



Ricerca di Sistema elettrico

## Sviluppo di concept, modelli e sperimentazioni preliminari orientati a scenari di Demand-Response

G.D'Agostino, O.Gregori, C.Novelli, F.Pieroni, S.Pizzuti,  
F.Romanello, S.Romano, G.Vicoli

## SVILUPPO DI CONCEPT, MODELLI E SPERIMENTAZIONI PRELIMINARI ORIENTATI A SCENARI DI DEMAND-RESPONSE

G. D'Agostino, O. Gregori, C. Novelli, F. Pieroni, S. Pizzuti, F. Romanello, S. Romano , G. Vicoli (ENEA)

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

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

Progetto: Tecnologie per costruire gli edifici del futuro

Obiettivo: Gestione di edifici in contesto Smart District e scenari di Demand-Response

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi

Ringraziamenti. Erica Vaccari, Alfredo Capra

## Indice

SOMMARIO.....	5
1 INTRODUZIONE.....	6
2 ESTENSIONE METODI DI CONTROLLO E MODELLAZIONE E SVILUPPO DI UN SISTEMA DI "DEMAND RESPONSE" PER AGGREGATI DI EDIFICI TERZIARI .....	7
2.1 APPLICAZIONE DI METODI DI CONTROLLO ENERGETICO AD UNA RETE DI EDIFICI ED AGGIORNAMENTO PIATTAFORMA 'SMART VILLAGE' (ENEA) .....	7
2.1.1 <i>Controllo luci</i> .....	8
2.1.2 <i>Controllo climatizzazione</i> .....	12
2.1.3 <i>Aggiornamento piattaforma Smart Village</i> .....	16
2.2 MODELLAZIONE ENERGETICA DI UN EDIFICIO TERZIARIO TRAMITE METODI 'GREY-BOX' (ENEA) .....	21
2.2.1 <i>I modelli grey-box</i> .....	21
2.2.2 <i>Gestione edificio F40 nel periodo invernale</i> .....	28
2.2.3 <i>Gestione edificio F40 nel periodo estivo</i> .....	45
2.3 SVILUPPO DI FUNZIONALITÀ PER UN SIMULATORE DI MICRO-DISTRETTO ORIENTATO ALLA GESTIONE ATTIVA DELLA DOMANDA (UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE) .....	57
2.3.1 <i>Modellazione di impianti di produzione fotovoltaica</i> .....	57
2.3.2 <i>Calibrazione di sistemi di accumulo termico ed elettrico</i> .....	58
2.3.3 <i>Simulazione di scenari migliorativi dell'attuale edificio F40 in ottica Demand-Response</i> .....	62
2.3.4 <i>Simulazione di scenari migliorativi dell'attuale micro-distretto in ottica Demand-Response</i> .....	64
2.3.5 <i>Miglioramento del simulatore</i> .....	65
2.4 STUDIO DEGLI SCENARI DI FLESSIBILITÀ DI UN MICRO DISTRETTO ORIENTATO AL DEMAND-RESPONSE (UNIVERSITÀ ROMA TRE) ..	67
2.4.1 <i>Valutazione della flessibilità nell'ambito Demand-Response di un micro distretto costituito da edifici appartenenti allo "Smart Village"</i> .....	67
2.4.2 <i>Definizione e descrizione dei casi d'uso di gestione energetica efficiente degli edifici appartenenti allo "Smart Village"</i> .....	68
2.4.3 <i>Strategie di controllo predittivo per la regolazione di temperatura di edifici multi-zona sulla base del livello di occupazione e del prezzo dell'energia</i> .....	69
2.4.4 <i>Analisi dei principali open standard di comunicazione orientati al Demand-Response</i> .....	70
2.5 ESTENSIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO (ENEA) .....	72
2.6 ANALISI COSTI BENEFICI DELLA CONVERSIONE DI EDIFICI TERZIARI DALLA CLIMATIZZAZIONE A GAS A QUELLA ELETTRICA ORIENTATA AL DEMAND-RESPONSE (ISIMM RICERCHE).....	78
2.6.1 <i>Impianto fotovoltaico</i> .....	79
2.6.2 <i>Pompa di calore</i> .....	79
2.6.3 <i>Analisi di sensitività</i> .....	80
2.6.4 <i>Effetti non monetari: la perdita di produttività del personale</i> .....	82
2.6.5 <i>Effetti fiscali</i> .....	82
2.6.6 <i>Demand Response</i> .....	82
2.6.7 <i>Esternalità ambientali</i> .....	83
2.6.8 <i>Conclusioni</i> .....	83
3 SVILUPPO DI SISTEMI MULTISENSORIALI INTEGRATI PER IL CONTROLLO DI UFFICI.....	84
3.1 SVILUPPO DI UN PROTOTIPO DI SISTEMA MULTISENSORIALE INTEGRATO A BASSO COSTO (ENEA) .....	84
3.1.1 <i>Descrizione del sistema</i> .....	87
3.1.2 <i>Il sensore conteggio accessi</i> .....	102
3.1.3 <i>Conclusioni</i> .....	104
3.2 RILEVAZIONE PRESENZE INDOOR TRAMITE METODI ATTIVI ED INTRODUZIONE AI METODI PASSIVI (ENEA) .....	104
3.2.1 <i>Applicazione su piattaforma Android</i> .....	105
3.2.2 <i>Applicazione su piattaforma iOS</i> .....	106

3.2.3	<i>Metodi passivi</i> .....	107
4	CONCLUSIONI.....	108
5	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	111
6	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	113

## Sommario

Le attività di questa prima annualità si sono articolate in due sotto-obiettivi :

1. Estensione metodi di controllo e modellazione e sviluppo di un sistema di "*demand-response*" per aggregati di edifici terziari
2. Sviluppo di sistemi multisensoriali integrati per il controllo di uffici

Il primo sotto-obiettivo si è articolato in 6 attività.

La prima ha riguardato l'estensione delle metodologie di controllo, basate sul concetto di *energy-on-demand*, ad una rete di edifici e ne sono stati valutati i risparmi energetici sulla linea luci e climatizzazione. La sperimentazione, effettuata sul cluster di 8 edifici all'interno del C.R. Casaccia, ha mostrato risparmi medi di circa il 20% sulla linea luci e del 60% su quella della climatizzazione.

La seconda ha visto lo studio di modelli *grey-box* per la descrizione del comportamento energetico dell'edificio attraverso la similitudine edificio-circuito elettrico. Questo ha riguardato la modellazione e calibrazione di un modello termico invernale dell'edificio e di uno estivo. Per la stagione invernale si è raggiunto un errore medio assoluto percentuale del 5,4% per quanto riguarda l'energia termica, mentre per la stagione estiva si è ottenuto come errore migliore per l'energia termica il 10,6%.

La terza ha riguardato lo sviluppo di funzionalità per un simulatore di micro-distretto orientato al Demand-Response (DR), in particolare: modellazione di impianti di produzione fotovoltaica, calibrazione di sistemi di accumulo termico ed elettrico, simulazione di scenari migliorativi in ottica DR dell'attuale edificio F40 e della micro-rete, ingegnerizzazione del simulatore.

La quarta ha compreso : definizione e descrizione dei casi d'uso di gestione energetica efficiente degli edifici appartenenti allo "Smart Village" ENEA, strategie di controllo predittivo per la regolazione di temperatura di edifici multi-zona sulla base del livello di occupazione e del prezzo dell'energia, valutazione della flessibilità nell'ambito DR di un micro distretto costituito da edifici appartenenti allo "Smart Village" ENEA, analisi dei principali open standard di comunicazione orientati al DR.

La quinta ha visto l'estensione del sistema di monitoraggio all'edificio ENEA della sede di Ispra.

Nell'ultima è stata condotta un'analisi costi/benefici della conversione orientata al DR di edifici terziari dalla climatizzazione a gas a quella elettrica.

Il secondo sotto-obiettivo si è articolato in 2 attività.

La prima ha riguardato lo sviluppo di un prototipo di sistema multisensoriale integrato a basso costo con lo scopo di dare un valore aggiunto alle capacità di monitoraggio e misura dei singoli sensori nell'ottica dell'integrazione di più sensori in un unico sistema. I sensori utilizzati nel prototipo realizzato sono: temperatura, umidità, luminosità, prossimità, movimento, rumore, apertura e chiusura delle porte, apertura e chiusura delle finestre.

La seconda ha visto l'implementazione di sistemi di rilevazione delle presenze indoor tramite metodi attivi basati su app per mobile sia su piattaforma Android (disponibile sul Google Play Store) che per iOS pronta per essere sottoposta all'App Store. Inoltre è stato affrontato uno studio preliminare di tecnologie che utilizzano metodi passivi in cui l'idea fondamentale del nuovo paradigma è osservare l'attività delle comunicazioni mobili o dei dispositivi dotati di connessione bluetooth o wireless tramite un server che viene utilizzato in modalità promiscua.

## 1 Introduzione

Questo obiettivo mira a sviluppare nel triennio strumenti utili per la pianificazione dei flussi energetici e la gestione di reti di edifici gestiti da un sistema centrale di supervisione. Applicando logiche previsionali per il calcolo della produzione e del consumo di energia elettrica e termica, il sistema di supervisione sarà capace di simulare il bilancio energetico di una microrete con un giorno di anticipo (day ahead). Il giorno successivo il sistema avrà il compito di controllare i nodi della microrete, costituiti da impianti di generazione distribuita, utenze di vario genere (illuminazione, HVAC, etc) e sistemi di accumulo, tramite la schedulazione dei carichi, dei generatori, delle utenze e dei sistemi di accumulo in modo da garantire il bilanciamento ottimo dei flussi energetici, inseguendo l'ottimizzazione di funzioni di costo o la massimizzazione dell'autoconsumo. Questa attività si integra in un progetto più ampio che prevede la pianificazione dei flussi energetici e fornisce previsioni di richiesta energetica al sistema centrale di supervisione. La finalità è quella di apprendere il profilo di utilizzo dei locali sia in base all'occupazione sia allo stile di fruizione delle risorse energetiche, operare le dovute azioni volte al taglio degli sprechi e alla comunicazione e aggiornamento delle previsioni di richiesta energetica della singola cella (room) del sistema più complesso (building).

Il lavoro è in continuità con quanto fatto nel precedente triennio nell'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", in cui erano stati ottenuti i seguenti risultati principali :

- Realizzazione di una piattaforma integrata di simulazione consumi - algoritmi di ottimizzazione finalizzato alla sperimentazione di scenari di 'active demand' su reti di edifici;
- Realizzazione della piattaforma Smart Village : sistema on-line per analisi dati avanzata (diagnostica), controllo adattivo ed ottimizzazione di reti di edifici;
- Realizzazione di una facility sperimentale avanzata per lo studio in condizioni reali di una rete locale di smart building networks, smart districts (Smart Village), smart buildings a diverso livello di sensorializzazione, smart rooms/office.

Le attività di questa prima annualità si sono articolate nei due sotto-obiettivi riportati di seguito:

1. Estensione metodi di controllo e modellazione e sviluppo di un sistema di "demand response" per aggregati di edifici terziari
2. Sviluppo di sistemi multisensoriali integrati per il controllo di uffici

Nel primo sono continuate alcune attività del precedente triennio (RdS/PAR2014/023) con particolare riferimento al controllo di una rete di edifici basato sul principio dell'energy-on-demand ed alle tecniche di modellazione energetica di edifici. Inoltre sono state iniziate alcune nuove attività riguardanti studi preliminari riguardanti gli scenari di flessibilità energetica di un micro distretto e scenari economici.

Nel secondo sono continuate attività iniziate nel precedente triennio (RdS/PAR2014/023) quali quelle riguardanti lo sviluppo di un concept progettuale di una 'smart room' e lo sviluppo di applicazioni per il rilevamento della presenza tramite tecnologia mobile. In tale ambiti le attività sono proseguite in questa annualità attraverso la realizzazione di un prototipo di un sistema multisensoriale integrato a basso costo, la implementazione di sistemi di rilevazione delle presenze indoor tramite metodi attivi basati su app per mobile (Android e Ios) ed uno studio preliminare ai metodi passivi, ovvero non richiedenti installazione di app.

## 2 Estensione metodi di controllo e modellazione e sviluppo di un sistema di "demand response" per aggregati di edifici terziari

In questo sotto-obiettivo le attività si sono articolate in sei punti di seguito elencati e descritti nei paragrafi successivi :

1. Applicazione di metodi di controllo energetico ad una rete di edifici
2. Modellazione energetica di un edificio terziario tramite metodi 'grey-box'
3. Sviluppo di funzionalità per un simulatore di micro-distretto orientato alla gestione attiva della domanda
4. Studio degli scenari di flessibilità di un micro distretto orientato al Demand-Response
5. Estensione del sistema di monitoraggio
6. Analisi costi benefici della conversione di edifici terziari dalla climatizzazione a gas a quella elettrica orientata al Demand-Response

### 2.1 Applicazione di metodi di controllo energetico ad una rete di edifici ed aggiornamento piattaforma 'Smart Village' (ENEA)

Obiettivo di questo *task* è l'estensione delle metodologie di controllo e delle tecniche di modellazione di edificio sviluppate nelle annualità precedenti. Per quanto riguarda le metodologie di controllo è stato realizzato su un singolo edificio un sistema di controllo adattivo basato sul concetto di *energy on demand*, applicato sulle linee di illuminazione e climatizzazione. In questa annualità tale sistema è stato esteso ad una rete di edifici e ne sono stati valutati i benefici in termini di risparmio energetico sulla linea luci e climatizzazione estiva. La sperimentazione della metodologia è stata effettuata sul cluster di 8 edifici (F66-F73) situati all'interno del C.R. Casaccia, descritti nelle annualità precedenti (RdS/PAR2014/023).

A seguito di una prima fase di sviluppo ed assessment del sistema di controllo ne è stata effettuata una di test che ha mostrato un elevato grado di risparmio energetico. Su questa sono necessarie alcune precisazioni: gli occupanti non hanno ricevuto alcun avvertimento sull'esecuzione del telecontrollo; questo implica che se un edificio si trova nello stato "attivo" è possibile comunque controllare l'accensione e lo spegnimento manualmente, tramite i consueti interruttori analogici presenti nelle stanze e nelle aree comuni.

La conseguenza più ovvia è che in base alla maggiore o peggiore predisposizione degli utenti a comportarsi secondo le regole del "buon senso" o più semplicemente, alla mancanza degli stessi per un determinato periodo, si potrebbero registrare risparmi migliori o peggiori rispetto ad un sistema completamente automatizzato.

Questa scelta è voluta, con questo studio si tende a verificare l'applicabilità di sistemi di telegestione ad ambienti già esistenti, senza sconvolgere le abitudini degli utenti ma anche guidandoli verso un atteggiamento più consapevole e responsabile.

In cui la modalità manuale significa che il sistema di controllo non è stato attivo (quindi le utenze sono state controllate manualmente dagli utenti), la logica di controllo è semplice e si basa su due logiche principali:

- h20 : 5:30 – 20:00
- h16 : 5:30 – 16:00

Il periodo di sperimentazione è stato di 5 settimane dal 09/05/2016 al 10/07/2016 secondo la seguente modalità :

- 09/05/2016 - 15/05/2016 : h16 luci
- 23/05/2016 - 29/05/2016 : h20 luci
- 06/06/2016 - 12/06/2016 : manuale luci
- 20/06/2016 - 26/06/2016 : h16 climatizzazione
- 04/07/2016 - 10/07/2016 : manuale climatizzazione

L’orario che comunemente viene rispettato dal personale non tecnico è 8-16 (logica h16); inizialmente, in fase di test, è stata utilizzata una fascia oraria più ampia con spegnimento alle 20 (logica h16), è stato inoltre necessario un periodo di pre-riscaldamento o raffreddamento che inizia alle 5:30, necessario anche al personale di pulizia, dato che congiuntamente viene alimentata la linea di illuminazione.

Se gli edifici non sono più occupati all’orario di spegnimento, il sistema provvederà a spegnere luci, fancoil, riducendo al minimo il consumo elettrico; in caso contrario, in base ai dati delle presenze raccolti mediante il sistema di controllo accessi del centro Enea – Casaccia, l’edificio rimarrà attivo finché non verrà registrata l’uscita di tutti gli occupanti.

Il diagramma UML mostrato in figura mostra chiaramente qual è la gerarchia di comunicazione adottata.

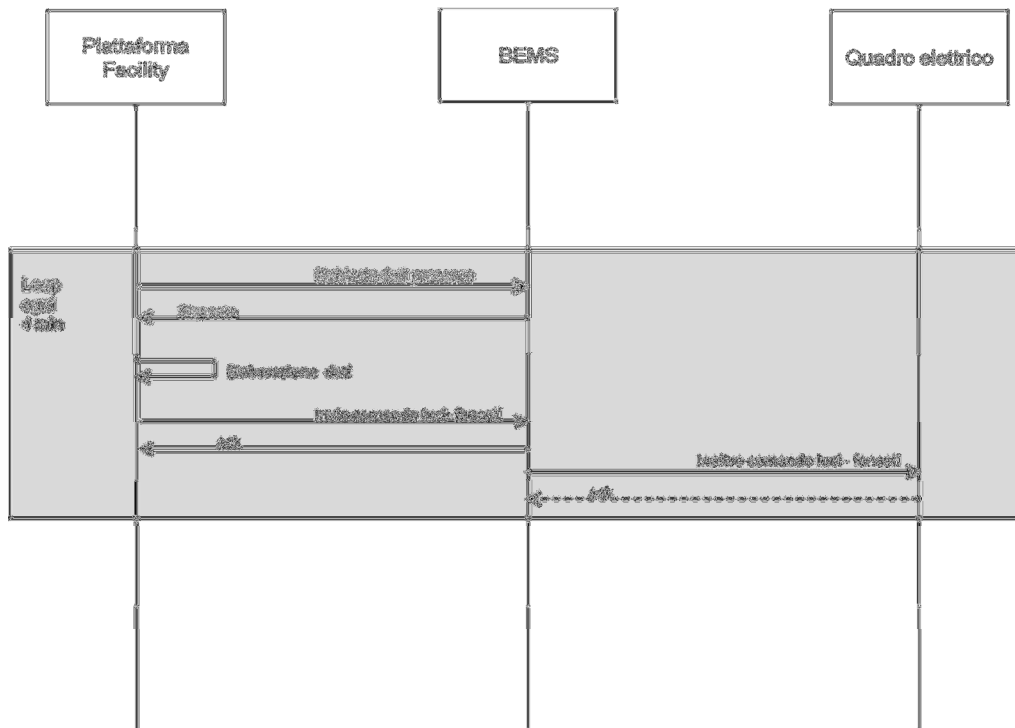


Figura 2.1 Diagramma UML per il controllo elettrico luci/climatizzazione

Ove, ‘piattaforma facility’ è la piattaforma SmartVillage e BEMS è il Building Energy Management System che gestisce gli edifici attraverso l’invio dei comandi a livello fisico ai dispositivi.

Sono stati rilevati i dati di consumo degli edifici riguardanti fancoil e illuminazione.

### 2.1.1 Controllo luci

Per le luci sono state confrontate settimane simili con i regimi sopra elencati e confrontati con una settimana campione in cui il sistema di controllo non era attivo.

Di seguito viene riportata una tabella riepilogativa dei risultati ottenuti dalla quale si evince che mediamente con la strategia h16 si risparmiano circa 186kWh nella settimana corrispondenti ad un risparmio percentuale complessivo di circa il 19%.

	F66	F67	F68	F69	F70	F71	F72	F73	Totale	differenza %	differenza
H16	124	142	105	73	144	47	78	74	786	-19%	-186
H20	121	169	123	96	128	74	105	102	919	-5%	-53
manuale	163	170	123	116	134	74	90	101	972		

Tabella 2.1 : confronto consumi luci settimanali delle diverse strategie

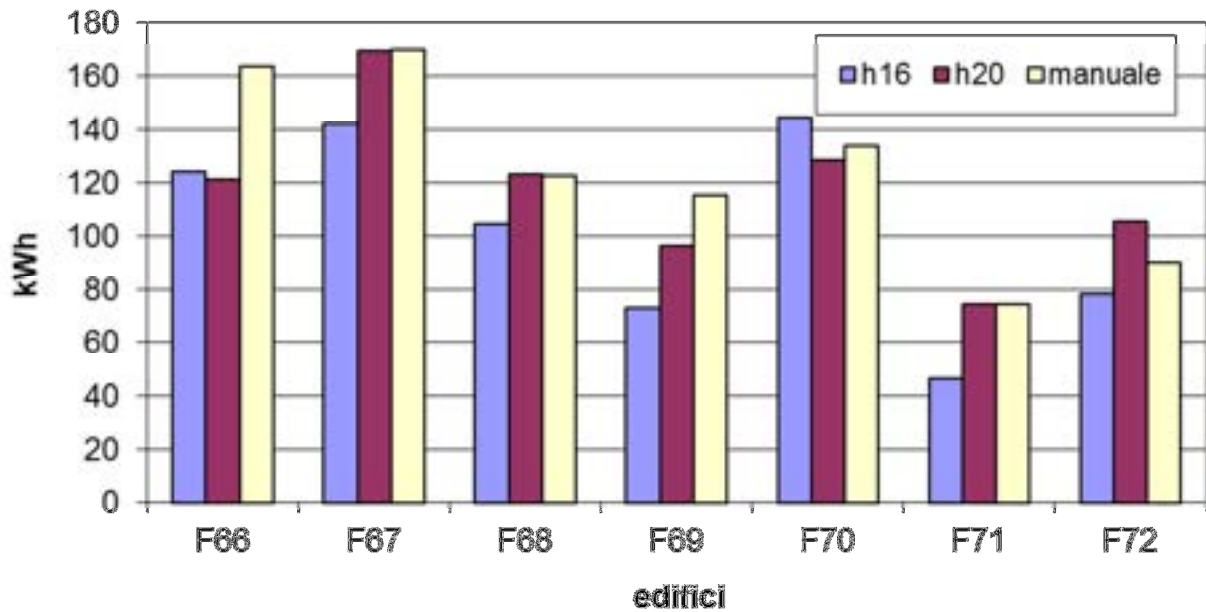


Figura 2.2 riepilogo strategie linea luci

Di seguito si possono osservare gli andamenti totali e per singolo edificio durante i giorni della settimana, molto differenti in base al comportamento degli utenti.

	lunedì	martedì	mercoledì	giovedì	venerdì	sabato	domenica
h16	146.358	145.387	151.344	135.457	128.537	39.718	39.642
h20	154.585	153.194	208.011	185.068	151.23	33.587	33.589
manuale	142.332	158.867	160.302	249.994	156.308	51.994	52.282

Tabella 2.2 confronto settimanale totale strategie linea luci (kWh)

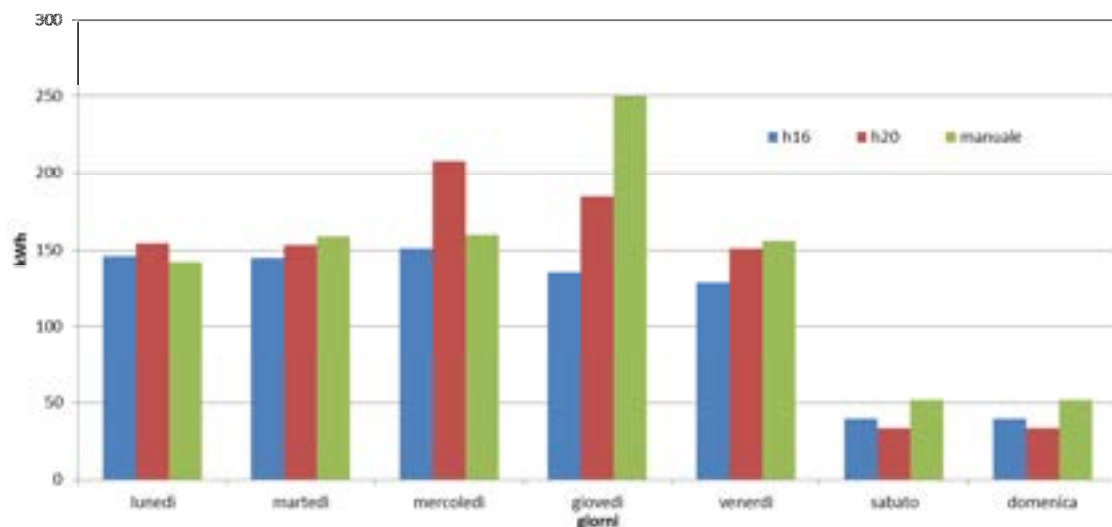


Figura 2.3 confronto settimanale totale strategie linea luci

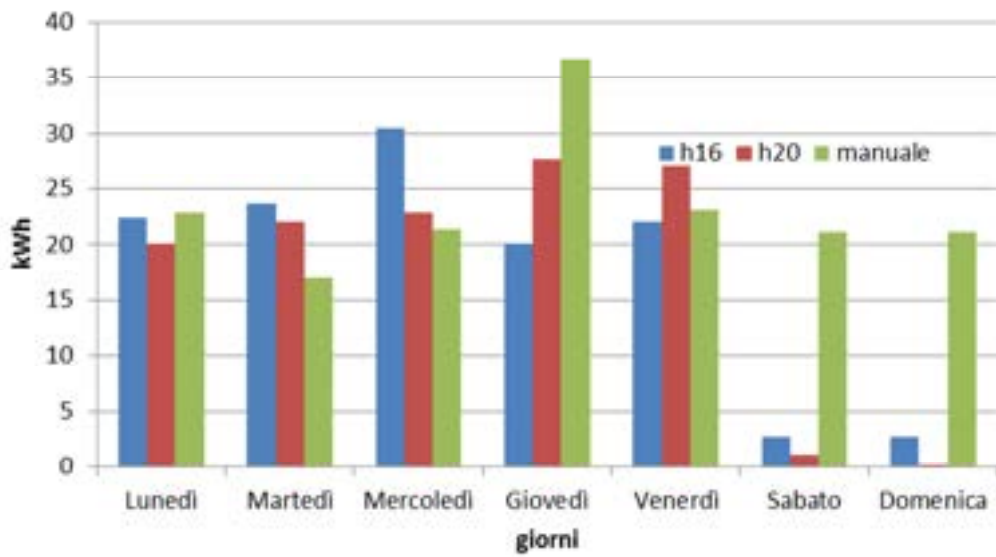


Figura 2.4 confronto settimanale strategie ed.F66 linea luci

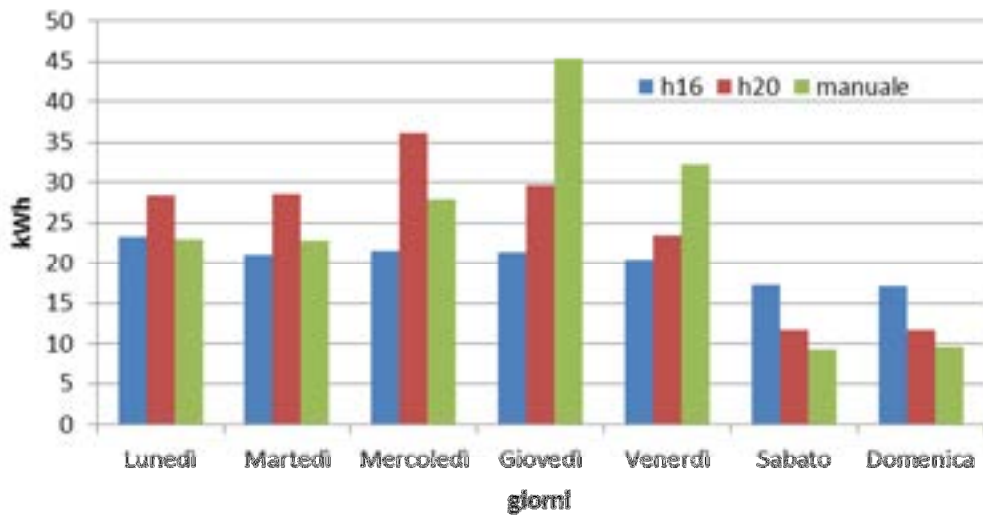


Figura 2.5 confronto settimanale strategie ed.F67 linea luci

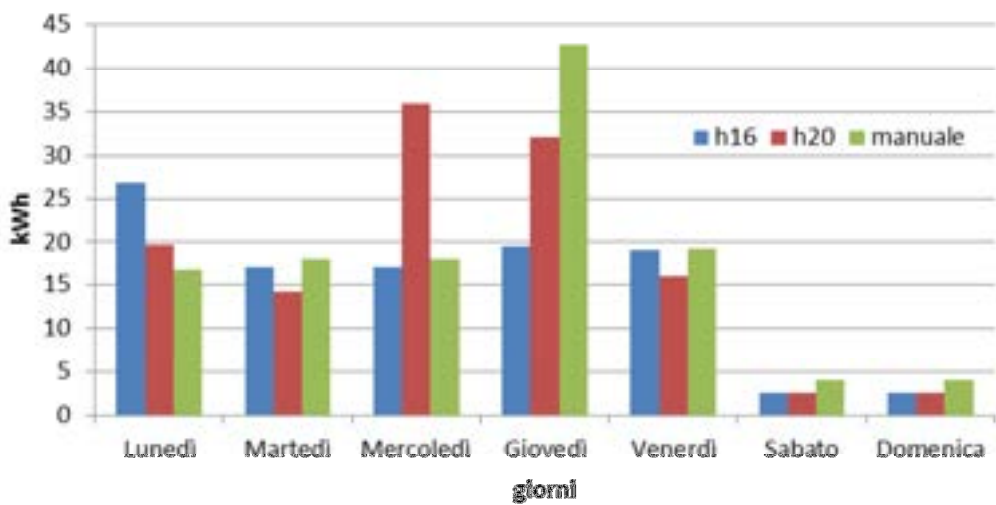


Figura 2.6 confronto settimanale strategie ed.F68 linea luci

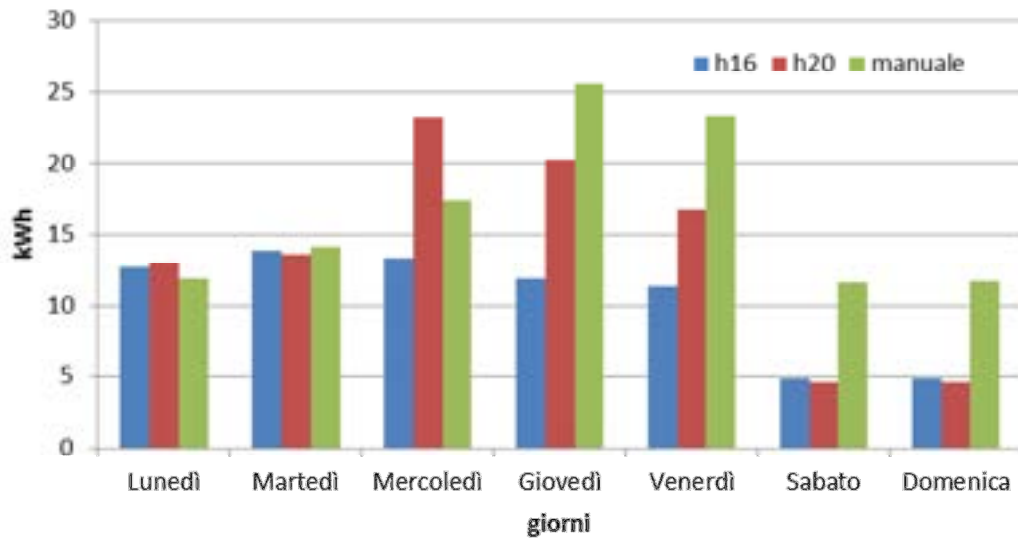


Figura 2.7 confronto settimanale strategie ed.F69 linea luci

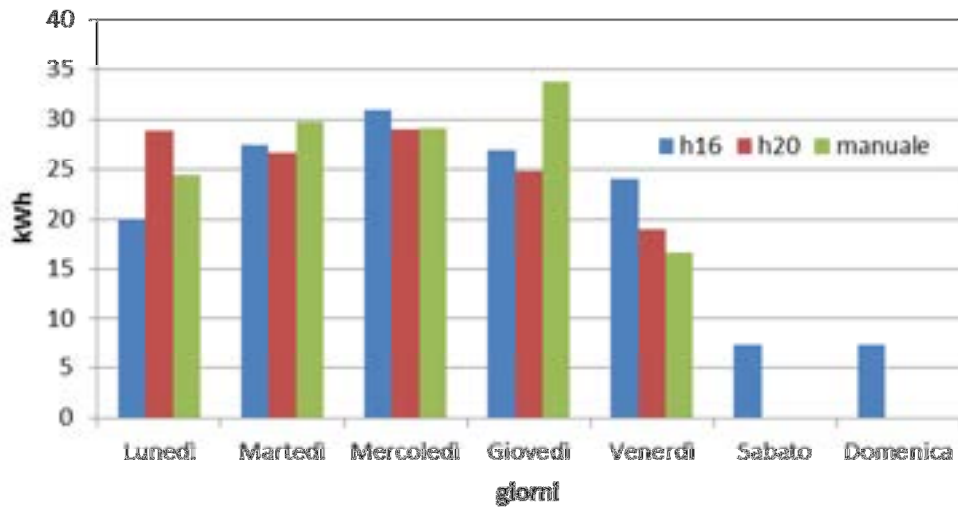


Figura 2.8 confronto settimanale strategie ed.F70 linea luci

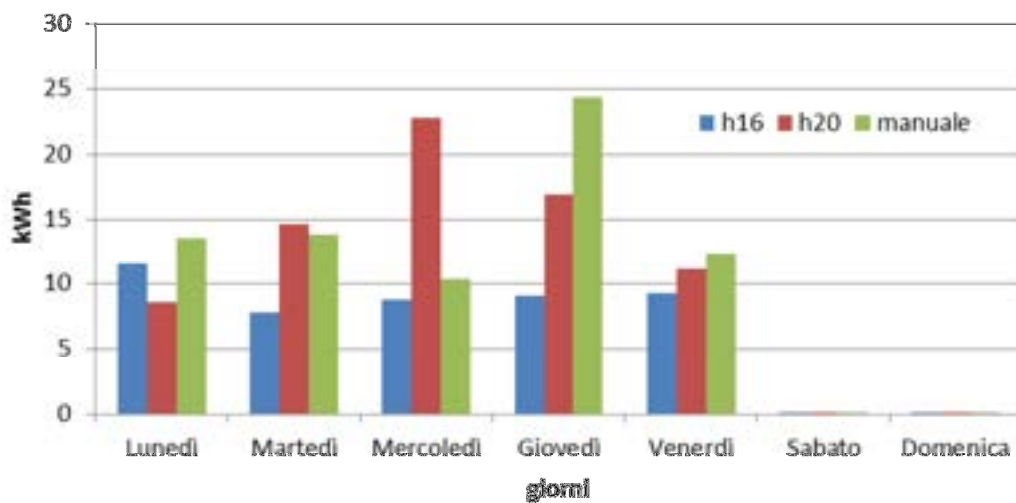


Figura 2.9 confronto settimanale strategie ed.F71 linea luci

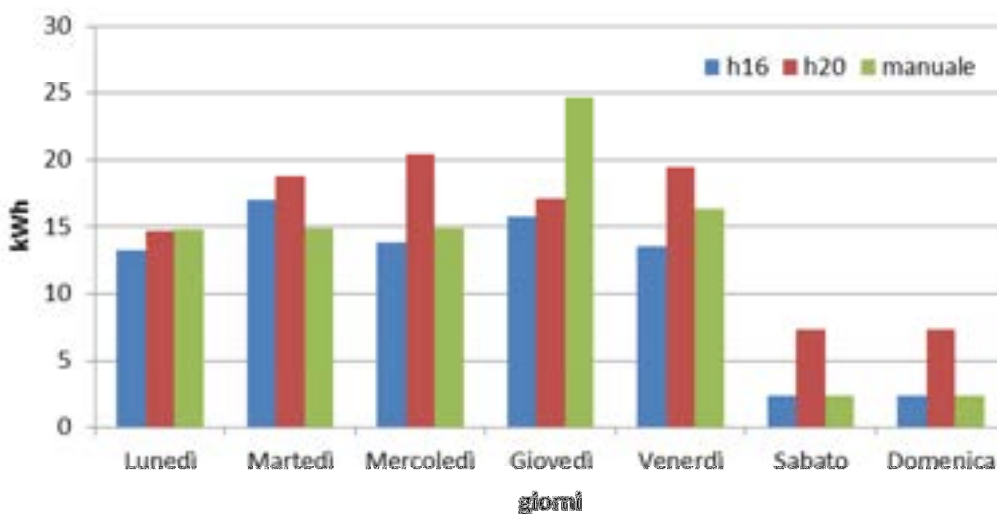


Figura 2.10 confronto settimanale strategie ed.F72 linea luci

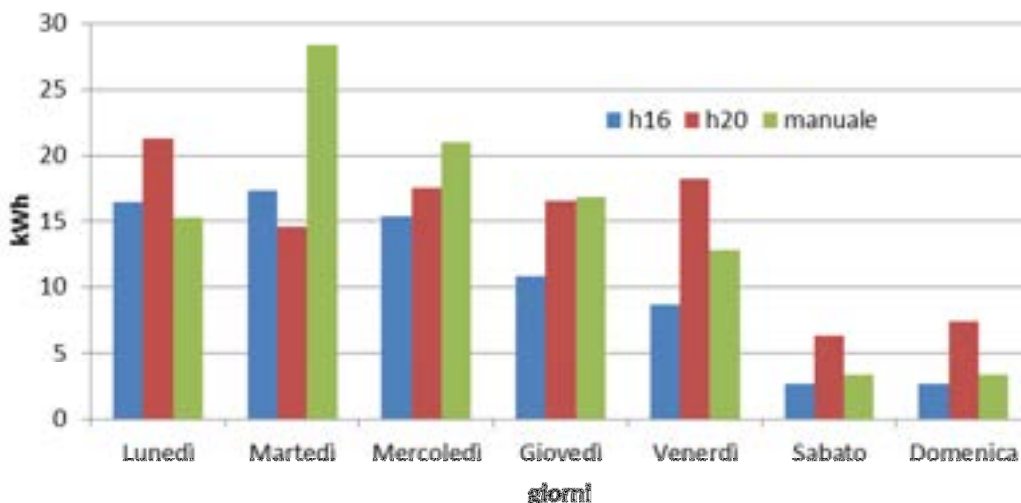


Figura 2.11 confronto settimanale strategie ed.F73 linea luci

### 2.1.2 Controllo climatizzazione

Lo stesso tipo di analisi effettuata sulla linea luci è stata effettuata sulla linea condizionamento in quanto è stata controllata la linea fanconi con il medesimo metodo adottato per le luci.

In questa sperimentazione ci si è focalizzati solamente sul confronto h16 vs. manuale ed il risultato principale è stato che la climatizzazione in generale risulta essere più trascurata dagli utenti, il che implica un risparmio molto elevato.

Di seguito viene riportata una tabella riepilogativa dei risultati ottenuti dalla quale si evince che mediamente con la strategia h16 si risparmiano oltre 700kWh nella settimana corrispondenti ad un risparmio percentuale complessivo di oltre il 60%.

	F66	F67	F68	F69	F70	F71	F72	F73	totali	Diff %	diff (kWh)
manuale	187	182	125	108	222	121	118	95	1158	0	
h16	67	60	95	45	59	48	32	34	442	<b>-62%</b>	<b>-716</b>

Tabella 2.3 confronto consumi climatizzazione settimanali delle diverse strategie

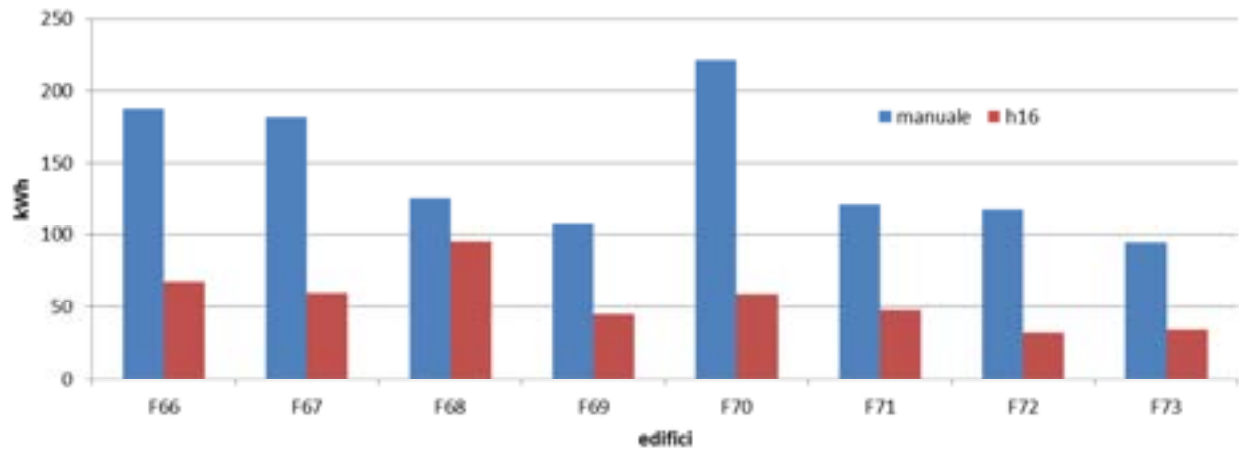


Figura 2.12 riepilogo strategie linea climatizzazione

Di seguito si possono osservare gli andamenti totali e per singolo edificio durante i giorni della settimana.

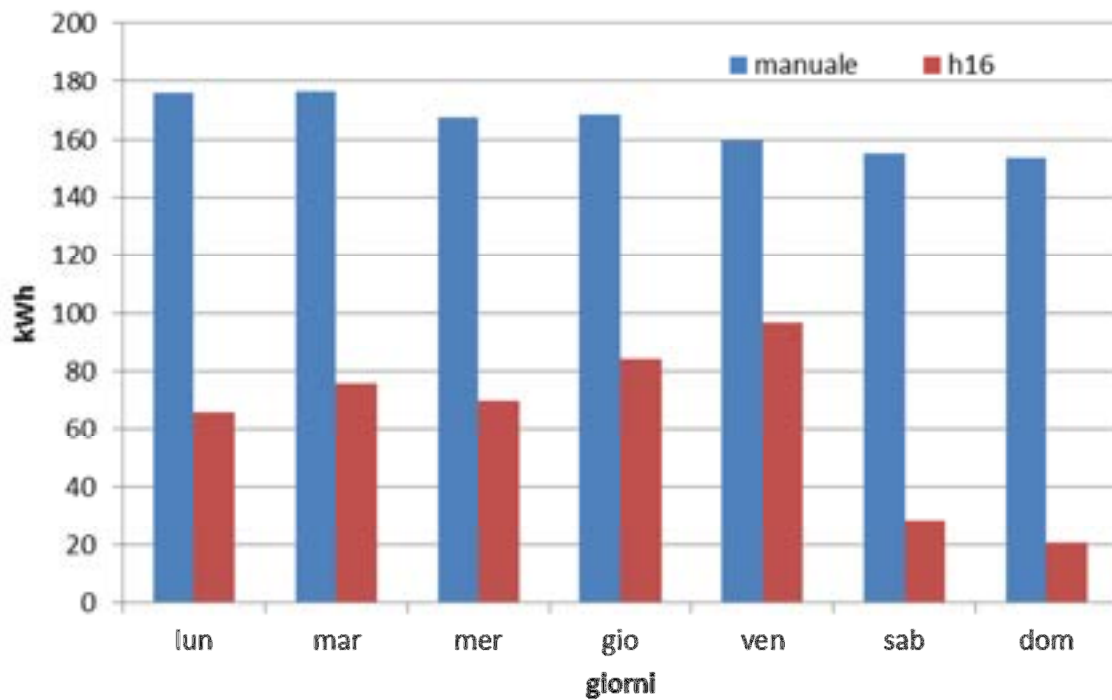


Figura 2.13 confronto settimanale totale strategie linea cdz

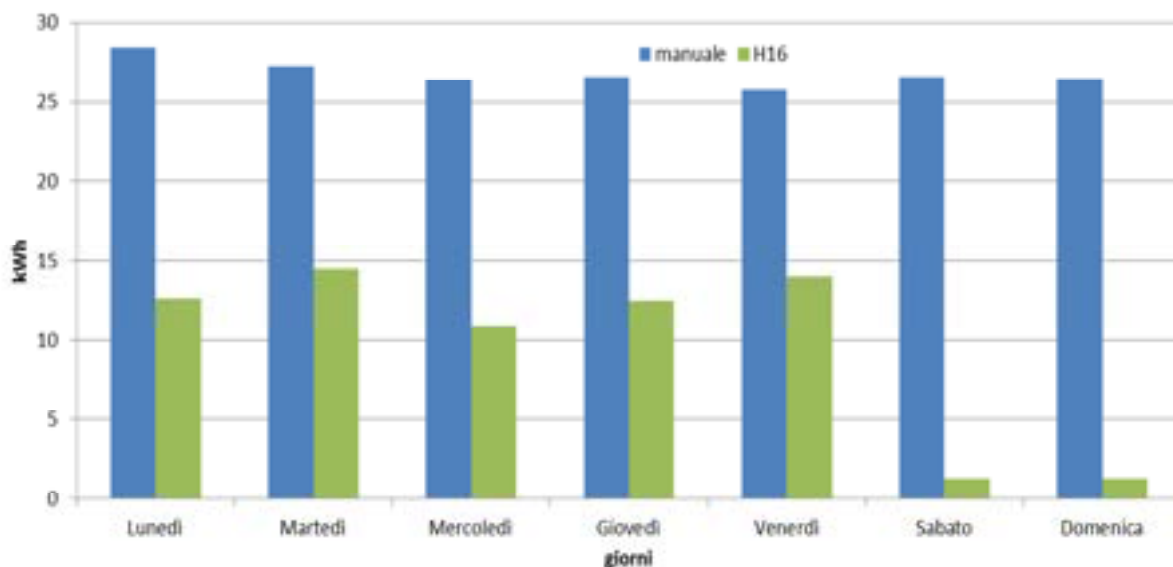


Figura 2.14 confronto settimanale strategie linea cdz (ed. F66)

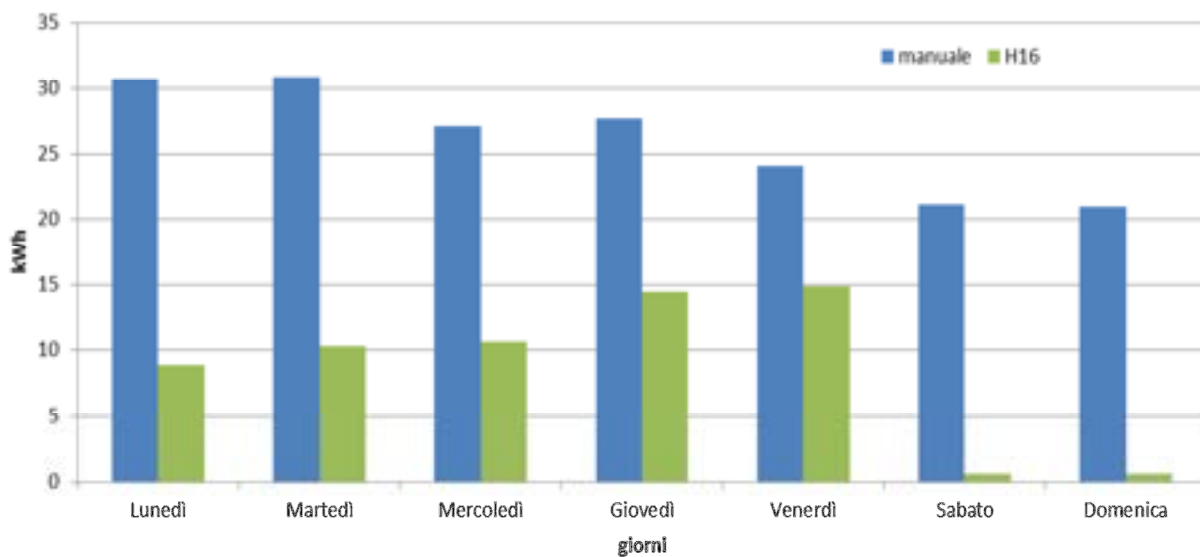


Figura 2.15 confronto settimanale strategie linea cdz (ed. F67)

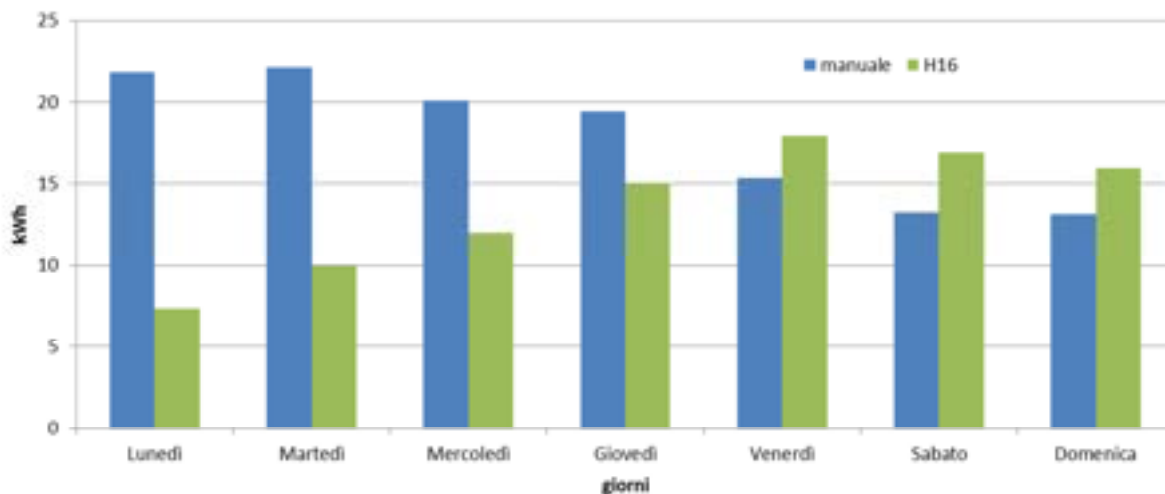


Figura 2.16 confronto settimanale strategie linea cdz (ed. F68)

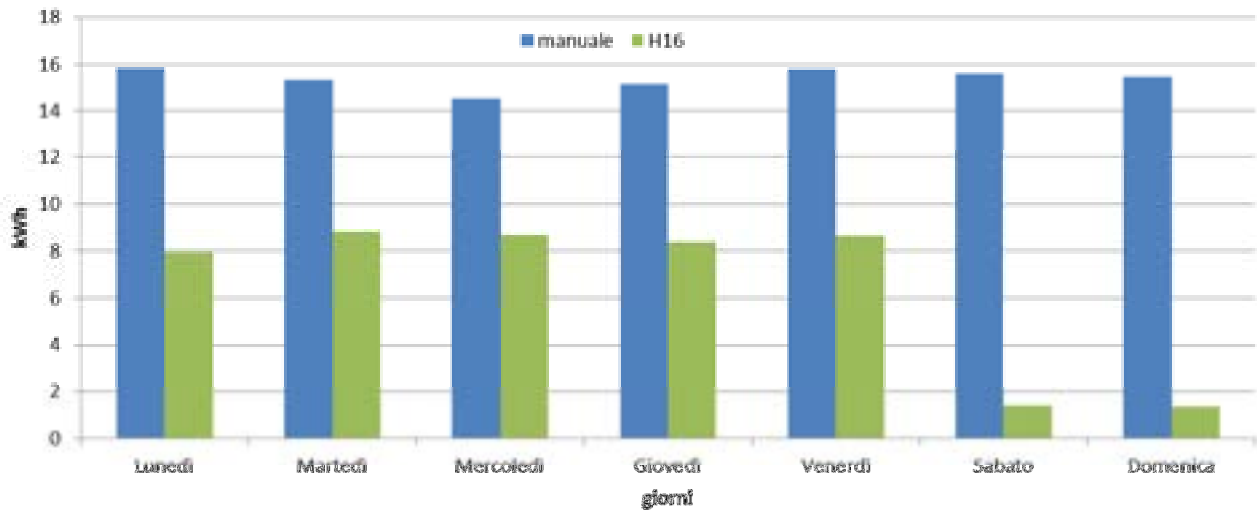


Figura 2.17 confronto settimanale strategie linea cdz (ed. F69)

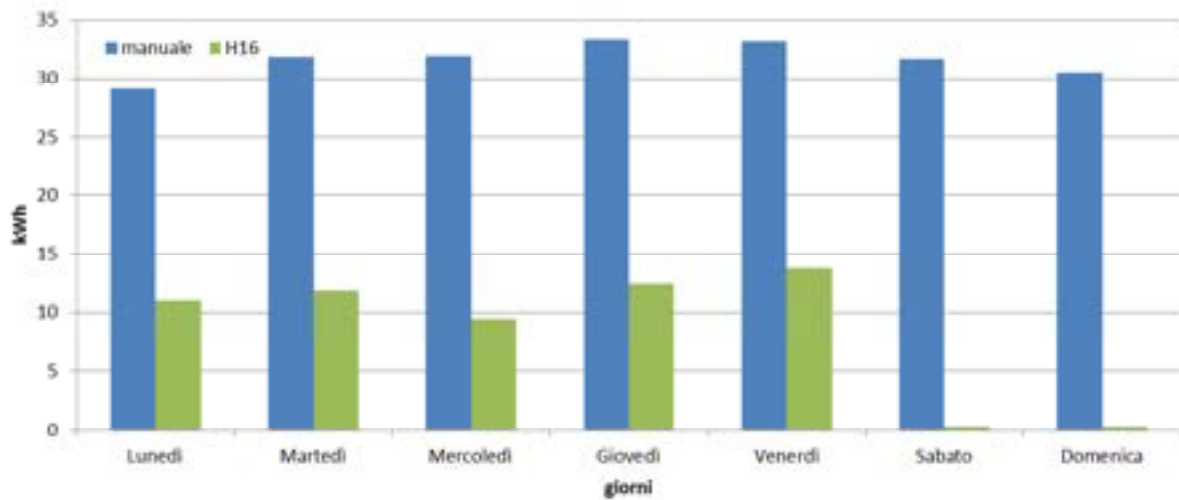


Figura 2.18 confronto settimanale strategie linea cdz (ed. F70)

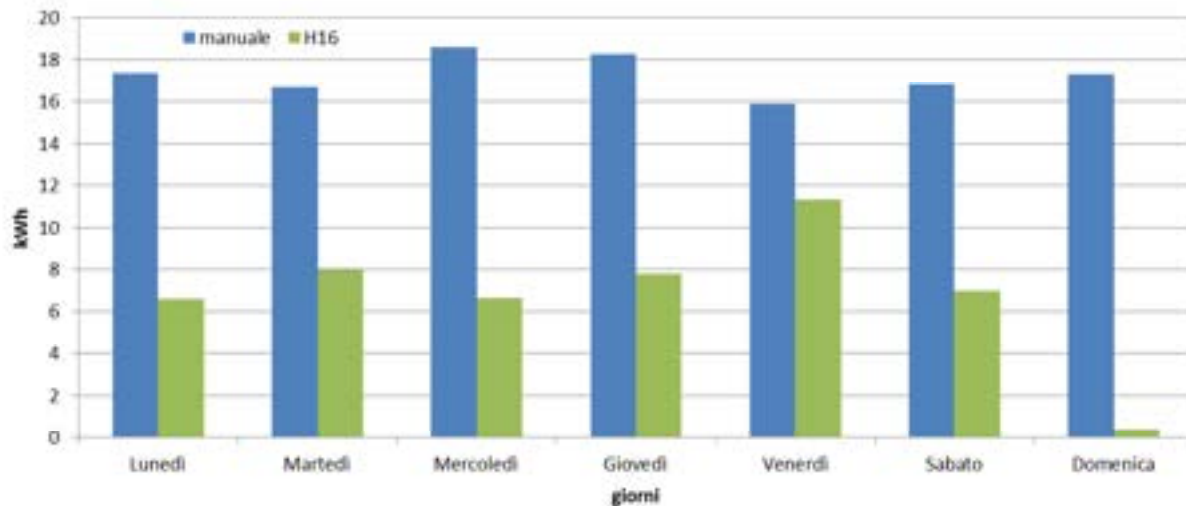


Figura 2.19 confronto settimanale strategie linea cdz (ed. F71)

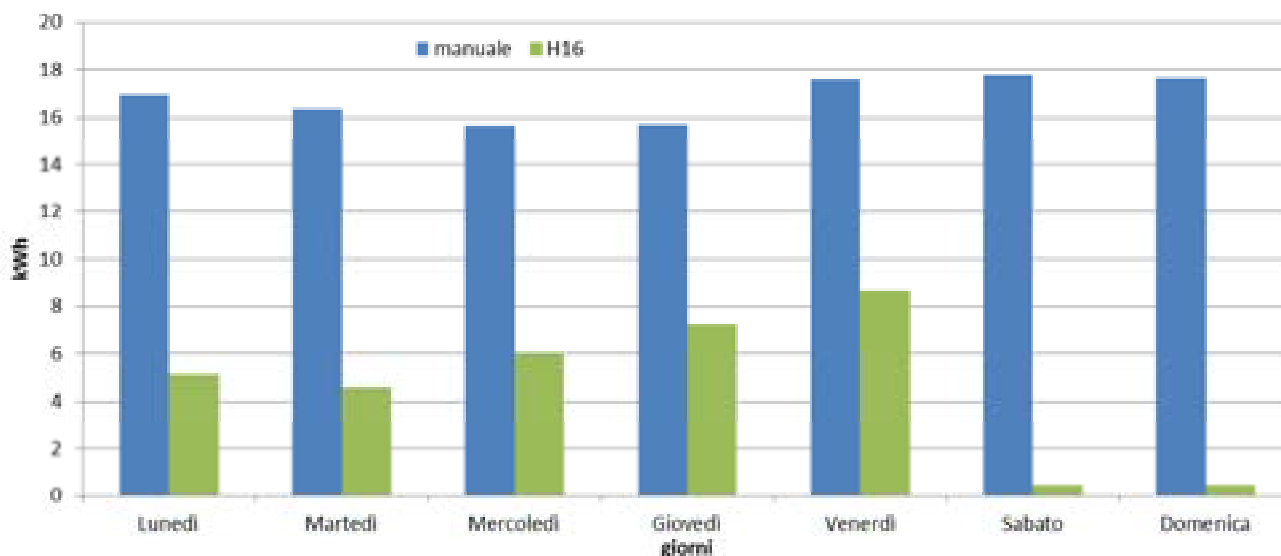


Figura 2.20 confronto settimanale strategie linea cdz (ed. F72)

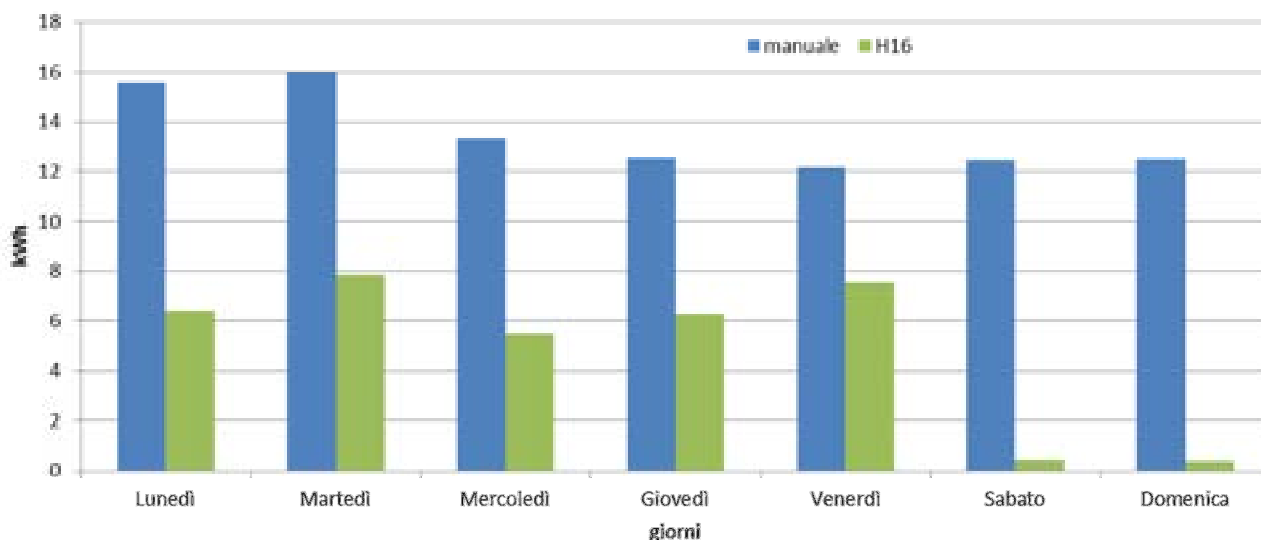


Figura 2.21 confronto settimanale strategie linea cdz (ed. F73)

### 2.1.3 Aggiornamento piattaforma Smart Village

In questa attività è stata aggiornata la struttura del database della piattaforma smart village, sviluppata nel precedente triennio, e implementate delle opportune funzioni con la finalità di rendere fruibili le elaborazioni di diagnostica tramite sistema webgis.

Lo schema del DB è stato arricchito con ulteriori tabelle che, opportunamente aggiornate di continuo da un modulo software appositamente sviluppato e descritto di seguito, sono leggibili da un sistema webgis per poterne dare una opportuna fruizione in formato grafico su web.

Per dare un’idea dei dati che si vogliono visualizzare sulla mappa, vogliamo portare un esempio concreto: “si vogliono visualizzare tutte le anomalie che sono accadute nell’ultimo mese, nel palazzo F40”; che evidenzia la necessità di attuare ricerche apposite (query) sui dati acquisiti.

In un primo tempo si sono sviluppate queste query in modo tale potessero essere direttamente eseguite dallo strumento WebGIS, tramite una connessione remota. La prima sperimentazione ha evidenziato una latenza del risultato troppo elevata per uno strumento che richiede invece un’interattività immediata: i dati da processare, ovvero le letture di tutte le anomalie, sono in una quantità troppo consistente per permettere un tempo di risposta soddisfacente.

Da questa prima sperimentazione si è giunti alla necessità di programmare un'integrazione maggiormente articolata che prevedesse un livello intermedio di trasformazione dei dati: dai dati grezzi delle anomalie rilevate (di ogni tipo, in ogni palazzo) a un dato aggregato direttamente presentabile da una qualsiasi interfaccia utente (in questo caso quella del WebGIS).

Tale integrazione è stata possibile andando ad effettuare due attività:

1. un nuovo livello di persistenza in cui andare ad immagazzinare i dati da visualizzare nel WebGIS;
2. la progettazione e sviluppo di un thread che permettesse l'elaborazione dei dati presenti nella piattaforma Smart Building, per trasformarli nei dati da visualizzare nel WebGIS.

Per attuare l'integrazione tra piattaforma Smart Building e WebGIS è stato definito un nuovo livello di persistenza, ovvero un insieme di più banche dati create appositamente per contenere i dati da visualizzare nel WebGIS. Ciò è stato fatto per ottenere un'interazione Utente – Interfaccia WebGIS istantanea e quindi usabile senza nessun problema di latenza.

Essendo dinamici i dati da visualizzare nel WebGIS, vedremo nel prossimo paragrafo come un thread apposito (ovvero un programma in esecuzione permanente) vada ad aggiornare tali dati periodicamente, mentre in questo paragrafo ci soffermiamo sulle scelte di progettazione del livello di persistenza.

E' stato creato il nuovo schema: *smartvillage\_building\_webgis*

il cui nome rispetta una convenzione di naming ben precisa che identifica:

1. il caso studio specifico *smartvillage* Casaccia;
2. il contesto applicativo *building*;
3. il livello di persistenza *webgis*.

Questa scelta architettonica permette di organizzare logicamente dati che hanno funzioni e destinazioni differenti, permettendo inoltre a team di lavoro diversi di accedere alle informazioni di propria competenza.

Si intende ora descrivere brevemente il database *smartvillage\_building\_webgis*, andando a descrivere quali tipologie di informazioni contiene e quali tabelle lo compongono, per fornire una panoramica completa sul lavoro svolto in ambito Smart Building per l'integrazione con il WebGIS.

Il database *smartvillage\_building\_webgis* mantiene in memoria le informazioni relative alla diagnostica high-level e agli indici di prestazione (KPI) in un formato aggregato visualizzabile sulla mappa.

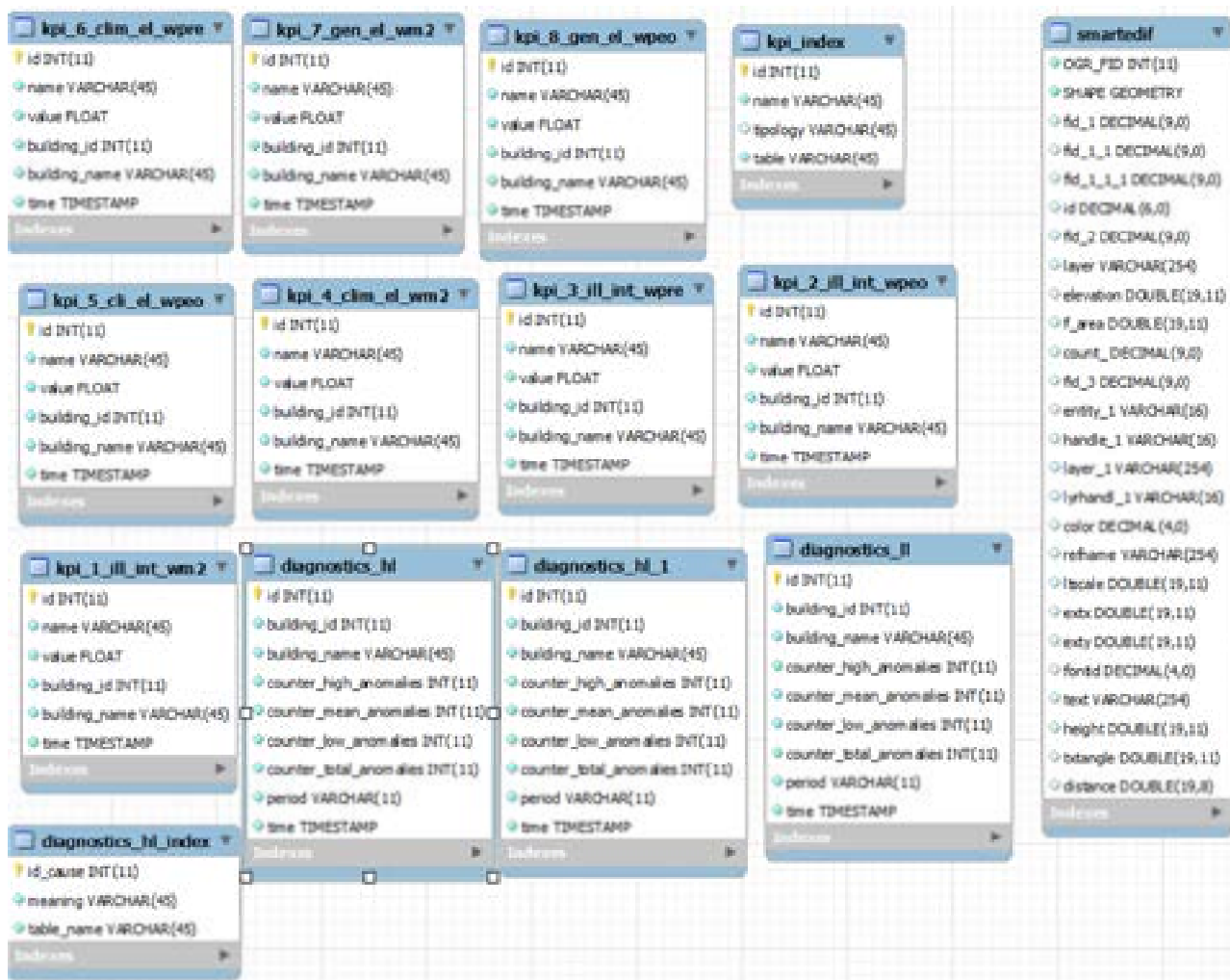


Figura 2.22 Schema DB smartvillage\_building\_webgis

Per quanto riguarda la diagnostica high-level sono state create 10 tabelle:

- 8 tabelle uguali, per le diverse cause di anomalie (una per ogni tipo);
- 1 tabella di riepilogo di tutte le cause di anomalia;
- 1 tabella di indice per esplicitare l’associazione “causa anomalia – tabella”.

Questa progettazione è stata strettamente condizionata dalle necessità di integrazione dello strumento WebGIS che necessita di avere i dati già organizzati come i livelli che dovrà presentare nell’interfaccia.

Riportiamo l’ultima tabella di indice, con le associazioni “causa anomalia – tabella”, nella seguente figura:

id_cause	meaning	table_name
1	Luci accese in assenza di persone	diagnostics_hi_1
2	Luci accese in orario di lavoro con illuminazione esterna sufficiente	diagnostics_hi_2
3	Fancoili accesi in assenza di persone	diagnostics_hi_3
4	Malfunzionamento del timer in centrale termica	diagnostics_hi_4
5	Scorretta gestione della distribuzione del calore	diagnostics_hi_5
6	Valvola	diagnostics_hi_6
7	Staratura del termostato di stanza in periodo	diagnostics_hi_7
8	Anomalia impianto di raffrescamento	diagnostics_hi_8

Tabella 2.4 Tabella “diagnostics\_hi\_index”

Come si può notare ogni tabella contiene i dati relativi a una particolare causa anomalia. Mostriamo ora un frammento della prima tabella “diagnostics\_hi\_1”,

relativa alla causa di anomalia “Luci accese in assenza di persone”

	id	building_id	building_name	counter_high_anomales	counter_mean_anomales	counter_low_anomales	counter_total_anomales	period	time
▶	1	1	F40	1122	649	1468	3239	3years	2016-08-02 12:24:09
	10	1	F40	362	293	613	1268	1year	2016-08-02 12:24:09
	19	1	F40	31	26	81	138	1month	2016-08-02 12:24:10
	27	1	F40	2	3	16	21	1week	2016-08-02 12:24:10
	30	1	F40	0	1	4	5	1day	2016-08-02 12:24:10

Figura 2.23 Record della tabella “diagnostics\_hl\_1” relativo all’edificio F40

In questa tabella, che ha la medesima struttura delle altre sette presentate nella tabella indice, sono evidenziate le anomalie relative ai palazzi monitorati (in questo frammento abbiamo messo in evidenza il solo palazzo F40) e si può evincere quali siano i risultati dell’elaborazione effettuata:

1. sono calcolate 3 diverse anomalie (high, mean, low) e la loro somma totale (total);
2. sono calcolate su 5 diversi periodi (3 anni, 1 anno, 1 mese, 1 settimana, 1 giorno).

Riprendendo l’esempio descritto in precedenza: “si vogliono visualizzare tutte le anomalie che sono accadute nell’ultimo mese, nel palazzo F40” potremmo ora sapere che le anomalie sono 138.

In questo modo l’utente (per esempio un energy manager) che utilizza lo strumento WebGIS, può avere view immediate sui diversi periodi, andando ad esaminare a colpo d’occhio quali palazzi siano affetti da quali anomalie su un particolare periodo e poi andare nel dettaglio e scoprirne il numero esatto.

Discorso equivalente (in corso d’opera) hanno anche le tabelle relative agli indici di prestazioni (KPI).

Tutte le tabelle, sia relative alla diagnostica che quelle relative ai KPI, vengono aggiornate automaticamente e periodicamente grazie allo sviluppo di thread sviluppati appositamente, di cui forniamo una sintetica descrizione nel prossimo paragrafo.

Il modulo software che aggiorna le tabelle descritte è un thread “*SmartVillage\_Building\_WebGIS\_Thread*” che, come il nome suggerisce, si occupa di popolare la banca dati:

1. inerente il caso studio specifico *SmartVillage Casaccia*;
2. relativo il contesto applicativo *Building*;
3. contenuta nel livello di persistenza *WebGIS*.

Il thread oggetto di questo paragrafo si occupa di aggiornarla periodicamente, andando ad eseguire un’elaborazione in cui, per ogni tabella relativa ad una particolare causa di anomalia:

1. sono calcolate 3 diverse anomalie (high, mean, low) e la loro somma totale (total);
2. sono calcolate su 5 diversi periodi (3 anni, 1 anno, 1 mese, 1 settimana, 1 giorno);

così come già descritto.

Vogliamo ora fornire, invece, una breve descrizione del funzionamento del thread che permette la valorizzazione automatica e periodica delle tabelle relative alla diagnostica (discorso equivalente è stato fatto per le tabelle relative agli indici di prestazione, KPI).

Il thread ha il seguente packaging *it.enea.smart.village.threads.webgis*

comune a tutti i thread funzionanti per il caso studio verticale “smart village” che vanno ad effettuare elaborazioni nel livello di persistenza orizzontale “webgis”.

Il file *README.TXT* fornisce una prima descrizione del progetto:

---

Il progetto *SmartVillageThreads*

contiene i threads che vengono eseguiti per la facility “Smart Village”.

Il thread *SmartVillage\_Building\_WebGIS\_Thread*

viene lanciato tramite il luncher opportuno

ed esegue il popolamento delle tabelle predisposte per l’integrazione webgis.

Prima di lanciare il thread verificare:

- 1) che il dump `smartvillage_building_webgis.sql` sia stato caricato;
- 2) che il file `smart-configuration.xml` sia stato modificato opportunamente.

Nella cartella `releases/` si trova sempre l'ultima versione.

Esempio di comando per lanciare il thread:

```
java -jar smartvillage-building-thread-webgis-1.0.2.jar smart-configuration.xml
```

---

in cui:

- il luncher del thread contenente il metodo *Main* è la classe *Building\_Luncher*;
- la struttura del database contenuta nel dump SQL è stata spiegata nel precedente paragrafo;
- il file *smart-configuration.xml* è il file di configurazione che permette di esprimere in formato XML le proprietà necessarie per eseguire il thread, in particolare le credenziali di accesso ai database (sorgente e destinazione) e la durata dell'intervallo "*thread.sleep*" secondo il quale il thread effettuerà ciclicamente l'operazione.

Tali informazioni sono recuperate utilizzando la libreria *SmartConfig*, sviluppata nel laboratorio SCC, che permette la lettura di questo particolare file XML.

Proponiamo di seguito una serie di passi che descrivono le macro-funzionalità del thread:

- 1) il luncher *Building\_Luncher* si limita a istanziare il thread *SmartVillage\_Building\_WebGIS\_Thread* fornendogli il file *smart-configuration.xml* di configurazione;
- 2) l'inizializzazione nel metodo *init* del thread *SmartVillage\_Building\_WebGIS\_Thread*
  - recupera le proprietà dal file di configurazione tramite la libreria *SmartLogger*,
  - istanzia due *DataBaseManager*, uno per il database sorgente e uno per il database destinazione;
- 3) dopodiché verrà lanciato il metodo *run* che:
  - istanzia un logger (tramite la classe *SmartLogger* sviluppata nel laboratorio SCC) che andrà a scrivere una tabella di log;
  - si preoccupa di rendere il thread permanente e periodico, tramite un ciclo sull'intervallo impostato nel file di configurazione (solitamente equivalente a 1 giorno);
  - lancia ad ogni intervallo il *task1* per avviare l'elaborazione e la lettura e scrittura da e verso le banche dati;
- 4) il task *SmartVillage\_Building\_WebGIS\_Tasks.task1*, per ognuna delle tabelle rappresentanti una causa anomalia, effettua una serie di azioni:
  - si connette ai database sorgente e destinazione;
  - cancella il precedente contenuto della tabella;
  - richiama il *task2* per ognuno dei 5 periodi previsti dall'elaborazione:  
3 anni, 1 anno, 1 mese, 1 settimana, 1 giorno, 1 ora;
  - si disconnette dai database sorgente e destinazione;
- 5) il task *SmartVillage\_Building\_WebGIS\_Tasks.task2*, che è il vero cuore dell'elaborazione, effettua le seguenti azioni:
  - effettua una query di lettura delle anomalie, per una particolare causa e un particolare periodo, dal database sorgente;
  - per ogni anomalia ne calcola la tipologia andando a verificarne il valore, secondo le convenzioni definite per la piattaforma Smart Building, ovvero
    - se  $\geq 0.5$  e  $< 0.7$  è low,
    - se  $\geq 0.7$  e  $< 0.8$  è medium,
    - se  $\geq 0.8$  è high;
  - calcola il numero di anomalie low, medium, high e totali;
  - inserisce nel database destinazione, nella tabella relativa alla causa corrente, per ogni edificio rilevato, per il periodo corrente in esame, il conteggio rilevato.

Tutte le query sono isolate nella classe *QueryManager*.  
Tutte le costanti sono isolate nella classe *Constants*.

## 2.2 Modellazione energetica di un edificio terziario tramite metodi 'grey-box' (ENEA)

Per quanto riguarda le tecniche di modellazione del comportamento energetico di edifici, nelle annualità precedenti (RdS/PAR2014/025) è stato sviluppato un simulatore dinamico basato su MATLAB Simulink. Tale simulatore è stato tarato partendo dalle caratteristiche fisiche degli edifici presi in esame e successivamente raffinato considerando i consumi termici ed elettrici reali. Tale approccio rientra nella categoria di modellazione di tipo White Box e consente di stimare i consumi attesi a partire dalle misure in ingresso e delle condizioni a contorno quali le misure meteorologiche. In questa annualità è stato utilizzato un approccio di tipo ibrido, in cui la componente di modellazione fisica dell'edificio necessaria richiede meno dettagli mentre è necessario un *training* dei parametri basato sullo storico delle misure. Tale approccio rientra nella categoria di modellazione di tipo Gray Box e richiede una conoscenza meno puntuale delle caratteristiche strutturali dell'edificio, consentendo una maggiore scalabilità e replicabilità. L'obiettivo è stato quello di implementare dei modelli grey box per la descrizione del comportamento energetico dell'edificio attraverso la similitudine edificio-circuito elettrico (modelli RC) e di conseguenza per migliorarne l'efficienza. Questi sono stati scelti perché includono il comportamento dinamico dei modelli fisici, ma consente metodi e strumenti statistici per la stima dei parametri del modello e per valutare le incertezze nella struttura. Lo studio ha riguardato la modellazione e calibrazione di un modello termico (energia e temperatura interna) invernale dell'edificio e di uno estivo.

### 2.2.1 I modelli grey-box

Il modello sul quale si basa questo lavoro è il modello gray-box che combina una struttura teorica parziale con una serie di dati in ingresso per andare a completare/simulare il modello. Come si evince dalla Figura 2.24, il modello gray-box nasce dalla combinazione dei due modelli antecedenti, noti come black-box e white-box:

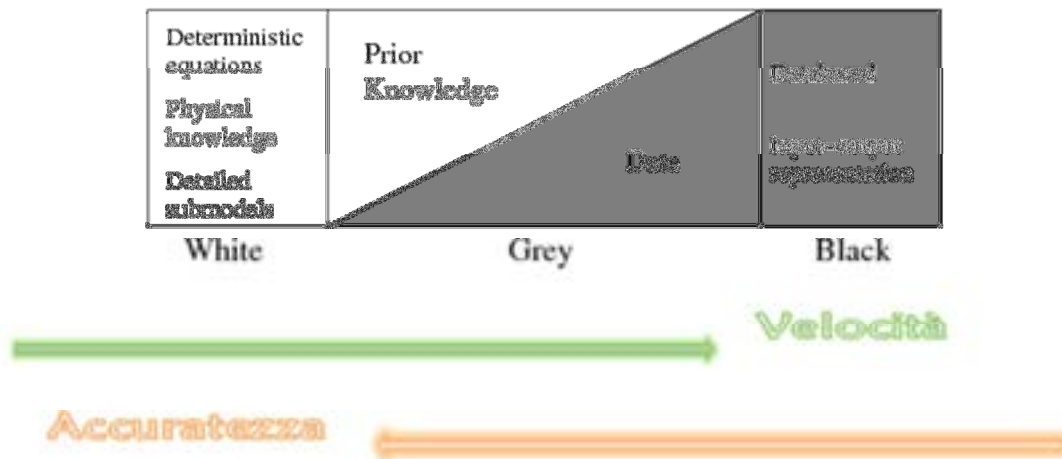


Figura 2.24 : combinazione white e black-box

Il modello gray-box include il significativo comportamento dinamico del modello fisico, ma consente metodi e strumenti statistici per la stima dei parametri del modello e per valutare le incertezze nella struttura. I parametri del modello sono dunque fisicamente interpretabili e valutati applicando metodi statistici. I modelli gray-box rappresentano pertanto un importante compromesso tra i modelli teorici e i modelli empirici. Sono utili nella modellazione di edifici a bassa complessità con pochi ingressi e stati (ad es. per 100 ingressi è meglio black box).

Si tratta di un'architettura affidabile sia in termini di robustezza sia in termini di velocità, dal momento che coniuga la semplicità del modello white-box con le caratteristiche adattative del modulo di correzione di tipo black-box.

Questo modello è caratterizzato da:

- Capacità di adattarsi agli intrinseci fenomeni tempo-varianti che influenzano il sistema
- Ridotti oneri computazionali

Questo approccio è anche conosciuto come "semi – fisico" o "ibrido" e mantiene i livelli richiesti di applicabilità e semplicità.

Qui si conosce (almeno parzialmente) la struttura del modello matematico del fenomeno ma non si conoscono i valori dei parametri.

Vantaggi:

- Vi è una mancanza di teoria fondamentale per descrivere il sistema o processo modellato
- Non vi è una scarsità di dati sperimentali adatti per convalida
- Vi è la necessità di diminuire la complessità del modello

Un modello per potere conquistare l'evoluzione futura deve:

Catturare il comportamento non lineare del sistema (scatola bianca)

Minimizzare l'errore (scatola nera)

Si utilizza l'unione dei due punti e si considera il modello gray-box che è costituito infatti da un insieme di equazioni stocastiche differenziali, e fornisce un modo per combinare i vantaggi di entrambe le box.

La **struttura generale** di un modello gray-box che si prende in considerazione è quella di un modello non lineare, discreto con equazioni differenziali affette da rumore di misura:

$$dx_t = f(x_t, u_t, t, \vartheta) + \sigma(u_t, t, \vartheta)d\omega_t \quad (1)$$

Il primo termine è il termine di drift, il secondo di diffusione.

$$y_k = h(x_k, u_k, t_k, \vartheta) + e_k \quad (2)$$

Nelle equazioni (1) e (2) si ha:  $t \in \mathbb{R}$ ,  $x_t \in \mathbb{X} \subset \mathbb{R}^n$  ed è il vettore degli stati variabili,  $u_t \in \mathbb{U} \subset \mathbb{R}^m$  è il vettore degli input,  $y_k \in \mathbb{Y} \subset \mathbb{R}^e$  è il vettore degli output,  $\vartheta \in \theta \subset \mathbb{R}^p$  è il vettore dei parametri sconosciuti.

$f(\cdot)$ ,  $\alpha(\cdot)$  e  $h(\cdot)$  sono funzioni non lineari.

$\omega_t$  è lo standard del processo di Wiener mentre  $e_k$  è il rumore bianco.

I **parametri** che vengono **stimati** nel modello gray-box sono due:

### Massima verosimiglianza

Si cercano i parametri  $\vartheta$  che massimizzano la funzione di verosimiglianza di una data sequenza di misurazioni  $y_0, y_1 \dots y_k \dots y_N$ . Prendendo in considerazione la funzione  $\mathcal{Y}_k = [y_k, y_{k-1} \dots y_1, y_0]$ , la funzione di verosimiglianza è legata alla densità di probabilità ed è pari a:

$$L(\vartheta; \mathcal{Y}_N) = p(\mathcal{Y}_N | \vartheta) \quad (3)$$

o equivalentemente:

$$L(\vartheta; \mathcal{Y}_N) = \left( \prod_{k=1}^N p(y_k | \mathcal{Y}_{k-1}, \vartheta) \right) p(y_0 | \vartheta) \quad (4)$$

La densità di probabilità Gaussiana è completamente caratterizzata dalla media e dalla covarianza, che rispettivamente sono:

$$\hat{y}_{k|k-1} = E\{y_k | \mathcal{Y}_{k-1}, \vartheta\} \quad (5)$$

$$R_{k|k-1} = V\{y_k | \mathcal{Y}_{k-1}, \vartheta\} \quad (6)$$

Considerando poi che  $\varepsilon_k = y_k - \hat{y}_{k|k-1}$ , si ottiene:

$$L(\vartheta; \mathcal{Y}_N) = \left( \prod_{k=1}^N \frac{\exp\left(-\frac{1}{2} \varepsilon_k^T R_{(k|k-1)}^{-1} \varepsilon_k\right)}{\sqrt{\det(R_{(k|k-1)})} (\sqrt{2\pi})^e} \right) p(y_0 | \vartheta) \quad (7)$$

Le stime sui parametri possono essere calcolate sotto condizionamento su  $y_0$  e risolvendo un problema di ottimizzazione:

$$\hat{\vartheta} = \operatorname{argmin}_{\vartheta \in \Theta} \{-\ln(L(\vartheta; \mathcal{Y}_N | y_0))\} \quad (8)$$

Quindi si ottiene:

$$\hat{y}_{k|k-1} = h(\hat{x}_{k|k-1}, u_k, t_k, \vartheta) \quad (9)$$

$$R_{k|k-1} = CP_{k|k-1}C^T + S \quad (10)$$

Introducendo il *guadagno di Kalman*:

$$K_k = P_{k|k-1}C^T R_{k|k-1}^{-1} S \quad (11)$$

Le *equazioni di aggiornamento* diventano:

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_t \varepsilon_k S \quad (12)$$

$$\hat{P}_{k|k} = \hat{P}_{k|k-1} - K_k R_{k|k-1} K_k^T S \quad (13)$$

E le *equazioni di predizione*:

$$\frac{d\hat{x}_{t|k}}{dt} = f(\hat{x}_{t|k}, u_t, t, \vartheta) S \quad (14)$$

$$\frac{dP_{t|k}}{dt} = AP_{t|k} + P_{t|k}A^T + \sigma\sigma^T S \quad (15)$$

per  $t \in [t_k, t_{k+1}[$

Nelle equazioni sopra è stata adottata la seguente notazione:

$$A = \left. \frac{\partial f}{\partial x_t} \right|_{\hat{x}_{k|k-1}, u_k, t_k}, \quad C = \left. \frac{\partial h}{\partial x_t} \right|_{\hat{x}_{k|k-1}, u_k, t_k}, \quad \sigma = \sigma(u_k, t_k, \vartheta), \quad S = S(u_k, t_k, \vartheta)$$

A questo punto, per avere un'approssimazione migliore, viene considerato un sotto intervallo  $[t_k, \dots, t_j \dots t_{k+1}[$  e in questo modo le soluzioni numeriche delle equazioni (14) e (15) possono essere semplificate nel seguente modo:

$$\frac{d\hat{x}_{t|j}}{dt} = f_0 + A(\hat{x}_t - \hat{x}_j) + B(u_t - u_j) \quad (16)$$

$$\frac{dP_{t|j}}{dt} = AP_{t|j} + P_{t|j}A^T + \sigma\sigma^T \quad (17)$$

Le soluzioni analitiche sono:

$$\hat{x}_{j+1|j} = \hat{x}_{j|j} + A^{-1}(\Phi_s - I)f_0 + (A^{-1}(\Phi_s - I) - I\tau_s)A^{-1}B\alpha \quad (18)$$

$$P_{j+1|j} = \Phi_s P_{j|j} \Phi_s^T + \int_0^{\tau_s} e^{As} \sigma \sigma^T e^{As^T} ds \quad (19)$$

Dove  $\tau_s = t_{j+1} - t_j$ ,  $\Phi_s = e^{A\tau_s}$  e  $\alpha = \frac{u_{j+1} - u_j}{t_{j+1} - t_j}$ .

La matrice esponenziale  $\Phi_s$  può essere calcolata in diversi modi:

$$\exp\left(\begin{bmatrix} -A & \sigma\sigma^T \\ 0 & A^T \end{bmatrix} \tau_s\right) = \begin{bmatrix} H_1(\tau_s) & H_2(\tau_s) \\ 0 & H_3(\tau_s) \end{bmatrix}$$

$$\Phi_s = H_3^T(\tau_s) \quad (20)$$

### Massimo a posteriori (MAP):

La funzione di densità di probabilità a posteriori è:

$$p(\vartheta | \mathcal{Y}_N) = \frac{p(\mathcal{Y}_N | \vartheta) p(\vartheta)}{p(\mathcal{Y}_N)} \propto p(\mathcal{Y}_N | \vartheta) p(\vartheta) \quad (21)$$

Bisogna trovare i parametri che la massimizzano:  $\mu(\vartheta) = E\{\vartheta\}$ ,  $\Sigma \vartheta = V\{\vartheta\}$  e  $\varepsilon_\vartheta = \vartheta - \mu_\vartheta$

La funzione diventa:

$$p(\vartheta; \mathcal{Y}_N) \propto \left( \prod_{k=1}^N \frac{\exp\left(-\frac{1}{2} \varepsilon_k^T R_{(k|k-1)}^{-1} \varepsilon_k\right)}{\sqrt{\det(R_{(k|k-1)})} (\sqrt{2\pi})^e} \right) p(y_0 | \vartheta) \frac{\exp\left(-\frac{1}{2} \varepsilon_\vartheta^T \varepsilon_\vartheta^{-1} \varepsilon_\vartheta\right)}{\sqrt{\det(\varepsilon_\vartheta)} (\sqrt{2\pi})^p} \quad (22)$$

I parametri stimati possono essere determinati come prima sotto condizionamento su  $y_0$  e risolvendo un problema di ottimizzazione:

$$\hat{\vartheta} = \operatorname{argmin}_{\vartheta \in \Theta} \{-\ln(p(\vartheta | \mathcal{Y}_N, y_0))\} \quad (23)$$

Incertezza sulla stima dei parametri

Nel modello presentato viene sempre eseguito un controllo sull'incertezza della stima dei parametri effettuata.

Solitamente viene sfruttato il *teorema del limite centrale* e la matrice di covarianza è:

$$\Sigma_{\hat{\vartheta}} = H^{-1} \quad (24)$$

La matrice  $H$  è data:

$$h_{ij} = -E \left\{ \frac{\partial^2}{\partial \vartheta_i \partial \vartheta_j} \ln(p(\vartheta|Y, y_0)) \right\} \quad \text{con } i, j = 1 \dots p$$

La quantità test è il valore stimato diviso la deviazione  $\rightarrow$  sotto  $H_0$  la quantità è asintoticamente distribuita.

Problemi di ottimizzazione

Per risolvere i problemi di ottimizzazione si utilizza un algoritmo di ricerca "morbida" nel software, che serve per minimizzare la propagazione dell'errore e lo fa imponendo dei vincoli sui parametri.

$$\vartheta_j^{min} < \vartheta_j < \vartheta_j^{max} \quad \text{con } j = 1 \dots p \quad (25)$$

Questo vincolo è stato calcolato risolvendo la trasformata che segue:

$$\tilde{\vartheta}_j = \ln \left( \frac{\vartheta_j - \vartheta_j^{min}}{\vartheta_j^{max} - \vartheta_j} \right) \quad (26)$$

Non si hanno problemi quando  $j$  rimane dentro i limiti, mentre si hanno problemi quando è vicino ad uno dei due estremi perché  $\vartheta_j$  potrebbe essere 0. Questo problema viene risolto introducendo la funzione di penalità:

$$\mathcal{F}(\vartheta) = -\ln[p(\vartheta|Y, y_0)] + P(\lambda, \vartheta, \vartheta^{min}, \vartheta^{max}) \quad (27)$$

Con:

$$P(\lambda, \vartheta, \vartheta^{min}, \vartheta^{max}) = \lambda \left( \sum_{j=1}^p \frac{|\vartheta_j^{min}|}{\vartheta_j - \vartheta_j^{min}} + \sum_{j=1}^p \frac{|\vartheta_j^{max}|}{\vartheta_j^{max} - \vartheta_j} \right) \quad (28)$$

Calcolata per  $|\vartheta_j^{min}| > 0$  e  $|\vartheta_j^{max}| > 0$ .

Il software ad oggi utilizzato per la stima dei parametri di un modello gray-box è il **CTSM**, mentre lo strumento di partenza incorpora lo schema di Bohlin e Graebe (1995) ed è noto come IdKit. Quest'ultimo è stato ulteriormente sviluppato in uno strumento più valido che è stato denominato **MoCaVa** (Bohlin, 2001) e che corre sotto MATLAB.

Anche se molto simili in termini di stima dei parametri, gli algoritmi presentano alcune differenze: CTSM riduce il carico computazionale, è più preciso e non elimina i valori anomali come MoCaVa, quest'ultimo è più sensibile ai dati di ingresso e approssima in maniera più grezza la matrice esponenziale e di conseguenza i parametri da stimare del modello. Inoltre MoCaVa non consente la stima su più set di dati indipendenti come invece avviene in CTSM.

Oltre alla stima dei parametri, MoCaVa facilita numerosi altri compiti importanti all'interno dello sviluppo del modello, ad esempio la validazione dei modelli, ed è superiore a CTSM a riguardo.

Oltre al problema dell'approssimazione della matrice esponenziale, in MoCaVa si deve considerare anche il problema della linearizzazione: le equazioni originali non vengono linearizzate in punti corrispondenti alle stime attuali, ma nei punti lungo una traiettoria di riferimento. Questa differenza è molto importante perché lo rende inadatto per la stima dei parametri in sistemi non lineari. Quindi in termini di qualità delle stime, CTSM dà chiaramente meno errori di MoCaVa per i sistemi non lineari.

CTSM utilizza un metodo del tipo quasi - Newton basato sull'aggiornamento della formula di Hessian e comprende un algoritmo di ricerca a linea morbida, MoCaVa invece utilizza il metodo di Newton-Raphson dove la formula di Hessian è approssimata applicando una assunzione statistica (Bohlin, 2001).

In termini di flessibilità rispetto ai tipi di dati che possono essere utilizzati per la stima, i due programmi sono quasi equivalente.

In CTSM, troviamo la valutazione dell'incertezza sulle stime dei parametri ottenuti, mentre in MoCaVa no, e questo è sicuramente un punto a favore del primo software visto che nel modello gray-box viene effettuata la stima dell'incertezza.

L'ambiente di sviluppo integrato (IDE) che verrà utilizzato e che si basa sulla libreria CTSM di cui si è parlato prima è Rstudio versione 3.2. Conseguentemente il linguaggio che verrà utilizzato sarà R.

Rstudio è disponibile nelle edizioni open source e commerciali e gira su Windows, Linux e Mac. Si compone principalmente di una console, strumenti per la stampa, storico, debug e della gestione del workspace.

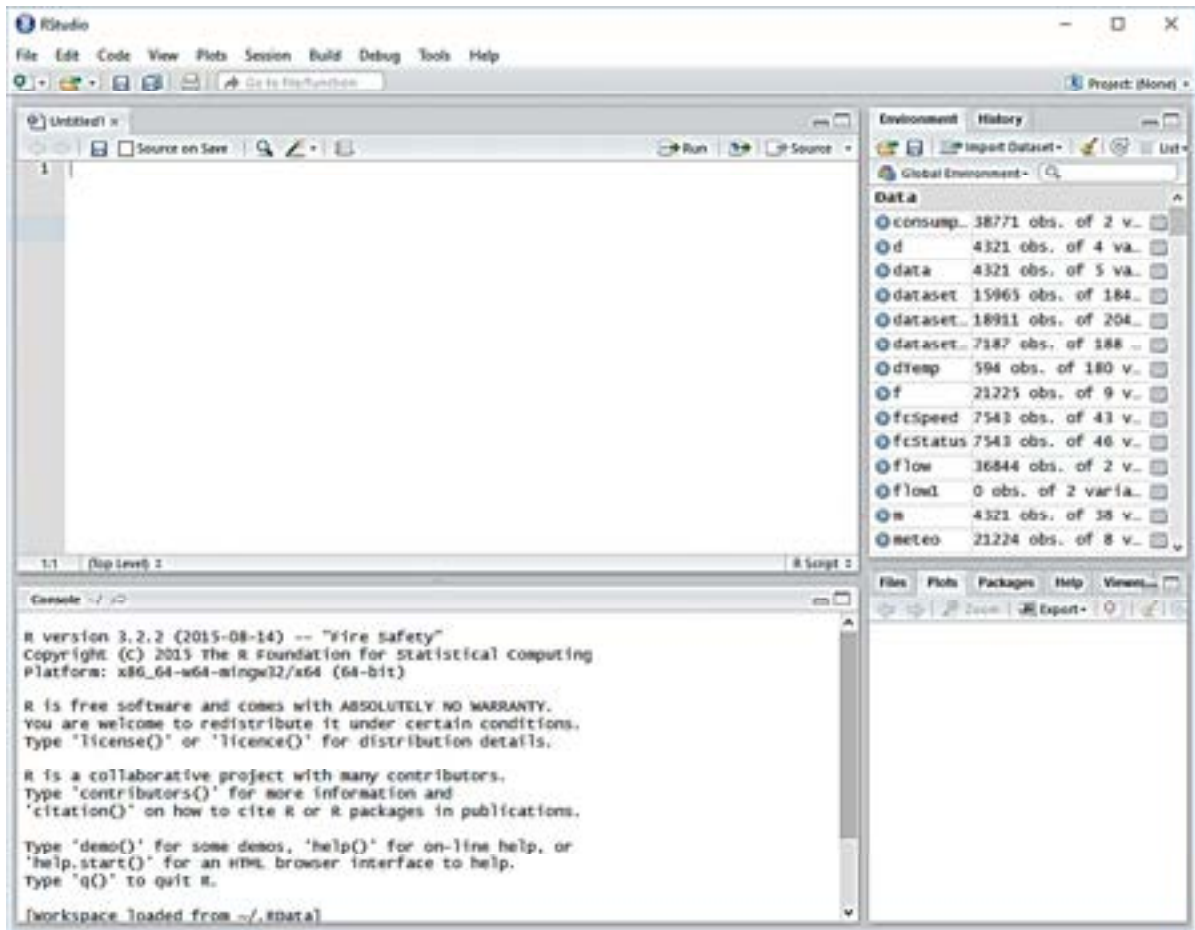


Figura 2.25 schermata Rstudio

Nel caso di un edificio la sua modellazione termica serve per descrivere il comportamento termico e il consumo energetico dell'edificio. I modelli gray box possono quindi essere utilizzati per migliorarne l'efficienza.

Per descrivere un edificio bisogna tener conto di almeno tre fattori:



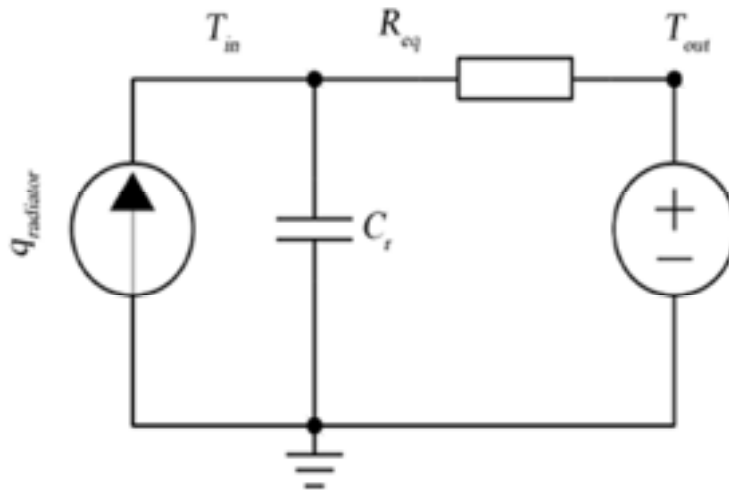


Figura 2.27 schema circuitale equivalente edificio 3.7

La  $R_{eq}$  è un parallelo di quattro resistenze: pareti, porte, finestre e tetto dell'edificio; come mostrato nella seguente equazione:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{wa}} + \frac{1}{R_d} + \frac{1}{R_{wi}} + \frac{1}{R_r}$$

Come anticipato nel capitolo precedente, per la risoluzione del circuito si ha bisogno del filtro di Kalman e per questo si utilizza il CTSM, ovvero uno strumento di stima dei parametri sviluppato dal Dipartimento di Informatica e Modellazione Matematica dell'università tecnica della Danimarca (DTU).

### 2.2.2 Gestione edificio F40 nel periodo invernale

La prima cosa che è stata valutata è il comportamento delle stanze che compongono l'edificio: sono state escluse quelle chiuse e quelle dove non si ha il controllo della temperatura.

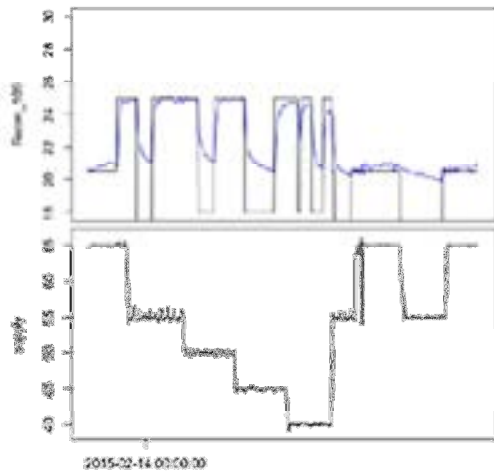
La Tabella 2.5 riporta la suddivisione delle stanze in base al comportamento riscontrato. Come si evince il più delle stanze ha un comportamento corretto, ovvero la temperatura delle stesse segue la variazione del setpoint.

Nel lavoro che segue non verranno considerate le stanze che hanno un comportamento errato, l'attenzione sarà infatti posta sulle prime due categorie: correct e under reaction.

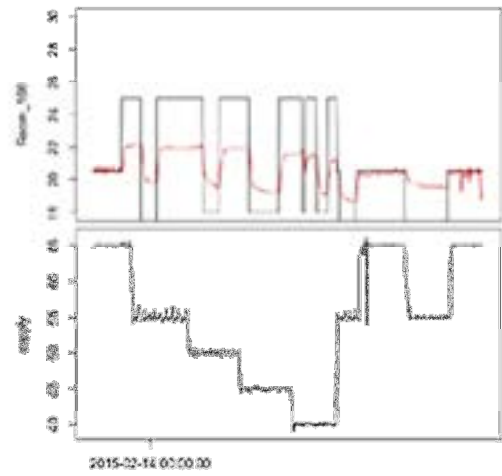
<i>Input reaction</i>	<i>Rooms</i>	<i>Number</i>	<i>%</i>
<b>Correct</b>	003,008,103,105,106,107,109,111,112,201,202,203 204,205,207,208,209,210,216,CR,MR	21	51%
<b>Under reaction</b>	007,011,104,108,110,113,114,213,215	9	22%
<b>Outlier</b>	101,102	2	2%
<b>Outscale</b>	006	1	2.5%
<b>No reaction</b>	004,005,200,206,211,212,214	7	17%
<b>Constant</b>	100	1	2.5%

Tabella 2.5 : confronto comportamento stanze

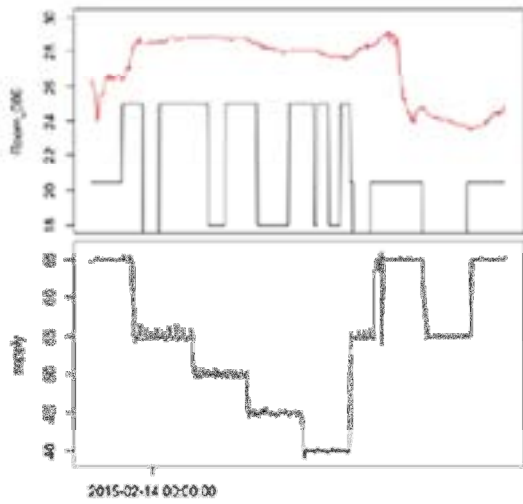
Di seguito un esempio per ogni categoria sopra indicata.



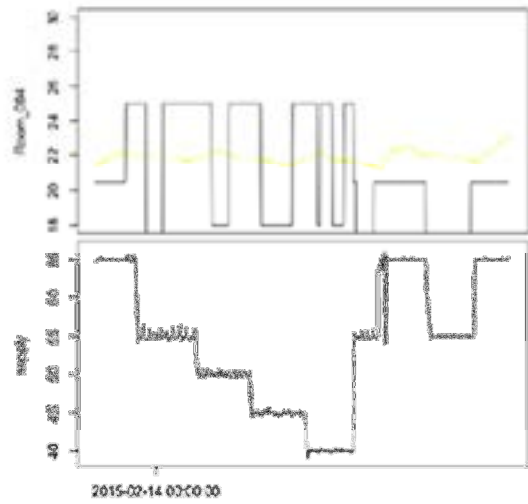
Correct



Under Reaction



Outscale



No reaction

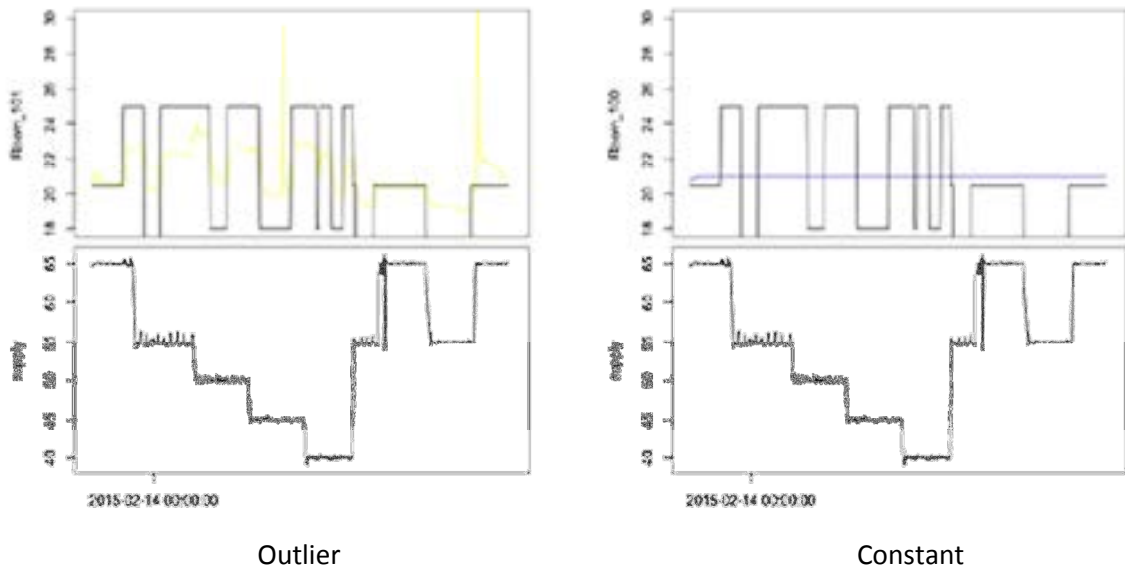


Figura 2.28 risultati comportamento stanze

La seconda analisi svolta riguarda invece la centrale termica.

E' stato stimato l'andamento dell'energia termica e del flusso dell'acqua che viene mandata dalla centrale (volume). Sarà inoltre riportata una stima del comportamento medio delle stanze rispetto alla variazione del setpoint, e una stima del comportamento medio della temperatura di mandata e del relativo setpoint. Ultima cosa da annotare è che lo svolgimento del test è avvenuto previa chiusura del circuito AHU/Radiators.

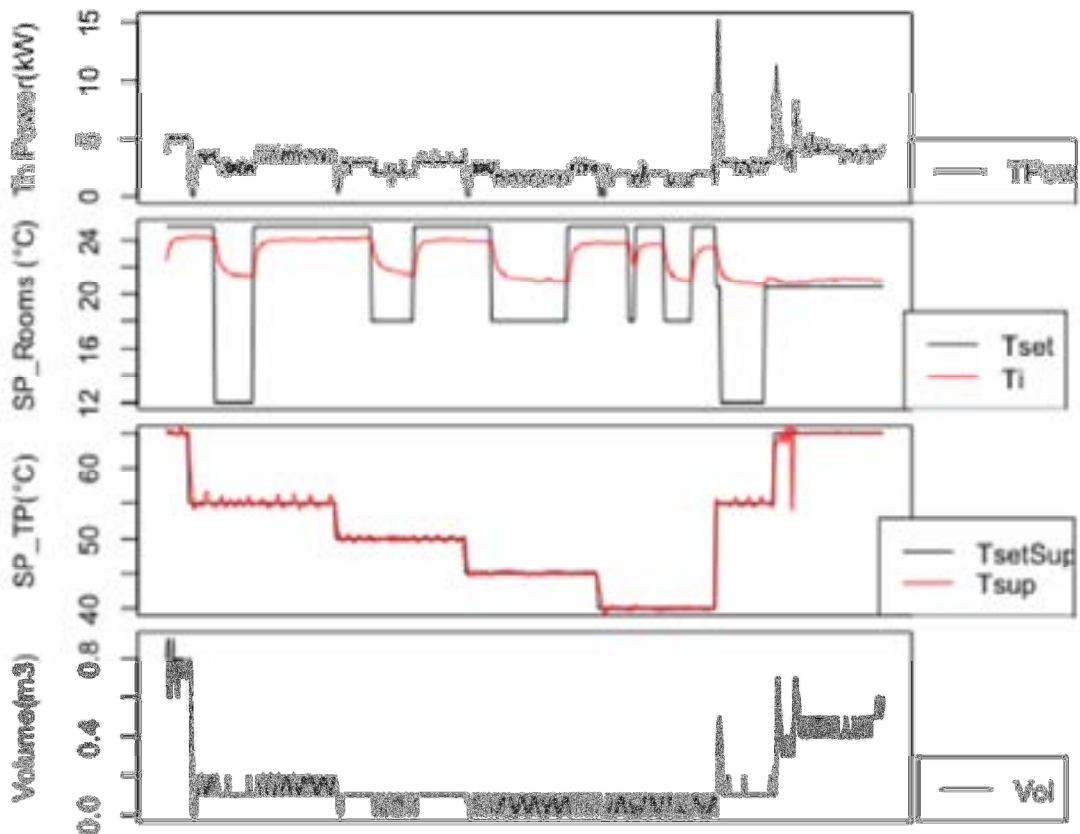


Figura 2.29 risultati ottenuti con radiatore chiuso

Gettate le basi, quindi lo scopo principale è stato quello di modificare i modelli già implementati per avere una migliore stima sia in termini di temperature che in termini di energia termica.

Come anticipato, l'attività si è concentrata principalmente su due modelli, in particolare su quelli che presentavano una maggiore complessità a livello circuitale, essendo inoltre e soprattutto quelli che rispondevano meglio ai dati in input. Per entrambi i modelli è stata fatta inizialmente una valutazione senza le stanze non controllate, stanze che sono state poi aggiunte in un secondo momento. Inoltre è stata considerata l'influenza che la radiazione solare aveva sui parametri del circuito.

Il punto di partenza per ogni modello vede la suddivisione del circuito che descrive l'edificio in quattro zone:

- Interna all'edificio
- L'impianto di riscaldamento
- Envelope, per modellare lo scambio termico con l'esterno
- Esterna all'edificio

### Modello TiTwTreturnTinc

Nel *modello TiTwTreturnTinc* si individuano tre stati  $T_i, T_w$  e  $T_{return}$  che verranno calcolati grazie alle equazioni differenziali scritte poco più avanti. Gli input del sistema sono invece  $T_{set}, T_e$  e  $T_{inc}$  mentre l'output è unico ed è l'energia termica  $P_{hi}$ .

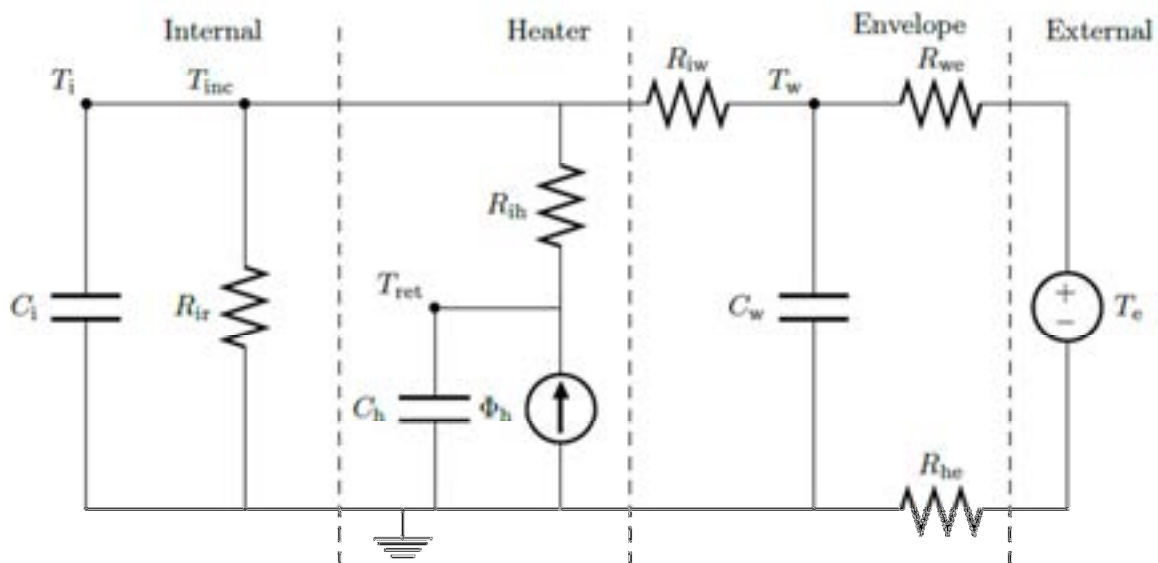


Figura 2.30 schema circuitale TiTwTreturnTinc

Le equazioni stocastiche differenziali di cui si è parlato a inizio paragrafo sono:

$$dT_i = \left( \frac{1}{C_i R_{ih}} \cdot (f_1 - T_i) f_2 + \frac{1}{C_i R_{ie}} \cdot (T_w - T_i) + \frac{1}{C_i R_{ir}} \cdot (T_{inc} - T_i) \right) dt + e^{P_{11}} dw_1 \quad (1)$$

$$dT_w = \left( \frac{1}{C_w R_{iw}} \cdot (T_i - T_w) + \frac{1}{C_w R_{we}} \cdot (T_e - T_w) \right) dt + e^{P_{22}} dw_2 \quad (2)$$

$$dT_{ret} = \left( \frac{1}{C_h R_{ih}} \cdot (T_i - f_1) f_2 + \frac{1}{C_h R_{he}} \cdot (T_e - f_1) + \frac{1}{C_h (m T_{sup} - T_{ret}) \cdot fl \cdot cw} \right) dt + e^{P_{33}} dw_3 \quad (3)$$

Con:

$$f_1 = \frac{mT_{sup} + T_{ret}}{2} \tag{4}$$

$$f_2 = \frac{1}{1 + e^{-10(T_{set}-T_i)}} \tag{5}$$

La funzione  $f_1$  è la media tra la temperatura di mandata misurata e quella di ritorno, mentre  $f_2$  è la sigmoide usata come soglia di attivazione per i fancoil delle camere.

Il significato degli elementi presenti nelle equazioni viene invece riportato nella tabella che segue. Si hanno poi dei valori fissi come  $fl = 1.1$  e  $cw = 4186$ .

<i>Variabile</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Unità di misura</i>
$T_i$	Temperatura interna	[°C]
$T_{inc}$	Temperatura interna delle stanze non controllate	[°C]
$T_e$	Temperatura esterna	[°C]
$T_w$	Temperatura muri	[°C]
$T_{ret}$	Temperatura acqua di ritorno	[°C]
$C_i$	Capacità termica interna	[J/kgK]
$C_h$	Capacità termica heater	[J/kgK]
$C_w$	Capacità termica muri	[J/kgK]
$R_{ih}$	Resistenza termica tra internal e heater	[m²K/W]
$R_{ir}$	Resistenza termica tra internal e stanze non controllate	[m²K/W]
$R_{iw}$	Resistenza termica tra internal e muri	[m²K/W]
$R_{we}$	Resistenza termica tra muri e external	[m²K/W]
$R_{he}$	Resistenza termica tra heater e external	[m²K/W]

**Tabella 2.6: parametri circuito**

I valori dei parametri che vengono utilizzati sono gli stessi per tutti i modelli che verranno analizzati e sono riportati nella tabella 4.3.

Inoltre abbiamo:

$$P_{11} = P_{22} = P_{33} \approx 1$$

<b>Variabile</b>	<b>Valore</b>
$T_i$	25
$T_{inc}$	25
$T_w$	20
$T_{ret}$	50
$C_i$	1E8
$C_h$	2E6
$C_w$	1E10
$R_{ih}$	5E-3
$R_{ir}$	0,00005
$R_{iw}$	0,002
$R_{we}$	0,003
$R_{he}$	0,01

**Tabella 2.7: valori da impostare**

I risultati della precedente analisi, che sono stati ottenuti implementando il modello in Rstudio, vengono riportati qui sotto.

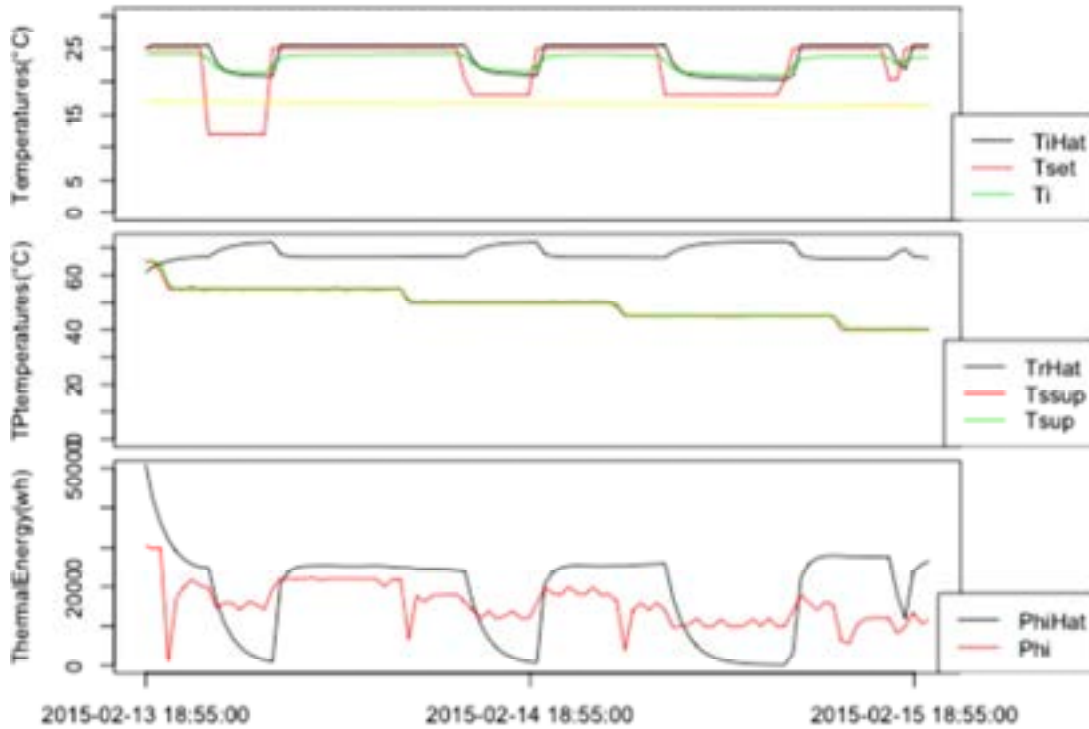


Figura 2.31 risultati modello vecchio

$$\text{MAPE } T_i = 4,8\% \pm 0,022$$

$$\text{MAE } T_i = 1,13 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 0,97$$

$$\text{MAPE } P_{hi} = 20\% \pm 1,65$$

$$\text{MAE } P_{hi} = 9456,40 \text{ Wh} \pm 11120,6$$

Lavorando sulle equazioni differenziali e sull'ottimizzazione dei parametri che compongono le stesse, si è arrivati al seguente risultato:

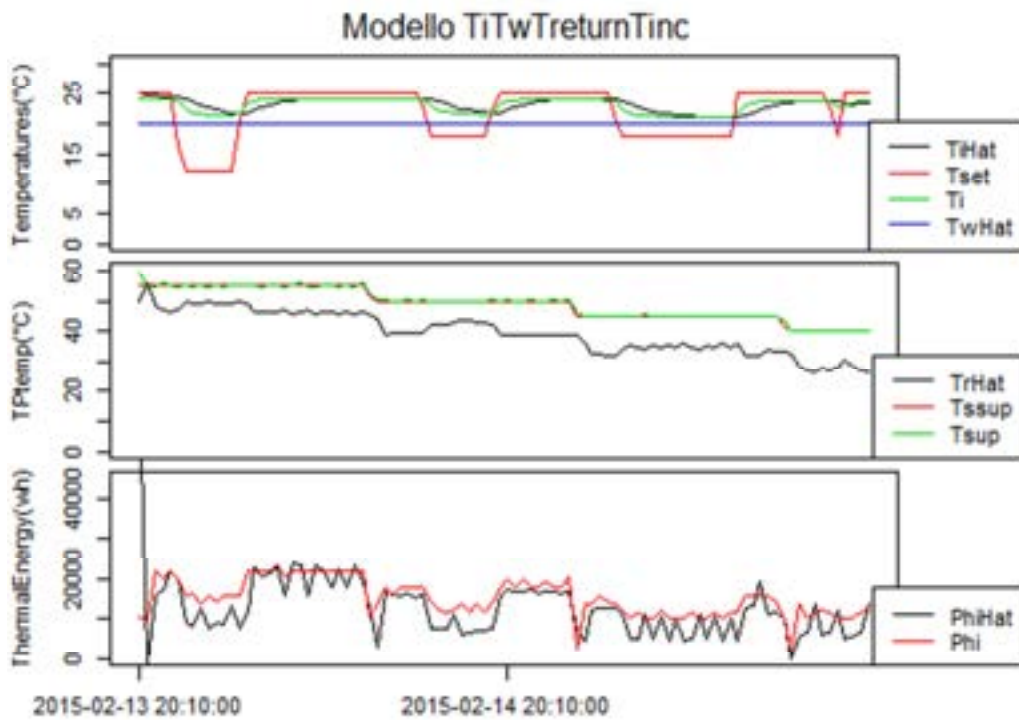


Figura 2.32 risultati modello attuale

Nel primo grafico viene confrontata la  $T_i$  effettiva (che segue l'andamento del setpoint in rosso) con la  $T_iHat$  ovvero con quella predetta (stimata/calcolata) dal modello. Nel secondo viene invece controllato l'andamento della temperatura di ritorno in nero ed infine nell'ultimo grafico, che possiede una maggiore importanza, si nota se l'andamento dell'energia termica stimata dal modello coincide (o meglio, segue) il comportamento di quella effettiva.

Come è possibile vedere, mantenendo inalterato il periodo di stima, sia la temperatura  $T_iHat$  che l'energia termica  $P_{hi}Hat$  seguono il giusto andamento.

La  $P_{hi}Hat$  che viene tracciata è stata così calcolata:

$$P_{hi}Hat \sim ((mT_{supply} - T_{return}) * (flow) * cwater) \tag{6}$$

Il modello oltre che nel periodo indicato (dal 13-02-2015 al 15-02-2015) è stato validato anche per altri periodi temporali e il risultato è stato sempre quello di una buona predizione.

Per migliorare ulteriormente l'andamento, e rimuovere i picchi indesiderati che si possono notare nel plot 4.5 è stato cambiato il periodo di campionamento, da mezz'ora a un'ora. I risultati sono di sotto riportati:

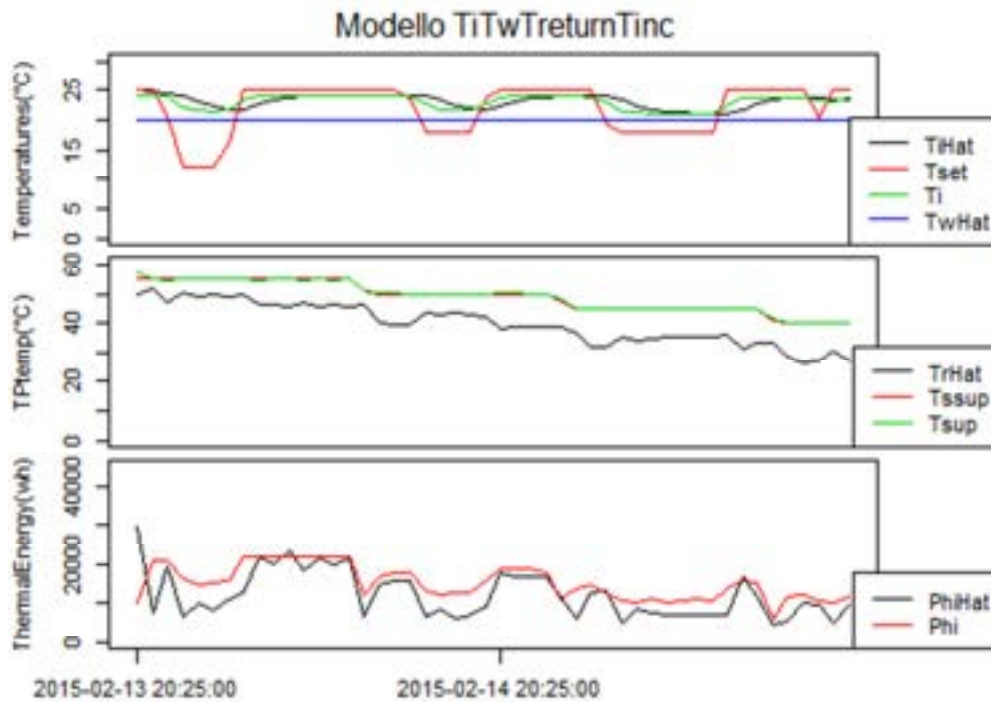


Figura 2.33 risultati modello attuale ( $T_s = 3600$ )

La prova del miglioramento dell'attuale modello la si trova nel **MAPE**, ovvero nell'**errore assoluto percentuale** (mean absolute percentage errors) che esprime la media aritmetica degli errori relativi, moltiplicata per cento.

Per la stima della  $T_i$  si ha un MAPE pari al  $2,4\% \pm 0,025$  e per la  $P_{hi}$  invece si ha il  $15\% \pm 0,6$ . E' stato poi calcolato anche il **MAE, errore medio assoluto** (mean absolute error), pari alla media aritmetica degli errori presi in valore assoluto.

Per la  $T_i$  si ha un MAE pari a  $0,55 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,77$  mentre per la  $P_{hi}$  l'errore che si commette è di  $4215,6 \text{ Wh} \pm 7214,4$ .

Il lavoro è poi proseguito con l'aggiunta delle *stanze non controllate*. Questo implica la presenza di un ulteriore parametro indicato come la  $T_{retNC}$  e calcolato come segue:

$$dT_{retNC} = \left( \frac{1}{C_h R_{ih}} \cdot (T_{inc} - f_1) f_2 + \frac{1}{C_h (R_{iw} + R_{we})} \cdot (T_e - f_1) + \frac{1}{C_h (m T_{sup} - T_{retNC}) \cdot fl \cdot cw} \right) dt + e^{P_{44}} dW_4$$

La  $T_{inc}$  è la temperatura di ingresso delle stanze non controllate e viene passata come ingresso al sistema. I grafici in Figura 2.34 riportano gli andamenti predetti, da notare l'aggiunta del parametro  $T_{retNC}$  nel secondo grafico in blu.

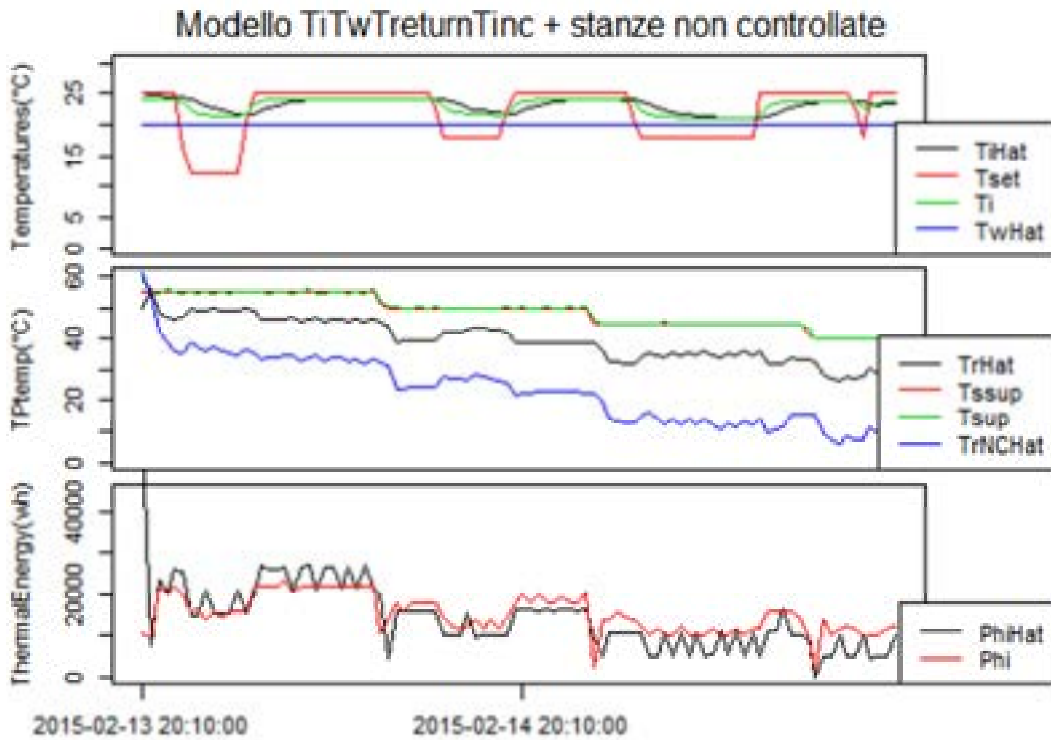


Figura 2.34 risultati con l'aggiunta delle stanze non controllate

Qui invece l'energia termica è stata calcolata come segue:

$$P_{hiHat} \sim (mT_{supply} - \left(\frac{T_{return}}{2}\right)) * (flow) * cwater \quad (7)$$

C'è il fattore ½ perché le stanze non controllate sono circa la metà del numero complessivo di stanze.

Il MAPE calcolato per la  $T_i$  è  $2,4\% \pm 0,024$ , mentre quello per la  $P_{hi}$  è  $5,4\% \pm 0,56$ . Il MAE rispettivamente vale:  $0,55 \text{ °C} \pm 0,77$  e  $3839,9 \text{ Wh} \pm 6453,25$ .

Anche qui aumentando il periodo di campionamento si ottiene una maggiore pulizia nel grafico. In termini di errore invece il risultato rimane identico, avendo considerato la media.

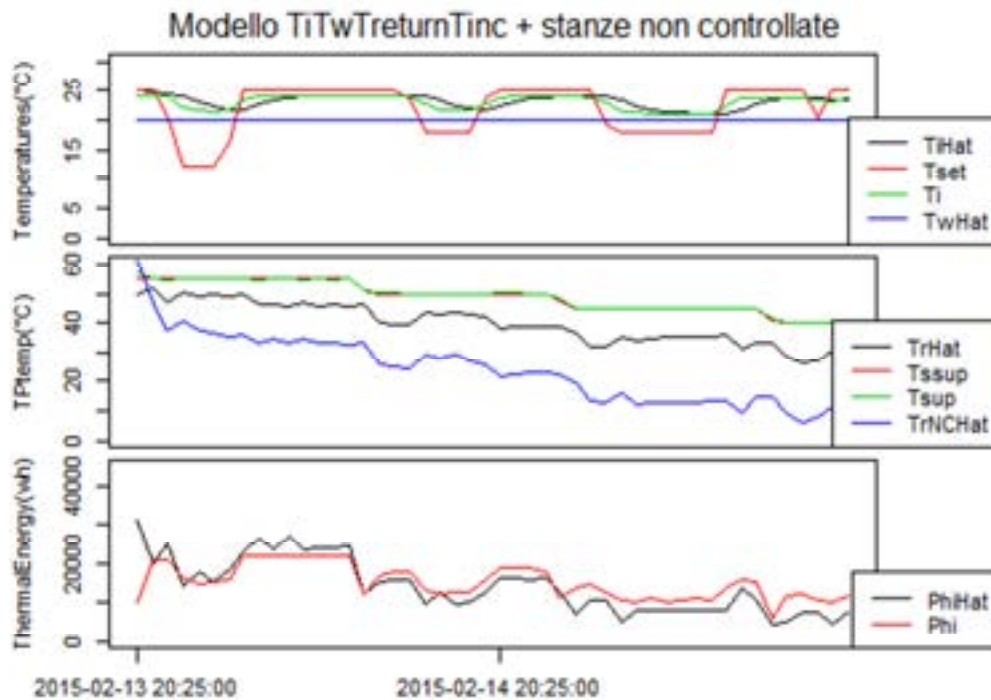


Figura 2.35 risultati con l'aggiunta delle stanze non controllate e modifica del periodo di campionamento

Ultima prova fatta su questo primo modello è stata l'introduzione della *radiazione solare*, ovvero "l'energia radiante emessa nello spazio interplanetario dal Sole".

La radiazione solare non è concentrata su una sola frequenza, ma è distribuita su un ampio spettro di ampiezza non uniforme con la forma tipica di una campana come per lo spettro di un corpo nero col quale la sorgente solare è modellizzata. Il massimo di radiazione è centrato nella banda della radiazione visibile o luce col picco ai 500 nm.

La Terra riceve dal Sole  $1366 \text{ W/m}^2$  (costante solare).



Figura 2.36 ramo radiazione solare

Circuitamente la regione Solar si va a posizionare tra le regioni Heater e Envelope. Questo provoca l'aggiunta di un contributo sia alla  $T_i$  che alla  $T_w$ . Le equazioni differenziali che subiscono variazione sono:

$$dT_i = \left( \frac{1}{C_i R_{ih}} \cdot (f_1 - T_i) f_2 + \frac{1}{C_i R_{ie}} \cdot (T_w - T_i) + \frac{1}{C_i R_{ir}} \cdot (T_{inc} - T_i) + \frac{A_w}{C_i P_s} \right) dt + e^{P_{11}} dw_1 \quad (7)$$

$$dT_w = \left( \frac{1}{C_w R_{iw}} \cdot (T_i - T_w) + \frac{1}{C_w R_{we}} \cdot (T_e - T_w) + \frac{A_w}{C_w P_s} \right) dt + e^{P_{22}} dw_2 \quad (8)$$

Dove il termine  $P_s$  è passato in ingresso al sistema mentre  $A_w$  rappresenta un valore costante pari a 148,8. Quest'ultimo valore è stato ottenuto lavorando sull'ottimizzazione del parametro quindi andando a fissare un valore massimo e un valore minimo e cercando quello che approssima meglio.

Essendo in inverno la radiazione solare è quasi influente per i parametri del circuito e come è possibile vedere nella Fig. 4.8 ha un impatto visivo praticamente nullo se non fosse per la leggera modifica nell'andamento della  $T_i Hat$ . Anche qui sono stati calcolati i valori assoluti degli errori commessi dal modello che ovviamente sono leggermente aumentati: il MAPE calcolato per la  $T_i$  è  $4\% \pm 0,035$ , mentre quello per la  $P_{hi}$  è  $6,6\% \pm 0,56$ . Il MAE invece, vale rispettivamente  $0,92^\circ C \pm 1,04$  e  $3995,6 Wh \pm 6503,2$ .

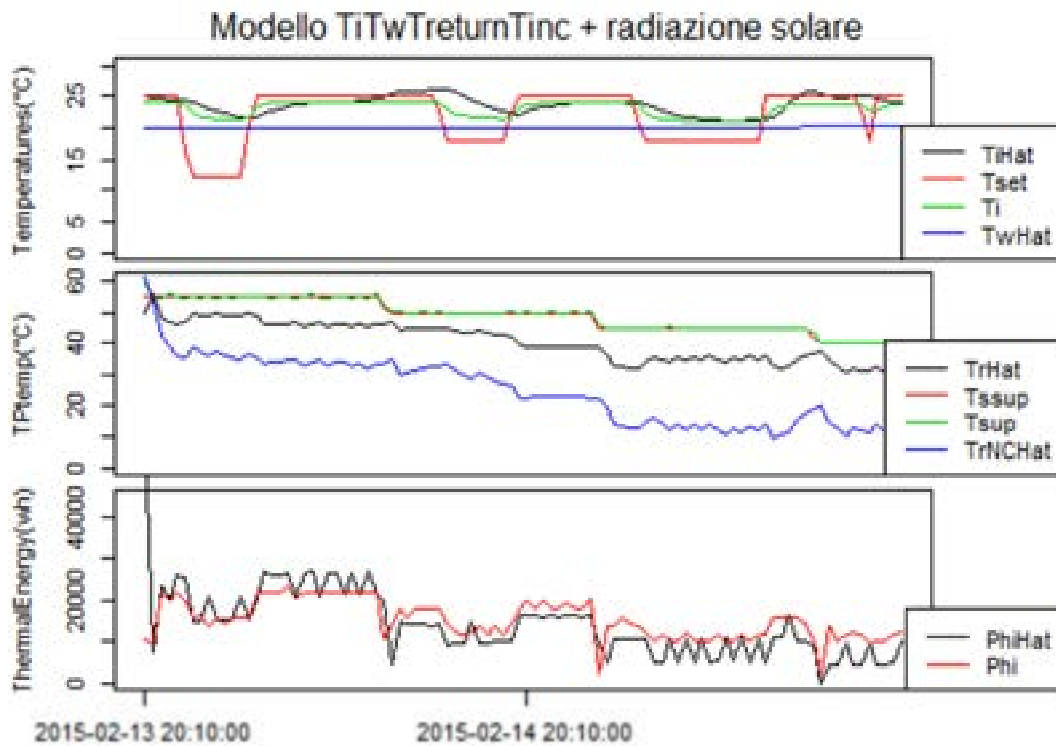


Figura 2.37 risultati con l'aggiunta della radiazione solare

Modello TiTwTreturnTincFlow

Nel modello  $TiTwTreturnTincFlow$  viene effettuata la suddivisione in zone dell'edificio, in particolare si hanno quattro zone termali. Si individuano tre stati  $T_i$ ,  $T_w$  e  $T_{return}$  come nel modello precedente ma la  $T_i$  verrà calcolata per ogni zona termale. Gli input del sistema sono invece  $T_{set}$ ,  $T_e$ ,  $T_{inc}$  e la  $flow$  mentre l'output è sempre l'energia termica  $P_{hi}$ .

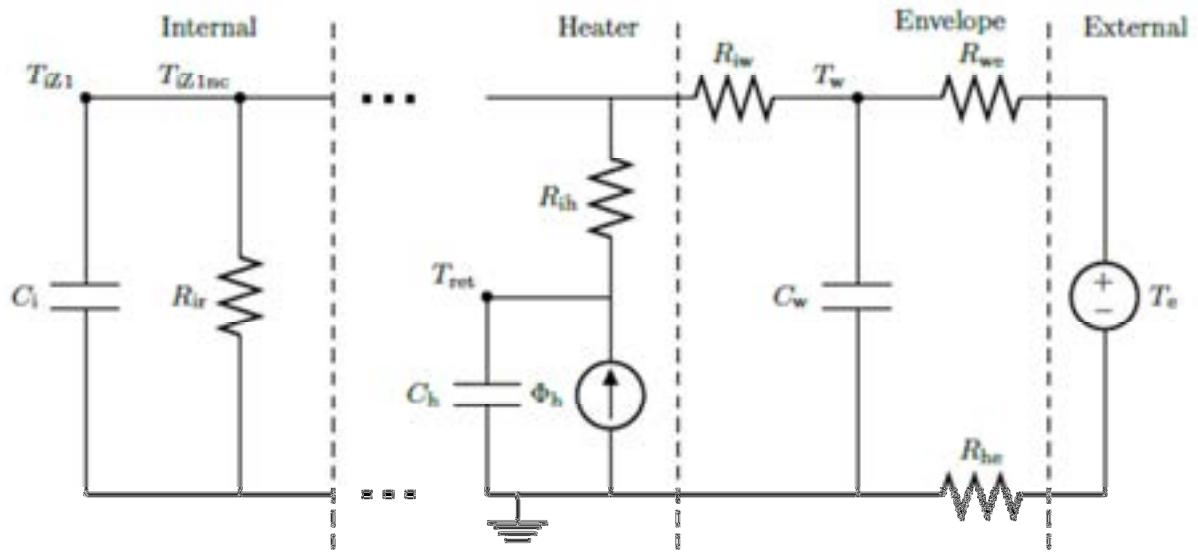


Figura 2.38 circuito  $T_i T_w T_{ret} T_{inc} T_{flow}$

Le equazioni differenziali che descrivono il sistema sono:

$$dT_{iz1} = \left( \frac{1}{C_i R_{ih}} \cdot (f_1 - T_{iz1}) f_2 + \frac{1}{C_i R_{ie}} \cdot (T_w - T_{iz1}) + \frac{1}{C_i R_{ir}} \cdot (T_{incz1} - T_{iz1}) \right) dt + e^{P_{11}} dw_1 \quad (1)$$

$$dT_{iz2} = \left( \frac{1}{C_i R_{ih}} \cdot (f_1 - T_{iz2}) f_2 + \frac{1}{C_i R_{ie}} \cdot (T_w - T_{iz2}) + \frac{1}{C_i R_{ir}} \cdot (T_{incz2} - T_{iz2}) \right) dt + e^{P_{12}} dw_2 \quad (2)$$

$$dT_{iz3} = \left( \frac{1}{C_i R_{ih}} \cdot (f_1 - T_{iz3}) f_2 + \frac{1}{C_i R_{ie}} \cdot (T_w - T_{iz3}) + \frac{1}{C_i R_{ir}} \cdot (T_{incz3} - T_{iz3}) \right) dt + e^{P_{13}} dw_3 \quad (3)$$

$$dT_{iz4} = \left( \frac{1}{C_i R_{ih}} \cdot (f_1 - T_{iz4}) f_2 + \frac{1}{C_i R_{ie}} \cdot (T_w - T_{iz4}) + \frac{1}{C_i R_{ir}} \cdot (T_{incz4} - T_{iz4}) \right) dt + e^{P_{14}} dw_1 \quad (4)$$

$$dT_w = \left( \frac{1}{C_w R_{iw}} \cdot (T_i - T_w) + \frac{1}{C_w R_{we}} \cdot (T_e - T_w) \right) dt + e^{P_{22}} dw_2 \quad (5)$$

$$dT_{ret} = \left( \frac{1}{C_h R_{ih}} \cdot (T_i - f_1) f_2 + \frac{1}{C_h R_{he}} \cdot (T_e - f_1) + \frac{1}{C_h (m T_{sup} - T_{ret}) \cdot fl \cdot cw} \right) dt + e^{P_{33}} dw_3 \quad (6)$$

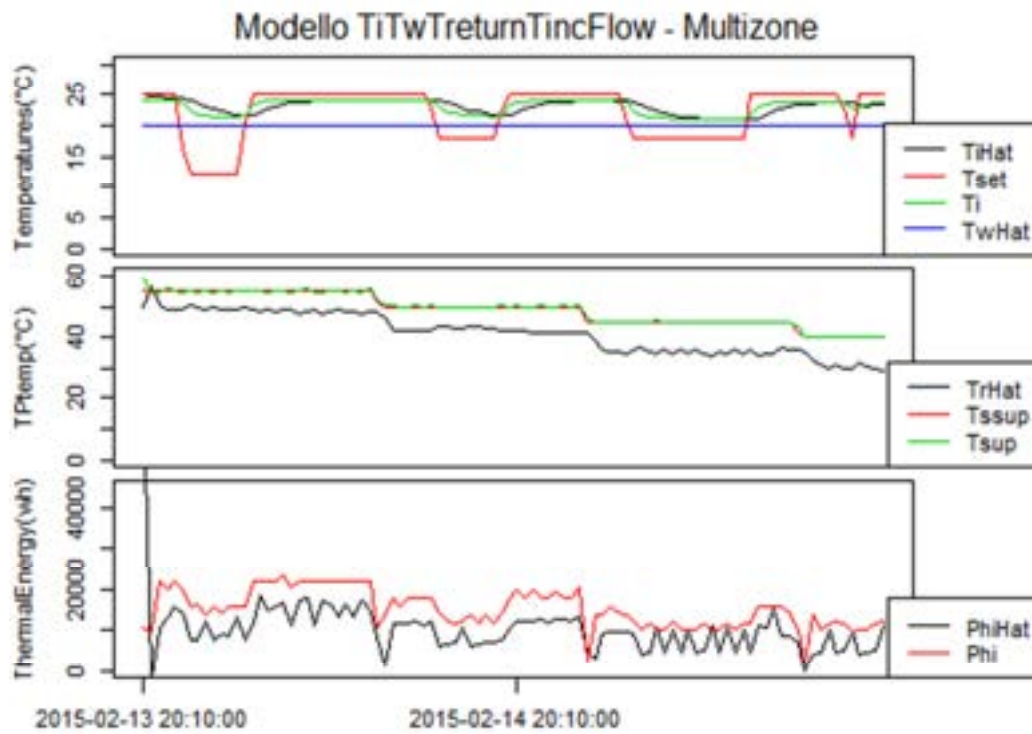


Figura 2.39 circuito  $T_iT_wT_{return}T_{inc}Flow$

In termini di numeri si ha:

$$MAPE T_i = 2,4\% \pm 0,025$$

$$MAE T_i = 0,55 \text{ °C} \pm 0,8$$

$$MAPE P_{hi} = 25\% \pm 0,56$$

$$MAE P_{hi} = 6241,12 \text{ Wh} \pm 7216,9$$

Aumentando il periodo di campionamento:

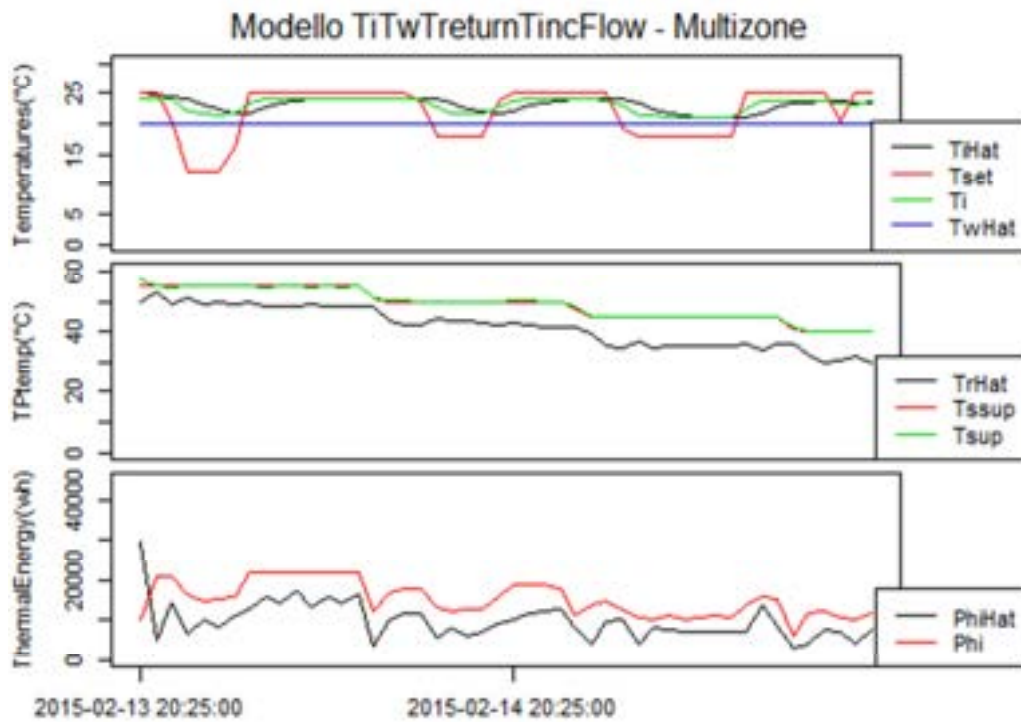


Figura 2.40 circuito TiTwTreturnTincFlow + cambiamento  $T_s$

Considerando anche per questo modello l'aggiunta delle *stanze non controllate*, si introduce il parametro  $T_{retNC}$  calcolato come segue:

$$dT_{retNC} = \left( \frac{1}{C_h R_{ih}} \cdot (T_{inc} - f_1) f_2 + \frac{1}{C_h (R_{iw} + R_{we})} \cdot (T_e - f_1) + \frac{1}{C_h (m T_{sup} - T_{retNC}) \cdot fl \cdot cw} \right) dt + e^{P_{44}} dw_4 \quad (7)$$

Per quanto riguarda i risultati ottenuti è possibile metterli a confronto con il lavoro svolto precedentemente e anche in questo caso si è lavorato principalmente sull'ottimizzazione dei parametri.

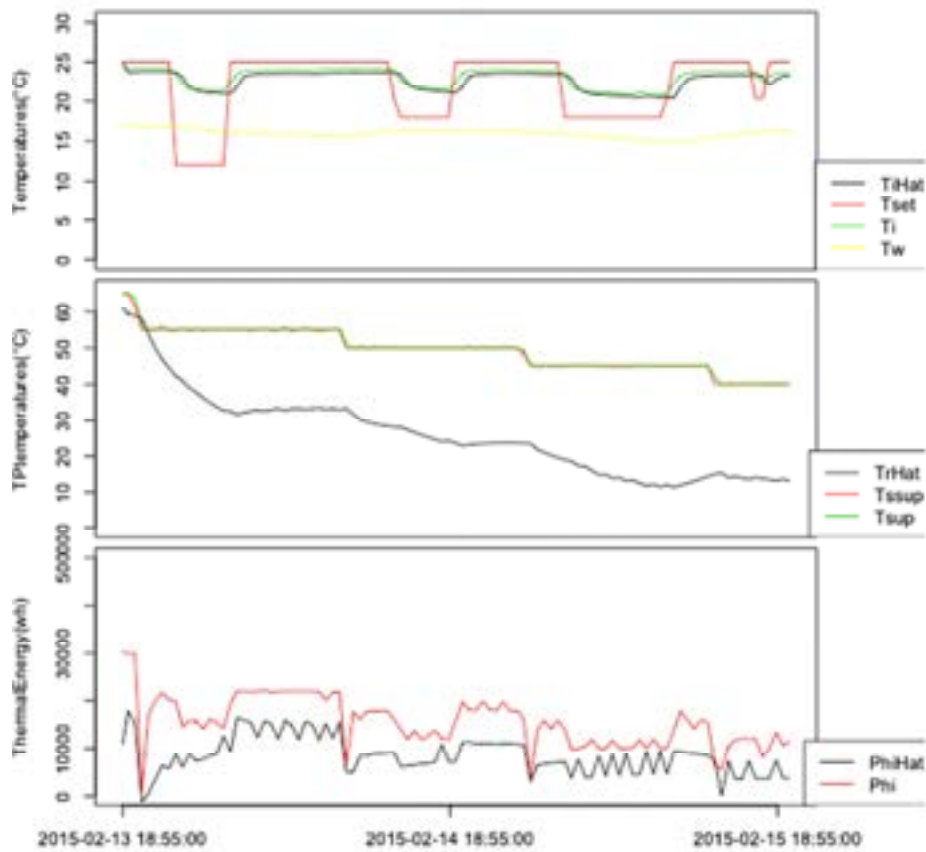


Figura 2.41 circuito TiTwTreturnTincFlow vecchio

L'errore percentuale che si ottiene per la  $T_i$  è pari al 2% mentre quello relativo  $P_{hi}$  è uguale all'11,2%.

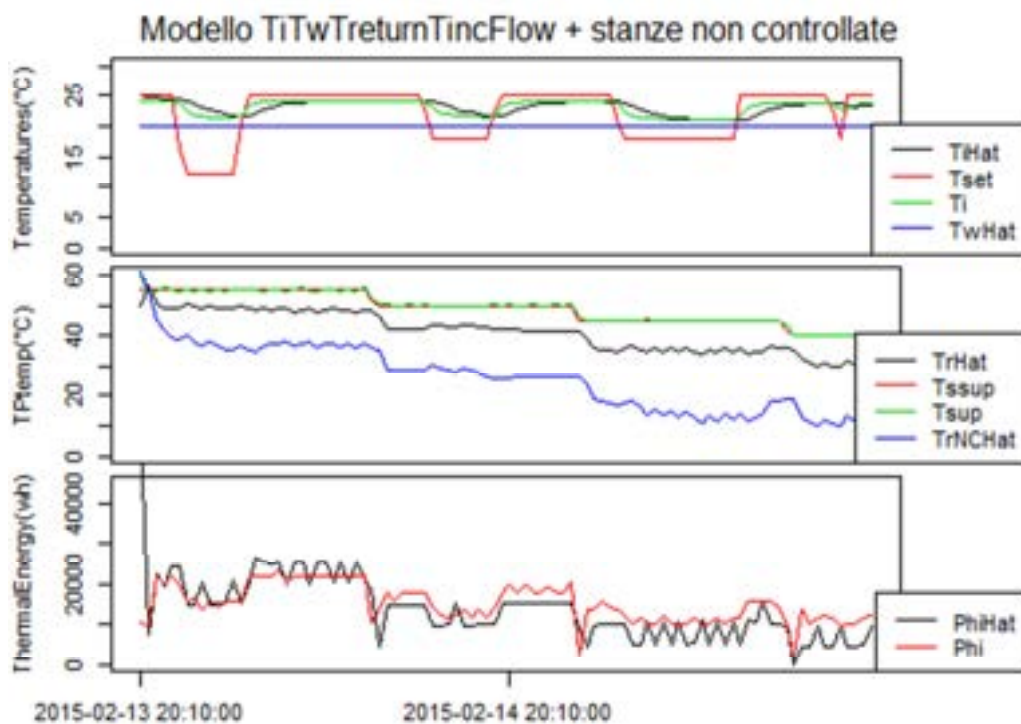


Figura 2.42 con stanze non controllate nuovo

MAPE  $T_i = 2,4\% \pm 0,025$

MAE  $T_i = 0,55 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 0,8$

MAPE  $P_{hi} = 8,5\% \pm 0,55$

MAE  $P_{hi} = 3949,7 \text{ Wh} \pm 6386,1$

Si ottiene dunque un miglioramento oggettivo, basti vedere il valore del MAPE per l'energia termica.

Cambiando il periodo  $T_s$  da 1800 a 3600 si ottiene:

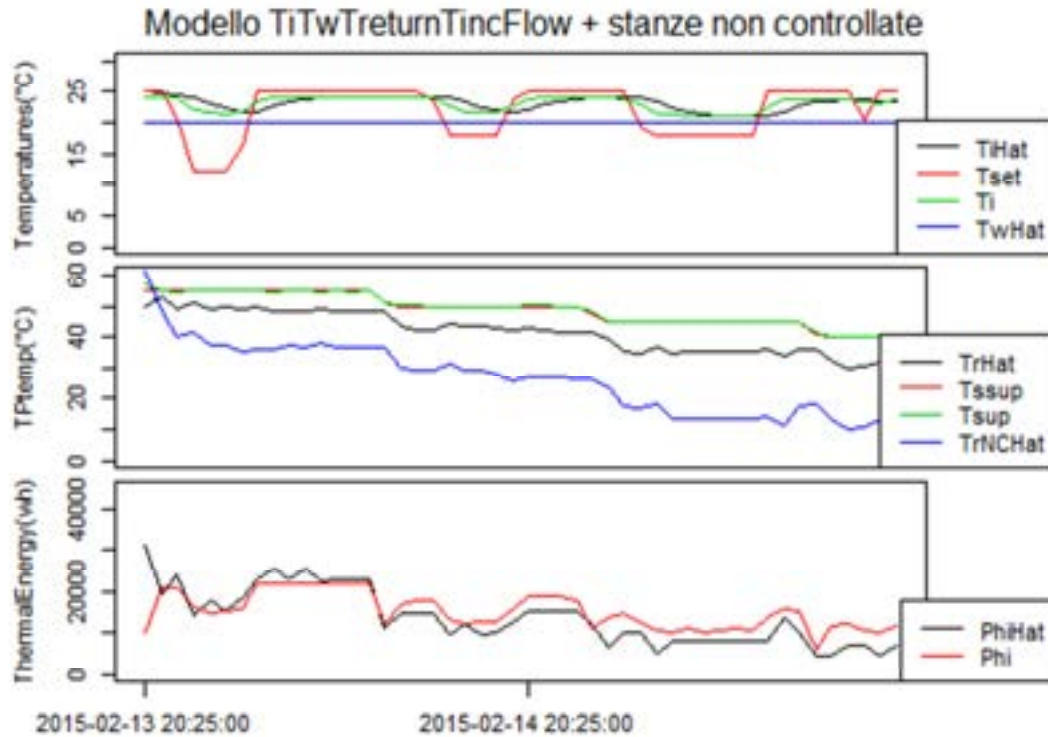


Figura 2.43 con stanze non controllate nuovo + cambio periodo

Per finire l'introduzione della *radiazione solare* va qui a modificare tutte e quattro le  $T_i$  e come prima la  $T_w$ .

$$dT_{iz1} = \left( \frac{1}{C_i R_{ih}} \cdot (f_1 - T_{iz1}) f_2 + \frac{1}{C_i R_{ie}} \cdot (T_w - T_{iz1}) + \frac{1}{C_i R_{ir}} \cdot (T_{incz1} - T_{iz1}) + \frac{A_w}{C_i P_s} \right) dt + e^{P_{11}} dw_1 \quad (8)$$

$$dT_{iz2} = \left( \frac{1}{C_i R_{ih}} \cdot (f_1 - T_{iz2}) f_2 + \frac{1}{C_i R_{ie}} \cdot (T_w - T_{iz2}) + \frac{1}{C_i R_{ir}} \cdot (T_{incz2} - T_{iz2}) + \frac{A_w}{C_i P_s} \right) dt + e^{P_{12}} dw_2 \quad (9)$$

$$dT_{iz3} = \left( \frac{1}{C_i R_{ih}} \cdot (f_1 - T_{iz3}) f_2 + \frac{1}{C_i R_{ie}} \cdot (T_w - T_{iz3}) + \frac{1}{C_i R_{ir}} \cdot (T_{incz3} - T_{iz3}) + \frac{A_w}{C_i P_s} \right) dt + e^{P_{13}} dw_3 \quad (10)$$

$$dT_{iz4} = \left( \frac{1}{C_i R_{ih}} \cdot (f_1 - T_{iz4}) f_2 + \frac{1}{C_i R_{ie}} \cdot (T_w - T_{iz4}) + \frac{1}{C_i R_{ir}} \cdot (T_{incz4} - T_{iz4}) + \frac{A_w}{C_i P_s} \right) dt + e^{P_{14}} dw_4 \quad (11)$$

$$dT_w = \left( \frac{1}{C_w R_{iw}} \cdot (T_i - T_w) + \frac{1}{C_w R_{we}} \cdot (T_e - T_w) + \frac{A_w}{C_w P_s} \right) dt + e^{P_{22}} dw_2 \quad (12)$$

Non si ha molta influenza nemmeno in questo caso, abbiamo semplicemente un peggioramento dell'errore sulla  $T_i$ . Ma comunque la previsione più importante, l'energia termica, non viene graficamente modificata mentre in termini di errore si nota un leggero peggioramento.

Numericamente si ha:

$$MAPE T_i = 4\% \pm 0,036$$

$$MAE T_i = 0,92 \text{ °C} \pm 1,09$$

$$MAPE P_{hi} = 8,7\% \pm 0,55$$

$$MAE P_{hi} = 3949,7 \text{ Wh} \pm 6386,14$$

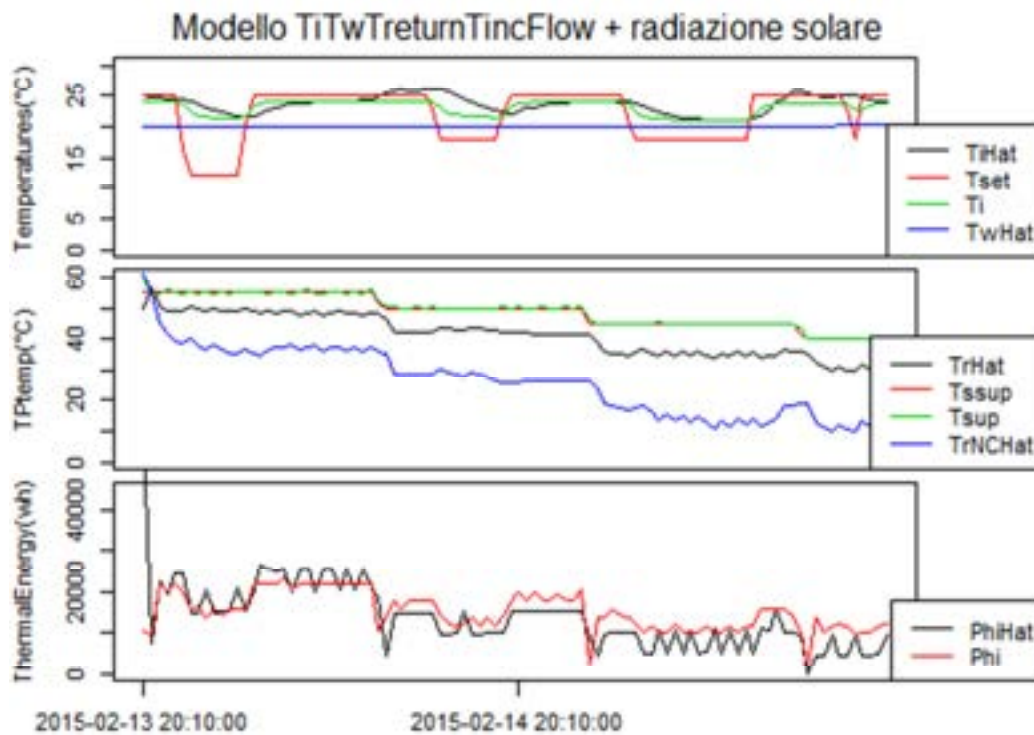


Figura 2.44 con radiazione solare

A conclusione del capitolo si ha un confronto tra i due modelli esaminati e tra le differenti varianti degli stessi. Il confronto si baserà esclusivamente sul calcolo degli errori medi e un riassunto degli stessi lo si trova nella tabella seguente.

Dai dati riportati in tabella è possibile stabilire che in termini di errore sulla temperatura i modelli sono equivalenti, si ottengono infatti gli stessi valori e gli stessi andamenti. Dal punto di vista del consumo termico invece il modello TiTwTreturnTinc ha una risposta migliore, anche nelle due varianti.

Nonostante questo comunque anche il modello TiTwTreturnTincFlow può essere considerato un buon modello, disponendo di un errore medio poco più alto ma dovendo tener conto dell'aggiunta di un grado di difficoltà (la suddivisione a zone dello smart building).

	$MAPE T_i$	$MAE T_i$	$MAPE P_{hi}$	$MAE P_{hi}$
<b>TiTwTreturnTinc</b>	2,4%±0,024	0,55 °C±0,77	15%±0,6	4215,6 Wh±7214,4
<b>TiTwTreturnTinc stanze non controllate</b>	+ 2,4%±0,024	0,55 °C±0,77	5,4%±0,56	3839,9 Wh±6453,2
<b>TiTwTreturnTinc radiazione solare</b>	+ 4%±0,035	0,92 °C±1,04	6,6%±0,56	3995,6 Wh±6502,2

<i>TiTwTreturnTincFlow</i>	2,4%±0,025	0,55 °C±0,8	25%±0,56	6241,1 Wh±7216,9
<i>TiTwTreturnTincFlow + stanze non controllate</i>	2,4%±0,025	0,55 °C±0,8	8,5%±0,55	3949,7 Wh±6386,1
<i>TiTwTreturnTincFlow + radiazione solare</i>	4%±0,036	0,92 °C±1,09	8,7%±0,55	3939,7 Wh±6386,1

**Tabella 2.8 : riepilogo modelli**

### 2.2.3 Gestione edificio F40 nel periodo estivo

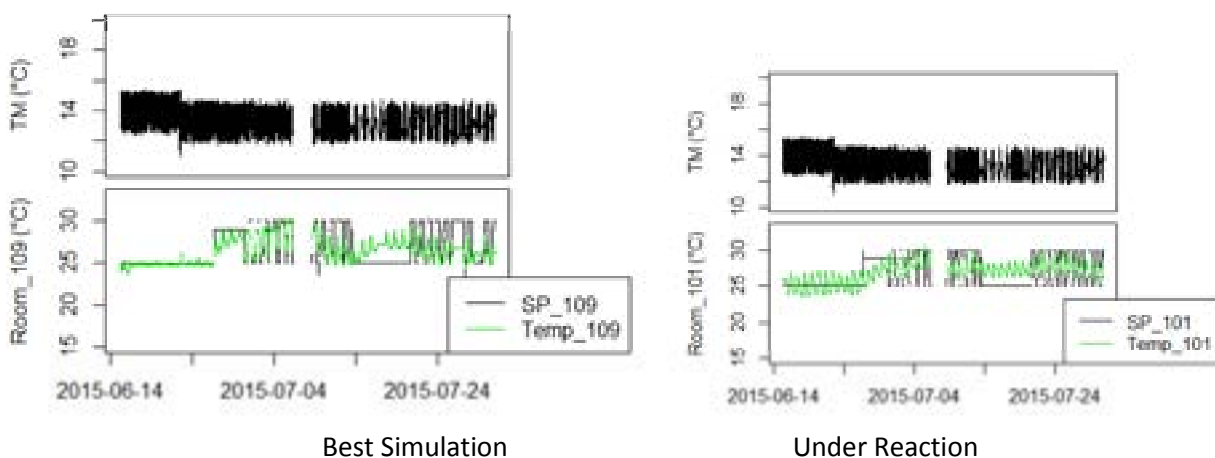
Dualmente a quanto fatto per la stagione invernale, è stato analizzato il comportamento di ogni stanza appartenente allo stabile. Anche in questo caso non sono state considerate le stanze chiuse e quante non possedevano un controllo in temperatura. Suddividendo i risultati in cinque categorie (anziché sei, non avendo stanze con comportamento costante) i risultati sono diversi dalla stagione invernale.

<i>Input reaction</i>	<i>Rooms</i>	<i>Number</i>	<i>%</i>
<b>Best simulation</b>	011,100,105,109,110,111,112	7	17%
<b>Under reaction</b>	003,006,007,101,102,103,104,106,205,213,214,215,216	13	33%
<b>Outlier</b>	004,114,201,202,204,206,209,CR,SC,SR	10	22%
<b>Outscale</b>	200,211,212	3	6%
<b>No reaction</b>	005,008,009,107,108,113,203,207,208,210	10	22%

**Tabella 2.9 : confronto comportamento stanze**

Come si può vedere si ha che un gran numero delle stanze non segue bene la variazione del setpoint. Questo comportamento non ottimale è legato ad una non corretta taratura dei termostati all'interno delle stanze e anche ad un flusso di acqua non omogeneo per ogni piano e quindi stanza dell'edificio (ad esempio quelle al piano terra lavorano meglio delle stanze al secondo piano). Inoltre c'è sempre da considerare anche l'influenza che la persone hanno con i loro gesti quotidiani (es. abbassare la temperatura, aprire porte e finestre ecc. )

Di seguito un esempio per ogni categoria:



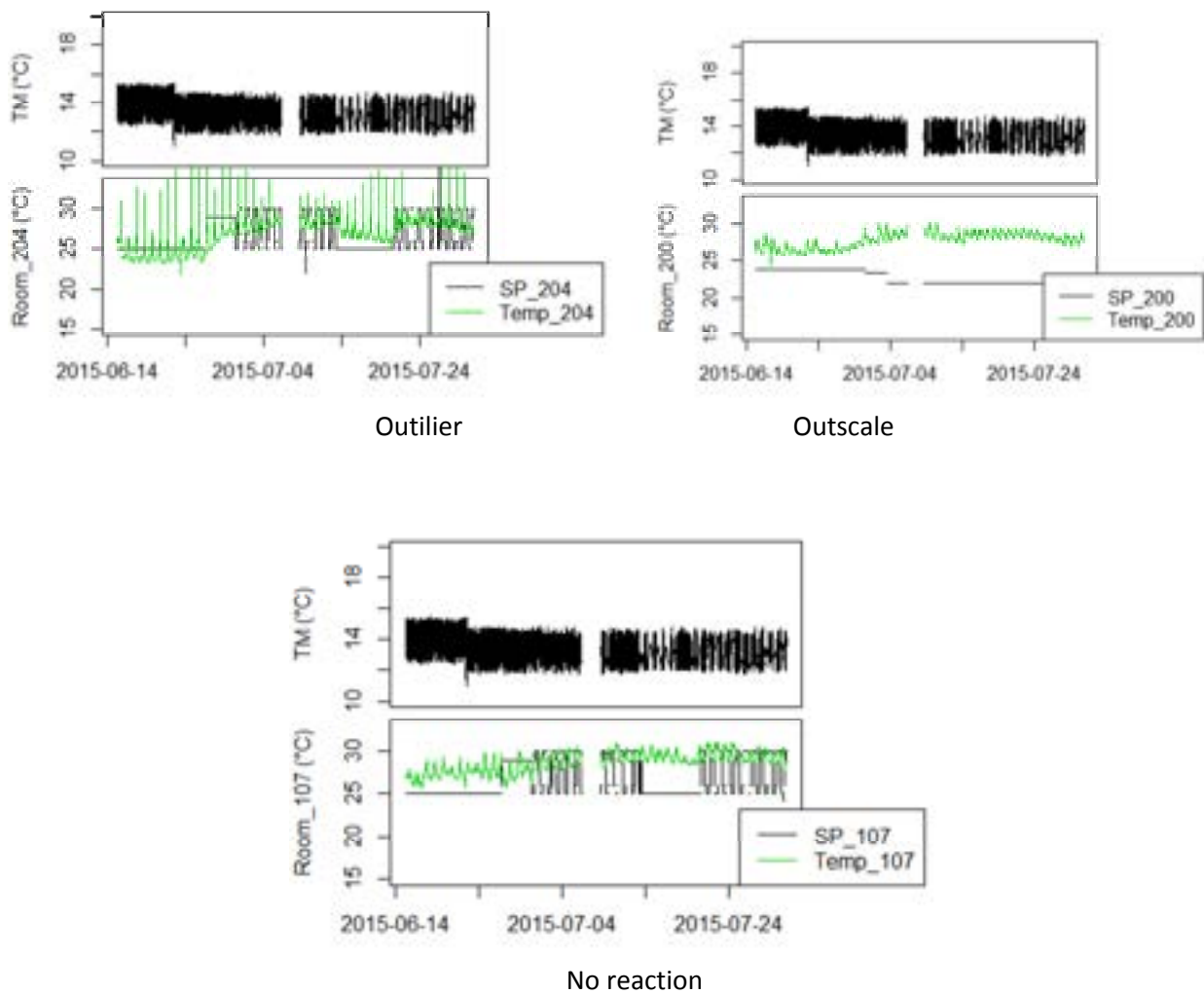


Figura 2.45 comportamento stanze per ogni categoria

La seconda analisi vede come protagonisti l'energia termica, la flow e il confronto medio tra i setpoint e le temperature. Quest'ultimo ovviamente non avrà un andamento ottimale vista la situazione complessiva delle stanze.

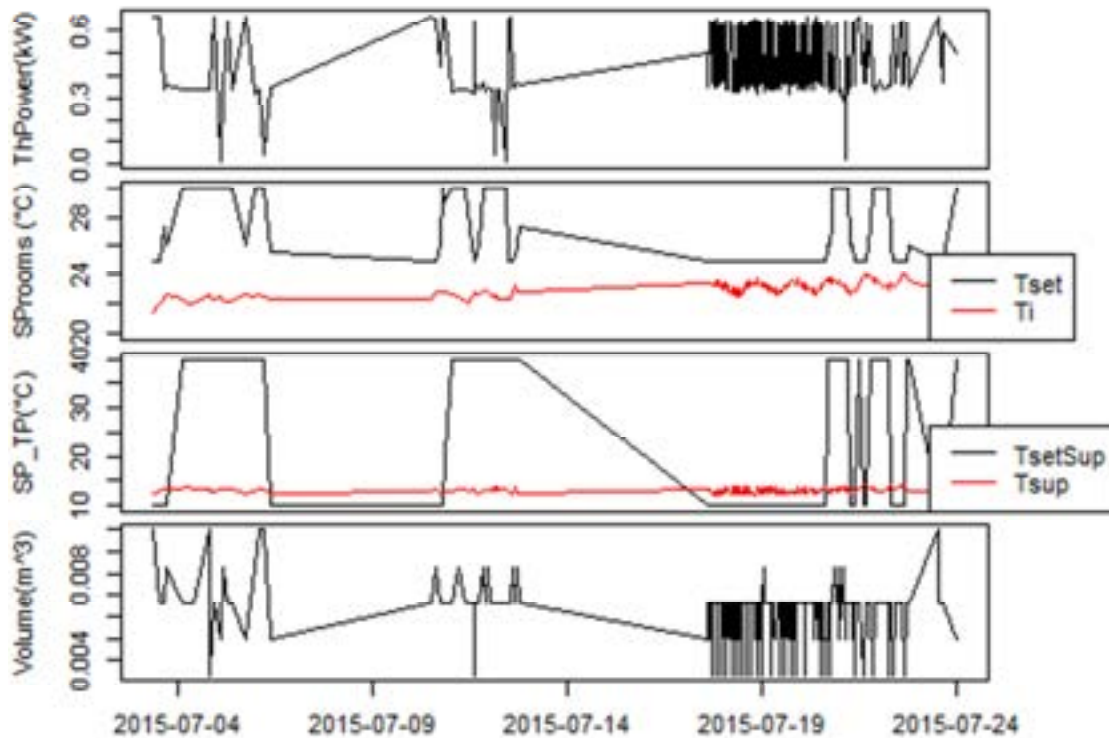


Figura 2.46 analisi comportamento F40

Fatta l'analisi dell'edificio, si può passare ora all'implementazione dei modelli, che com'è stato detto in precedenza sono gli stessi utilizzati nel periodo invernale, con le opportune modifiche applicate.

Le principali differenze tra la stagione invernale e quella estiva sono:

Nel caso della stagione estiva non si ha una temperatura di mandata fissa, ma si sfrutta quella misurata e di conseguenza varierà anche il calcolo della temperatura di ritorno.

Il primo punto influenza il calcolo dell'energia termica che in questo caso avrà un delta di temperatura invertito.

Visto il comportamento delle stanze, si considerano solo quelle non controllate (essendo che un gran numero delle stesse non segue l'andamento corretto).

Nella stagione estiva all'interno della centrale termica entra in gioco anche il chiller che raffredda la temperatura di ritorno dell'acqua.

La radiazione solare ha una maggiore influenza nel periodo estivo sui parametri del sistema rispetto al periodo invernale, anche se nell'intervallo considerato non sarà comunque molto rilevante.

#### Modello TiTwTreturnTinc

Nel modello *TiTwTreturnTinc* s'individuano tre stati  $T_i$ ,  $T_w$  e  $T_{retNC}$  che saranno calcolati grazie alle equazioni differenziali scritte poco più avanti. Gli input del sistema sono invece  $T_{set}$ ,  $T_e$  e  $T_{inc}$  mentre l'output è unico ed è ancora l'energia termica  $P_{hi}$ .

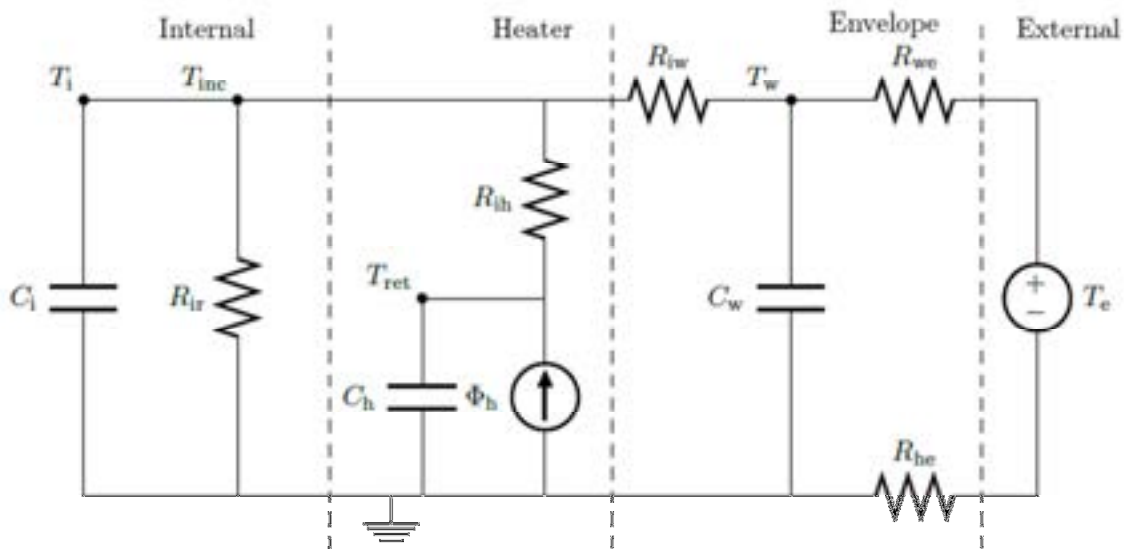


Figura 2.47 circuito  $T_i T_w T_{ret} T_{inc}$

Le equazioni differenziali che descrivono il circuito sono:

$$dT_i = \left( \frac{1}{C_i R_{ih}} \cdot (f_1 - T_i) f_2 + \frac{1}{C_i R_{ie}} \cdot (T_w - T_i) + \frac{1}{C_i R_{ir}} \cdot (T_{inc} - T_i) \right) dt + e^{P_{11}} dw_1 \quad (1)$$

$$dT_w = \left( \frac{1}{C_w R_{iw}} \cdot (T_i - T_w) + \frac{1}{C_w R_{we}} \cdot (T_e - T_w) \right) dt + e^{P_{22}} dw_2 \quad (2)$$

$$dT_{retNC} = \left( \frac{1}{C_h R_{ih}} \cdot (T_i - f_1) f_2 + \frac{1}{C_h (R_{iw} + R_{we})} \cdot (T_e - f_1) + \frac{1}{C_h (m T_{sup} - T_{retNC}) \cdot fl \cdot cw} \right) dt + e^{P_{33}} dw_3 \quad (3)$$

Con:

$$f_1 = \frac{m T_{sup} + T_{retNC}}{2}$$

$$f_2 = \frac{1}{1 + e^{-10(T_{set} - T_i)}}$$

Scelto il periodo tra il 03-07-2015 e il 23-07-2015 i risultati ottenuti sono riportati nei grafici seguenti.

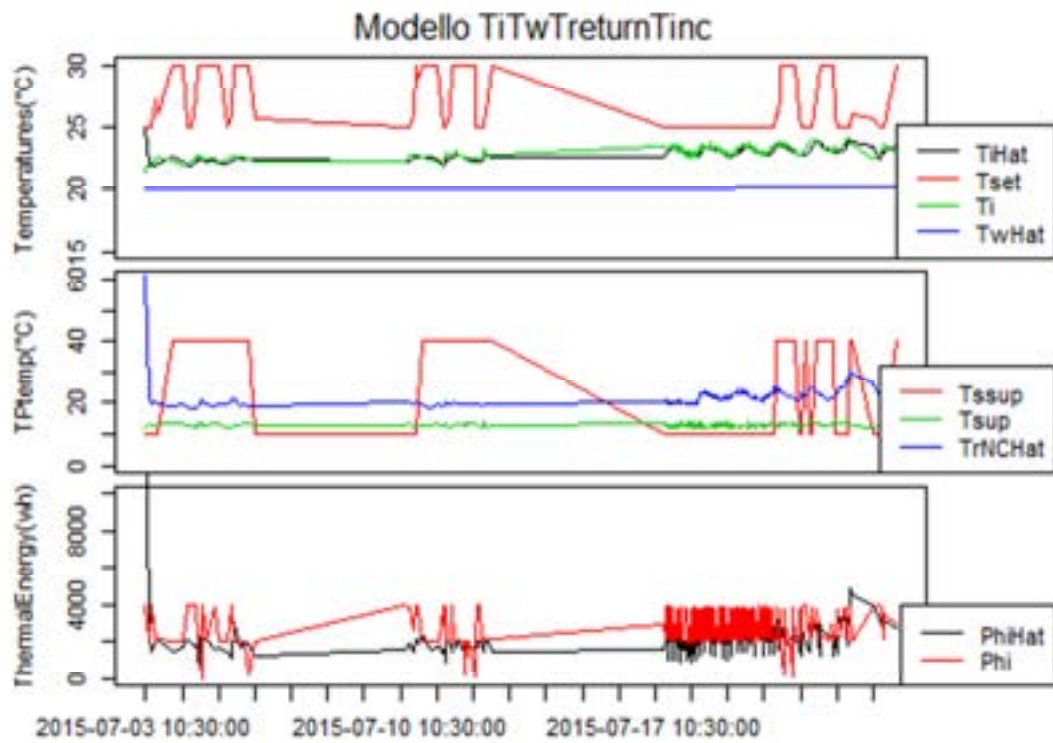


Figura 2.48 risultati TiTwTreturnTinc

MAPE  $T_i = 1\% \pm 0,012$

MAE  $T_i = 0,24 \text{ °C} \pm 0,34$

MAPE  $P_{hi} = 15\% \pm 5,1$

MAE  $P_{hi} = 959,2 \text{ Wh} \pm 1389,2$

La validazione, in altre parole il controllo della capacità di riprodurre il fenomeno reale e della stabilità del modello, è stata fatta dal 01-08-2015 al 14-08-2015.

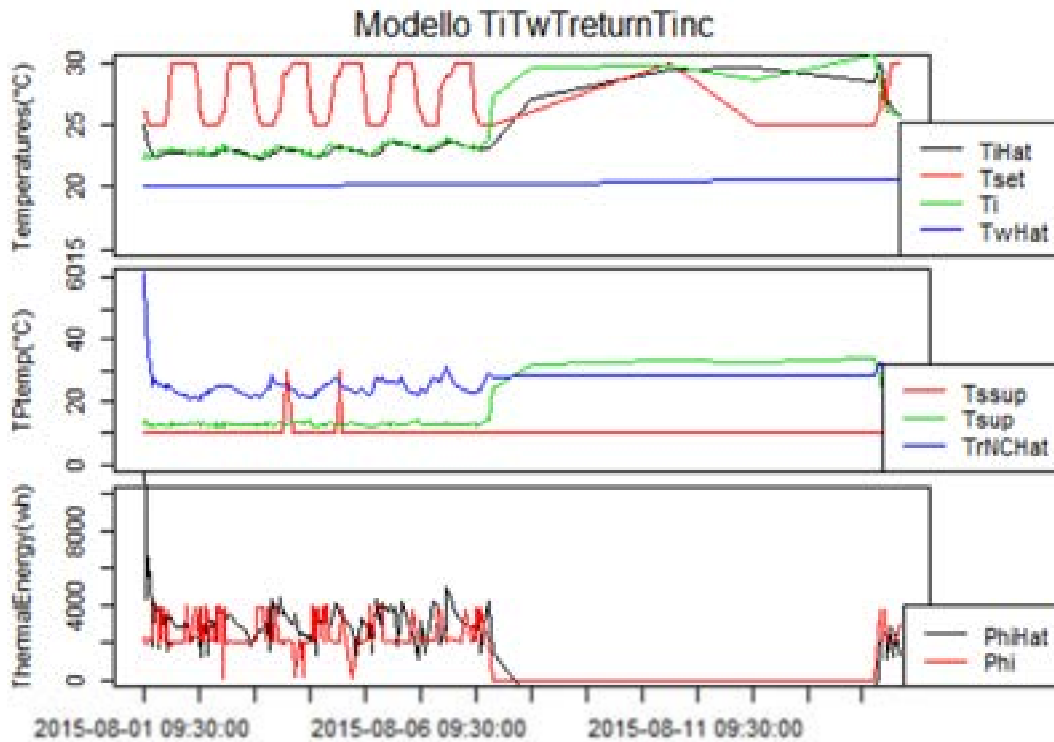


Figura 2.49 validazione modello

Come già anticipato, il calcolo dell'energia termica presenta un delta di temperatura invertito, in particolare si ha:

$$P_{hiHat} \sim (T_{retNC} - mT_{sup}) * (flow) * cwater \quad (4)$$

Non avendo in questo caso separato le camere tra controllate e non controllate, si passa ora direttamente all'introduzione della *radiazione solare*.

Come si sa questa colpisce la temperatura interna e la temperatura dei muri, in particolare si ha rispettivamente, l'aggiunta dei termini  $\frac{A_w}{C_i} * P_s$  e  $\frac{A_w}{C_w} * P_s$  con  $A_w = 148,18$  e  $P_s$  presa dalla centralina meteo e mandata come input.

In questa stagione come anticipato all'inizio del capitolo si ha una maggiore influenza della radiazione solare (essendo in estate) anche se non influirà comunque molto sul valore dell'energia termica.

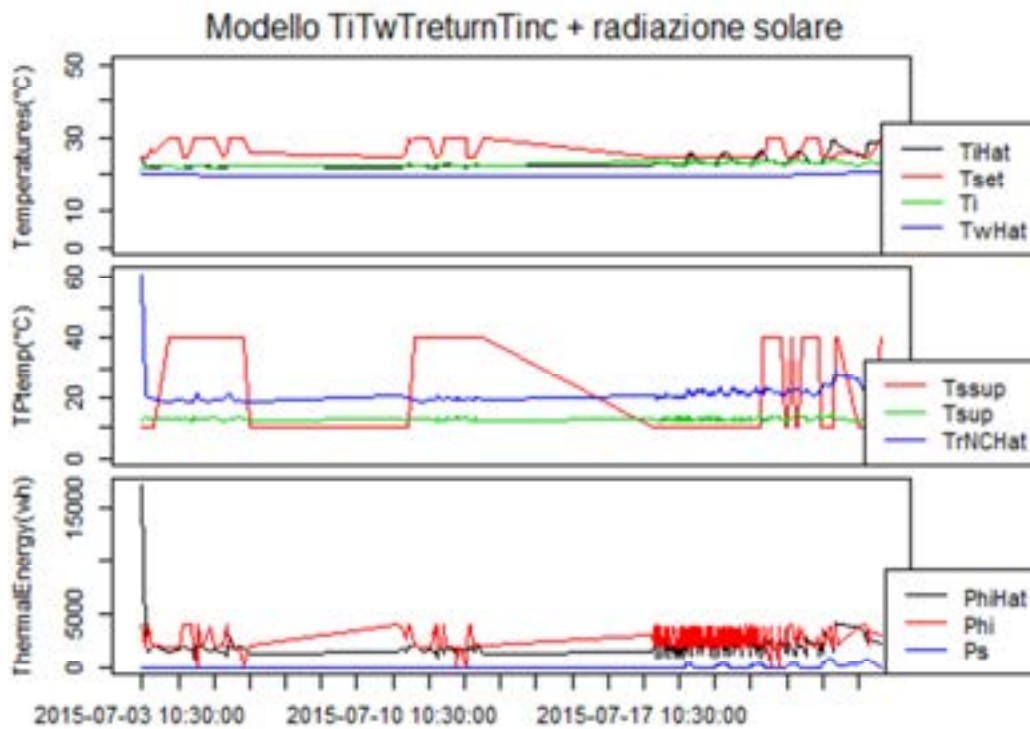


Figura 2.50 modello TiTwTreturnTinc più radiazione solare

In termini di errore si ha: il MAPE per la temperatura interna vale  $3,6 \pm 0,05$  mentre il MAE è  $0,85 \text{ °C} \pm 1,3$ . Per l'energia termica si ha:  $19\% \pm 5,1$  e  $969,24 \text{ Wh} \pm 1367,9$ .

Ugualmente per l'aggiunta della radiazione solare è stata fatta la validazione per lo stesso periodo sopra citato.

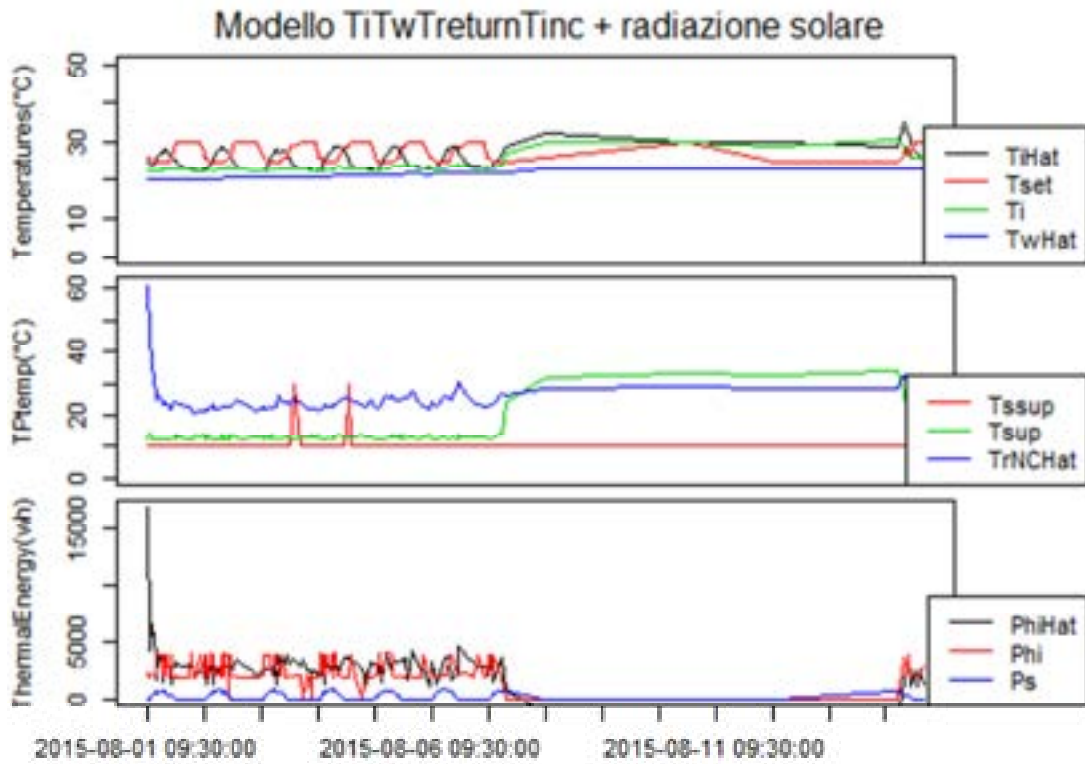


Figura 2.51 modello TiTwTreturnTinc più radiazione solare

Modello TiTwTreturnTincFlow

Nel modello *TiTwTreturnTincFlow* viene effettuata la suddivisione in zone dell'edificio, in particolare si hanno quattro zone termali.

Si individuano tre stati  $T_i$ ,  $T_w$  e  $T_{retNC}$  come nel modello precedente ma la  $T_i$  verrà calcolata per ogni zona termale. Gli input del sistema sono invece  $T_{set}$ ,  $T_e$ ,  $T_{inc}$  e la *flow* mentre l'output è l'energia termica  $P_{hi}$ .

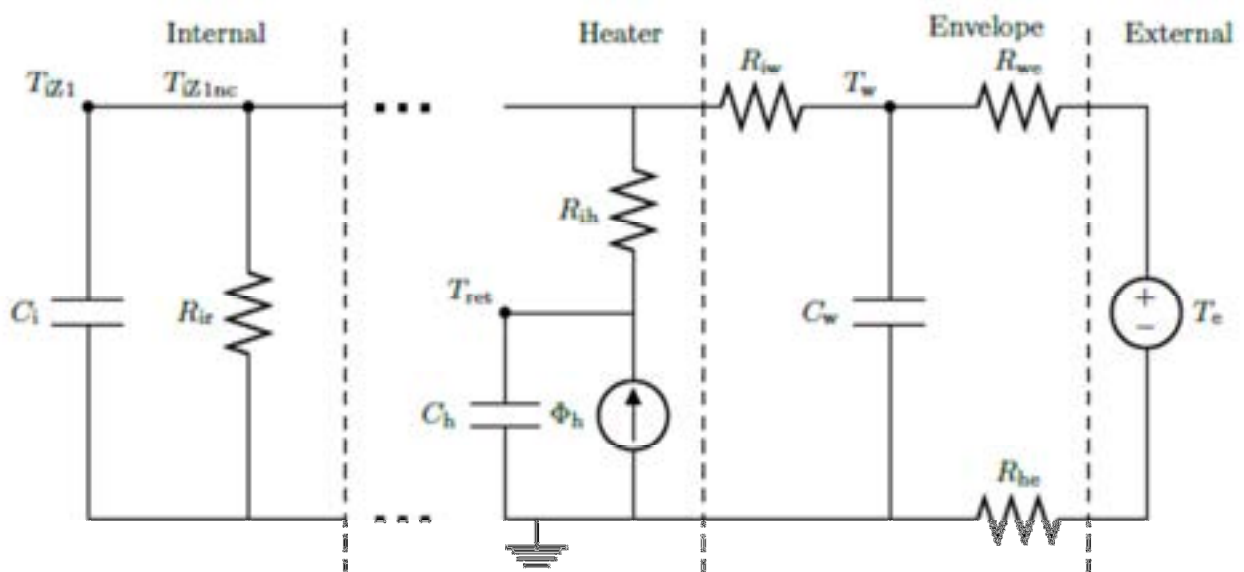


Figura 2.52 circuito TiTwTreturnTincFlow

Le equazioni differenziali che rappresentano il sistema sono:

$$dT_{iz1} = \left( \frac{1}{C_i R_{ih}} \cdot (f_1 - T_{iz1}) f_2 + \frac{1}{C_i R_{ie}} \cdot (T_w - T_{iz1}) + \frac{1}{C_i R_{ir}} \cdot (T_{incz1} - T_{iz1}) \right) dt + e^{P_{11}} dw_1 \quad (1)$$

$$dT_{iz2} = \left( \frac{1}{C_i R_{ih}} \cdot (f_1 - T_{iz2}) f_2 + \frac{1}{C_i R_{ie}} \cdot (T_w - T_{iz2}) + \frac{1}{C_i R_{ir}} \cdot (T_{incz2} - T_{iz2}) \right) dt + e^{P_{12}} dw_2 \quad (2)$$

$$dT_{iz3} = \left( \frac{1}{C_i R_{ih}} \cdot (f_1 - T_{iz3}) f_2 + \frac{1}{C_i R_{ie}} \cdot (T_w - T_{iz3}) + \frac{1}{C_i R_{ir}} \cdot (T_{incz3} - T_{iz3}) \right) dt + e^{P_{13}} dw_3 \quad (3)$$

$$dT_{iz4} = \left( \frac{1}{C_i R_{ih}} \cdot (f_1 - T_{iz4}) f_2 + \frac{1}{C_i R_{ie}} \cdot (T_w - T_{iz4}) + \frac{1}{C_i R_{ir}} \cdot (T_{incz4} - T_{iz4}) \right) dt + e^{P_{14}} dw_4 \quad (4)$$

$$dT_w = \left( \frac{1}{C_w R_{iw}} \cdot (T_i - T_w) + \frac{1}{C_w R_{we}} \cdot (T_e - T_w) \right) dt + e^{P_{22}} dw_2 \quad (5)$$

$$dT_{retNC} = \left( \frac{1}{C_h R_{ih}} \cdot (T_i - f_1) f_2 + \frac{1}{C_h (R_{iw} + R_{we})} \cdot (T_e - f_1) + \frac{1}{C_h (m T_{sup} - T_{retNC}) \cdot fl \cdot cw} \right) dt + e^{P_{33}} dw_3 \quad (6)$$

I risultati che derivano da questo secondo modello sono qui tracciati:

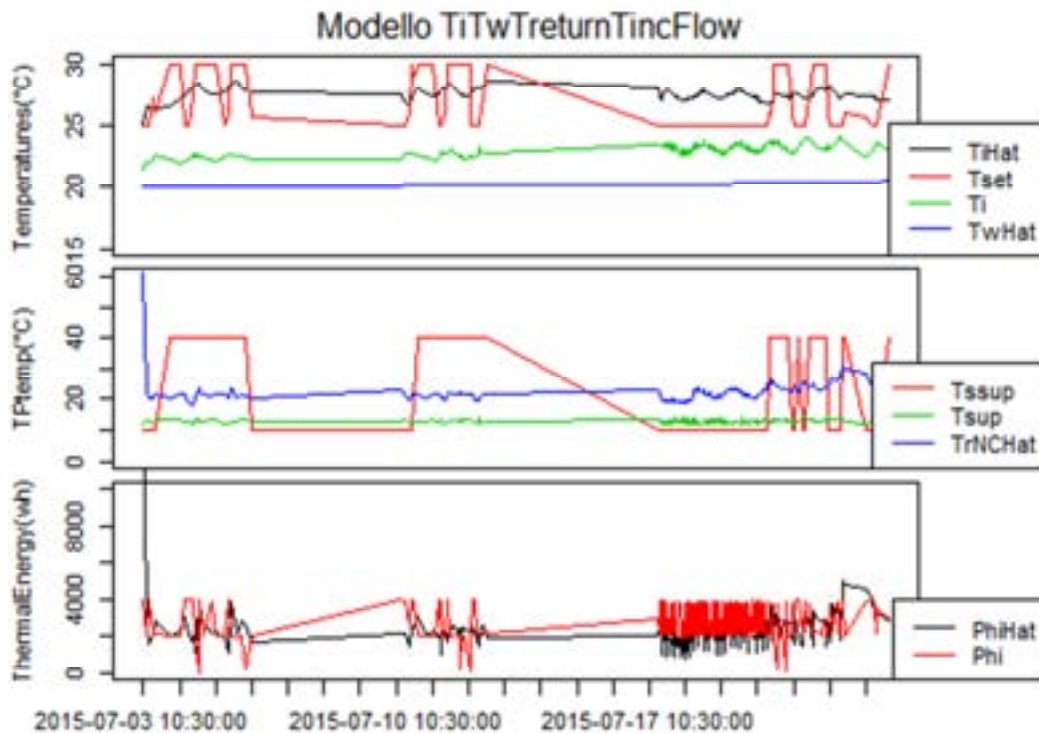


Figura 2.53 TiTwTreturnTincFlow con le sole stanze non controllate

Avendo preso in considerazione le sole stanze non controllate, il calcolo dell'energia termica è lo stesso dell'altro modello:

$$P_{hiHat} \sim (T_{retNC} - mT_{sup}) * (flow) * cwater \quad (7)$$

In termini di errore qui si ha: per la temperatura  $19\% \pm 0,03$  e  $4,4^{\circ}\text{C} \pm 0,6$  invece per l'energia termica  $10,6\% \pm 6,8$  e  $997,8 \text{ Wh} \pm 1447,63$ .

Validazione:

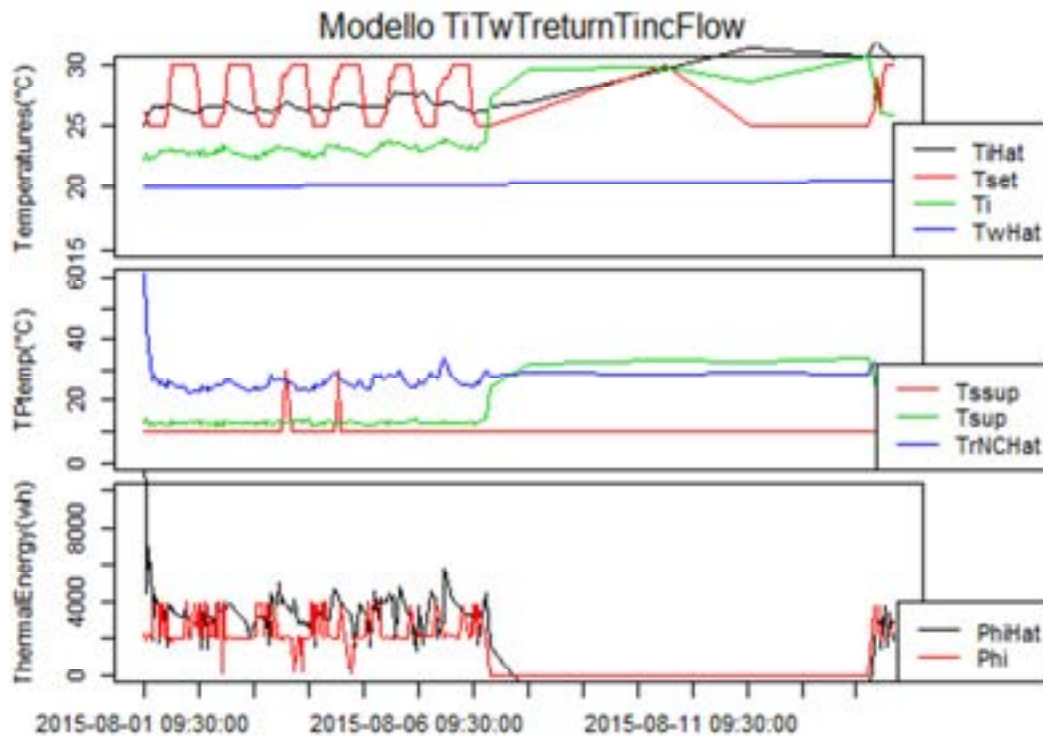


Figura 2.54 validazione

L'ultimo passo come sempre riguarda la *radiazione solare*.

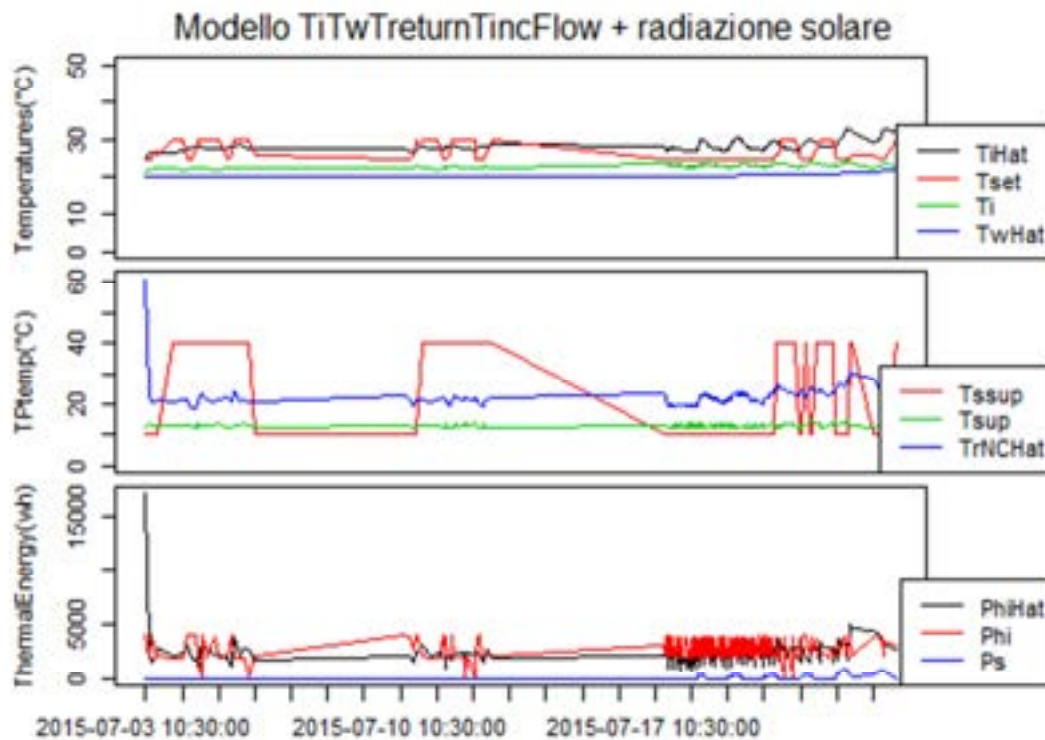


Figura 2.55 TiTwTreturnTincFlow con la radiazione solare

MAPE  $T_i = 22\% \pm 0,04$

MAE  $T_i = 5,22 \text{ °C} \pm 1,14$

MAPE  $P_{hi} = 11,6\% \pm 6,8$

MAE  $P_{hi} = 1009,8 \text{ Wh} \pm 1447,63$

Anche se a occhio risulta difficile da notare, anche perché la scala è leggermente diversa, in questo caso si ha un gap più alto tra la  $T_i$  e la  $T_iHat$ .

Si conclude il paragrafo con la validazione del modello con la radiazione solare.

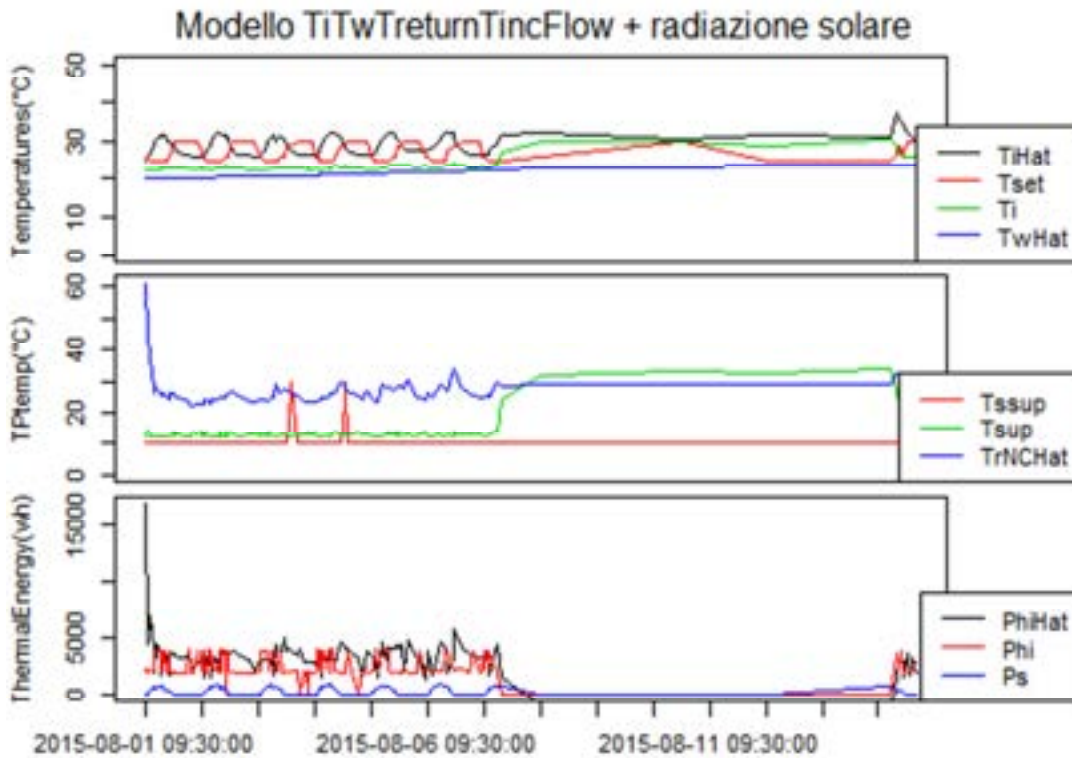


Figura 2.56 validazione

A conclusione del capitolo si ha un confronto tra i due modelli esaminati. Il confronto si baserà anche in questo caso sul calcolo degli errori medi, i cui valori si trovano nella tabella 5.2.

	MAPE $T_i$	MAE $T_i$	MAPE $P_{hi}$	MAE $P_{hi}$
<i>TiTwTreturnTinc</i>	1%±0,012	0,24 °C±0,34	15%±5,1	959,2 Wh±1389,2
<i>TiTwTreturnTinc</i> + <i>radiazione solare</i>	3,6%±0,05	0,85 °C±1,3	19%±5,1	969,2 Wh±1367,9
<i>TiTwTreturnTincFlow</i>	19%±0,03	4,4°C±0,6	10,6%±6,8	997,8 Wh±147,6
<i>TiTwTreturnTincFlow</i> + <i>radiazione solare</i>	22%±0,04	5,22 °C±1,14	11,6%±6,8	1009,8 Wh±1447,6

Tabella 2.10 : sintesi confronto modelli

Dalla tabella si evince, anche per la stagione estiva, un migliore comportamento del modello *TiTwTreturnTinc* in termini di temperatura. Questo probabilmente è dovuto al fatto che il comportamento delle stanze è non controllato, quindi fare una suddivisione dell’edificio in zone termiche non può portare benefici. Per prima cosa perché introduciamo un’ulteriore incertezza e poi perché non avendo un gran numero di stanze che si comporta correttamente nelle quattro zone vengono considerate troppe poche camere e quindi troppi pochi dati.

Per quanto riguarda invece l’energia termica ha una migliore approssimazione dell’altro modello. Indubbiamente la situazione nel periodo estivo deve essere migliorata tenendo conto anche nel consumo elettrico relativo al sistema di raffreddamento dell’acqua.

In conclusione, questa attività ha riguardato la modellazione e calibrazione di un modello termico (energia e temperatura interna) invernale dell’edificio e di uno estivo. Per la stagione invernale si è raggiunto un errore medio assoluto percentuale (MAPE) del 5,4% per quanto riguarda l’energia termica, mentre per la stagione estiva si è ottenuto come MAPE migliore per l’energia termica il 10,6%.

## 2.3 Sviluppo di funzionalità per un simulatore di micro-distretto orientato alla gestione attiva della domanda (Università Politecnica delle Marche)

I temi sviluppati nell'ambito del presente accordo di collaborazione tra ENEA e il Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche dell'Università Politecnica delle Marche riguardano l'aggiunta di funzionalità orientate allo studio di scenari di Demand-Response in un simulatore di micro-distretto già oggetto di sviluppo nel precedente triennio. Per dettagli ed approfondimenti si fa riferimento al rapporto RdS/PAR2015/158

Descrizione delle attività:

- A. Modellazione di impianti di produzione fotovoltaica
- B. Calibrazione di sistemi di accumulo termico ed elettrico
- C. Simulazione di scenari migliorativi dell'attuale edificio F40 in ottica Demand-Response
- D. Simulazione di scenari migliorativi dell'attuale micro-distretto in ottica Demand-Response
- E. Miglioramento del simulatore

### 2.3.1 Modellazione di impianti di produzione fotovoltaica

Il modello Simulink di un impianto fotovoltaico è stato realizzato per calcolare le principali grandezze di output dell'impianto partendo dalla conoscenza dei parametri caratteristici dei pannelli che lo costituiscono. Questi parametri sono comunemente riportati nei datasheet del costruttore per normativa. In particolare, il modello implementato permette di calcolare come output:

- $P_m$  [W]: La potenza elettrica direttamente in uscita dai pannelli;
- $P_o$  [W]: La potenza elettrica disponibile in uscita a valle dell'inverter (utile);
- $\eta_T$ : L'efficienza totale del sistema;

avendo in ingresso:

- $T_a$  [°C]: La temperatura ambiente;
- $G_T$  [W/m<sup>2</sup>]: L'irradianza totale perpendicolare al piano dei pannelli.

e conoscendo l'area totale dei pannelli installati  $A_p$  [m<sup>2</sup>] insieme ad i seguenti parametri delle celle fotovoltaiche impiegate:

- $NOCT$  [°C] *Nominal operating cell temperature*. E' la temperatura raggiunta dalle celle fotovoltaiche in condizioni di funzionamento nominali.
- $\eta_{ref}$  *Reference Efficiency (STC)*: Efficienza delle celle alle condizioni standard di prova;
- $\beta_{ref}$  [°C<sup>-1</sup>] *Temperature coefficient (STC)*: Coefficiente di temperatura delle celle;
- $T_{ref}$  [°C] *Reference Cell Temperature (STC)*: Temperatura celle alle condizioni standard di prova;
- $h_i$  *Inverter efficiency*: Efficienza dell'inverter considerata costante.

Tali parametri sono riportati da normativa nei datasheet dei costruttori dei pannelli fotovoltaici. Il modello sviluppato è molto flessibile e consente di simulare impianti sia per diverse tipologie di pannello fotovoltaico (monocristallino, policristallino...) sia per differenti costruttori in commercio.

Con **condizioni nominali** si intendono le seguenti condizioni di funzionamento:

1. Irradianza sulla superficie della cella pari a 800 W/m<sup>2</sup>;
2. Temperatura dell'aria di 20°C;
3. Velocità del vento pari a 1 m/s;
4. Pannello libero sulla superficie posteriore.

Con **condizioni standard di prova (STC)** si intendono invece le seguenti condizioni:

1. Irradianza sulla superficie della celle pari a 1000 W/m<sup>2</sup>;
2. Temperatura celle di 25°C;

3. Distribuzione spettrale AM=1.5.

Per poter calcolare la potenza in uscita da un pannello solare è necessario prima di tutto determinare la temperatura di funzionamento delle celle fotovoltaiche. Un'espressione approssimata per il calcolo di questa temperatura in funzione delle condizioni ambientali insieme alla relazione del rendimento dei pannelli sono riportate in dettaglio nel report esteso. Queste relazioni sono state implementate in Simulink ottenendo il modello in Figura 2.57. In questo modello i parametri inseriti da maschera sono evidenziati in blu, gli ingressi in verde e le uscite in rosso. La Figura 2.58 mostra invece la simulazione della produzione fotovoltaica di due settimane.

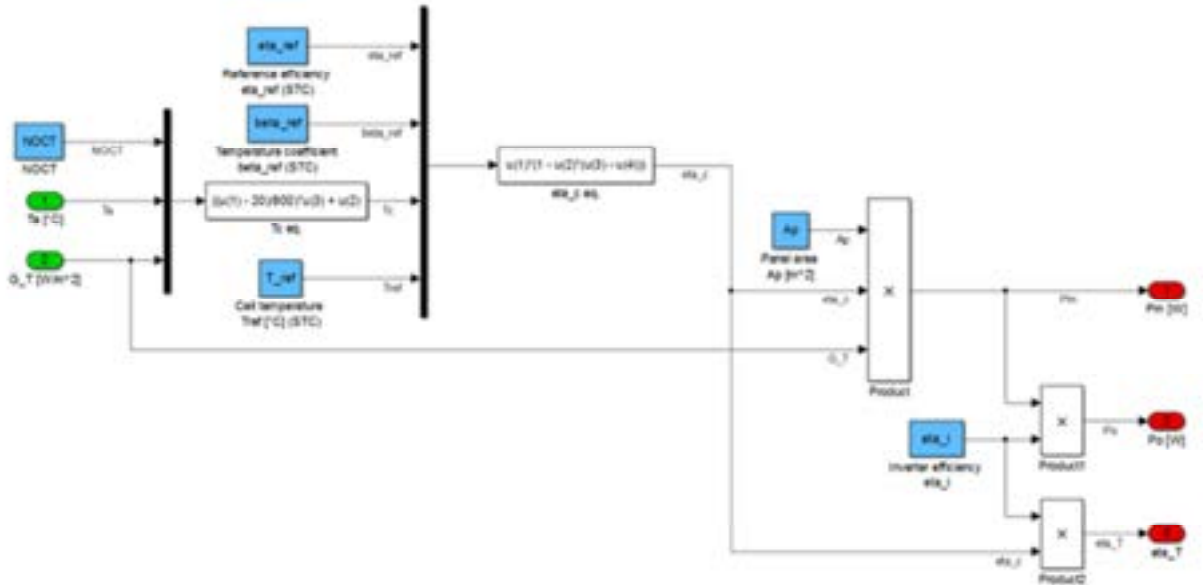


Figura 2.57. Modello Simulink dei pannelli fotovoltaici e dell'inverter.

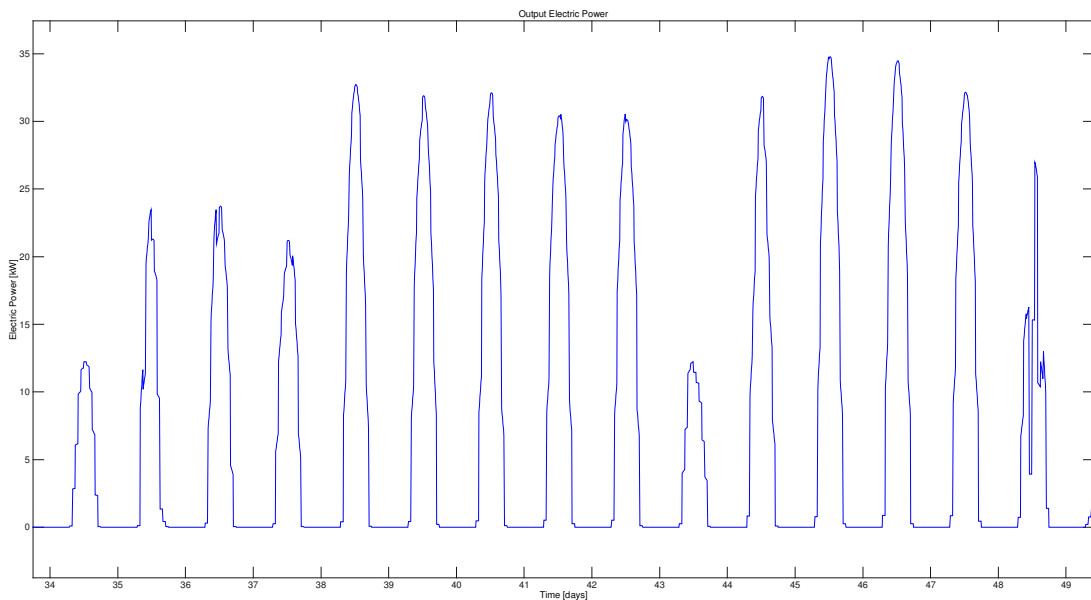


Figura 2.58. Modello Simulink dei pannelli fotovoltaici e dell'inverter.

2.3.2 Calibrazione di sistemi di accumulo termico ed elettrico

Nella scorsa annualità abbiamo presentato il modello per la simulazione di uno storage termico. Il modello suddivideva l'accumulo in tre zone per simularne la stratificazione. In questa annualità abbiamo modellato anche uno storage termico a singola zona. Entrambi i modelli sono stati calibrati confrontandoli con i dati provenienti da un accumulo termico reale. La Figura 2.59 mostra l'andamento di una simulazione per una settimana di funzionamento. In particolare si può notare come i cicli di carica e scarica giornalieri simulino molto bene l'andamento della temperatura reale misurata all'uscita dello storage. La Figura 2.59 mostra anche come il modello riesca a simulare molto bene la scarica spontanea dello storage (i due giorni in cui non ci sono picchi. Il confronto tra le linee stratificate e la temperatura reale non deve indurre in errore: infatti, è importante sottolineare che non avendo potuto monitorare la temperatura all'interno dello storage, la temperatura reale è misurata nel pozzetto di uscita dello storage stesso. Quindi la linea blu nei due giorni in cui lo storage non viene utilizzato, misura solamente l'andamento della temperatura nell'acqua del pozzetto appena fuori lo storage termico. Nel momento in cui lo storage viene riattivato, la temperatura reale misura nuovamente quella all'interno dell'accumulo termico ed i due valori, reale e simulato, si riallineano istantaneamente ad un valore di temperatura più basso di quello rilevato durante l'ultima carica perché nei due giorni lo storage ha disperso parte del calore al suo interno (scarica spontanea). La Figura 2.60 mostra un dettaglio del momento in cui finisce la fase di carica e comincia la fase di scarica dell'accumulo termico.

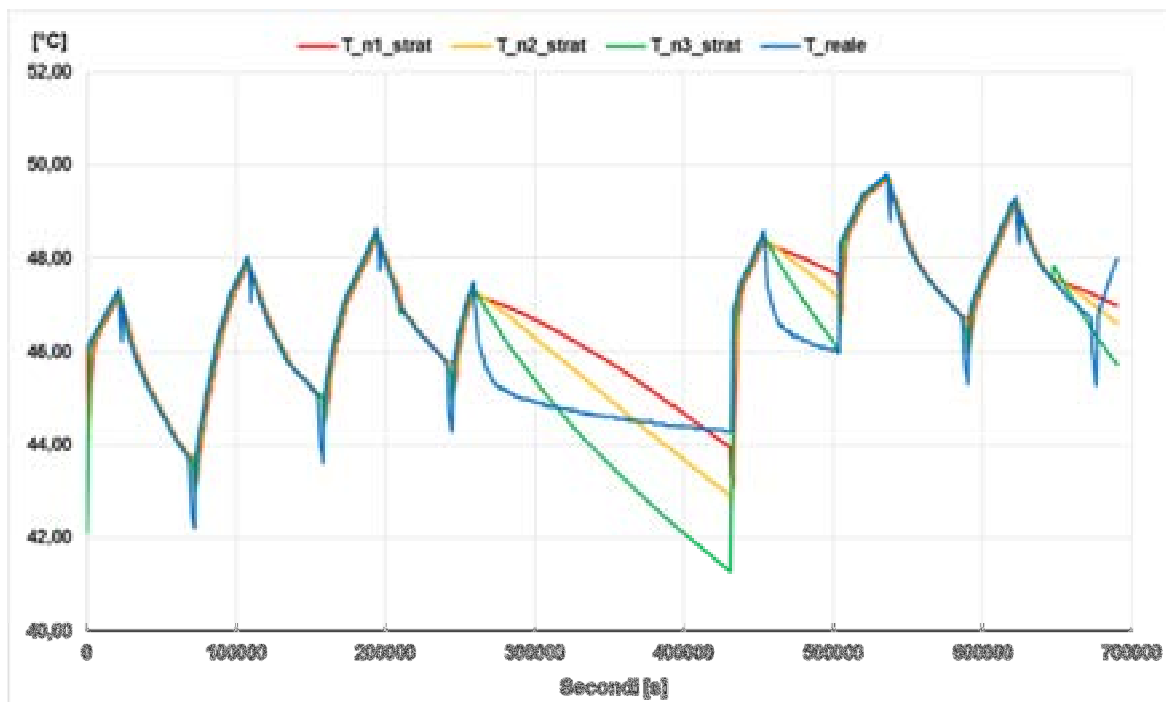


Figura 2.59. Confronto T reale – T modello stratificato a 3 nodi

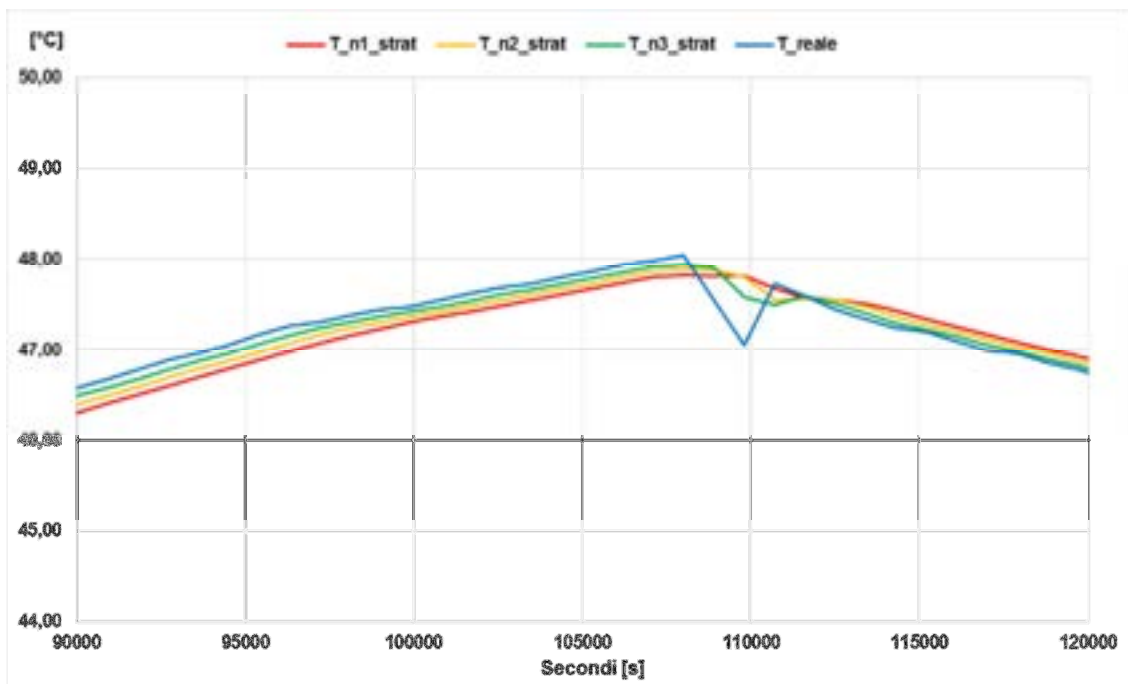


Figura 2.60. Particolare della variazione di temperatura T tra i nodi

Nella scorsa annualità abbiamo presentato anche il modello per la simulazione di uno storage elettrico. La calibrazione del modello di accumulo elettrico si è concentrata principalmente sulla simulazione dello “Stato di Carica” (SOC), tenendo sempre sotto controllo il fatto che la tensione di porta  $V_{ab}$  modellata rientrasse nell’intervallo di funzionamento dello storage. Il tempo di campionamento utilizzato e riportato in ascissa è di 15 minuti.

I passaggi per la calibrazione sono stati:

- confronto con modello preliminare
- analisi della fase di carica e scarica
- analisi dell’andamento della tensione  $V_{ab}$  (tensione variabile)
- calibrazione con rendimento sulla corrente

Si può notare come il comportamento in carica e scarica sia il più complesso da modellare (Figura 2.61). In particolare: i) Il modello prevede una carica più repentina soprattutto nella fase iniziale, con un conseguente raggiungimento del valore massimo in un arco di tempo minore; ii) La scarica modellata risulta essere più decisa e brusca, con un arrivo al valore di soglia minimo anticipato rispetto al caso reale. Il risultato migliore è stato ottenuto introducendo anche un coefficiente correttivo della batteria applicato alla corrente (Figura 2.62).

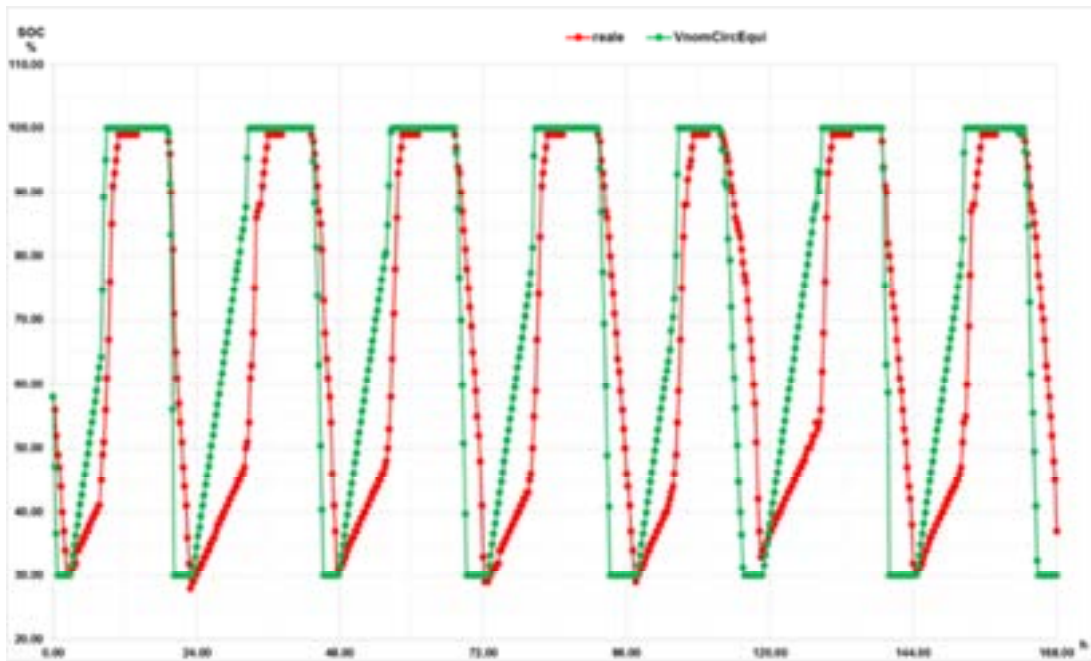


Figura 2.61 Confronto dell'andamento del SOC tra le prime simulazioni ed i dati sperimentali

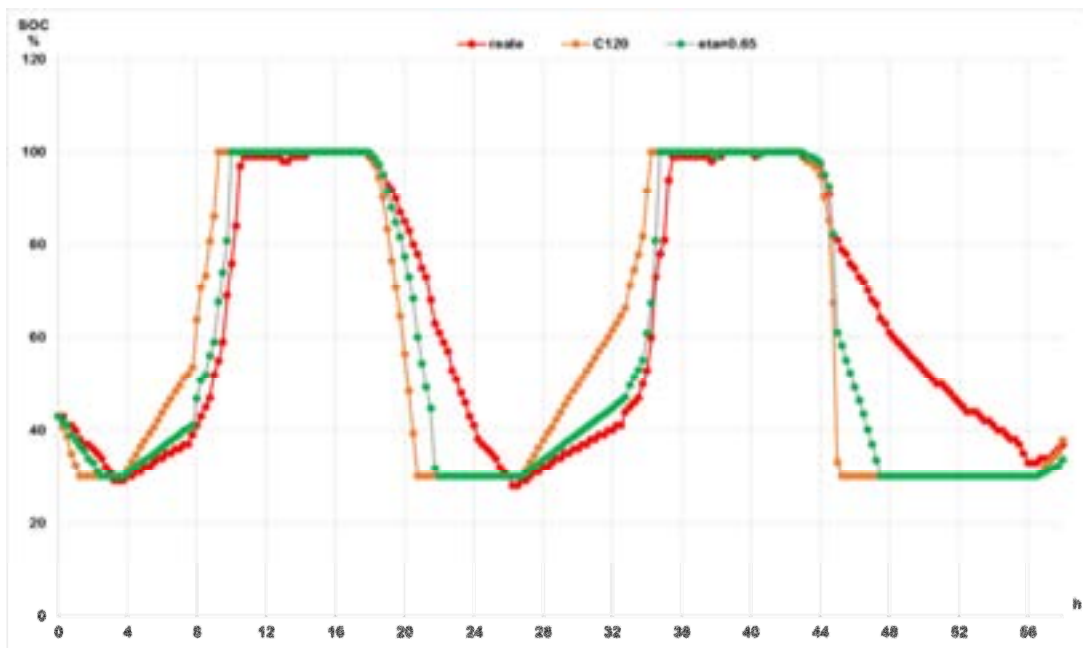


Figura 2.62 Confronto dell'andamento del SOC tra le ultime simulazioni ed i dati sperimentali

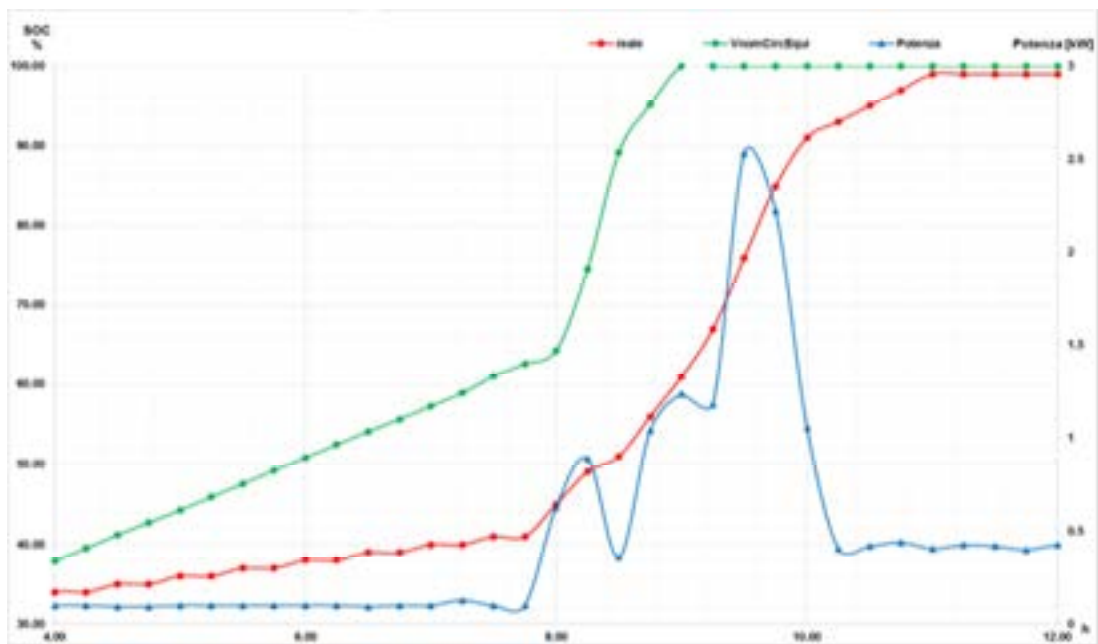


Figura 2.63 Particolare della fase di carica dello storage elettrico (simulato vs. reale)

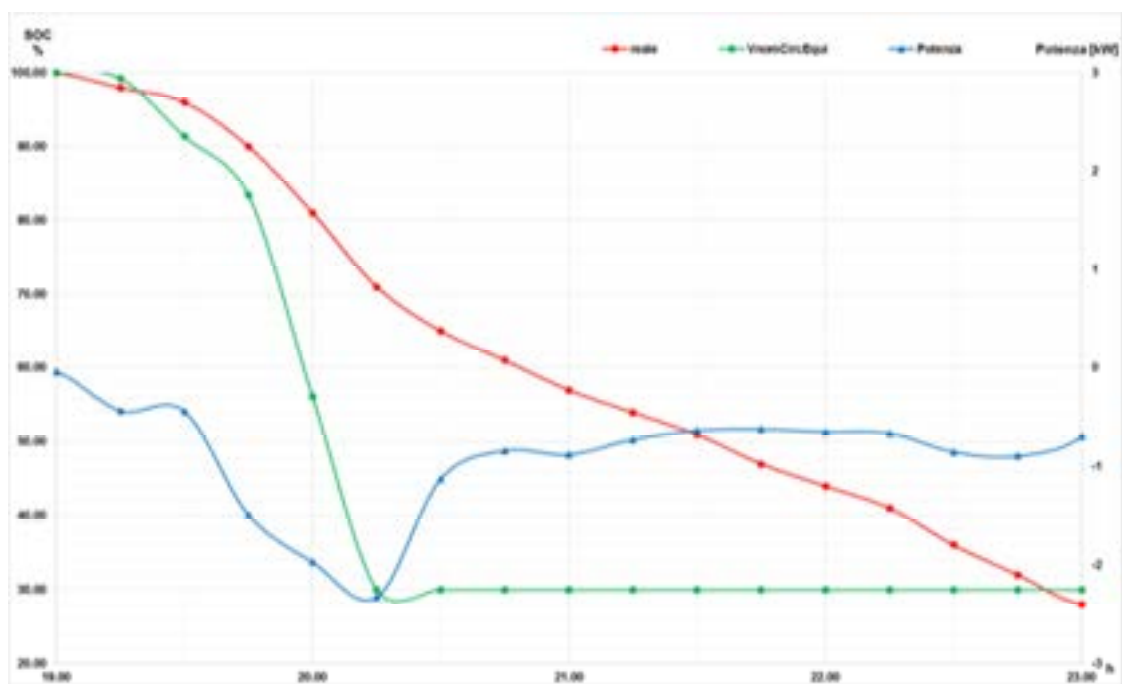


Figura 2.64. Particolare della fase di scarica dello storage elettrico (simulato vs. reale)

### 2.3.3 Simulazione di scenari migliorativi dell'attuale edificio F40 in ottica Demand-Response

Il simulatore sviluppato nelle annualità precedenti è stato utilizzato per studiare la possibilità di installare nell'edificio F40 una pompa di calore per poter soddisfare sia il fabbisogno termico invernale che quello frigorifero estivo. Inoltre è stata simulata la possibilità di soddisfare parte della domanda elettrica dell'edificio con un impianto fotovoltaico.

Dati utilizzati nella simulazione:

- Set-point invernale nei locali riscaldati: 21°C;
- Set-point estivo nei locali raffrescati: 25°C;
- Temperatura di mandata estiva: 10 °C;

- Temperatura di mandata invernale: 65 °C;
- Dati climatici: dati climatici dell'anno medio della centralina METEONORM di Ciampino. Pur avendo a disposizione un anno reale per il C.R. Casaccia (2013), si è preferito usare l'anno medio della centralina Meteonorm di Roma Ciampino, in quanto rappresentativo di un periodo più lungo (10 anni) e quindi meno soggetto alle singolarità dei singoli anni.

L'edificio F40 è stato simulato considerando gli apporti gratuiti delle apparecchiature elettriche e delle presenze.

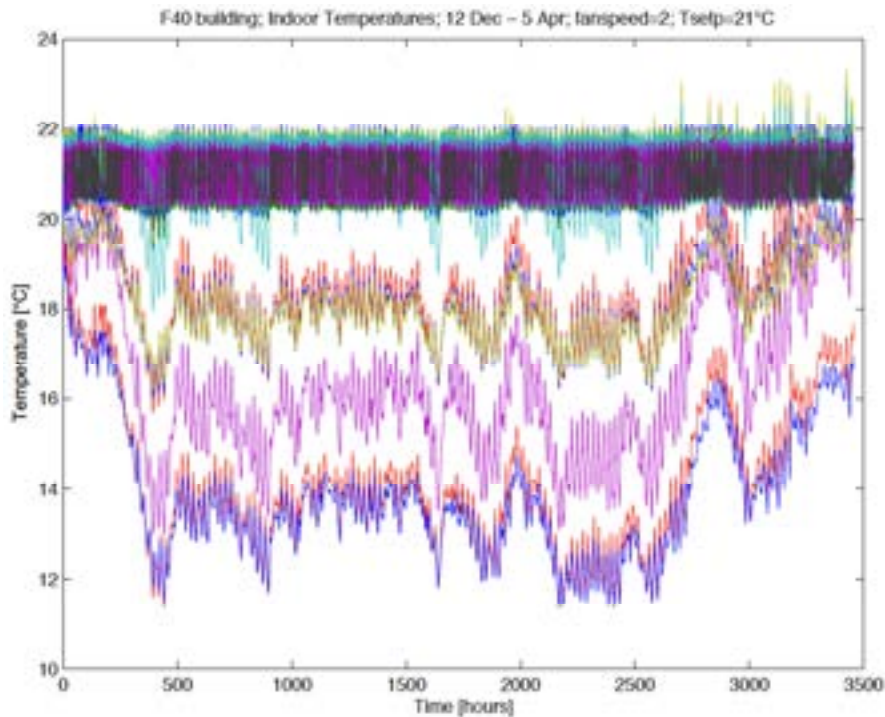


Figura 2.65. temperature interne invernali

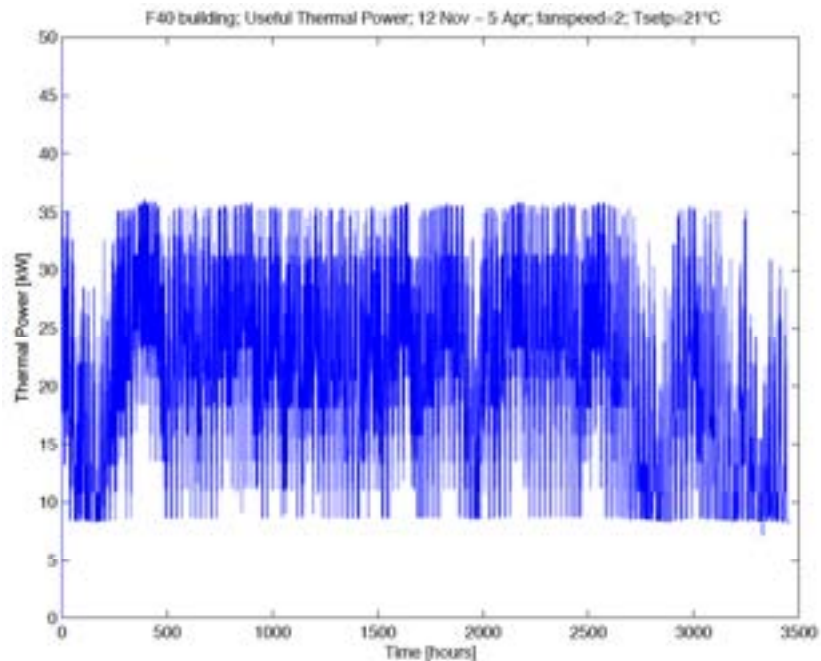


Figura 2.66. potenza termica invernale

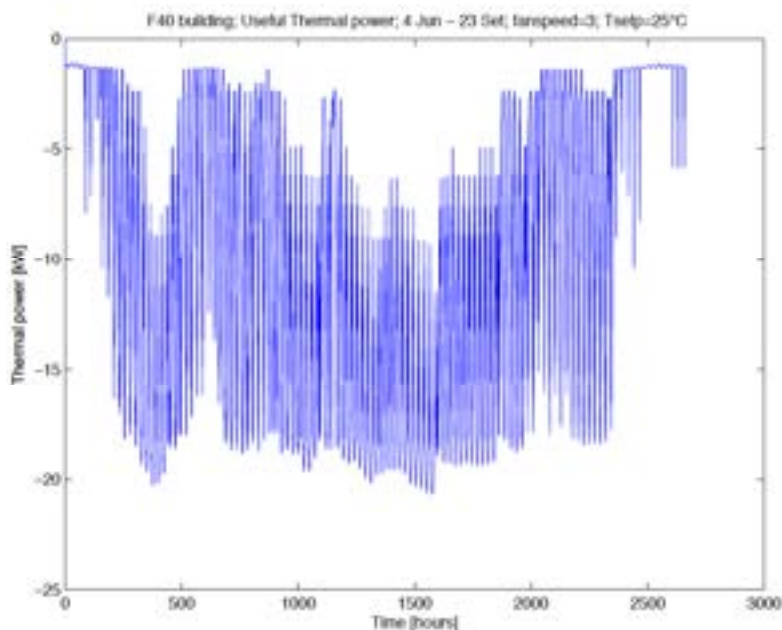


Figura 2.67. Potenza frigorifera estiva

Inverno	Potenza termica pompa di calore	36 kWt
	Potenza elettrica pompa di calore	15 kWe
	COP	2.5
	<b>Potenza termica pompa di calore suggerita (coefficiente sicurezza 0.75)</b>	<b>48 kWt</b>
	Energia termica prodotta nel periodo di riscaldamento	71 MWht
	Metano risparmiato con caldaia ( $\eta_{t, medio\ annuo}=84\%$ ) in F40	8900 m <sup>3</sup>
	Metano risparmiato in impianto TLR	n.d.
Estate	Potenza frigorifera pompa di calore (inclusa UTA)	65 kWf
	Potenza elettrica pompa di calore (inclusa UTA)	30 kWe
	COP	2.3
	<b>Potenza termica pompa di calore (inclusa UTA) suggerita (coefficiente sicurezza 0.75)</b>	<b>90 kWf</b>
	Energia frigorifera prodotta nel periodo di raffrescamento (inclusa UTA)	155 MWhf
	Consumo elettricit� pompa di calore	67 MWhe
	Metano risparmiato in impianto TLR	n.d.
Fotovoltaico	Potenza installabile	45 kWp
	Producibilit� (ipotesi 1300 kWh/kWp)	~ 60 MWhe
	Superficie richiesta netta	~ 600 m <sup>2</sup>

Tabella 2.11 Quadro sinottico riassuntivo dei risultati delle simulazioni

### 2.3.4 Simulazione di scenari migliorativi dell'attuale micro-distretto in ottica Demand-Response

Tra gli scenari migliorativi simulati per il distretto vi   il confronto tra l'utilizzo di una pompa di calore centralizzata (district cooling/heating) e l'utilizzo di pi  pompe di calore, ciascuna asservita ad un edificio. Entrambi gli scenari sono stati simulati con e senza impianto fotovoltaico e considerando tre diverse temperature, rispettivamente, di setpoint indoor  $T_s$  (23, 24, 25  C) e del fluido termovettore  $T_m$  (7, 10, 12  C). Sono stati simulati 10 giorni di funzionamento (12 Giugno 2014 – 21 Giugno 2014) comprendenti un giorno *sereno*, uno *variabile* ed un terzo *coperto*. La Tabella 2.12 riporta i risultati per i tre giorni e con le diverse condizioni di funzionamento. Dai risultati   possibile notare come:

- Un incremento di due gradi di  $T_m$  a parità di  $T_s$  ( $24^\circ\text{C}$ ) non incide significativamente sul comfort (variazione massima PPD medio  $\leq 0.4\%$ ) consentendo un risparmio energetico dal 3 al 6 per cento nel caso di più pompe di calore e non sempre un risparmio energetico nel caso di pompa di calore centralizzata (non considerando perdite).
- Un incremento di un grado nella  $T_s$  comporta un risparmio energetico in caso di pompa di calore centralizzata dal 3 al 9 per cento e dallo 0.4 al 9 per cento in caso di più pompe di calore, questo con una perdita di comfort che va dal 2.6 al 5.8 per cento in termini di PPD medio su tutto il cluster.

E' possibile concludere quindi che l'incremento di un grado nella temperatura di setpoint comporti un discreto risparmio energetico a fronte di una contenuta riduzione del comfort. Un aumento di due gradi della temperatura di mandata comporta un risparmio energetico con una variazione di comfort trascurabile nel caso di più pompe di calore. Non considerando le perdite, la stessa variazione nella temperatura di mandata non sempre comporta una riduzione dei consumi nel caso di pompa di calore centralizzata.

	Risultati simulazioni: pompa di calore centralizzata / (Pompe di calore distribuite)				
	$T_s=23; T_m=10$	$T_s=24, T_m= 10$	$T_s=25, T_m=10$	$T_s=24, T_m=7$	$T_s=24, T_m=12$
<b>SERENO (13/6/14)</b>					
Energia PV (kWh)	2057	2057	2057	2057	2057
Energia elet. chiller + Fan (kWh)	748 (731)	698 (680)	638 (621)	676 (689)	683 (665)
PPD medio Cluster (%)	13.2	18.6	24.4	18.3	18.8
<b>COPERTO (15/6/14)</b>					
Energia PV (kWh)	968	968	968	968	968
Energia elet. chiller + Fan (kWh)	316 (290)	298 (273)	290 (272)	302 (287)	296 (270)
PPD medio Cluster (%)	13.1	17.1	21.6	17.0	17.4
<b>VARIABILE 17/6/14</b>					
Energia PV (kWh)	1299	1299	1299	1299	1299
Energia elet. chiller + Fan (kWh)	350 (337)	330 (317)	312 (299)	329 (327)	329 (316)
PPD medio Cluster (%)	9.4	12	14.7	11.7	12.4

**Tabella 2.12 Risultati delle simulazioni per tre giorni tipo nei casi con una sola pompa di calore**

### 2.3.5 Miglioramento del simulatore

Da questa annualità e per il prossimo triennio, un obiettivo sarà la progressiva sostituzione, all'interno del simulatore, del blocco di simulazione dell'edificio Hambase (Figura 2.68) con Energy Plus. La decisione è stata dettata principalmente dal fatto che Energy Plus, software open source sviluppato dal Dipartimento di Energia statunitense, ha una comunità di utilizzatori molto più ampia. Inoltre, è possibile utilizzare software (DesignBuilder, Figura 2.69) con una interfaccia grafica che facilita l'inserimento dei dati delle strutture. L'interfacciamento tra il simulatore in Simulink ed Energy Plus può avvenire attraverso il programma MLE+ sviluppato dall'Università della Pennsylvania; il blocco Simulink MLE+ è riportato in Figura 2.70. MLE+ permette la co-simulazione tra Simulink e Energy Plus. In questa annualità, l'attività si è concentrata sul capire le modalità di passaggio delle variabile tra il simulatore ed MLE+

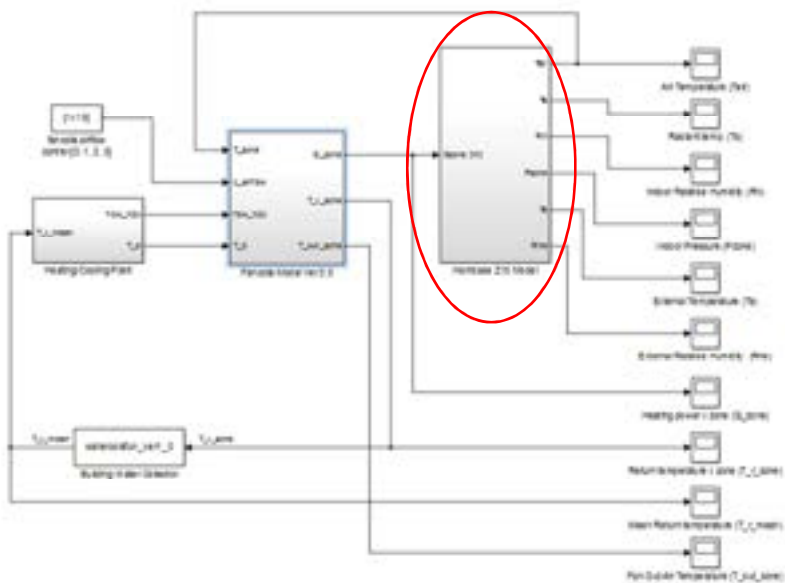


Figura 2.68. Simulatore F40 con Hambase

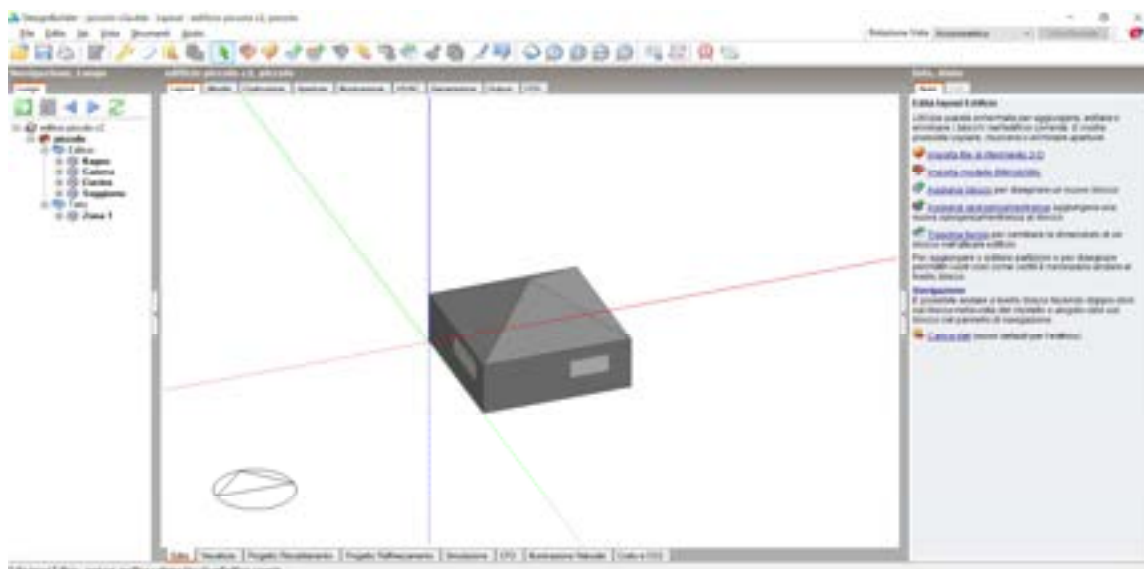


Figura 2.69. Schermata di DesignBuilder

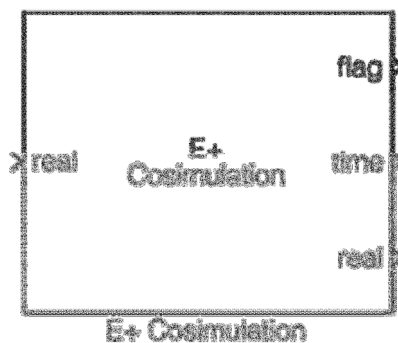


Figura 2.70. Blocco Simulink MLE+

## 2.4 Studio degli scenari di flessibilità di un micro distretto orientato al Demand-Response (Università Roma Tre)

L'attività di ricerca e sviluppo condotta nell'ambito del presente accordo di collaborazione tra ENEA e Università degli Studi Roma Tre (dipartimento di ingegneria) ha proseguito alcuni studi iniziati nelle precedenti annualità (RdS/PAR2014/024) inerenti la gestione energetica efficiente di edifici terziari e ne ha avviato altri riguardanti gli scenari di Demand-Response. Per dettagli ed approfondimenti si fa riferimento al rapporto RdS/PAR2015/157.

In particolare le linee di attività riprese dalle precedenti annualità e ulteriormente sviluppate sono state :

- Definizione e descrizione dei casi d'uso di gestione energetica efficiente degli edifici appartenenti allo "Smart Village" ENEA.
- Strategie di controllo predittivo per la regolazione di temperatura di edifici multi-zona sulla base del livello di occupazione e del prezzo dell'energia
- Le nuove linee di attività hanno riguardato invece:
- Valutazione della flessibilità nell'ambito Demand-Response di un micro distretto costituito da edifici appartenenti allo "Smart Village" ENEA.
- Analisi dei principali open standard di comunicazione orientati al Demand-Response

### 2.4.1 Valutazione della flessibilità nell'ambito Demand-Response di un micro distretto costituito da edifici appartenenti allo "Smart Village"

La presente attività ha avuto come obiettivo la valutazione della flessibilità nell'ambito Demand-Response di un micro distretto di edifici del terziario. Il micro distretto considerato comprende il cluster di edifici ad uso ufficio ed annessa centrale termica appartenenti allo "Smart Village" ENEA: ai fini dell'analisi di flessibilità in ambito Demand-Response si è supposto che il micro distretto includa inoltre elementi di generazione di energia da fonti rinnovabili ed elementi di storage. Oggetto di analisi è stata la domanda elettrica del micro distretto in condizioni di esercizio estive, in particolare si è fatto riferimento al profilo di carico di potenza attiva generale complessivo di tutti gli edifici (che comprende le utenze di illuminazione, fancoil (gruppo frigo nel caso della centrale termica) e forza elettromotrice).

L'attività è stata condotta presso il Centro Ricerche IREC (Catalonia Institute for Energy Research) di Barcellona, attraverso l'impiego di un emulatore di micro-distretto presente nel Centro. Tale emulatore è in grado di replicare il comportamento energetico (elettrico) del micro-distretto, considerando elementi emulati (cabine elettriche per l'emulazione dei profili di carico complessivo e di energia generata da pannelli fotovoltaici) e reali (batterie fisiche utilizzate come elementi di storage). Primo step fondamentale dell'attività è stato pertanto la calibrazione e messa a punto dei singoli elementi costituenti l'emulatore di micro-distretto affinché l'esperimento di emulazione vera e propria risultasse consistente. In particolare, nel caso della calibrazione delle cabine elettriche per l'emulazione dei profili di carico del micro distretto e dei profili di generazione di energia da pannelli fotovoltaici, sono stati utilizzati i dati reali di consumo e meteo (radiazione solare e temperatura) dello Smart Village ENEA. Di seguito sono riportati alcuni dati tecnici relativi alla parte di calibrazione dei singoli elementi dell'emulatore, di cui si è resa necessaria una "scalatura" per via del limite di 4 kW di potenza elettrica massima emulata dalle cabine:

- Carico: Potenza massima reale 111,6 kW; Potenza massima emulata 4 kW.
- Pannelli solari: Potenza di picco reale 102 kWp; Potenza massima solare reale 111,3 kW; Potenza massima solare emulata 3,93 kW.
- Batterie: Potenza massima reale 5 batterie \* 10 kW ca per batteria = 50 kW ca; Potenza massima emulata 1,8 kW ca; Capacità reale 5 batterie \* 23,33 kWh ca per batteria = 116,65 kWh ca; Capacità emulata = 0,175 kWh ca.

Il secondo step dell'attività è consistito nella sperimentazione di tre scenari: il primo ha previsto l'emulazione del comportamento energetico del micro-distretto in presenza degli elementi di generazione e di storage (Scenario 1); il secondo ha previsto i soli elementi di storage (Scenario 2); il terzo ha previsto i soli elementi di generazione (Scenario 3). Per ogni scenario l'obiettivo è stato generare per le 24 ore successive

un profilo energetico ottimizzato di tutti i componenti del micro distretto che minimizzasse i costi giornalieri associati allo scambio di energia tra il micro-distretto e il mercato dell'energia. L'algoritmo di ottimizzazione alla base di questo processo (implementato in CPLEX 12.5 con opzioni standard) utilizza le previsioni di consumo, meteo e di prezzo dell'energia per le 24 ore successive, cercando di ridurre l'acquisto di energia dal mercato elettrico nelle ore caratterizzate da prezzi più alti dell'energia.

Al fine della valutazione dei risultati relativi ai costi e ai risparmi (Tabella 2.13) sono stati comparati i tre scenari sopra citati con lo scenario di benchmark (Scenario 0) che esclude la presenza di elementi di generazione e di storage e che corrisponde allo stato attuale del cluster di edifici ENEA. Tutti i risultati degli scenari emulati fanno riferimento alle reali condizioni di consumo e meteo registrate nello Smart Village ENEA.

Scenario	Daily cost [€]	Saving compared to Scenario 0 [%]	Daily energy request to the grid [kWh]
<b>0 (No Gen., No Stor.)</b>	272,39	0	1626,48
<b>1 (Gen., Stor.)</b>	173,59	36,27	1027,38
<b>2 (No Gen., Stor.)</b>	294,61	-8,16	1763,58
<b>3 (Gen., No Stor.)</b>	155,89	42,77	901,18

**Tabella 2.13 Confronto dei risultati degli scenari emulati di micro distretto**

Lo scenario che mostra i risultati migliori dal punto di vista delle richieste energetiche alla grid e, quindi, dei costi da sostenere è quello in cui il micro distretto sia dotato dei soli elementi di generazione. Nella presente configurazione l'utilizzo di batterie risulta sveniente in quanto, per via delle fasi di carica, aumenta la richiesta energetica del micro distretto alla grid. Scenari interessanti da valutare risultano pertanto quelli in cui il micro distretto disponga di una maggiore produzione di energia da pannelli fotovoltaici (la presente configurazione corrisponde a una superficie del tetto impiegata pari al 25% della superficie totale del tetto del cluster di edifici) da poter sfruttare maggiormente per la carica delle batterie.

#### 2.4.2 Definizione e descrizione dei casi d'uso di gestione energetica efficiente degli edifici appartenenti allo "Smart Village"

L'obiettivo di questa attività è stato quello di formalizzare tramite "use case" le applicazioni di gestione energetica efficiente negli ambiti Smart Building e Smart District. Tale attività si inserisce in un ambito più ampio che è quello della definizione di una piattaforma di distretto interoperabile, sviluppata nella tematica "Smart Cities & Communities", progetto D7 "Sviluppo di un modello integrato di Smart District Urbano", Task A "Piattaforma ICT per la gestione dello Smart District", che raccoglie i casi d'uso di tutti gli ambiti applicativi che questa dovrà gestire (oltre a Smart Building anche Smart Lighting e Smart Home).

In particolare, per questo ambito applicativo il riferimento ha riguardato le attività di monitoraggio, diagnostica, controllo e generazione KPI (Key Performance Indicator) realizzate in forma prototipale e tuttora in fase di sviluppo sugli edifici dello "Smart Village" ENEA.

Nell'ambito del monitoraggio, gli use case formalizzati fanno riferimento alle attività di monitoraggio elettrico, termico, della presenza e delle condizioni ambientali interne ed esterne agli edifici. Figura X illustra un esempio di diagramma UML (Unified Modeling Language) relativo allo use case "monitoraggio elettrico". I consumi elettrici dei diversi usi finali (generale, luci, fancoil) sono monitorati tramite Smart Meter presenti sui quadri elettrici di piano/edificio, mentre i consumi elettrici dei dispositivi sono monitorati tramite Smart Plug. I dati monitorati vengono acquisiti dalla specifica Piattaforma BEMS (Building Energy Management System), e da quest'ultima con timestamp di aggregazione diversi passano alla Piattaforma Facility dove sono verificati ed elaborati dai vari applicativi di gestione energetica efficiente degli edifici.

Nel caso della diagnostica, sono stati formalizzati gli use-case relativi all'identificazione di anomalie non individuate direttamente da evidenze ma dall'opportuna elaborazione di una o più grandezze misurate, la cosiddetta diagnostica "high level" già descritta nelle precedenti annualità (RdS/PAR2014/023, RdS/2013/119, RdS/PAR2013/060 e RdS/PAR2013/061). Esempi di use-case di diagnostica "high level"

formalizzati sono stati quelli di analisi del comportamento dell'occupante in relazione all'utilizzo delle utenze elettriche di luci e fancoil e quelli relativi ad anomalie del consumo termico.

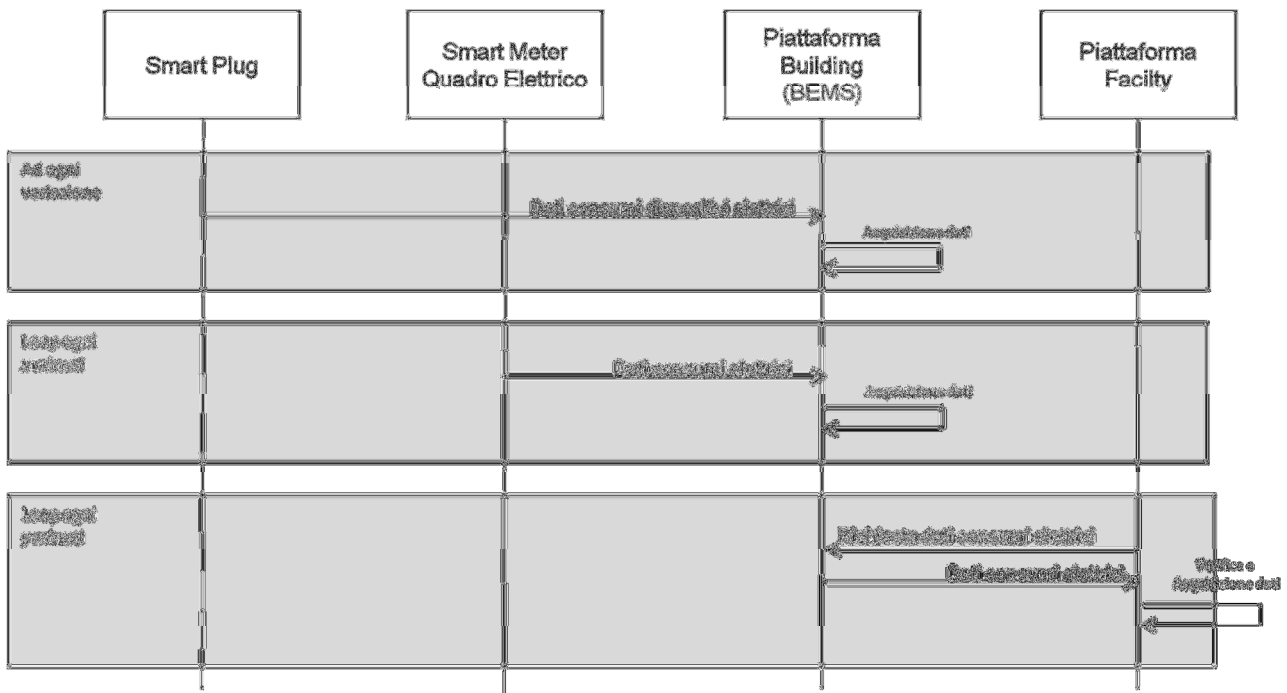


Figura 2.71 Esempio di diagramma UML relativo al monitoraggio elettrico

Per quanto riguarda l'ambito del controllo, sono stati formalizzati gli use-case relativi alle attività di controllo di accensione/spegnimento delle utenze elettriche fancoil e luci sulla base delle presenze, il controllo adattivo dei setpoint di temperatura delle stanze in base alla presenza dei dipendenti e il controllo adattivo della temperatura di mandata della centrale termica che serve gli edifici sulla base delle presenze e della temperatura esterna.

Infine relativamente all'ambito KPI sono stati definiti gli use-case relativi al calcolo degli indicatori di energia elettrica ("consumo specifico", "consumo per numero effettivo di persone", "consumo per numero teorico di persone") e degli indicatori di energia termica ("consumo specifico", "consumo specifico normalizzato rispetto ai gradi giorno"), utili ai fini di un'analisi più immediata dell'andamento dei consumi.

#### 2.4.3 Strategie di controllo predittivo per la regolazione di temperatura di edifici multi-zona sulla base del livello di occupazione e del prezzo dell'energia

Questa fase prosegue l'attività "Strategie di controllo predittivo distribuito per la regolazione della temperatura interna di edifici multi-zona" dell'annualità precedente (RdS/PAR2014/024), apportando degli sviluppi all'approccio adattivo Model Predictive Control (MPC) per la regolazione termica delle tre zone di un edificio per uffici. L'idea principale è il raggiungimento di performance maggiori assicurando una regolazione di temperatura sulla base dei profili di occupazione come nella precedente annualità ma considerando in questa nuova fase anche la fascia di prezzo dell'energia.

Come nella precedente annualità, sono state confrontate le architetture MPC distribuita (che considera l'accoppiamento termico tra le zone dell'edificio) e decentralizzata (che non tiene conto dell'accoppiamento termico tra le zone dell'edificio) e i risultati sono stati valutati in termini di consumo energetico e livello di comfort definito dalle temperature operative interne di zona. Quindi, per la valutazione dei risultati, sono stati adottati due indici di performance: per il comfort, quando il livello di occupazione è massimo, la distanza media giornaliera delle temperature interne reali da quelle di setpoint nell'intero edificio,  $MAE_{TOT}$ ; per il consumo, il flusso d'aria totale emesso dai fancoil nell'intero edificio,  $M_{tot}$ .

Nella sperimentazione è stata simulata un'intera giornata lavorativa, con differenti profili di occupazione per ogni zona (Tabella 2.14) e prezzo dell'energia variabile secondo le tre “fasce” seguenti: prezzo alto nella prima mattinata, prezzo basso nella parte centrale della giornata, prezzo medio nel pomeriggio.

Zone	Time slot			
	7:00-11:10	11:10-13:00	13:00-15:20	15:20-19:30
1	1	0.7	1	0.3
	7:00-17:00			17:00-19:30
2	1			0
	7:00-13:00		13:00-15:20	15:20-19:30
3	0.7		1	0.7

Tabella 2.14 Livelli di occupazione delle tre zone dell'edificio

Le performance di controllo ottenute sono state confrontate con quelle della strategia dell'annualità precedente e di una strategia MPC non adattiva (Tabella 2.15), in modo da evidenziare i vantaggi e i miglioramenti conseguiti. E' evidente il grande vantaggio di utilizzare una strategia MPC adattiva: i risultati relativi a  $M_{tot}$  confermano che il consumo energetico di una configurazione MPC adattiva è molto più basso di quello di una strategia non adattiva. Si evidenzia inoltre il vantaggio di utilizzare una strategia MPC distribuita rispetto a una decentralizzata: i consumi sono inferiori a fronte di errori di temperatura leggermente più alti. La strategia MPC adattiva con setpoint di temperatura dinamici sulla base del livello di occupazione e di prezzo è la configurazione MPC che presenta l'indice di consumo globale  $M_{tot}$  più basso. In particolare, dal confronto con la strategia MPC adattiva con setpoint di temperatura dinamici sulla base del livello di occupazione, è importante osservare che il consumo è più basso nella fascia oraria corrispondente al prezzo alto dell'energia ed è più alto nella fascia oraria corrispondente al prezzo basso dell'energia. D'altra parte, l'errore medio di temperatura MAETOT nella terza configurazione MPC è più alto dal momento che, quando il prezzo dell'energia è alto e il livello di occupazione è massimo, il setpoint di temperatura è 21 °C, quindi la distanza dalla temperatura interna di comfort (22 °C) è maggiore.

Non-adaptive MPC					
	$MAE_{TOT}$ [°C]	$M_{tot}$ [kg]	$M_{tot}$ [kg] 7:00-11:10	$M_{tot}$ [kg] 11:10-15:20	$M_{tot}$ [kg] 15:20-19:30
<b>Distributed</b>	0.1764	4881	2896	858	1127
<b>Decentralized</b>	0.09334	4992	2949	895	1148
Adaptive MPC: dynamic temperature setpoints according to occupancy levels					
	$MAE_{TOT}$ [°C]	$M_{tot}$ [kg]	$M_{tot}$ [kg] 7:00-11:10	$M_{tot}$ [kg] 11:10-15:20	$M_{tot}$ [kg] 15:20-19:30
<b>Distributed</b>	0.1727	4090	2692	725.4	672.6
<b>Decentralized</b>	0.1109	4184	2745	757.4	681.6
Adaptive MPC: dynamic temperature setpoints according to occupancy and energy price levels					
	$MAE_{TOT}$ [°C]	$M_{tot}$ [kg]	$M_{tot}$ [kg] 7:00-11:10 High price	$M_{tot}$ [kg] 11:10-15:20 Low price	$M_{tot}$ [kg] 15:20-19:30 Medium price
<b>Distributed</b>	<b>0.3812</b>	3936	<b>2465</b>	<b>796.4</b>	674.6
<b>Decentralized</b>	<b>0.3155</b>	4021	<b>2511</b>	<b>833</b>	677

Tabella 2.15 Confronto dei risultati di strategie MPC adattive e non adattive

#### 2.4.4 Analisi dei principali open standard di comunicazione orientati al Demand-Response

Lo sviluppo di Open Automated Demand Response Communications Specification (OpenADR o Open Auto-DR) inizia nel 2002 dopo la crisi dell'energia elettrica della California. Le sue specifiche descrivono un

modello open standard di data communication finalizzato a ottimizzare lo scambio di informazioni automatizzato tra i fornitori di energia elettrica e i consumatori, sulla base del "demand response". OpenADR è stato progettato con l'idea di realizzare uno dei diversi elementi chiave che comporranno le future Smart Grid sviluppate per ottimizzare i flussi di potenza nelle reti elettriche e non solo. L'intenzione è quella di instradare segnali di controllo tra edifici e sistemi di controllo industriali che sono programmati per rispondere in tempo reale senza la necessità di un intervento umano. In questo contesto le specifiche open di OpenADR permettono a tutti di implementare in modo completo sia un sistema automatizzato di server/client, sia un protocollo standard di trasporto dati per incrementare il numero di servizi offerti e ridurre, nel contempo, il costo dell'energia utilizzata. La nostra attività di ricerca si è concentrata, in particolare, sullo studio dell'ultima versione del protocollo: OpenADR 2.0.

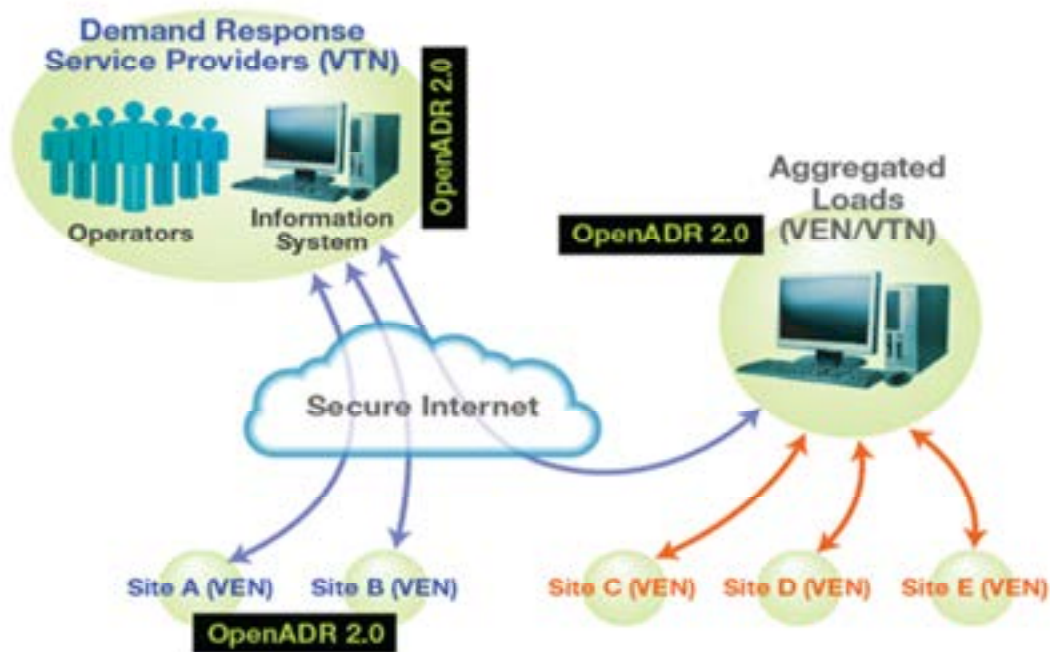


Figura 2.72 Schema di principio di OpenADR 2.0

In Figura 2.72 Schema di principio di OpenADR 2.0 viene mostrato lo schema di principio del funzionamento di OpenADR 2.0. Come già accennato in precedenza, esso realizza un'interfaccia che permette ai fornitori di energia elettrica di comunicare, attraverso un apposito sistema di segnalazioni definito dal protocollo stesso, direttamente con gli utilizzatori/consumatori utilizzando tecnologie già esistenti e ampiamente diffuse. Infatti OpenADR sfrutta essenzialmente due principali strati dei sistemi di comunicazione attualmente in uso: 1) la rete Internet come strato fisico; 2) il metalinguaggio XML (eXtensible Markup Language) per la parte della definizione del protocollo, ovvero delle specifiche. Queste ultime sono la parte caratterizzante di OpenADR. Esse servono a definire un particolare framework che descrive tutti gli aspetti delle interfacce, inclusi server (o Virtual Top Nodes - VTNs) e client (o Virtual End Nodes - VENs). Il framework è suddiviso in differenti servizi principali tra cui:

- Event Service (EiEvent): usato dai VTN per inviare messaggi di eventi di demand response ai VEN, usato dai VEN per indicare le risorse da impiegare.
- Report Service (EiReport): usato sia dai VTN, sia dai VEN per trasferire (scambiarsi) report storici di telemetria e previsioni. In questo modo qualsiasi risorsa può essere monitorata in tempo reale e ottenere flussi di dati su cui operare decisioni.
- Opt Service (EiOpt): usato dai VEN per comunicare ai VTN la loro disponibilità al fine di consentire la messa in atto di procedure di ottimizzazione da parte del sistema.
- Oltre ai servizi menzionati sopra, OpenADR 2.0 permette di utilizzare anche i seguenti meccanismi di trasporto e sciurezza dati:

- Semplice protocollo di trasporto HTTP: rende molto robusta tutta la parte di trasporto dati, essendo un protocollo ampiamente utilizzato nelle reti di comunicazione e molto diffuso.
- XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol): anche questo protocollo è ampiamente utilizzato nella gran parte dei server Internet ed è basato sul metalinguaggio XML.
- TLS (Transport Layer Security): la sicurezza dei dati scambiati viene affidata al protocollo di crittografia TLS che garantisce autenticazione, integrità dei dati e cifratura.
- Digital Signatures: se richiesto, è possibile effettuare una ulteriore crittografia dei dati (sopra al TLS) attraverso una firma digitale.

## 2.5 Estensione del sistema di monitoraggio (ENEA)

Le esperienze di monitoraggio avanzato già condotte presso lo ‘Smart Village ENEA Casaccia’ sono state estese su un singolo edificio del JRC Ispra (Ed. ENEA 14c). In particolare in questa installazione sono state poste sotto monitoraggio 36 grandezze elettriche afferenti a diversi usi finali (consumi generali, luci, prese, climatizzazione, ascensori) ed installati attuatori per permettere il controllo remotizzato (ad es. tramite scheduling orari e giornalieri) di alcuni di questi (luci e climatizzazione).

Complessivamente sono stati strumentati 5 quadri elettrici secondo la tabella allegata e secondo le figure riportate.

Nome cabina	utenza	alimentata da:	N. Interruttore	TF/MF	Tipo di Strumento E.T.	Connettività	Note
QGBT	Interruttore Generale	Contatore Generale	1	TF	NG9 uscite 1-3	Ind. Gateway - LAN+ 3 rogowsky	
QGBT	CDZ	Interruttore Generale		TF	uscite 4-6	3TA 24	CDZ intero Building
QGBT	Quadro A	Interruttore Generale	3	TF	uscite 7-9	3TA 24	Gen. En. Elettrica JRC
QGBT	Quadro B	Interruttore Generale	4	TF	NG9 uscite 1-3	3TA 24	Gen. En. Elettrica ENEA Q.B
QGBT	Quadro C	Interruttore Generale	5	TF	uscite 4-6	3TA 24	Gen. Lab. ENEA FM/LUCI
QGBT	Quadro D	Interruttore Generale	6	TF	uscite 7-9	3TA 24	Gen. En. Elettrica ENEA Q.D
QGBT	Quadro E	Interruttore Generale	7	TF	NG9 uscite 1-3	3TA 24	Gen. BTS WIND
QGBT	Quadro Celle	Interruttore Generale	8	TF	uscite 4-6	3TA 24	Gen. Lab. ENEA Celle Clima
QGBT	Ascensore	Interruttore Generale	9	TF	uscite 7-9	3TA 24	
QGBT	Montacarichi	Interruttore Generale	10	TF	NG9 uscite 1-3	3 TA 16	
QGBT	Generale Illuminazione Esterna	Interruttore Generale	13	TF	XMETER	XM5 - XM15+3 TA IN TENSIONE 25A	Monitoraggio Consumi + Uscita 4 Relè per Controllo
Q.B	Generale Acc. Corridoi	Quadro B	49	TF	XMETER	XM15+ 3 TA IN TENSIONE 50 A	Monitoraggio Consumi + Uscita 4 Relè per Controllo
Q.B	Luce Uffici Piano Terra	Quadro B	50	MF	NG9 uscita 1	1 TA DA 6	Monitoraggio Consumi + Controllo
Q.B	Luce Uffici Piano Terra	Quadro B	51	MF	uscita 2	1 TA DA 6	Monitoraggio Consumi + Controllo
Q.B	Luce Uffici Piano Terra	Quadro B	52	MF	uscita 3	1 TA DA 6	Monitoraggio Consumi + Controllo
Q.B	Luce Uffici Piano Terra	Quadro B	53	MF	XMETER	XM15+ 1 TA IN TENSIONE 25 A	Monitoraggio Consumi + Uscita 4 Relè per Controllo
Q.B	Luce Lab. 1° Piano	Quadro B	54	MF	uscita 4	1 TA 6 A	Monitoraggio Consumi + Controllo
Q.B	Luce Lab. 1° Piano	Quadro B	55	MF	uscita 5	1 TA 6 A	Monitoraggio Consumi + Controllo
Q.B	Luce Servizi 1° Piano	Quadro B	56	MF	uscita 6	1 TA 6 A	Monitoraggio Consumi + Controllo

Q.B	Prese Piano Terra	Quadro B	57	MF	NG9 uscite 1	1 TA 16 A	
Q.B	Prese Piano Terra	Quadro B	58	MF	uscite 2	1 TA 16 A	
Q.B	Prese Piano Terra	Quadro B	59	MF	uscite 3	1 TA 16 A	
Q.B	Boiler Piano Terra	Quadro B	60	MF	uscite 4	1 TA 16 A	
Q.B	Prese Lab. 1° Piano	Quadro B	61	MF	uscite 5	1 TA 16 A	
Q.B	Prese Lab. 1° Piano	Quadro B	62	MF	uscite 6	1 TA 16 A	
Q.B	Portone Motorizzato Garage	Quadro B	63	TF	uscite 7-9	3 TA 16 A	
Q.B	F.M. Lab 1° Piano	Quadro B	64	TF	NG9 uscite 1-3	3 TA 16 A	
Q.B	Boiler Primo Piano	Quadro B	65	MF	uscite 4	1 TA 16 A	
Q.B	Generale Fancoil Zona B	Quadro B	66	TF	uscite 7-9	3 TA 16 A	
Q.C	Generale Luce Hall	Quadro C		TF	NG9 uscite 1-3	3 TA 16 A	
Q.C	Generale Aerotermi	Quadro C		TF	XMETER	XM15+ 3 TA IN TENSIONE 50 A	Monitoraggio Consumi + Uscita 4 Relè per Controllo
Q.D	Generale Fancoil	Quadro D	88	TF	NG9 uscite 1-3	3 TA 6 A	Monitoraggio Consumi + Controllo
Q.D	Generale Luce Ingresso	Quadro D	78	TF	XMETER	XM15 + 3 TA 150 A	Monitoraggio Consumi + Uscita 4 Relè per Controllo
Q. CELLE	Cella 1	Quadro Cella		TF	NG9 uscite 1-3	Ind. Gateway - LAN+3 TA 16 A	
Q. CELLE	Cella 2	Quadro Cella		TF	uscite 4-6	3 TA 16 A	
Q. CELLE	Cella 3	Quadro Cella		TF	uscite 7-9	3 TA 16 A	

Tabella 2.16 Piano di installazione

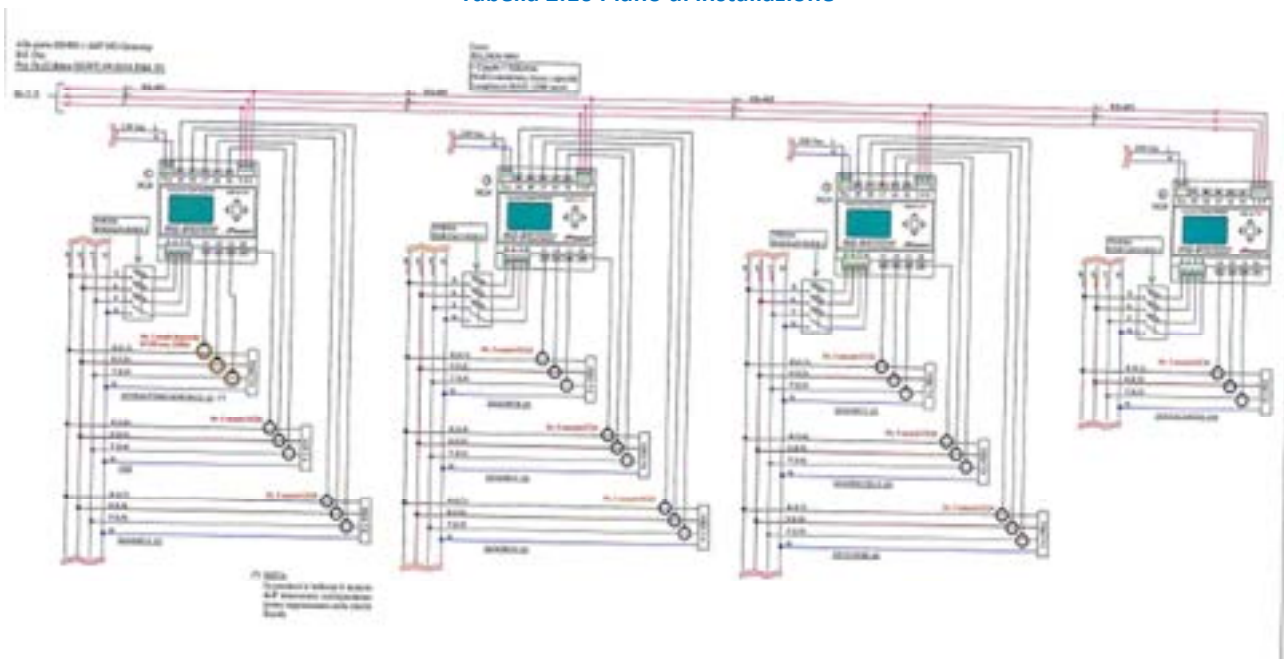


Figura 2.73 Schema tecnico

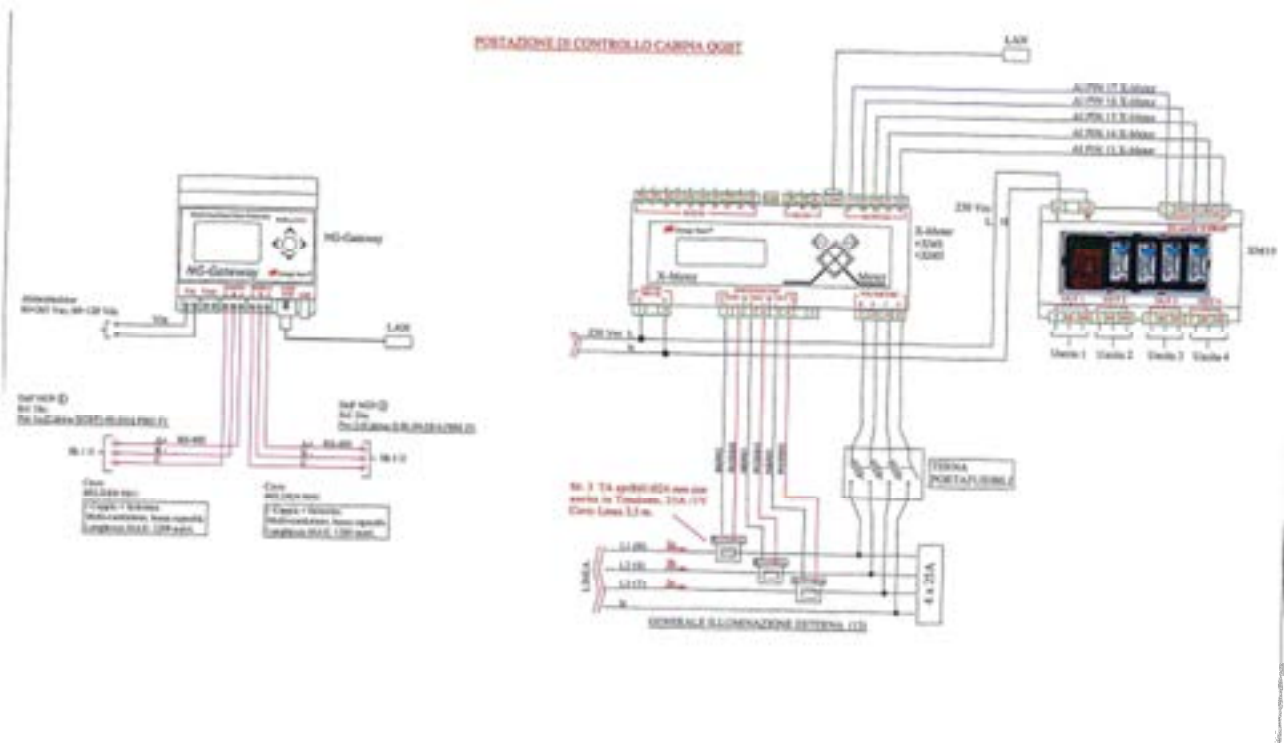


Figura 2.74 Schema tecnico

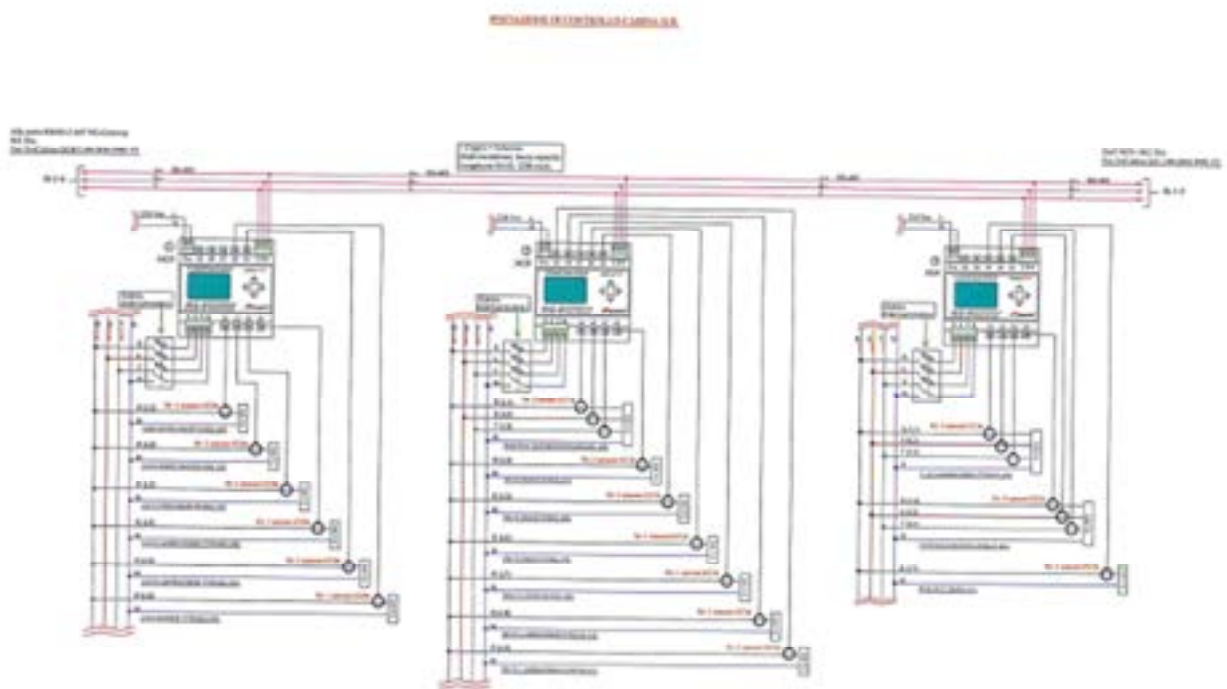


Figura 2.75 Schema tecnico



PISTAZIONE DI CONTROLLO CABINA Q.6

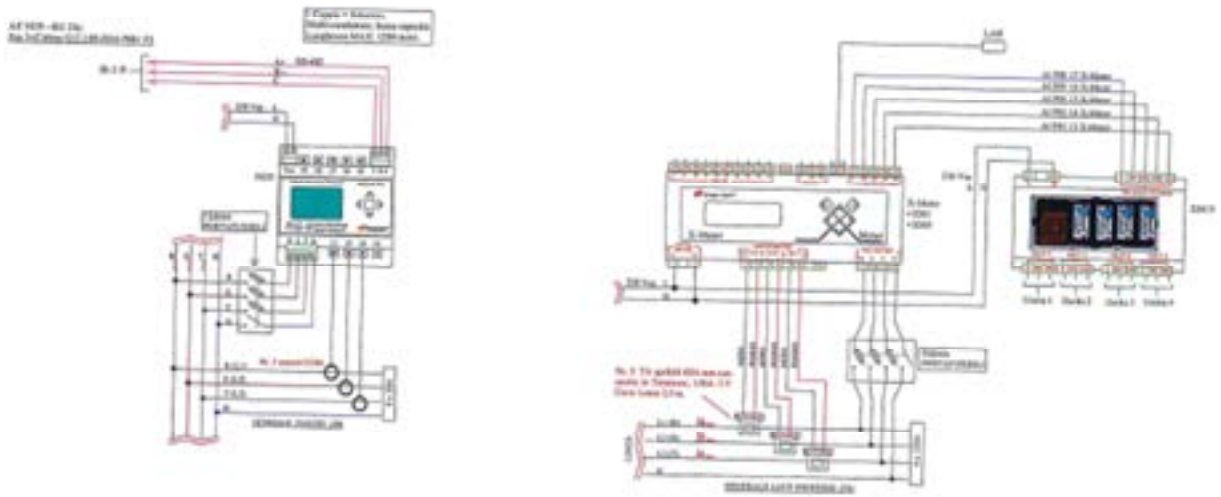


Figura 2.78 Schema tecnico

PISTAZIONE DI CONTROLLO CABINA Q. CELLE

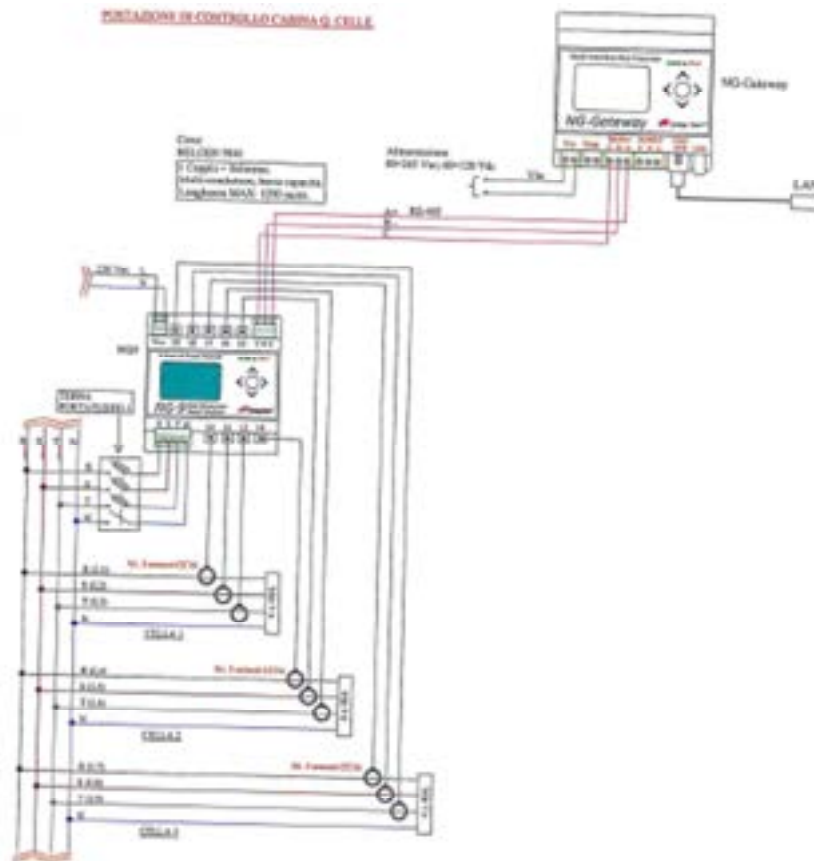


Figura 2.79 Schema tecnico



Figura 2.80 Sistema di monitoraggio installato



politiche per il raggiungimento di questi obiettivi è l'integrazione della climatizzazione in un sistema elettrico smart e decarbonizzato. Infatti, l'impiego dell'energia elettrica per il raffreddamento e il raffrescamento offre opportunità di controllo remoto e/o automatico dell'impianto, di partecipazione a programmi di demand response, nonché di assorbimento dell'energia generata in loco da fonti rinnovabili, ad esempio, con pannelli fotovoltaici (EC, 2016). Questo studio si pone l'obiettivo di valutare gli effetti della adozione di una pompa di calore per soddisfare il fabbisogno termico e frigorifero dell'edificio F40, situato presso il centro di ricerche Casaccia di ENEA. L'edificio è attualmente dotato di un sistema di teleriscaldamento alimentato da gas naturale in inverno e da energia elettrica in estate ed è rappresentativo di una quota significativa di edifici pubblici in Italia. In particolare, l'analisi è orientata a: (i) valutare la performance finanziaria dell'investimento nella pompa di calore; (ii) individuare le voci di costo alle quali il valore dell'investimento è maggiormente sensibile; (iii) condurre un'analisi costi-benefici che tenga conto dell'effetto della temperatura degli ambienti sulla produttività dei lavoratori e delle esternalità ambientali.

Come si è detto, il progetto di investimento consiste nella installazione di un pannello fotovoltaico e di una pompa di calore per il soddisfacimento termico invernale e frigorifero estivo dell'edificio F40 del centro di ricerche Casaccia di ENEA.

Il dimensionamento della pompa di calore è stato effettuato da ENEA utilizzando il simulatore di edifici sviluppato da Comodi et al. (2014) e, su questa base, sono stati stimati consumi, costi di installazione e di manutenzione. Parimenti si è proceduto a valutare caratteristiche tecniche, costi di acquisto, installazione e di manutenzione del pannello fotovoltaico.

I valori dei due investimenti, nella pompa di calore e nell'impianto fotovoltaico, sono tra loro indipendenti, pertanto le performance finanziaria dei due interventi sono state valutate separatamente.

### 2.6.1 Impianto fotovoltaico

L'investimento prevede l'acquisto di un impianto fotovoltaico avente una potenza di 45 kW e una producibilità attesa 68,6 MWh nel primo anno di funzionamento.

Si assume che l'energia prodotta sia interamente assorbita dai carichi dell'edificio F40, si considera un orizzonte temporale di 20 anni e un costo opportunità del capitale del 4%. Gli indicatori di performance finanziaria dell'intervento sono riportati nella tabella seguente.

VAN[€]	Investimento iniziale [€]	TIR	PBP [anni]	PBP <sub>a</sub> [anni]
73.039,75	58.500	16%	7,04	8,06

**Tabella 2.17 Performance finanziaria dell'investimento nell'impianto fotovoltaico.**

### 2.6.2 Pompa di calore

L'investimento prevede l'acquisto di una pompa di calore con potenza termica pari a 48 kWt e 90 kWf. Denoteremo lo scenario di investimento nella pompa di calore come scenario ToBe.

Data l'assenza di una chiara politica di sostituzione/ammodernamento dell'impianto di teleriscaldamento del centro di ricerche Casaccia, la performance dell'investimento nella pompa di calore è valutata sulla base dei benefici e dei costi differenziali prodotti rispetto a tre scenari controfattuali alternativi:

- DoMin: scenario pessimistico, non si effettua nessun intervento di sostituzione o ammodernamento dell'impianto di teleriscaldamento. L'azienda si limita ad effettuare interventi di manutenzione straordinaria nei casi di mal funzionamento dell'impianto;
- Bau: scenario inerziale, nei prossimi 20 anni gli investimenti saranno analoghi a quelli effettuati negli ultime 8 anni. L'azienda doterà l'edificio di climatizzatori per singolo ambiente in grado di garantire temperature analoghe a quelle che si avrebbero con l'investimento nella pompa di calore nel corso dei 20 anni (acquistando circa due climatizzatori l'anno);

- DoMax: scenario ottimistico. L'azienda dota immediatamente l'edificio F40 dei climatizzatori per singolo ambiente in grado di garantire temperature analoghe a quelle della pompa di calore.

Per l'analisi dell'investimento si considera un orizzonte temporale di 20 anni, coincidente con la vita utile della stessa. La pompa di calore verrebbe acquistata alla fine del 2016 (denotato in generale come anno 0). Si considera un costo opportunità del capitale del 4%, come da le linee guida per l'analisi costi-benefici della Commissione Europea per il periodo 2014-2020 (EC, 2014). In ciascuno di questi 20 anni si ipotizza che: i) l'impianto di riscaldamento sia utilizzato nel periodo 1 ottobre – 15 aprile; ii) l'impianto di raffrescamento sia utilizzato nel periodo 15 aprile – 30 settembre; iii) gli impianti funzionino 12 h al giorno per 5 giorni a settimana. Il costo del metano è pari a 0,406€/m<sup>3</sup> mentre i costi per l'energia elettrica variano su base mensile tra 0,154 e 0,182 in €/kWh.

Per valutare la performance finanziaria dell'investimento nella pompa di calore si considera la differenza fra i flussi di cassa che si avrebbero se si effettuasse l'investimento e i flussi di cassa di ciascuno scenario controfattuale e si calcolano valore attuale netto (VAN), il payback period (PBP), il payback period attualizzato (PBP<sub>a</sub>) e il tasso interno di rendimento (TIR) dell'investimento 1. I risultati sono riportati nella tabella seguente. La tabella riporta anche l'investimento iniziale nella pompa di calore e il valore attuale degli investimenti negli scenari controfattuali.

	Investimento iniziale To Be [€]	Valore attuale investimenti scenario controfattuale [€]	VAN [€]	TIR	PBP [anni]	PBP <sub>a</sub> [anni]
To Be vs DoMin	50.250	M <sup>(a)</sup>	-85.048,8+M	n.d.	n.d.	n.d.
To Be vs BAU	50.250	56.214,01	-39.204,41	-3,56%	n.d.	n.d.
To Be vs DoMax	50.250	78.165,87	7.683,56	1%	0	0

Tabella 2.18. Performance finanziaria dell'investimento nella pompa di calore.

Ove M<sup>(a)</sup> rappresenta il valore attuale dei costi della manutenzione straordinaria dell'impianto di teleriscaldamento.

Il valore negativo del VAN segnala che il valore attuale degli esborsi nel caso di investimento nella pompa di calore è maggiore del valore attuale degli esborsi degli scenari DoMin e BAU. Tuttavia tale informazione non è sufficiente ad affermare che l'investimento nella pompa di calore non sarebbe conveniente. Infatti negli scenari controfattuali DoMin e BAU non tutti gli ambienti di lavoro risulterebbero climatizzati. Ciò porterebbe ad una perdita di produttività dei lavoratori dell'edificio F40 e quindi ad ulteriori costi per ENEA rispetto al caso di investimento nella pompa di calore (che garantirebbe la corretta climatizzazione di tutti gli ambienti). In tal caso, il valore reale dell'investimento nella pompa di calore risulta maggiore del VAN dei flussi di cassa differenziali riportato in tabella 1 (cfr. §2.1.4.). Analogamente, nello scenario DoMax, pur immaginando che negli uffici sia sempre garantita una temperatura adeguata, si avrebbe basso comfort termico negli spazi comuni (e.g. corridoi e bagni) con possibili ulteriori costi per l'azienda.

### 2.6.3 Analisi di sensitività

L'analisi di sensitività è orientata alla identificazione delle variabili critiche del progetto, ovvero quelle variabili la cui variazione ha un impatto significativo sulla performance finanziaria dell'investimento. L'analisi è condotta incrementando una variabile alla volta. Una variabile è considerata critica se la sua variazione di un punto percentuale porta ad una variazione del VAN superiore all'1%. I risultati mostrano che, nel caso dell'investimento nell'impianto fotovoltaico, l'unica variabile critica è il costo dei kWh elettrici di energia per il centro di ricerche Casaccia e, in particolare, del costo dei kWh elettrici nei mesi estivi (cfr. Tabella 2.5). Nel caso della pompa di calore, le variabili maggiormente critiche del modello sono il numero di ore e il numero di giorni di funzionamento dei climatizzatori per singoli ambienti. Analogamente, le

performance finanziarie risultano molto sensibili al costo dell'energia elettrica, soprattutto nel periodo invernale e, in misura inferiore (con l'eccezione dello scenario DoMax2), al costo della pompa di calore.

Analizzando i singoli scenari, emerge chiaramente che il VAN dello scenario DoMax è poco stabile, poiché tutte le variabili del modello risultano critiche per il valore dell'investimento. Al contrario, il VAN nel caso di scenario controfattuale DoMin è molto sensibile al prezzo dell'energia nei mesi invernali, mentre variazioni (isolate) dei livelli delle altre variabili coinvolte non producono effetti critici. Infine, nel caso di scenario controfattuale BAU, il costo del metano non influenza sensibilmente il livello del VAN, il costo dei climatizzatori per singolo ambiente è poco più alto della soglia di criticità, analogamente il costo della pompa di calore e della energia elettrica in estate risultano moderatamente critici, mentre si conferma la marcata sensibilità del risultato al costo della energia elettrica in inverno.

La sensibilità dei risultati al costo dei vettori termici suggerisce successivi approfondimenti e sviluppi dell'analisi volti a valutare gli effetti sulle performance finanziarie prodotti dai differenziali di accise sui due vettori.

Variabile	BAU	DoMAX	DoMIN
Prezzo dell'energia elettrica nei mesi estivi [€/kwh]	1,2%	3,2%	0,8%
Prezzo dell'energia elettrica nei mesi invernali [€/kwh]	-2,5%	-5,9%	-1,8%
Prezzo mensile dell'energia elettrica [€/kwh]	-1,3%	-2,6%	-0,9%
Prezzo del metano [€/mc]	0,6%		0,5%
Costo climatizzatori singolo ambiente	1,0%	10,2%	
Assorbimento climatizzatori singolo ambiente	4,8%	-25,0%	
Numero giorni funzionamento climatizzatori singolo ambiente	2,4%	35,2%	
Costo Pompa di Calore	-1,3%	-6,5%	-0,6%

Variabile	PV
Costo pannello	-0,8%
Costo manutenzione e assicurazione pannello	-0,3%
Prezzo dell'energia elettrica nei mesi invernali [€/kwh]	0,9%
Prezzo dell'energia elettrica nei mesi estivi [€/kwh]	1,2%
Prezzo mensile dell'energia elettrica [€/kwh]	2,1%

Tabelle 2.19 a),b) Variazione percentuale del VAN in corrispondenza di incrementi di 1% di alcune variabili del modello nei diversi scenari. Le bandierine rosse denotano le variabili molto critiche, le bandierine gialle le variabili critiche e le bandierine verdi le variabili non critiche.

#### 2.6.4 Effetti non monetari: la perdita di produttività del personale

La letteratura ha mostrato che la temperatura influenza il livello di produttività dei dipendenti (Kosonen e Tan, 2004; Wyon, 1996). Prendendo a riferimento tale studio e si è proceduto a una stima monetaria degli effetti della perdita di produttività negli scenari DoMin e BAU3.

Le performance finanziarie dell'investimento, sulla base delle ipotesi formulate su entità della perdita di produttività, numero medio di soggetti che lavorano nell'edificio, temperatura degli ambienti e stipendio medio annuo dei dipendenti, sono riportate nella tabella seguente. Il VAN passa da negativo a positivo e l'incremento è del 1317% nello scenario BAU e del 1002% nello scenario DoMin. Il livello di questi incrementi è pari, rispettivamente, a 7,8 e 14,6 volte l'entità dell'investimento nella pompa di calore.

To Be vs BAU				To Be vs DoMin			
VAN	TIR	PBP	PBP <sub>a</sub>	VAN	TIR	PBP	PBP <sub>a</sub>
424.264,23	108,7%	1,88	2,88	767.064,72	120%	2,84	2,87

Tabella 2.20 Performance finanziaria in presenza di perdita di produttività dei lavoratori.

I risultati dell'analisi di sensitività dell'effetto delle ipotesi sul numero medio di dipendenti e sullo stipendio medio dei lavoratori evidenzia che entrambe queste variabili sono critiche.

#### 2.6.5 Effetti fiscali

La legge di Stabilità 20164 ha prorogato i meccanismi di agevolazione e detrazione fiscale in ambito IRPEF e IRES per interventi di riqualificazione energetica di edifici preesistenti. Il progetto sottoposto ad analisi, rientra nel quadro normativo che disciplina tali forme di benefici fiscali. Nel quadro della presente analisi Costi-Benefici, valutazioni di natura fiscale riguardano specificatamente l'intervento considerato e solo relativamente alle detrazioni ottenibili ai sensi di legge. Questa analisi di tipo parziale è dovuta alla specialità del ruolo giuridico che ricopre ENEA nel processo di accertamento dei requisiti di coloro che richiedono i benefici fiscali. Rimanendo comunque in un'ottica di confronto con scenari controfattuali, sono stati ipotizzati i valori della spesa al netto degli incentivi nello scenario To Be (investimento nella pompa di calore) e nei tre casi alternativi DoMAX, BAU e DoMin, differenziando per la data di avvio dei lavori in quanto è prevista un cambio di aliquota.

Una volta tenuto conto degli sgravi fiscali, possiamo concludere che:

- se l'investimento viene effettuato entro l'anno 2016 si ha una riduzione sostanziale della spesa. In particolare, usufruendo dell'aliquota del 65% si risparmiano tra i 17.550 e i 23450€;
- a prescindere dalla data di avvio del progetto, la spesa totale al netto delle detrazioni fiscali risulta molto simile negli scenari To Be e BAU; mentre l'intervento To Be risulta più oneroso dello scenario BAU.

#### 2.6.6 Demand Response

Il demand response (DR) produce benefici per i consumatori che partecipano ai programmi (e.g. risparmi in bolletta o bonus), benefici per l'intero mercato elettrico (e.g. riduzione del prezzo dell'energia risultante dall'uso più efficiente delle infrastrutture, riduzione della volatilità del prezzo dell'energia, incremento della capacità disponibile, differimento degli investimenti in capacità, incremento della affidabilità del sistema elettrico) (Albadi e El-Saadany, 2008). Tuttavia, tali benefici dipendono fortemente dal tipo di programma implementato, dalle caratteristiche del programma, dalla tipologia di consumatori e dal contesto nazionale nel quale vengono implementati. Inoltre, la scarsità di esperienze di DR e di dati sulle sue performance rende difficile la stima del livello dei benefici.

Data la scarsità di dati, la nostra analisi finanziaria ha carattere preliminare ed è limitata agli effetti del DR nell'ipotesi che lo stesso induca un risparmio fisso percentuale sul costo unitario dell'energia.

Sostanzialmente stiamo assumendo che non cambino i consumi di energia, ma che cambi il profilo di carico con spostamento di alcuni consumi in fasce oraria nelle quali il costo dell'energia è inferiore, oppure, alternativamente, che i segnali economici forniti dal DR inducano una riduzione dei consumi di energia che

producono lo stesso risparmio percentuale sulla spesa annuale per l'energia elettrica negli scenari controfattuali e nel caso di investimento nella pompa di calore. I risultati dell'analisi finanziaria con DR, mostrano che la DR migliora le performance finanziarie dell'investimento nella pompa di calore in ogni scenario.

#### 2.6.7 Esternalità ambientali

L'analisi ha preso in considerazione anche gli effetti ambientali del progetto, sia in termini assoluti, sia relativamente agli scenari controfattuali considerati e ne ha fornito una valutazione economica sulla base delle più accreditate stime dei costi delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Sono stati adottati due criteri. Il primo è basato su una valutazione monetaria complessiva delle emissioni di CO<sub>2</sub>, rispetto, come suggerito dalla Commissione Europea, a 3 scenari riguardo il costo monetario di una tonnellata di CO<sub>2</sub>. Il valore in euro associato ad una tonnellata di CO<sub>2</sub>, pertanto, consiste in una stima globale degli effetti di tipo economico-sociale associato ad un incremento marginale di CO<sub>2</sub>. Il secondo criterio di valutazione si configura come una valutazione più puntuale degli effetti marginali delle emissioni su specifiche variabili di interesse economico e sociale: creazione di lavoro, tempo risparmiato per ogni famiglia, capacity building, effetti su biodiversità e ambiente, ecc. I parametri relativi agli effetti marginali della riduzione di CO<sub>2</sub> su queste variabili sono stati presi da precedenti studi condotti da ICROA e Imperial College di Londra. L'analisi condotta mostra che anche nel caso di più lieve gravità, in cui il costo unitario di CO<sub>2</sub> è il più basso, l'abbattimento delle emissioni dovute al fotovoltaico genera un risparmio di costo sociale estremamente elevato (oltre 2 milioni e mezzo di Euro se come controfattuale consideriamo l'impianto attuale). Comparando i due criteri, si evidenzia che l'abbattimento delle emissioni di CO<sub>2</sub> dovuto all'impianto fotovoltaico genera un risparmio di costo per la società di circa 10 milioni di euro all'anno. Risultati analoghi si osservano considerando come controfattuale DoMin. Rispetto allo scenario DoMax, invece, l'intervento To Be non appare avere un impatto significativo e possono considerarsi scenari equivalenti.

#### 2.6.8 Conclusioni

La tabella 5 riporta e sintetizza i risultati dello studio. L'analisi finanziaria suggerisce che, se si considerano esclusivamente i flussi finanziari il valore dell'investimento nella pompa di calore è limitato (DoMax) o addirittura negativo (BAU e DoMin). Se si include nell'analisi il costo della perdita di produttività dei dipendenti indotto dalle temperature inadeguate dell'ambiente di lavoro negli scenari controfattuali, si rileva che il valore dell'investimento è positivo e può essere pari a 7-13 volte l'investimento iniziale. La valutazione dell'investimento nell'impianto fotovoltaico ha mostrato che lo stesso produrrebbe un valore pari a circa 1,5 volte l'investimento iniziale. L'analisi di sensitività della performance degli investimenti indica che le variabili più critiche del modello appaiono il numero di ore e il numero di giorni di funzionamento dei climatizzatori per singoli ambienti e il costo dei kWh per l'investitore. Come valutazione complessiva dell'investimento, una volta tenuto conto degli sgravi fiscali ottenibili per questo tipo di progetto, sembra ricavarsi, se l'investimento viene effettuato entro l'anno 2016 una riduzione sostanziale della spesa. Dal punto di vista delle esternalità ambientali, in particolare relativamente alla quantità di CO<sub>2</sub> emessa, l'investimento in fotovoltaico garantisce un abbattimento completo delle emissioni rispetto all'impianto attuale e rispetto agli scenari DoMin e BAU. Dal confronto con lo scenario DoMax, l'investimento To Be determina un aumento delle emissioni ma in misura estremamente ridotta (+ 6,25% all'anno). Il confronto tra To Be e DoMin porta a conclusioni molto simili al confronto tra ToBe e impianto attuale. Il guadagno economico derivante dall'abbattimento è molto elevato in entrambi i casi dato che si ha una riduzione pressoché totale delle emissioni.

Al fine di valutare gli effetti economici e sociali di questa riduzione di CO<sub>2</sub>, sono stati adottati due criteri. Il primo criterio, si basa su una valutazione monetaria complessiva delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Il valore in euro associato ad una tonnellata di CO<sub>2</sub>, pertanto, consiste in una stima globale degli effetti di tipo economico-sociale associato ad un incremento marginale di CO<sub>2</sub>. La commissione europea suggerisce di considerare 3 scenari di differente gravità. Il secondo criterio di valutazione si configura come una valutazione più puntuale degli effetti marginali delle emissioni su specifiche variabili di interesse economico e sociale. I

parametri relativi agli effetti marginali della riduzione di CO2 su queste variabili sono stati presi da precedenti studi condotti da ICROA e Imperial College di Londra.

Comparando i due criteri, si evidenzia che l'abbattimento delle emissioni di CO2 dovuto all'impianto fotovoltaico genera un risparmio di costo per la società di circa 10 milioni di euro all'anno.

INVESTIMENTO POMPA CALORE	ToBe	DoMin	BAU	DoMax
investimento	50.250 €	M	56.214,01	78.165,87
		<b>ToBe vs DoMin</b>	<b>ToBe vs BAU</b>	<b>ToBe vs DoMax</b>
VAN		€-85.048,8+M	-34.863,38 €	7.683,56 €
effetto della perdita di produttività del personale: Δ VAN		852.113,52 €	459.127,53 €	-
effetti DR: variazione % VAN se -5% €/kWh		4,6%	6,4%	13,2%
<b>INVESTIMENTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO</b>				
investimento	58.500 €			
VAN	73.039,75 €			
TIR	16%			
PBP	7,04 anni			
PBP <sub>a</sub>	8,06 anni			
<b>EFFETTI FISCALI (spesa al netto delle agevolazioni)</b>				
Implementazione entro il 2016	25.155,00	0,00	24.016,67	33.611,41
Implementazione dopo il 2016	42.705,00	0,00	41.654,69	57.061,22
<b>ESTERNALITA' AMBIENTALI (FOTOVOLTAICO)</b>				
	<b>ToBe</b>	<b>ToBe vs DoMin</b>	<b>ToBe vs BAU</b>	<b>ToBe vs DoMax</b>
Risparmio di costo sociale in € (criterio 1)	2,7 – 10,8 mln €	2,7 – 10,8 mln €	8.135 – 13.569€	-396-1585 €
Risparmio di costo sociale in € (criterio 2)	9,7 mln €	9.734.521	222.066	-1.425 €

Tabella 2.21 Sintesi dei risultati: performance finanziaria, effetti fiscali, esternalità.

### 3 Sviluppo di sistemi multisensoriali integrati per il controllo di uffici

In questo sotto-obiettivo sono continuate attività iniziate nel precedente triennio (RdS/PAR2014/023) quali quelle riguardanti lo sviluppo di un concept progettuale di una 'smart room' e lo sviluppo di applicazioni per il rilevamento della presenza tramite tecnologia mobile. In tale ambiti le attività sono proseguite in questa annualità attraverso la realizzazione di un prototipo di un sistema multisensoriale integrato a basso costo, la implementazione di sistemi di rilevazione delle presenze indoor tramite metodi attivi basati su app per mobile (Android e ios) ed uno studio preliminare ai metodi passivi, ovvero non richiedenti installazione di app.

#### 3.1 Sviluppo di un prototipo di sistema multisensoriale integrato a basso costo (ENEA)

Il termine intuizione deriva dal latino *intueor* (composto da *in* = «dentro», + *tueor* = «guardare», cioè «guardare dentro», e rappresenta una forma di sapere non spiegabile a parole, che si esprime in modo figurato con la famosa "accensione della lampadina", sulla cui origine i pareri sono discordi: secondo il "meccanicismo" sarebbe riconducibile a processi meccanici di "causa – effetto", mentre secondo i "neoplatonici" il modo in cui l'intuizione si produce nella mente umana non è spiegabile razionalmente, trattandosi di un sapere trascendente che è all'origine della stessa logica di causa-effetto, un sapere non acquisito ma innato.

Noi sposiamo il pensiero Kantiano che formalizzò il metodo conoscitivo e lo divise tra "intuizione sensibile", ovvero conoscenza passiva percepita attraverso i sensi, ed "intuizione intellettuale" fulcro delle filosofie idealiste.

Nella storia l'intuito è stato definito come il "sesto senso" arma potentissima e quindi acquisita con speculazione dalle donne che indubbiamente ne sono ben dotate!

Il cervello umano riesce a fare una sintesi delle analisi di tutte le nostre percezioni sensoriali arrivando a conclusioni di livello superiore a quello raggiunto dalle singole rilevazioni. E' questo per noi il concetto di intuizione sensibile che si sovrappone al pensiero di Kant.

L'uomo nella sua evoluzione ha copiato la natura (biomimetica) e quindi se stesso nel realizzare oggetti e organizzazioni con lo scopo di semplificarci la vita.

Basti pensare nel settore della sensoristica quanto l'uomo ha copiato se stesso ed è andato anche oltre. Tutti e cinque i nostri sensi sono stati replicati ed estesi nei range di lavoro e nelle sensibilità ed integrati, usando le stesse metodologie di approccio, con altri "sensi" non propri delle caratteristiche percettive dell'uomo.

### **Le reti di sistemi sensoriali**

L'estrazione di contenuti informativi intrinseci sia alla singola "storia" del segnale del singolo sensore che all'analisi dei segnali di una rete sensoriale complessa può dare un valore aggiunto alle capacità di monitoraggio e misura singole, fornendo un approccio vincente nell'ottica dell'integrazione di più sensori in un unico sistema. Questo "modus operandi" conferisce al sistema sensoriale doti di livello superiore come ad esempio quello espletato dal cervello umano quando questo giunge a conclusioni che noi definiamo con l'intuito.

Risultati in questo campo forniscono una metodologia di analisi che associata alle tecniche di apprendimento e alle logiche di intelligenza di gruppo sono applicate con enorme successo in tutti i settori della scienza e della tecnica. Le reti neurali e le logiche fuzzy sono utilizzate per arrivare a configurare sensori virtuali capaci di acquisire grandezze indirette ottimizzando risultati e costi dell'intervento.

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

Lo studio dell'etologia e l'indagine dei processi logici e comportamentali di insiemi di animali, nelle realizzazioni umane è sicuramente molto speculativo.

Infatti nel nostro caso riuscire a creare delle reti di sensori e di attuatori in grado di rispondere alle logiche di intelligenza di gruppo, consente di massimizzare le potenzialità consentite dalle reti di sensori e attuatori sfruttando la ridondanza nella ricerca della misura indiretta di grandezze fisiche altrimenti di difficile rilevazione.

Vediamo ad esempio il singolo sensore come un elemento di un gruppo o rete. Da solo è in grado di monitorare una grandezza fisica e quindi su questo segnale si possono stabilire soglie, studiare il trend di crescita o di decrescita e poco altro. Integrare invece i segnali provenienti da una rete di sensori in grado di monitorare più grandezze fisiche, ad esempio la presenza, la temperatura, l'umidità, l'illuminazione, la ventilazione, la concentrazione di ossigeno o di CO<sub>2</sub>, lo stato acustico - vibrazionale di un ambiente ecc... ci consente, oltre ad avere i relativi trend dei segnali, di operare elaborazioni complesse, di avere altre indicazioni quale ad esempio quella della presenza numerica di persone negli ambienti, il comportamento delle stesse, riuscendo a definire le usanze e gli stili di vita, indicazioni queste fondamentali e importantissime per il controllo ottimale e l'ottimizzazione dell'utilizzo delle risorse energetiche. Il sistema esperto che ne deriverebbe, consentirebbe di ridurre anche il numero e il tipo di sensori senza rinunciare ad avere indicazioni molto precise anche per le grandezze fisiche non direttamente misurate! (Misure indirette).

L'implementazione di modelli di reti neurali con l'obiettivo di sintetizzare sistemi anche molto complessi e performanti è considerato uno degli obiettivi della ricerca oggetto di questo rapporto.

### **Etologia e speculazione tecnica**

L'intelligenza collettiva è un tipo di intelligenza basata sulla cooperazione di una comunità di individui (nel nostro caso i sensori), in grado di risolvere i problemi superando i limiti della informazione individuale.

L'intelligenza collettiva è un metodo di problem solving diffuso in varie forme in natura, sia nelle comunità umane e sia in quelle animali. Per questa ragione l'intelligenza collettiva è oggetto di studi sia antropologici/sociologici che etologici. Il concetto trae origine dalla biologia dove si riscontra frequentemente la cooperazione tra singoli organismi in una comunità più complessa. Nel mondo animale i singoli organismi hanno capacità cognitive minime, del tutto inferiori alla cognizione collettiva della comunità di cui fanno parte. Le caratteristiche principali dell'intelligenza collettiva è la capacità di una comunità di risolvere i problemi tramite la collaborazione. (Nel nostro caso sia il diverso posizionamento di sensori che la correlazione e confronto di più sensori porta tutti i nodi del sistema a cooperare per il raggiungimento dell'obiettivo del monitoraggio e controllo ottimale). Il comportamento cooperativo degli individui appartenenti alla collettività consente la condivisione delle informazioni, del sapere e dei risultati individuali. In tal modo gli individui creano un'entità cognitiva collettiva e superiore ai limiti cognitivi di ciascun individuo. L'organizzazione è un'altra componente fondamentale dell'intelligenza collettiva. Infatti senza un'adeguata organizzazione gli individui non potrebbero condividere e cooperare. L'organizzazione può essere centralizzata o decentralizzata. (Nel nostro caso sarebbe da indagare quale organizzazione sia la migliore per la soluzione del problema specifico). Nell'organizzazione centralizzata il compito di organizzare la cooperazione è affidata ad un'autorità centrale posta al vertice di una struttura piramidale. Ad esempio, le forme di economia pianificata, gli stati, le amministrazioni, le aziende, i consorzi di aziende, ecc. (nel nostro caso un'unità centrale a cui provengono tutti i segnali e da cui partono tutti i comandi provvede a coordinare, governare e valutare le performance del sistema). Nell'organizzazione decentralizzata gli individui sono, invece, in grado di trasmettere le informazioni a tutti gli altri senza l'ausilio di un'autorità di coordinamento. Ad esempio le api, le formiche, così come la comunità scientifica umana, lo sviluppo informatico del software open - source, ecc. (Nel nostro caso siamo nell'architettura dei sistemi ad intelligenza distribuita).

La cooperazione dei singoli nodi consente alla rete di maturare una propria intelligenza collettiva, di livello superiore e distinta rispetto a quella dei singoli nodi, in grado di risolvere problemi altrimenti irrisolvibili individualmente. Lo stesso accade nella comunità umana nei contesti in cui il comportamento cooperativo è l'unico modo per raggiungere degli obiettivi comuni superiori. Un esempio di intelligenza collettiva umana è quella che si concretizza nella comunità scientifica. Ogni ricercatore mette a disposizione della comunità il suo lavoro per consentire agli altri di verificarlo e di confermarlo. Il contributo di ogni singolo ricercatore, viene condiviso e diventa di dominio pubblico, guidando ed influenzando lo studio e le attività di ricerca dell'intera comunità scientifica.

### **Stato dell'arte**

Lo stato dell'arte e della tecnica e le ricerche di mercato mostrano che esistono sistemi completi di controllo proposti da varie case costruttrici. I vari componenti, sensori, attuatori o controllori, pur colloquiando con protocolli standard tra loro e con i relativi sistemi, costituiscono spesso architetture chiuse che non si prestano a possibili integrazioni, modifiche e/o adattamenti a specifiche applicazioni e/o all'implementazione di logiche di funzionamento inedite.

Se l'uomo si è evoluto sviluppando cinque sensi ed un sistema intelligente ed esperto con il quale processare i dati provenienti da questo "sistema sensoriale" per rapportarsi con l'ambiente è perché era la soluzione migliore ed è quindi risultata vincente.

Nello sviluppare un sistema sensoriale in grado di svolgere funzioni di misura di livello superiore ci si accorge come si deve scendere a compromessi di vario carattere e livello. Ogni metodo di misura ha dunque sue specificità che comporta approssimazioni o errori tipici della particolare trasduzione che quindi implica errori e limiti.

E' vincente dunque creare una rete sensoriale e relativo sistema intelligente in grado di sintetizzare grandezze fisiche indirette non misurate dall'apposito sensore ma ricavate da una integrazione delle stesse. In questo modo si verrebbe a generare una cooperazione sensoriale che consente di estrarre dal sistema contenuti informativi altrimenti "nascosti" nelle singole evoluzioni delle grandezze fisiche misurate.

Questa architettura e logica di funzionamento consente di implementare codici di auto-validazione dei dati ambientali acquisiti per difendere il data base che si viene a generare da eventuali malfunzionamenti di

alcuni sensori o gruppi di essi. Per quanto detto si utilizzerà una routine che in caso di dato non valido cercherà di sostituirlo con un dato calcolato e/o derivante dalla correlazione tra altre misure ritenute valide facendo misure indirette qualitative.

Ad esempio i microfoni ambientali, i cui segnali trattati hanno contenuti informativi di livello superiore, sono degli ottimi sensori su cui speculare. Basti pensare all'analisi spettrale, alle cross-correlazioni e alle misure di ritardo dello stesso suono prelevato da più sensori disposti in vari punti nella room che possono far risalire alla precisa provenienza dello stesso eseguendo semplici operazioni di triangolazione!

Un computer acceso fa rumore, la presenza di una persona produce rumori di vario genere e livello, un fan-coil produce anch'esso rumore. Per cui dando al sistema capacità di apprendimento e quindi addestrandolo a operare in tal senso, si può ottenere come output dal sistema di misura sia la dislocazione della sorgente di rumore, la tipologia e lo stato operativo.

Questa metodologia può essere sfruttata e può dare il suo grosso contributo ad esempio all'assisted living nella home moderna e nella city moderna in quanto un sistema intelligente provvede a ridurre praticamente a zero gli allarmi falsi e consente un supporto affidabile a chi necessita di sussidi e di aiuti alla vita quotidiana.

Con la stessa logica anche la misura dell'illuminazione deve seguire lo stesso processo potendo discernere quella solare, quella dell'illuminazione ambientale, quella emessa dai monitor e da altri strumenti e attrezzature! Così anche tutte le altre grandezze fisiche hanno comportamenti e diversificazioni simili, come ad esempio quella della evoluzione della concentrazione della CO<sub>2</sub> in un ambiente chiuso ed abitato da una o più persone potrebbe ritornare anche indicazioni di presenza, previsioni sul comportamento e sull'utilizzo dell'ambiente in questione; un ultimo esempio evidente è quello della temperatura e dell'umidità in cui il suo campo spaziale, la sua evoluzione temporale e quella spaziale possono esprimere anche ulteriori informazioni.

### 3.1.1 Descrizione del sistema

#### **Unità centrale**

Il sistema presentato in questo rapporto tecnico è stato ideato, progettato, studiato e realizzato in forma prototipale e comprende vari blocchi funzionali che possono non coesistere nelle specifiche applicazioni e applicazioni pratiche. Infatti il sistema è pensato come un sistema espandibile con moduli dedicati a risolvere esigenze smart di vario tipo e livello.

Il cuore dell'unità centrale è un microcontrollore, nel nostro caso prototipale, la piattaforma utilizzata per il dimostrativo è ARDUINO UNO che utilizza come microcontrollore il processore AT MEGA 328, sulla quale gira il software sviluppato che provvede a ricevere i segnali dai sensori connessi con essa, ne opera una conversione Analogico-Digitale, elabora procedure e interpreta lo stato sensoriale degli ambienti controllati, comanda gli attuatori (relè) che operano le opportune azioni, contabilizza le ore di accensione e memorizza i dati di gestione. Parallelamente utilizza i dati sensoriali per gestioni di livello superiore quali ad esempio l'assisted living, la security, l'antiincendio, l'antiallagamento ecc... Il disegno di fig. 3.1 mostra l'architettura del sistema.



## LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

### 1 Features

- Calibrated Directly in Celsius (Centigrade)
- Linear + 10-mV/°C Scale Factor
- 0.5°C Ensured Accuracy (at 25°C)
- Rated for Full -55°C to 150°C Range
- Suitable for Remote Applications
- Low-Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates from 4 V to 30 V
- Less than 60-µA Current Drain
- Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air
- Non-Linearity Only ±¼°C Typical
- Low-Impedance Output, 0.1 Ω for 1-mA Load

### 2 Applications

- Power Supplies
- Battery Management
- HVAC
- Appliances

### 3 Description

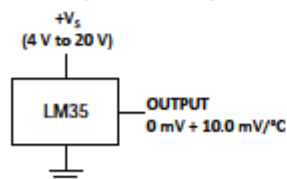
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature devices with an output voltage linearly-proportional to the Centigrade temperature. The LM35 device has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 device does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature and ±¾°C over a full -55°C to 150°C temperature range. Lower cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low-output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 device makes interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 device draws only 60 µA from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 device is rated to operate over a -55°C to 150°C temperature range, while the LM35C device is rated for a -40°C to 110°C range (-10° with improved accuracy). The LM35-series devices are available packaged in hermetic TO transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D devices are available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D device is available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

#### Device Information<sup>(1)</sup>

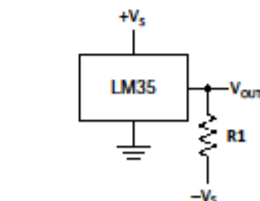
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM35	TO-CAN (3)	4.699 mm × 4.699 mm
	TO-92 (3)	4.30 mm × 4.30 mm
	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
	TO-220 (3)	14.986 mm × 10.16 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

#### Basic Centigrade Temperature Sensor (2°C to 150°C)



#### Full-Range Centigrade Temperature Sensor



Choose  $R_1 = -V_S / 50 \mu\text{A}$   
 $V_{OUT} = 1500 \text{ mV at } 150^\circ\text{C}$   
 $V_{OUT} = 250 \text{ mV at } 25^\circ\text{C}$   
 $V_{OUT} = -550 \text{ mV at } -55^\circ\text{C}$

**IMPORTANT NOTICE** at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

Figura 3.3 – Caratteristiche tecniche del sensore di temperatura

### Sensore di umidità

Il sensore di umidità è molto utile nel controllo ambientale in quanto consente di calcolare la temperatura percepita con la nota formula:

$$H = T_a + (0.5555 \times (e - 10))$$

Dove  $T_a$  è la temperatura dell'aria e  $e$  è la pressione di vapore.

La tabella di figura 3.4 dove è possibile osservare i valori dell'indice di calore (Humidex) e il grado di disagio:

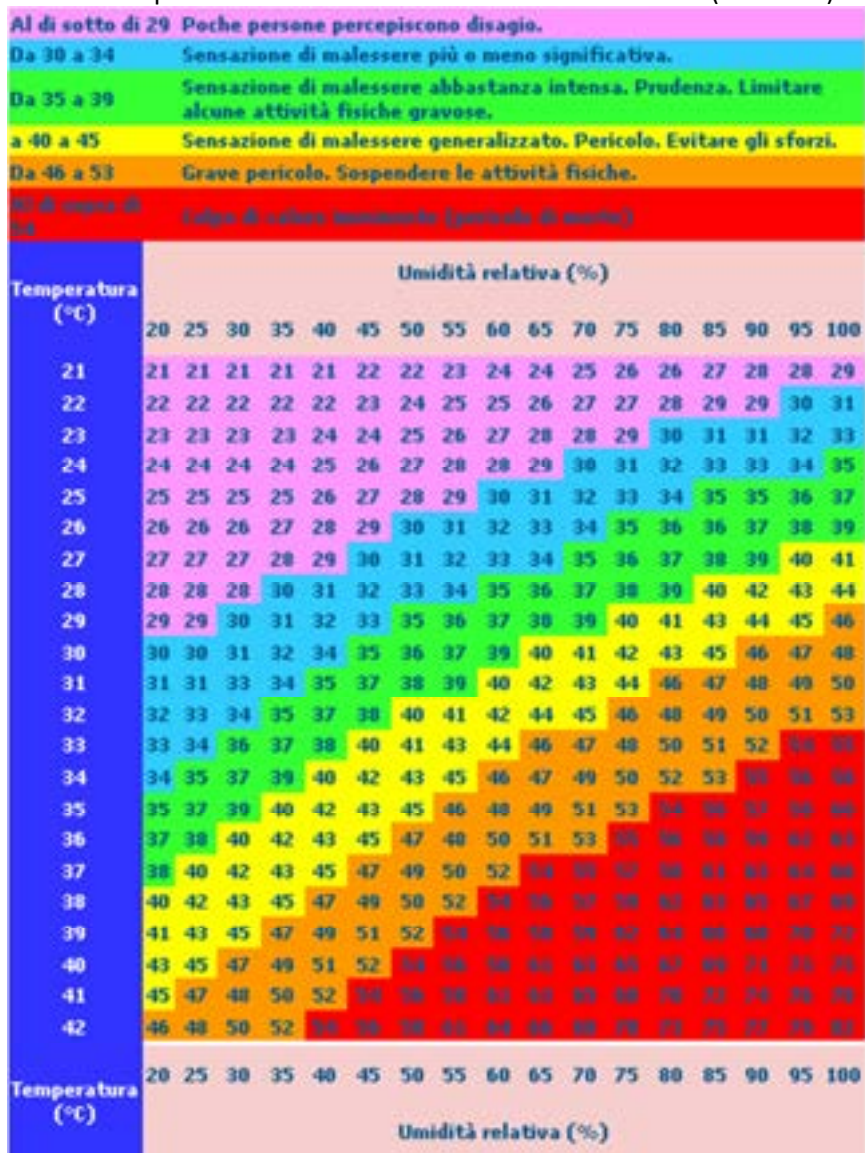


Figura 3.4 VALORI DELL'INDICE DI CALORE (HUMIDEX) E GRADO DI DISAGIO

Questo sensore fornisce in uscita un segnale digitale già trattato e per poterlo comprendere la piattaforma ARDUINO UNO utilizza una routine disponibile in libreria Open Source. Per questo motivo il segnale prodotto da questo sensore è collegato ad un ingresso digitale dell'unità centrale.

In figura 3.5 è riportato un sensore DHT11 in grado di fornire contemporaneamente la misura di umidità e di temperatura. In figura 3.6 sono allegate le caratteristiche tecniche. Il costo di questo duplice sensore è di meno di 2€.



Figura 3.5 – Sensore integrato di temperatura e umidità

**AOSONG**

*Your specialist in innovating humidity & temperature sensors*



**Digital relative humidity & temperature sensor DHT11**

**1. Feature & Application:**

- \*Good precision
- \*Resistive type
- \*Full range temperature compensated
- \*Relative humidity and temperature measurement
- \*Calibrated digital signal
- \*Outstanding long-term stability
- \*Extra components not needed
- \*Long transmission distance, up to 100 meters
- \*Low power consumption
- \*4 pins packaged and fully interchangeable

**2. Description:**

DHT11 output calibrated digital signal. It applies exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability, its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(100m) enable DHT11 to be suited in all kinds of harsh application occasions. Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

**3. Technical Specification:**

Model	DHT11	
Power supply	3.3-5.5V DC	
Output signal	digital signal via Aosong 1-wire bus	
Sensing element	Polymer humidity resistor	
Operating range	humidity 20-90%RH;	temperature 0-50Celsius
Accuracy	humidity <b>±5%RH</b> ;	temperature <b>±2Celsius</b>
Resolution or sensitivity	humidity 1%RH;	temperature 1Celsius
Repeatability	humidity <b>±2%RH</b> ;	temperature <b>±1Celsius</b>
Humidity hysteresis	±1%RH	
Long-term Stability	±1%RH/year	
Interchangeability	fully interchangeable	

**4. Dimensions: (unit—mm)**

- 1 -

Aosong Electronics Co., Ltd.

<http://www.aosong.com>  
Thomas Liu (Sales Manager)  
Email: thomasliu198518@aliyun.com , sales@aosong.com

**Figura 3.6 – Caratteristiche tecniche sensore di temperatura e umidità**

**Sensori di luminosità**

Il sensore di luminosità provvede al controllo dell’illuminazione degli ambienti che, se di lavoro, deve rispettare le normative vigenti a seconda delle attività svolte.

Questa rilevazione è molto importante perché consente di regolare l’accensione - spegnimento e/o la dimmerazione delle lampade (se adeguate ad un simile controllo) consentendo risparmi energetici sensibili. Spesso questo sensore è una semplice fotoresistenza. La luce che impatta sulla sua zona sensibile induce una variazione della resistenza del componente. Inserita in un partitore resistivo polarizzato con i 5V dell’alimentazione di ARDUINO UNO si produce un segnale variabile (caduta di tensione) collegato ad un ingresso analogico di ARDUINO UNO.

Nella routine di gestione del segnale proveniente da tale sensore sono state valutate due soglie (una per l’accensione e una per lo spegnimento) in modo da gestire una sorta di isteresi del sistema per ovviare ad accensioni e spegnimenti ripetuti e dipendenti da variazioni di illuminazione minimale. Di seguito è riportata la routine che gestisce tale logica di funzionamento.

## ROUTINE DELLE DUE SOGLIE

```

/*
Il circuito:
la fotoresistenza è connessa al pin A0 analogico.
Il LED è connesso al pin 11.
Il pulsante è connesso al pin A2
*/

// Queste costanti non cambiano:
const int fotoresistenza = A0; // pin a cui è collegata la fotoresistenza
const int ledPin = 11; // pin a cui è collegato il Led
const int sogliaa = 750; // livello di soglia per accensione
const int soglias = 850; // livello di soglia per spegnimento

void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // inizializza il pin del Led come un'uscita:
  Serial.begin(9600); // inizializza la velocità di comunicazione:
}

void loop() {
  Serial.println(sogliaa);
  Serial.println(soglias);
  int valorefr1 = analogRead(fotoresistenza); // legge il primo valore della fotoresistenza:
  delay(1000); //Ritardo
  int valorefr2 = analogRead(fotoresistenza); // legge il secondo valore della fotoresistenza:
  delay(1000); //Ritardo
  int valorefr3 = analogRead(fotoresistenza); // legge il secondo valore della fotoresistenza:
  int valorefr=(valorefr1+valorefr2+valorefr3)/3;//Calcola la media dei valori letti della fotoresistenza
  Serial.print("primo valore");
  Serial.println(valorefr1);// stampa sul monitor seriale il primo valore di illuminazione:
  Serial.print("secondo valore");
  Serial.println(valorefr2);// stampa sul monitor seriale il secondo valore di illuminazione:
  Serial.print("terzo valore");
  Serial.println(valorefr3);// stampa sul monitor seriale il terzo valore di illuminazione:
  Serial.print("media valori");
  Serial.println(valorefr);// stampa sul monitor seriale il valore di illuminazione:
  if (valorefr < sogliaa) { // se il valore della illuminazione è al disotto della soglia di accensione:
    digitalWrite(ledPin, HIGH); // allora accende il Led:
  }
  else{ delay(10);
  }
  if (valorefr > soglias){ // se il valore della illuminazione è sopra la soglia di spegnimento:
    digitalWrite(ledPin, LOW); // allora spegne il Led:
  }
  else{ delay(10);

  delay(10); // ritardo per la stabilità:
  }
}

```

La seguente figura 3.7 mostra il sensore di illuminazione ambientale a fotoresistenza con le sue caratteristiche funzionali fondamentali riportate in figura 3.8.  
Il costo di un simile sensore è di circa 0,1€.

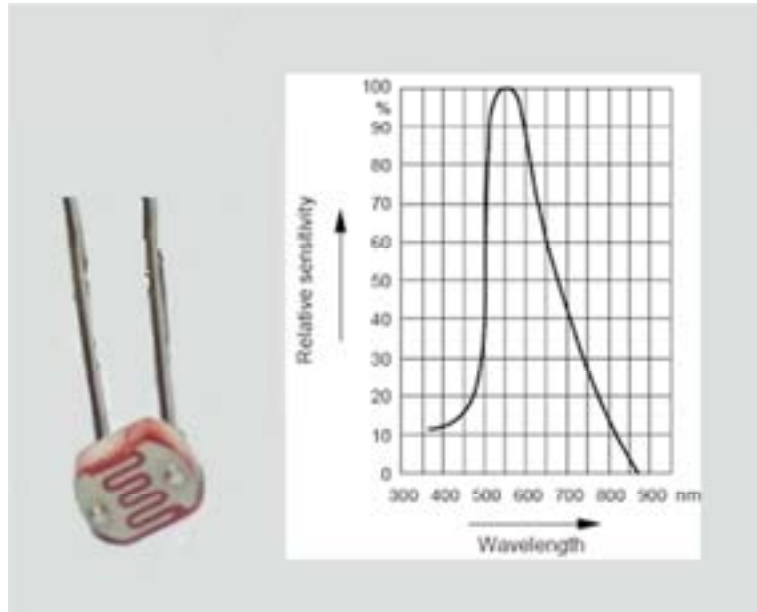


Figura 3.7 - Sensore di luminosità a fotoresistenza

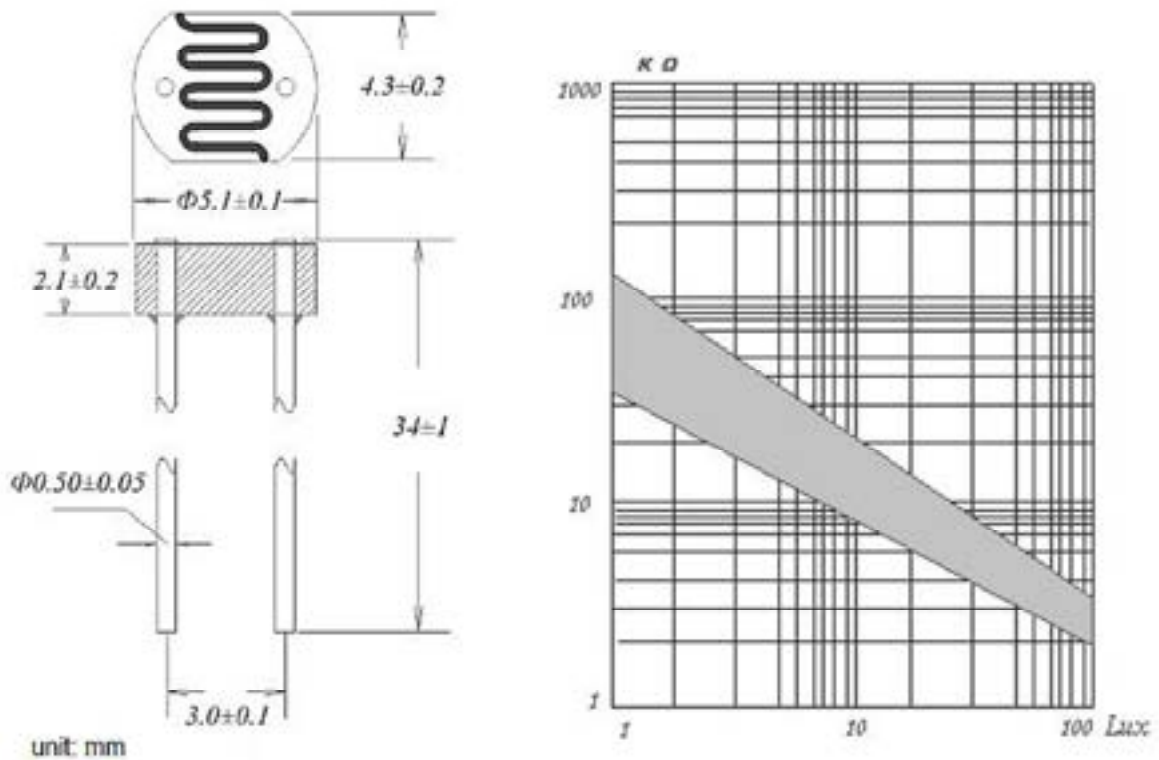


Figura 3.8 – Caratteristiche tecniche del sensore di luminosità

### Sensori di stato apertura porte e finestre

Questi sensori sono dei relè reed, in pratica sono delle ampolline sotto vuoto che contengono il contatto che viene azionato da un magnete. Operativamente il magnete si monta sulla parte mobile della finestra o

della porta mentre il sensore contenente l'ampollina (contatto) è montata sulla parte fissa delle stesse in modo che i due oggetti siano in prossimità in condizioni di chiusura e quindi si allontanino nel momento dell'apertura, facendo dunque "sentire" al sensore l'allontanamento del magnete. Possono lavorare in apertura o in chiusura e quindi sono collegati agli ingressi digitali. L'utilità di questi sensori sta nel controllare e monitorare lo stato di apertura delle porte e delle finestre e il sistema di controllo utilizzerà tali informazioni per operare ad esempio lo spegnimento di fan coil o comunque di sistemi di condizionamento climatico finché rimarranno aperte porte o finestre ottenendo come risultato di aperture limitate all'effettivo tempo necessario al ricambio dell'aria e conseguente risparmio energetico che a seconda delle abitudini pregresse, può essere anche molto sensibile.

In figura 3.9 è riportata la fotografia di una coppia sensore magnete che svolge le funzioni descritte. Il valore commerciale è di pochi euro, tipicamente intorno a 5€ la coppia.



**Figura 3.9 – Sensori di apertura chiusura porte e finestre**

### Sensori acustici e di vibrazione

I sensori acustici e di vibrazione sono previsti nel sistema e si integrano l'un l'altro per monitorare lo stato acustico – vibrazionale dell'ambiente con la missione di produrre dati ridondanti di presenza nell'ambiente e quindi di conferma e validazione di altri sistemi di rilevamento come ad esempio quello della presenza o quello di movimento sia ad ultrasuoni o a PIR (Infrarossi passivi). L'idea nasce dal fatto che avendo una potenza di calcolo sovrabbondante e quindi disponibile a costo zero, e considerando che questi sono sensori che costano meno di un euro, è utile operare questo controllo ridondante per ridurre le eventuali anomalie di rilevamento della presenza all'interno degli ambienti gestiti dal sistema, sono anche molto utili nelle logiche di Assisted Living e di Security. La fig. 3.10 mostra un esemplare dei due tipi di sensori.



**Figura 3.10 A sinistra un sensore acustico, a destra due sensori di vibrazione**

## Sensori di CO2

I sensori di CO2 sono gli elementi che costano di più e si valuta che possano essere, dopo una sperimentazione effettuata ad hoc, sostituiti, solo per ragioni puramente commerciali, da un sistema esperto in grado di risalire al tenore di CO2 in un ambiente considerando i seguenti parametri e caratteristiche dell'ambiente gestito dal sistema facendo riferimento alla produzione media oraria di CO2 di una persona adibita a specifica attività:

Volume dell'ambiente

Dimensioni superficiali e geometrie dell'ambiente

Tempo di apertura e chiusura della porta

Tempo di apertura e chiusura delle finestre

Contemporaneità di apertura e chiusura di porta e finestre

Numero di ore uomo di presenza nell'ambiente

Tipo di attività svolta dalle persone presenti

Eventuali ricambi forzati di aria

Eventuali presenze di piante a foglia larga (m2 del fogliame e tipologia delle piante)

Ecc...

Con queste indicazioni e dalle rilevazioni provenienti dal mondo strumentale che già è installato, e quindi a costo zero, si è fiduciosi che un sistema esperto facente riferimento alla implementazione multisensoriale possa essere in grado di indicare il momento in cui si superano i livelli di attenzione e quindi sia conveniente un ricambio veloce dell'aria con l'apertura di porte e/o finestre.

Queste attività sono oggetto del proseguimento della ricerca nel Par. 16 e 17.

## Sensori di movimento

Il sistema può prevedere un sensore di movimento che integra il sensore acustico – vibrazionale e il sistema di conteggio accessi.

Questo sistema ha molti limiti per cui, visto il suo basso costo, viene utilizzato nel nostro sistema come elemento ridondante della rilevazione presenze in un ambiente per correggere eventuali malfunzionamenti del sistema di conteggio accessi, inoltre può dare indicazioni al sistema di supervisione su come viene vissuto l'ambiente dagli occupanti, indicazioni utili per altri scopi quali quelli ad esempio del Assisted Living, della Security e può completare le informazioni necessarie a comprendere gli stili di vita e di fruizione delle risorse energetiche. La fig. 3.12 mostra un sensore P.I.R. commerciale che costa meno di 2€.

### HC-SR501 PIR MOTION DETECTOR

Product Description HC-SR501 is based on infrared technology, automatic control module, using Germany imported LHI778 probe design, high sensitivity, high reliability, ultra-low-voltage operating mode, widely used in various auto-sensing electrical equipment, especially for battery-powered automatic controlled products. Specification:

- Voltage: 5V – 20V
- Power Consumption: 65mA
- TTL output: 3.3V, 0V ◦
- Lock time: 0.2 sec ◦ Trigger methods: L – disable repeat trigger, H enable repeat trigger
- Sensing range: less than 120 degree, within 7 meters
- Temperature: – 15 ~ +70
- Dimension: 32\*24 mm, distance between screw 28mm, M2, Lens dimension in diameter: 23mm

Application:

Automatically sensing light for Floor, bathroom, basement, porch, warehouse, Garage, etc, ventilator, alarm, etc.

Features:

- Automatic induction: to enter the sensing range of the output is high, the person leaves the sensing range of the automatic delay off high, output low.
- Photosensitive control (optional, not factory-set) can be set photosensitive control, day or light intensity without induction.
- Temperature compensation (optional, factory reset): In the summer when the ambient temperature rises to 30 ° C to 32 ° C, the detection distance is slightly shorter, temperature compensation can be used for performance compensation.
- Triggered in two ways: (jumper selectable)
- non-repeatable trigger: the sensor output high, the delay time is over, the output is automatically changed from high level to low level;
- repeatable trigger: the sensor output high, the delay period, if there is human activity in its sensing range, the output will always remain high until the people left after the delay will be high level goes low (sensor module detects a time delay period will be automatically extended every human activity, and the starting point for the delay time to the last event of the time).
- With induction blocking time (the default setting: 2.5s blocked time): sensor module after each sensor output (high into low), followed by a blockade set period of time, during this time period sensor does not accept any sensor signal. This feature can be achieved sensor output time “and” blocking time “interval between the work can be applied to interval detection products; This function can inhibit a variety of interference in the process of load switching. (This time can be set at zero seconds – a few tens of seconds).
- Wide operating voltage range: default voltage DC4.5V-20V. ◦
- Micropower consumption: static current <50 microamps, particularly suitable for battery-powered automatic control products.
- Output high signal: easy to achieve docking with the various types of circuit.

Adjustment:

- Adjust the distance potentiometer clockwise rotation, increased sensing distance (about 7 meters), on the contrary, the sensing distance decreases (about 3 meters).
- Adjust the delay potentiometer clockwise rotation sensor the delay lengthened (300S), on the contrary, shorten the induction delay (5S).

Instructions for use:

- Sensor module is powered up after a minute, in this initialization time intervals during this module will output 0-3 times, a minute later enters the standby state.
- Should try to avoid the lights and other sources of interference close direct module surface of the lens, in order to avoid the introduction of interference signal malfunction; environment should avoid the wind flow, the wind will cause interference on the sensor.
- Sensor module with dual probe, the probe window is rectangular, dual (A B) in both ends of the longitudinal direction
- so when the human body from left to right or right to left through the infrared spectrum to reach dual time, distance difference, the greater the difference, the more sensitive the sensor,
- when the human body from the front to the probe or from top to bottom or from bottom to top on the direction traveled, double detects changes in the distance of less than infrared spectroscopy, no difference value the sensor insensitive or does not work;

- The dual direction of sensor should be installed parallel as far as possible in inline with human movement. In order to increase the sensor angle range, the module using a circular lens also makes the probe surrounded induction, but the left and right sides still up and down in both directions sensing range, sensitivity, still need to try to install the above requirements.

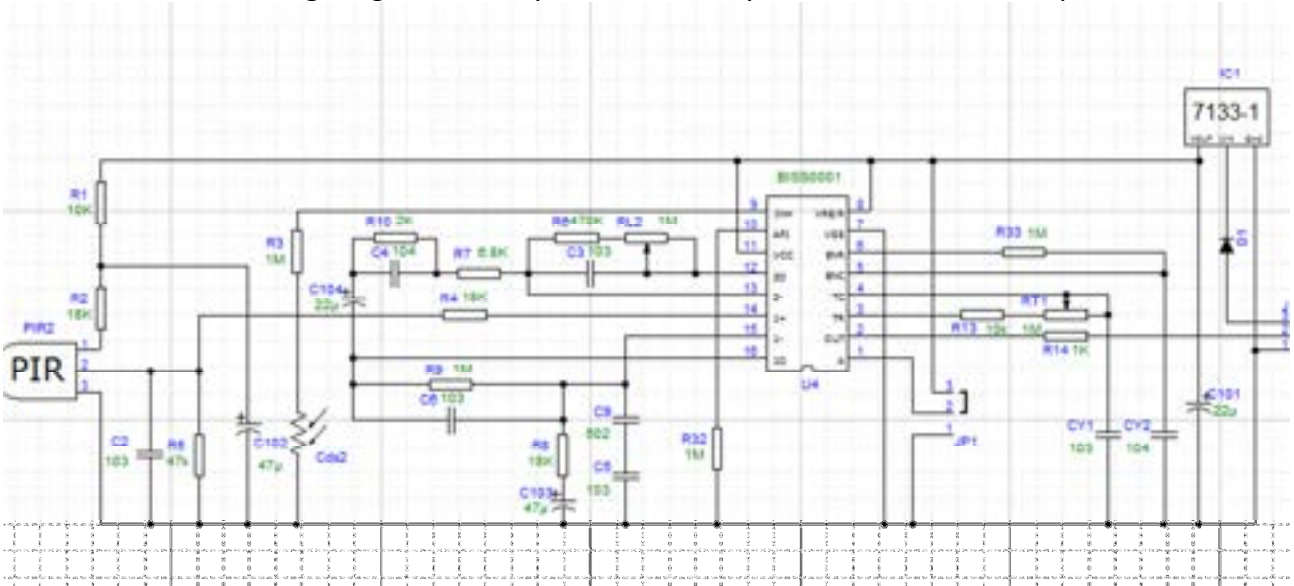


Figura 3.11 Schema elettrico e Caratteristiche del sensore P.I.R.



Figura 3.12 – Sensore P.I.R.

### Logica di funzionamento

Come mostrato dalla Figura 3.1 che descrive lo schema a blocchi del sistema, l'unità centrale riceve i segnali provenienti dal mondo sensoriale ad essa connesso. Il software residente nella memoria della piattaforma ARDUINO UNO acquisisce questi segnali e li tratta in modo diverso a seconda del sensore che li invia. Infatti i sensori che rilevano grandezze fisiche come temperatura, umidità, illuminazione, movimento vibrazioni o livello acustico, sono in genere confrontati con soglie per consentire la decisione sulle azioni di controllo da espletare. Altri tipi di segnali, ad esempio quelli provenienti dai sensori ad infrarossi codificati per il conteggio delle presenze nell'ambiente gestito dal sistema, sono dati in elaborazione ad una routine dedicata al riconoscimento del concretizzarsi dell'accesso o dell'uscita per poter aggiornare il contatore delle presenze che sarà la variabile che comanderà le azioni relative alla presenza o meno delle persone nell'ambiente e che terrà presente le ore uomo di permanenza nell'ambiente per valutare anche gli altri parametri quali ad esempio l'aumento della CO2 ecc...

Il sistema ha la possibilità di relazionarsi con l'esterno tramite tutte le porte di comunicazione standard che non elenchiamo per non dimenticarne. Questa caratteristica consente al sistema di poter allargare il suo raggio di azione potendo inviare dati, messaggi e allarmi ovunque e in qualunque modo. Parallelamente è

pronto per poter interagire in modo biunivoco e quindi poter essere a sua volta controllato da un sistema di livello gerarchico superiore o controllare sistemi di livello gerarchico inferiore. In questi casi gli esempi sono riduttivi ma proviamo, solo con l'obiettivo di estendere il discorso oltre il recinto della razionalizzazione energetica, a esporre con un flash le applicazioni che potrebbe avere nel settore dell'assisted living. Ad esempio il sistema è in grado, sapendo che in un ambiente c'è una persona che ha un monitoraggio continuo di parametri vitali, secondo logiche studiate ed implementate per le specifiche applicazioni, poter prendere decisioni di allertare in modo graduale le varie figure chiamate ad intervenire in caso si verificano condizioni di superamento di soglie, silenzio totale per più di un certo tempo, non movimento di persone per più di un certo tempo, ecc... e magari a seguito di sollecitazione preventiva da parte del sistema della persona a cui si rivolge questa applicazione inviare richieste di aiuto motivate e accettate dalla persona assistita. Questo approccio sembra uscire fuori tema, ma considerando che si ha installato un sistema strumentale che in prima analisi sembra essere dedicato solo alla funzione di razionalizzare e ottimizzare l'uso della risorsa energia, soltanto aggiungendo un pacchetto software si può contemporaneamente gestire la razionalizzazione energetica degli ambienti o della home e l'assisted living con lo stesso sistema hardware e quindi con un impegno economico aggiuntivo praticamente nullo. Nello stesso modo ovviamente si possono implementare anche altre funzioni quali quelle di "security" (antiincendio, antiallagamento, antiintrusione ecc...), di "automation" (innaffiatura delle piante, gestione degli scuri (tapparelle, persiane ecc...) dispensare cibo ad animali ecc... di "management" ecc...

### **Le doti di autoapprendimento**

La prima installazione del sistema prevede delle azioni che consentono al software di memorizzare le impostazioni primarie quali soglie, stili di utilizzo ecc... che sono state implementate in routine di autoapprendimento e di riconoscimento che consentono un utilizzo intelligente del sistema e in grado di autogestirsi. Infatti l'installazione deve prescindere dalle condizioni in cui il sistema verrà installato e dai profili soggettivi di utilizzo degli utilizzatori degli ambienti. Il sistema deve quindi essere in grado durante il primo periodo di installazione di capire dove è installato e chi deve servire per garantire massimo confort e ottimale risparmio.

Nella descrizione particolareggiata del software si tratteranno tali argomenti.

### **Software di gestione**

```

#include "DHT.h"
#define DHTPIN G4 // pin del sensore dht11
// sensore in uso
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

int valorefr = 0, valorefr1 = 0, valorefr2 = 0, valorefr3 = 0;
const int sogliaa = 650; // livello di soglia per accensione
const int sogliaa = 750; // livello di soglia per spegnimento
float h;
float t = 0.0;
float sptemp = 25.00;
float f;
int temp, umid;
const int ledpin = 6;
const int rele = 9;
const int rele2 = 10;
const int contattoporta = A1;
const int contattofinestra = A2;
int transito[8];
int counter;
int i;
int persona = 0;
int sensore1 = 2; // Al pin 2 è collegata l'uscita del sensore : Lo nominiamo:
int sensore2 = 3; // Al pin 3 è collegata l'uscita del sensore : Lo nominiamo:
int statosensore1 = 0;
int statosensore2 = 0;
const int analogInPin = A0; // fotoresistenza
int fotoValue = 0;

// la routine setup viene eseguita una sola volta quando si preme reset:
void setup()
{
  Serial.begin(9600); // inizializza la comunicazione seriale col computer a 9600 bit per sec:
  pinMode(sensore1, INPUT); // definisce il sensore1 collegato al pin 2 un ingresso:
  pinMode(sensore2, INPUT); // definisce il sensore2 collegato al pin 3 un ingresso:
  pinMode(rele, OUTPUT); // definisce il rele collegato al pin 9 in uscita
  pinMode(rele2, OUTPUT); // definisce il rele collegato al pin 10 in uscita
  pinMode(ledpin, OUTPUT); // definisce il led collegato al pin 6 in uscita
  pinMode(analogInPin, INPUT); // definisce fotoresistenza collegata al pin 0 in entrata
}

```

```

pinMode(contattoporta, INPUT); // definisce il contatto magnetico collegato al pin 13 ingresso:
pinMode(contattofinestra, INPUT); // definisce il contatto magnetico collegato al pin 12 ingresso:
dht.begin();
}

// la routine loop viene eseguita indefinitamente
void loop()
{
  // if ( digitalread(contattoporta) == 0 ) goto continua; // se porta chiusa salto a continua
  // Serial.print("stato contatto porta = "); Serial.println(??);

  //***** inizio routine conteggio persone *****

  statosensore1 = digitalRead(sensore1);
  statosensore2 = digitalRead(sensore2);
  // quando i sensori non rilevano passaggio lo stato è 1 , quando rilevano un passaggio lo stato è 0 !!!
  if (statosensore1 == 1 && statosensore2 == 1)goto continua; // se non passa nessuno eseguo il resto del programma
  if (statosensore1 == 0 || statosensore2 == 0)// inizia entrata o uscita: condizionale1 0 oppure 01
  {
    transito[0] = statosensore1;
    transito[1] = statosensore2;
  }
  sensorloop:
  statosensore1 = digitalRead(sensore1);
  statosensore2 = digitalRead(sensore2);
  // quando i sensori non rilevano passaggio lo stato è 1 , quando rilevano un passaggio lo stato è 0 !!!
  if (statosensore1 == 1 && statosensore2 == 1)goto continua; // torno indietro
  if (statosensore1 == 0 && statosensore2 == 0)// mi trovo davanti ai due sensori: condizione2 0 0 transito in corso
  {
    transito[2] = statosensore1;
    transito[3] = statosensore2;
  }
  else goto sensorloop;

  sensorloop2:
  statosensore1 = digitalRead(sensore1);
  statosensore2 = digitalRead(sensore2);
  // quando i sensori non rilevano passaggio lo stato è 1 , quando rilevano un passaggio lo stato è 0 !!!
  if (statosensore1 == 1 || statosensore2 == 1)
  // continuo il percorso in entrata o uscita, uno dei due va a 1 : condizione3 1 0 oppure 0 1
  //(condizione3 dovrebbe essere inversa di condizionale1)
  {
    transito[4] = statosensore1;
    transito[5] = statosensore2;
  }
  else goto sensorloop2;

  sensorloop3:
  statosensore1 = digitalRead(sensore1);
  statosensore2 = digitalRead(sensore2);

  // quando i sensori non rilevano passaggio lo stato è 1 , quando rilevano un passaggio lo stato è 0 !!!
  if (statosensore1 == 1 && statosensore2 == 1)//transito finito, si ritorna allo stato iniziale con 1 1 e faccio conteggio
  {
    transito[6] = statosensore1;
    transito[7] = statosensore2;
  }
  else if (statosensore1 == 0 && statosensore2 == 0)goto sensorloop;
  //ripensamento del transito , tornato indietro quindi mi ritrovo con 0 0
  else goto sensorloop3;

  // stampo array transito x conteggio
  /*
  Serial.println("");
  Serial.println("array transito  ");
  Serial.print(transito[0]); Serial.println(transito[1]);
  Serial.print(transito[2]); Serial.println(transito[3]);
  Serial.print(transito[4]); Serial.println(transito[5]);
  Serial.print(transito[6]); Serial.println(transito[7]);
  */
}

```

```

if ( transito[0] == 0 && transito[4] == 0)Serial.println("***** ripensamento in entrata *****");
if ( transito[1] == 0 && transito[5] == 0)Serial.println("***** ripensamento in uscita *****");
if ( transito[0] == 0 && transito[1] == 0)goto continua;
if ( transito[6] == 0 || transito[7] == 0)goto continua;

// ***** incremento persone

if ( transito[0] == 0 && transito[3] == 0)persona = persona + 1;
if ( transito[1] == 0 && transito[4] == 0)persona = persona - 1;
if ( persona < 0 ) persona = 0;
if ( persona < 0)Serial.println("***** Attenzione: ANOMALIA conteggio *****");
Serial.print("Numero persone presenti= "); Serial.println(persona);

//***** fine routine conteggio persone *****

continua:

// leggo umidità
float h = dht.readHumidity();
// leggo temperatura in Celsius
float t = dht.readTemperature();
// leggo in Fahrenheit ( se Fahrenheit = true)
// float f = dht.readTemperature(true);

// leggo 3 misure di luminosità ad intervallo di 100
if (counter == 1) valorefr1 = analogRead(analogInPin); // legge il primo valore della fotoresistenza;
if (counter == 10000) valorefr2 = analogRead(analogInPin); // legge il secondo valore della fotoresistenza;
if (counter == 20000) {
    valorefr3 = analogRead(analogInPin); // legge il terzo valore della fotoresistenza;
    valorefr = (valorefr1 + valorefr2 + valorefr3) / 3; // Calcola la media dei valori della fotoresistenza letti
}
if ( persona > 0)
{
    digitalWrite(ledpin, HIGH);
    if (valorefr < sogliaa)digitalWrite(rele, HIGH); // se il valore della illuminazione è al disotto della soglia di accensione accendo
    if (valorefr > sogliaa)digitalWrite(rele, LOW); // se il valore della illuminazione è sopra la soglia di spegnimento spengo
    if (t < sptemp) {
        digitalWrite(rele2, HIGH); // se il valore della temperatura è al disotto della soglia del setpoint accendo fenoili
    }
    else
    {
        digitalWrite(rele2, LOW);
    }
}
else
{
    digitalWrite(ledpin, LOW);
    digitalWrite(rele, LOW);
    digitalWrite(rele2, LOW);
}
counter = counter + 1;
if (counter > 20000) // stampo ogni 20000 cicli
{
    Serial.print("umidità = "); Serial.print(h); Serial.print(" temperatura = "); Serial.print(t); Serial.print(" lux = ");
    Serial.print(valorefr); Serial.print(" Numero persone presenti= "); Serial.println(persona);
    counter = 0;
    // mentre esegui il for non conteggia persone e quindi se il blink è alto perdo troppo tempo
    /*for (i = 0; i < persona; i++) // il flash mi dice quante persone ci sono
    {
        digitalWrite(ledpin, HIGH);
        delay(200);
        digitalWrite(ledpin, LOW);
        delay(200);
    }
*/
}
}
}

```

## Gli attuatori

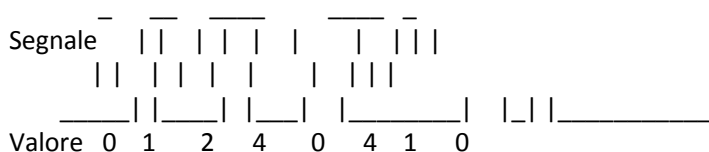
La piattaforma ARDUINO UNO opera i suoi controlli tramite più porte di uscita.

Può infatti, ad esempio, operare tramite Bluetooth, WiFi, collegamento IP, Z-wave, Zigbee, EnOcean, via radio, collegamento telefonico (fisso o GSM), RS232, USB ecc ... A queste opportunità di collegamento

possiamo affiancare e fare affidamento ai classici Relè laddove è necessario comandare direttamente carichi elettrici di un certo impegno in quanto il sistema consente il pilotaggio degli stessi.

Ulteriore disponibilità e possibilità è data dalle uscite digitali PWM ovvero la **modulazione di larghezza di impulso (PWM, pulse-width modulation)**, cioè una modulazione che permette di ottenere una tensione media variabile dipendente dal rapporto tra la durata dell'impulso positivo e di quello negativo (duty-cycle). La durata di ciascun impulso può essere espressa in rapporto al periodo tra due impulsi successivi, implicando il concetto di ciclo di lavoro. Un ciclo di lavoro utile pari a 0% indica un impulso di durata nulla, in pratica assenza di segnale, mentre un valore del 100% indica che l'impulso termina nel momento in cui inizia il successivo.

Di seguito è mostrato un esempio di modulazione a due bit.



Questa caratteristica già pronta ed implementata nel sistema consente ad esempio il pilotaggio di motori elettrici, è in grado di comandare la dimmerazione di lampade per illuminazione, consente il controllo di valvole di regolazione proporzionali ecc...

### Le funzioni di analisi, management e controllo: metering, reporting

La piattaforma ARDUINO UNO, consente la gestione di memorie di massa di vario genere e quindi anche di memorie SD su cui possono essere archiviati dati derivanti dalle misure, o dalle elaborazioni. Un clock consente di referenziare nel tempo i dati utili come reporting delle azioni operate dal sistema in funzione dei dati ambientali che hanno prodotto tali azioni. In questo modo si potranno valutare gli impatti derivanti dall'uso del sistema, si potranno certificare azioni e pianificare eventuali correzioni esterne di vario genere.

#### 3.1.2 Il sensore conteggio accessi

##### Descrizione del sistema

Attualmente la presenza viene, in modo economico, e quindi senza scomodare sistemi di valutazione integrale molto costosi, rilevata con dei sensori ad infrarossi passivi PIR (Passive Infra Red) che di fatto non sono dei veri sensori di presenza ma di effettivo movimento in quanto in grado di rilevare le variazioni di infrarosso emesse dal corpo di esseri viventi caldi e di una certa grandezza. La sensibilità alla grandezza del corpo emittente è regolabile. Questa soluzione però presenta alcuni malfunzionamenti come ad esempio quando gli occupanti del locale gestito dal sistema di rilevamento presenze non muovendosi non fanno attivare il sensore che dopo un certo tempo di ritardo spegne il condizionamento e/o l'illuminazione del locale in cui gli occupanti vivono o lavorano.

Per ovviare "parzialmente" a questo problema si ritarda l'intervento di spegnimento di un tempo che può arrivare anche a 20 minuti (tempo in cui si presume che gli occupanti abbiano avuto un movimento percepibile dal sistema). Questo ritardo aumenta il costo energetico relativo dell'inutile riscaldamento/raffrescamento del locale e della sua illuminazione non potendo agire prontamente.

Si è pensato quindi di risolvere la rilevazione della presenza con un conteggio delle persone che hanno accesso ad un locale. Per fare ciò si sono provati vari sensori commerciali di prossimità utilizzando varie tecnologie quali ad esempio ultrasuoni e infrarossi attivi codificati. Di questa ultima tecnologia sono stati utilizzati due sensori ad infrarossi codificati con la funzione di sensore di prossimità che tarati su una soglia di distanza tra il sensore e il bersaglio, commutano l'uscita da un valore alto ad uno basso quando tale distanza si riduce al disotto della soglia impostata. La necessità di avere due sensori nasce dal fatto di dover discriminare il verso (se in ingresso o in uscita). Una routine provvede a riconoscere l'ingresso o l'uscita

dall'ambiente controllato e quindi a tenere il conteggio delle presenze nel locale o nel luogo monitorato rendendosi insensibile a falsi ingressi o false uscite. Nella descrizione particolareggiata della routine in oggetto si scenderà nel dettaglio. La variabile contatore sarà interrogata dalla routine che provvede a gestire le accensioni e gli spegnimenti delle utenze necessarie solo durante la presenza di persone nell'ambiente gestito.

### **Peculiarità e caratteristiche innovative del metodo di rilevazione accessi**

Come descritto precedentemente, il sistema di conteggio degli accessi è un sistema in grado di risolvere il problema di gestire l'abilitazione/disabilitazione delle utenze di un locale in funzione o meno della presenza di persone nell'ambiente controllato, aumentando il grado di efficienza e annullando i tempi morti dovuti al ritardo che nei sistemi attualmente esistenti è necessario prevedere per ovviare alla disabilitazione delle utenze in caso di non movimento prolungato degli occupanti l'ambiente stesso. Il tutto è inoltre confortato dal fatto che il costo dell'intero sistema è molto basso e che inoltre è in grado di svolgere un enorme mole di lavoro supplementare a quello richiesto per il conteggio degli accessi.

Successivamente si descrive la logica di funzionamento della routine che svolge la funzione di riconoscimento dell'ingresso e dell'uscita.

### **Routine di gestione conteggio ingressi**

Il sistema di conteggio degli accessi è formato da due sensori di prossimità ad infrarossi attivi codificati (frequenza nota) che una volta tarati su una distanza cambiano lo stato dell'uscita digitale quando in sua prossimità si propone un ostacolo (persona). Questi sensori sono configurati con un emettitore ad infrarossi modulato con una portante ben precisa e un ricevitore costituito da un fotodiodo sensibile alla banda emessa dal precedente emettitore. L'elettronica rileva come segnale utile quello modulato dalla frequenza portante rendendo questa misura insensibile ai "rumori" esterni quali la luce ambiente e tutte le emissioni non volute anche nello spettro degli infrarossi che possono manifestarsi nelle vicinanze dei fotodiodi ricevitori. La necessità di disporre di due coppie di trasmettitore/ricevitore nasce dall'esigenza di discriminare il verso del transito potendo quindi stabilire se si tratta di un ingresso o un'uscita.

Infatti la routine scritta in linguaggio C per ARDUINO UNO, valuta con una logica booleana la sequenza delle successioni e considera un transito avvenuto quando si concretizza una delle seguenti due matrici (matrice ingresso e matrice uscita) dove le due colonne riportano le sequenze dei cinque stati logici che i due sensori assumeranno durante il transito e le cinque righe indicano lo stato dei due sensori stessi nelle varie fasi di transito.

Di seguito si riportano le due matrici che esprimono lo stato dei due sensori e gli stadi del transito descritti nelle note esplicative.

Matrice ingresso:

Sensore esterno	Sensore interno	Nota esplicativa
1	1	Entrambi i sensori non attivati
0	1	Attivato il sensore esterno
0	0	Entrambi i sensori attivati
1	0	Attivato il sensore interno
1	1	Entrambi i sensori non attivati

Al verificarsi della precedente matrice di eventi si considera che sia avvenuto un ingresso nel locale controllato e quindi viene incrementato il contatore presenze.

Matrice uscita:

Sensore esterno	Sensore interno	Nota esplicativa
1	1	Entrambi i sensori non attivati
1	0	Attivato il sensore interno
0	0	Entrambi i sensori attivati
0	1	Attivato il sensore esterno
1	1	Entrambi i sensori non attivati

Al verificarsi della precedente matrice di eventi si considera che sia avvenuta una uscita dal locale controllato e quindi viene decrementato il contatore presenze.

Quindi se si verificano sequenze diverse dalle due precedenti significa che si sono manifestate situazioni diverse da un transito completo e il contatore non verrà attivato né in incremento né in decremento. Altrimenti il contatore presenze verrà incrementato quando si verifica un accesso e verrà decrementato quando si verifica un'uscita.

In altre parole ad esempio per la matrice uscita dopo la situazione 1, 1 mi attendo 1, 0 se ciò si verifica mi attendo 0, 0 se ciò si verifica mi attendo 0, 1 e se ciò si verifica mi attendo 1, 1 per concludere la matrice di ingresso. Se questa sequenza viene interrotta il transito è considerato abortito e si rimette in attesa di un nuovo tentativo.

Il sistema è robusto e affidabile ma, per escludere qualche eventuale anche se improbabile doppio conteggio o non conteggio, si è pensato di rendere il sistema di rilievo presenze ridondante con un ulteriore rivelatore di movimento a infrarossi passivo di tipo PIR che se rilevasse movimenti quando il contatore vale zero, incrementa di uno il suo valore o, se qualora con contatore maggiore di uno dopo un certo tempo (molto lungo, ad esempio 100 minuti), e comunque ancora da definire, non rilevasse nessun movimento, porta il contatore a zero forzando lo spegnimento.

Ovviamente questa ridondanza è escludibile qualora la sperimentazione dimostrasse la completa e sicura affidabilità del sistema di controllo accessi.

### 3.1.3 Conclusioni

Si è discusso di un sistema modulare che può crescere sia sul suo piano che come un frattale su altri piani di livello gerarchico diverso mettendo a frutto l'esperienza di più competenze e conoscenze che integrate e coordinate possono cooperare per il raggiungimento di un target di livello elevato anche con spunti innovativi e comunque aperti e di facile modellazione su specifiche applicazioni e realizzazioni.

Il presente studio ha avuto più di un obiettivo:

Dimostrare il funzionamento di un sistema fatto in casa capace di gestire una "room" o "ufficio" in modo razionale e ottimale con la possibilità di implementare e verificare anche logiche innovative studiate e ideate in ENEA.

Dotare il sistema di capacità di autoapprendimento e autocalibrazione per renderlo più appetibile dal mercato.

Sviluppare codici di calcolo e analisi di segnali con lo scopo di sfruttare le logiche delle reti neurali e logiche fuzzy per pervenire a far cooperare più sensori per arrivare alle misure indirette di grandezze fisiche "ostili" o "costose" o comunque non misurabili con strumentazione convenzionale.

Implementare nel sistema anche altre funzioni di tipo "smart" quali quelle dell' Assisted Living, Security, Metering, Reporting, Processing, Management ecc...

## 3.2 Rilevazione presenze indoor tramite metodi attivi ed introduzione ai metodi passivi (ENEA)

Tale attività è la prosecuzione di uno studio preliminare iniziato nella precedente annualità (RdS/PAR2014/023) che ha visto lo sviluppo di un'applicazione prototipale per il rilevamento della presenza tramite tecnologia mobile sia per la piattaforma Android che per la piattaforma iOS.

In questa prosecuzione dell'attività sono state portate a termine le seguenti tre linee di sviluppo.

La prima riguarda il completamento dello sviluppo dell'applicazione su piattaforma Android, già disponibile sul Google Play Store, ed i relativi test. La seconda linea riguarda il completamento dello sviluppo dell'applicazione per piattaforma iOS con alcuni test. La terza linea di sviluppo riguarda uno studio preliminare di tecnologie che utilizzano metodi passivi. Le tre linee di sviluppo saranno descritte dettagliatamente nei prossimi paragrafi.

### 3.2.1 Applicazione su piattaforma Android

Per quanto riguarda questa attività è stata innanzitutto rilasciata una nuova versione dell'App su piattaforma Android. Questa nuova versione include anche la possibilità di monitorare anche dei locali comuni in un edificio oltre alla propria stanza (ad esempio delle sale riunione). La nuova versione dell'App è già disponibile sul Google Play Store. Si è poi proceduto ad effettuare una serie di test grazie anche alla collaborazione di alcuni colleghi in possesso di uno smartphone con sistema operativo Android. I colleghi in questione sono quattro ognuno dei quali occupa una propria stanza. Per la realizzazione dei test sono state necessarie tre fasi:

1. Configurazione dei beacon e del server
2. Installazione e configurazione dell'applicazione sui dispositivi e avvio del test
3. Raccolta dati finale attraverso un semplice questionario

La configurazione dei beacon e del server è stato un passo molto semplice da eseguire. Il beacon viene identificato con una stringa univoca. Bisogna quindi associare questa stringa al numero della stanza che si vuole monitorare. Questa operazione viene eseguita sul server. In pratica nel server viene resa permanente l'accoppiata beacon-stanza. Il beacon possiede anche altri parametri, uno dei quali viene impostato al numero della stanza dove verrà collocato ma questo non è rilevante ai fini del funzionamento, è stato fatto solo per motivi dimostrativi. Ciò che è servito al momento è solamente l'identificativo del beacon. In seguito potranno essere utilizzati gli altri parametri del beacon per altri scopi o per migliorare l'attuale rilevazione. Una volta effettuata questa configurazione per tutti i beacon essi sono stati collocati nelle rispettive stanze, in una posizione non visibile a chiunque entri.

Si è passati poi alla seconda fase, cioè l'installazione e configurazione dell'applicazione su ciascun dispositivo. Ogni dipendente si è collegato al Google Play Store ed ha scaricato l'App Smart Building. A questo punto è stato ovviamente necessario configurare l'applicazione. L'utente ha quindi inserito i dati relativi della propria posizione nel centro dell'ENEA. Poiché l'applicazione non è stata realizzata ad hoc per i dipendenti ENEA, l'utente ha dovuto inserire rispettivamente i seguenti dati:

Ente/Azienda: ENEA

Centro: Casaccia

Edificio: C59

Stanza: 117

Ovviamente i primi tre dati sono stati gli stessi per tutti i colleghi mentre il numero di stanza è stato diverso. Una volta inseriti questi dati e inviati al server, quest'ultimo ha rilasciato a ciascun collega l'identificativo del beacon di riferimento. In questo modo l'applicazione sullo smartphone conosce l'identificativo del beacon con cui deve interagire ossia quello collocato nella propria stanza. Ogni altro identificativo verrà ignorato. Per completezza bisogna dire che il server ha inviato all'app anche gli identificativi dei beacon che si trovano nelle stanze comuni come le sale riunione ma, al momento, non è stato eseguito alcun test su questa tipologia di locali. A questo punto si è potuto dare il via al test vero e proprio. Ogni applicazione è stata avviata utilizzando il relativo tasto ed ha cominciato a monitorare la presenza/assenza del dipendente nella stanza. Si vuole sottolineare ancora una volta che l'applicazione funziona in background, quindi l'utente può comunque utilizzare lo smartphone per altri motivi (può telefonare, inviare messaggi, utilizzare altre app etc). Ricordiamo che il funzionamento dell'app è molto semplice: essa controlla i segnali

bluetooth provenienti dal beacon con l'identificativo predefinito. Il raggio d'azione del beacon è limitato. Ogni qual volta l'app rileva un cambiamento rispetto alla situazione precedente invia un messaggio al server. In pratica se l'app si trova nel raggio d'azione del beacon e rileva un allontanamento significativo dal beacon, invia un messaggio al server. Viceversa, se l'app non si trova nel raggio d'azione del beacon e ad un certo punto rileva l'identificativo del beacon, invia un messaggio al server. In pratica sul server ci saranno una serie di informazioni circa la rilevazione o meno del beacon, ossia la presenza o meno dell'utente nella stanza. I test sono andati avanti per alcune settimane. Si è passati poi alla terza fase, ma comunque bisogna subito dire che durante il periodo di test nessun collega ha lamentato alcun problema al proprio smartphone.

La terza fase è consistita nell'analisi dei dati sul server e nel capire, tramite un breve questionario, se l'applicazione avesse causato un qualche problema su ciascun smartphone. Per quanto riguarda il questionario è stato chiesto a ciascun collega se:

1. Nel periodo del test avesse dovuto caricare lo smartphone più frequentemente.
2. Se ci fossero stati dei problemi per cui si fosse reso necessario un riavvio dello smartphone.
3. Se ci fossero incongruenze tra i dati registrati sul server e quelli reali
4. Se ci fossero addirittura giorni in cui il server non ha registrato affatto la presenza in ufficio.

Alle prime due domande tutti i colleghi hanno risposto decisamente in maniera negativa, ciò significa che l'applicazione non presenta errori che portano al crash dell'applicazione. Inoltre, pur dovendo utilizzare il bluetooth per la rilevazione dei beacon, nessun smartphone ha risentito di questo ulteriore consumo di energia. Anche alla quarta domanda tutti hanno risposto in maniera negativa. Per quanto riguarda la terza domanda bisogna evidenziare che sul server sono stati registrati diversi messaggi che rilevano un uscita-entrata nella stanza di pochi secondi, come se l'utente si fosse assentato per pochi secondi. Tutti i dipendenti hanno risposto che forse questo può essere capitato qualche volta ma non frequentemente. Si è quindi indagato meglio e si è notato che ad intervalli irregolari vengono generati questi falsi positivi, ossia lo smartphone, pur trovandosi all'interno della stanza, non rileva la presenza del beacon, invia quindi un messaggio come se il dipendente fosse uscito dalla stanza e, dopo pochissimi secondi, torna a rilevare la presenza del beacon e genera quindi un nuovo messaggio come se il dipendente fosse rientrato nella stanza. Probabilmente questo problema è legato al funzionamento del sistema operativo Android, piuttosto che all'applicazione ma si dovrà indagare meglio e, nella prossima versione dell'applicazione, verrà sicuramente corretto il problema. In conclusione si può senz'altro affermare che l'applicazione svolge bene la sua funzione senza interferire con le altre applicazioni e funzionalità dello smartphone e senza nessun significativo ulteriore consumo di energia. Su quest'ultimo punto è opportuno precisare che nella fase di sperimentazione è stato chiesto ai partecipanti al test di non modificare le loro abitudini e non chiudere o attivare l'applicativo installato; la frequenza di ricarica in queste condizioni di lavoro non è cambiata significativamente lasciando inalterato il tipico ritmo di ricarica circadiano (o più lungo).

### 3.2.2 Applicazione su piattaforma iOS

La seconda linea di sviluppo riguarda l'implementazione di una versione della stessa applicazione per la piattaforma iOS. In questo caso l'applicazione è stata sviluppata ma non è stata ancora rilasciata sull'App Store. Per quanto riguarda la piattaforma iOS è stata sviluppata una versione della stessa applicazione anche per tablet (iPad).

Anche in questo caso sono stati effettuati dei test con dei beacon reali ma senza il coinvolgimento di altri colleghi. Si tratta quindi di test di laboratorio effettuati durante la fase di sviluppo e messa a punto dell'applicazione.

In questo caso i test non hanno evidenziato problemi sia per quanto riguarda l'applicazione che per quanto riguarda il consumo energetico. Il problema dei falsi positivi non sembra essersi evidenziato segno quindi che potrebbe sicuramente trattarsi di un comportamento legato ad una qualche impostazione del sistema

operativo. Questo comportamento mette in evidenza il fatto che lo sviluppo di un'applicazione per dispositivi mobili deve continuamente essere verificata sia quando escono nuovi modelli di smartphone e soprattutto quando escono aggiornamenti di sistemi operativi.

Accanto allo sviluppo di questa applicazione, sempre per la piattaforma iOS, è iniziato lo sviluppo di una seconda applicazione che serve per interagire con il server sia per monitorare i dati sia per aggiornarli. Quindi l'amministratore di sistema è in grado di interagire con il sistema centrale anche se non è in possesso di un normale computer.

### 3.2.3 Metodi passivi

La terza linea di attività ha riguardato uno studio preliminare di tecnologie che utilizzano metodi passivi. Le attività precedenti sono basate sulla installazione di software client (Apps) sui telefoni mobili e software server sulle piattaforme allocate per la raccolta dei dati. La piattaforma server può essere localizzata all'interno del centro (o nell'edificio) o essere gestita in modalità remota anche in "cloud". In ogni caso è necessaria la collaborazione attiva dei soggetti di cui si intende monitorare indirettamente la presenza tramite i loro dispositivi di telefonia mobile. L'idea fondamentale del nuovo paradigma è osservare l'attività delle comunicazioni mobili o dei dispositivi dotati di connessione bluetooth o wireless tramite un server (tipicamente linux) che viene utilizzato in modalità promiscua (cioè non filtrando le connessioni). In tal modo si realizzano degli "sniffer" che memorizzano i MAC address e gli IMAI dei dispositivi attivi nel raggio di copertura. L'associazione IMAI-individuo o MAC address-individuo può consentire l'indiretta identificazione del soggetto, ma questa attività può essere volutamente evitata per rispetto della privacy.

Il server viene collegato alla rete tramite la ethernet e i dati da esso raccolti nel log possono essere analizzati in tempo reale (o ex post) per consentire la pianificazione dei consumi energetici ed evitare l'interruzione della loro erogazione in presenza di dispositivi attivi. Lo stesso sistema consente nel contempo di ottenere informazioni sulla presenza e localizzazione dei dispositivi utilizzabile in caso di emergenze o altre necessità relative alla sicurezza. Il vantaggio notevole di questo secondo sistema è il superamento della fase di installazione delle App e il monitoraggio a tappeto anche di presenze occasionali, non facilmente prevedibili.

#### **Problemi di fattibilità dei metodi passivi**

I metodi passivi presentano degli aspetti interdisciplinari non trascurabili legati al rispetto della giurisdizione ed ai costi dei dispositivi. In particolare le leggi sulla "privacy" limitano l'acquisizione dei dati relativi agli spostamenti degli individui (Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio del 12 luglio 2002 (2002/58/CE) ed il Codice in materia di protezione dei dati personali cioè il Decreto legislativo 30 giugno 2003, n. 196 e successive integrazioni e modificazioni).

I dispositivi commerciali in grado di identificare l'IMAI di un dispositivo di comunicazione di telefonia mobile sono essenzialmente le antenne riceventi delle cellule delle reti mobili ed i relativi server di gestione. Il tipico costo attuale di una postazione è di diverse centinaia di migliaia di euro e pertanto l'uso massivo in ambiente abitativo o lavorativo non è sostenibile. Tuttavia esistono dei dispositivi che si limitano a rilevare l'attività di trasmissione nelle bande UMTS e consentono la ricognizione dei dispositivi di connettività mobile senza tuttavia identificarli. Tali dispositivi hanno anche il vantaggio di essere intrinsecamente rispettosi della confidenzialità delle comunicazioni e degli spostamenti degli individui. Le diverse frequenze di comunicazione consentono di quantificare il numero dei dispositivi di comunicazione mobile presenti, ma non ne identificano la titolarità. Ai fini delle applicazioni energetiche e di sicurezza le condizioni di lavoro sono dunque quelle ottimali.

#### **Localizzazione dei dispositivi**

Sia per le applicazioni di efficienza energetica che per quelle di sicurezza è molto importante localizzare gli individui (nel nostro caso tramite i dispositivi mobili) per consentire una fornitura selettiva dei servizi.

I rilevatori di dispositivi di comunicazione mobile di costo moderato (1500€ prezzo al dettaglio) presentano un tipico raggio di azione di 30 metri all'interno del quale la ricognizione dei dispositivi mobili ha un'efficienza del 100% ed un tempo tipico di ricognizione che dipende dalla frequenza con cui il dispositivo si collega alla cella prossimale (tipicamente meno di un minuto). I dispositivi di rilevamento commerciali allo stato attuale non forniscono dati sull'intensità dei segnali e pertanto all'interno del loro raggio di azione non è possibile localizzare i dispositivi di comunicazione mobile. I rilevatori non sono corredati di veri processori ma possiedono dei microprocessori e la connettività ethernet; pertanto i produttori forniscono dei server di gestione per i log-file raccolti dai rilevatori. Tali server sono accessibili via internet, ma le informazioni trasmesse sono codificate secondo protocolli non standard. Per accedere all'insieme completo delle informazioni, nei prossimi anni si cercherà di raggiungere accordi con le società produttrici per chiedere modifiche ai loro software o ottenere delle API o almeno la descrizione dettagliata dei protocolli di comunicazione ed il formato dei dati.

Disponendo di una rete di rilevatori di dispositivi di comunicazione mobile è possibile (per triangolazione o altre tecniche più sofisticate conoscendo l'intensità del segnale) localizzare i dispositivi mobili con una precisione che dipende dalla maglia dei rilevatori. L'analisi dei tracciati temporali dei segnali relativi ad uno stesso dispositivo può anche consentire di individuare i casi in cui la mobilità della sorgente è evidentemente associata ad un movimento umano del possessore, mentre è più delicata l'individuazione di dispositivi mobili dimenticati e distinguerli dal caso in cui il possessore staziona in uno stesso locale.

Accanto alla tecnologia matura disponibile sul mercato, amatori della disciplina stanno sviluppando altri applicativi sui dispositivi mobili e non si esclude che possano apparire a breve delle app in grado di rilevare gli altri dispositivi di comunicazione UMTS attivi. Anche questo settore dovrà essere costantemente monitorato per eventuali applicazioni di basso costo.

## 4 Conclusioni

Questo obiettivo mira a sviluppare nel triennio strumenti utili per la pianificazione dei flussi energetici e la gestione di reti di edifici gestiti da un sistema centrale di supervisione. Applicando logiche previsionali per il calcolo della produzione e del consumo di energia elettrica e termica, il sistema di supervisione sarà capace di simulare il bilancio energetico di una micro-rete con un giorno di anticipo (*day-ahead*). Il giorno successivo il sistema avrà il compito di controllare i nodi della microrete, costituiti da impianti di generazione distribuita, utenze di vario genere (illuminazione, HVAC, etc) e sistemi di accumulo, tramite la schedulazione dei carichi, dei generatori, delle utenze e dei sistemi di accumulo in modo da garantire il bilanciamento ottimo dei flussi energetici, inseguendo l'ottimizzazione di funzioni di costo o la massimizzazione dell'autoconsumo. Questa attività si integra in un progetto più ampio che prevede la pianificazione dei flussi energetici e fornisce previsioni di richiesta energetica al sistema centrale di supervisione. La finalità è quella di apprendere il profilo di utilizzo dei locali sia in base all'occupazione sia allo stile di fruizione delle risorse energetiche, operare le dovute azioni volte al taglio degli sprechi e alla comunicazione e aggiornamento delle previsioni di richiesta energetica della singola cella (room) del sistema più complesso (building).

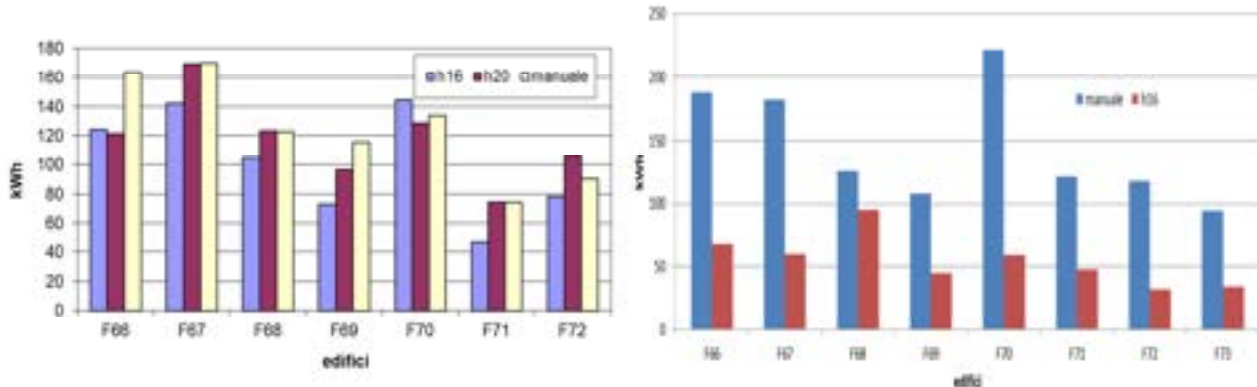
Le attività di questa prima annualità si sono articolate in due sotto-obiettivi :

1. Estensione metodi di controllo e modellazione e sviluppo di un sistema di "*demand-response*" per aggregati di edifici terziari
2. Sviluppo di sistemi multisensoriali integrati per il controllo di uffici

Il primo sotto-obiettivo si è articolato in 6 attività.

La prima ha riguardato l'estensione delle metodologie di controllo, basate sul concetto di *energy-on-demand*, ad una rete di edifici e ne sono stati valutati i risparmi energetici sulla linea luci e climatizzazione. La sperimentazione, effettuata sul cluster di 8 edifici all'interno del C.R. Casaccia, ha mostrato risparmi medi di circa il 20% sulla linea luci e del 60% su quella della climatizzazione.

Il grafico seguente mostra in sintesi il confronto tra il controllo automatico proposto e il controllo manuale sugli edifici oggetto della sperimentazione.



La seconda ha visto lo studio di modelli *grey-box* per la descrizione del comportamento energetico dell'edificio attraverso la similitudine edificio-circuito elettrico. Questo ha riguardato la modellazione e calibrazione di un modello termico invernale dell'edificio e di uno estivo. Per la stagione invernale si è raggiunto un errore medio assoluto percentuale del 5,4% per quanto riguarda l'energia termica, mentre per la stagione estiva si è ottenuto come errore migliore per l'energia termica il 10,6%.

La terza ha riguardato lo sviluppo di funzionalità per un simulatore di micro-distretto orientato al Demand-Response (DR), in particolare: modellazione di impianti di produzione fotovoltaica, calibrazione di sistemi di accumulo termico ed elettrico, simulazione di scenari migliorativi in ottica DR dell'attuale edificio F40 e della micro-rete, ingegnerizzazione del simulatore.

Nella quarta sono continuati alcuni studi iniziati nelle precedenti annualità (RdS/PAR2014/024) inerenti la gestione energetica efficiente di edifici terziari e ne sono iniziati altri riguardanti gli scenari di Demand-Response.

In particolare nel primo caso le linee di attività sono state:

- Definizione e descrizione dei casi d'uso di gestione energetica efficiente degli edifici appartenenti allo "Smart Village" ENEA.
- Strategie di controllo predittivo per la regolazione di temperatura di edifici multi-zona sulla base del livello di occupazione e del prezzo dell'energia

Le nuove attività hanno riguardato:

- Valutazione della flessibilità nell'ambito Demand-Response di un micro distretto costituito da edifici appartenenti allo "Smart Village" ENEA (vedere tabella sintetica dei risultati di seguito).
- Analisi dei principali open standard di comunicazione orientati al Demand-Response

Scenario	Daily cost [€]	Saving compared to Scenario 0 [%]	Daily energy request to the grid [kWh]
<b>0 (No Gen., No Stor.)</b>	272,39	0	1626,48
<b>1 (Gen., Stor.)</b>	173,59	36,27	1027,38
<b>2 (No Gen., Stor.)</b>	294,61	-8,16	1763,58
<b>3 (Gen., No Stor.)</b>	155,89	42,77	901,18

In tale tabella sono confrontati tre scenari emulati (Scenario 1: micro-distretto con elementi di generazione e di storage; Scenario 2: micro-distretto con i soli elementi di storage; Scenario 3: micro-distretto con i soli elementi di generazione) con lo scenario di benchmark (Scenario 0) che esclude la presenza di elementi di generazione e di storage e che corrisponde allo stato attuale del cluster di edifici ENEA. Tutti i risultati degli scenari emulati fanno riferimento a reali condizioni di consumo e meteo registrate nello Smart Village ENEA. Lo scenario che mostra i risultati migliori dal punto di vista delle richieste energetiche alla grid e, quindi, dei costi da sostenere è quello in cui il micro distretto è dotato dei soli elementi di generazione.

La quinta ha visto l'estensione del sistema di su un singolo edificio del JRC Ispra (Ed. ENEA 14c). In particolare in questa installazione sono state poste sotto monitoraggio 36 grandezze elettriche afferenti a diversi usi finali (consumi generali, luci, prese, climatizzazione, ascensori) ed installati attuatori per permettere il controllo remotizzato (ad es. tramite scheduling orari e giornalieri) di alcuni di questi (luci e climatizzazione). Tali dati sono stati integrati all'interno della piattaforma software esistente che già gestisce gli edifici dello 'Smart Village Casaccia'.

Nell'ultima è stata condotta un'analisi costi/benefici della conversione orientata al DR di edifici terziari dalla climatizzazione a gas a quella elettrica. In particolare è stato analizzato il caso di elettrificazione della climatizzazione di un edificio terziario reale (Edificio F40 presso il C.R. Ricerche 'Casaccia'), rappresentativo di una ampia fetta di edifici pubblici ad uso terziario con impianti di climatizzazione obsoleti o a fine vita che necessiterebbero interventi di riqualificazione. Le attività hanno riguardato lo sviluppo e l'analisi di un modello Prosumer per la valutazione del costo di conversione dalla climatizzazione a gas a quella elettrica, sotto l'ipotesi di impiego del fotovoltaico, dello storage e del demand response. Tali aspetti sono stati trattati in questa annualità in modo semplificato considerando degli indici di producibilità media per la zona e la superficie a disposizione ed ipotizzando percentuali di risparmio fisse dovute ai programmi di demand response operanti sul mercato energetico del giorno prima. I risultati hanno fornito un'analisi economica critica dell'investimento in termini di VAN, ROI e PBP e la valutazione delle esternalità ambientali.

Il secondo sotto-obiettivo si è articolato in 2 attività.

La prima ha riguardato lo sviluppo di un prototipo di sistema multisensoriale integrato a basso costo con lo scopo di dare un valore aggiunto alle capacità di monitoraggio e misura dei singoli sensori nell'ottica dell'integrazione di più sensori in un unico sistema. I sensori utilizzati nel prototipo realizzato sono: temperatura, umidità, luminosità, prossimità, movimento, rumore, apertura e chiusura delle porte, apertura e chiusura delle finestre.



La seconda ha visto l'implementazione di sistemi di rilevazione delle presenze indoor tramite metodi attivi basati su app per mobile sia su piattaforma Android (disponibile sul Google Play Store) che per iOS pronta per essere sottoposta all'App Store. Inoltre è stato affrontato uno studio preliminare di tecnologie che utilizzano metodi passivi in cui l'idea fondamentale del nuovo paradigma è osservare l'attività delle comunicazioni mobili o dei dispositivi dotati di connessione bluetooth o wireless tramite un server che viene utilizzato in modalità promiscua.

Per la annualità successiva si prevede di proseguire le attività secondo le seguenti linee guida.

Per quel che riguarda il sotto-obiettivo "Estensione metodi di controllo e modellazione e sviluppo di un sistema di Demand-Response (DR) per aggregati di edifici terziari" proseguirà l'analisi dei dati degli edifici monitorati. In particolare, sulla nuova installazione ad ispra saranno applicate le logiche di diagnostica già applicate negli edifici della casaccia, saranno applicate logiche di controllo e ne saranno analizzati i risultati. Attraverso il simulatore sviluppato si studieranno in modo sistematico gli scenari di flessibilità di uno smart

building tipo (ed. F40) orientato al DR. Infine proseguiranno gli studi economico-finanziari di un micro-distretto orientato a scenari di DR.

Per quel che riguarda il sotto-obiettivo “Sviluppo di sistemi multisensoriali integrati per il controllo di uffici” sarà ingegnerizzato il un prototipo di sistema multisensoriale integrato e ne saranno testate in campo le funzionalità. Inoltre, proseguirà lo sviluppo dei sistemi di rilevazione delle presenze indoor attraverso metodi passivi.

## 5 Riferimenti bibliografici

I riferimenti bibliografici devono essere richiamati nel testo con numeri progressivi tra parentesi quadre e riportati a fine testo con il seguente formato:

1. A. Autore, B. Autore, "Titolo dell'articolo", Rivista o Libro, n. volume (anno), pp. iniziale-finale. Nel caso di libri seguono Editore, Luogo di pubblicazione.

Nel caso di contributi a convegni:

1. A. Autore, “Titolo del contributo”, titolo degli atti, data e luogo del convegno, editore, anno di pubblicazione, pp. iniziale-finale.

A grey-box model of next-day building thermal load prediction for energy-efficient control - Wang, Xu, Xiao – International journal of energy research, December 2008

Comparison and simulation of building thermal models for affective energy management – Amara, Agbosson, Cardenas, Dubè, Kelouwani – Smart grid and renewable energy 2015 6, 95-112

CTSM-R User guide

Development and validation of “grey-box” models for refrigeration applications: a review of key concepts – Flores, De Ketelaere, Lammartyn – International journal of refrigeration 29 (2006) 931-946

Grey-box modelling of the heat dynamics of a building with CTSM-R – Juhe, Kristensen, Bacher, Kloppenborg, Mandsen – 2013

Parameter estimation in stochastic grey-box models – Kristensen, Mandsen, Jorgensen – Automatica 40 (2004) 225-237

Simple example of grey-box modelling of the heat dynamics of a wall with CTSM-R – Juhe, Kristensen, Bacher, Kloppenborg, Mandsen – 2013

Thermal models for intelligent heating of building – Thavlov, Bindner – International conference of applied energy (2012)

ACER (2012), Framework Guidelines on Electricity Balancing (2012) Ljubljana. Available from: [http://www.acer.europa.eu/official\\_documents/public\\_consultations/closed%20public%20consultation\\_s/dfgeb2012e004\\_pc\\_docs/initial%20impact%20assessment.pdf](http://www.acer.europa.eu/official_documents/public_consultations/closed%20public%20consultation_s/dfgeb2012e004_pc_docs/initial%20impact%20assessment.pdf) Agenzia delle Entrate, Circolare n. 36 19/12/2013; Albadi, M. H., El-Saadany, E. F. (2008). A summary of demand response in electricity markets. Electric power systems research, 78(11), 1989-1996.

C. Artioli, et al., 2013, Una mappa delle emissioni specifiche e del costo medio di generazione di diversi mix elettrici, ENEA, Report RdS/2013/062;

- Comodi, G., Fonti, A., Giantomassi, A., Polonara, F., Longhi, S. (2014). Sviluppo di un simulatore di edifici orientato alla gestione attiva della domanda.
- DEFRA, 2012, Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emission Factors, PB 13792;
- M. Del Prà, 2011, le imposte sull'energia elettrica, Energia Elettrica e Norme Fiscali.
- Decreto legislativo n. 50 18/04/2016, Gazzetta Ufficiale della Repubblica;
- DL. N95 06/07/2012, Art.23 quater, Gazzetta Ufficiale della Repubblica;
- Eid, C., Koliou, E., Valles, M., Reneses, J., Hakvoort, R. (2016). Time-based pricing and electricity demand response: Existing barriers and next steps. Utilities Policy.
- European Commission (EC) (2014). Guide to cost-benefit analysis of Investment projects.
- European Commission (EC) (2016). Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni - Una strategia dell'UE in materia di riscaldamento e raffreddamento.
- Greening L. A (2010) Demand response resources: who is responsible for implementation in a deregulated market? Energy, 35, pp. 1518–1525 <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.12.013>
- Kosonen, R., e Tan, F. (2004). Assessment of productivity loss in air-conditioned buildings using PMV index. Energy and Buildings, 36(10), 987-993.
- Legge 7/08/2012 n. 135 , Gazzetta Ufficiale della Repubblica;
- Z. Makuck, I. Kountouris, E F. Tan Loh, 2014, Unlocking the hidden value of carbon offsetting, ICROA, Imperial College London;
- Ministero Economia e Finanza (MEF) (2010). I beni mobili di proprietà dello Stato Rinnovazione degli inventari e istruzioni operative, Luglio.
- Pinson, P., & Madsen, H. (2014). Benefits and challenges of electrical demand response: A critical review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 39, 686-699.
- Siano, P., Sarno, D. (2016). Assessing the benefits of residential demand response in a real time distribution energy market. Applied Energy, 161, 533-551.
- Torriti, J., Hassan, M. G., Leach, M. (2010). Demand response experience in Europe: Policies, programmes and implementation. Energy, 35(4), 1575-1583
- Torriti, J., (2015). Dynamic electricity tariffs: will they do the job? Workshop on Status, Barriers and Incentives to Demand Response in EU Member States Brussels.
- US Department of Energy (2006). Benefits Of Demand Response In Electricity Markets And Recommendations For Achieving Them. Available from: [http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE\\_Benefits\\_of\\_Demand\\_Response\\_in\\_Electricity\\_Markets\\_and\\_Recommendations\\_for\\_Achieving\\_Them\\_Report\\_to\\_Congress.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE_Benefits_of_Demand_Response_in_Electricity_Markets_and_Recommendations_for_Achieving_Them_Report_to_Congress.pdf).

Weisser, D., 2007, A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies: Energy, v. 32, iss. 9, 17 p. ;

Wyon, D.P. (1996). Indoor environmental effects on productivity. IAQ 96 Paths to better building environments/Keynote address, Y. Kevin. Atlanta, ASHRAE, pp. 5–15.

## 6 Abbreviazioni ed acronimi

### **Bau**

Scenario controfattuale nel quale si ipotizza che si replicheranno nei prossimi 20 anni investimenti analoghi a quelli effettuati negli ultime 8 anni. In questo scenario si assume che, pur in assenza di una strategia centralizzata orientata all'ammodernamento/sostituzione dell'impianto di teleriscaldamento, annualmente vengano realizzate delle iniziative di investimento in impianti termici distribuiti alimentati elettricamente. Queste iniziative sono autonome e indipendenti le une dalle altre.

### **DoMax**

Scenario controfattuale nel quale si ipotizza che l'azienda doti immediatamente l'edificio F40 di impianti termici distribuiti alimentati elettricamente e in grado di garantire temperature analoghe alle temperature che si avrebbero negli ambienti di lavoro con l'investimento nella pompa di calore

### **DoMin**

Scenario controfattuale nel quale si ipotizza che non sia programmato alcun intervento di sostituzione o ammodernamento dell'impianto di teleriscaldamento. L'azienda si limita ad effettuare degli interventi di manutenzione straordinaria nei casi di mal funzionamento dell'impianto.

### **DR**

Demand Response

### **DSM**

Demand Side Management

### **PBP**

Payback Period

### **PBP<sub>a</sub>**

Payback Period attualizzato

### **TIR**

Tasso interno di rendimento

### **VAN**

Valore attuale netto

### **MAPE**

Mean Absolute Percentage Error