 rappresenta cielo sereno ed 8 molto nuvoloso);
- Umidità relativa [%];
- Velocità del vento [m/s];
- Direzione vento (gradi rispetto al nord).

Tutte le simulazioni, l'elaborazione dei dati, la successiva ottimizzazione ed i grafici associati sono stati realizzati in ambiente di lavoro MATLAB/Simulink. Per la descrizione dettagliata del simulatore utilizzato si rimanda il lettore al rapporto tecnico dell'Università Politecnica delle Marche.

4.5.1 Simulazioni intera stagione

Dapprima si è simulato il comportamento dell'edificio nel caso di riscaldamento attivo giorno e notte e, successivamente, riscaldando solamente durante le ore diurne (7.00-19.00) per valutare quale strategia fosse più indicata per il raggiungimento dei due obiettivi costituenti il problema. In entrambi i casi la temperatura dei set-point è rimasta costante per l'intera stagione, non si è cioè applicato alcun controllo adattivo all'edificio. Sono state effettuate 612 simulazioni, ognuna delle quali cambiando il set-point di mandata e di zona. Il primo in un intervallo $30 \div 80$° C a passo uno, ed il secondo in un intervallo $17 \div 22{,}5$° C a passo 0,5 per un totale appunto di 612 combinazioni differenti.
Il calcolo del PPD è stato effettuato nel seguente modo:

- sono stati presi i valori di PPD orari, restituiti dall'apposita funzione implementata in MATLAB, relativi a tutti gli 89 giorni nelle sole dodici zone attive ovvero nelle zone effettivamente occupate;
- sono stati mediati tutti i valori di PPD orari degli 89 giorni, zona per zona, considerando solamente le ore in cui è presente il personale negli uffici (8.00-19.00), per ottenere i PPD medi stagionali nelle diverse zone;
- i singoli valori di PPD delle corrispondenti zone sono stati mediati tra loro per ottenere un unico valore che rappresenta il PPD medio stagionale dell'intero edificio.

I grafici, laddove non specificato, riportano in ascissa il consumo totale di metano espresso in m^3 ed in ordinata il PPD medio, entrambi relativi all'intera stagione ed all'intero edificio.

Simulazioni con fan-coil attivi durante l'intera giornata

La figura 4.12 riporta i dati relativi alle simulazioni effettuate mantenendo attive le ventole dei fan-coils dell'edificio per l'intera giornata.

Ogni punto rappresenta un' intera stagione in una delle 612 combinazioni di set-point possibili. Si distinguono diverse curve, ognuna di esse è formata da punti aventi lo stesso set-point di zona. Variare il set-point di mandata equivale a muoversi su una stessa curva a set-point di zona costante. All'aumentare

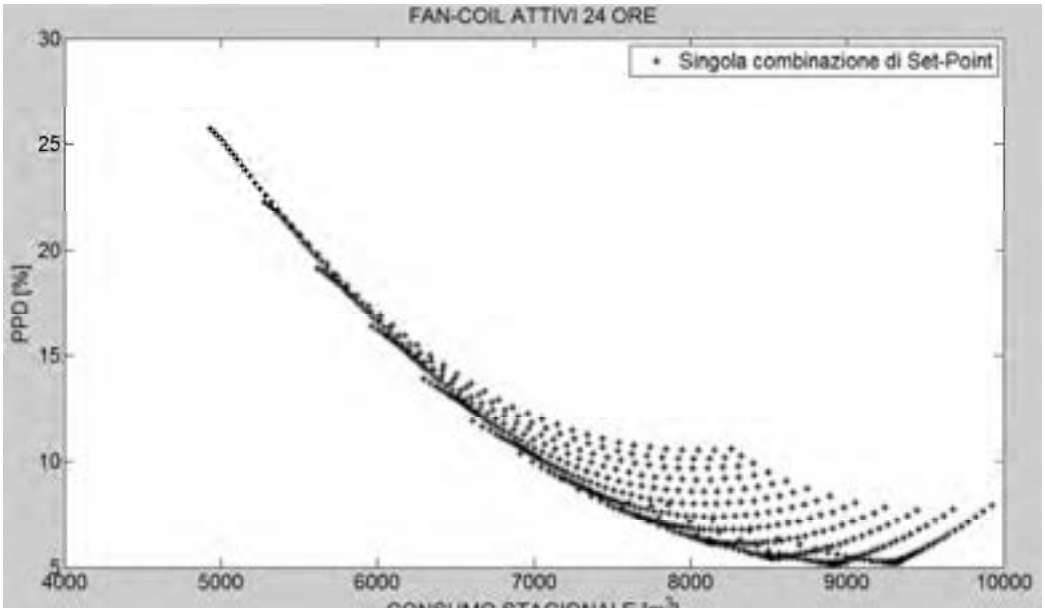


Figura 4.12: PPD e consumi stagionali al variare della combinazione di set-point in caso di riscaldamento attivo tutta la giornata

dei valori di set-point si ha un consumo crescente, la caldaia brucia più metano per portare il fluido termovettore a temperature più alte.

Osservando l'andamento delle curve si nota che maggiore è il consumo minore è il PPD. Al contrario, al decrescere del consumo aumenta il PPD come è lecito aspettarsi.

Tuttavia ogni curva presenta un minimo oltre il quale, se ci si sposta verso destra, aumenta il consumo ma aumenta anche il PPD. Si è nella situazione in cui l'aumento dei valori di set-point causa un riscaldamento troppo elevato che riporta in alto il "discomfort".

Prima di procedere con il processo di ottimizzazione è stato calcolato il "fronte teorico di Pareto" (Figura 32) ovvero l'insieme di tutte le soluzioni non dominate appartenenti allo spazio di ricerca. L'operazione, molto dispendiosa dal punto di vista computazionale, è avvenuta mediante una ricerca esaustiva che ha comportato una verifica di tutti i punti dello spazio di ricerca al fine di trovare le soluzioni migliori, cioè quelle non dominate.
Alcune considerazioni importanti possono essere fatte sovrapponendo le figure 4.12 e 4.13 ed effettuando un ingrandimento in una zona considerata di particolare interesse (Figura 4.14).
Il punto rosso individua il consumo ed il PPD per la combinazione di set-point con cui è riscaldato attualmente l'edificio (65° C - 21° C). Evidenzia cioè il riferimento, il punto di partenza da cui verrà

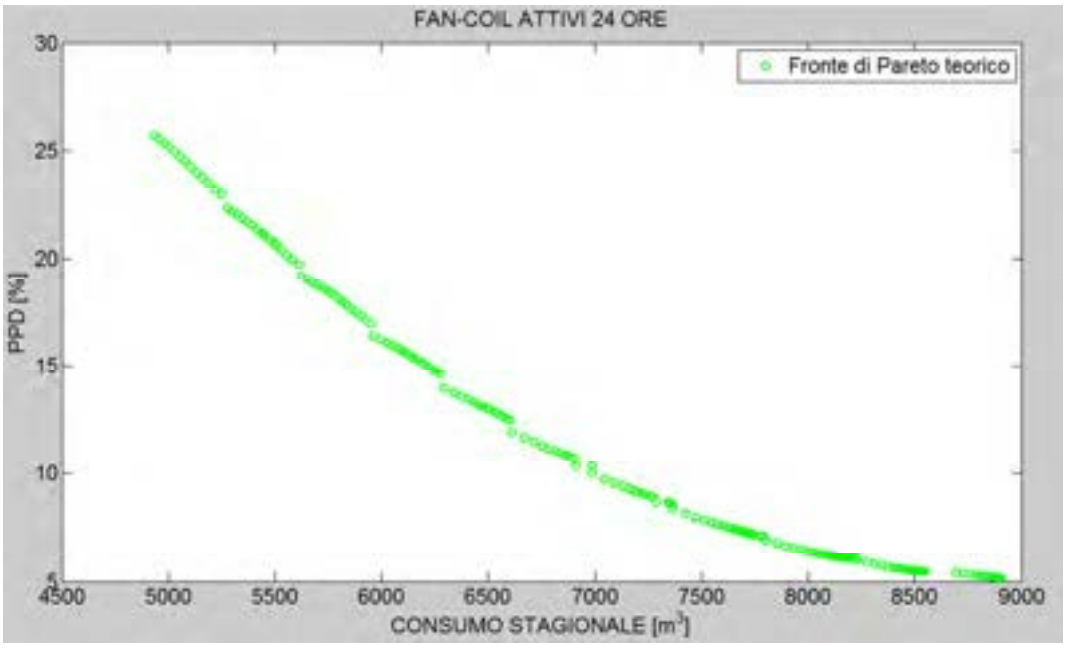


Figura 4.13: Fronte di Pareto teorico stagionale in caso di riscaldamento attivo tutta la giornata

sviluppata la strategia di ottimizzazione.

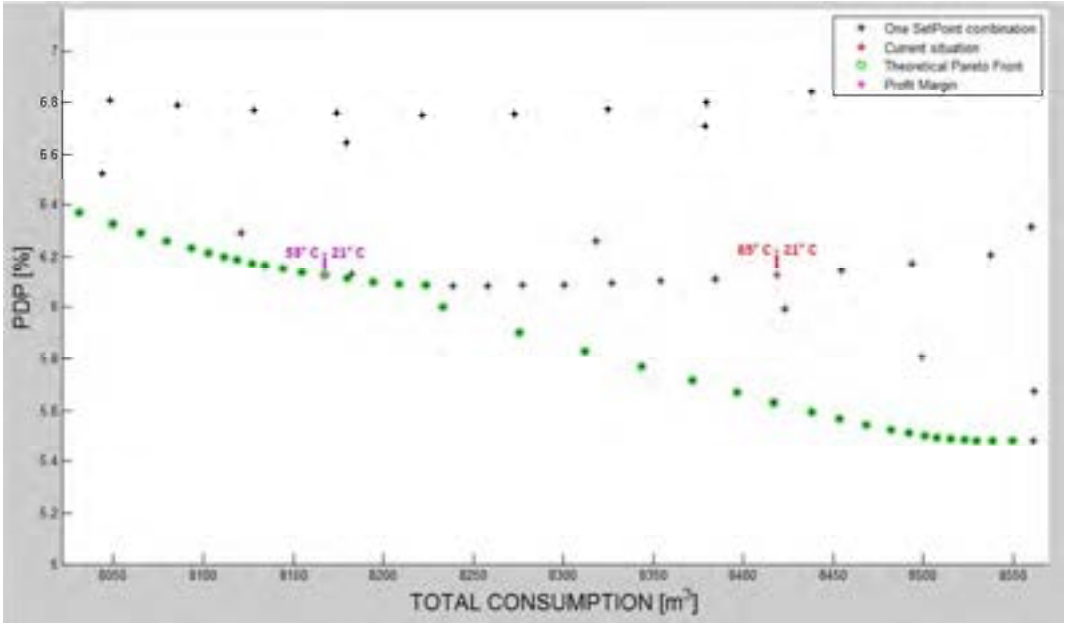


Figura 4.14: PPD e consumi stagionali per le combinazioni di set-point (65° C - 21° C) e (53° C - 21° C) in caso di riscaldamenti attivi tutta la giornata

L'edificio, nelle suddette condizioni, consuma 8419 m^3 durante l'intera stagione, per un PPD corrispondente del 6,1 %.
Una prima osservazione, senza ricorrere ad alcun algoritmo di ottimizzazione, mostra come muovendosi dal punto rosso verso sinistra, a parità di PPD, è possibile ridurre il consumo a 8167 m^3 semplicemente riducendo il set-point di mandata da 65° C a 53° C e, mantenendo inalterato il set-point di zona (punto color magenta). Il punto in questione è proprio uno dei punti del fronte teorico e quindi rappresenta una soluzione ottima. Il risparmio di 252 m^3, corrispondente al 3 % del riferimento, è possibile tenendo attive le ventole dei fan-coils per un periodo più lungo, rispetto al caso di riferimento. Ciò incide sul consumo elettrico che però non viene considerato in questa analisi.

Simulazioni con fan-coil attivi nelle sole ore lavorative

Le modalità di esecuzione delle simulazioni corrispondono a quelle del paragrafo precedente con la differenza che, in questo caso, le ventole dei fan-coils sono attive solamente durante l'orario in cui sono presenti i dipendenti all'interno dell'edificio (7.00-19.00). Dalle 19.00 alle 7.00 del mattino seguente le ventole sono ferme, tuttavia poiché l'acqua nelle tubazioni è mantenuta sempre calda indipendentemente dall'orario, si ha sempre un contributo di calore dovuto sia ad irraggiamento, sia a convezione naturale. Il ventilconvettore nelle ore notturne funziona come un semplice radiatore.
I risultati delle simulazioni (Figura 4.15) evidenziano un decremento globale dei consumi stagionali a parità di PPD rispetto al caso precedente.
Come nel caso precedente, dopo aver effettuato la ricerca esaustiva è possibile ricavare il fronte di Pareto teorico (Figura 4.16).

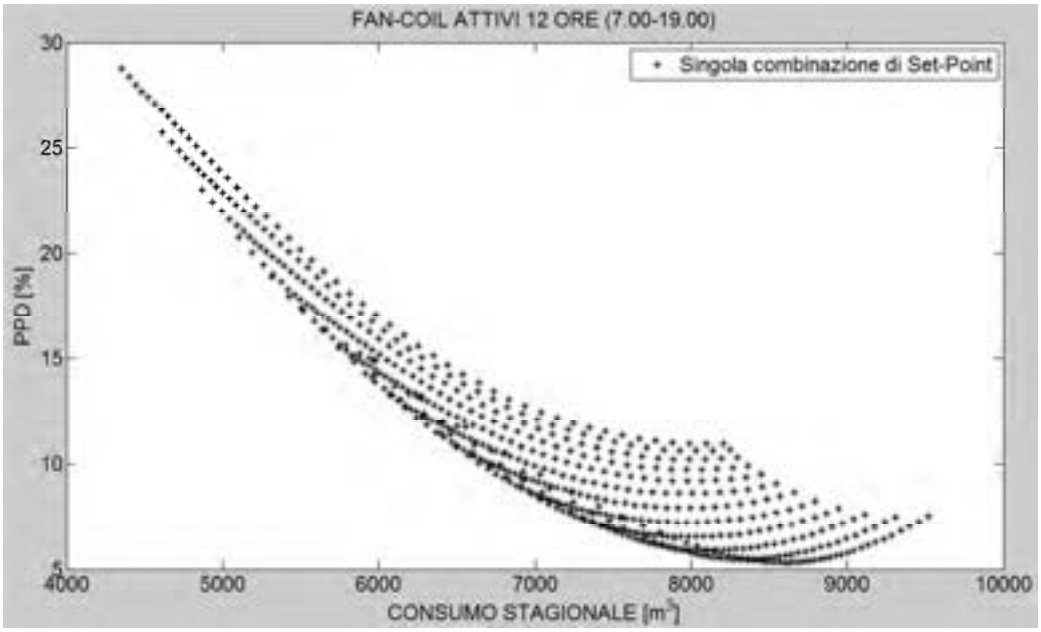


Figura 4.15: PPD e consumi stagionali al variare della combinazione di set-point in caso di riscaldamento attivo nelle sole ore lavorative

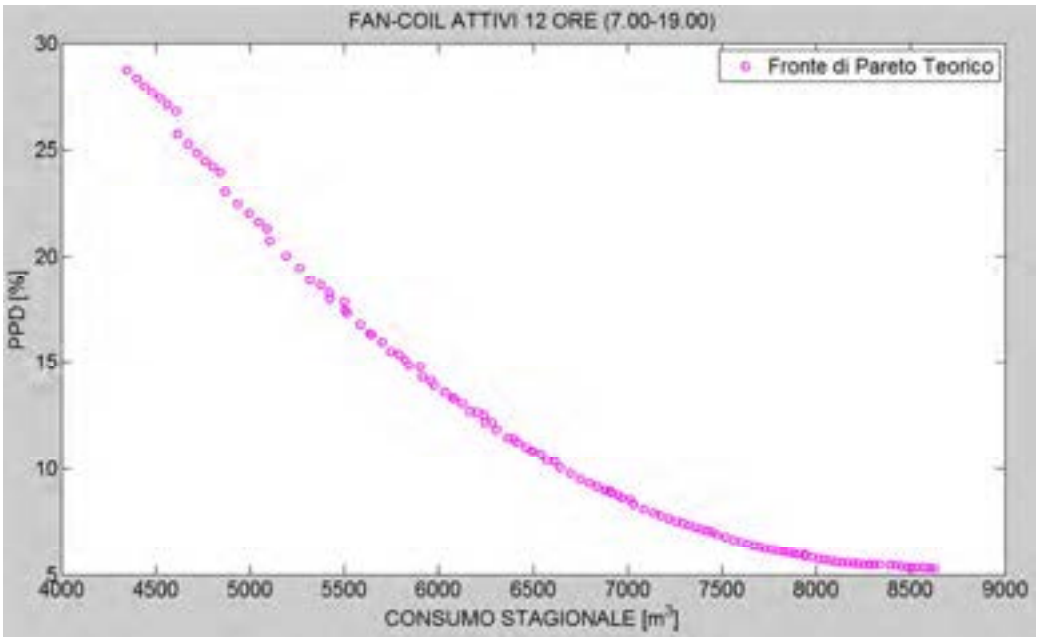


Figura 4.16: Fronte di Pareto teorico stagionale in caso di riscaldamento attivo nelle sole ore lavorative

L'obiettivo è ancora quello di trovare la combinazione di set-point che garantisca il minor consumo per un PPD corrispondente al riferimento.

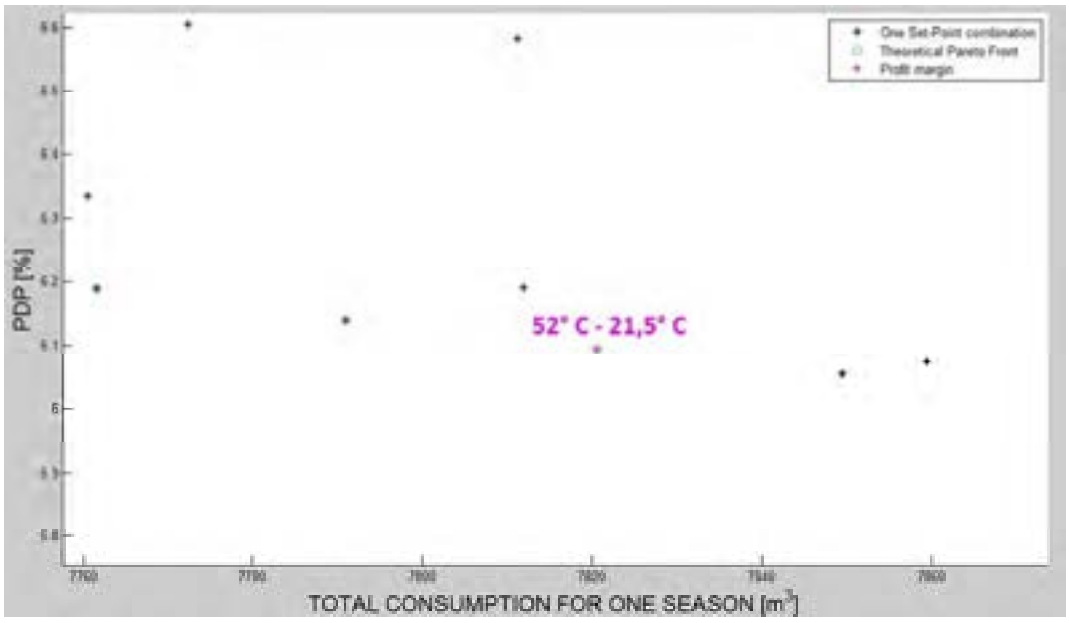


Figura 4.17: PPD e consumo stagionale per la combinazione di set-point (52° C - 21,5° C) nel caso di riscaldamento nelle sole ore lavorative

Il punto in questione (52° C - 21,5° C), visibile nell'ingrandimento di figura 36, è ancora un punto compreso nel fronte teorico che presenta PPD pari a 6,1 % ed un consumo di 7821 m^3.
Vale a dire che, mantenendo i suddetti set-point costanti per tutti gli 89 giorni, si ottiene un risparmio di 598 m^3 pari al 7,1 % rispetto al riferimento.
Nella tabella 4.4 vengono riassunti i risultati frutto di simulazioni. Non si è fatto alcun uso di particolari algoritmi di ottimizzazione. Ci si è limitati a fare alcune osservazioni che hanno permesso di capire sia quale strategia consenta un risparmio energetico maggiore a parità di percentuale di insoddisfatti sia i valori di set-point corrispondenti.

Tabella 4.4: Confronto tra simulazioni a set-point costante per l'intera stagione

Ventole fan-coil attive	Set-point di mandata [° C]	Set-point di zona [° C]	PPD medio stagionale [%]	Consumo di metano stagionale [m^3]	Risparmio energetico [m^3]	Risparmio energetico [%]
sempre	65	21	6,1	8419	-	-
sempre	53	21	6,1	8167	252	3
7.00-19.00	52	21,5	6,1	7821	598	7,1

Purtroppo, pur essendo convenienti dal punto di vista energetico, le strategie proposte presentano un problema a monte. Infatti il PPD è calcolato come media oraria su tutti gli 89 giorni. Mediamente gli insoddisfatti sono il 6,1% del totale ma nulla assicura che tale percentuale sia garantita giornalmente.
È facile rendersi conto di ciò con un esempio: si supponga che i primi 45 giorni della stagione siano non troppo freddi e che quindi la combinazione di set-point suggerita (52° C - 21° C) sia sufficiente a mantenere il PPD medio pari al 7%, ben al di sotto della soglia massima (10 %) prevista dalla normativa. Si supponga inoltre che i 44 giorni successivi siano molto freddi e che quindi i set-point non siano in grado di soddisfare le specifiche previste dalla normativa per cui il PPD medio sia pari al 12 %.
Analizzando la situazione nel complesso, ovvero negli 89 giorni, si ha un PPD medio pari a:

$$PPD = \frac{7 + 12}{2} = 9{,}5\ \% < 10\ \%$$

Apparentemente ci si potrebbe accontentare poiché si è al di sotto della soglia massima. Tuttavia analizzando le due situazioni differenti è facile rendersi conto di come, nella seconda metà della stagione, la normativa non venga affatto rispettata, infatti il PPD medio risulta essere:

$$PPD = 12\ \% > 10\ \%$$

Questa osservazione è facilmente estendibile al caso dei singoli giorni; la varietà di condizioni climatiche che possono presentarsi nel corso di una stagione impedisce, infatti, l'utilizzo di set-point costanti per l'intera stagione, a meno che non si considerino set-point talmente elevati da sopperire ad ogni possibile situazione, ma ciò comporterebbe consumi notevoli, non in linea con la strategia di ottimizzazione. Risulta che la strategia che prevede il riscaldamento nelle sole ore lavorative con set-point costanti per l'intera stagione non può considerarsi ottima per entrambi gli obiettivi poiché, se da una parte permette un margine di risparmio del 7,1 %, dall'altra non consente un controllo corretto del PPD giornaliero, limitandosi a dare indicazioni su un valore di PPD stagionale.

4.5.2 Risultati ottimizzazione stagionale

Si distinguono i due casi descritti in precedenza:

- Ottimizzazione stagionale con fan-coils attivi durante l'intera giornata;

- Ottimizzazione stagionale con fan-coils attivi nelle sole ore lavorative.

Poiché, per i motivi illustrati nel paragrafo 6.1.2, in entrambi i casi, il PPD non è controllato correttamente, si è deciso di effettuare un unico run di ottimizzazione, per ognuna delle due situazioni.

Ottimizzazione stagionale con fan-coils attivi durante l'intera giornata

Il fronte di Pareto restituito dall'ottimizzatore è visibile in figura 4.18. Esso riporta l'insieme delle soluzioni non dominate trovate da NSGA-II.

La figura 4.19 mostra un confronto tra il fronte di Pareto restituito dall'ottimizzatore ed il fronte di Pareto teorico.

La quasi totalità dei punti ottimi del fronte di Pareto restituito da NSGA-II coincide con quelli del fronte

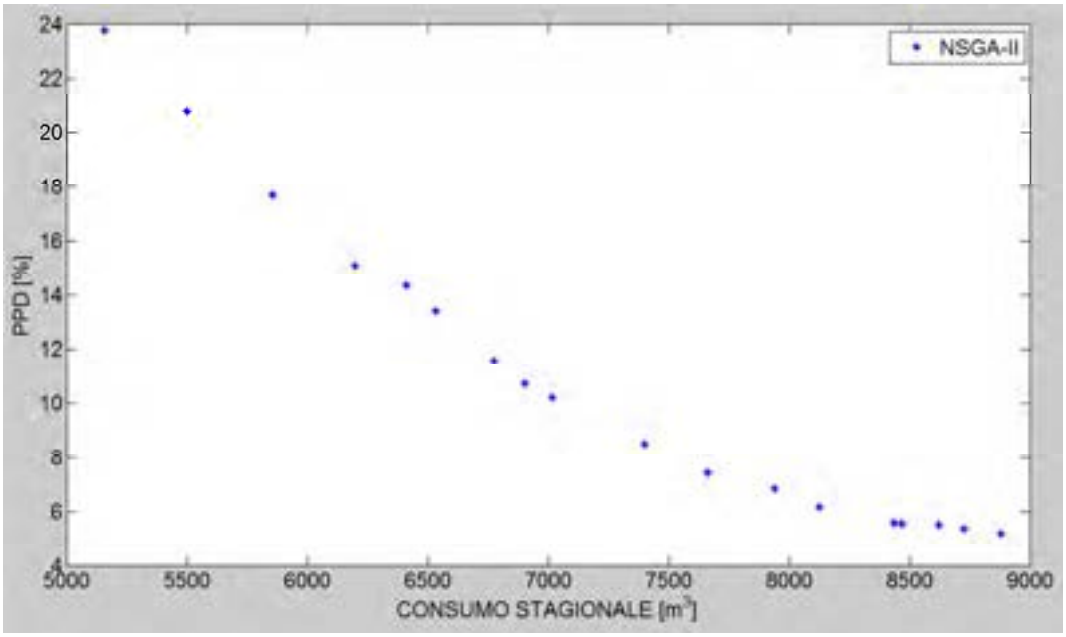


Figura 4.18: Fronte di Pareto di NSGA-II per l'ottimizzazione stagionale con fan-coils attivi durante l'intera giornata

teorico, con la differenza che quest'ultimo è stato ottenuto tramite una ricerca operativa lunga e dispendiosa, mentre il fronte di NSGA-II effettuando solamente 150 chiamate alla funzione obiettivo. Ciò evidenzia le potenzialità dell'algoritmo.

Il numero di punti del fronte di NSGA-II, come è logico aspettarsi, è nettamente inferiore rispetto al fronte teorico. Tuttavia aumentando il numero di chiamate alla funzione obiettivo è possibile ottenere un fronte sempre più definito.

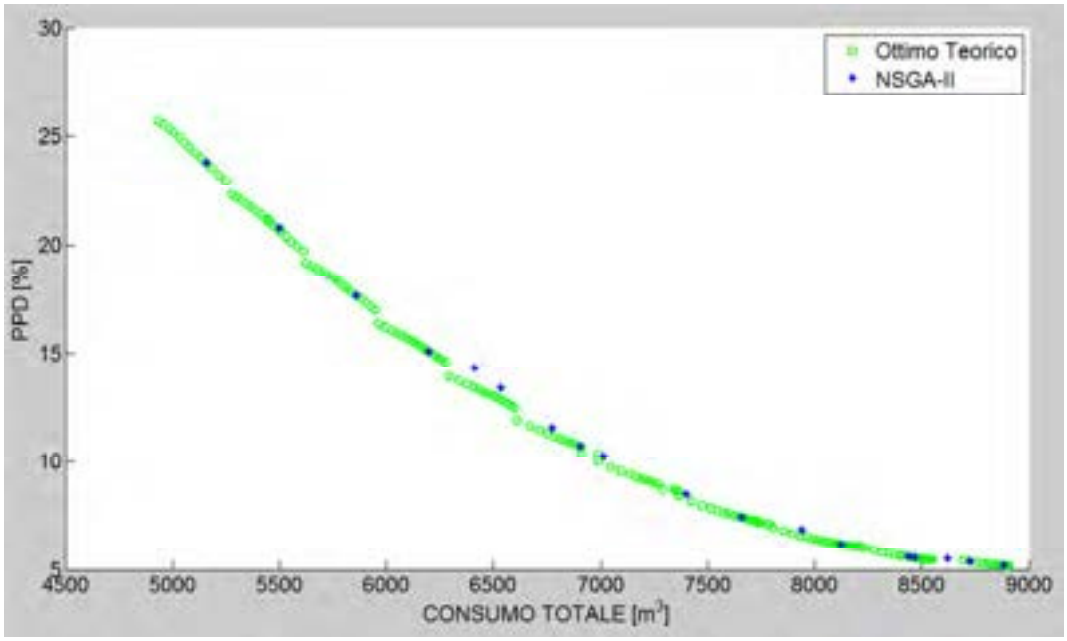


Figura 4.19: Confronto fronti di Pareto nel caso di fan-coils attivi durante l'intera giornata

La soluzione ottima, nel caso in cui si voglia minimizzare il consumo e mantenere il "discomfort" al di sotto della soglia prevista dalla normativa, è rappresentata dal punto a set-point (33° C - 20° C) che presenta PPD pari al 9,5 % ed un consumo di 7095 m^3 di metano. La tabella 4.5 riassume i risultati ottenuti dall'ottimizzazione.

Tabella 4.5: Risultati ottimizzazione stagionale con fan-coils attivi durante l'intera giornata

Ventole fan-coil attive	Set-point di mandata [° C]	Set-point di zona [° C]	PPD medio stagionale [%]	Consumo di metano stagionale [m^3]	Risparmio energetico [m^3]	Risparmio energetico [%]
sempre	65	21	6,1	8419	-	-
sempre	53	21	6,1	8167	252	3
sempre	33	20	9,5	7095	1324	15,7

Ottimizzazione stagionale con fan-coils attivi durante le sole ore lavorative

Ripetendo i passi visti per il caso precedente è possibile ottenere il fronte di Pareto restituito dall'algoritmo (Figura 4.20).

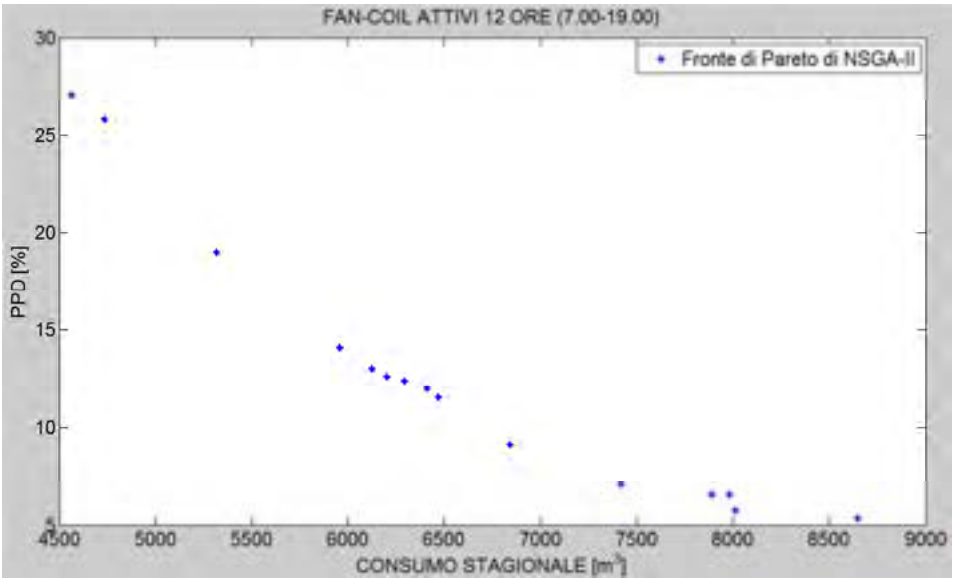


Figura 4.20: Fronte di Pareto di NSGA-II per l'ottimizzazione stagionale con fan-coils attivi durante le sole ore lavorative

In figura 4.21 si osserva il confronto con il fronte teorico.

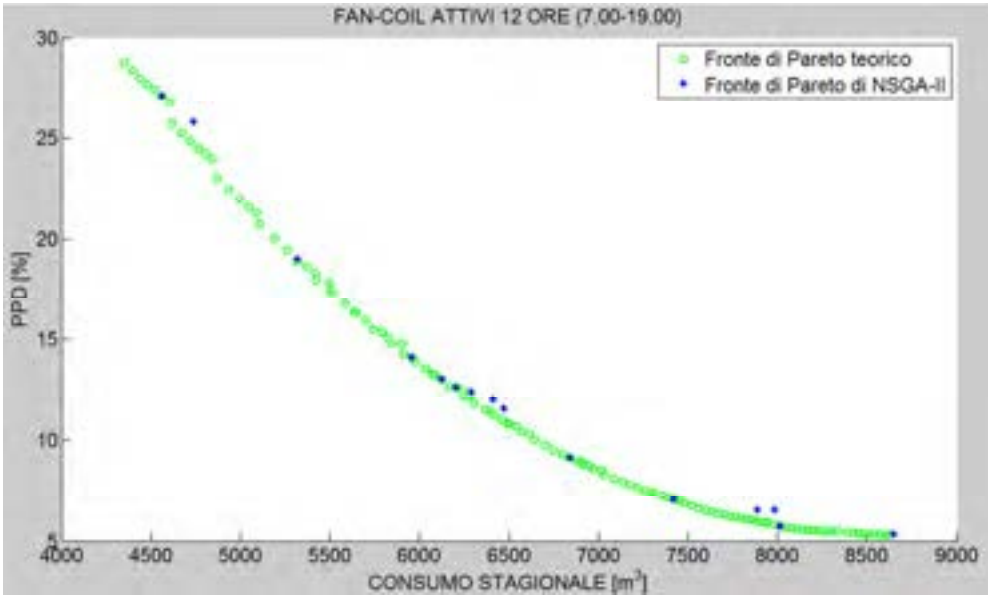


Figura 4.21: Confronto fronti di Pareto stagionali nel caso di fan-coils attivi nelle sole ore lavorative

La tabella 4.6 riassume i risultati derivanti dall'ottimizzazione.

Tabella 1: Risultati ottimizzazione stagionale con fan-coils attivi durante le sole ore lavorative

Ventole fan-coil attive	Set-point di mandata [° C]	Set-point di zona [° C]	PPD medio stagionale [%]	Consumo di metano stagionale [m^3]	Risparmio energetico [m^3]	Risparmio energetico [%]
sempre	65	21	6,1	8419	-	-
07.00-19.00	52	21,5	6,1	7821	598	7,1
07.00-19.00	52	20	9,5	6906	1324	18

4.5.3 Risultati ottimizzazione giornaliera

La soluzione che permette di ovviare al problema riscontrato precedentemente è quella di abbandonare la strategia che prevede un'unica combinazione di set-point valida per l'intera stagione, a favore di un vero e proprio controllo dinamico che preveda 89 combinazioni di set-point differenti, una per ogni giorno. Ad ogni giorno cioè può essere associata una delle 612 combinazioni di set-point possibili.
L'ottimizzazione di entrambi gli obiettivi (consumo e confort) consiste nella minimizzazione degli stessi. Essendo gli obiettivi in contrasto tra loro, è facile immaginare che nei giorni freddi, con PPD elevato, la combinazione di set-point sarà altrettanto elevata al fine di mantenere il PPD al di sotto del 10 %, mentre nei giorni caldi, con PPD basso, è preferibile una combinazione di set-point minore al fine di minimizzare il consumo energetico.

Sulla base dei risultati delle simulazioni descritte precedentemente si è scelta la strategia che prevede l'attivazione dei fan-coils solamente nelle ore diurne (7.00 - 19.00).
Si ricorda che:

- L'ottimizzatore restituisce 89 fronti di Pareto, uno per ogni giorno della stagione;
- Ogni fronte è costituito dalle soluzioni non dominate, scelte tra tutte le 612 soluzioni possibili, appartenenti allo spazio di ricerca;
- Il singolo punto del singolo fronte, corrispondente ad una possibile combinazione di set-point, definisce il PPD medio giornaliero nelle ore lavorative (8.00 - 19.00) ed il consumo di metano associato al corrispettivo giorno.
- Il consumo stagionale è la somma dei singoli consumi giornalieri;
- Il PPD stagionale dell'edificio è la media dei PPD di tutti gli 89 giorni.

A titolo di esempio viene mostrato uno degli 89 fronti di Pareto (Figura 4.22), ottenuto per la cinquantesima giornata della stagione.
Spostandosi sul fronte di Pareto è possibile scegliere il punto più adatto per la strategia proposta. In tal caso si è scelto il punto che, mantenendo il PPD al di sotto del 10 %, consente di avere il minor consumo di

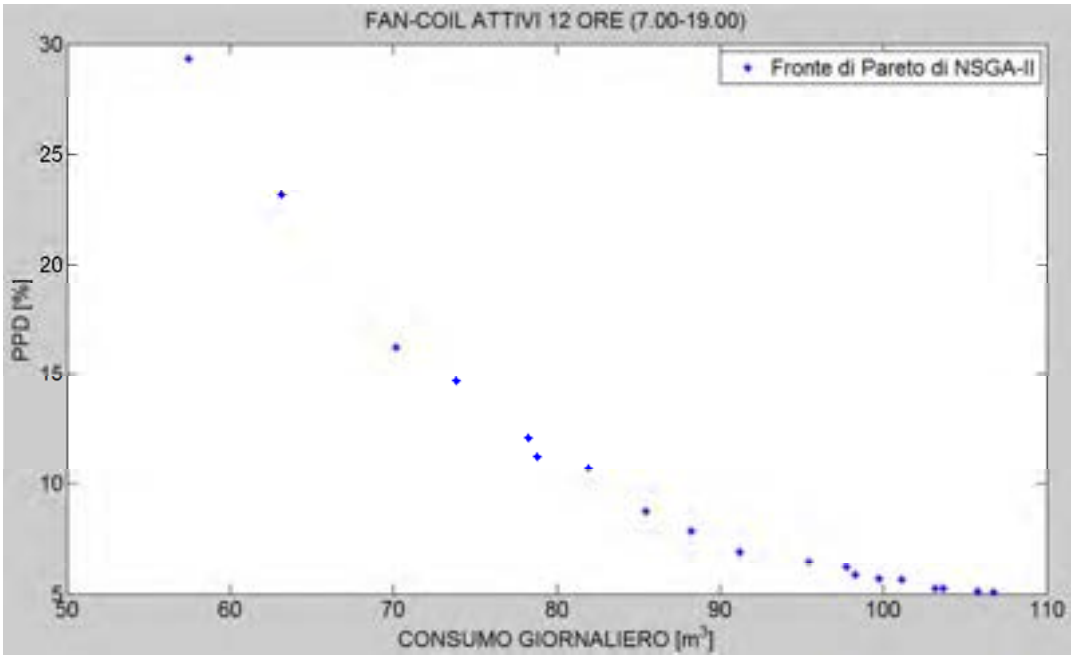


Figura 4.22: Esempio di Fronte di Pareto giornaliero restituito dall'ottimizzatore nel caso di fan-coil attivi durante le sole ore lavorative

metano, ossia il punto (Figura 4.23) corrispondente a:

- PPD = 9,2 %;
- Consumo = 86 m^3.

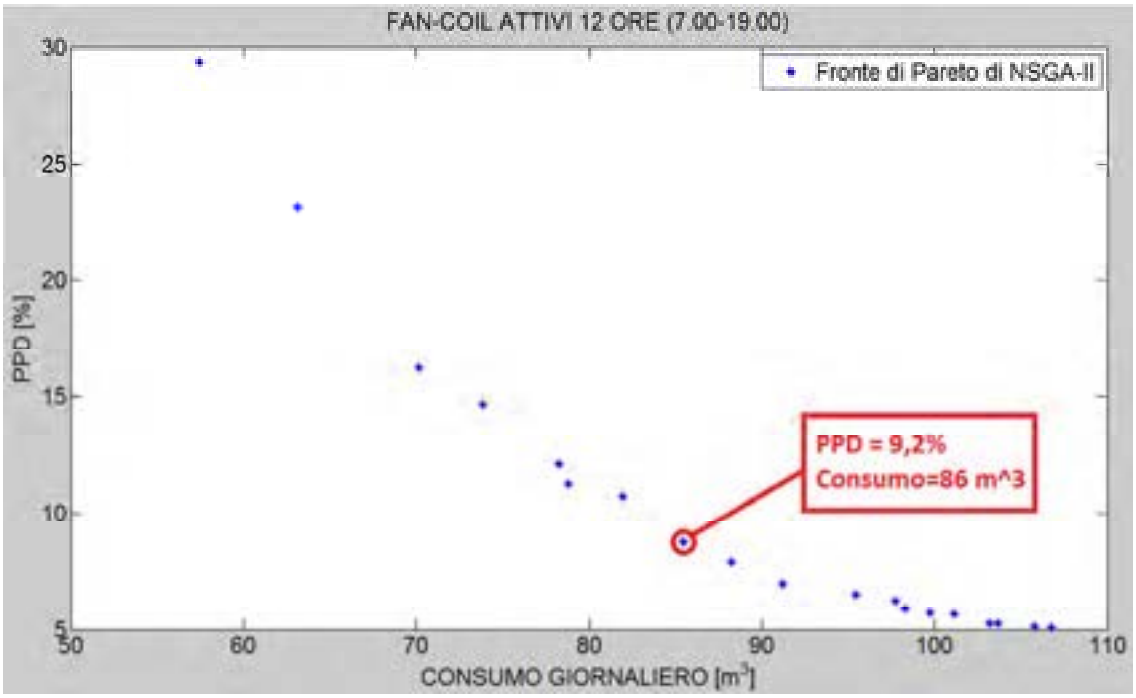


Figura 4.23: Punto ottimo giornaliero nel caso di fan-coil attivi nelle sole ore lavorative

La figura 4.24 riporta il confronto con il fronte teorico.

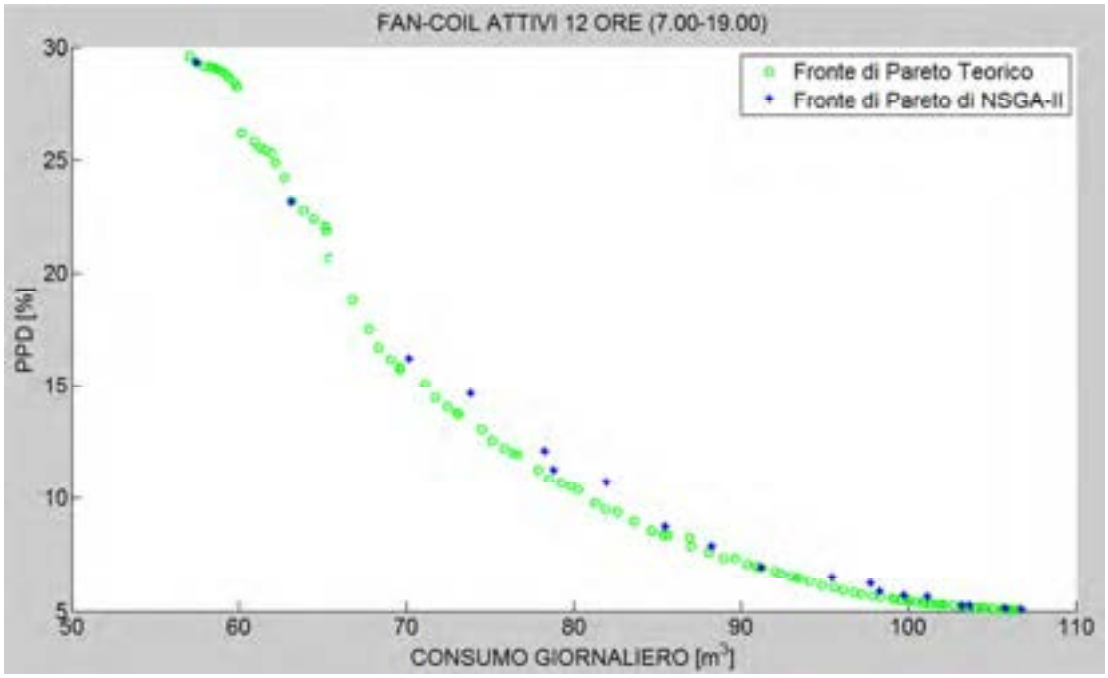


Figura 4.24: Confronto fronti di Pareto giornalieri nel caso di fan-coil attivi nelle sole ore lavorative

Nulla vieta al decisore di scegliere un qualsiasi altro punto del fronte, in modo tale da identificare il giusto compromesso tra comfort e consumo.
I risultati di un'intera stagione ottimizzata vengono riportati in tabella 4.7.

Tabella 4.7: Risultati ottimizzazione singola stagione

Giorno	Set-point di zona [°C]	Set-point di mandata [°C]	Consumo [m^3]	PPD medio [%]
1	20,5	61	122,3	9,7
2	20	51	78,2	9,6
3	20	49	68,3	8,8
4	19,5	32	35,1	9,8
5	19	33	24,8	10,0
6	19	38	33,9	9,9
7	18,5	41	34,8	9,5
8	20,5	44	43,6	5,9
9	17,5	48	44,9	9,1
10	20,5	31	42,8	7,8
11	20,5	48	50,9	6,6
12	20	42	48,6	8,5
13	17	54	53,4	8,8
14	18	61	65,7	9,3
15	19	70	80,7	7,7
16	20	49	72,8	9,8
17	20	61	82,9	9,3
18	20,5	47	76,1	8,7
19	22	32	71,9	9,3
20	20	49	77,9	9,9
21	21,5	35	82,6	8,7
22	22,5	33	78,5	9,9
23	21	44	82,4	7,2
24	19	73	90,1	9,1
25	21	36	82,7	9,6
26	20,5	41	91,0	9,6
27	21,5	37	83,2	8,0
28	20	47	77,7	9,6
29	20,5	36	68,0	8,5
30	19,5	44	52,7	10,0
31	20	34	39,3	8,4
32	19,5	42	43,7	9,8
33	19,5	39	39,2	9,5
34	20	33	35,5	7,8
35	20	40	42,2	7,9
36	18,5	54	57,6	9,8
37	18,5	63	68,5	8,4
38	19	62	70,9	8,4
39	22	34	84,9	9,5
40	21,5	39	103,0	9,9
41	20	76	109,6	9,2

42	20,5	68	108,9	8,8
43	21,5	43	103,4	8,2
44	20,5	59	84,7	8,3
45	20	50	65,3	9,3
46	20	46	63,0	9,3
47	20,5	36	72,4	9,2
48	20	58	81,1	9,8
49	20	50	83,0	10,0
50	20,5	40	84,6	9,3
51	21	38	86,9	8,9
52	21	65	102,0	7,2
53	21	46	99,2	8,4
54	20	68	101,0	9,7
55	21,5	43	110,4	8,7
56	21,5	50	114,5	7,3
57	21	47	104,2	8,7
58	21,5	42	115,1	9,5
59	20,5	68	123,2	9,7
60	22,5	41	115,5	9,9
61	21,5	50	124,0	8,5
62	21	54	122,3	8,9
63	21	45	107,1	9,8
64	20	62	89,9	9,9
65	20,5	40	78,5	9,3
66	20	66	80,6	8,0
67	20,5	45	60,7	7,6
68	21	52	58,8	5,8
69	20	31	60,9	9,7
70	18,5	74	87,9	8,3
71	20	66	88,8	8,8
72	20,5	43	69,3	8,6
73	20	34	55,6	10,0
74	20	38	61,8	9,8
75	20,5	32	59,6	9,5
76	20,5	37	54,6	7,8
77	20	44	48,3	8,2
78	19,5	42	40,9	9,9
79	17,5	57	57,6	8,4
80	19,5	52	62,9	9,8
81	17	71	79,0	9,8
82	21	39	89,7	9,4
83	20,5	46	91,9	9,5
84	22,5	34	82,3	9,8
85	20,5	44	88,8	9,5
86	19,5	75	96,4	9,4
87	21	43	93,1	8,8

88	21,5	36	87,1	9,2
89	20,5	44	89,4	9,8

Sommando i singoli consumi e mediando i PPD giornalieri si ottiene:

- PPD stagionale = 8,97 %;
- Consumo stagionale = 6779 m^3;

Il fatto che il PPD medio sia pari al 8,97 % e non raggiunga il 10 % non deve stupire. Infatti il valore calcolato è frutto di una media su 89 giornate. Ha senso, a tal proposito, andare a calcolare la deviazione standard σ per rendersi conto di quale sia la dispersione dei valori di PPD attorno al valor medio:

$$\sigma_{PPD} = 0{,}9149\ \%$$

Il PPD medio giornaliero, nell'arco di un'intera stagione, può assumere al minimo il valore:

$$PPD - \sigma_{PPD} = 8{,}05\ \%$$

Mentre può assumere al massimo il valore:

$$PPD + \sigma_{PPD} = 9{,}89\ \%$$

I risultati appena illustrati fanno riferimento ad un unico processo di ottimizzazione.
La stagione è stata sottoposta a diverse ottimizzazioni multi-obiettivo. I risultati, riportati in tabella 4.8, mostrano il consumo, il PPD e la deviazione standard medi di 100 ottimizzazioni.

Tabella 4.8: Risultati medi stagionali su 100 ottimizzazioni

Consumo [m^3]	PPD [%]	Deviazione Standard [%]	PPD minimo [%]	PPD massimo [%]	Limite di PPD imposto da normativa [%]
6801	8,9135	0,8675	8,05	9,781	10

Rispetto alla situazione di riferimento dunque si può concludere che a fronte di un aumento di PPD pari a:

$$\Delta PPD = 9{,}781 - 6{,}1 = 3{,}68\ \%$$

si ha un risparmio energetico di:

$$\Delta C = 8419 - 6801 = 1618\ m^3$$

La tabella 4.9 mostra il confronto tra situazione di riferimento e situazione ottimizzata.

Tabella 4.9: Confronto tra caso di riferimento e strategia di ottimizzazione giornaliera

Ventole fan-coil attive	Set-point di mandata [° C]	Set-point di zona [° C]	PPD medio stagionale [%]	Consumo di metano stagionale [m^3]	Risparmio energetico [m^3]	Risparmio energetico [%]
sempre	65	21	6,1	8419	-	-
7.00-19.00	giornaliero	giornaliero	8,9	6801	1618	19,2

Rispetto al caso di riferimento, a fronte di un aumento medio del 2,8 % di insoddisfatti si ottiene un risparmio energetico del 19,2 % sull'intera stagione.

Infine, la tabella 4.10 riassume e confronta i risultati delle sperimentazioni effettuate.

Tabella 4.10: riepilogo sperimentazioni

APPROCCIO	RIFERIMENTO	OTTIMIZZAZIONE STAGIONALE	OTTIMIZZAZIONE STAGIONALE	OTTIMIZZAZIONE GIORNALIERA
RISCALDAMENTO ATTIVO	24 ore	7.00-19.00	7.00-19.00	7.00-19.00
SET-POINT MANDATA [° C]	65 (stagionale)	52 (stagionale)	41 (stagionale)	Giornaliero
SET-POINT TERMOSTATO [° C]	21 (stagionale)	21,5 (stagionale)	21,5 (stagionale)	Giornaliero
PPD MEDIO STAGIONALE [%]	6,1	6,1	9,1 (73% fuori normativa)	8,9 (PPD max = 9,8: sempre entro normativa)
CONSUMO DI GAS STAGIONALE [m^3]	8419	7821	6841	6801
RISPARMIO ENERGETICO [m^3]	-	598	1578	1618
RISPARMIO ENERGETICO [%]	-	7	18,7	19,2
CO_2 EVITATA [kg]	-	1136	2998	3074

Risparmio in termini economici

Per quantificare il risparmio energetico in termini economici si è effettuata una media dei costi per l'acquisto di metano sostenuti dal Centro Ricerche ENEA Casaccia nei mesi di novembre, dicembre, gennaio e febbraio dei precedenti 4 anni (2010, 2011, 2012 e 2013) da cui risulta un costo medio di metano al metro cubo pari a:

$$Costo\ medio\ metano\ [€/m^3] = 0{,}51€/m^3$$

Moltiplicando tale valore per il numero di metri cubi di metano risparmiati utilizzando la strategia proposta si ottiene:

$$Risparmio\ [€] = Costo\ medio\ metano \cdot \Delta C = 0{,}51 \cdot 1618 = 825€$$

Riduzione dell'impatto ambientale

Considerando che la combustione di 1 m^3 di metano produce circa 1,9 kg di CO_2 si ha:

$$\Delta C \cdot 1{,}9 = 1618 \cdot 1{,}9 = 3074\ kg$$

Ovvero si riducono le emissioni di CO_2 di circa 3 tonnellate.

5 Partecipazione ai network di ricerca europei e disseminazione scientifica

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 "Smart City Stakeholders Platform", il "JPI Urban Europe", la "Member State Smart City Initiative" ed il "Covenant of Mayors".
In particolare ENEA svolge un'attività di coordinamento su un sotto programma denominato Urban Energy Networks, 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 l'idea di creare una piattaforma di tipo aperto per la registrazione di informazioni utili allo scopo.
Nella scorsa 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.
La fase successiva comporta la definizione del modello dati che permetterà la raccolta delle informazioni citate e fornirà la base dati per le sviluppo di profili di interrogazione standardizzati. In questa annualità si è proceduto, grazie all'attività sviluppata in collaborazione con il Consiglio italiano per le Scienze Sociali (CSS), allo sviluppo dei profili necessario per avviare una attività di screening sui principali elementi che caratterizzano possibili dinamiche urbane concentrandosi sulle definizioni internazionali di Social Innovation e definendo i target delle politiche di riferimento, i driver di trasformazione e le tecnologie abilitanti.
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 sono stati presentati i risultati ottenuti.
In particolare, il progetto 'Smart Village' è risultato vincitore del premio "Smart Cities Road Show" in occasione dell'evento SMAU Roma "per aver realizzato un progetto innovativo e per essere un esempio virtuoso nello sviluppo delle moderne città intelligenti".
Diffusione dei risultati :

- Smart City Exhibition, Bologna 16-18 ottobre 2013
- Ecomondo, Rimini fiera 6-9 Novembre 2013
- EERA Smart Cities Workshop, Vienna, 3-4 dicembre 2013
- IMPATTO AMBIENTALE E MOBILITA' SOSTENIBILE UN PROGETTO PER CITTA' INTELLIGENTI, 12 DICEMBRE 2012, Osimo (An)
- SMAU Roma , 19-20 marzo 2014
- ENERGY EFFICIENCY: WHERE WILL IT LEAD US? Ambasciata Inglese, Roma, 26 marzo 2014
- EERA Workshop, Bruxelles, aprile 2014
- EnergyQuest 2014, Ekaterinenburg (Russia), 23-25 aprile 2014
- Smart city ed ESPON, Roma, maggio 2014
- WIVACE 2014, 9th Italian Workshop on Artificial Life and Evolutionary Computation, Vietri sul Mare (Salerno), 14-15 maggio 2014
- Città Metropolitane, Roma, giugno 2014
- Czech Technical University, Prague (CZ), 16-17 giugno 2014
- Sustainability in Energy and Buildings SEB-14, Cardiff (UK), 25 - 27 giugno 2014
- EERA Smart City Half-Annual Workshop, Loughborough (UK), 3-4 luglio 2014
- Università Roma Tre : lezioni su 'Smart Cities' e 'Smart Building' nel corso di 'Grandi Infrastrutture' laurea in Ingegneria Informatica e dell'Automazione

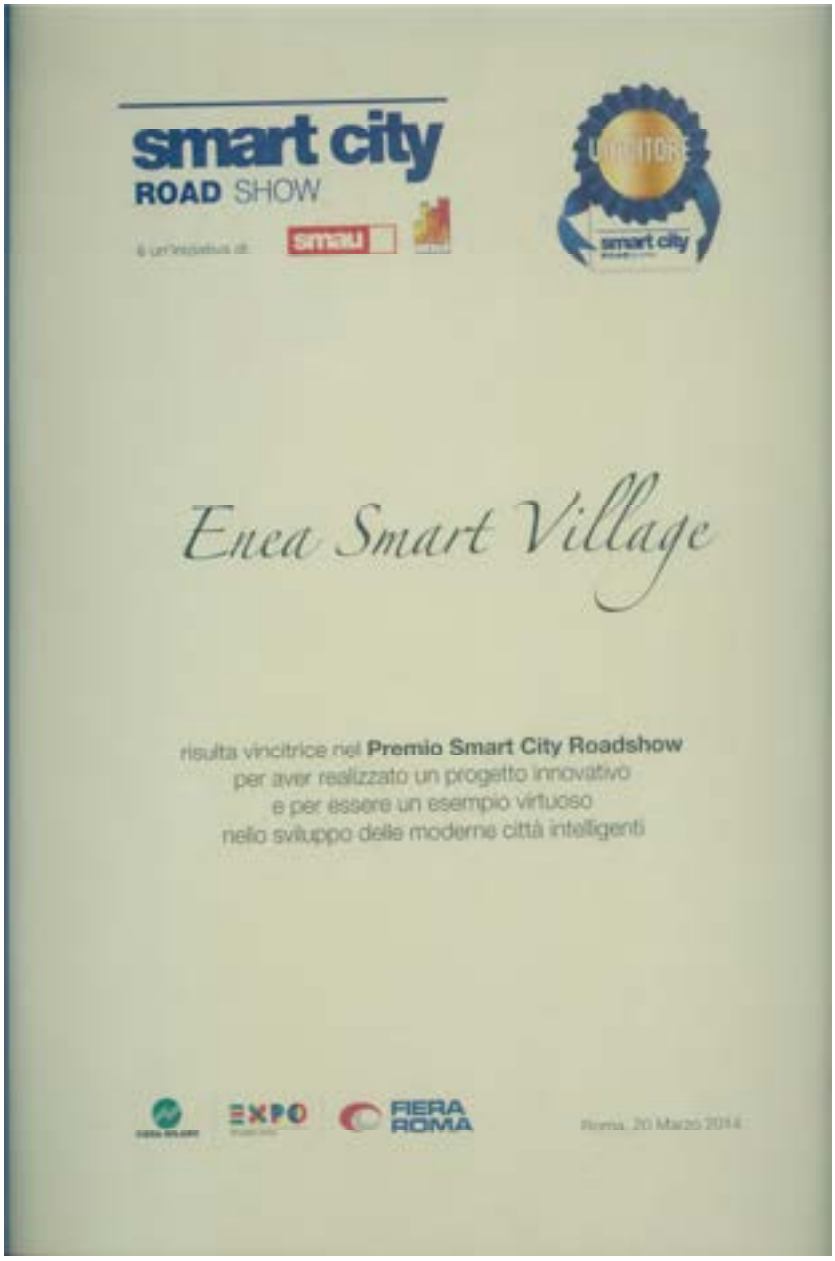


Figura – Premio SMAU Roma

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 prestazione dei vari edifici, la gestione ottimale e l' 'active demand'.
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 e per attuare le richieste di 'active demand'.
Nel precedente PAR le metodologie sviluppate sono state applicate alla diagnostica e controllo adattivo 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. In questa annualità gli obiettivi principali hanno riguardato l'estensione di modelli diagnostici e di controllo, il potenziamento dell'infrastruttura Smart Village e la validazione su simulatore di metodologie per l'active demand. In particolare le attività si sono articolate su tre sotto-obiettivi :

1. Estensione dei modelli diagnostici e di controllo
2. Sviluppo e validazione su simulatore di metodologie per active demand
3. Partecipazione ai network di ricerca europei e disseminazione scientifica

Nel primo obiettivo, il modello diagnostico relativo alla linea luci, validato su singolo edificio nella annualità precedente, è stato applicato alla linea del condizionamento e sono state definite le regole per il caso termico. L'implementazione e la validazione di tale sistema di diagnostica delle anomalie sulla linea del condizionamento è stata applicata su un edificio di riferimento del C.R. Casaccia (edificio F40) durante un'intera stagione invernale e l'analisi dei risultati sperimentali ha fatto emergere alcune anomalie sistematiche dovute principalmente ad una cattiva gestione dell'impianto di climatizzazione.
Come naturale evoluzione del sistema diagnostico è stato sviluppato un modulo di supervisione del Building Energy Management System (BEMS) dell'edificio F40 che permette il controllo delle temperature di set point dei termostati di stanza.
Grazie alla rilevante quantità di dati provenienti dalla rete è possibile comparare le prestazioni degli edifici che ne fanno parte; a tal fine sono stati definiti nuovi Key Performance Indicators (KPI) appositamente ottimizzati per il modello della rete ed in particolare, il lavoro sviluppato nel PAR 2012 sugli indicatori elettrici è stato esteso al caso termico.
Il costante monitoraggio energetico della rete genera un database considerevole di dati che è stato oggetto di validazione e analisi per dare adeguata robustezza ai dati.
Queste attività sono state svolte con il contributo dell'Università Roma Tre e il Politecnico di Torino.
In questo sotto-obiettivo sono state realizzate anche alcune funzionalità aggiuntive dello Smart Village sperimentale situato presso il CR ENEA Casaccia.
Una prima attività si è focalizzata nello sviluppo ed applicazione strumenti di visualizzazione integrata su Smart Village a supporto della gestione energetica della rete in termini di monitoraggio e diagnostica delle utenze energetiche (edifici, illuminazione ma anche mobilità) oggetto della ricerca.
Le implementazioni strumentali (hardware e software) dell'infrastruttura dello Smart Village hanno mirato ad un controllo ottimale in grado di assicurare delle prestazioni avanzate in termini di diagnostica, controllo ed ottimizzazione, già sperimentata su un singolo edificio, a tutta la rete degli edifici monitorati.

Contestualmente al potenziamento della dotazione hardware si sono resi necessari degli aggiornamenti software per i BEMS, con l'obiettivo di rendere possibile l'interfacciamento ottimale di questi con il modulo di supervisione e controllo.

Il secondo obiettivo ha riguardato lo sviluppo e la validazione su simulatore di metodologie per active demand; l'erogazione dell'energia in funzione della domanda che diventa parte attiva del sistema in quanto resa flessibile e adattabile.
In questa annualità sono state migliorate alcune funzionalità del simulatore termico sviluppato nella precedente annualità. La prima riguarda il lavoro della centrale termica/frigorifera che viene considerata non solo in condizioni di rendimento costante ma anche in situazioni di carico parziale. La seconda, relativa alle condizioni al contorno, include ora anche il costo dell'energia, oltre al meteo e all'occupazione.
Tutte le condizioni al contorno venivano gestite staticamente tramite importazione di file; in questa annualità il simulatore è stato predisposto in modo tale da gestire tali importazioni dinamicamente con l'aggancio a modelli predittivi (che saranno sviluppati nel PAR successivo). E' stata inserita altresì la modellazione dei consumi elettrici integrandoli con quelli termici simulando il controllo dell'accensione e spegnimento dei fan-coil e la dimmerazione dell'illuminazione indoor.
Inoltre è stata effettuata un'attività di assessment del simulatore; a partire dai dati sperimentali degli edifici monitorati nello Smart Village, è stata effettuata una calibrazione del simulatore al fine di conseguire una migliore corrispondenza tra il modello ed il comportamento reale degli edifici.
Il risultato di tali attività è stato quello di riuscire ad avere uno strumento che simula il comportamento di un edificio con un errore medio su base giornaliera inferiore al 3%. Tale livello di accuratezza, ed al tempo stesso di velocità, fanno si che questo sia uno strumento essenziale per l'implementazione di strategie di ottimizzazione finalizzate al controllo attivo della domanda.
Il simulatore è stato poi integrato con gli algoritmi di ottimizzazione in un ambiente unico. Questi ultimi forniscono al simulatore i valori delle variabili di controllo (es. set point temperature) il quale invia al modulo di ottimizzazione i dati per il calcolo delle funzioni di costo le quali, insieme ai dati relativi alle condizioni al contorno procede all'ottimizzazione multiobiettivo minimizzando il discomfort degli utenti e minimizzando i consumi energetici.
Sono stati sperimentati diversi scenari che sono stati paragonati allo scenario reale in cui opera l'edificio pilota. I risultati hanno mostrato che ci sono margini potenziali di ottimizzazione che sfiorano il 20%.
Queste attività sono state svolte in collaborazione con l'Università Politecnica delle Marche.

L'ultimo obiettivo riguarda 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.

Gli sviluppi futuri di queste attività riguardano essenzialmente attività di sperimentazione in campo. In particolare, tutti i modelli di kpi, diagnostica e controllo, saranno sperimentati su tutta la rete di 10 edifici ed i modelli di ottimizzazione saranno applicati all'edificio pilota.
Inoltre, saranno simulati ed ottimizzati gli scenari estivi tenendo in considerazione sia i consumi termici che elettrici e saranno sperimentati scenari di prezzo dinamico dell'energia. In questi scenari saranno anche integrati modelli predittivi delle condizioni al contorno (es. meteo).

Infine, si comincerà a buttare le basi per le attività del triennio successivo che vedrà l'evoluzione della rete di edifici in distretto, ovvero l'ottimizzazione dei consumi integrata alla produzione e lo storage.

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