



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



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Sviluppo di una metodologia per la diagnostica remota di reti di edifici  
integrata nella rete della pubblica illuminazione: applicazione su smart  
village C.R. Casaccia

*S. P. Corgnati, A. Capozzoli, F. Lauro, S. Pizzuti, D. Raimondo, N. Talà*



POLITECNICO DI TORINO



TEBE Research Group

SVILUPPO DI UNA METODOLOGIA PER LA DIAGNOSTICA REMOTA DI RETI DI EDIFICI INTEGRATA NELLA RETE DELLA PUBBLICA ILLUMINAZIONE: APPLICAZIONE SU SMART VILLAGE C.R. CASACCIA

S. P. Corgnati, A. Capozzoli, F. Lauro, D. Raimondo, N. Talà (Politecnico Di Torino, Dipartimento Energia)  
S. Pizzuti (ENEA)

Settembre 2012

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso di energia elettrica

Progetto: Studi e valutazioni sull'uso razionale dell'energia. Innovazione nell'illuminazione pubblica: nuove tecnologie ed integrazione smart con altre reti di servizi energetici

Responsabile del Progetto: Simonetta Fumagalli - ENEA

## Indice

<b>Sommario</b> .....	<b>5</b>
<b>Introduzione</b> .....	<b>7</b>
<b>Protocollo di installazione dell'edificio F40</b> .....	<b>9</b>
<i>Scopo e struttura dell'attività</i> .....	9
<i>Inquadramento edificio</i> .....	9
<i>Sistema di monitoraggio dell'edificio</i> .....	16
Monitoraggio ambientale .....	16
Monitoraggio energetico .....	19
<i>Sistema di telecontrollo dell'edificio: principio di trasmissione ed attuazione</i> .....	24
<i>Gestione</i> .....	27
<i>Qualità e Criticità del sistema installato: follow up dell'implementazione del sistema in campo (attività 1)</i> .....	29
<b>Piano di monitoraggio di un cluster di edifici. Definizione di un kit minimo di monitoraggio</b> .....	<b>30</b>
<i>Scopo e struttura dell'attività</i> .....	30
<i>Inquadramento edificio</i> .....	30
<i>Sistema di monitoraggio previsto per i singoli edifici</i> .....	36
Monitoraggio ambientale .....	36
Monitoraggio energetico .....	36
<i>Sistema di telecontrollo dell'edificio</i> .....	40
<b>Studio e proposta di indicatori adimensionali per le valutazioni energetiche di un cluster di edifici</b> .....	<b>41</b>
<i>Introduzione: compendio delle metodologie di benchmarking</i> .....	41
<i>Il caso di riferimento: definizione di indicatori di consumo per l'edificio F40</i> .....	46
<i>Proposta di applicazione di analisi di benchmarking al cluster di edifici</i> .....	50
<b>Sviluppo di un sistema di diagnosi per Smart Building ed applicazione presso l'edificio F40</b> .....	<b>52</b>
<i>Introduzione: analisi critica delle metodologie di diagnostica</i> .....	52
Modelli utilizzati per il fault detection .....	59
<i>Modellazione dei dati dell'edificio F40 ai fini diagnostici</i> .....	62
Sviluppo di modellistica specifica dell'edificio F40 basata su reti neurali .....	62
Sviluppo di modelli statistici per la valutazione automatica di valori anomali per l'analisi diagnostica.....	86
<i>Risultati dell'analisi diagnostica condotta per l'edificio F40</i> .....	95
<i>Data fusion per la determinazione delle cause connesse alle anomalie riscontrate</i> .....	110
Cenni sulla teoria degli insiemi sfumati (fuzzy set) e logica sfumata (fuzzy logic) .....	110
La logica fuzzy per l'individuazione delle anomalie e per la diagnostica (FDD) .....	112
Sperimentazione .....	112

<b>Conclusioni .....</b>	<b>116</b>
<b>Appendici .....</b>	<b>119</b>
<i>Appendice 1</i> .....	119
Schede riassuntive identificativo sensoristica F40 .....	119
<i>Appendice 2</i> .....	153
Schede riassuntive identificativo sensoristica per piano di monitoraggio di un cluster di edifici .....	153
<b>Riferimenti bibliografici .....</b>	<b>161</b>
<b>Curriculum Vitae Autori del rapporto tecnico .....</b>	<b>165</b>
<i>Stefano Paolo Corgnati</i> .....	165
<i>Alfonso Capozzoli</i> .....	165
<i>Fiorella Lauro</i> .....	165
<i>Stefano Pizzuti</i> .....	166
<i>Daniela Raimondo</i> .....	166
<i>Novella Talà</i> .....	166

## Sommario

L'attività condotta dal gruppo di ricerca del Politecnico di Torino si è declinata secondo diverse fasi e obiettivi finalizzati all'individuazione di metodologie innovative per la diagnostica degli edifici.

Il lavoro di ricerca ha comportato dapprima l'esigenza di condurre un'analisi critica e strutturata circa il sistema di monitoraggio installato nell'edificio F40, finalizzata a razionalizzare l'architettura del sistema e l'organizzazione dei parametri misurati in un database. Il sistema di monitoraggio previsto dal progetto si compone di un primo apparato mirato alla misurazione dell'energia (elettrica e termica) e di un secondo dedicato alla misurazione dei parametri ambientali.

Dall'esperienza del monitoraggio dell'F40 è stato studiato un kit minimo di sensoristica e sistemi di controllo, in grado di potersi facilmente adattare a qualsiasi edificio con spese contenute e tempi di installazione ridotti.

Sulla base dell'individuazione di un kit minimo è stato progettato un piano di monitoraggio per un cluster di 8 edifici con la finalità di sviluppare un sistema strutturato per analisi diagnostiche di una rete, o di un singolo edificio.

Nell'ambito del presente lavoro inoltre è stato condotto uno studio attraverso tecniche statistiche finalizzate all'individuazione di indicatori energetici calcolabili a partire dai dati acquisiti nelle precedenti fasi di monitoraggio.

Sono stati presi in esame e valutati diversi indicatori, rapportando il consumo (elettrico e termico) ai fattori normalizzanti ritenuti di volta in volta più opportuni, raccolti sia nella fase di audit dell'edificio (ad esempio caratteristiche geometriche come: "*metri quadri*" e "*volumi*"), sia derivanti dai monitoraggi (ad esempio fattori legati all'uso come '*numero di presenze*').

Sulla base degli indicatori definiti è stato proposto il calcolo dei benchmarks ai quali fare riferimento per misurare le prestazioni d'uso dell'energia del cluster di edifici oggetto di valutazione.

Lo studio affrontato propone infine lo sviluppo di un modello di regressione rappresentante il "livello medio energetico".

Sulla base dei dati di monitoraggio energetici ed ambientali, strutturati logicamente attraverso l'analisi condotta precedentemente (follow up dell'implementazione del sistema di monitoraggio), l'attività di ricerca si è focalizzata ed ha avuto come scopo l'individuazione di un metodo robusto per l'individuazione automatica di valori anomali per effettuare analisi diagnostiche.

Nello studio effettuato sono stati applicati sia metodi basati sull'utilizzo di modelli inversi sia metodi statistici, seguendo un approccio del tipo top down e quindi finalizzato a condurre analisi di rilevamento di anomalie sulla base di dati di monitoraggio relativi all'intero edificio F40 o a una sua porzione. È emersa la necessità di provvedere a una classificazione dei dati in funzione degli attributi (variabili indipendenti misurate), al fine di suddividere il campione di dati in classi omogenee prima di condurre l'analisi di individuazione delle anomalie.

Il metodo proposto e implementato si è rivelato robusto e particolarmente adatto ai fini diagnostici e quindi utile a convertire dati di consumo energetico in informazioni utili all'ottimizzazione della prestazione del sistema.

Infine sulla base del processo concepito per lo studio delle logiche diagnostiche attraverso cui individuare le possibili cause associate alle anomalie riscontrate, sono state implementate alcune regole di individuazione automatica delle cause associabili ad alcune tipologie di anomalie attraverso tecniche di data fusion (logica fuzzy).



## Introduzione

La presente relazione illustra le attività e le risultanze frutto degli approfondimenti sviluppati nell'ambito della collaborazione tra ENEA e Politecnico di Torino – Dipartimento Energia sui temi della diagnostica energetica degli edifici.

Infatti, attraverso l'Accordo di Programma MSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, PAR 2011, si è messo in atto un programma di ricerca di interesse congiunto dal titolo "Sviluppo di una metodologia per la diagnostica remota di reti di edifici: applicazione su un caso pilota".

L'attività condotta si è declinata secondo diverse fasi e obiettivi finalizzati all'individuazione di metodologie innovative per la diagnostica degli edifici.

Il lavoro di ricerca ha comportato dapprima l'esigenza di condurre un'analisi critica e strutturata circa il sistema di monitoraggio installato nell'edificio F40, finalizzata a razionalizzare l'architettura del sistema e l'organizzazione dei parametri misurati in un database. Questa attività si inquadra in continuità alla ricerca effettuata con il PAR 2010 dove è stato progettato il piano di monitoraggio per lo stesso edificio ed è stata condotta un'analisi critica circa le grandezze energetiche ed ambientali da monitorare in relazione alla conseguente analisi diagnostica da condurre. Sulla base delle considerazioni emerse in seguito all'implementazione del sistema di monitoraggio e controllo nell'edificio F40 si è studiato un kit minimo di sensoristica, in grado di potersi adattare a qualsiasi edificio, con spese contenute e tempi di installazione ridotti, da applicare ad un cluster di 8 edifici collocati anch'essi all'interno del centro di ricerche ENEA. Anche per l'applicazione al cluster, l'obiettivo primario dell'attività è consistito nello sviluppo di un sistema strutturato per analisi diagnostiche di una rete, o di un singolo edificio.

L'attività di ricerca si è poi focalizzata sulle principali metodologie di benchmarking evidenziando gli aspetti rilevanti dell'analisi. La conoscenza del processo metodologico ha condotto ad una scelta consapevole della tecnica da applicare al caso in esame facendo emergere i parametri che influenzano le prestazioni energetiche dell'edificio. La finalità ultima dell'attività è pertanto il controllo del livello di prestazione di un edificio rispetto ad un gruppo di edifici del quale fa parte per cogliere margini di miglioramento relativamente a comportamenti o specifici interventi volti a promuovere una riduzione dei consumi energetici.

Il monitoraggio energetico-ambientale effettuato per l'edificio F40 è finalizzato sia a condurre analisi di tipo diagnostico (individuazione di criticità attraverso la lettura, l'interpretazione e l'analisi dei dati), sia ad analisi di ottimizzazione (individuazione di interventi atti a ridurre i consumi energetici e/o migliorare la qualità dell'ambiente interno attraverso attuazioni automatiche o tramite strategie di interazione con l'operatore od occupante). Sulla base dei dati di monitoraggio energetici ed ambientali, strutturati logicamente attraverso l'analisi condotta precedentemente (follow up dell'implementazione del sistema di monitoraggio), l'attività di ricerca si è focalizzata ed ha avuto come scopo l'individuazione di un metodo robusto per l'individuazione automatica di valori anomali di energia e potenza per effettuare analisi diagnostiche. Per raggiungere tale obiettivo l'analisi si è orientata allo sviluppo di una procedura di diagnostica avanzata attraverso l'applicazione della metodologia concepita nel precedente contratto (PAR 2010) finalizzata a supportare la complessa operazione decisionale legata all'individuazione delle cause connesse alle anomalie riscontrabili, a partire dai dati di monitoraggio elaborati secondo grandezze e indicatori aggregati (*feature extraction*). In particolare, l'analisi si è concentrata sull'individuazione concettuale dei criteri e dei metodi attraverso cui attivare il processo diagnostico, e quindi sulla metodologia necessaria a individuare gli eventi anomali sulla base dei dati di monitoraggio.

Nello studio effettuato sono stati applicati sia metodi basati sull'utilizzo di modelli inversi sia metodi statistici, seguendo un approccio del tipo top down e quindi finalizzato a condurre analisi di rilevamento di anomalie sulla base di dati di monitoraggio relativi all'intero edificio F40 o a una sua porzione.

La modellazione dei consumi dell'edificio F40 con modelli inversi è stata effettuata utilizzando reti neurali (RNA) ed ensembling di reti neurali (BEM), il cui training è stato svolto a partire da dati relativi a quattro settimane. Lo scopo è quello di confrontare l'output stimato dal modello con l'output effettivamente misurato, in maniera tale che la differenza possa essere utilizzata da una qualsiasi tecnica di classificazione per determinare lo stato operativo del processo, quindi individuare e poi diagnosticare eventuali anomalie. Riguardo al metodo statistico, sulla base degli studi condotti in letteratura, è emersa la necessità di provvedere a una classificazione dei dati in funzione degli attributi (variabili indipendenti misurate), al fine di suddividere il campione di dati in classi omogenee prima di condurre l'analisi di individuazione delle anomalie. Per la determinazione dei valori anomali per ogni classe individuata sono stati implementati due diversi metodi i cui modelli si basano su diversi principi metodologici per la determinazione di valori anomali di un set di dati.

A partire dai dati di monitoraggio dell'edificio F40 sono stati condotti numerosi test con l'applicazione del metodo di fault detection individuato alle variabili dipendenti energia, potenza massima, media e minima per gli usi finali FEM e illuminazione, elaborate con diversa frequenza temporale, considerando come attributi per la costruzione dell'albero di classificazione, la data, il giorno della settimana, il tempo, il numero di stanze attive e il numero di occupanti corrispondenti.

Infine sulla base del processo concepito nel PAR 2010 per lo studio delle logiche diagnostiche attraverso cui individuare le possibili cause associate alle anomalie riscontrate, (attraverso lo step concettuale del "situation assessment") sono state implementate alcune regole di individuazione automatica delle cause associabili ad alcune tipologie di anomalie attraverso tecniche di data fusion (logica fuzzy).

## Protocollo di installazione dell'edificio F40

### Scopo e struttura dell'attività

Il progetto di ricerca ha previsto l'installazione di un apparato di misura mirato al monitoraggio energetico (elettrico e termico) e al monitoraggio ambientale. Tale apparato, oltre ad adempiere al suo scopo di collezionamento dati, è stato progettato per essere parte integrante di una rete di controllo e attuazione. In questo scenario i sensori installati trasmettono i dati ad acquisitori che oltre a raccogliere e trasmettere l'informazione, prima via power line, poi via LAN, ad una piattaforma web, hanno anche la funzione di attuatori. Monitoraggio e attuazione sono dunque progettati, secondo le grandezze considerate, a livello di intero edificio, di singolo piano o di stanza attiva.

Allo scopo di raccogliere tutte le informazioni relative alla costruzione di un sistema di acquisizione dati ed attuazione dei sistemi dell'edificio F40, il protocollo di installazione del sistema di monitoraggio si struttura in quattro sezioni principali:

- **Inquadramento edificio:** comprende dati architettonici, impiantistici e gestionali della struttura oggetto di analisi. Il documento riporta rappresentazioni grafiche semplificate dei flussi energetici (termici ed elettrici), schemi funzionali dell'edificio (superfici destinate ad uffici, laboratori, spazi distributivi, ecc.) ed informazioni relative all'occupazione dei vari ambienti (da parte di persone, computers, stampanti, ecc.).
- **Sistema di monitoraggio dell'edificio:** comprende dati tecnici relativi alla sensoristica installata, sia per il monitoraggio energetico (wattmetri e contabilizzatori di energia termica), sia per il monitoraggio ambientale (sensori di occupazione e termostati). Per ogni sensore sono indicati posizione e codice identificativo, informazioni ritrovabili anche sulla piattaforma.
- **Sistema di telecontrollo dell'edificio:** comprende i principi di trasmissione, attuazione e gestione del sistema di monitoraggio installato, indicando come queste tre operazioni si relazionino a seconda della scala di edificio considerato.
- **Qualità e Criticità del sistema installato:** comprendente le osservazioni (positive e negative) emerse a seguito dell'implementazione del sistema in campo.

### Inquadramento edificio



Figura 1: Inquadramento territoriale dell'edificio.

*Dati dimensionali*

L'edificio F40 si presenta come un fabbricato a stecca con tre piani fuori terra ed uno seminterrato, connesso, dal lato maggiore, ad un secondo fabbricato più basso. A livello architettonico l'edificio si caratterizza per un'unica stratigrafia di involucro opaco verticale ed una sola tipologia di infissi vetrati. Mentre l'edificio principale ospita uffici, CED e laboratori, il secondo fabbricato è prettamente occupato da laboratori, che non sono inclusi nel progetto di monitoraggio.

Dati dimensionali relativi all'edificio, quali superfici delle varie stanze analizzate, destinazioni d'uso, esposizione, occupazione, ecc., sono riportate nelle Tabelle A1.1, A1.2 ed A1.3, Appendice 1.

*Aree funzionali*



Figura 2: Distribuzione delle funzioni all'interno dell'edificio.

L'edificio si struttura su 3 piani fuori terra più un seminterrato. Lo studio tiene in considerazione i soli piani fuori terra. La distribuzione, come indicato in figura 2, vede la maggior parte della superficie al piano terra occupata da laboratori, circa la metà della superficie al primo piano occupata da uffici, e il secondo piano

dedicato completamente ad uso ufficio. In tutti i piani le aree distributive coprono più del 25% della superficie utile.

Ad ogni piano vi è una sezione, o locale dedicato, che ospita server e derivazioni elettriche. La centrale termica, invece, è collocata in un locale interrato con accesso dall'esterno.

*Impiantistica allo stato di fatto*

**Impianto termico e aria primaria**

La tipologia di impianto che serve l'edificio F40 è di tipo misto, con terminali (convettivi e radiativi) e aria primaria. Le unità terminali in ambiente si dividono in: fancoils negli uffici, aerotermi nei laboratori, radiatori nei bagni e batterie di scambio termico nell'unità di trattamento dell'aria (UTA).

La figura 3 riporta lo schema dei vettori energetici presenti nella centrale termica dell'edificio F40. All'interno di tale schema si possono inoltre verificare le disposizioni dei componenti impiantistici a servizio dell'edificio: scambiatore di calore, gruppo frigo, elettropompe di circolazione, unità di trattamento aria e quadro elettrico.

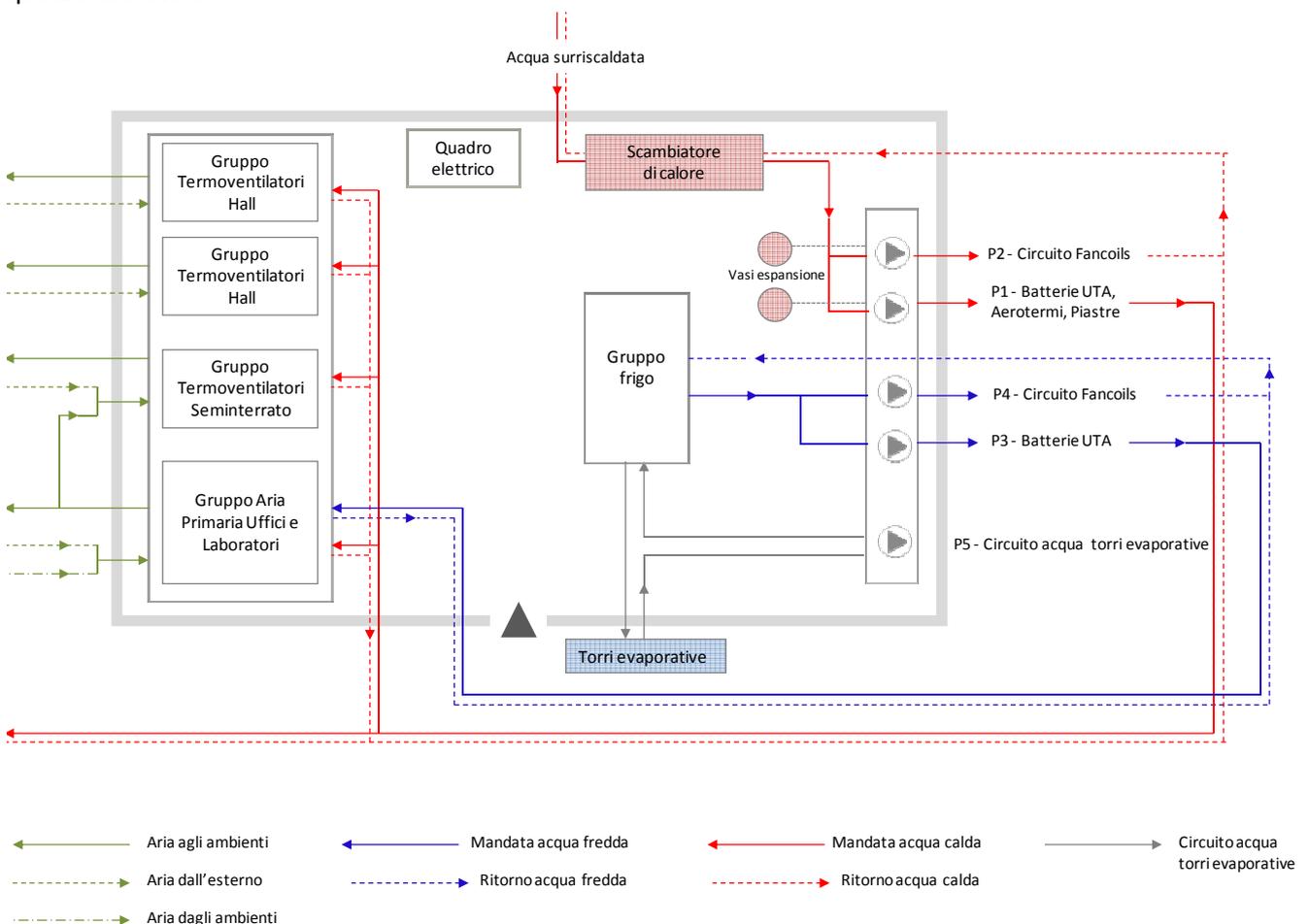


Figura 3: Schema dei vettori energetici in centrale termica dell'edificio F40.

Il fluido termovettore caldo è ottenuto per mezzo dello scambio termico con fluido proveniente dalla centrale termica remota di ENEA (teleriscaldamento), attraverso uno scambiatore di calore con una

potenza nominale pari a 430000 kcal/h. La portata nominale di fluido vettore che alimenta il circuito dei fancoils è pari a 11,5 m<sup>3</sup>/h, mentre la portata veicolata alle batterie dell'UTA, agli aerotermi e alle piastre radianti è complessivamente pari a 16 m<sup>3</sup>/h. Il fluido termovettore freddo, che alimenta i fancoils e le batterie di scambio termico dell'UTA, è invece prodotto da un gruppo refrigeratore con una potenza nominale pari a 180000 frig/h, collegato ad una torre evaporativa all'esterno dell'edificio F40.



Figura 4: Immagini della centrale Termica dell'edificio F40. Nello specifico: a) scambiatore di calore; b) gruppo frigorifero; c) unità di trattamento aria; d) elettropompe

Il circuito idronico a servizio dei fancoils si sviluppa secondo quanto indicato in figura 5. I fluidi vettori (fluido caldo e fluido freddo) percorrono un circuito ad anello che si sviluppa nel basamento dell'edificio. Al piano terra ogni fancoil attinge direttamente dal circuito principale, mentre il piano primo e il piano secondo sono invece serviti attraverso colonne montanti, che partono dal circuito principale e si diramano ai terminali di impianto. Ogni colonna serve mediamente 4 fancoil in 4 stanze differenti: 2 situate al primo piano e 2 al secondo.

In figura 5 i terminali fancoils sono indicati attraverso un codice identificativo che definisce: lo specifico terminale a cui si fa riferimento, secondo una nuova nomenclatura sviluppata nel contesto di questo progetto, la stanza in cui questo si colloca, ed il codice identificativo originario del ventilconvettore (da progetto impiantistico). Le colonne montanti sono anch'esse indicate con un codice identificativo composto da due numeri, uno arabo ed uno romano: il primo indica la colonna montante (da progetto originale) per il circuito di fluido caldo, mentre il secondo indica la colonna (da progetto originale) per il circuito di fluido freddo.

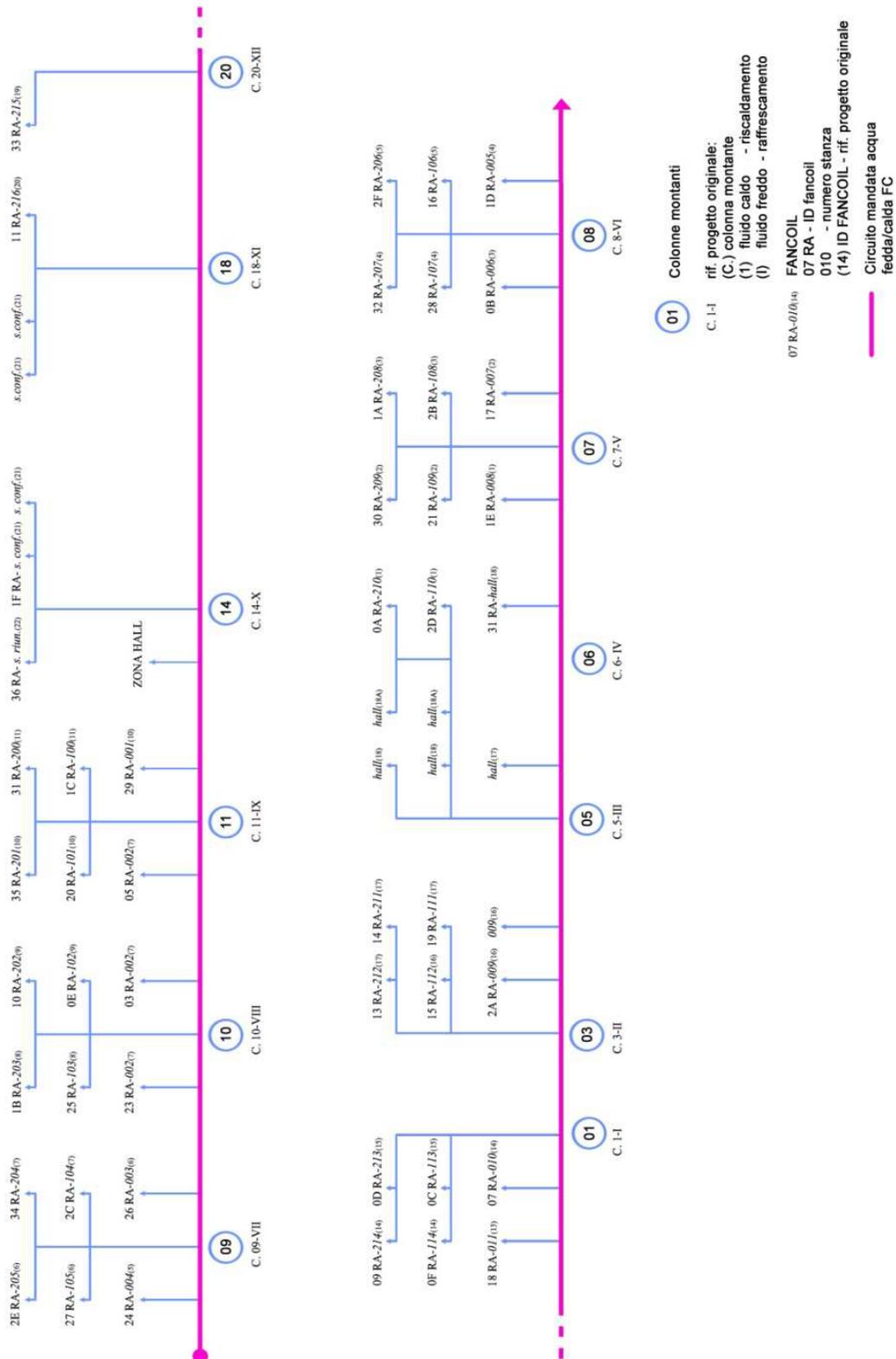


Figura 5: Circuito idronico a servizio dei fancoils

Le figure A1.1, A1.2, A1.3, in Appendice 1, riportano nel dettaglio il percorso del circuito idronico per tutti e 3 i piani.

Il motivo per cui le colonne montanti, come detto precedentemente, mantengono separati i due circuiti dipende dal fatto che l'impianto di riscaldamento non è promiscuo e i due fluidi rimangono ben distinti fino ai terminali in ambiente. La figura 6 illustra un tipico fancoil installato negli uffici, evidenziando la presenza di 4 tubi (mandata e ritorno circuito caldo/ mandata e ritorno circuito freddo).



Figura 6: Terminali fancoils a 4 tubi installati negli uffici

### Impianto elettrico

L'energia elettrica viene derivata dalla rete elettrica di ENEA attraverso una cabina elettrica (cabina numero 14) dedicata all'edificio F40. A valle della cabina 14 il vettore energetico si divide in due parti: da un lato a servire l'edificio ed da un altro va alla centrale termica.

All'interno dell' F40, nel locale tecnico del piano terra trova collocazione un quadro elettrico generale che, come illustrato in figura 7, si dirama in 4 parti:

- Generale Forza Motrice
- Generale Forza Motrice emergenza
- Generale linea Luce
- Generale linea Luce emergenza.

Ai vari piani, un quadro dedicato fa da collettore all'energia elettrica a servizio del piano stesso, suddividendosi in:

- Forza Motrice di piano
- Luce (bagni e corridoi) di piano
- Luce (emergenza ed uffici) di piano
- Energia elettrica per azionare le ventole dei fancoils, anch'essa di piano.

L'ultima componente elencata, che non proviene dal quadro generale di edificio, deriva dal quadro generale della centrale termica. In centrale termica, infatti, viene derivata tutta l'energia elettrica a servizio degli impianti termici e di ventilazione.

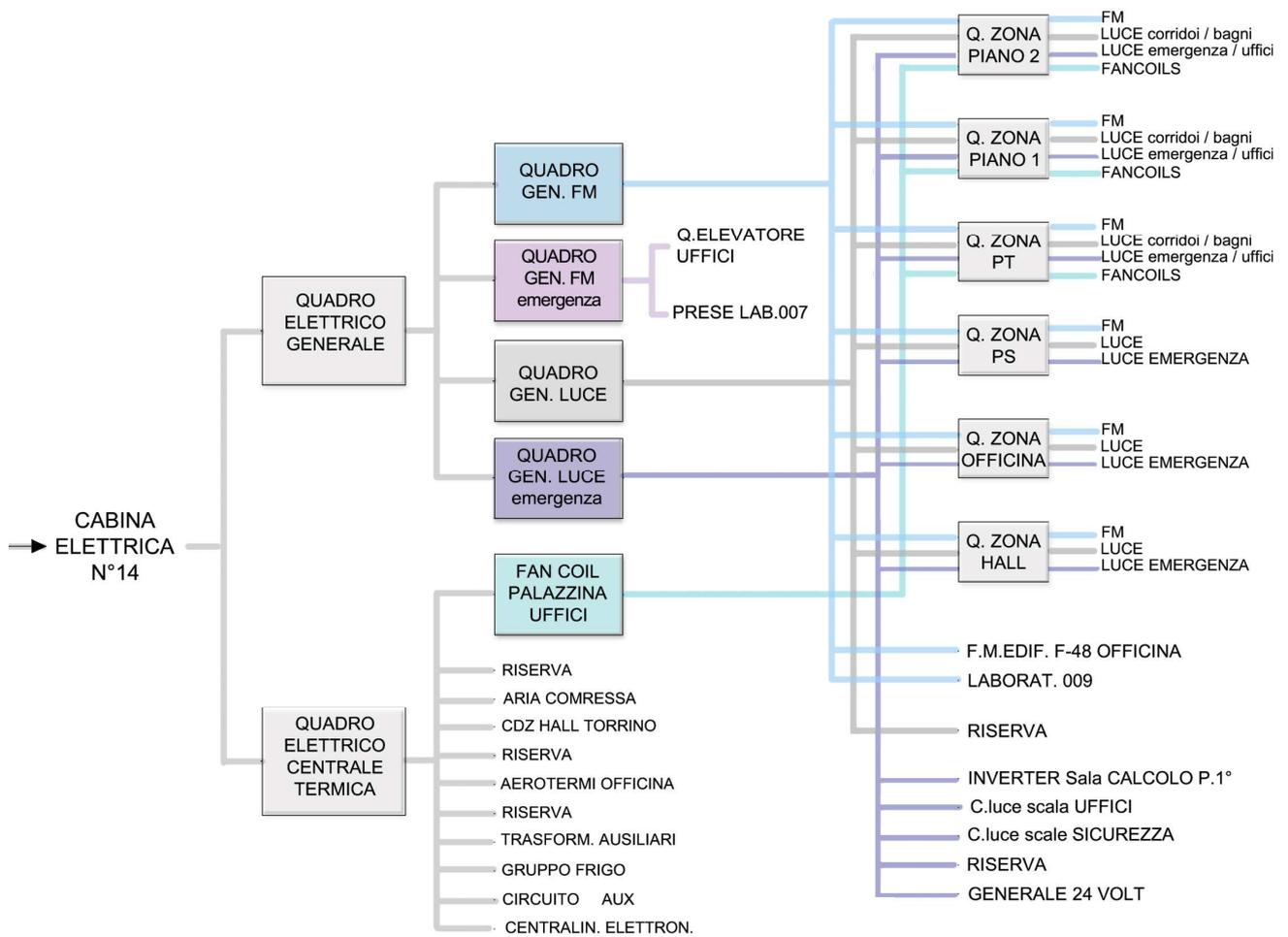


Figura 7: Schema unifilare dell'Energia Elettrica nell'edificio F40.

In figura 8 sono illustrati i quadri elettrici installati a livello di piano, di intero edificio e di centrale termica, allo stato di fatto.

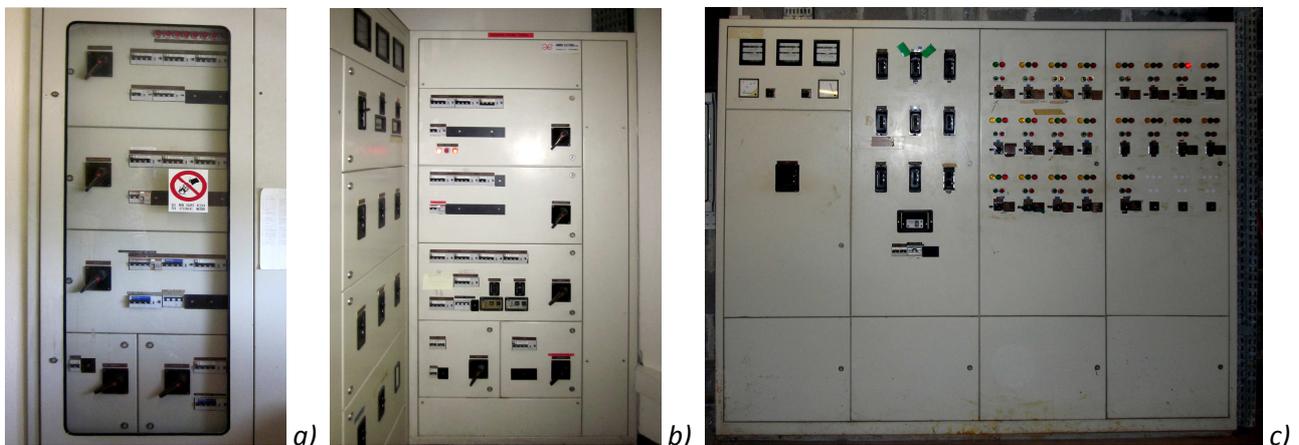


Figura 8: Quadri elettrici: a) di piano; b) generale di edificio; c) in centrale termica

### Sistema di monitoraggio dell'edificio

Come anticipato nel paragrafo relativo alla struttura dell'attività, l'installazione della strumentazione di misura è mirata sia al monitoraggio ambientale, sia al monitoraggio energetico. Di seguito entrambe le tematiche sono trattate nello specifico.

#### Monitoraggio ambientale

##### Parametri rilevati

I parametri ambientali che monitorati attraverso la sensoristica installata possono essere riassunti nella tabella seguente (Tabella 1). In tale tabella si riportano, inoltre, i sensori /strumenti utilizzati per acquisire i dati, le modalità e i tempi di acquisizione e le principali collocazioni degli strumenti stessi.

Ognuno di questi punti sarà poi trattato nello specifico ai sottoparagrafi successivi.

Tabella 1: Parametri ambientali rilevati e caratteristiche di acquisizione

Parametro acquisito	Unità di misura/ indicatore	Sensore utilizzato	Acquisizione	Sistema di raccolta/ restituzione dati	Collocazione sensore
Temperatura dell'aria <b>interna</b>	°C		al variare di 0,5 °C	Sistema Easycon	
Temperatura di setpoint aria interna	°C	Termostato (con termo resistenza integrata)	al variare del setpoint	Sistema di acquisizione dedicato	Uffici Laboratori
Velocità delle ventole dei fancoils	0 - spento 1 - minimo 2 - medio 3 - massimo		al variare dell'impostazione	Sistema di acquisizione dedicato	
Presenza occupanti	0 - assenza 1 - occupazione	Sensore presenza	al variare dell'impulso	Sistema Easycon	Uffici Laboratori Bagni Corridoi
Temperatura aria esterna	°C	Sensore temperatura			
Umidità relativa aria esterna	%	Psicrometro			
Velocità del vento	m/s	Anemometro	Ogni 10 minuti	Sistema Weatherlink	Esterno (centralina micro- climatica)
Direzione del vento	deg	Anemometro			
Livello di piovosità	mm	Pluviometro			

## Sensori impiegati

### Sensore di temperatura

Per il rilevamento della temperatura dell'aria si è impiegato lo strumento KRONO (*Simple life*), ossia un termostato ambiente, dotato di display LCD in grado di funzionare sia in modalità stand-alone, che in connessione ad un sistema di telecontrollo generale. Il termostato è in grado di rilevare la temperatura ambiente e gestire la termoregolazione del locale in cui è posizionato. Esso può controllare, autonomamente:

- l'attuazione della valvola del Fan Coil
- l'attuazione e la variazione delle velocità del Fan-Coil
- l'automazione del cambio stagione Estate-Inverno
- il risparmio energetico del sistema di termoregolazione
- Tali sensori sono stati installati a parete in tutti gli uffici e laboratori monitorati

Caratteristiche tecniche relative a questo strumento sono riportate in Tabella A1.4, Appendice 1.



Figura 9: KRONO (Simple life-UMPI)- termostato ambiente installato in campo.

### Sensore di presenza

I rilevatori di presenza installati all'interno dell'edificio F40 sono di tre tipologie diverse. Malgrado le loro differenze, che sono elencate nelle schede tecniche comparative di prodotto in allegato (Tabella A1.5, Appendice 1), tali sensori presentano caratteristiche comuni: sono infatti tutti apparecchi elettronici di interruzione con micro-distanza di apertura fra i contatti, dove il circuito di uscita si attiva quando una fonte di calore si muove davanti al dispositivo e si disattiva in caso di mancata intercettazione di movimento, dopo un lasso di tempo impostabile.

Nell'ottica di attivazione, all'interno dell'F40 tali sonde fungono anche da dispositivi di comando dell'illuminazione negli uffici, nei bagni, nei laboratori e nei corridoi, ossia in tutti gli ambienti in cui sono stati installati.

Gli strumenti sono stati generalmente posizionati a parete negli uffici e nei laboratori, mentre a soffitto nei bagni e nei corridoi.



Figura 10: Rilevatori di presenza installati nell’edificio F40: a) VEMER 200, sensore installato negli uffici; b) VEMER 200, sensore installato nei corridoi e nei bagni; c) Altenburger MSD, sensore installato nella control room.

### Centralina meteo

La rilevazione dei parametri meteorologici esterni all’edificio F40 è affidata ad una stazione meteo posizionata su un palo di illuminazione esterno all’edificio. (Caratteristiche tecniche in Tabella A1.6, Appendice 1.)

La centralina utilizzata è la “METEO1” di *Simple life*, che è composta da un blocco sensori esterni, alimentati mediante una cella ad energia solare e con trasmissione dei dati tipo wireless. I sensori installati sono:

- Un anemometro per rilevazione direzione e velocità vento
- Un pluviometro per rilevazione quantità precipitazioni piovose
- Un sensore temperatura ed umidità con schermo solare

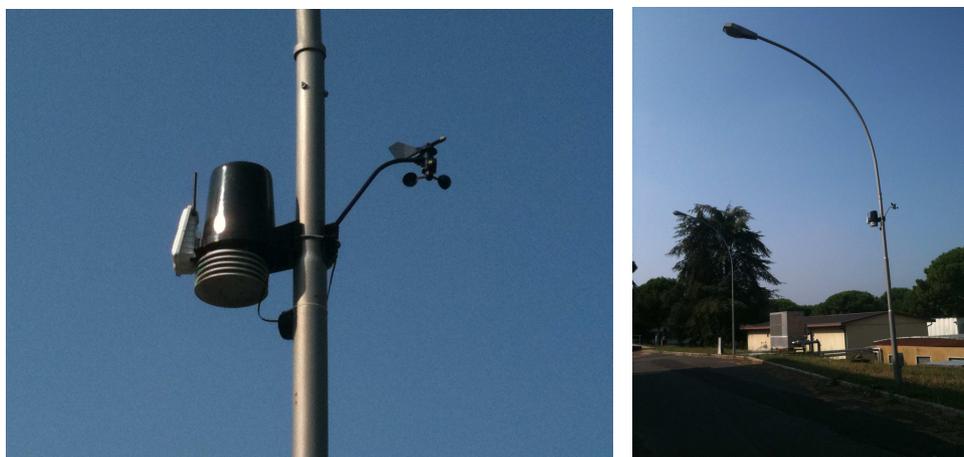


Figura 11: Simple life METEO1, centralina microclimatica installata all’esterno dell’edificio.

### **Punti di monitoraggio**

All’interno di ogni stanza sono stati installati un termostato ed un sensore di presenza. Il termostato è connesso al fancoil della stanza, mentre il sensore di presenza è collegato agli apparecchi illuminanti. Sia i termostati che i sensori comunicano con concentratori (Elios), la cui funzione è illustrata al paragrafo riguardante il sistema di trasferimento dati, attuazione e gestione.

Un esempio di rappresentazione grafica dei punti di monitoraggio è riportato in figura 12, ma gli schemi completi di tutte le informazioni relative al posizionamento dei sensori e al loro codice identificativo, per tutti e tre i piani dell’edificio, sono riportati Tabella A1.4, A1.5, 1.6, Appendice 1. Le tabelle A1.7, A1.8 ed

A1.9, Appendice 1, riportano i codici identificativi di tutti i sensori installati, con relativa collocazione e matricola di produzione.

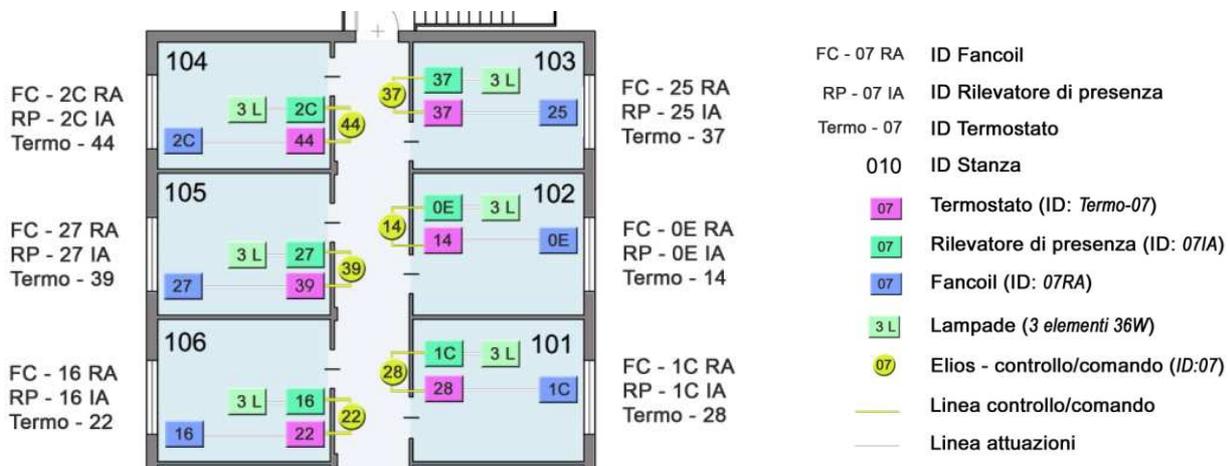


Figura 12: esempio di rappresentazione grafica della sensoristica installata negli uffici. Si identificano le stanze monitorate, i sensori installati, gli apparecchi di illuminazione, i fancoils e dispositivi di comunicazione (Elios).

### Monitoraggio energetico

#### Energia elettrica

La misurazione dell'energia elettrica all'interno dell'edificio F 40 viene effettuata attraverso 5 centralini di telecontrollo, di cui 4 sono posti all'interno dell'edificio (palazzina uffici) e 1 è posto nel locale seminterrato (Centrale Termica). Tali centralini sono stati installati a fianco dei quadri elettrici preesistenti e sono stati collegati ad essi. In figura 13 si illustrano i centralini di telecontrollo affiancati ai preesistenti quadri elettrici.



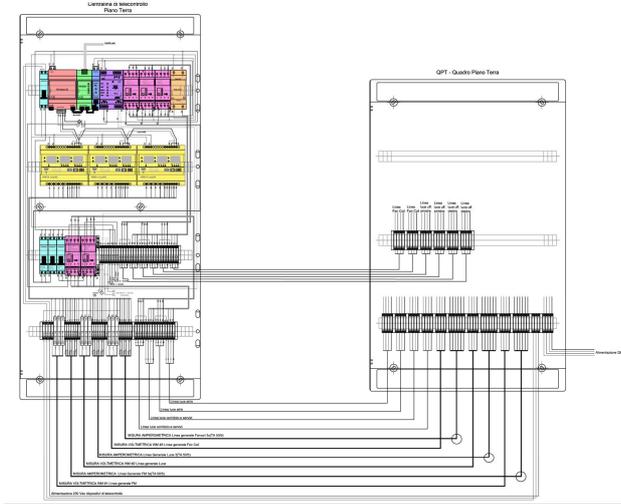
Figura 13: centralina di telecontrollo installata accanto ai quadri elettrici esistenti: a) di piano; b) generale di edificio; c) in centrale termica

#### Sensori impiegati

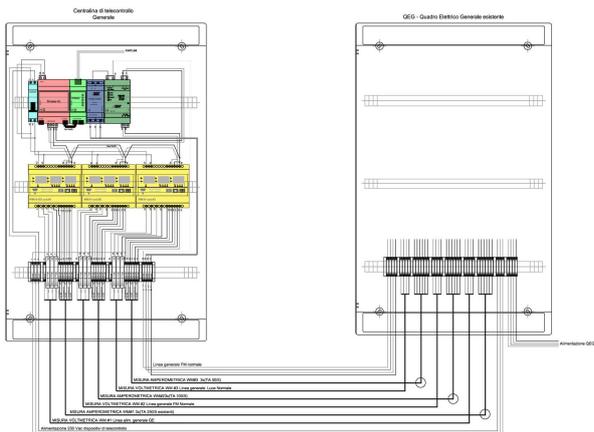
In figura 14 si riportano gli schemi dei suddetti centralini, rispettivamente installati a livello di piano, a livello generale di edificio e a livello di centrale termica. In tali schemi si evidenziano i sensori che sono stati

installati. Caratteristiche tecniche di ognuno di questi sensori sono riportate nelle Tabelle A1.10 ed A1.11, Appendice 1.)

**Quadro elettrico di piano**



**Quadro elettrico generale di edificio**



WM14-DIN

Simplex AL

Simplex

Interruttore modulare

Simplex PL

Contatori di Potenza

PT2 - OC

PHIL-PL6

3-Phase Coupler

Simplex PLE-T

**Quadro elettrico della Centrale termica**

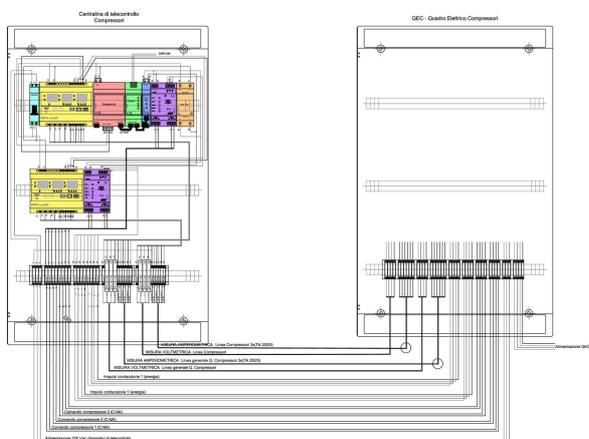


Figura 14: schema centralina di telecontrollo installata accanto ai quadri elettrici esistenti, con evidenza degli elementi installati.

## Parametri rilevati

I wattmetri installati nelle nuove cabine di telecontrollo restituiscono le seguenti informazioni:

- Energia Attiva [kWh]
- Energia Reattiva [kvarh]
- Frequenza [Hz]
- Potenza attiva [kW]
- Potenza reattiva [kvar]
- Potenza apparente [kVA]
- Fattore di Potenza [c]
- Consumo medio orario calcolato (15' prec.) [kW]
- Correnti di linea [A]
- Tensioni di fase [V]
- Tensioni di linea [V]

## Punti di monitoraggio

I centralini di telecontrollo, identificati attraverso un ID (riportato tale in piattaforma web), sono di seguito elencati. Per ogni centralino sono indicate le linee elettriche monitorate:

- *Q.GEN*, Quadro generale, situato nel locale quadri elettrici del Piano Terra. Linee monitorate:
  - Quadro elettrico generale della palazzina uffici
  - Quadro generale FM della palazzina uffici
  - Quadro generale Luce Normale della palazzina uffici
  - (ventole) Fancoil della palazzina uffici
- *Q.PT*, Quadro Piano Terra, situato nel locale quadri elettrici del Piano Terra. Linee monitorate:
  - FM piano terra
  - Luce corridoi e bagni piano terra
  - Ventole dei fancoils piano terra
- *Q.1P*, Quadro Primo Piano, situato presso il quadro di potenza del Primo Piano. Linee monitorate:
  - FM piano primo
  - Luce corridoi e bagni piano primo
  - Ventole dei fancoils piano primo
- *Q.2P*, Quadro Secondo Piano situato presso il quadro di potenza del Secondo Piano. Linee monitorate:
  - FM piano secondo
  - Luce corridoi e bagni secondo
  - Ventole dei fancoils piano secondo
- *Q.Compr*, situato presso il quadro centrale compressori nel seminterrato, riceve dati relativi a:
  - Compressori del gruppo frigo

I punti di misurazione sopraelencati sono indicati graficamente nello schema unifilare di figura 15.

I codici identificativi dei sensori installati sono invece elencati in Tabella A1.12, Appendice 1.

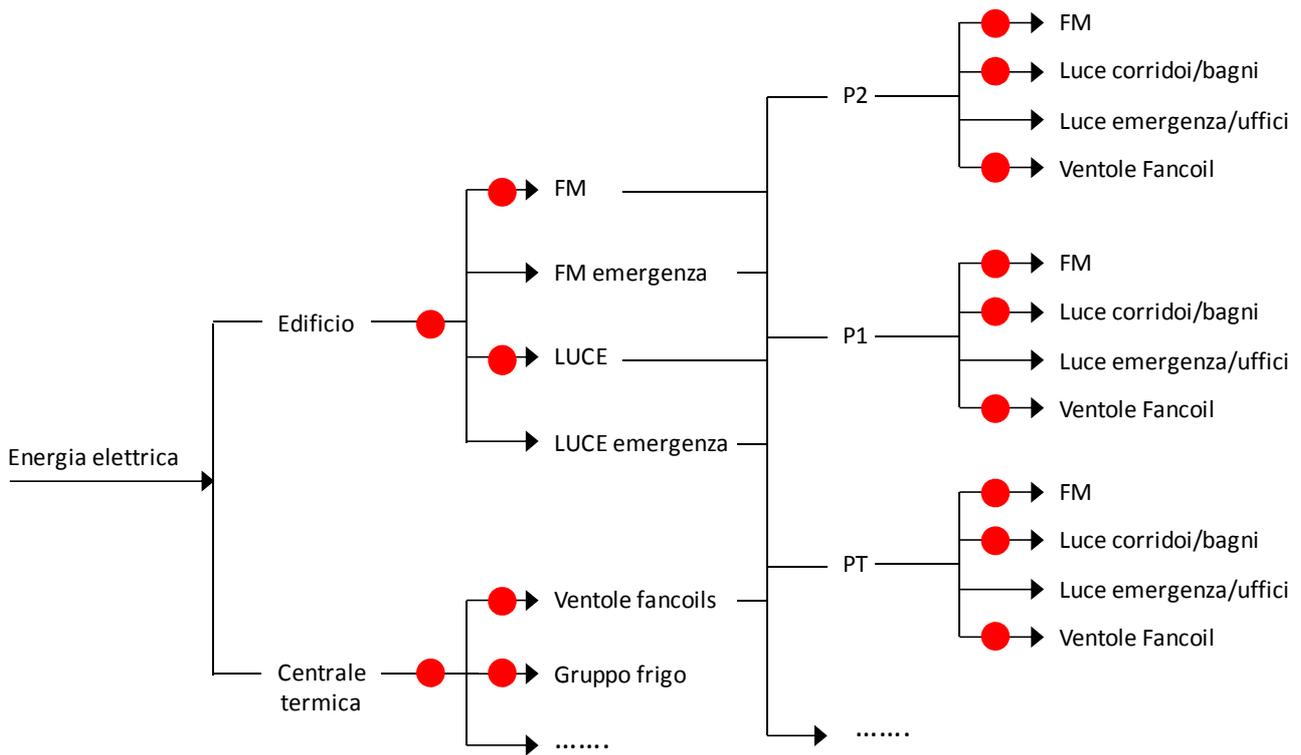


Figura 15: Schema unifilare energia elettrica con indicazione dei punti di monitoraggio.

**NOTE:**

- Nello schema di figura 15 si trovano ulteriori 2 punti di misura, rispetto a quelli sopradescritti. In entrambi i casi gli strumenti di misura sono stati installati, ma la comunicazione con la piattaforma web è ancora da finalizzare.
- È in previsione di variare un punto di monitoraggio nei quadri di potenza ai piani, o spostando il wattmetro per ora posizionato sulla linea *luce corridoi/bagni* sulla linea *luce emergenza/uffici*, oppure inserendo un wattmetro che misuri entrambe le linee (*luce normale + luce emergenza*).

**Energia termica**

**Sensori impiegati**

Per la misura dell'energia termica sono stati installati 2 contabilizzatori di energia termica (fluido caldo e fluido freddo) composti ciascuno da un misuratore di portata volumetrica ad ultrasuoni e una coppia di sensori di temperatura ad immersione. La scelta della tipologia e della taglia del contatore di calore si è operata sulla base della portata nominale e del diametro della tubazione. Le caratteristiche metrologiche dei componenti del contatore di calore sono riassunti nella Tabella A1.13, Appendice 1.

I dati misurati attraverso il contatore di calore (portata e temperatura del fluido termovettore in mandata e in ritorno ed energia) sono trasmessi ad una piattaforma web (Easycon) attraverso l'utilizzo di un concentratore (Elios) per via powerline. Maggiori informazioni relative alla trasmissione dei dati sono spiegate nei paragrafi seguenti.

In figura 16 è illustrato, a titolo di esempio, il contabilizzatore di energia termica che è stato installato sulla tubazione di mandata del circuito di fluido caldo dei fancoils.



Figura 16: Contabilizzatore di calore installato sul tubo di mandata del circuito dei fancoils.

### Parametri rilevati

Il principale parametro rilevato è l'energia termica [Wh]. L'energia termica è ricavata grazie alla misurazione della portata volumetrica di acqua della tubazione [ $m^3/s$ ] e dalle temperature [ $^{\circ}C$ ] di mandata e di ritorno del fluido (caldo/freddo) che passa all'interno delle tubazioni stesse.

Il tempo di campionamento è definito pari ad 1 minuto.

Dall'analisi dei parametri monitorati è possibile ricavare:

- il consumo energia termica per il riscaldamento della palazzina uffici ( $kWh_{th}^{tot-ed}$ )
- il consumo energia frigorifera per il raffreddamento della palazzina uffici ( $kWh_{cool}^{tot-ed}$ )

### Punti di monitoraggio

Come indicato dallo schema unifilare dell'energia termica in figura 17, i punti di monitoraggio dell'energia termica sono collocati sulle tubazioni che portano il fluido caldo e il fluido freddo al circuito dei fancoils.

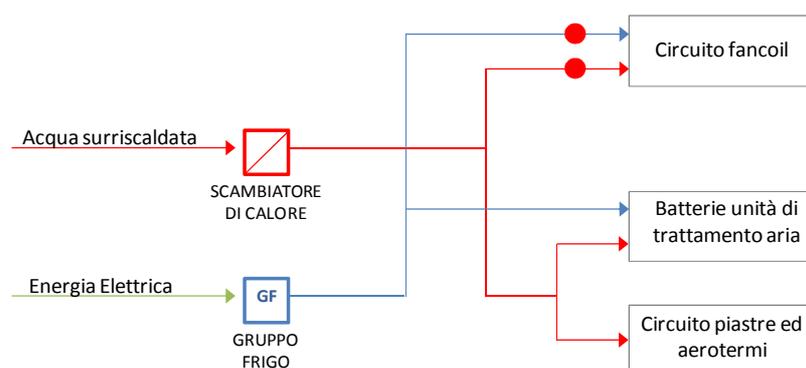


Figura 17: Schema unifilare energia termica con indicazione dei punti di monitoraggio.

### Sistema di telecontrollo dell'edificio: principio di trasmissione ed attuazione

In questo paragrafo sono illustrati i principi di trasmissione ed attuazione del sistema di monitoraggio installato, con evidenza dei differenti scenari che si creano a seconda della scala di edificio considerato.

A livello di singola stanza, ad esempio, i dati di monitoraggio (temperatura dell'aria, temperatura di set point, velocità delle ventole dei fancoil e occupazione) vengono rilevati dai sensori (termostati e sensori di presenza) ed inviati a concentratori, che a loro volta trasmettono i dati via powerline ai quadri elettrici di piano dove apposite centraline di controllo convertono il segnale elettrico in digitale. Di qui le informazioni vengono trasmesse via lan ai server, che trasmettono a loro volta i dati alla piattaforma web. Invertendo il processo si va invece ad attuare il sistema (ad esempio impostando la temperatura di setpoint da remoto). Lo schema riportato in figura 18 descrive graficamente tale processo.

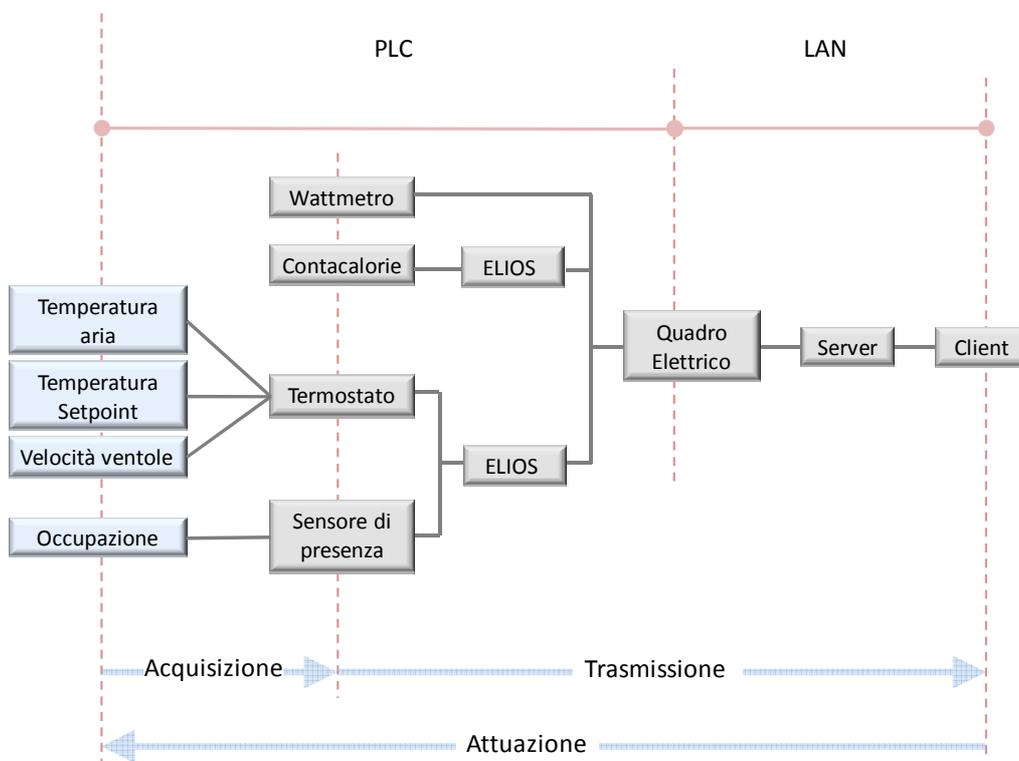


Figura 18: Schema riassuntivo dei principi di trasmissione ed attuazione

Lo stesso vale a *livello di piano*: qui l'energia elettrica viene monitorata separatamente per le quote di illuminazione, forza motrice e ventole dei fancoils. In questo caso luci e ventole dei fancoils possono essere attuate da remoto. Infine, a livello di edificio, l'energia elettrica totale viene contabilizzata per l'intera struttura e poi, come nel caso precedente, vengono suddivise le quote per l'illuminazione, la forza motrice e le ventole dei fancoils.

A *livello di edificio* viene contabilizzata l'energia elettrica assorbita dal gruppo frigo e dall'intera centrale termica, nonché l'energia termica. Inoltre, la presenza degli occupanti viene verificata, oltre che dai sensori di presenza posti negli uffici, anche dal sistema di lettura dei badges personali posto all'ingresso principale

del complesso di ENEA Casaccia. L'attuazione a livello di edificio può essere effettuata da remoto agendo sull'illuminazione, sulle ventole dei fancoils e sul gruppo frigo.

## Strumenti e dispositivi installati

### Server di gestione

Il dispositivo server è posizionato nella Control room e comunica, attraverso la rete Ethernet, con i moduli di quadro Simplex. Il server è dotato di un applicativo software (SW Easycon) che permette la visualizzazione, configurazione e controllo di tutte le periferiche del sistema. L'accesso al sistema di telecontrollo avviene puntando all'indirizzo del server tramite un browser di navigazione. L'applicativo Easycon trasferisce i dati da e verso un file XML per permettere l'integrazione con un applicativo realizzato da Enea.

### Dispositivi di telecontrollo a livello quadro (in centralina di telecontrollo)

I dispositivi di telecontrollo sono montati in centralini a parete, posti in prossimità dei quadri elettrici del piano e/o di zona e collegati ad essi. I centralini gestiscono anche la comunicazione powerline con i dispositivi di campo e verso il server remoto tramite la rete Ethernet dell'edificio.

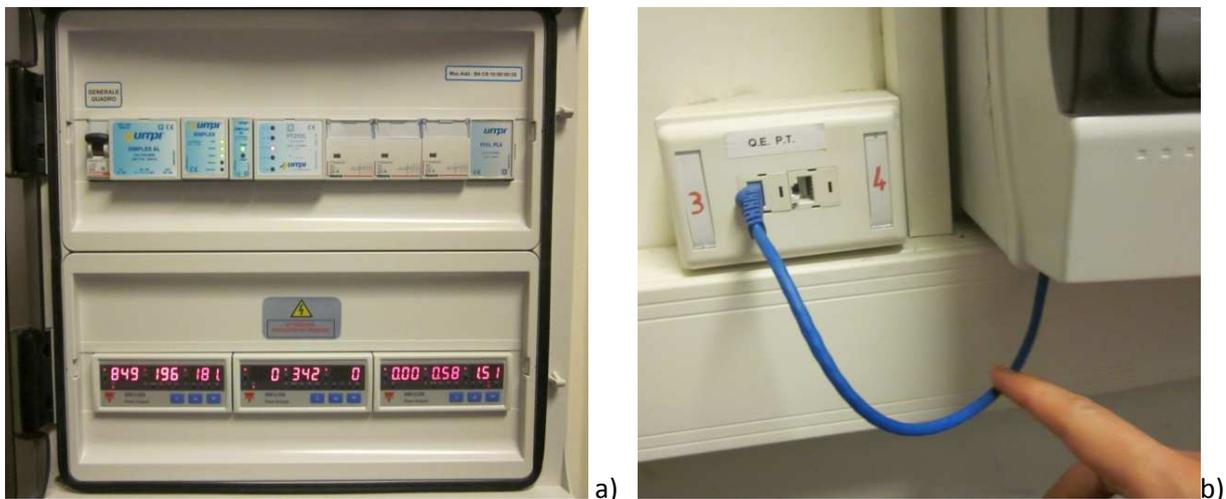


Figura 19: a) Esempio di centralino di telecontrollo e b) uscita LAN dal centralino di telecontrollo

### Dispositivi di telecontrollo a livello di campo

Sono montati in genere nei controsoffitti in prossimità degli uffici e laboratori e utilizzati per la segnalazione ed il comando dei carichi elettrici remoti. Sono quegli elementi più volte citati nel testo come concentratori o Elios. Caratteristiche tecniche relative a tali strumenti sono indicate nella Tabella A1.14, Appendice 1.

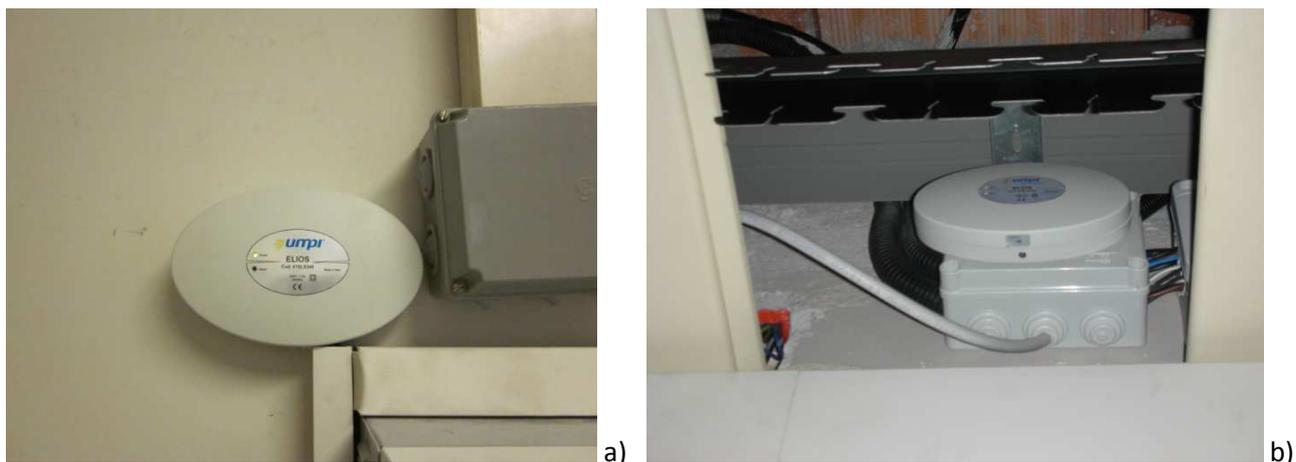


Figura 20: Esempi di Elios installati a) sulla parete della control room al primo piano, b) nel controsoffitto del corridoio del primo piano

Dispositivi di controllo temperatura ambiente e gestione fan coil (termostati)

Sono posizionati negli uffici/laboratori in scatola da esterno tipo 503 a 3 frutti. Sono già stati citati più volte nel testo come “termostati” o KRONO (vedi paragrafo sul monitoraggio ambientale).

Dispositivi di rilevazione presenza e comando illuminazione ufficio (sonda presenza)

Sono posizionati negli uffici, nei laboratori, nei corridoi e nei bagni. Sono già stati citati più volte nel testo come “rilevatori di presenza” (vedi paragrafo sul monitoraggio ambientale).

Interruttore di esclusione sensore

Un interruttore manuale di esclusione del sensore presenza è posto nel corridoio sopra la porta del locale. In tal modo l’interruttore permette di by-passare la segnalazione del sensore di presenza “forzando” l’accensione dell’illuminazione.



Figura 21: Interruttore manuale di esclusione sensore posizionato all’esterno degli uffici.

## Gestione

La gestione del sistema installato nell'edificio avviene a livelli diversi: livello di quadro, di corridoio di uffici/laboratori e di bagni.

In questo paragrafo vengono descritte in generale le linee di gestione che sono state applicate al sistema, ma maggiori informazioni sono riportate nelle Tabelle A1.15, A1.16, A1.17 e A1.18, Appendice 1.

### Livello di quadro (intero edificio, diversi piani)

*Generale Edificio:* gestisce la comunicazione powerline con i dispositivi negli uffici (Elios) dei piani Terra e Primo. La linea elettrica utilizzata per la comunicazione powerline sul piano, è quella che alimenta i fancoils degli uffici/laboratori.

*Di piano:* consente di agire sui comandi di alcune linee elettriche:

- ON/OFF linea luce corridoi e atrio (gestito da supervisore remoto e/o da comando manuale su centralino)
- disabilitazione sensori di presenza nei corridoi del piano (gestito da supervisore remoto)
- ON/OFF linea luce uffici (dx-sxd) (gestito da comando manuale su centralino)
- ON/OFF linea fan coil ed Elios di piano (gestito da comando manuale su centralino)

### Livello di corridoio

Consente di comandare la linea luce attraverso i centralini di telecontrollo:

- tramite un comando manuale posto sul centralino di telecontrollo
- tramite un comando inviato da supervisore alla periferica PT2-OC del quadro di telecontrollo tramite la segnalazione di presenza rilevata da n.3 sensori posizionati nei corridoi in corrispondenza dei locali bagno e dell'atrio scala.

### Livello Uffici e laboratori

Presentano tre possibili gestioni:

- 1- gestione illuminazione e termoregolazione
  - a. rilevazione della presenza dell'utilizzatore, con comando di abilitazione all'uso dell'illuminazione.
  - b. rilevazione della temperatura ambiente, trasmissione remota della segnalazione e comando automatico del termoconvettore (ON/OFF fan coil)
- 2- gestione illuminazione senza comando termoregolazione
  - a. rilevazione della presenza dell'utilizzatore, con comando di abilitazione all'uso
  - b. rilevazione della temperatura ambiente e trasmissione remota della segnalazione. Nessun comando automatico al termoconvettore
- 3- gestione illuminazione senza rilevazione temperatura
  - a. rilevazione della presenza dell'utilizzatore, con comando di abilitazione all'uso dell'illuminazione la gestione della presenza è del tutto analoga a quanto descritto nel caso precedente (1)
  - b. rilevazione della temperatura ambiente e comando automatico del termoconvettore in modalità stand-alone.

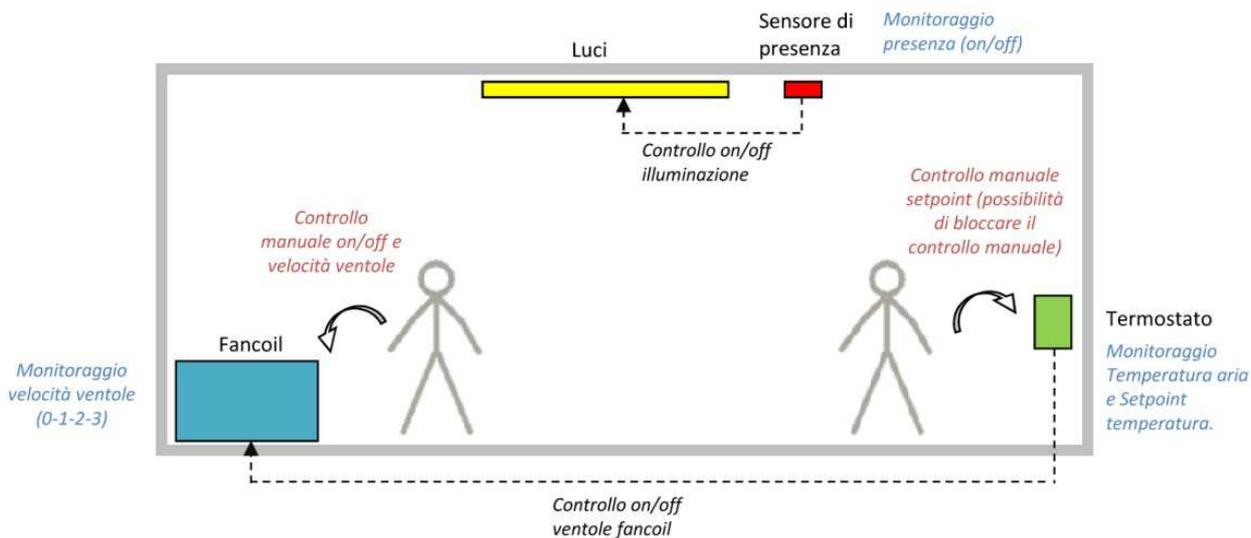


Figura 22: Esempio di gestione di tipo 1 in ufficio/laboratorio.

### Livello Bagni

Nei locali bagno presenti nei piani è controllata solo l'attivazione dell'illuminazione dell'antibagno, con la rilevazione del sensore di presenza.

## *Qualità e Criticità del sistema installato: follow up dell'implementazione del sistema in campo (attività 1)*

Successivamente all'implementazione del sistema di monitoraggio in campo, al fine della verifica del corretto funzionamento del sistema stesso e della qualità dei dati acquisiti, sia in termini di accuratezza che di frequenza temporale, il sistema è stato testato per un periodo di 2 mesi.

Durante questo lasso di tempo le attuazioni sono state disattivate. I dati raccolti attraverso l'utilizzo della piattaforma web sono stati scaricati e preelaborati, esportandoli in formato csv, e ne sono emerse le seguenti considerazioni:

- Malgrado l'acquisizione dati avvenga con modalità e tempistiche diverse per le singole tipologie di sensori, una preelaborazione integrata nella piattaforma consente di avere per i vari parametri tempi di campionamento confrontabili. Ad esempio, l'acquisizione della temperatura dell'aria avviene con intervalli temporali irregolari, dato che l'impulso viene trasmesso soltanto ad una variazione di 0,5°C. Il sensore di presenza, dal canto suo, trasferisce il dato misurato solo quando il segnale passa da ON ad OFF. Ciò che restituisce la piattaforma, però, sono valori mediati su un tempo preciso (ad esempio 10 minuti).
- Per quanto riguarda i dati di energia il tempo di acquisizione può variare dal minuto a dieci minuti. In entrambi i casi il valore acquisito rappresenta l'energia cumulata durante il lasso di tempo trascorso.
- A differenza del dato energetico, il dato acquisito di potenza rappresenta un valore mediato sul tempo di campionamento.
- Da una preliminare verifica della qualità dei dati acquisiti è emerso che il sistema installato risponde in modo corretto, secondo quanto previsto dal progetto. Non sono stati rilevati errori sistematici.
- Gli intervalli di acquisizione sono rispettati e i valori misurati sono coerenti.
- Si è riscontrata la presenza di errori di acquisizione in brevi intervalli temporali e si sono trovate soluzioni per ovviare a simili situazioni in fase di elaborazione dati.

## Piano di monitoraggio di un cluster di edifici. Definizione di un kit minimo di monitoraggio

### *Scopo e struttura dell'attività*

L'attività di individuazione di un kit minimo di monitoraggio all'interno di un cluster di edifici è stata condotta conseguentemente all'analisi svolta all'interno dell'edificio F40. Sulla base dei primi dati di monitoraggio e delle criticità emerse durante l'installazione dell'apparato di misurazione nell'edificio F40 è stata individuata la strumentazione da installare all'interno di un gruppo di 8 edifici, tra loro molto simili dal punto di vista architettonico ed impiantistico, anch'essi facenti parte del complesso di ENEA Casaccia. Proprio per le caratteristiche con cui si presenta, questo insieme di fabbricati è significativo al fine di un'analisi energetica di un cluster di edifici.

L'attività svolta si struttura in tre fasi:

1. inquadramento del cluster di edifici: comprende dati architettonici ed impiantistici degli 8 edifici facenti parte del cluster, considerando i singoli fabbricati separatamente o come elementi facenti parte di un'unica rete. Il documento riporta rappresentazioni grafiche semplificate dei flussi energetici (termici ed elettrici) e schemi funzionali degli edifici (superfici destinate ad uffici, laboratori, spazi distributivi, ecc.)
2. Sistema di monitoraggio dell'edificio: comprende dati tecnici relativi alla sensoristica minima, ai fini diagnostici, prevista dal piano di monitoraggio, sia dal punto di vista energetico (wattmetri e contabilizzatori di energia termica), sia dal punto di vista ambientale (sensori di occupazione e sensori di temperatura e umidità). Il piano di monitoraggio prevede il posizionamento dei sensori identificandoli con un codice che dovrà essere riportato tale sulla piattaforma web di raccolta dati.
3. Sistema di telecontrollo: comprende i principi di trasmissione, e indica quelli che saranno i principi di attuazione e gestione del sistema di monitoraggio previsto, indicando come queste tre operazioni si relazionino a seconda della che si parli di singolo edificio o di rete di edifici.

### *Inquadramento edificio*

Il complesso di edifici è situato all'interno del Centro Ricerche ENEA Casaccia e comprende gli edifici F66 - F67 - F68 - F69 - F70 - F71 - F72 - F73 dislocati in due blocchi che si attestano su un viale servito da due marciapiedi di cui uno coperto da una pensilina. Un primo blocco costituito da tre edifici contigui è orientato secondo l'asse NO-SE, mentre il secondo blocco costituito da 5 edifici a pettine ha come orientamento principale l'asse NE-SO.



Figura 23: Inquadramento del cluster di edifici.

#### *Dati dimensionali*

Gli otto edifici presentano caratteristiche simili sia dal punto di vista strutturale che impiantistico e sono tutti adibiti ad uso ufficio. La maggior parte di essi si compone di un unico piano fuori terra, ad eccezione dell'edificio F67, il quale presenta anche un piano interrato. Tutti gli edifici si compongono di una parete perimetrale in cls di spessore 30 cm, ospitante al suo interno una pannellatura di materiale isolante di circa 5 cm. La facciata esterna è in calcestruzzo a vista, mentre all'interno il cls è rivestito con una pannellatura in cartongesso e polistirolo di circa 3 cm. Gli infissi sono scorrevoli e con intelaiatura in alluminio. Il controllo della radiazione solare negli uffici avviene attraverso tende veneziane esterne, mentre nei bagni sono installate delle persiane fisse in alluminio sul lato esterno.

Dal punto di vista impiantistico sono serviti da un'unica centrale termica dislocata presso un locale tecnico (edificio F85) adiacente ad uno dei blocchi e da una cabina elettrica (cabina n°11) nelle vicinanze che serve questi 8 edifici più un edificio a tre piani (F64).

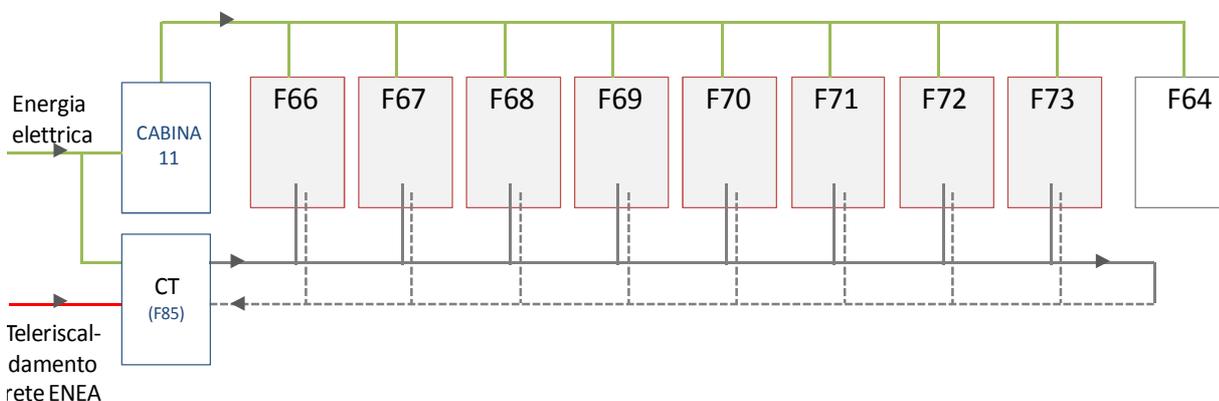


Figura 24: Schema vettori energetici cluster flussi energetici, a livello di cluster, per la rete di fabbricati considerata. Gli edifici campiti rappresentano gli 8 edifici cui si fa riferimento nel testo

### Aree funzionali



Figura 25: Destinazione d'uso e principali funzioni all'interno del cluster.

Come evidenziato in figura 25 tutti gli 8 edifici costituenti il cluster hanno destinazione d'uso ufficio. All'ingresso di ogni edificio si trova un locale tecnico dove trova collocazione la diramazione dell'impianto di riscaldamento /raffrescamento, l'unità di trattamento aria e il quadro elettrico di edificio.

### Impiantistica allo stato di fatto

#### Impianto termico

##### Centrale termica cluster

La centrale termica collocata all'interno dell'edificio F85 ospita al suo interno gli impianti di riscaldamento e di raffrescamento del fluido che circola nella rete idronica del cluster (figura 26). In particolare:

- il gruppo frigorifero (Seveso, tipo TNC-38) è composto di tre compressori semiermetici, con potenzialità pari a 320000 frig/h e potenza nominale 104,8 kW.
- la torre evaporativa (Seveso, tipo WRS-450) ha una potenzialità di 410000 frig/h, una portata d'aria di 36870 m<sup>3</sup>/h e una potenza nominale del motore di 10 HP.
- le elettropompe centrifughe (Marelli, tipo 100x80x200A MV 112 MA), verso la torre evaporativa, hanno una portata di 86000 litri/h, una prevalenza di 11 M.c.a., una potenza nominale di 4.4 CV e un assorbimento di 3,2 kW, mentre le elettropompe centrifughe (Marelli, tipo 80x65x250A MV 112 MA) verso il circuito della rete del cluster, hanno una portata di 64000 litri/h, una prevalenza di 18 M.c.a. una potenza di 6,2 CV e un assorbimento di 4,5 kW.
- lo scambiatore di calore (Yucker, tipo UD6-1031C), ha una potenzialità di 325000 kcal/h.

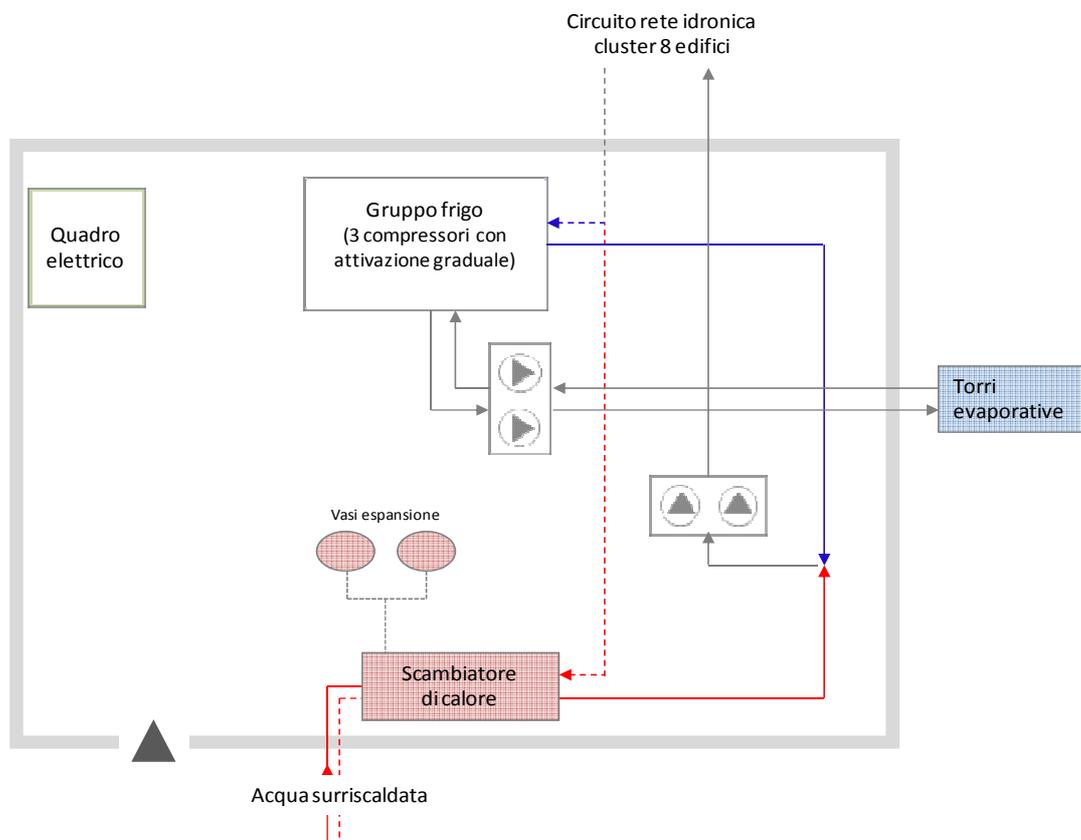


Figura 26: Schema dei vettori energetici in centrale termica



Figura 27: Scambiatore di calore in centrale termica



Figura 28: a) Gruppo frigorifero, b) elettropompe di circolazione e c) quadro elettrico in centrale termica

Durante la stagione di riscaldamento il fluido termovettore proveniente dalla centrale termica della rete del Centro arriva nella centrale termica del cluster, passa per uno scambiatore e da qui, tramite delle pompe dedicate, viene inviato agli otto edifici, mentre in estate dal gruppo frigorifero il fluido refrigerato viene inviato alla rete degli edifici.

Sottocentrale di edificio

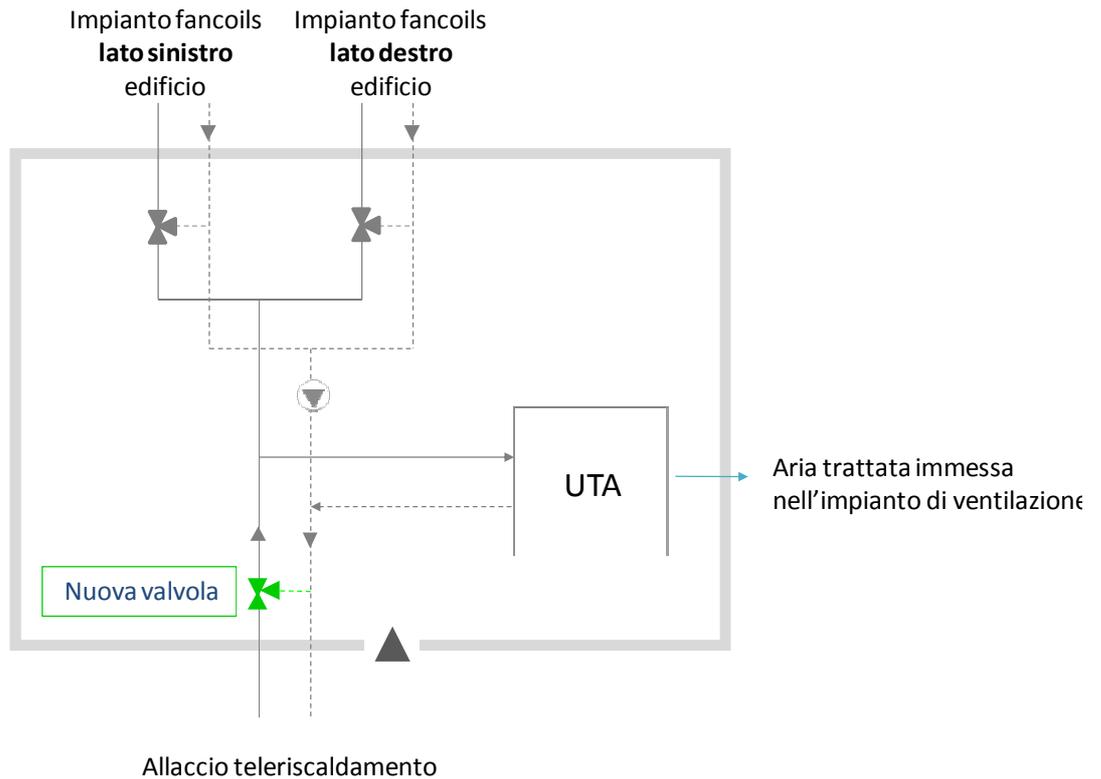


Figura 29: sottocentrale di edificio

In sottocentrale, un'elettropompa circolare con portata di 200l/1-3 min. è collocata sulla tubazione di ritorno del fluido caldo/freddo.

I terminali di stanza sono fancoils a 2 tubi. Ogni singolo ufficio è riscaldato attraverso fancoils e l'aria primaria è garantita attraverso un impianto di ventilazione con diffusore in ambiente. Anche nei corridoi il riscaldamento/raffrescamento è garantito da fancoils.

L'unità di trattamento aria della sottocentrale immette negli ambienti una portata di aria esterna totale pari a 1750 m<sup>3</sup>/h. Non vi è recupero di calore, né estrazione forzata di aria dagli ambienti.



Figura 30: a) quadro elettrico e b) sottocentrale di edificio.

### Impianto elettrico

In centrale termica il quadro elettrico è relativo alla sola energia richiesta dal locale stesso (edificio F85), più l'energia elettrica per il funzionamento del gruppo frigo e per l'attivazione delle elettropompe di circolazione.

A livello di singolo edificio il quadro elettrico comprende un contatore generale dell'energia elettrica totale fornita all'edificio, più una suddivisione delle linee generale luce, forza motrice e generale condizionamento.

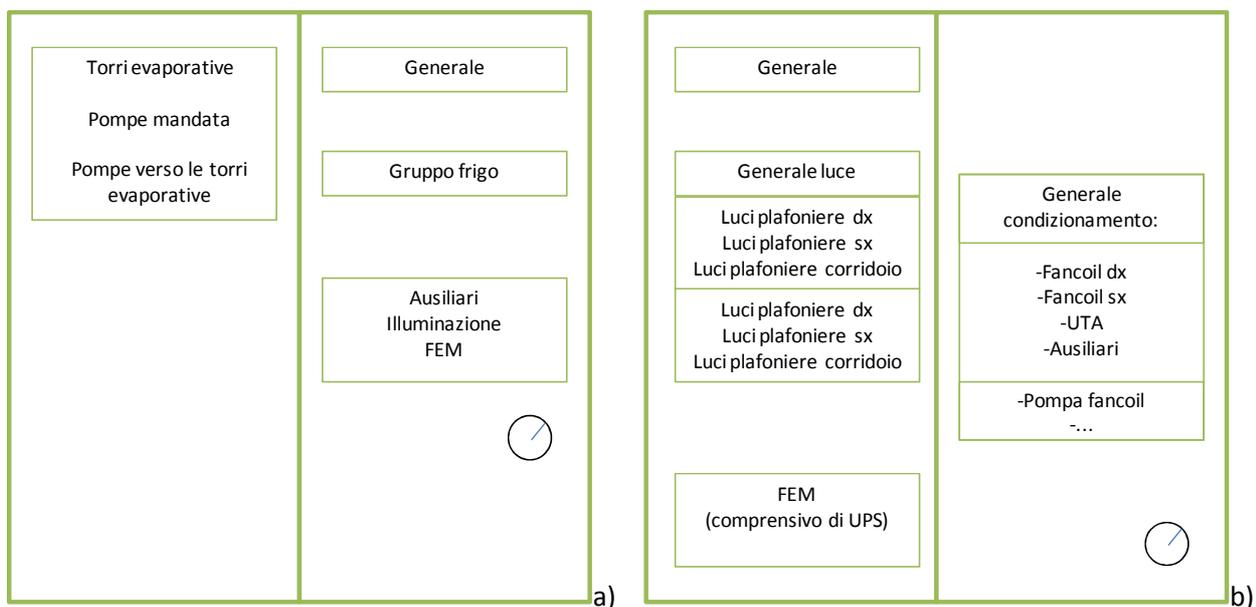


Figura 31: Schema del quadro elettrico a) in centrale termica e b) di ogni singolo edificio.

### Sistema di monitoraggio previsto per i singoli edifici

Il piano di monitoraggio studiato per il cluster mira ad individuare soluzioni che consentano, attraverso opportune elaborazioni, di operare processi diagnostici efficaci, ottimizzando però la quantità di strumentazione installata in campo e conseguentemente riducendone i costi. Obiettivo di tale operazione è l'individuazione di una soluzione per il monitoraggio più realisticamente esportabile sul mercato.

#### Monitoraggio ambientale

Il monitoraggio ambientale prevede il posizionamento di sonde per la misurazione di temperatura dell'aria e umidità relativa in almeno 2 punti rappresentativi di ogni edificio. Tali punti rappresentativi sono stati evidenziati in 2 uffici di uguale superficie ma con esposizioni diverse.

Per quanto riguarda il monitoraggio dei parametri climatici (inerenti il clima esterno), sarebbe opportuno installare una centralina microclimatica all'esterno degli edifici. Essendo in questo caso a disposizione la centralina già installata per l'edificio F40, si farà riferimento ai parametri da questa monitorati.

La presenza delle persone all'interno degli edifici sarà monitorata principalmente attraverso la registrazione delle timbrature dei badges personali dei dipendenti ai tornelli di ingresso del complesso di ENEA. Si prevede inoltre di installare un sensore di presenza all'ingresso principale di ogni edificio, al fine soprattutto dell'attivazione della luce esterna della smart street. Gli edifici disposti longitudinalmente lungo la strada (F66-F67-F68) dovranno essere dotati di 2 rilevatori di presenza, uno per ogni accesso, in quanto da entrambi i lati si accede all'edificio direttamente dalla smart street.

In figura 32 si riporta uno schema di posizionamento dei sensori in un edificio tipo del cluster.

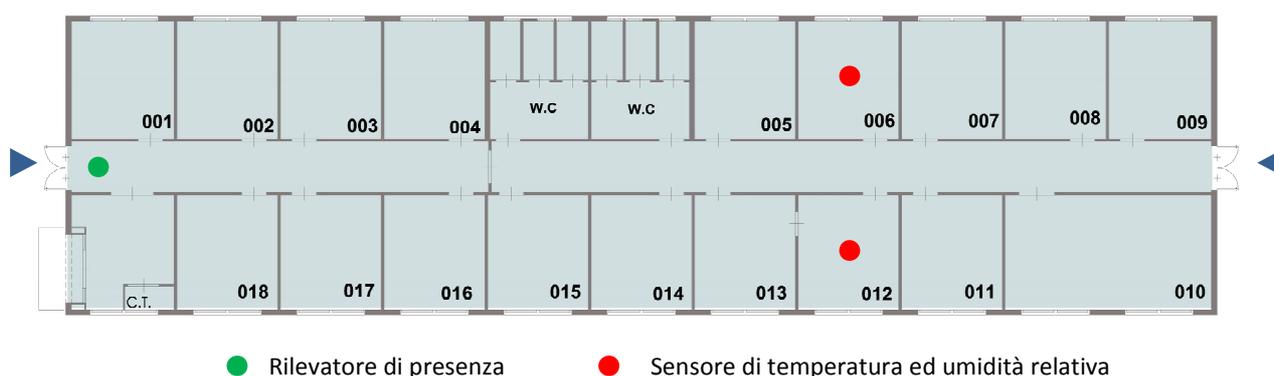


Figura 32: Edificio tipo: posizionamento sensori di temperatura e rilevatori di presenza

I sensori di temperatura ed umidità relativa scelti per l'installazione, con le relative caratteristiche tecniche, sono riportati nella Tabella A2.1, Appendice 2.

Non si intende fare alcuna misura di tipo ambientale o rilevare la presenza all'interno della centrale termica.

#### Monitoraggio energetico

## Energia elettrica

### I sensori previsti

L'energia elettrica verrà misurata attraverso un analizzatore di rete (X-Meter DIN, Energy team) il quale, grazie ad una sonda Rogowski e ad un software dedicato, è in grado di effettuare la telelettura dei valori acquisiti per ottenere statistiche negli intervalli di tempo desiderati. Tale strumento, le cui caratteristiche sono elencate nel dettaglio nella Tabelle A2.2, Appendice 2, consente di:

- misurare con un unico strumento tutte le grandezze elettriche rilevate singolarmente dai vecchi indicatori da quadro
- visualizzare tutte le grandezze elettriche direttamente sullo strumento tramite display grafico
- archiviare ogni grandezza elettrica nello strumento, senza il ricorso a un pc dedicato
- remotizzare su pc tutte le misure archiviate, con diverse possibilità di elaborazione e visualizzazione dati
- contabilizzare in modo distinto i prelievi di singole linee interne all'azienda, ai fini di una esatta ripartizione dei costi di energia elettrica, per singolo centro di costo
- localizzare eventuali prelievi anomali e conseguenti sprechi di energia, linea per linea
- verificare il corretto dimensionamento di trasformatori, protezioni termiche o altri elementi d'impianto, attraverso l'analisi di tensioni, correnti,  $\cos-\phi$ , ecc., rilevate sulle singole linee
- inviare allarmi dovuti al superamento di soglie preimpostate (corrente, tensione,  $\cos-\phi$ , potenza, ecc..)
- gestire in automatico lo sgancio carichi - e opzionalmente tramite orologi programmabili annuali.

Altri elementi da installare all'interno di centralini di telecontrollo, per il monitoraggio energetico, la trasmissione del dato e l'attuazione sono descritti nelle Tabelle A2.3, A2.4, A2.5, A2.6, Appendice 2.

### Parametri da rilevare

I wattmetri selezionati per l'installazione restituiscono le seguenti informazioni:

- Tensione [Vac]
- Potenza Attiva [W]
- Potenza Reattiva [VAr]
- Potenza Apparente [VA]
- Potenza Distorcente [VA]
- Corrente Equivalente [A]
- Trifase corrente di linea [A]
- Cosf
- Fattore di Potenza
- Energia Attiva Erogata [Wh]
- Energia Attiva Assorbita [Wh]
- Energia Reattiva Induttiva [VArh]
- Energia Reattiva Capacitiva [VArh]
- Frequenza [Hz]

**Punti di monitoraggio**

I punti di monitoraggio dell'energia elettrica previsti a livello di cluster prevedono il monitoraggio del quadro generale di ogni edificio, nonché il quadro generale di cabina 11 e della centrale termica. I punti di monitoraggio sono indicati sullo schema unifilare della figura 34.

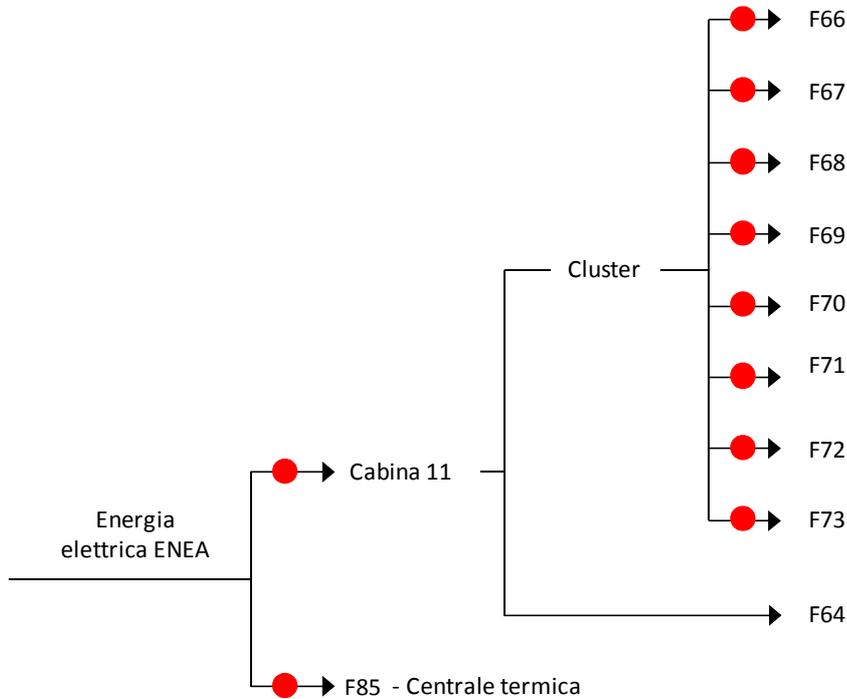


Figura 33: Schema unifilare energia elettrica cluster (generale)

In centrale termica, oltre all'energia elettrica generale, si propone di installare anche un misuratore sulla linea del gruppo frigo (figura 33).



Figura 34: Schema unifilare energia elettrica in centrale termica F85

Infine, a livello di singolo edificio si è deciso di individuare le richieste dell'utenza per illuminazione, climatizzazione e forza motrice che servono l'intero fabbricato.

La figura 35 illustra lo schema unifilare del vettore energetico per singolo edificio, con indicazione dei punti di monitoraggio.

Nel periodo estivo l'energia assorbita dalle torri evaporative e dalle pompe può essere considerata come differenza tra "generale" e "gruppo frigo", considerando il contributo di Ausiliari, Illuminazione e FEM trascurabili. Nel periodo invernale tale differenza fornirà il solo consumo delle pompe di mandata.

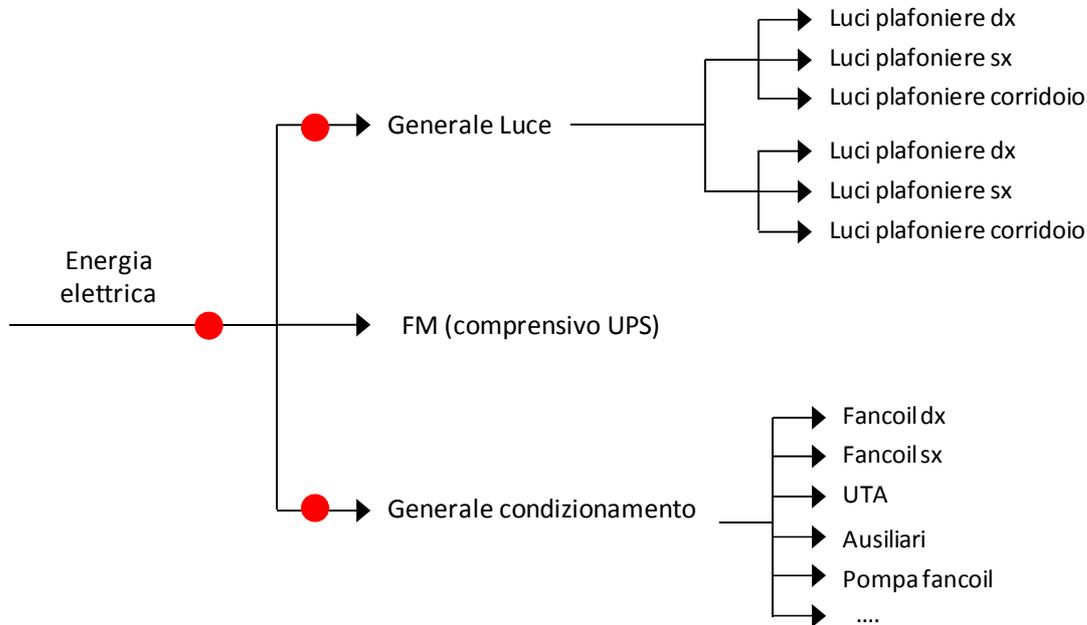


Figura 35: Schema unifilare energia elettrica per edificio tipo del cluster

**NOTA:**

Dato che gli impianti termici del cluster risalgono agli anni ottanta e nel tempo hanno perso la loro efficienza, la sperimentazione prevede la sostituzione dell'unità di trattamento aria in uno degli edifici (F70) e l'inserimento di un sistema di controllo locale, consentendo di verificare, per confronto diretto con l'edificio F72, quanto un impianto nuovo possa incidere sul risparmio energetico grazie alla sua maggiore efficienza.

**Energia termica**

**I sensori previsti e i punti di monitoraggio**

Per la misura dell'energia termica si prevede di installare:

- una postazione di controllo dei consumi in termini di calorie/frigorie costituita da un misuratore di portata ad induzione, un contabilizzatore di energia ed una coppia di sonde di temperatura (PT100 a 4 fili) nella sottocentrale di ogni edificio.
- una postazione di controllo delle calorie/frigorie costituita da un misuratore elettromagnetico, un contabilizzatore ed una coppia di sonde di temperatura (PT 100 a 4 fili) in centrale termica.

La scelta della tipologia e della taglia del contatore di calore si è operata sulla base della portata nominale e del diametro della tubazione, oltre alla fattibilità di installazione di tali strumenti in ambienti talvolta ristretti e poco accessibili. Le caratteristiche metrologiche dei componenti delle postazioni di controllo sopracitate sono riassunte nella Tabella A2.7, Appendice 2.

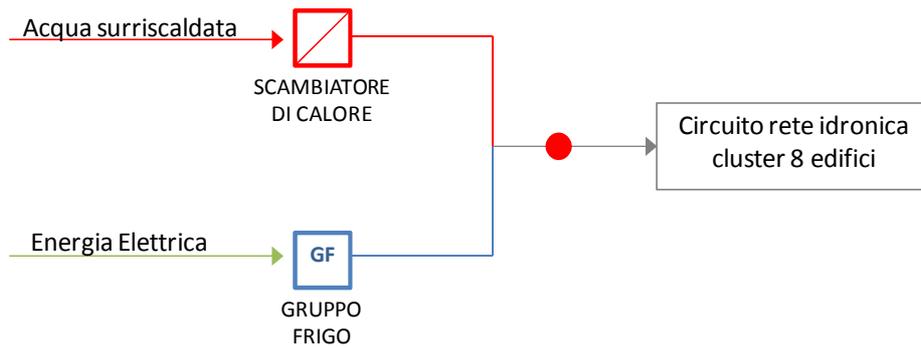


Figura 36: Schema unifilare in centrale termica (CT)

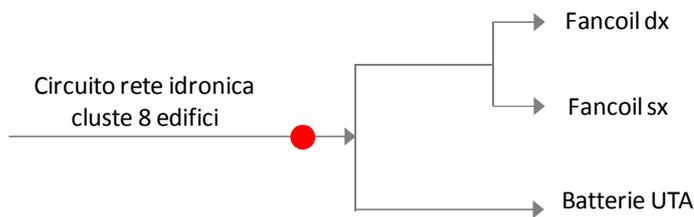


Figura 37: Schema unifilare in sottocentrale di edificio

### Sistema di telecontrollo dell'edificio

Tra gli obiettivi della realizzazione di un piano di monitoraggio per un cluster di edifici, che impiegasse un kit minimo di sensori da installare, vi è la diagnosi dei consumi energetici del gruppo di edifici al fine della definizione di strategie di controllo ottimizzato da remoto.

A tal fine il monitoraggio consentirà di definire delle logiche di controllo tramite attuazione di alcuni comandi.

- Controllo illuminazione interna di ogni edificio: Accensione/spengimento delle luci di ogni singolo edificio in base all'occupazione dello stesso
- Controllo illuminazione esterna su smart street: regolazione adattiva dell'impianto di illuminazione esterna del viale su cui prospettano gli 8 edifici (si veda § 2.3).
- Controllo delle ventole dei fancoils: Accensione/spengimento delle ventole dei fancoils di ogni singolo edificio in base all'occupazione dell'edificio (presenza rilevata dalle matricole dei badges personali registrati ai tornelli di ingresso)
- Controllo gruppo frigo: Accensione/spengimento di parte dei compressori tramite orologio
- Controllo pompe: Attivazione/disattivazione delle elettropompe di circolazione (con orologio che regola il funzionamento degli impianti: se OFF in estate restano attivi solo gli ausiliari e si spengono pompe e gruppo frigo. In inverno, invece, lo spegnimento delle pompe blocca lo scambio termico con l'acqua surriscaldata del teleriscaldamento (l'impianto non richiede energia).

## Studio e proposta di indicatori adimensionali per le valutazioni energetiche di un cluster di edifici

### *Introduzione: compendio delle metodologie di benchmarking*

Propedeutico alla spiegazione del perché è utile sviluppare un'analisi di benchmarking è l'identificazione degli aspetti rilevanti di questo tipo di analisi e l'individuazione delle sue caratteristiche specifiche applicate al settore energetico.

Di seguito verrà illustrata una ricerca bibliografica volta a comprendere le potenzialità di applicazione dello strumento di valutazione allo studio dell'efficienza energetica degli edifici.

L'origine della tecnica del benchmarking si colloca in ambito economico dove viene utilizzata per ragioni strettamente pragmatiche.

I componenti essenziali di un'analisi di benchmarking trovano una sintesi in una delle definizioni più accreditate: "Il benchmarking è un processo continuo e sistematico di misura; un processo di continua misurazione e comparazione dei processi di business di una organizzazione con i processi di business leader dovunque nel mondo, allo scopo di ottenere quelle informazioni che aiuteranno l'organizzazione a predisporre azioni per migliorare le proprie prestazioni".

Questa definizione permette di evidenziare gli elementi dell'analisi sottolineando l'importanza del carattere continuativo del processo volto alla conoscenza dei sistemi globali o specifici sotto esame.

La spiegazione del termine inglese facilita la comprensione dello strumento benchmarking.

Il termine inglese "benchmark", usato per indicare un metodo di analisi e valutazione, è preso in prestito dalla topografia nell'ambito della quale il benchmark rappresenta un punto fisso che funge da riferimento per misurare qualcos'altro.

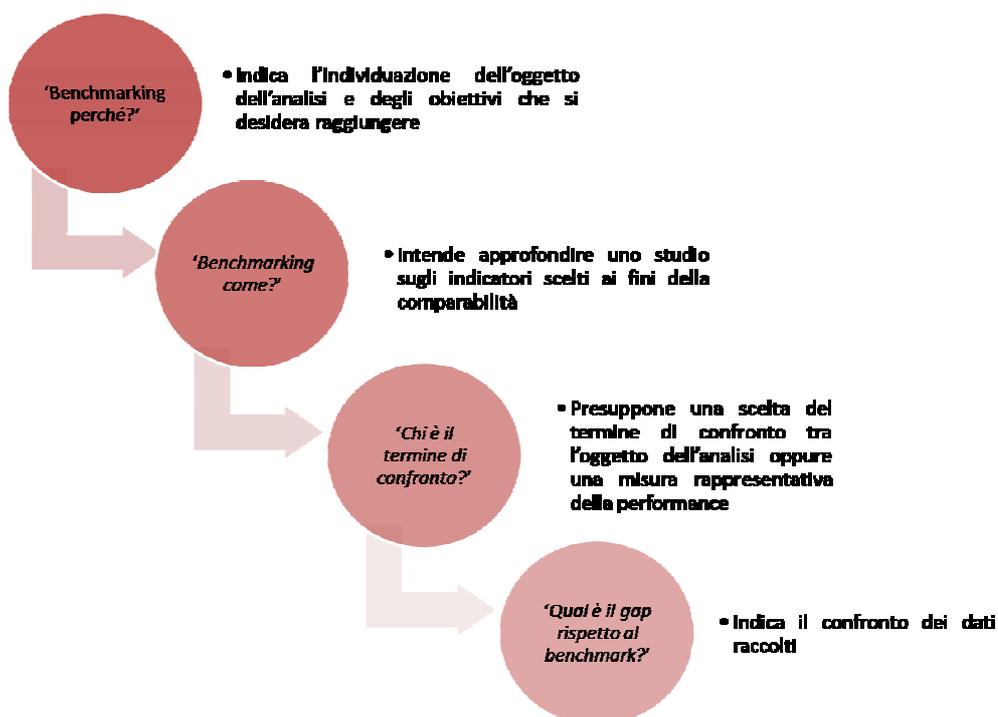


Figura 38: Fasi applicative del processo di benchmarking

Relativamente alle fasi applicative del metodo, esistono alcuni modelli di riferimento.

Il modello illustrato in Figura 38 si sviluppa attorno a quattro domande, essenziali per il successo del processo.

Le prime due fasi possono essere ulteriormente scomposte in più fasi specifiche, in particolare la risposta alla prima domanda si ottiene attraverso l'identificazione delle azioni atte al miglioramento della performance mentre per risolvere il secondo quesito è necessario stabilire il criterio attraverso il quale condurre l'analisi (vedi Figura 39 e Figura 40).

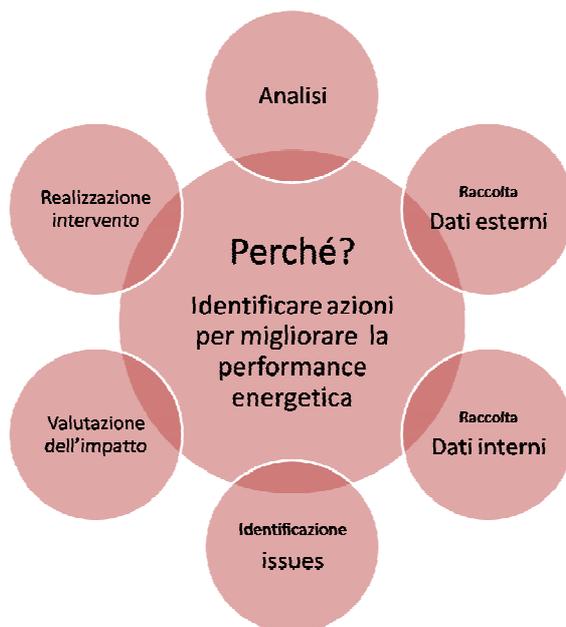


Figura 39: Fasi specifiche del primo passaggio dell'analisi di benchmarking



Figura 40: Fasi specifiche del secondo passaggio dell'analisi di benchmarking

Definito il modello applicativo da adottare è necessario scegliere il "tipo" di analisi.

Le tipologie di benchmarking distinte in base all'oggetto dell'analisi sono:

- il benchmarking interno;
- il benchmarking competitivo;
- il benchmarking dei processi;
- il benchmarking della best practice.

Il primo si differenzia dagli altri perché non prevede la comparazione con l'esterno, si tratta essenzialmente di un metodo di auto-valutazione sistematica. Il benchmarking interno rappresenta il primo passo di approfondimento della conoscenza degli aspetti critici del sistema.

La seconda tipologia considera le analisi svolte ponendo un termine di confronto e risulta utile per la messa a punto di strategie di efficienza.

Il benchmarking dei processi focalizza l'analisi comparativa su particolari processi, viene usato per valutazioni rispetto a processi energetici specifici in termini di approvvigionamento e di tecnologie di conversione efficienti per la produzione di energia termica (caldo/freddo) e/o energia elettrica.

Infine l'ultima tipologia permette di scegliere ad oggetto dell'analisi quello dalle performance migliori.

Tra gli approcci applicativi dei metodi di benchmarking è essenziale riportare quello che avviene secondo un termine di paragone costituito da un edificio considerato il più virtuoso oppure da una misura significativa e sufficientemente rappresentativa (standard) delle performance.

La prima categoria rientra in un'analisi di benchmarking definito 'sulla frontiera' e viene tipicamente usato quando si cerca di ridurre il divario tra le performance energetiche degli edifici.

Quando il campione a disposizione non presenta le caratteristiche atte all'applicazione di un benchmarking alla frontiera è possibile applicare il benchmarking 'rispetto alla media' che si rileva efficace quando gli edifici hanno caratteristiche simili.

I tre metodi principali di benchmarking sono il Data Envelopment Analysis (DEA), il Corrected Ordinary Least Square (COLS) e lo Stochastic Frontier Analysis (SFA).

È fondamentale, nel caso di applicazione di questi metodi, la scelta degli input e degli output ed anche la completezza dei dati su cui si imposta l'analisi che può cambiare sensibilmente il risultato della stessa. Un punto critico di questa tipologia di benchmarking è l'identificazione dell'edificio di riferimento. L'efficacia di questa analisi è legata in principio alla scelta del campione che pertanto dovrà essere il più ampio possibile.

In questo caso uno dei metodi con cui definire un benchmarking è l'Ordinary Least Square (OLS) che si basa sulla stima di una funzione, attraverso la regressione, che descrive nella maniera più aderente possibile alla realtà gli edifici campione dell'analisi. La performance energetica attuale viene misurata rispetto alla funzione media risultante, che diventa in questo caso il benchmark rappresentativo del campione.

Dall'analisi bibliografica emerge che la definizione dei benchmark di consumo energetico può realizzarsi:

- attraverso la simulazione dinamica di un edificio tipo che rappresenta la configurazione standard o il livello "miglior pratica costruttiva";
- attraverso i metodi statistici, di cui si è accennato sopra, (ad esempio: metodi di normalizzazione; Ordinary Least Square (OLS); Corrected Ordinary Least Square; Stochastic Frontier Analysis; Data Envelopment Analysis) applicati ad un campione rappresentativo di edifici significativi distribuiti sul territorio nazionale.

Nell'ambito del presente lavoro si è scelto di affrontare lo studio attraverso tecniche statistiche proponendo degli indicatori energetici calcolabili a partire dai dati acquisiti nelle precedenti fasi di monitoraggio.

L'indicatore energetico è il rapporto tra il consumo di energia espressa i termini di:

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

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

- caratteristiche geometriche,
- fattori legati all'uso dell'edificio,
- fattori climatici.

Nell'ambito del lavoro sono stati presi in esame e valutati diversi indicatori di consumo rapportando il consumo (consumi elettrici e termici) ai fattori normalizzanti ritenuti di volta in volta più opportuni e raccolti sia nella fase di audit dell'edificio (ad esempio caratteristiche geometriche come: 'metri quadri' e 'volumi') che derivanti dai monitoraggi (ad esempio fattori legati all'uso come 'numero di presenze').

Sulla base degli indicatori definiti è proposto il calcolo dei benchmarks ai quali fare riferimento per misurare le prestazioni d'uso dell'energia del cluster di edifici oggetto di valutazione.

Nell'ambito del seguente studio i benchmarks sono definiti proponendo le statistiche degli indicatori: media, mediana, decimo percentile del campione.

Le figure che seguono mostrano alcuni esempi di sistemi di benchmarking reperiti in letteratura.

La Figura 41 mostra i consumi specifici di energia risultati da un'indagine dell' *Office of Efficiency* dell'Ente *Natural Resources Canada* su 17 aziende di produzione del latte in Canada. Il benchmark è stato individuato

come il decimo percentile del campione composto dalle 17 aziende, cioè:  $E_{benchmark} = E_{min} + \frac{E_{max} - E_{min}}{10}$

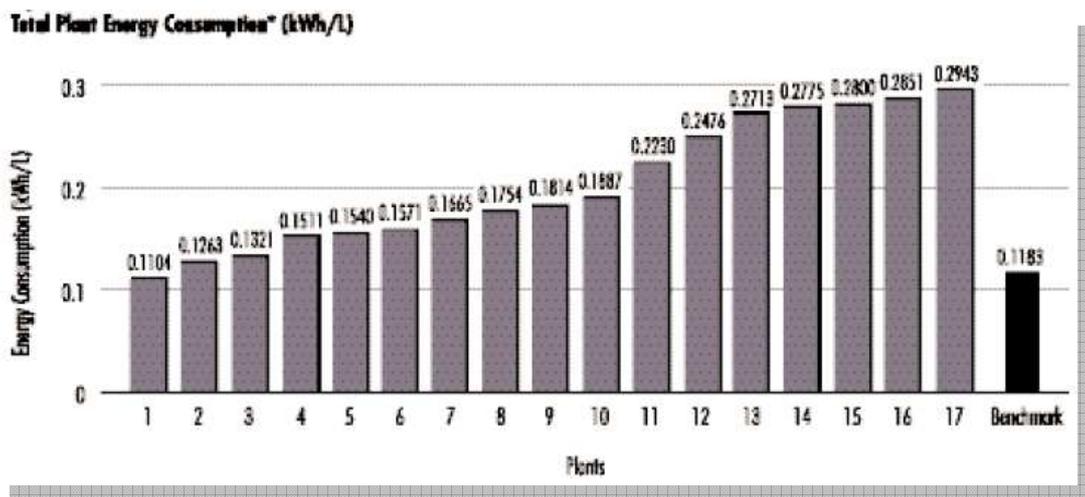


Figura 41: Benchmark del consumo specifico di energia per 17 aziende di produzione del latte in Canada

La Figura 42 è un esempio di analisi di benchmarking applicata agli impianti di ventilazione di un gruppo di 18 edifici. In questo caso il valore di benchmark è rappresentato dalla linea rossa che indica il valor medio dell'indicatore scelto a rappresentare la prestazione energetica dei sistemi.

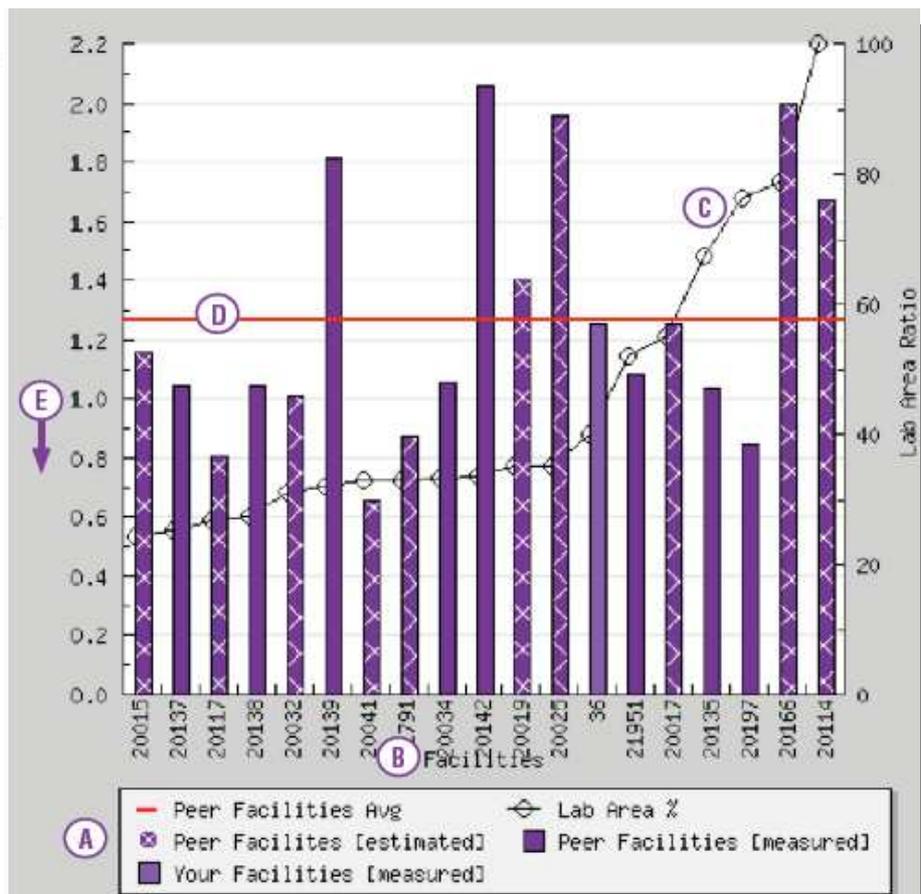


Figura 42: Analisi di benchmarking applicata agli impianti di ventilazione di 18 edifici

La Figura 43 mostra la curva di distribuzione di frequenza dei consumi d'illuminazione di un gruppo di edifici. L'edificio in esame (barra viola) si colloca all'interno del 41esimo percentile.

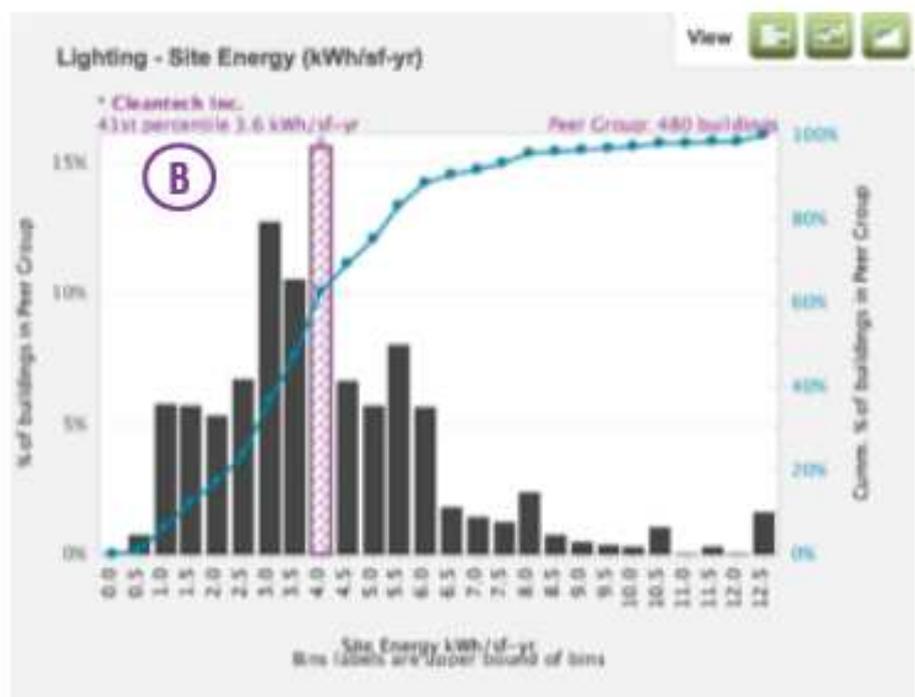


Figura 43: Curva cumulativa di frequenza dei consumi degli impianti di illuminazione di un gruppo di edifici

Lo studio affrontato propone infine lo sviluppo di un modello di regressione rappresentante il 'livello medio energetico'. L'applicazione del modello, subordinata all'acquisizione dei dati per il cluster di edifici permetterà di stabilire quali edifici si comportano in maniera efficiente e quali in maniera inefficiente a seconda che l'indicatore rappresentativo degli edifici da classificare si collochi al di sotto o al di sopra del piano individuato.

### *Il caso di riferimento: definizione di indicatori di consumo per l'edificio F40*

Come già esposto, nell'ambito del seguente studio le analisi di natura energetica sono condotte con riferimento alle utenze che ricadono nell'area del settore terziario. In particolare le utenze prese in esame sono quelle al servizio di installazioni di uso ufficio, laboratorio, CED, sala conferenze/riunioni.

La conoscenza del sistema edificio-impianto presuppone l'individuazione dei carichi che in prima approssimazione possono essere raggruppati in elettrici e termici.

I principali carichi elettrici presenti nell'edificio F40 sono:

- macchine da ufficio (computers, stampanti, macchine utensili)
- impianti di sollevamento (ascensori)
- impianti di illuminazione
- impianti di climatizzazione.

E' da sottolineare la presenza di 2 ambienti predisposti CED al primo piano e 2 sale conferenze/riunioni al secondo piano che registrano assorbimenti diversi da quelli per ufficio. L'osservazione risulta importante nella fase di costruzione di un campione significativo, uniforme e rappresentativo di una specifica destinazione d'uso. Le valutazioni delle quantità di energia consumate dall'edificio, laddove possibile, dovrebbero tener conto degli apparecchi utilizzatori che assorbono grandi quantità di energia elettrica per definire opportuni indicatori con tali consumi separati da quelli globali dell'edificio.

Nel caso in esame dell'edificio F40, il raffreddamento degli ambienti avviene attraverso un gruppo frigo pertanto nel lavoro viene incluso tra gli assorbimenti elettrici essendo l'alimentazione una fonte elettrica.

Il problema della variabilità dei consumi rispetto al clima è affrontato introducendo il concetto di "gradi giorno" di una località. I "gradi giorno" di una località sono definiti come la sommatoria delle differenze tra la temperatura convenzionale interna degli edifici  $T_i$  (assunta pari a 20°C) e quella esterna media giornaliera effettiva  $T_{e,m}$  di ciascun giorno compreso nell'intervallo stagionale definito dai limiti iniziale (i) e finale (f), per il periodo invernale o per il periodo estivo.

E' noto che i consumi legati agli impianti di condizionamento variano, oltre che rispetto al clima, a causa di una serie di fattori influenzanti che l'attività di ricerca dell'Annex 53 dell'International Energy Agency ha raggruppato secondo 6 categorie (1.Condizioni climatiche; 2.Involucro e caratteristiche dimensionali dell'edificio; 3.Sistemi energetici a servizio dell'edificio; 4.Operatività e manutenzione dell'edificio; 5.Qualità dell'ambiente interno; 6.Attività e comfort degli occupanti).

Relativamente ai consumi di energia termica il riferimento è esclusivamente al calore necessario al riscaldamento degli uffici durante la stagione invernale.

Anche i dati termici sono influenzati dal clima, pertanto come per i dati elettrici quelli termici devono essere opportunamente normalizzati rispetto ai GG al fine di neutralizzare gli effetti delle diverse zone climatiche sui consumi.

L'identificazione di indicatori che rappresentano le relazioni tra le quantità che descrivono i fenomeni di assorbimento energetico avviene attraverso la definizione preliminare di una base di dati di seguito presentata.

I dati processati sono ottenuti attraverso il sistema di acquisizione e nel corso dei rilievi. Ai fini delle analisi proposte sono stati organizzati aggregandoli in:

➤ **Dati di consumo elettrico**

Dati di consumo elettrico relativi all'intero edificio

La misurazione dell'energia elettrica all'interno dell'edificio F40 permette di raccogliere dati relativi al:

- Consumo elettrico della palazzina uffici;  $kWh_{el}^{gen-ed}$
- Consumo FM della palazzina uffici;  $kWh_{el}^{fm-ed}$
- Consumo Luce normale della palazzina uffici;  $kWh_{el}^{luce-ed}$
- Consumo ventole fancoil della palazzina uffici;  $kWh_{el}^{fc-ed}$
- Consumo compressori gruppo frigo;  $kWh_{el}^{gf-ed}$
- Consumo elettrico centrale termica;  $kWh_{el}^{ct-ed}$

E' inoltre possibile disporre di dati relativi a:

Dati di consumo elettrico relativi ad un piano dell' edificio

- Consumo FM piano;  $kWh_{el}^{fm-piano}$
- Consumo Luce corridoi/bagni (spazi comuni) piano;  $kWh_{el}^{luce.sc-piano}$
- Consumo ventole fancoil piano;  $kWh_{el}^{fc-piano}$

➤ **Dati di consumo termico**

Dati di consumo termico relativi all'intero edificio

La misurazione dell'energia termica consente di conoscere il consumo termico attribuibile ai fancoil presenti all'interno dell'edificio F40:

- Consumo energia termica per il riscaldamento della palazzina uffici;  $kWh_{th}^{tot-ed}$

Mentre la misurazione dell'energia frigorifera fornisce il:

- Consumo energia frigorifera per il raffreddamento della palazzina uffici;  $kWh_{cool}^{tot-ed}$

➤ **Caratteristiche geometriche**

Le caratteristiche dimensionali dell'edificio riguardano

- Metri quadri relativi rispettivamente alla palazzina uffici e ai piani;  $m_{ed}^2$ ,  $m_{piano}^2$

➤ **Fattori legati all'uso**

Tra i fattori legati all'uso è necessario distinguere tra quantità ottenute attraverso rilievi sul campo:

- Numero di occupanti, *occupanti*

e quantità ottenute per mezzo del sensore di presenza che permette di risalire al numero di persone transitate in un ambiente:

- Numero di presenze,  $presenze_{ed}$ ,  $presenze_{piano}$ . A partire dalla matricola associata a ciascun badge e incrociando l'informazione fornita dal sensore di presenza riguardante la stanza attiva, è possibile conoscere il numero di persone presenti per stanza/piano/edificio oltre che il numero di stanze attive.

➤ **Fattori climatici**

- Gradi giorno della località come sopra definiti;  $GG$

Come già detto, nell'ambito del lavoro sono stati presi in esame e valutati diversi indicatori di consumo rapportando il consumo (consumi elettrici e termici) ai fattori normalizzanti ritenuti di volta in volta più opportuni e raccolti sia durante i rilievi che dai monitoraggi.

Con riferimento ai **dati di consumo elettrico**, un primo indicatore è ricavato esprimendo l'energia elettrica totale assorbita da tutto l'edificio in un anno in chilowattora ( $kWh_{el}^{gen-ed}$ ) ed eseguendo una normalizzazione rispetto alla superficie della palazzina uffici espressa in metri quadrati:

$$I_{el}^{gen-ed} = \frac{kWh_{el}^{gen-ed}}{m^2}$$

Allo stesso modo la normalizzazione può avvenire rispetto al numero di impiegati presenti nella palazzina, in tal caso l'indicatore risulta così definito:

$$I_{el}^{gen-ed} = \frac{kWh_{el}^{gen-ed}}{occupanti}$$

L'indicatore definito tramite rapporto dell'energia elettrica globale assorbita dall'edificio ed il numero di occupanti potrà essere confrontato con quello definito utilizzando come fattore di normalizzazione il numero di persone presenti dedotto tramite sensore di presenza. Questo secondo indicatore risulta più affidabile del precedente perché rispecchia in modo maggiormente fedele alla realtà l'uso effettivo dell'edificio. Inoltre potrebbe essere significativo seguire l'andamento mensile di questo indicatore per cogliere eventuali cambiamenti nell'uso della struttura.

$$I_{el}^{gen-ed} = \frac{kWh_{el}^{gen-ed}}{presenze}$$

Interessante è anche il rapporto tra l'energia elettrica totale assorbita e l'inverso della densità ossia:

$$I_{el}^{gen-ed} = \frac{kWh_{el}^{gen-ed}}{m^2 / presenze}$$

Gli indicatori che fanno riferimento ai consumi elettrici globali dell'edificio devono essere corretti rispetto ai fattori climatici, pertanto qualora si confrontino indicatori di edifici appartenenti a diverse zone climatiche è necessario operare una normalizzare rispetto ai GG prima definiti.

Un altro indice riguardante il consumo elettrico è il fattore di carico, definito come segue:

$$\text{Fattore di carico} = \frac{kWh_{el}^{gen-ed}}{kW_{max} \cdot 24h \cdot n.giorni / mese}$$

Il fattore di carico esprime la relazione tra il consumo in kWh degli impianti e il picco di domanda mensile. La rappresentazione di questi dati mese per mese può indicare come e quando un componente consuma energia elettrica, se lo stesso può essere spento durante la notte e quanto il profilo di consumo di energia dell'edificio è dipendente dalle condizioni meteorologiche.

Ancora con riferimento ai **dati di consumo elettrico**, un secondo gruppo di indicatori è ricavato esprimendo l'energia elettrica da forza motrice assorbita in un anno in chilowattora dall'edificio ( $kWh_{el}^{fm-ed}$ ) oppure dal singolo piano ( $kWh_{el}^{fm-piano}$ ) ed eseguendo una normalizzazione rispetto alle superfici e al numero di impiegati relativamente alla palazzina uffici o al singolo piano:

$$I_{el}^{fm-ed} = \frac{kWh_{el}^{fm-ed}}{m_{ed}^2} \quad I_{el}^{fm-piano} = \frac{kWh_{el}^{fm-piano}}{m_{piano}^2}$$

$$I_{el}^{fm-ed} = \frac{kWh_{el}^{fm-ed}}{presenze_{ed}} \quad I_{el}^{fm-piano} = \frac{kWh_{el}^{fm-piano}}{presenze_{piano}}$$

Con riferimento ai consumi di forza motrice è significativo l'indicatore che utilizza come fattore di normalizzazione il numero di computers, stampanti e lampade chiamati nel seguito plug loads.

$$I_{el}^{fm-ed} = \frac{kWh_{el}^{fm-ed}}{plugloads_{ed}} \quad I_{el}^{fm-piano} = \frac{kWh_{el}^{fm-piano}}{plugloads_{piano}}$$

Ancora a partire dai dati di consumo elettrico è utile conoscere la densità energetica degli impianti d'illuminazione e dei ventilatori dei fancoil.

$$I_{el}^{fm-ed} = \frac{kWh_{el}^{luce-ed}}{m_{ed}^2} \quad I_{el}^{fm-piano} = \frac{kWh_{el}^{luce-sc.piano}}{m_{sc.piano}^2}$$

$$I_{el}^{fc-ed} = \frac{kWh_{el}^{fc-ed}}{m_{ed}^2} \quad I_{el}^{fm-piano} = \frac{kWh_{el}^{fc-piano}}{m_{piano}^2}$$

Con riferimento ai **dati di consumo termico**, l'indicatore fa riferimento all'energia termica assorbita per unità di superficie ( $kWh_{th}^{tot-ed}$ ) e per GG:

$$I_{th} = \frac{kWh_{th}^{tot-ed}}{m_{ed}^2 \cdot GG}$$

### Proposta di applicazione di analisi di benchmarking al cluster di edifici

Qualora sotto esame sia un gruppo di edifici calcolando le statistiche degli indicatori (media, mediana, percentili) è possibile stabilire il posizionamento di un edificio rispetto agli altri.

La tecnica di normalizzazione se da un lato rappresenta un metodo semplice e facilmente applicabile dall'altro contiene dei limiti intrinseci legati alla definizione che trascura gli effetti sui consumi legati ad altri fattori che influenzano gli stessi.

Per superare i limiti dell'approccio di normalizzazione e valutare la performance d'uso dell'energia è adottato il modello di regressione lineare risolto attraverso il metodo dei minimi quadrati. Il piano di regressione proposto rappresenta il 'livello medio energetico'. Una volta individuato il piano di regressione, la valutazione comparativa permette di stabilire quali edifici si comportano in maniera efficiente e quali in maniera inefficiente a seconda che l'indicatore rappresentativo degli edifici da classificare si collochi al di sotto o al di sopra del piano.

D'altra parte l'analisi di benchmarking si sviluppa in base alla distribuzione dei residui del modello di regressione dove per residuo si intende la differenza tra il valore empirico misurato ed il valore teorico. In questo caso i residui sono assunti come una misura dell'inefficienza.

Se il valore empirico di  $E_i$  dell'edificio da classificare risulta minore di quello previsto (residuo negativo), si può affermare che l'edificio registra un consumo energetico minore rispetto ad edifici con caratteristiche simili e pertanto la sua performance è valutata come efficiente. Inoltre la distribuzione dei residui campionari ottenuti dal modello di regressione può servire alla costruzione di una corrispondente tabella di benchmark.

Per il cluster di edifici in esame viene proposto un modello regressivo che permette di identificare il piano di riferimento rispetto al quale misurare la distanza tra la prestazione energetica di un edificio incluso nel cluster ed un livello medio energetico rappresentato dal piano di regressione.

Nel caso in esame definiamo l'indicatore di efficienza energetica per l' $i$ -esimo edificio del cluster come l'energia primaria assorbita  $E_i$  ed espressa in  $kWh/m^2$  ottenuta a partire dal consumo elettrico generale

dell' $i$ -esimo edificio normalizzato rispetto alla superficie  $\left(\frac{kWh_{el}^{gen-ed}}{m^2}\right)_i$  e diviso per il rendimento del sistema elettrico nazionale  $\eta_{SEN}$  a cui è necessario aggiungere il consumo di energia termica

dell' $i$ -esimo edificio normalizzato rispetto alla superficie  $\left(\frac{kWh_{th}^{tot-ed}}{m^2}\right)_i$  e diviso per il rendimento dei

sottosistemi impiantistici dal punto di utilizzo fino a risalire alla fonte primaria ed a cui è necessario aggiungere ancora il consumo di energia frigorifera normalizzato rispetto alla superficie

$\left(\frac{kWh_{cool}^{tot-ed}}{m^2}\right)_i$  dividendo per il COP e per  $\eta_{SEN}$ .

In generale, essendo  $E_i$  funzione lineare dei fattori dimensionali e fattori legati all'uso, il problema è espresso nella forma:

$$\min_{\beta_0, \beta_1, \beta_2, \varepsilon_i} \left\{ \sum_{i=1}^8 \varepsilon_i^2 \left| E_i = \beta_0 + \beta_1 (m^2)_i + \beta_2 \left( \frac{presenze}{anno} \right)_i + \varepsilon_i \quad \forall i = 1 \div 8 \right. \right\}$$

dove i coefficienti  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  rappresentano l'intercetta ed i coefficienti di regressione; 8 è il numero di osservazioni campionarie, cioè il numero di edifici che compongono il campione oggetto di interesse;  $E_i, (m^2)_i, \left(\frac{\text{presenze}}{\text{anno}}\right)_i$  si riferiscono alla  $i$ -esima osservazione e  $\varepsilon_i$  è la componente d'errore della  $i$ -esima osservazione.

È importante sottolineare che è opportuno correggere  $E_i$  rispetto i fattori climatici e che le variabili indipendenti devono essere opportunamente standardizzate rispetto ad un valore medio. In generale la scelta dei regressori si opera adottando dei criteri automatici quali forward selection, backward elimination, stepwise, con cui viene esaminato un numero ridotto di sottoinsiemi di variabili esplicative, in base ad un procedimento di scelta sequenziale in cui i singoli regressori sono progressivamente aggiunti o eliminati dal modello. Nel caso in esame la scelta è stata guidata dalle grandezze monitorate.

## Sviluppo di un sistema di diagnosi per Smart Building ed applicazione presso l'edificio F40

**Sottoattività A: Verifica dei risultati ottenuti dal sistema di diagnostica. Sviluppo e proposta di indicatori adimensionali per l'analisi diagnostica**

**Sottoattività B: Sviluppo di modellistica specifica dell'edificio F40 basata su reti neurali e messa a punto di un sistema di rilievo delle anomalie**

Il monitoraggio energetico-ambientale effettuato per l'edificio F40 è finalizzato sia a condurre analisi di tipo diagnostico (individuazione di criticità attraverso la lettura, l'interpretazione e l'analisi dei dati), sia ad analisi di ottimizzazione (individuazione di interventi atti a ridurre i consumi energetici e/o migliorare la qualità dell'ambiente interno attraverso attuazioni automatiche o tramite strategie di interazione con l'operatore od occupante). Sulla base dei dati di monitoraggio energetici ed ambientali, strutturati logicamente attraverso l'analisi condotta precedentemente (follow up dell'implementazione del sistema di monitoraggio), l'attività di ricerca si è focalizzata ed ha avuto come scopo l'individuazione di un metodo robusto per l'individuazione automatica di valori anomali di energia e potenza per effettuare analisi diagnostiche. Per raggiungere tale obiettivo l'analisi si è orientata allo sviluppo di una procedura di diagnostica avanzata attraverso l'applicazione della metodologia concepita nel precedente contratto (PAR 2010) finalizzata a supportare la complessa operazione decisionale legata all'individuazione delle cause connesse alle anomalie riscontrabili, a partire dai dati di monitoraggio elaborati secondo grandezze e indicatori aggregati (*feature extraction*). In particolare, l'analisi si è concentrata sull'individuazione concettuale dei criteri e dei metodi attraverso cui attivare il processo diagnostico, e quindi sulla metodologia necessaria a individuare gli eventi anomali sulla base dei dati di monitoraggio.

A tale scopo è stata dapprima condotta una vasta analisi bibliografica sui principali metodi adottati per condurre analisi di "fault detection and diagnosis" (FDD), proponendo una classificazione tra quelli basati su modelli quantitativi, qualitativi e su dati di serie storiche. Dall'analisi critica effettuata sono emersi i vantaggi e gli svantaggi associati a ogni metodo e approccio, e in generale la necessità di condurre sempre un'analisi preliminare (*prior knowledge*) volta alla conoscenza delle dinamiche e della logica dei sistemi energetici a servizio dell'edificio, necessaria a interpretare opportunamente i risultati delle analisi diagnostiche operate, e a condurre conseguenti azioni di ottimizzazione.

### *Introduzione: analisi critica delle metodologie di diagnostica*

I sistemi di gestione dell'energia e di controllo sono in grado di raccogliere e memorizzare grandi quantità di dati di consumo energetico. Spesso non è possibile rilevare facilmente problemi alle apparecchiature e in generale alla gestione dei sistemi a servizio dell'edificio, a causa della grande mole di dati a disposizione che risultano difficili da gestire, sintetizzare ed interpretare.

I moderni sistemi di gestione degli edifici utilizzano fondamentalmente due sistemi per aiutare gli operatori a questo scopo: criteri di allarme, sistemi di warning od opportuni programmi di visualizzazione dei dati di monitoraggio energetico e ambientale. E' richiesto pertanto agli operatori di selezionare le soglie per gli allarmi e gli avvisi al fine di attivare il processo di *fault detection*. Questo risulta generalmente un compito difficile poiché, se le soglie sono troppo strette, possono generarsi un certo numero di falsi allarmi, e se le soglie sono troppo larghe, possono passare inosservati guasti alle apparecchiature o ai sistemi energetici. I programmi di visualizzazione dei dati possono aiutare gli operatori a rilevare e diagnosticare i problemi, ma

richiedono molto tempo per l'individuazione dei problemi e una grande esperienza. Nuovi operatori o inesperti possono avere difficoltà a individuare i guasti e le prestazioni di un operatore in generale possono variare con l'ora del giorno o della settimana.

Negli ultimi anni, sono sostanzialmente tre i modi attraverso cui è stato perseguito l'obiettivo del risparmio energetico negli edifici:

- Intervenendo sulle prestazioni dell'involucro dell'edificio cercando di contenere il fabbisogno energetico garantendo la migliore qualità dell'ambiente interno.
- Intervenendo sull'efficienza degli impianti a servizio dell'edificio.
- Attraverso il miglioramento della gestione dell'edificio per ottimizzare la sua efficienza energetica in esercizio. Ovviamente quest'ultima strategia è applicabile e risulta efficace durante il periodo di esercizio dell'edificio e per tale motivo l'analisi dei dati di un monitoraggio di lungo periodo è necessaria a tale scopo. In generale la ricerca di valori anomali di consumo energetico e di qualità dell'ambiente interno rappresenta il primo passo per condurre un'analisi di razionalizzazione energetica di un edificio.

Sulla base di una vasta analisi bibliografica di seguito è presentata un'analisi critica sui principali metodi adottati per condurre analisi di "fault detection and diagnosis" (FDD).

La diagnostica degli edifici è un processo finalizzato all'individuazione delle anomalie e alla relativa ricerca delle cause ad essi associate. Il processo diagnostico pertanto può essere suddiviso in due diversi livelli: quello di *fault detection* e quello di *fault diagnosis*.

Il processo di fault detection consiste nell'individuazione delle dinamiche anomale che caratterizzano il sistema edificio impianto durante il suo esercizio. Questo scopo può essere perseguito attraverso:

- la comparazione della prestazione energetica o ambientale dell'edificio misurata durante un certo periodo temporale con quella attesa/prevista relativa a un opportuno modello di riferimento;
- monitorando le principali grandezze ambientali ed energetiche e applicando opportune metodologie statistiche, al fine di verificare in continuo malfunzionamenti, anomalie e in generale prestazioni non soddisfacenti.

Il processo di fault diagnosis consiste, invece, nell'identificazione o localizzazione delle cause connesse alle anomalie riscontrate. Si tratta quindi di determinare quale delle possibili cause di un comportamento errato sono attribuibili al comportamento osservato come anomalo.

I sistemi di diagnostica in generale risultano efficaci nella misura in cui sono capaci di fornire informazioni affidabili e utili a basso costo. In particolare, un buon sistema diagnostico dovrebbe avere le seguenti caratteristiche:

1. Sensibilità sufficiente per rilevare i guasti o anomalie prima che diventino problemi irreversibili (ad esempio, causare disturbi o danni);
2. Fornire una diagnosi utile per:
  - a) la localizzazione del guasto (quale edificio, che piano, quale componente impiantistico?);
  - b) raccomandare un'azione di ottimizzazione con immediatezza (qual è il costo atteso di ritardo?);
3. Avere un basso tasso di falsi allarmi;

4. Avere un basso costo prima e bassi costi di manutenzione durante il funzionamento;

L'obiettivo primario di un sistema di FDD è la diagnosi precoce delle anomalie e delle relative cause, consentendo la correzione dei difetti prima di ulteriori danni al sistema oggetto di studio.

Una tipica operazione di manutenzione e di processo automatizzato utilizzando un processo di FDD può essere scomposto in quattro distinti processi funzionali (Fig. 44).

- rilevamento dell'anomalia
- diagnostica dell'anomalia {isolamento e identificazione}
- valutazione della causa associata all'anomalia
- intervento di ottimizzazione.

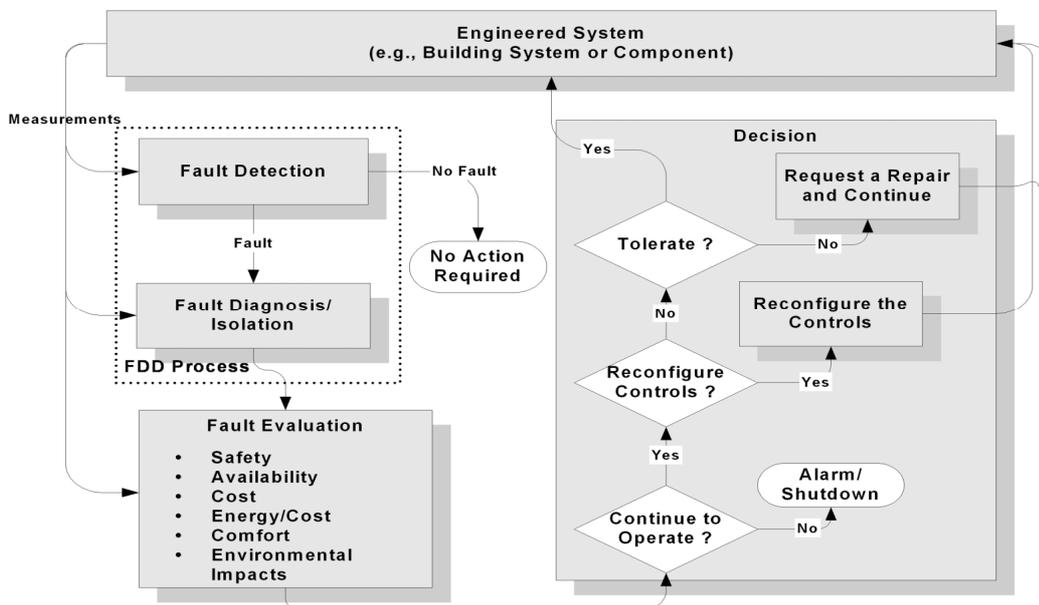


Figura 44 – Fasi di un processo FDD

In letteratura sono presentati numerosi metodi per il rilevamento di guasti o malfunzionamenti negli edifici e negli impianti a servizio deputati alla climatizzazione e alla ventilazione.

Due importanti progetti finanziati dall' IEA (International Energy Agency) l'Annex 25 e l'Annex 34 sono centrati su tale tematica.

L'implementazione di procedure di individuazione e diagnostica dei "comportamenti" energetici anomali degli edifici, intesi come sistemi energetici, può essere basata sull'utilizzo di modelli fisici o empirici applicati ai dati di consumo, e può essere orientata al livello di componente (bottom-up approach) o a livello dell'intero edificio (top down approach).

L'approccio a livello di componente prevede che l'analisi diagnostica sia condotta sui singoli sistemi, come l'unità di trattamento dell'aria, la macchina frigorifera o la caldaia. In questo approccio il singolo componente che si analizza viene scomposto in sottosistemi in modo da individuare le cause del malfunzionamento. E' necessario in questo caso disporre di un database per la localizzazione dei guasti. I metodi utilizzati per il rilevamento dei guasti si basano sul confronto di opportuni modelli predittivi di un

componente non difettoso (spesso derivanti da correlazioni statistiche fornite dal costruttore) con quello dell'elemento reale [1] [2] e [3].

L'approccio a livello di intero edificio prevede che l'analisi diagnostica sia condotta sui consumi energetici elettrici o termici dell'intero edificio per i diversi usi finali (riscaldamento, raffreddamento, illuminazione forza elettromotrice). In questo caso l'obiettivo diventa l'individuazione di valori anomali delle grandezze misurate e la ricerca attraverso opportune tecniche diagnostiche delle cause associate. Pertanto nell'approccio top down vengono osservate le prestazioni globali dell'edificio e i principali malfunzionamenti o anomalie sono definiti in accordo a differenti criteri: lo spreco energetico, il comfort degli occupanti, il decadimento delle prestazioni dell'involucro o degli impianti a servizio dell'edificio. Metodologie simili a quelle usate per il bottom-up approach possono essere utilizzate per il rilevamento delle anomalie [1] and [4] [5].

La conoscenza preventiva del funzionamento del sistema da diagnosticare è di importanza fondamentale nella progettazione del sistema diagnostico sia nell'approccio top down che nell'approccio bottom up.

Nel caso del bottom-up, la conoscenza preventiva consiste nell'identificazione dei componenti di maggiore importanza dal punto di vista del funzionamento del sistema nel suo complesso, e il grado o la severità di un malfunzionamento che risulta attivare l'allarme.

Nell'approccio top down, la conoscenza preventiva consiste sostanzialmente nell'individuazione della logica alla base delle regole che forniscono informazioni sul processo.

La conoscenza a priori è utilizzato nel approccio top-down di accelerare il processo di ragionamento o per selezionare il percorso di ragionamento che è più probabile o meglio corrisponde alle osservazioni. Pertanto il processo di conoscenza è finalizzato ad individuare tutte le relazioni causa-effetto che coinvolgono i flussi energetici del sistema edificio e relative prestazioni garantite, cercando di individuare valori limite, logiche, profili d'uso, consumi di base adottando anche tecniche e analisi di sensibilità.

Nel lavoro [5] è presentato un esempio di analisi della prestazione dell'edificio seguendo un approccio del tipo "top down" al fine di identificare i malfunzionamenti nelle apparecchiature per il condizionamento ambientale.

In generale le procedure modellistiche utilizzate nella diagnostica per l'approccio orientato all'intero edificio possono dividersi in due grandi categorie: analisi della serie di dati storici a disposizione sulla prestazione energetico-ambientale e utilizzo di modelli fisici su una metodologia completamente empirica basata sull'utilizzo di modelli del tipo inverso (ad esempio i modelli black-box).

E' chiaro che al fine di identificare efficacemente le anomalie e cioè verificare se la prestazione energetica del sistema edificio impianto in esercizio è soddisfacente o meno, è necessario ricercare prestazioni di riferimento o una baseline, rispetto alla quale andare a comparare la prestazione del sistema oggetto di studio.

Diversi metodi vengono utilizzati per rilevare e diagnosticare i guasti. La differenza principale di questi approcci è la conoscenza utilizzata per formulare la diagnosi.

Nella Figura seguente è presentata la struttura generale di un processo di FDD con l'evidenza delle diverse tipologie di metodi adottabili a tale scopo. In Figura 46 sono presentati in maniera dettagliata tutti questi metodi.

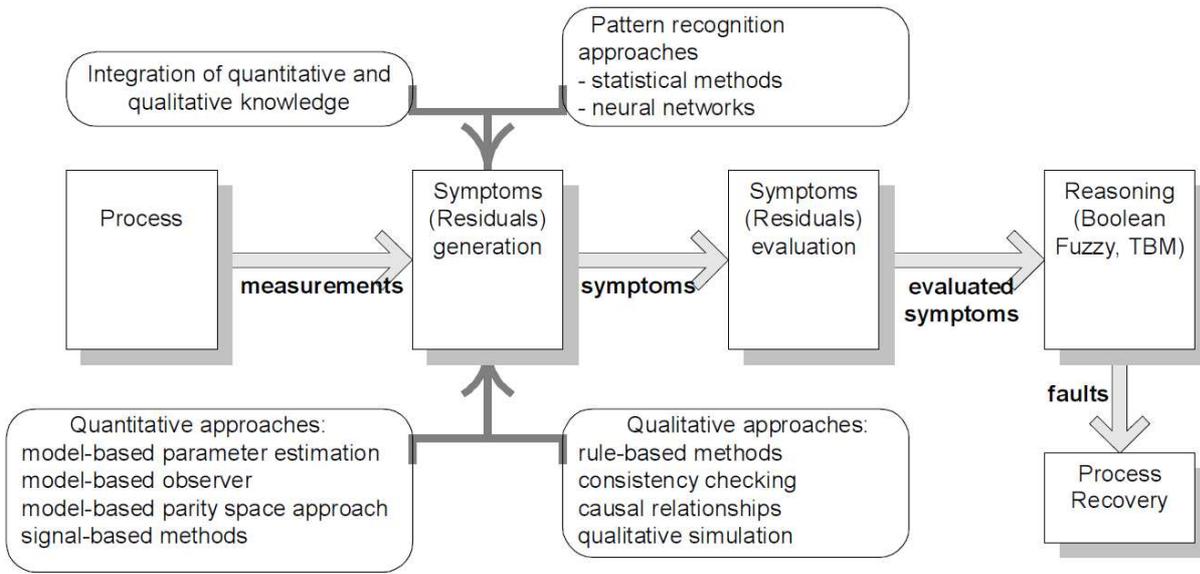


Figura 45 - Struttura generale di FDD

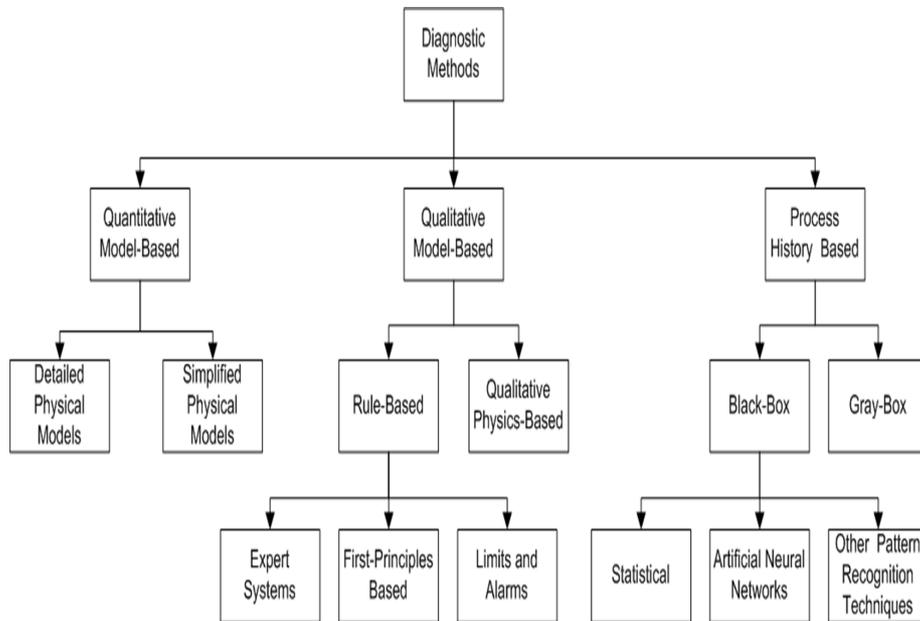


Figura 46 – Metodi specifici per FDD

I metodi diagnostici basati su modelli quantitativi consistono nell'utilizzo di modelli fisici (modelli analitici, modelli white box) fondati su equazioni teoriche dei processi fisici che caratterizzano gli scambi termici e di massa che interessano l'edificio. Questi modelli possono essere stazionari, dinamici lineari o non lineari. In generale questi modelli possono classificarsi tra modelli fisici dettagliati e modelli fisici semplificati.

Il modello di riferimento che si sceglie di adottare viene utilizzato ai fini diagnostici: si comparano i risultati del modello di riferimento con le misure dell'output reale di sistema. Diversamente vengono comparati i parametri di un modello di riferimento con quelli di un modello analogo a quello osservato.

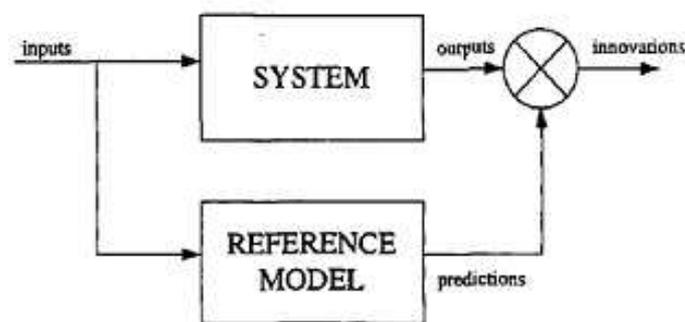


Figura 47 – Confronto tra output di sistema e output del modello

I modelli fisici se ben calibrati possono simulare il comportamento dell'edificio in modo molto dettagliato catturando anche fenomeni transitori. Di contro, risultano particolarmente complessi e in generale presentano un elevato costo computazionale. Inoltre, necessitano di una grande quantità di informazioni per la descrizione del sistema, spesso difficilmente reperibili.

I modelli qualitativi sono modelli basati su relazioni qualitative derivanti dalla conoscenza della fisica di base. Questi metodi includono sistemi basati su regole (rule based) e modelli basati sulla fisica qualitativa.

I sistemi basati su regole sono ulteriormente classificati in:

- Modelli basati su regole dedotte dall'esperienza;
- Modelli basati su regole derivate da principi fisici;
- Modelli basati su semplici controlli dei limiti.

Una parte integrante nel processo di ottimizzazione e di rilevamento dell'anomalia riguarda il processo di inferenza logica o di reasoning. I sistemi esperti per l'individuazione degli stati non ottimali del sistema oggetto di studio rappresentano un metodo molto pratico di diagnosi.

Nell'approccio top down, come si è detto, l'obiettivo dell'analisi diagnostica è quello di identificare le cause di un problema che si manifesta a livello di edificio (qual'è la causa di un'inaccettabile qualità dell'aria, temperatura o consumo energetico?).

Il problema diventa quindi quello di identificare lo specifico sottosistema e componente che risulta causa dell'anomalia riscontrata.

Il compito diventa quello di isolare la posizione del guasto identificando la ragione della sua presenza. Localizzare il guasto, diventa quindi un'operazione di framework concettuale condotta secondo una struttura tipica di un albero gerarchico. A titolo di esempio, l'indagine si concentra prima sulle condizioni ambientali della stanza, e poi sulla temperatura di mandata dell'aria.

Nell'approccio bottom-up l'obiettivo è quello di identificare come il guasto o il malfunzionamento di un componente, un sottosistema o un sistema si manifesti a livello di edificio. All'inizio un guasto o un'anomalia in un componente non si manifesta necessariamente nello stesso momento a livello di edificio. Pertanto questo approccio può essere utilizzato per predire o dare preavviso di un problema che si è manifestato a un livello più basso. Se si assume, quindi, che la conclusione dell'analisi diagnostica è che la valvola del sistema di raffreddamento funziona "male", le indagini relative alla stanza e alla temperatura di immissione sono poste come condizione per verificare se questa assunzione è vera.

Non risultando possibile monitorare ogni componente impiantistico dell'edificio, è essenziale quando si utilizza questo approccio selezionare i componenti e i possibili guasti per i quali risulta più probabile un'anomalia, o in generale i componenti che, se affetti da funzionamenti anomali, hanno maggiore impatto sulla prestazione energetica ed ambientale del sistema edificio impianto.

In generale i metodi qualitativi sono semplici da sviluppare e applicare, e consentono di operare analisi diagnostiche dei sistemi senza una precisa conoscenza delle caratteristiche fisiche. Spesso però è difficile assicurare che tutte le regole sviluppate siano sempre applicabili, così come, individuare un set completo di regole, soprattutto quando il sistema oggetto di indagine è complesso. Inoltre la loro efficacia è fortemente dipendente dall'esperienza e dalla conoscenza dello sviluppatore.

Un differente approccio per l'analisi diagnostica è basato sull'analisi delle serie storiche dei dati di monitoraggio. I modelli che si utilizzano con questo approccio sono del tipo data-driven o modelli inversi.

In questo caso le variabili di ingresso e di uscita sono note e l'obiettivo diventa la stima dei parametri e l'identificazione del modello matematico che definisce il loro legame. Tra le metodologie di modellazione data-driven, è possibile classificare l'approccio "empirico o black-box", l'approccio della "simulazione calibrata", e l'approccio a "scatola grigia". Nell'approccio empirico, le variabili di ingresso (variabili regressori o forcing variables) e di uscita (variabili di risposta o dipendenti) sono note e l'obiettivo diventa la stima dei parametri e l'identificazione del modello matematico che definisce il loro legame.

I modelli inversi includono sia modelli in regime stazionario (regressione semplice o multi variabile con uno o più parametri) che modelli in regime dinamico (modelli ARMA, reti neurali). In questo caso il rilevamento dell'anomalia è effettuato attraverso test statistici che non solo sono applicati sui residui tra il modello e dati misurati, ma anche sui parametri dei modelli stessi.

La selezione del metodo per eseguire l'analisi di fault detection and diagnostic risulta di fondamentale importanza. In generale si può osservare quanto segue: alcuni metodi richiedono pochi dati (ad esempio, i modelli qualitativi), mentre altri richiedono numerosi dati (ad esempio i metodi basati sulle serie storiche).

I metodi e gli approcci per il rilevamento e la diagnosi delle anomalie variano notevolmente a seconda:

- del tipo di sistema a cui sono applicate;
- del necessario grado di conoscenza circa il sistema da diagnosticare;
- del rapporto tra costi e benefici;
- del grado di automazione;
- della tolleranza rispetto ai falsi allarmi;
- degli input richiesti dal metodo selezionato.

Le metodologie diagnostiche più semplici e veloci sono basate sull'utilizzo di allarmi come criterio di anomalia, mentre metodi moderni utilizzano soglie e criteri statistici applicati a sofisticati modelli quantitativi, qualitativi o basati su serie storiche.

Durante il rilevamento le misure effettive (stato o valore di un parametro misurato) sono confrontati con i valori attesi per identificare l'esistenza di una condizione anomala. Modelli diretti semplificati e modelli del tipo black-box sono largamente utilizzati nella diagnostica.

In generale la diagnosi risulta più complessa e richiede l'ausilio di sofisticati metodi per isolare l'anomalia e la relativa causa. A tale scopo le reti neurali, la classificazione fuzzy e i metodi rule based sono largamente utilizzati.

In generale la quantità di dati misurati gioca un ruolo fondamentale nella scelta di un metodo per il processo di fault detection e fault diagnosis.

Una serie limitata di dati misurati conduce all'utilizzo di un metodo fisico. Se il sistema oggetto di analisi è sufficientemente strumentato i modelli empirici semplificati risultano spesso sufficienti per l'analisi di rilevamento delle anomalie, mentre modelli basati su regole o sulla conoscenza risultano essenziali per individuare le cause connesse.

### Modelli utilizzati per il fault detection

Lo studio si è focalizzato sull'analisi dei principali metodi per il rilevamento automatico dei valori anomali negli edifici e negli impianti: questi possono basarsi sia sull'utilizzo di modelli inversi non statistici sia sull'utilizzo di metodi statistici, sia su metodi grafici risultanti da opportune rappresentazioni della serie di dati.

I sistemi di gestione e monitoraggio degli edifici possono collezionare una grande quantità di dati relativi alle prestazioni del sistema edificio impianto, pertanto è richiesto l'ausilio di metodi e modelli capaci di interpretare i dati di monitoraggio e ricavare informazioni organizzate e utili alla diagnostica.

Numerosi studi sono stati pubblicati sui metodi per il rilevamento automatico di valori anomali di energia o potenza richiesta dall'edificio.

Ad esempio, in [6] viene proposto un metodo che rappresenta le variazioni settimanali dei consumi energetici raggruppando i giorni della settimana con consumi simili. Si stabilisce quindi se il consumo energetico è significativamente diverso dal consumo energetico osservato nelle settimane precedenti attraverso un metodo di individuazione degli "outlier". Se un outlier è effettivamente presente, viene

utilizzato un metodo statistico per determinare l'ammontare e la direzione di variazione da un'osservazione normale. In [7] si descrive un metodo per rilevare i consumi elettrici anomali ricorrendo a dati orari anziché giornalieri. Il metodo consiste in una prima parte in cui i dati orari di consumo sono classificati in base alle loro caratteristiche tramite un algoritmo di regressione e classificazione ad albero, e in una seconda parte in cui per ogni classe di dati vengono individuati gli eventuali outlier tramite un metodo statistico basato su test di non consistenza.

Gli approcci model-based sono utilizzati per diagnosticare una grande varietà di problemi che possono interessare l'edificio da un punto di vista energetico e per valutare i potenziali risparmi derivanti da una loro risoluzione.

In [8] viene proposto un metodo basato sull'utilizzo di reti neurali per verificare quando il consumo energetico è considerabile "normale". A tale scopo viene valutato un indice di consumo energetico pari al rapporto tra l'energia reale consumata dall'edificio e quella stimata attraverso una rete neurale. Se questo indice assume un valore maggiore a una soglia limite superiore, o minore a una soglia limite inferiore, allora lo stato energetico del sistema è considerato più alto o più basso del "normale". Se invece è compreso tra il limite superiore e il limite inferiore lo stato del sistema è considerato "normale" e quindi non viene attivato il processo diagnostico.

In [9] vengono proposte tecniche numeriche basate sul *machine learning* per la previsione del consumo energetico dell'edificio oggetto di studio prendendo a riferimento altri edifici simili posizionati nella stessa area geografica al fine di localizzare malfunzionamenti o anomalie nei sottosistemi dell'edificio. In questo caso il software Energy Plus viene utilizzato per condurre le simulazioni energetiche.

In Claridge et al [10] sono proposte metodologie per la presentazione del report sui consumi energetici di un edificio strutturato in modo da aiutare gli operatori e i *facility managers* a capire se i sistemi energetici a servizio dell'edificio stanno funzionando correttamente. Il report proposto prevede la rappresentazione attraverso il metodo *scatter plot* del consumo energetico medio giornaliero della macchina frigorifera e della richiesta di energia termica per la produzione di fluido vettore caldo in funzione della temperatura media giornaliera esterna per tre mesi. La rappresentazione prevede la visualizzazione delle grandezze energetiche sopra descritte con l'indicazione del giorno della settimana, consentendo in questo modo l'identificazione di anomalie del consumo energetico in funzione del giorno della settimana. Ulteriori rappresentazioni grafiche bidimensionali e tridimensionali sono proposte in [11] [12] con l'obiettivo di aiutare gli operatori nell'analisi del consumo energetico orario per identificare eventuali anomalie velocemente.

Come sarà più chiaro in seguito, risulta essenziale, prima di rilevare le anomalie nelle prestazioni energetiche del sistema edificio-impianto, provvedere alla classificazione della serie di dati a disposizione.

A tal fine i diversi metodi di data-mining risultano particolarmente utili a tale scopo e in letteratura sono presentate diverse metodologie finalizzate a estrarre informazioni concise e sintetiche da un'elevata quantità di dati a disposizione al fine di operare una corretta interpretazione e razionalizzazione.

In [13] a tale fine sono criticamente discusse numerose tecniche di classificazione applicate a dati misurati in una centrale di trattamento dell'aria.

Alcuni lavori di ricerca [6] [14] [15] sono focalizzati sulle tecniche di classificazione, tra cui quelle basate sull'utilizzo del box-plot o su algoritmi di *pattern recognition*. Gli algoritmi proposti possono essere usati per classificare automaticamente i profili di consumo energetici degli edifici e rilevare anomalie. La maggior parte di questi metodi sono applicati a dati con frequenza temporale giornaliera poiché spesso non risultano adatti all'analisi di dati con frequenza temporale inferiore (orari o al minuto).

Alcuni autori propongono una classificazione dei dati prima del rilevamento dei valori anomali basata sull'individuazione del giorno tipo (giorni della settimana con profili del consumo energetico simili). Per

determinare il giorno tipo possono utilizzarsi tre differenti approcci: 1) l'operatore può selezionare il giorno tipo sulla base della conoscenza dell'andamento dei consumi energetici degli edifici, 2) si possono utilizzare particolari rappresentazioni ed elaborazioni come quella del box plot, oppure, 3) un algoritmo di pattern recognition può in modo automatico individuare il giorno tipo.

In generale è possibile individuare i giorni tipo sulla base della conoscenza della richiesta energetica degli edifici o attraverso opportune rappresentazioni di serie temporali per determinare i giorni che presentano profili simili. Generalmente una classificazione di questa natura porta a una prima suddivisione tra i giorni della settimana feriali e quelli del fine settimana.

La stima del carico di picco elettrico gioca un ruolo fondamentale nel bilancio energetico ed economico di un edificio, a tal proposito Amin Naseri et al. [16] propongono un modello ibrido neurale per la previsione del carico di picco elettrico giornaliero. Attraverso una metodologia che riesce in maniera accurata e robusta a stimare il carico di picco elettrico di un edificio, si può ottenere una migliore comprensione e stima dei consumi elettrici e quindi ridurre sensibilmente il costo dei sistemi in esercizio.

Al fine di assicurare che l'energia sia utilizzata in modo efficiente è necessario operare un confronto anche rispetto all'effetto che il comportamento degli occupanti ha sugli usi energetici finali. Rasanen et al [17] propongono una metodologia attraverso la quale sono creati gruppi di comparazione sulla base delle caratteristiche e dell'uso dell'edificio. I modelli utilizzati per la stima del consumo energetico dell'edificio sono basati su principi fisici e quindi sono del tipo diretto; questi necessitano della conoscenza dettagliata di molti parametri fisici dell'edificio oggetto di studio. Spesso vengono quindi utilizzati modelli del tipo data-driven per la previsione dei consumi energetici degli edifici, i quali, se ben calibrati, possono stimare efficacemente anche le fasi di transitorio di accensione e spegnimento degli impianti.

Le Reti Neurali, ad esempio, possono essere utilizzate per due diversi scopi connessi all'individuazione delle anomalie e alla diagnostica [18]: la modellazione dei processi e la classificazione o distinzione dei dati operativi, ad esempio, in "normali" o "anomali".

Nel primo caso, l'output predetto/stimato può essere confrontato con l'output misurato e la differenza può essere utilizzata da una qualsiasi tecnica di classificazione model – based per determinare lo stato operativo del processo. Le Reti Neurali sono una tecnica di modellazione molto diffusa per diverse ragioni. Innanzitutto, consentono una modellazione efficace di sistemi non lineari. Inoltre, non richiedono una conoscenza dettagliata delle proprietà fisiche del sistema. Infine, sono robuste al rumore e sono in grado di estrarre la struttura di fondo di un dataset. Alcune di queste caratteristiche che rendono le Reti Neurali una tecnica di modellazione molto diffusa possono essere viste allo stesso tempo come fattori negativi. Le Reti Neurali, infatti, richiedono grandi quantità di dati per il training al fine di poter modellare efficacemente processi complessi.

Le Reti Neurali possono essere usate anche per la classificazione operativa dei dati. In questo caso gli input della Rete Neurale sono tipicamente un insieme di caratteristiche che definisce poi l'output della Rete, ossia lo stato operativo del sistema di interesse (ad esempio, normale o "anomalo") [19]. Le Reti Neurali sono molto efficaci per il riconoscimento di pattern, come nel caso dell'individuazione e della diagnostica delle anomalie. Può risultare particolarmente difficile ottenere sufficienti dati operativi rappresentativi dei diversi tipi di anomalie. Inoltre, anche se questi dati dovessero essere disponibili, potrebbe succedere che siano utili solo per la particolare unità dalla quale sono stati ricavati. Un altro svantaggio deriva dal fatto che le Reti Neurali sono sistemi "black box", quindi risulta complicato comprendere i meccanismi alla base delle decisioni.

### **Modellazione dei dati dell'edificio F40 ai fini diagnostici**

Nello studio effettuato sono stati applicati sia metodi basati sull'utilizzo di modelli inversi per la modellazione del comportamento energetico dell'edificio, sia metodi statistici per l'analisi delle serie di dati di monitoraggio. Pertanto si è seguito un approccio di tipo *top down* finalizzato a condurre analisi di rilevamento di anomalie sulla base di dati di monitoraggio relativi all'intero edificio F40 o a una sua porzione (singolo piano).

Di seguito si presenta lo sviluppo di modelli basati su reti neurali, finalizzato all'individuazione della tipologia di modelli in grado di rappresentare con l'errore più basso possibile il comportamento energetico dell'edificio F40 a partire da forzanti quali dati climatici ed occupazione dell'edificio, e lo sviluppo di modelli statistici che permettano di individuare in maniera automatica valori anomali di consumo dell'edificio e di attivare conseguentemente il processo diagnostico.

Si precisa che tutte le elaborazioni sono state eseguite utilizzando dati relativi al funzionamento dell'edificio in assenza di qualsiasi dispositivo e strategia di controllo e attuazione automatici.

### **Sviluppo di modellistica specifica dell'edificio F40 basata su reti neurali**

In questo paragrafo vengono descritti l'implementazione e i risultati della modellazione energetica applicata all'edificio F40 del Centro Ricerche ENEA Casaccia di Roma.

La modellazione è basata su Reti Neurali ed Ensembling di Reti Neurali. Le stime effettuate si riferiscono al consumo forza elettromotrice e ad energia attiva e potenza attiva massima ad essa relative, a seconda di quale dei due sistemi di monitoraggio dei consumi installati sull'edificio viene considerato. In particolare, i modelli neurali sono stati costruiti sulla base di dati provenienti da due distinti sistemi di monitoraggio. Infatti, durante la prima fase dell'attività di ricerca, in attesa dell'installazione e collaudo del sistema di monitoraggio progettato e concepito sugli obiettivi di questo lavoro (si veda il protocollo di installazione nelle precedenti sezioni), sono stati condotti alcuni test su dati di monitoraggio relativi allo stesso edificio F40 disponibili da un precedente sistema installato. Pertanto, di seguito, per le simulazioni effettuate si farà riferimento a dati provenienti da "il precedente sistema di monitoraggio" o da "il nuovo sistema di monitoraggio".

Per ogni tipologia di dati sono stati costruiti dei dataset orari di riferimento contenenti le informazioni necessarie ai fini della sperimentazione: in particolare dati climatici, dati di consumo e di presenza di piano/edificio, dati di stanze "attive" di piano (una stanza è definita "attiva" se c'è almeno un dipendente al suo interno). A tali dati sono state affiancate informazioni relative all'ora e al giorno cui le medie orarie si riferiscono.

I modelli neurali considerati, costruiti utilizzando solo una parte dei dati disponibili, vengono applicati alla parte rimanente dei data-set (non utilizzata per la calibrazione o training) al fine di stimare i consumi elettrici dell'edificio "F40". La tipologia di Rete Neurale utilizzata è feed-forward ad uno strato nascosto, con un numero di input e output pari al numero delle variabili considerate di volta in volta in ingresso e in uscita e 10 neuroni interni. Le simulazioni sono eseguite in ambiente MATLAB (R2010a) sfruttando le function messe a disposizione dal Neural Networks Toolbox (versione 6.0.4). Le funzioni di attivazione per il livello nascosto e per il livello di uscita sono quelle di default, tangente iperbolica (tansig) e lineare (purelin) rispettivamente.

Per ogni prova effettuata, caratterizzata da un particolare set di input, sono stati eseguiti 10 run (training e testing) con le RNA appena descritte. Nella seconda parte della modellazione le prestazioni delle RNA vengono valutate come Ensembling. La tecnica di Ensembling utilizzata è quella più semplice, la BEM, che effettua una media aritmetica degli output delle RNA. In particolare, in questo caso i calcoli relativi

all'Ensemble sono stati svolti, per ogni set di input considerato, a partire dalla combinazione degli output delle 10 RNA. Quindi abbiamo:

$$Y = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} y_i$$

dove  $Y$  è l'output dell'Ensemble, mentre  $y_i$  sono gli output delle RNA.

I criteri adoperati per valutare le prestazioni dei modelli sono l'errore medio assoluto ( $MAE$ , mean absolute error) e l'errore massimo assoluto ( $MAX$ , maximum absolute error). In formule:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i|$$

$$MAX = \max \left\{ |y_i - \hat{y}_i| \right\}_{i=1}^N$$

dove:

- $y_i$ : consumo elettrico reale all'ora  $i$ ;
- $\hat{y}_i$ : consumo elettrico stimato all'ora  $i$ ;
- $|y_i - \hat{y}_i|$ : valore assoluto della differenza tra consumo elettrico reale e consumo elettrico stimato all'ora  $i$  (errore di stima assoluto);
- $N$ : numero dei campioni orari di consumo.

Infine, si sottolinea che la dinamica dell'edificio (il consumo stesso) non viene considerata tra i dati utilizzati in input: ciò permette di valutare l'influenza degli aspetti connessi all'utenza e ai fattori climatici sull'andamento dei consumi elettrici, rispondendo alle finalità di diagnostica avanzata per cui viene adoperato questo tipo di modellazione.

### Precedente sistema di monitoraggio

Gli utilizzi energetici finali misurati con il primo sistema di monitoraggio sono illuminazione, condizionamento e consumo generale dell'edificio "F40". Il consumo relativo alla forza elettromotrice, da cui si vuole partire con la modellazione, si può ricavare come differenza tra consumo generale e consumo illuminazione.

Il periodo considerato per la sperimentazione va da lunedì 7 Novembre 2011 a venerdì 3 Febbraio 2012: in particolare, si tratta di circa 4 settimane di dati prese nell'intero periodo per il testing e dei restanti dati per il training. In attesa di disporre dei dati climatici nel periodo di interesse, gli esperimenti di modellazione sulla forza elettromotrice sono stati condotti in funzione del dato di occupazione totale dell'edificio.

In Tabella 2 sono descritte le due prove effettuate, entrambe con RNA e BEM e caratterizzate da un diverso set di input. In particolare, con il termine "id giorno" si indica un numero (da 1 a 7) che identifica il giorno della settimana.

Tabella 2 - Vecchio monitoraggio: prove effettuate su consumo FEM nel periodo 07/11/2011 – 03/02/2012

Prova	Numero di input	Variabili in input
Prova A	3	id giorno, ora, presenze totali

Prova B	2	ora, presenze totali
---------	---	----------------------

**PROVA A**

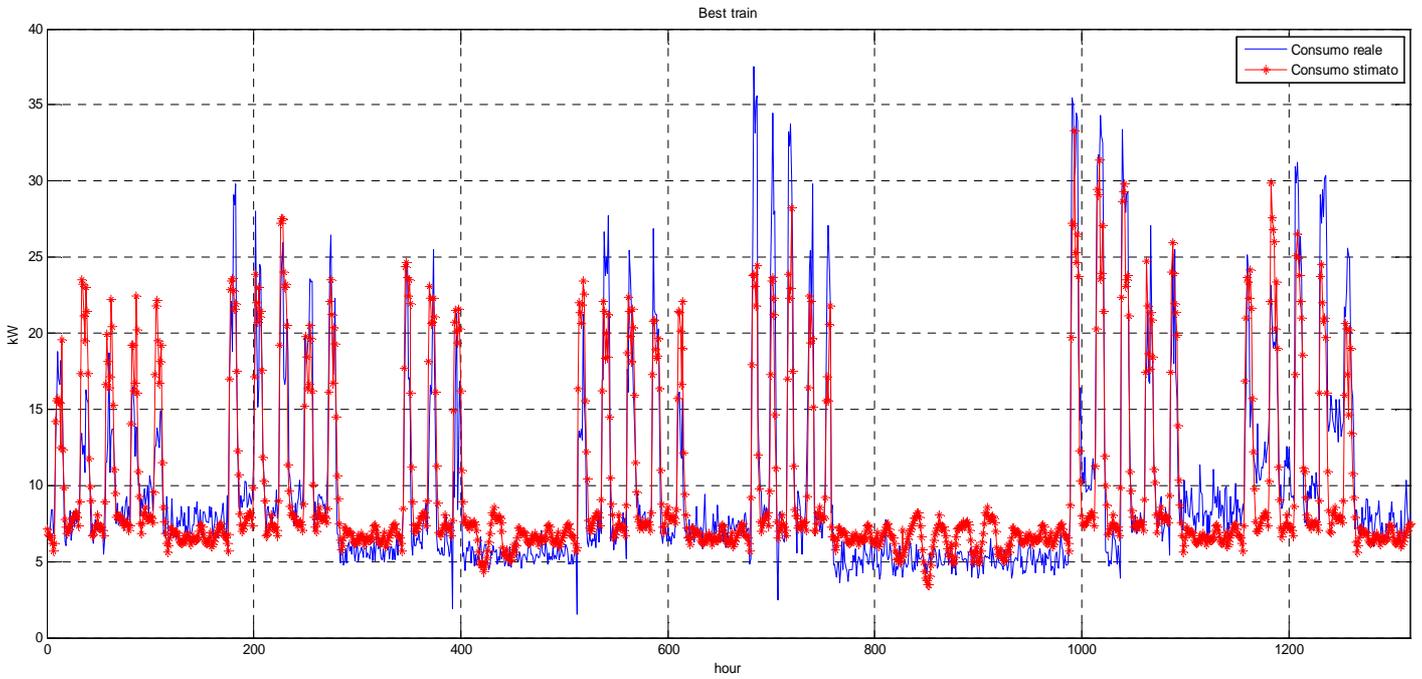


Figura 48- Prova A: miglior RNA training nel periodo 07/11/2011 – 03/02/2012

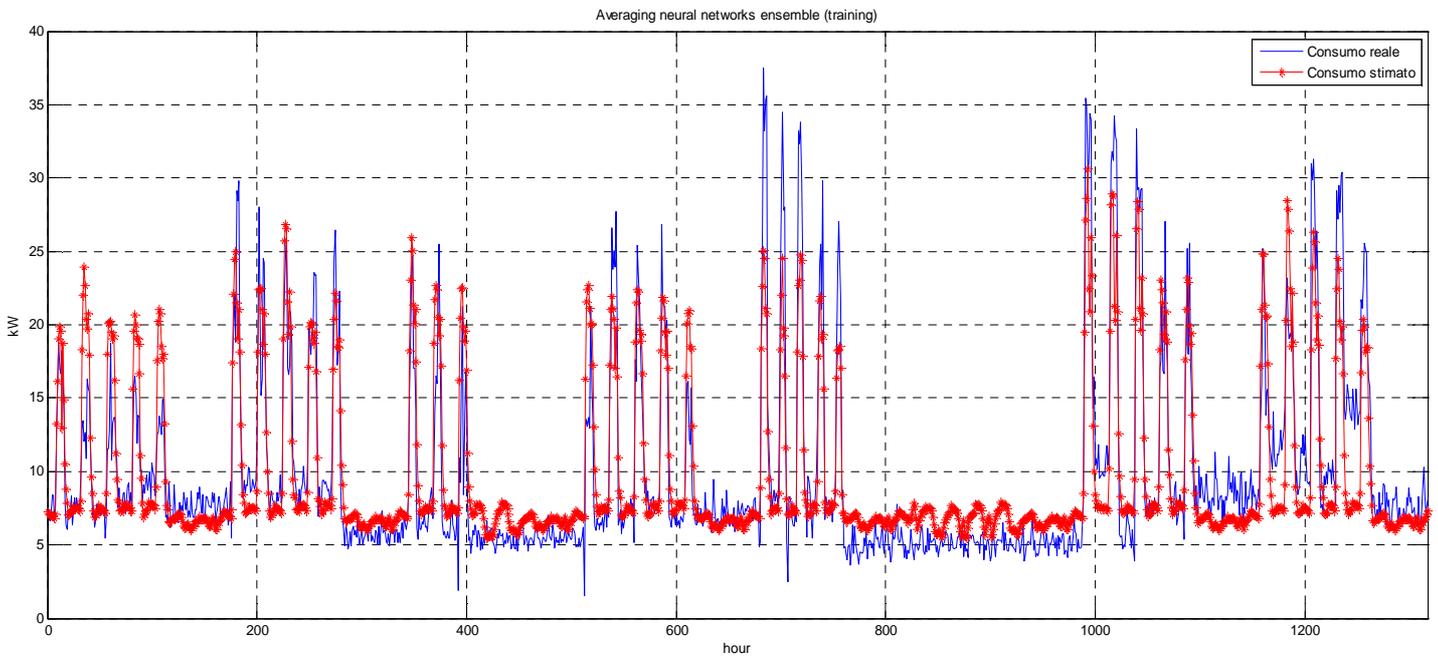


Figura 49- Prova A: output training BEM nel periodo 07/11/2011 – 03/02/2012

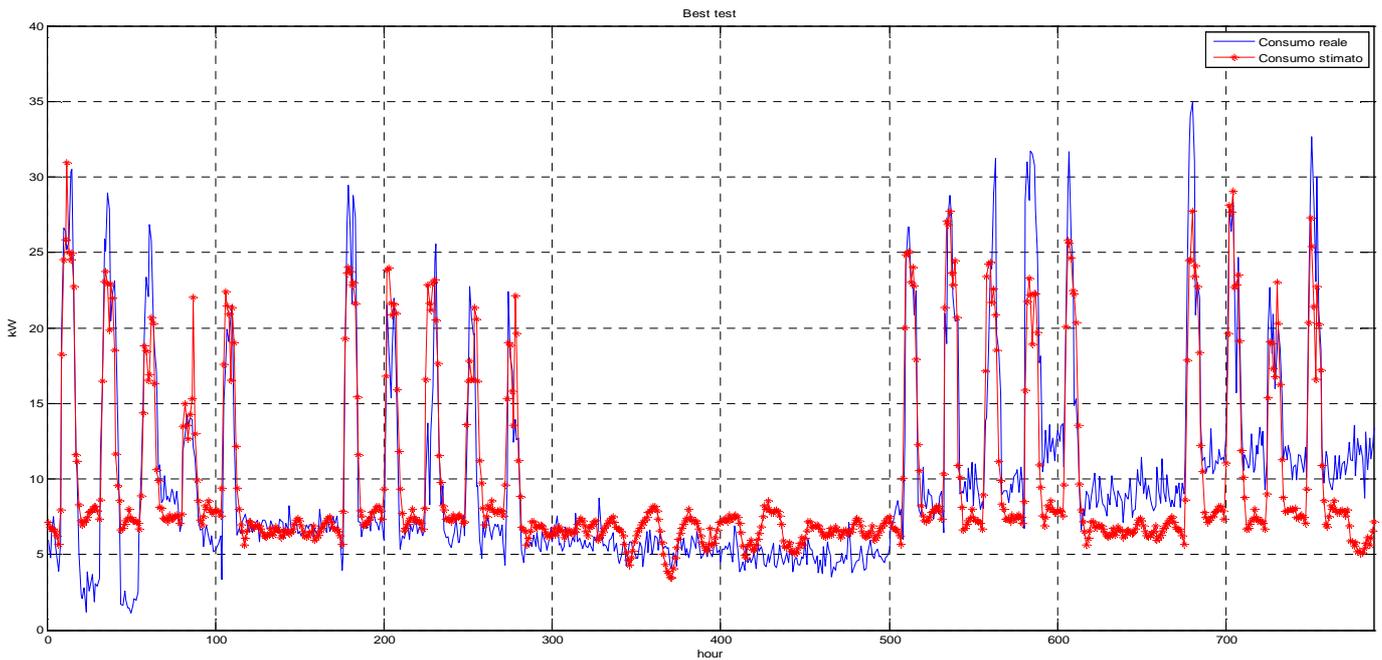


Figura 50- Prova A: miglior RNA testing nel periodo 07/11/2011 – 03/02/2012

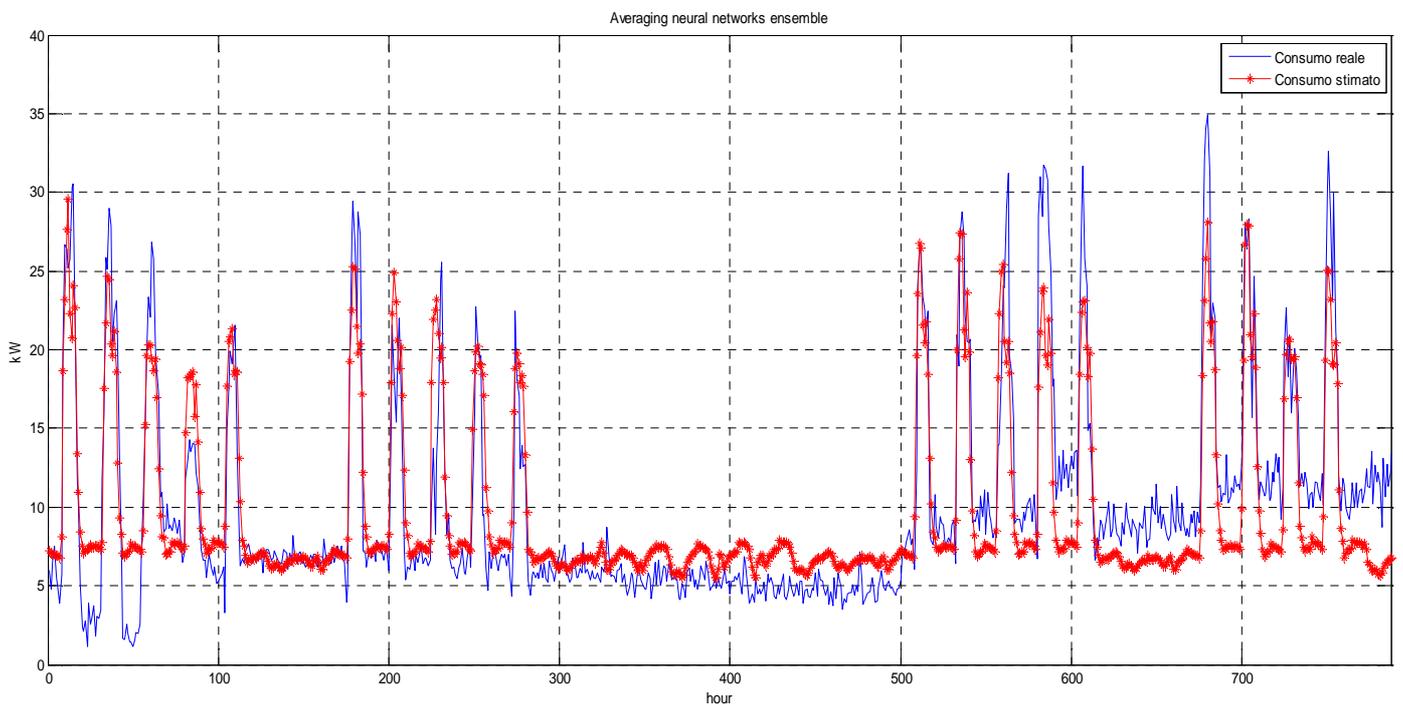


Figura 51- Prova A: output testing BEM nel periodo 07/11/2011 – 03/02/2012

PROVA B

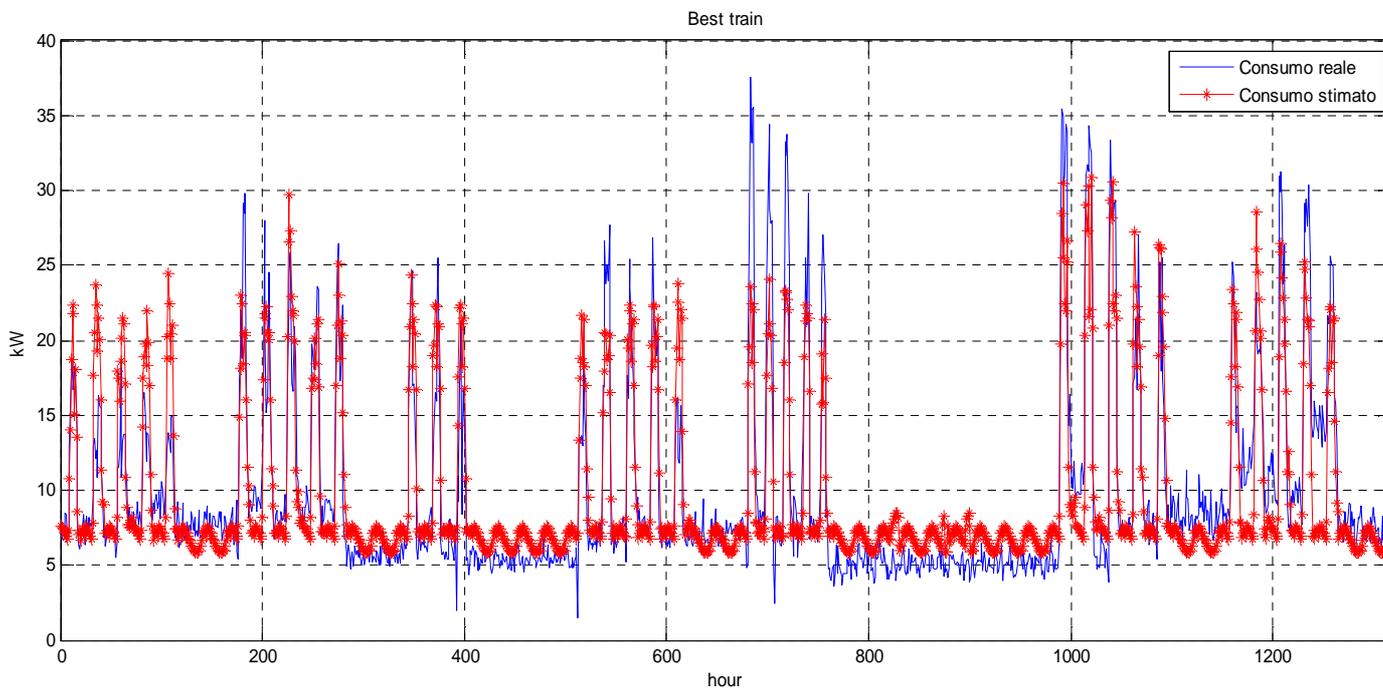


Figura 52- Prova B: miglior RNA training nel periodo 07/11/2011 – 03/02/2012

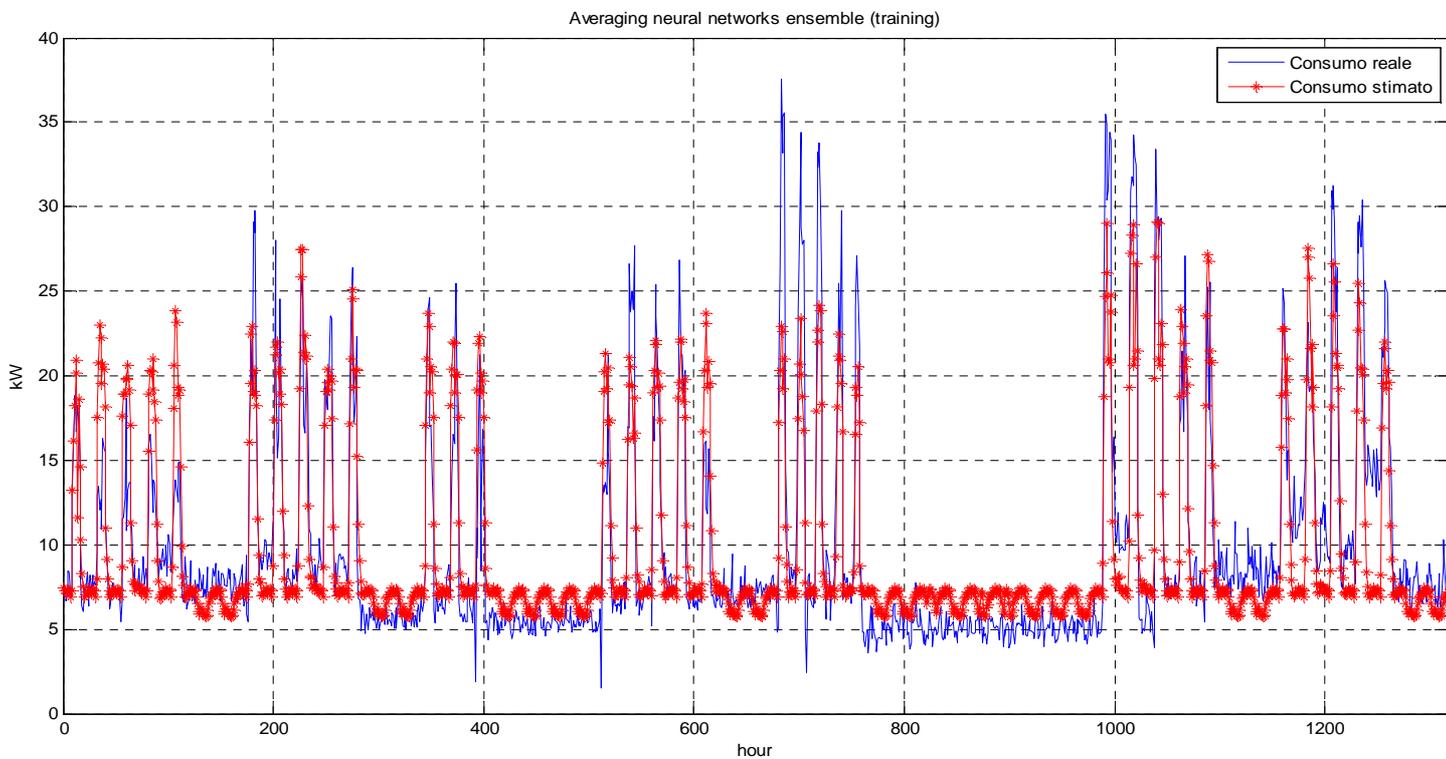


Figura 53- Prova B: output training BEM nel periodo 07/11/2011 – 03/02/2012

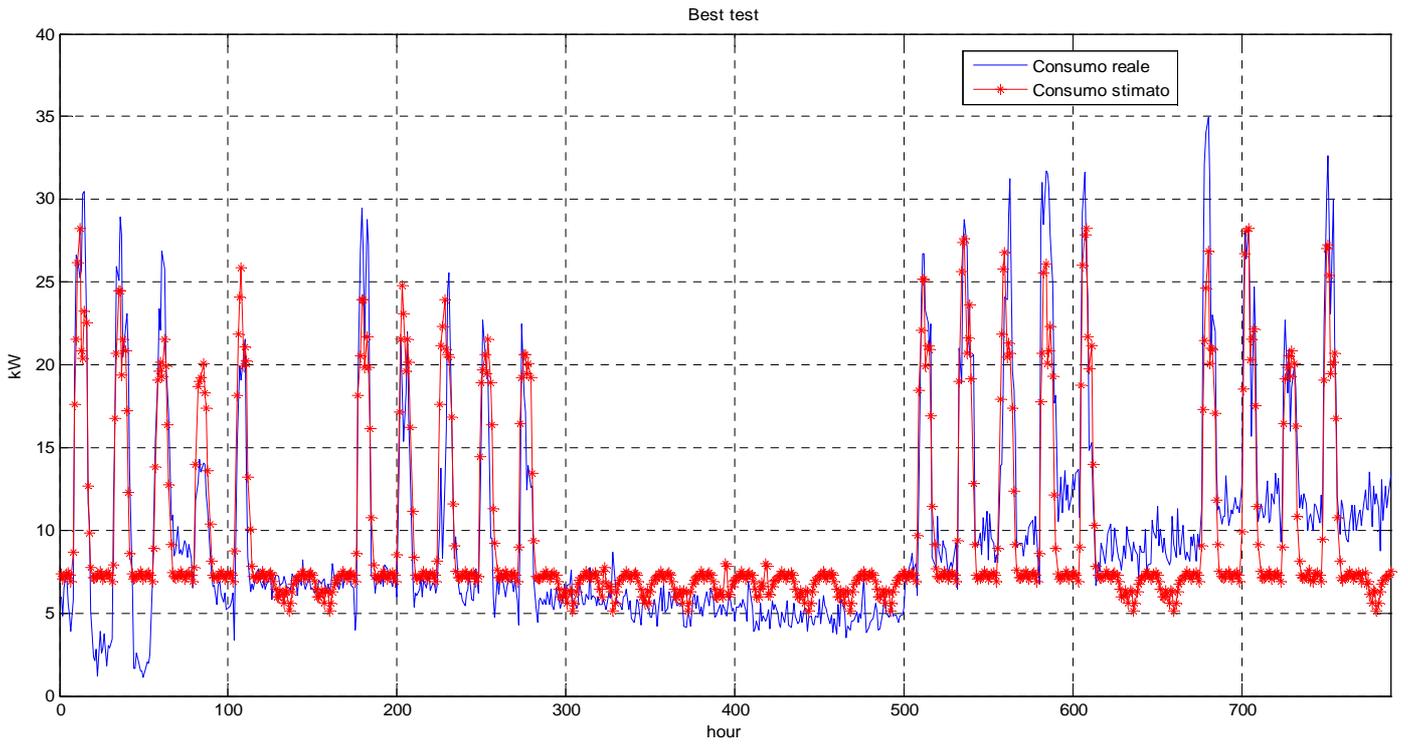


Figura 54- Prova B: miglior RNA testing nel periodo 07/11/2011 – 03/02/2012

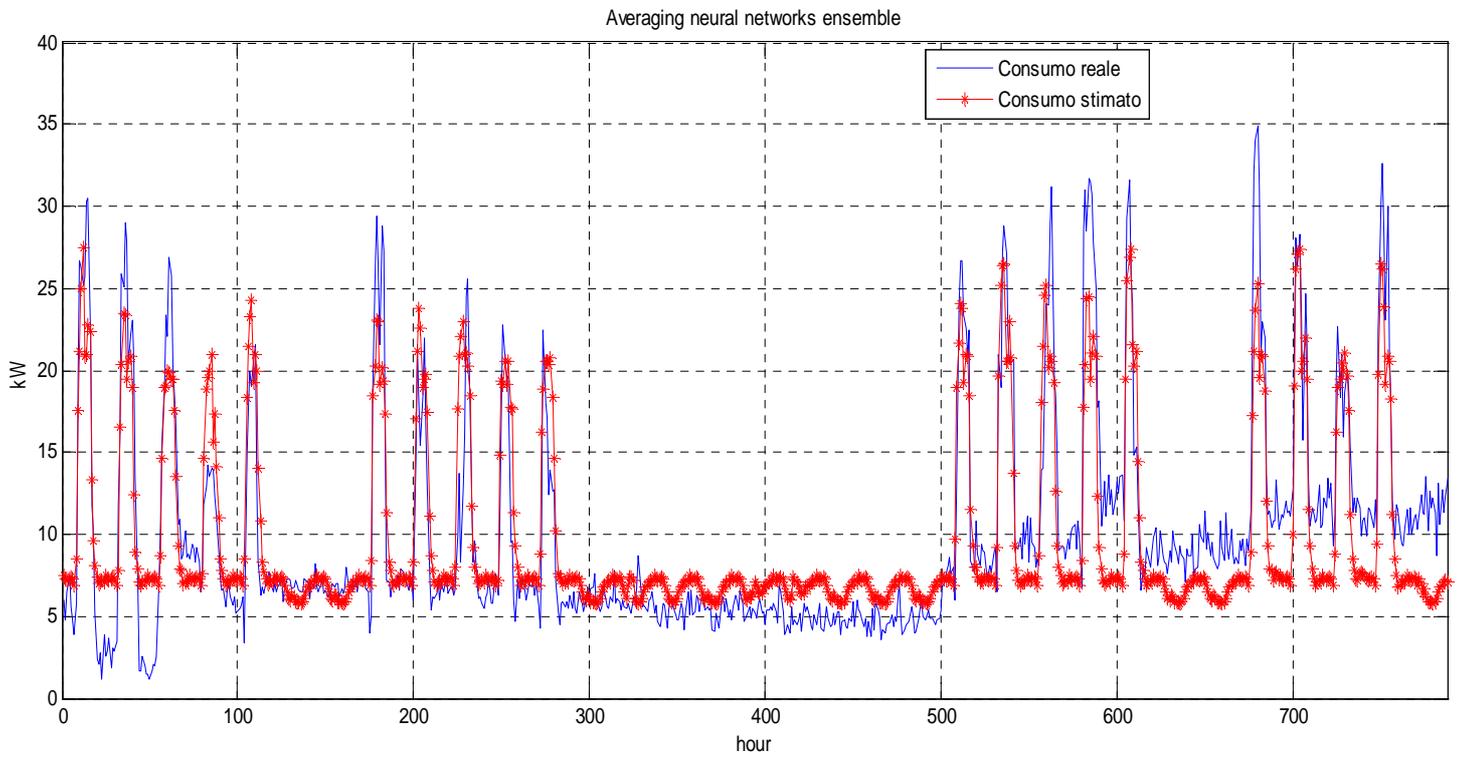


Figura 55- Prova B: output testing BEM nel periodo 07/11/2011 – 03/02/2012

Le Tabelle che seguono illustrano i risultati ottenuti nel training (Tabella 3 e Tabella 4) e nel testing (Tabella 5 e Tabella 6).

In particolare, per quanto riguarda le RNA, vengono riportati:

- valore medio dei MAE relativi ai 10 run di ogni prova effettuata e tra parentesi la corrispondente deviazione standard (misura della dispersione dei dati attorno al valore medio);
- il più grande dei MAX relativi ai 10 run di ogni prova effettuata.

Tabella 3- Risultati training consumo FEM: MAE (kW) nel periodo 07/11/2011 – 03/02/2012

Prova	RNA	BEM
Prova A	2.16 (±0.09)	2.08
Prova B	2.17 (±0.04)	2.12

Tabella 4 - Risultati training consumo FEM: MAX (kW) nel periodo 07/11/2011 – 03/02/2012

Prova	RNA	BEM
Prova A	19.21	14.85
Prova B	17.83	16.07

Tabella 5 - Risultati testing consumo FEM: MAE (kW) nel periodo 07/11/2011 – 03/02/2012

Prova	RNA	BEM
Prova A	2.49 (±0.08)	2.41
Prova B	2.51 (±0.03)	2.47

Tabella 6 - Risultati testing consumo FEM: MAX (kW) nel periodo 07/11/2011 – 03/02/2012

Prova	RNA	BEM
Prova A	16.24	14.26
Prova B	14.37	13.77

Come si può dedurre dall’andamento del consumo reale FEM dei dati utilizzati per il training (Fig. 48, 49, 52, 53), la variazione notevole di consumo tra Novembre e Dicembre potrebbe essere dovuta ad un utilizzo massiccio di stufette elettriche. Probabilmente, nel momento in cui si avranno a disposizione i dati climatici di temperatura esterna (dalla cui variazione dipende l’utilizzo delle stufette), la modellazione riuscirà ad inseguire meglio questo andamento di consumo.

### Nuovo sistema di monitoraggio

I dati acquisiti tramite il nuovo sistema di monitoraggio fanno riferimento alle voci di consumo illuminazione – fancoil - forza elettromotrice misurate per ognuno dei tre piani dell’edificio “F40”.

I modelli neurali sono stati utilizzati in prima battuta per la modellazione dell’energia attiva e della potenza attiva massima del solo consumo forza elettromotrice del primo piano: questo perché nella voce “Luce” rientra erroneamente il consumo relativo ai corridoi e non quello delle stanze, mentre i dati relativi al consumo dei fancoil sono ancora troppo pochi per poter applicare una qualsiasi modellazione.

I dati considerati si riferiscono ad un periodo di 5 settimane che va da lunedì 15 Giugno 2012 a domenica 22 Luglio 2012, per un totale di 38 giorni (912 campioni orari). Il dataset è stato suddiviso in due parti: la

prima, di 4 settimane, utilizzata per la calibrazione (training) dei modelli, la seconda, relativa all'ultima settimana, per il testing che permette di valutarne le performance. Al termine della fase di testing si ottengono perciò le stime orarie di consumo riferite a quest'ultima settimana.

In Tabella 7 sono elencati i diversi tipi di prove effettuate con RNA e BEM, ognuna delle quali è caratterizzata da un particolare set di input.

Tabella 7 - Nuovo monitoraggio: prove effettuate su consumo FEM del primo piano nel periodo  
15/06/2012 – 22/07/2012

Prove	Numero di input	Variabili in input
Prova A	9	id giorno, ora, presenze di piano, stanze attive di piano, temperatura media, umidità media, velocità del vento, direzione media del vento, radiazione solare
Prova B	8	ora, presenze di piano, stanze attive di piano, temperatura media, umidità media, velocità del vento, direzione media del vento, radiazione solare
Prova C	4	Id giorno, ora, presenze di piano, stanze attive di piano
Prova D	3	ora, presenze di piano, stanze attive di piano
Prova E	2	ora, presenze di piano
Prova F	2	ora, stanze attive di piano
Prova G	1	ora

PROVA A

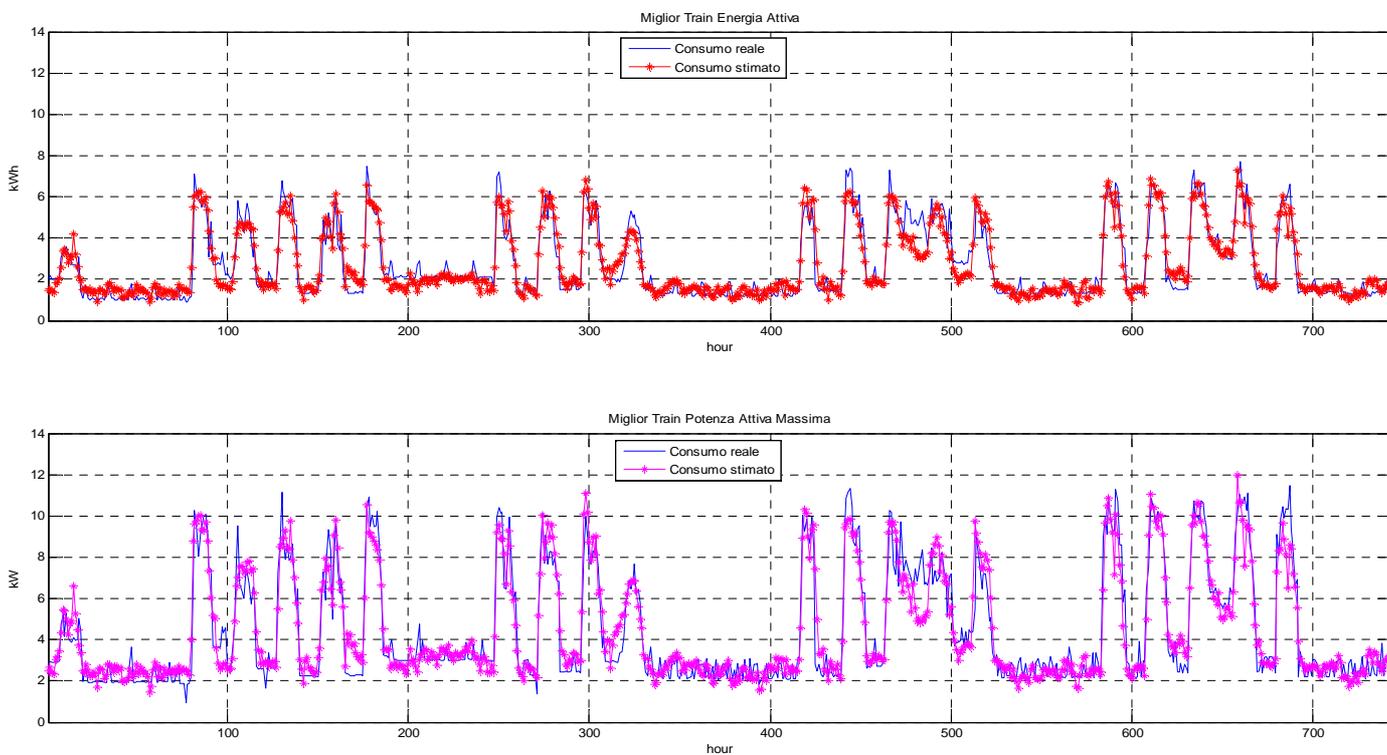


Figura 56- Prova A: miglior RNA training nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

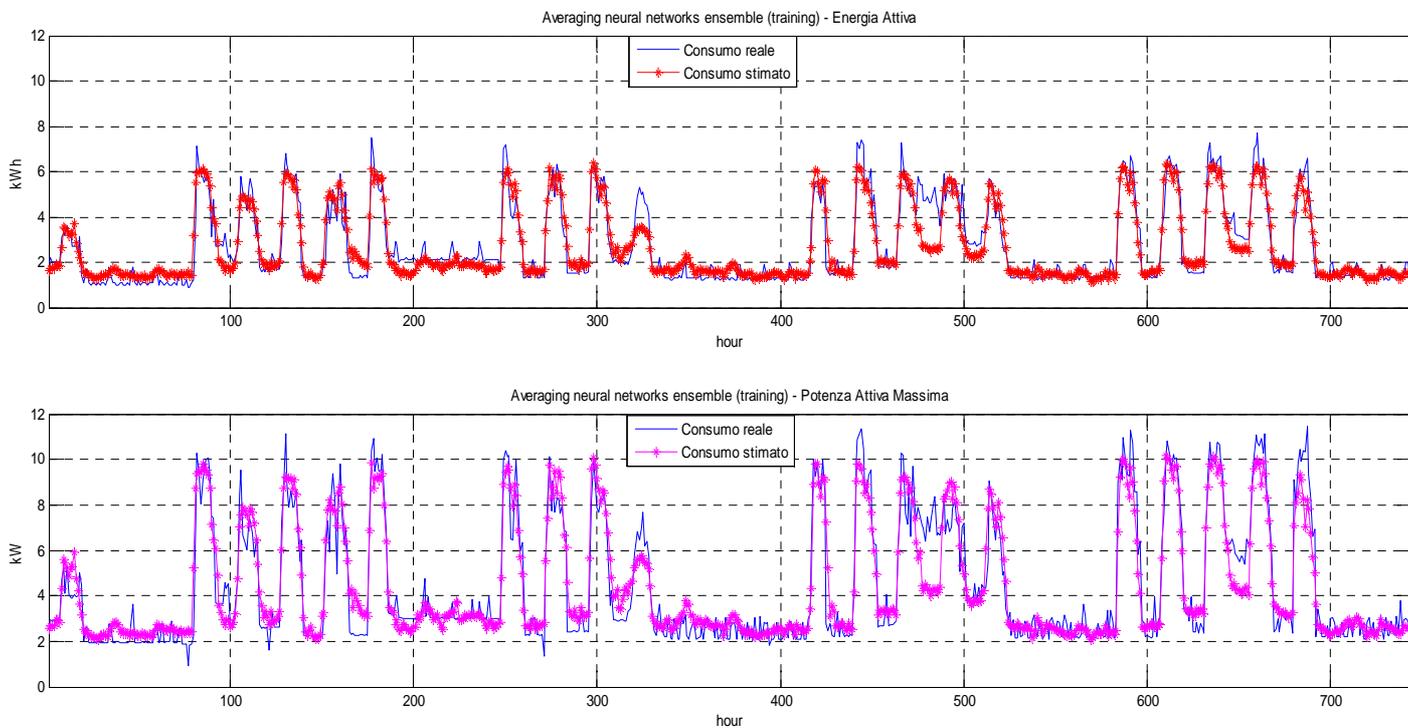


Figura 57- Prova A: output training BEM nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

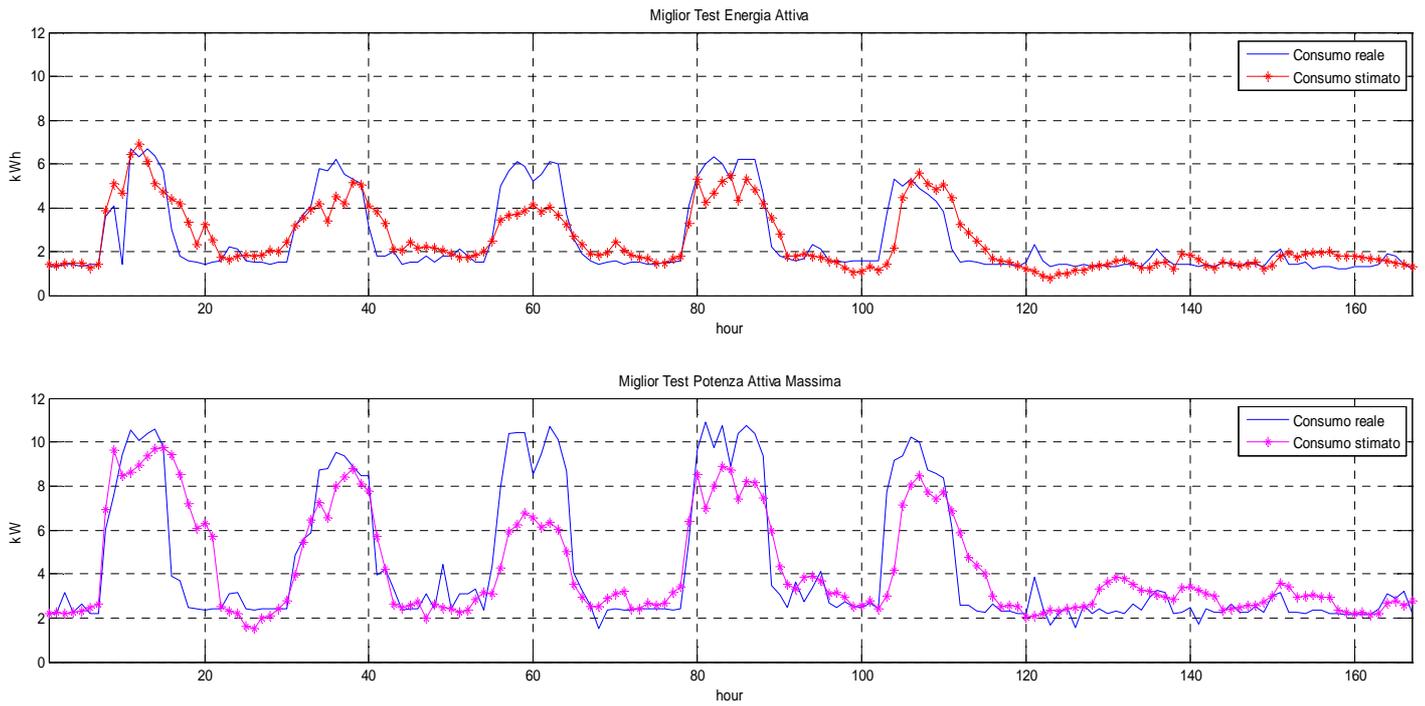


Figura 58- Prova A: miglior RNA testing nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

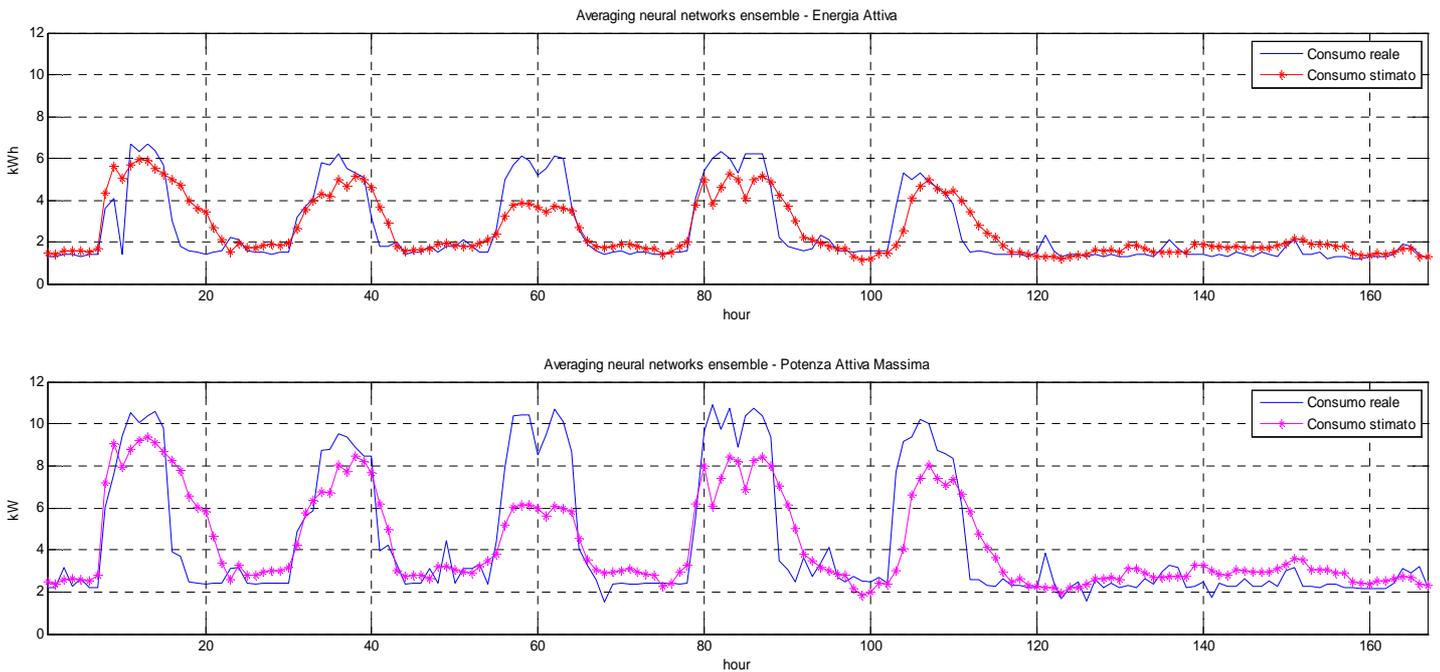


Figura 59- Prova A: output testing BEM nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

PROVA B

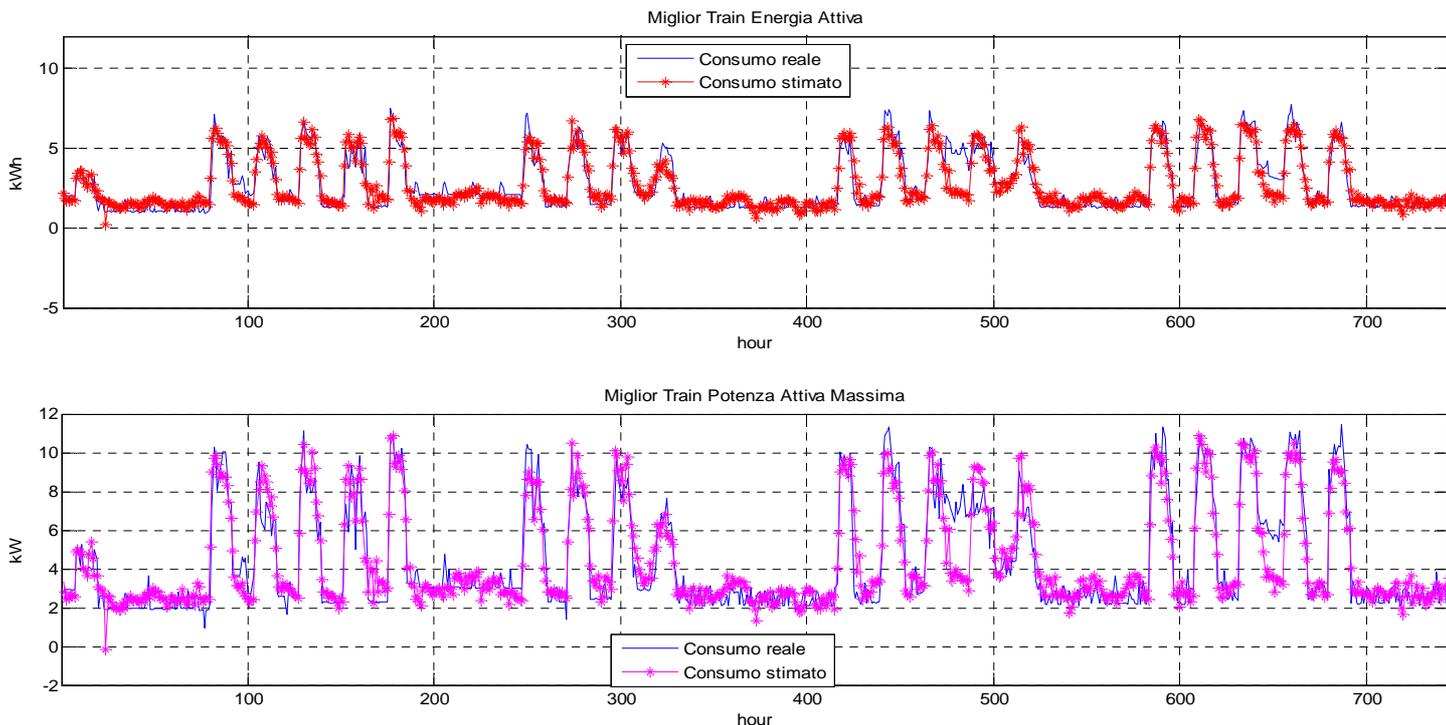


Figura 60- Prova B: miglior RNA training nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

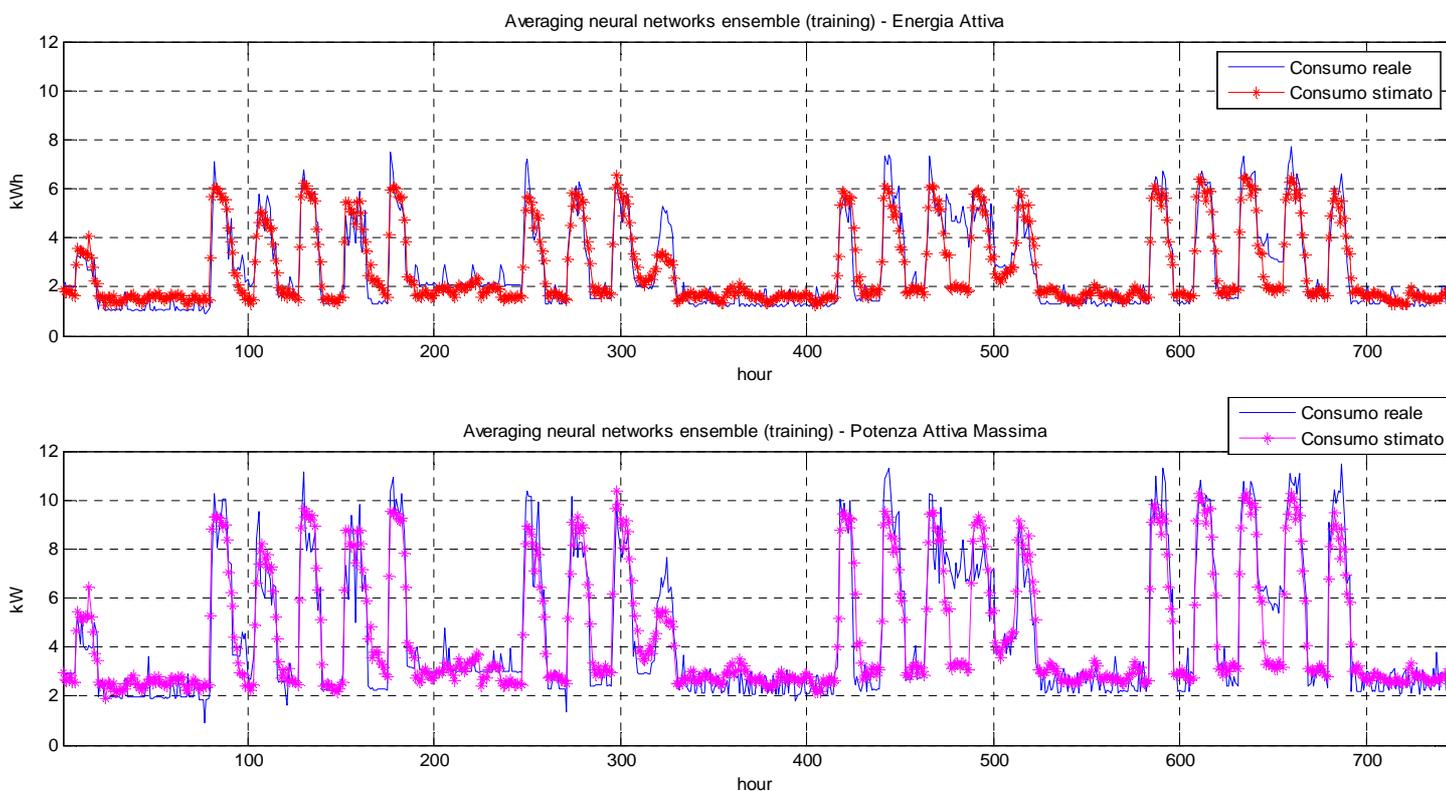


Figura 61- Prova B: output training BEM nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

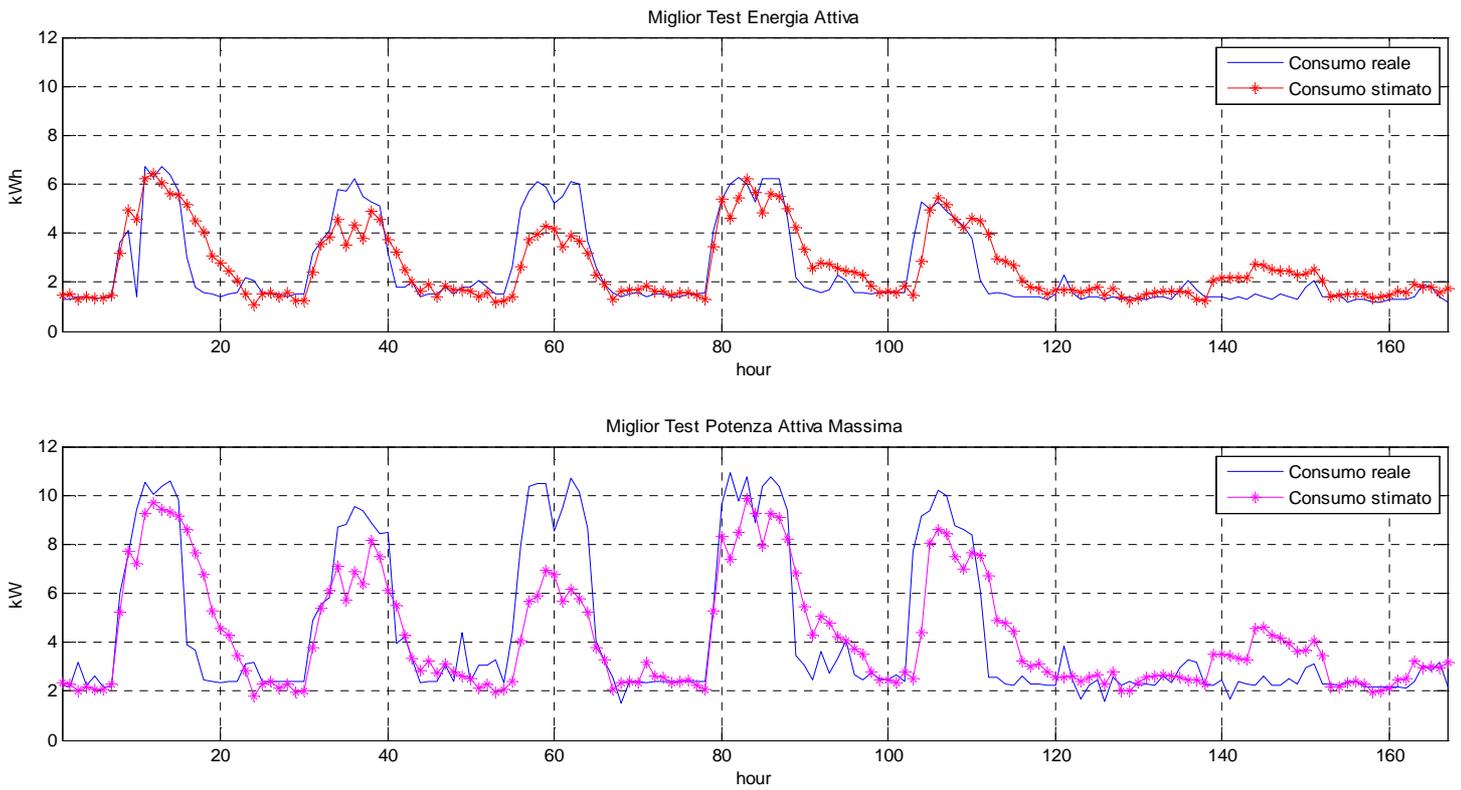


Figura 62- Prova B: miglior RNA testing nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

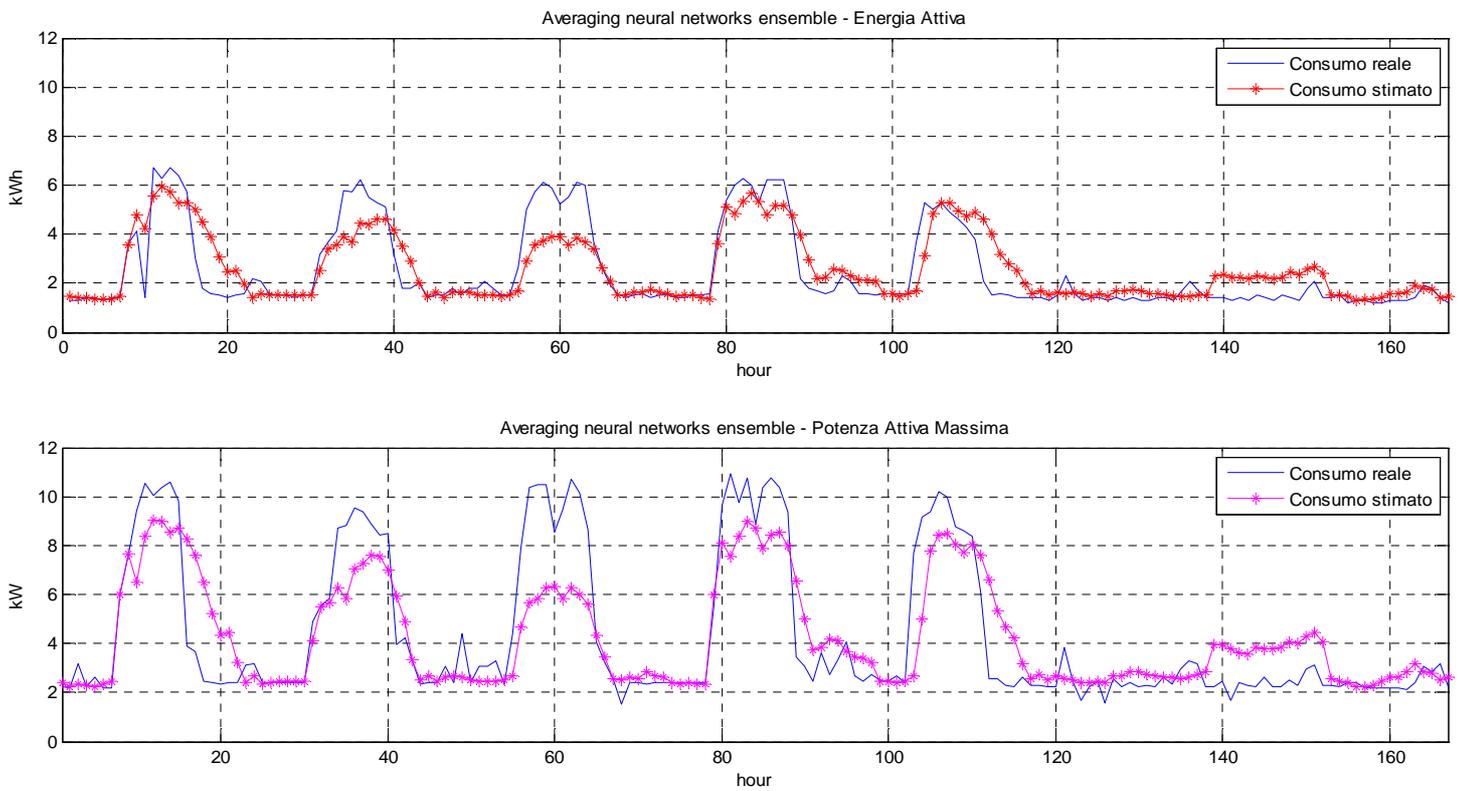


Figura 63- Prova B: output testing BEM nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

PROVA C

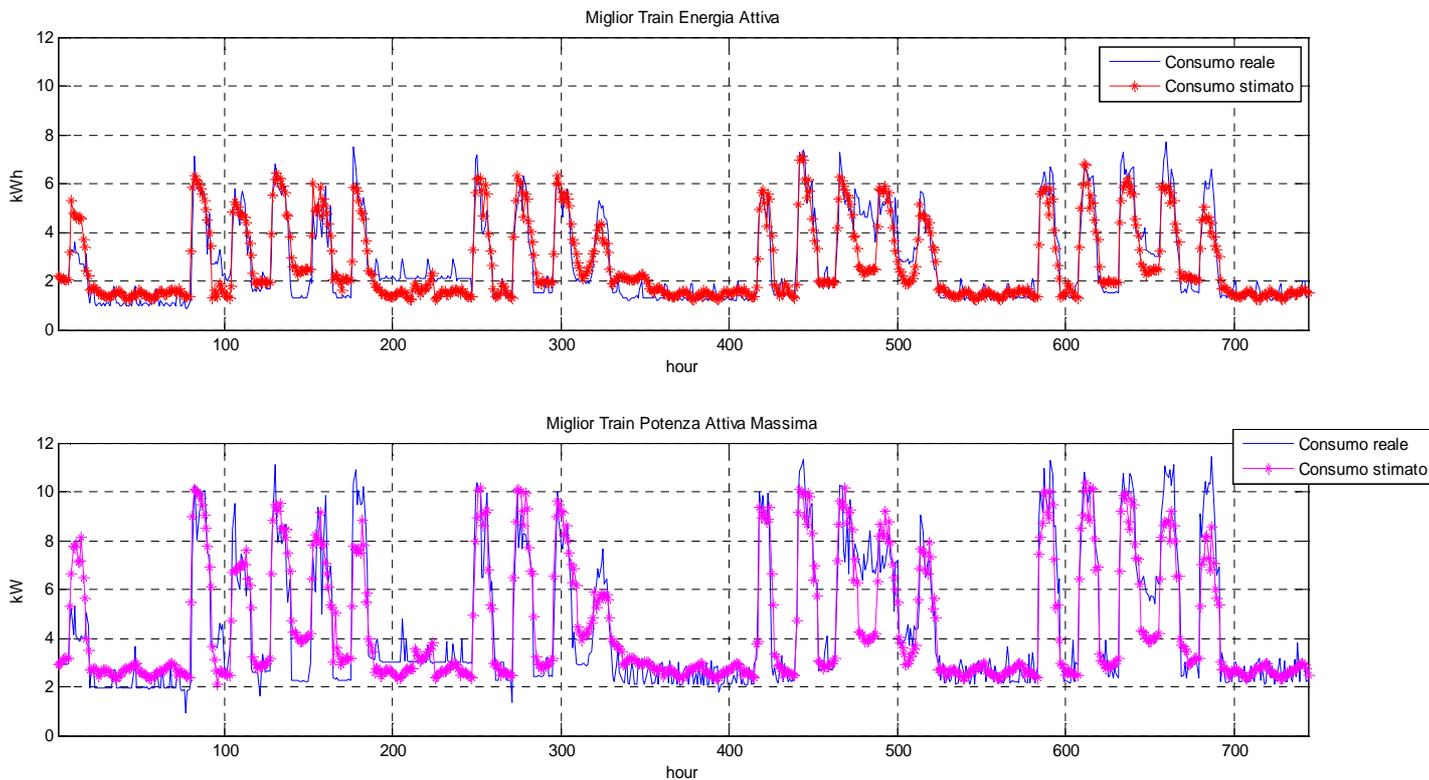


Figura 64- Prova C: miglior RNA training nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

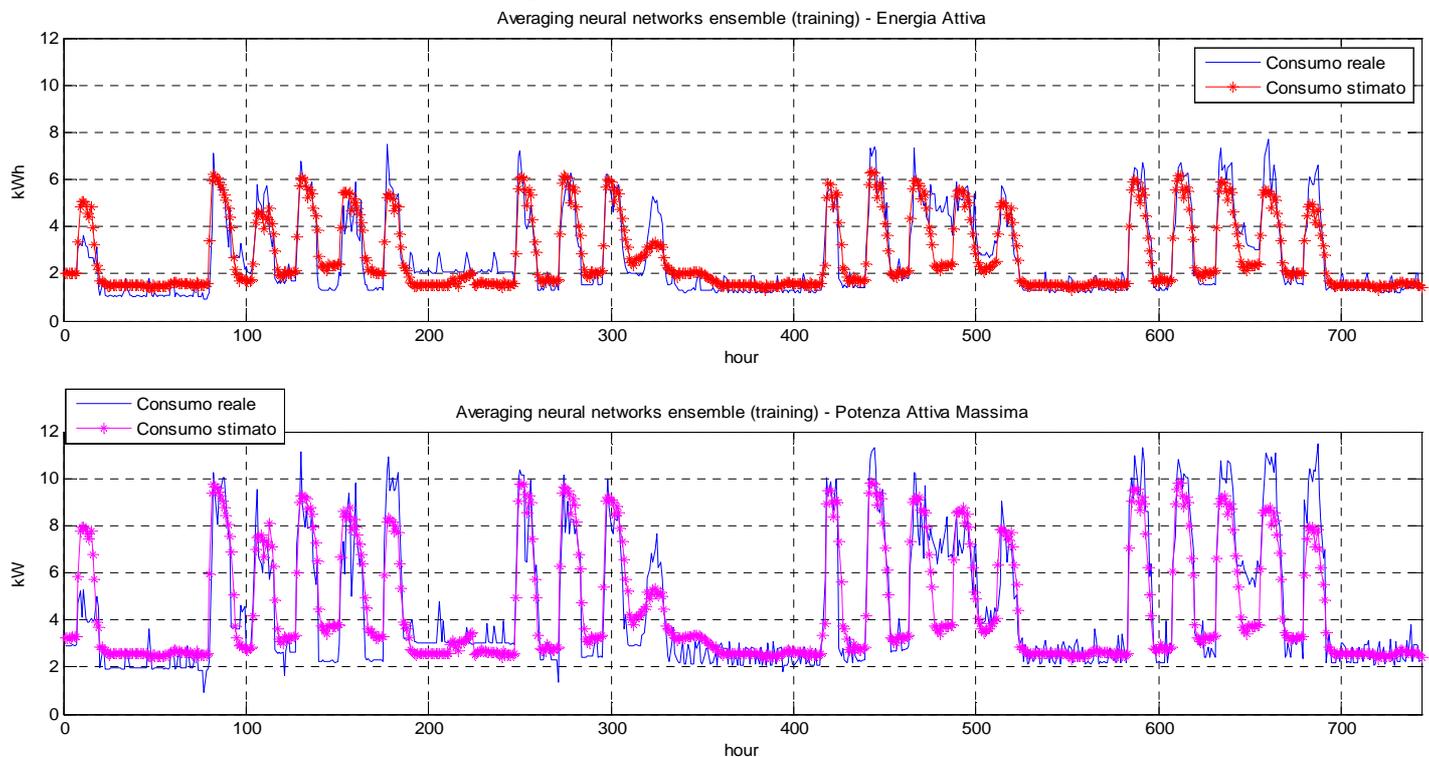


Figura 65- Prova C: output training BEM nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

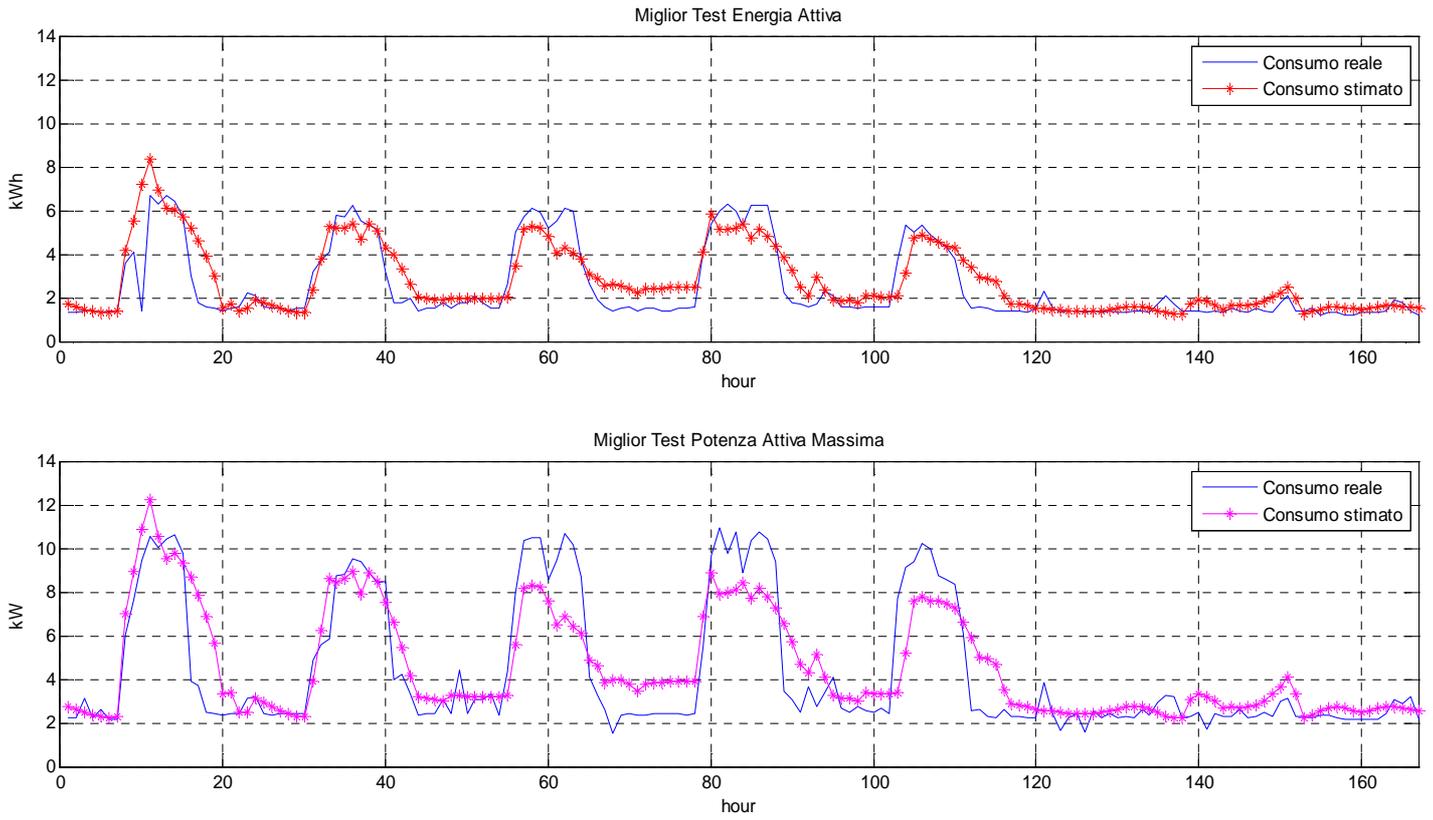


Figura 66- Prova C: miglior RNA testing nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

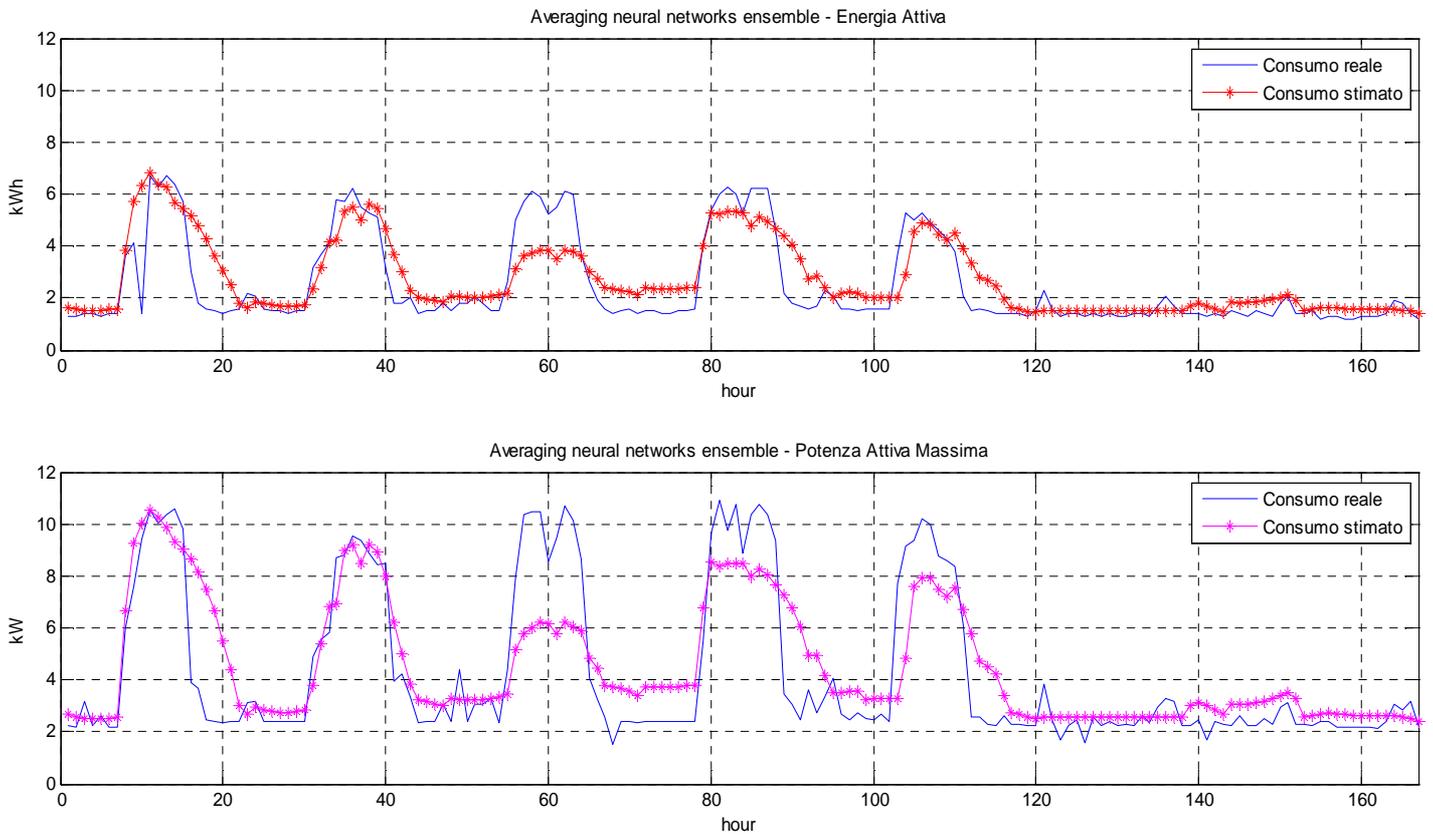


Figura 67- Prova C: output testing BEM nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

PROVA D

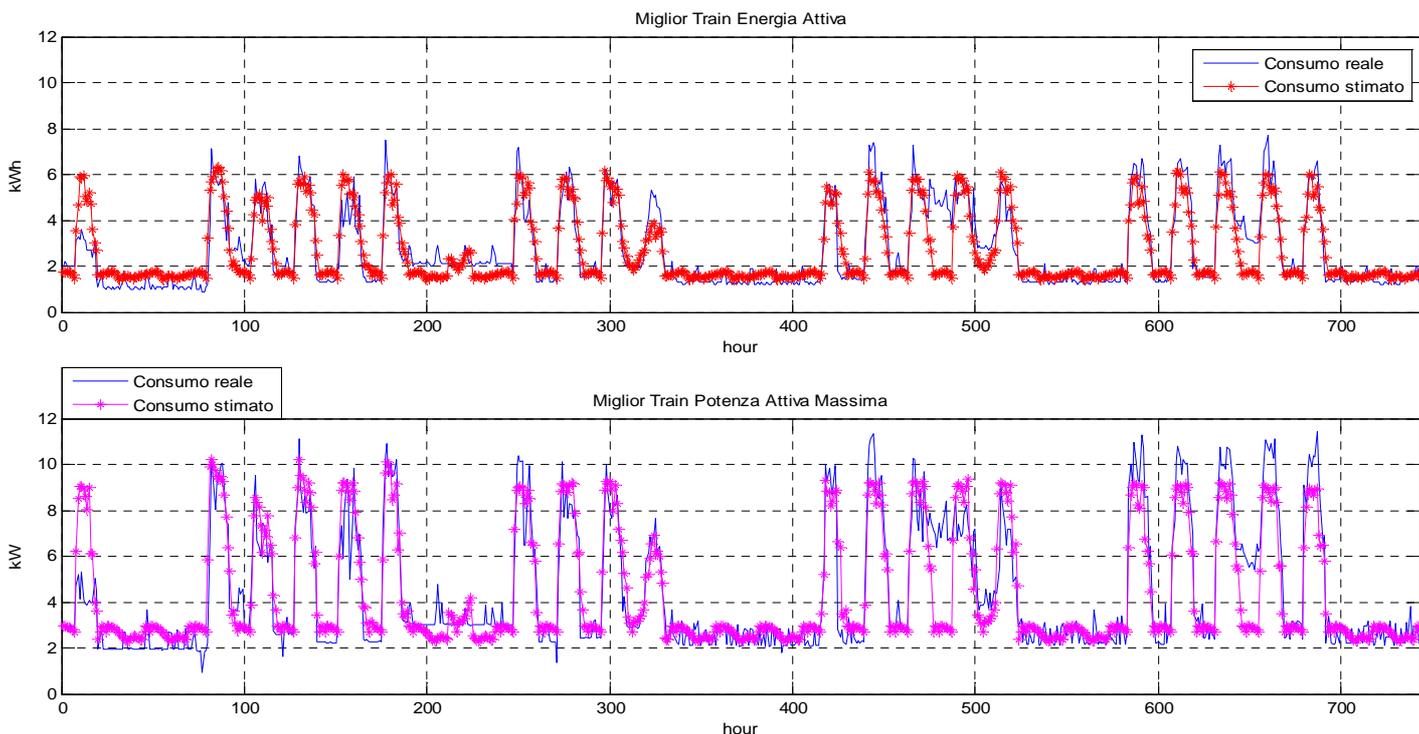


Figura 68- Prova D: miglior RNA training nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

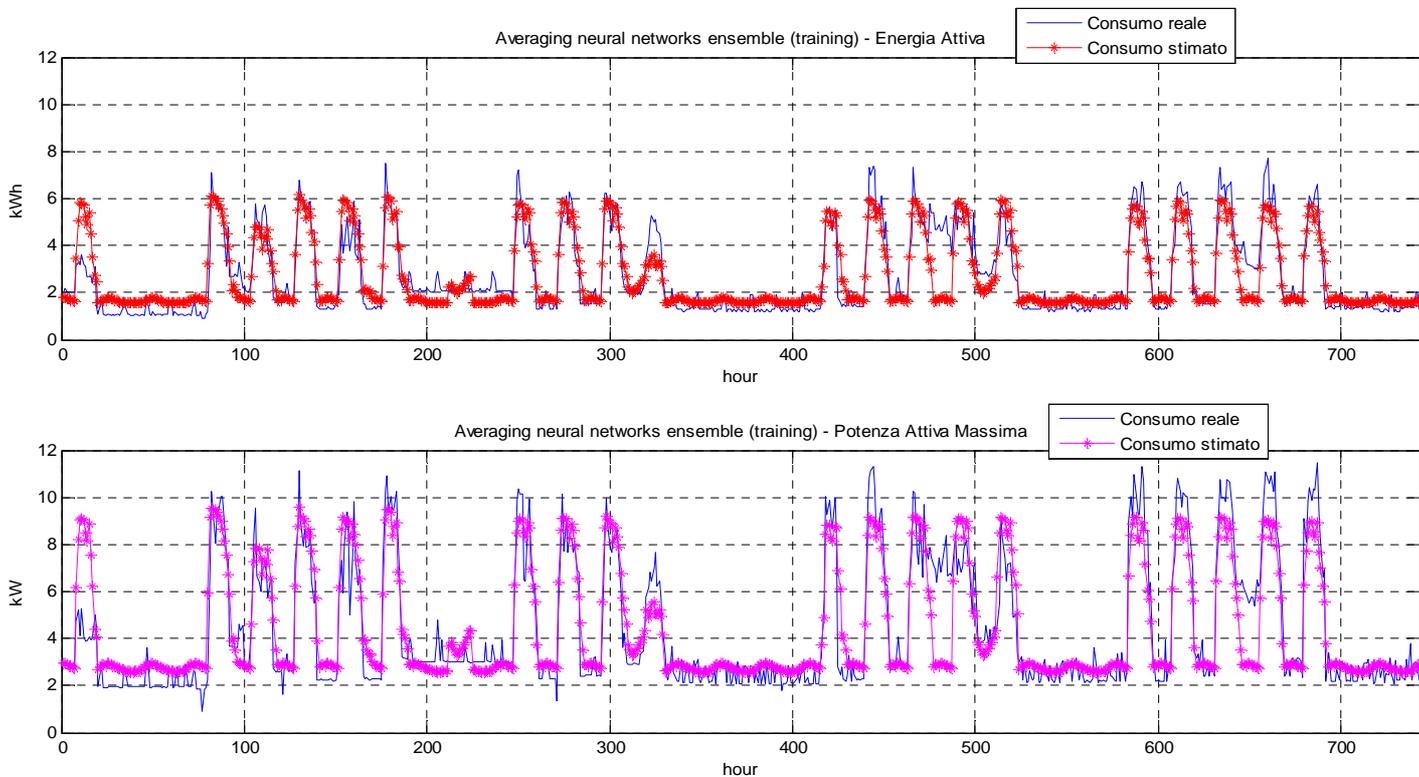


Figura 69- Prova D: output training BEM nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

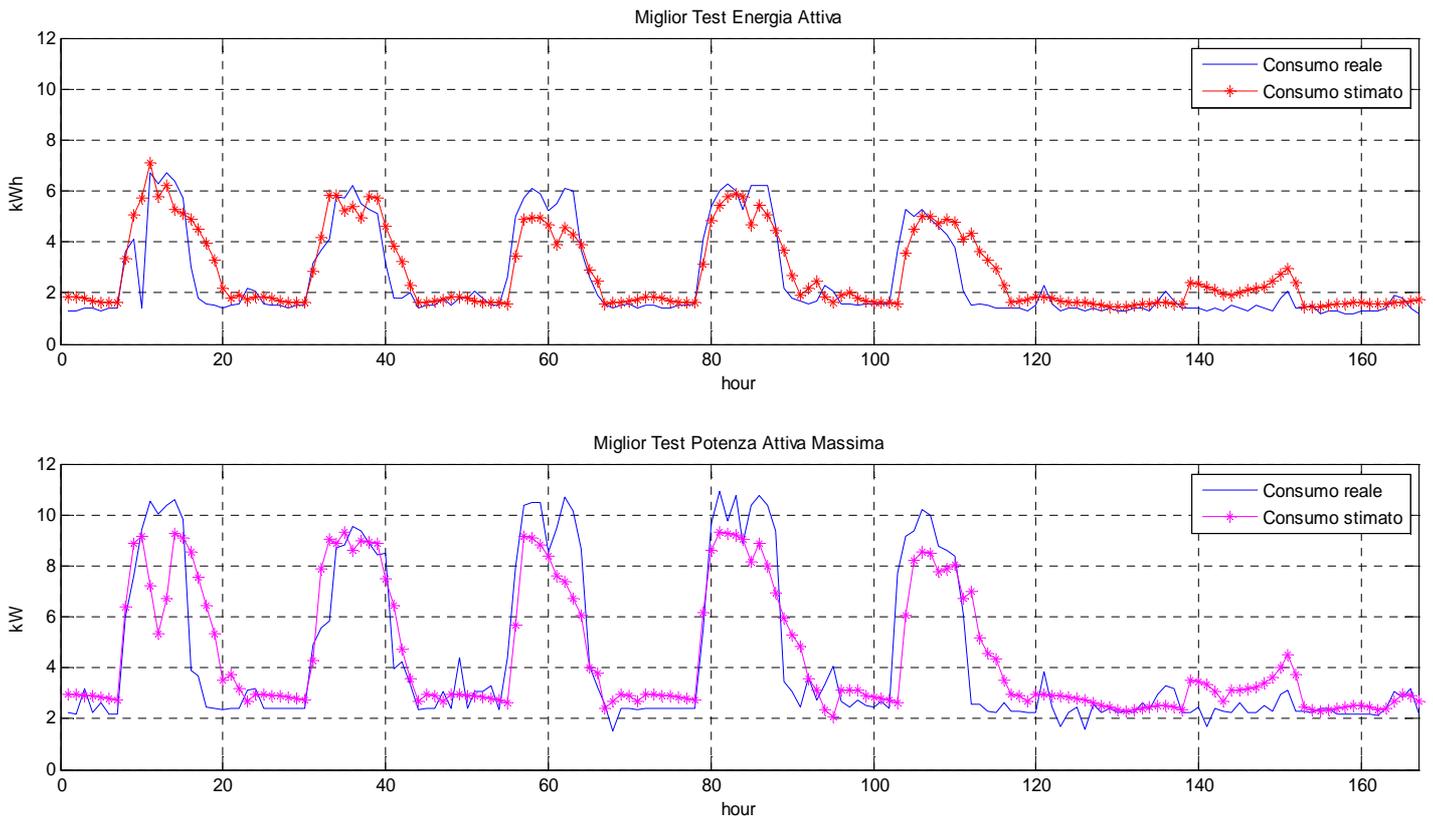


Figura 70- Prova D: miglior RNA testing nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

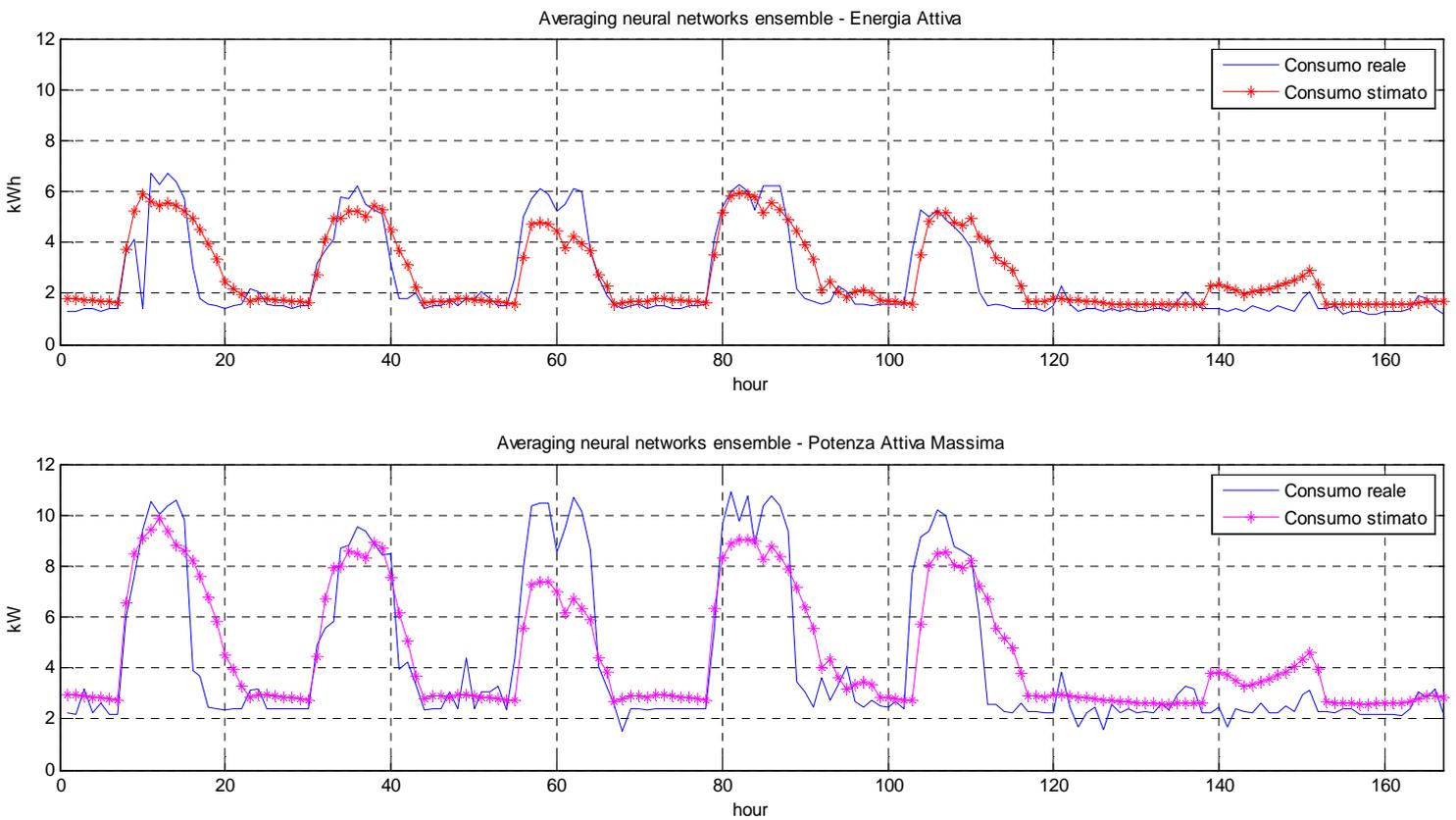


Figura 71- Prova D: output testing BEM nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

PROVA E

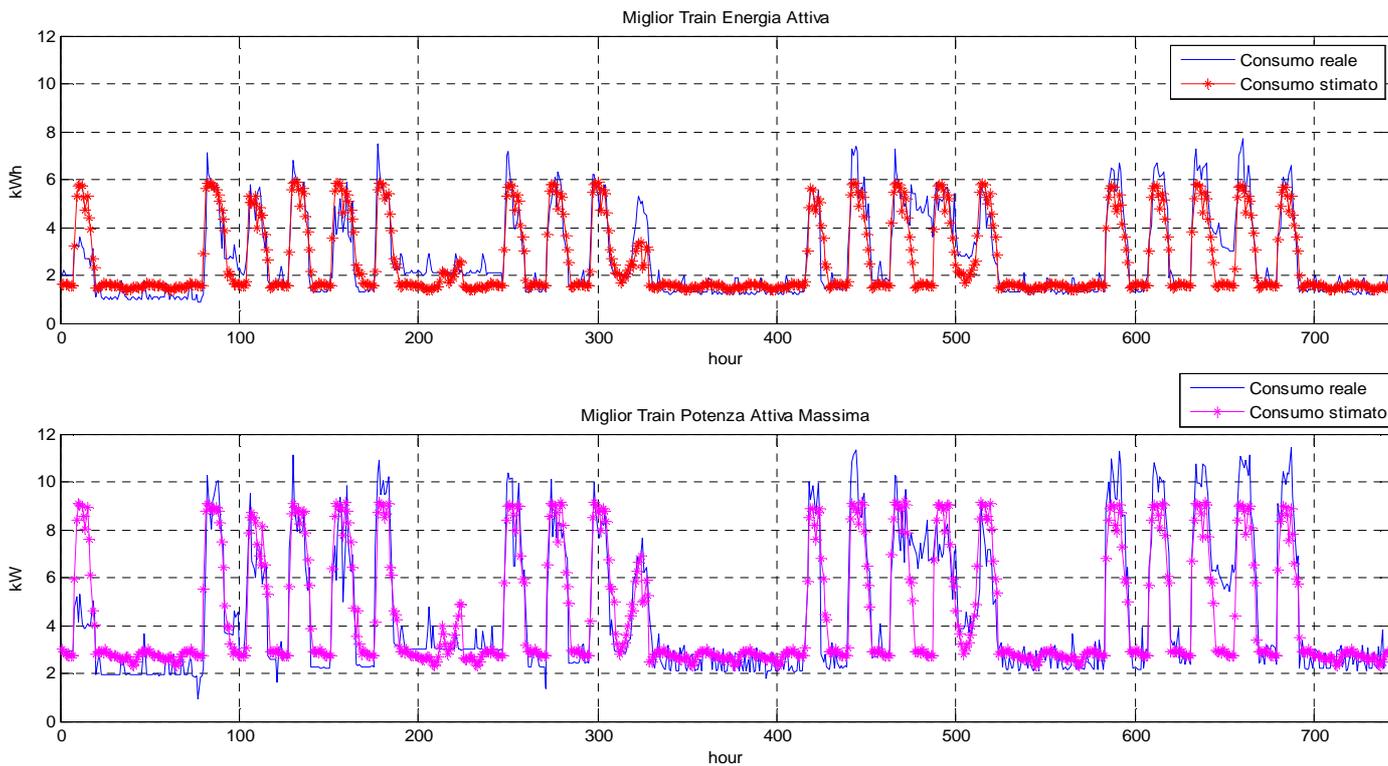


Figura 72- Prova E: miglior RNA training nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

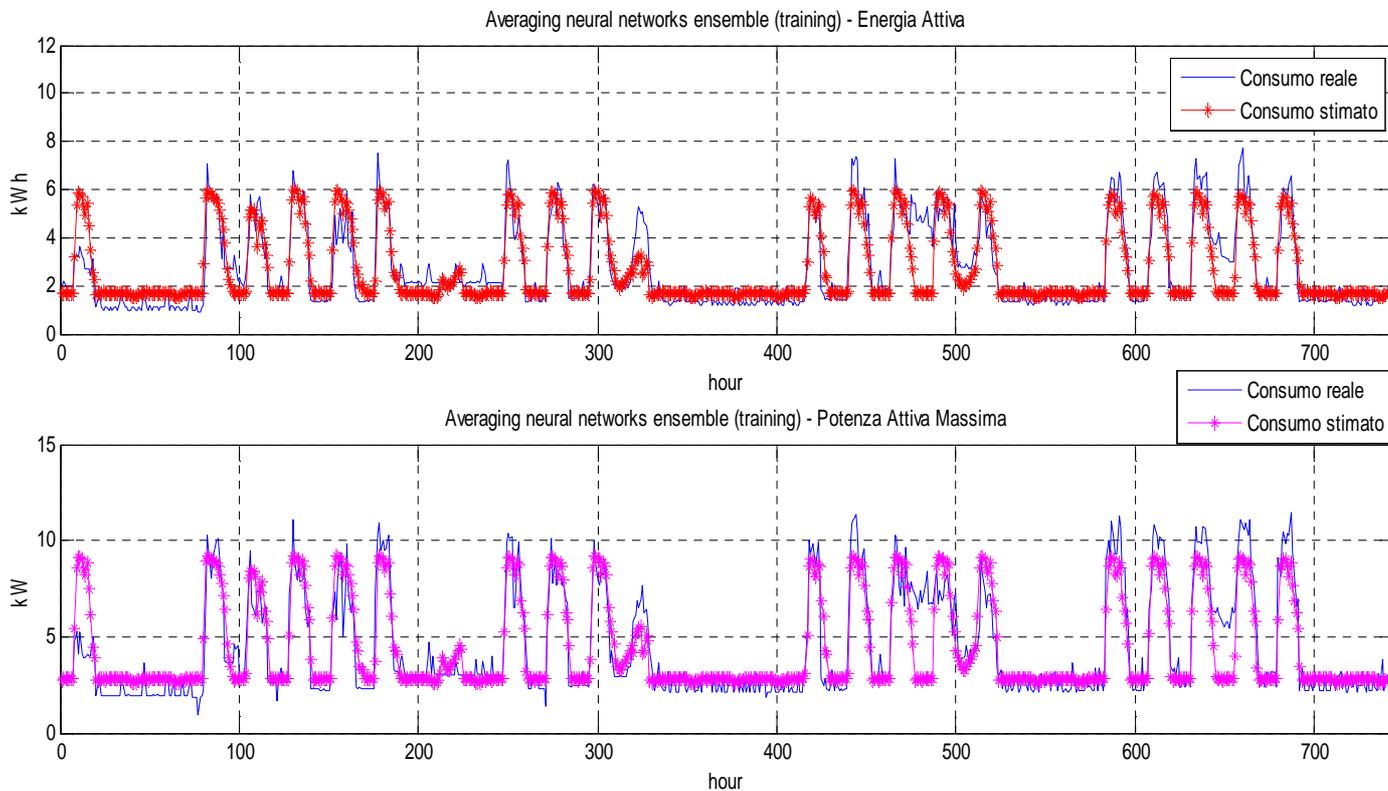


Figura 73- Prova E: output training BEM nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

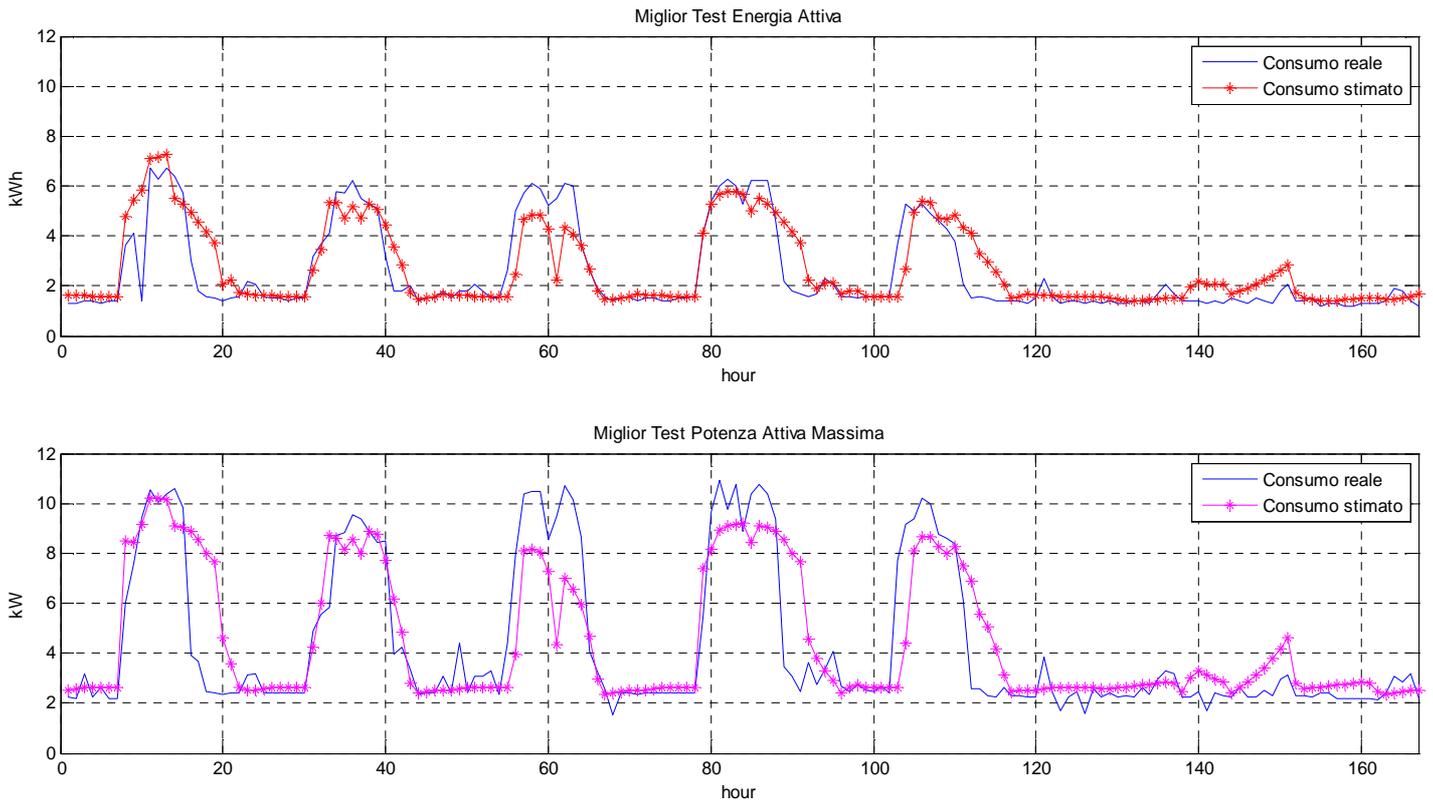


Figura 74- Prova E: miglior RNA testing nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

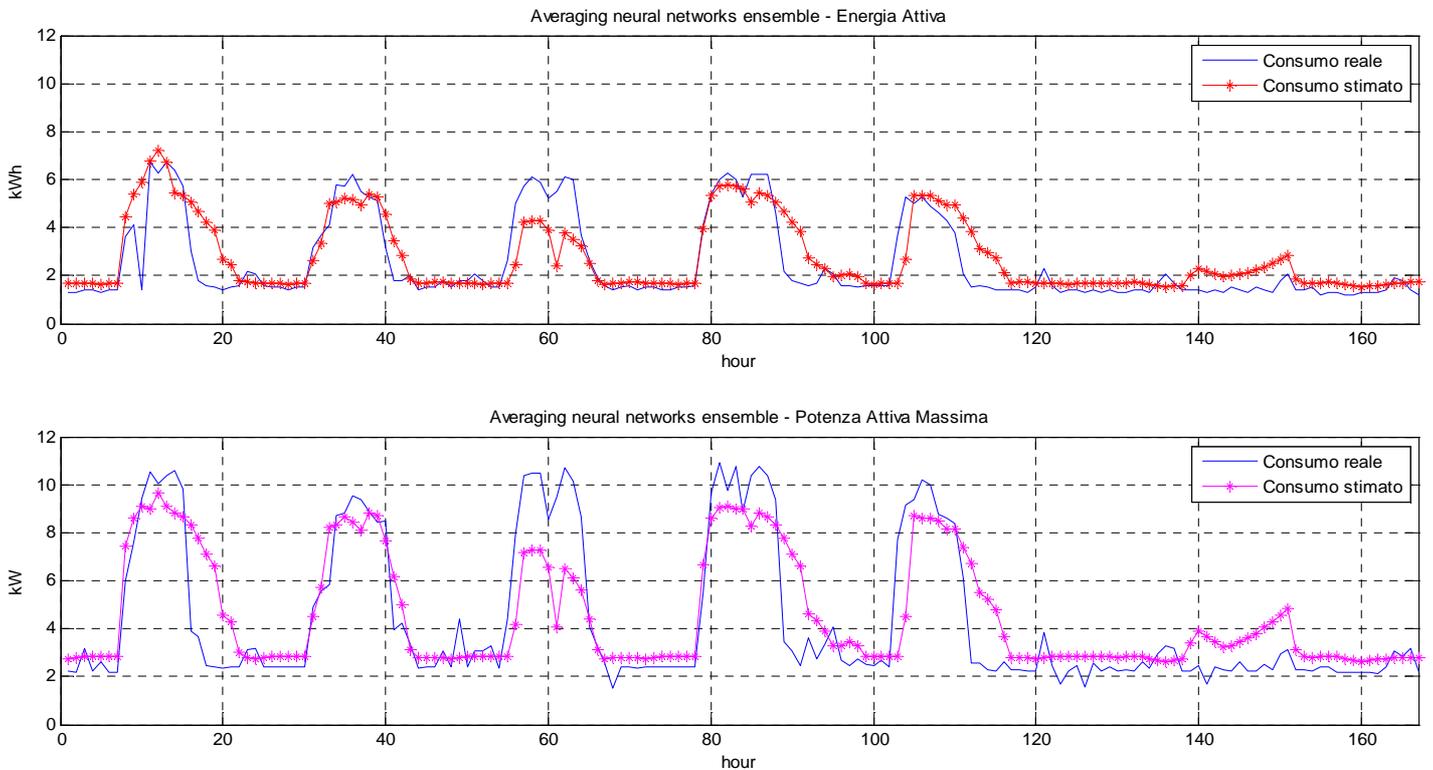


Figura 75- Prova E: output testing BEM nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

PROVA F

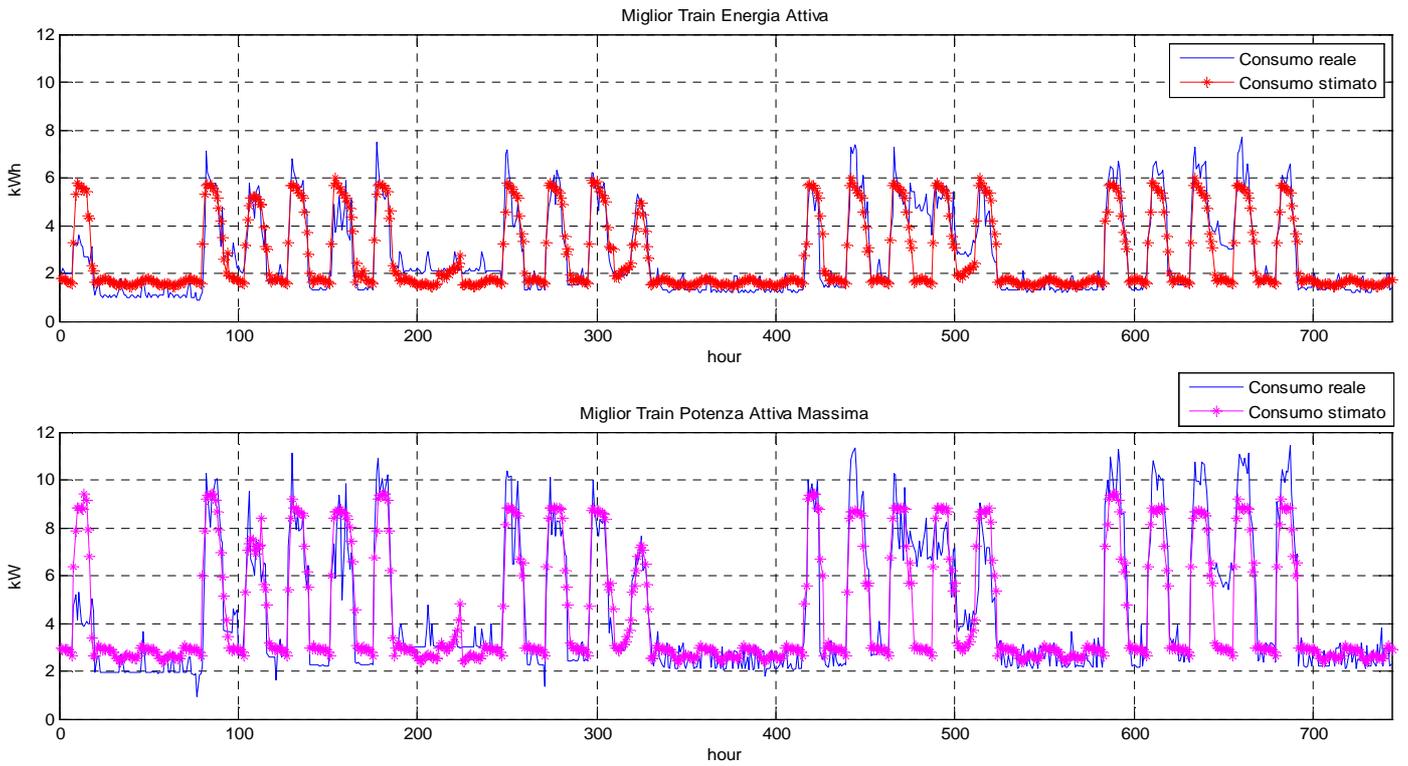


Figura 76- Prova F: miglior RNA training nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

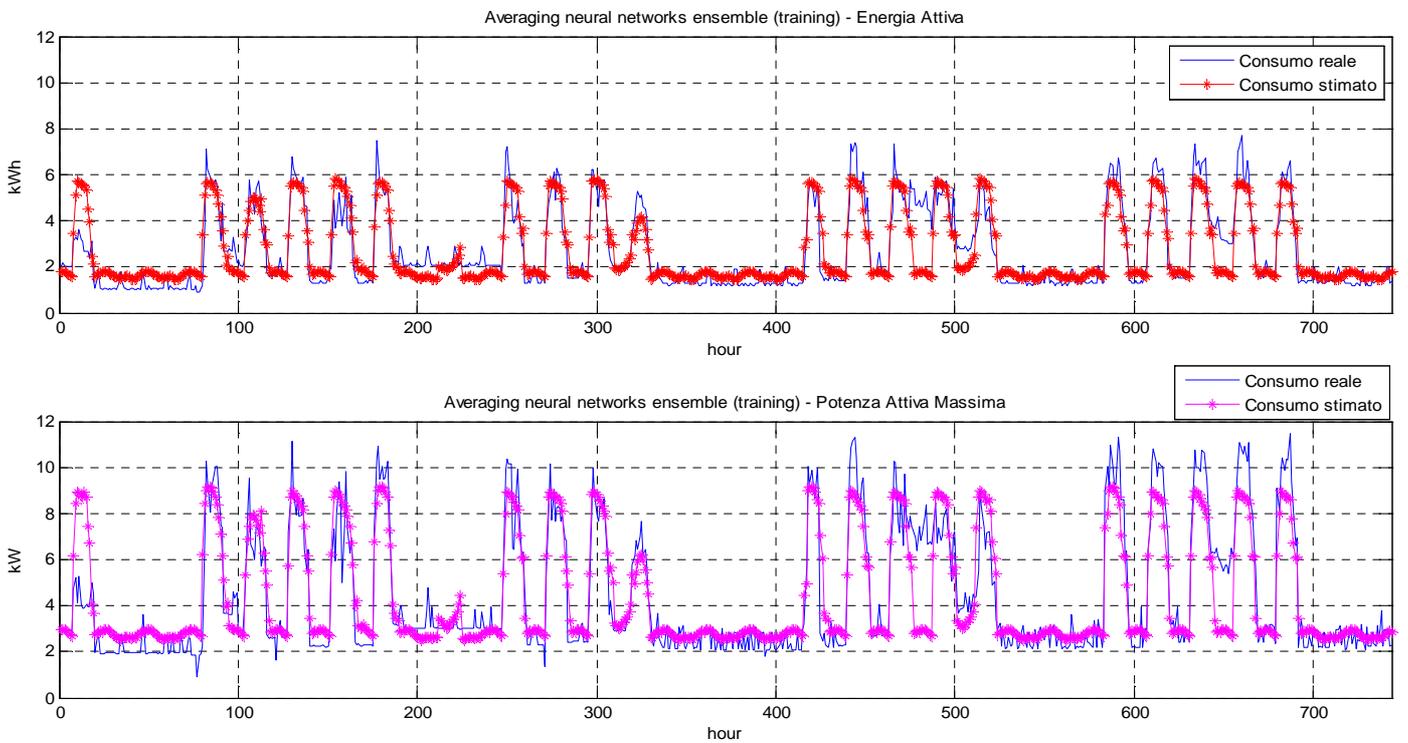


Figura 77- Prova F: output training BEM nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

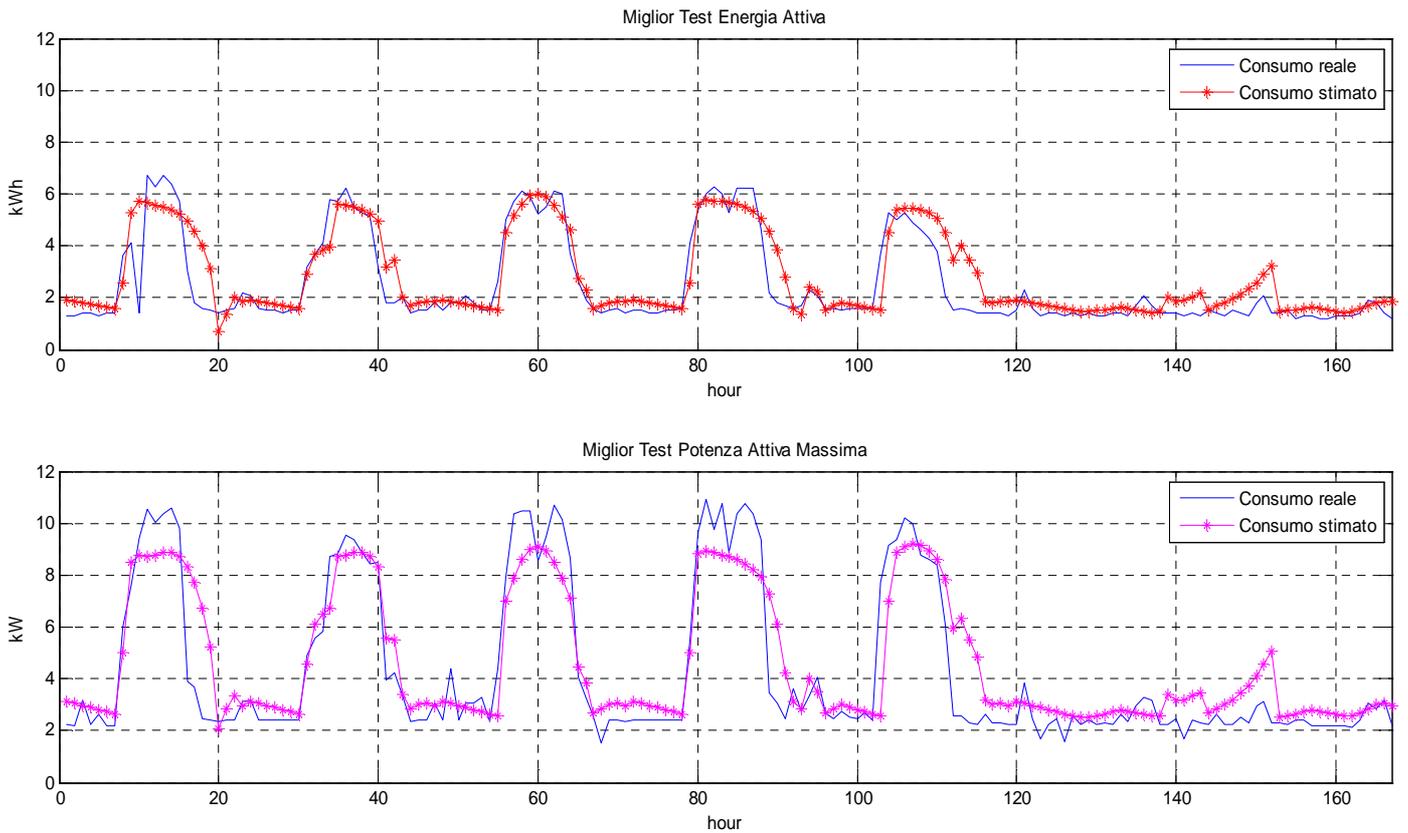


Figura 78- Prova F: miglior RNA testing nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

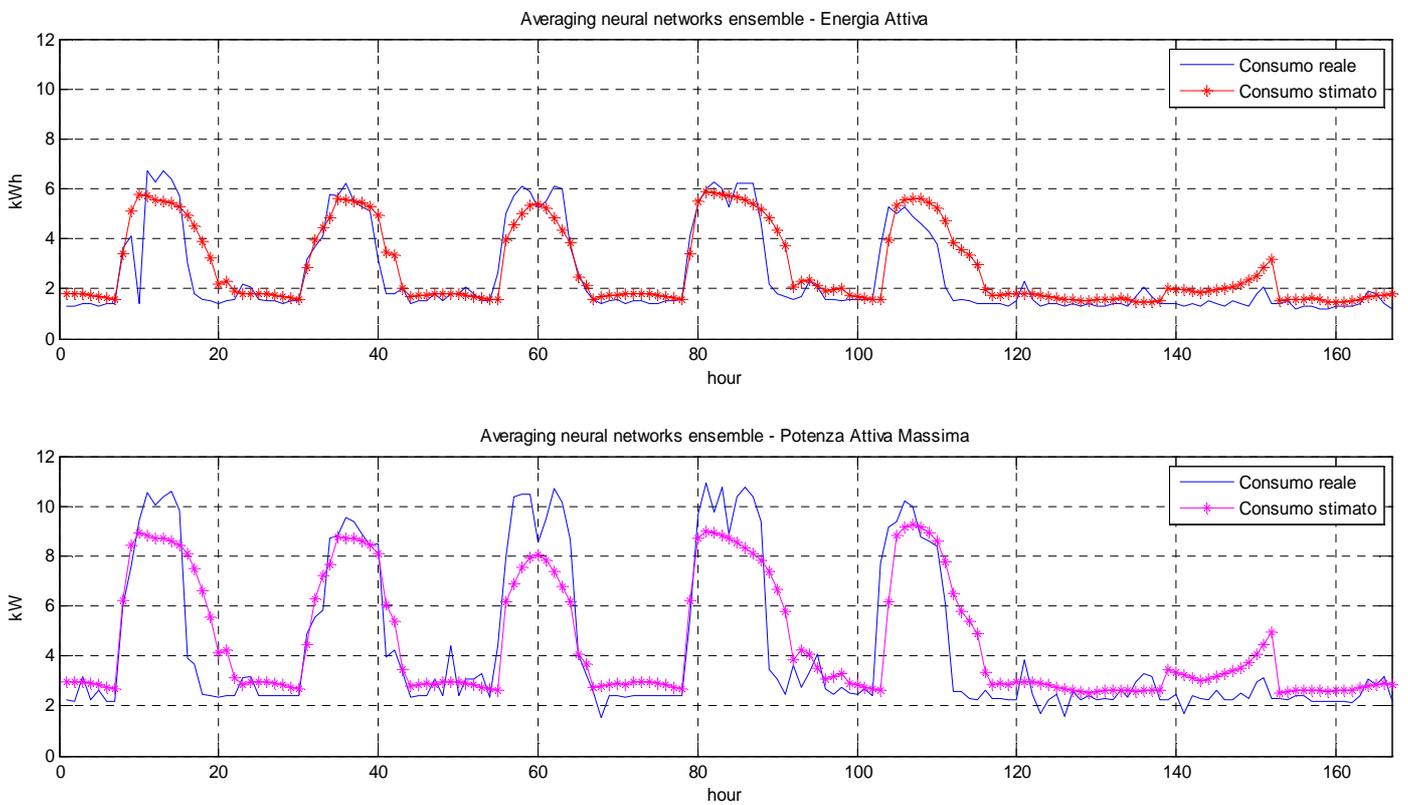


Figura 79- Prova F: output testing BEM nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

**PROVA G**

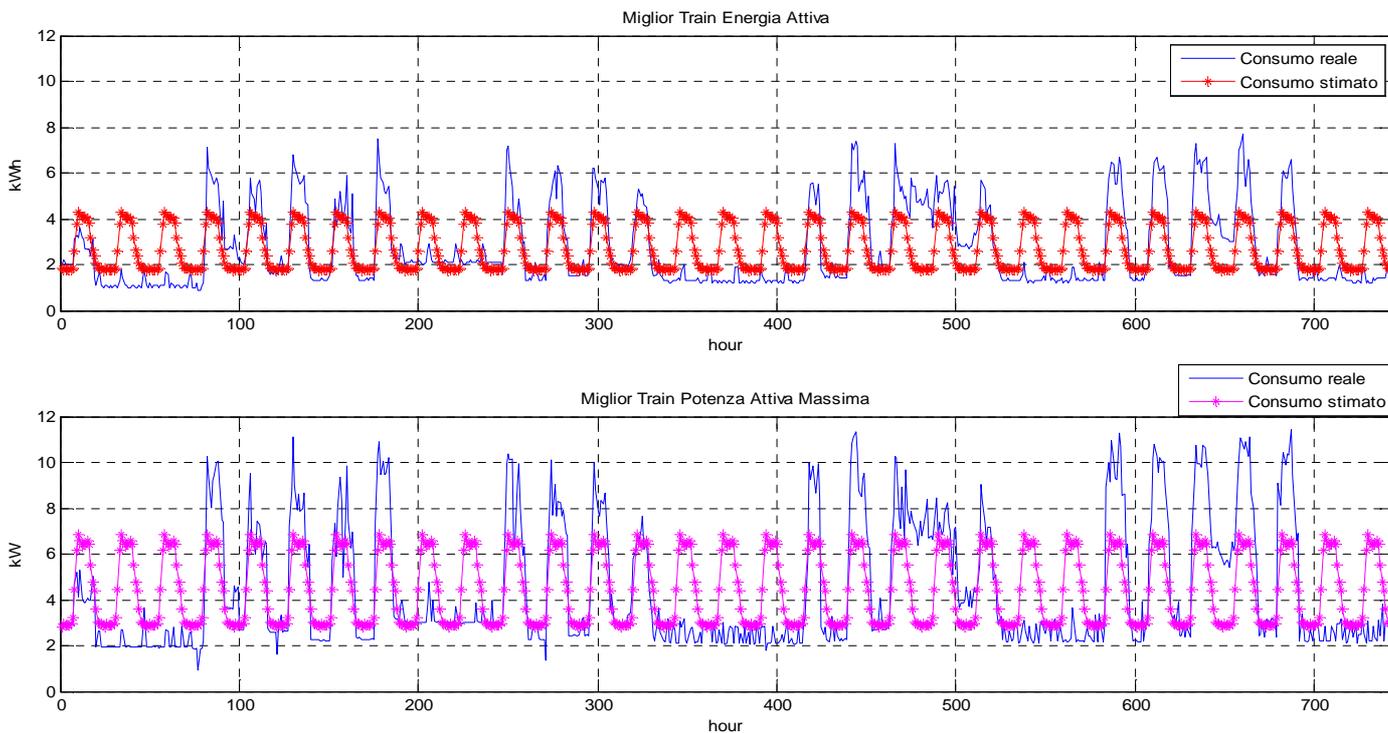


Figura 80- Prova G: miglior RNA training nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

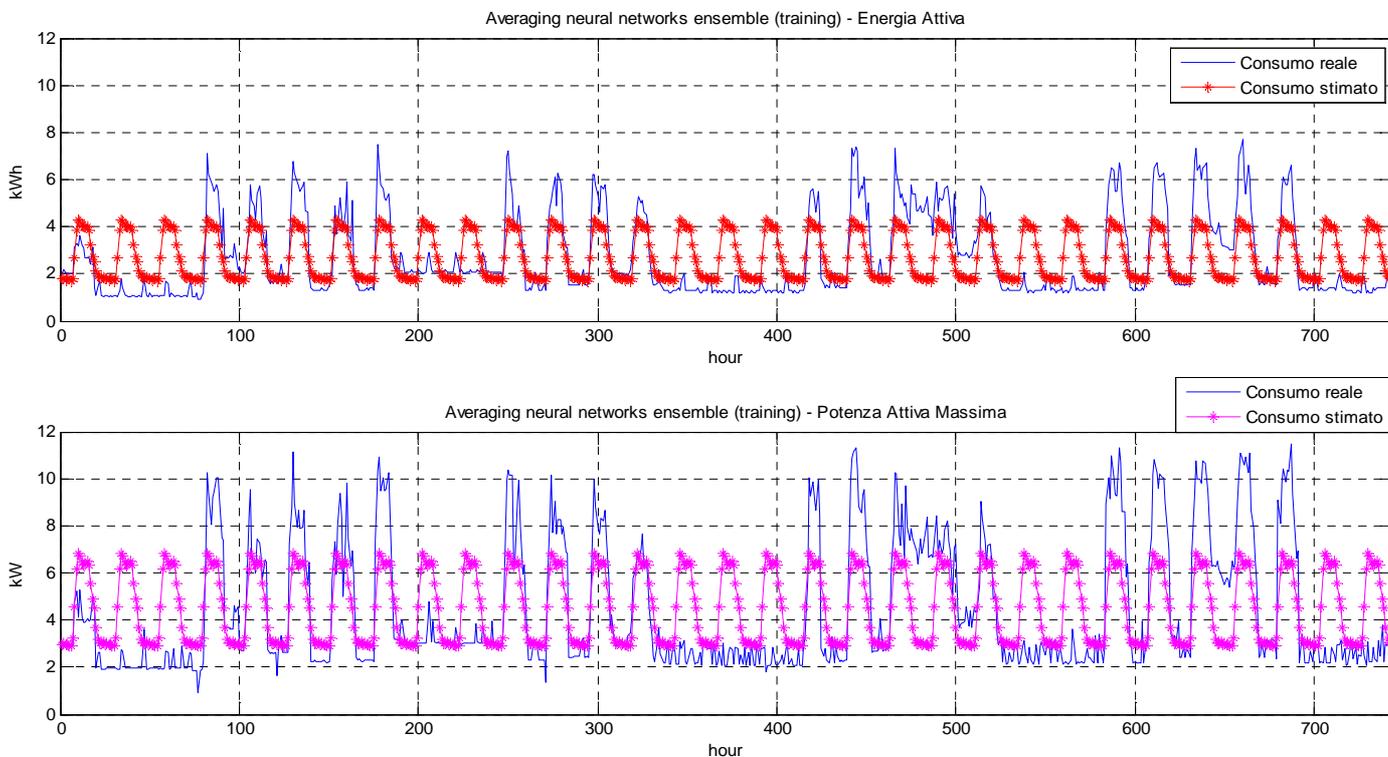


Figura 81- Prova G: output training BEM nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

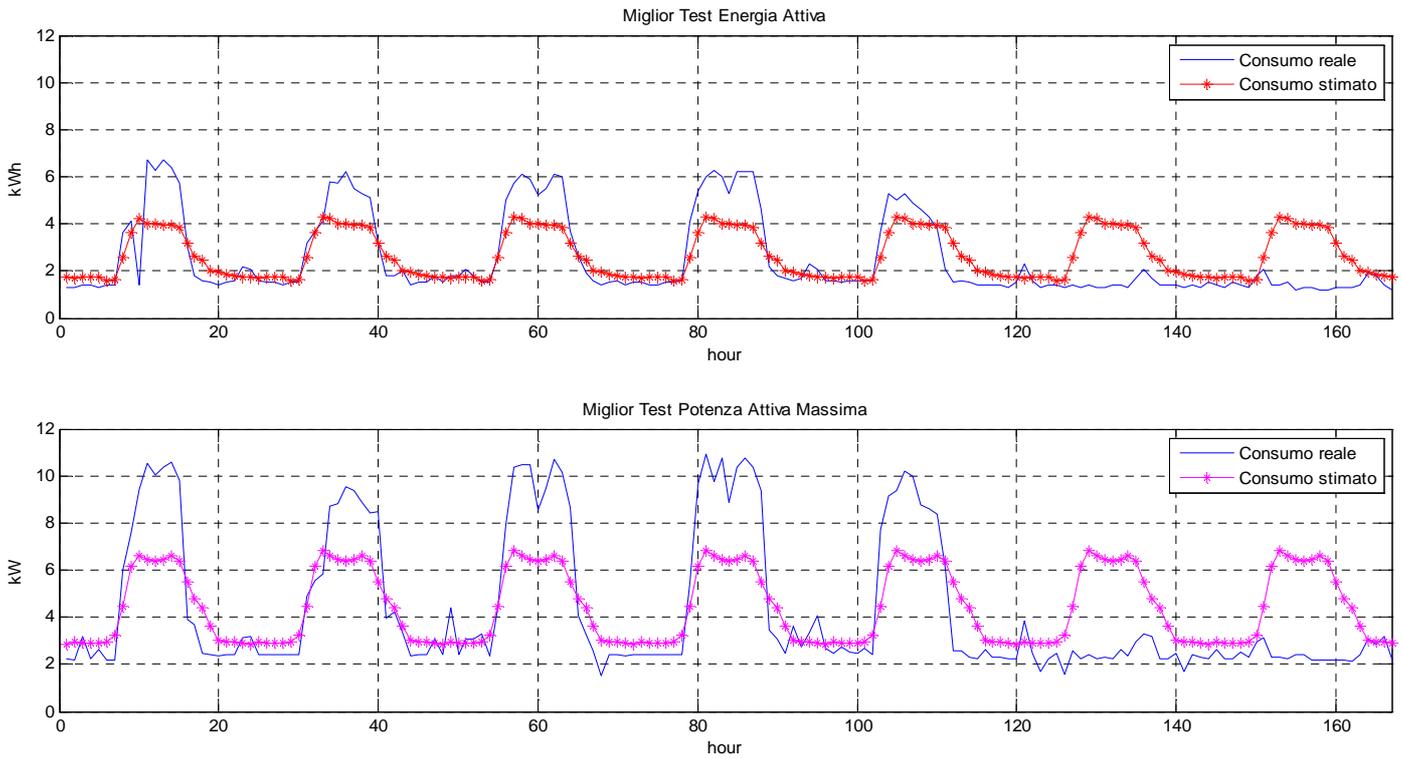


Figura 82- Prova G: miglior RNA testing nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

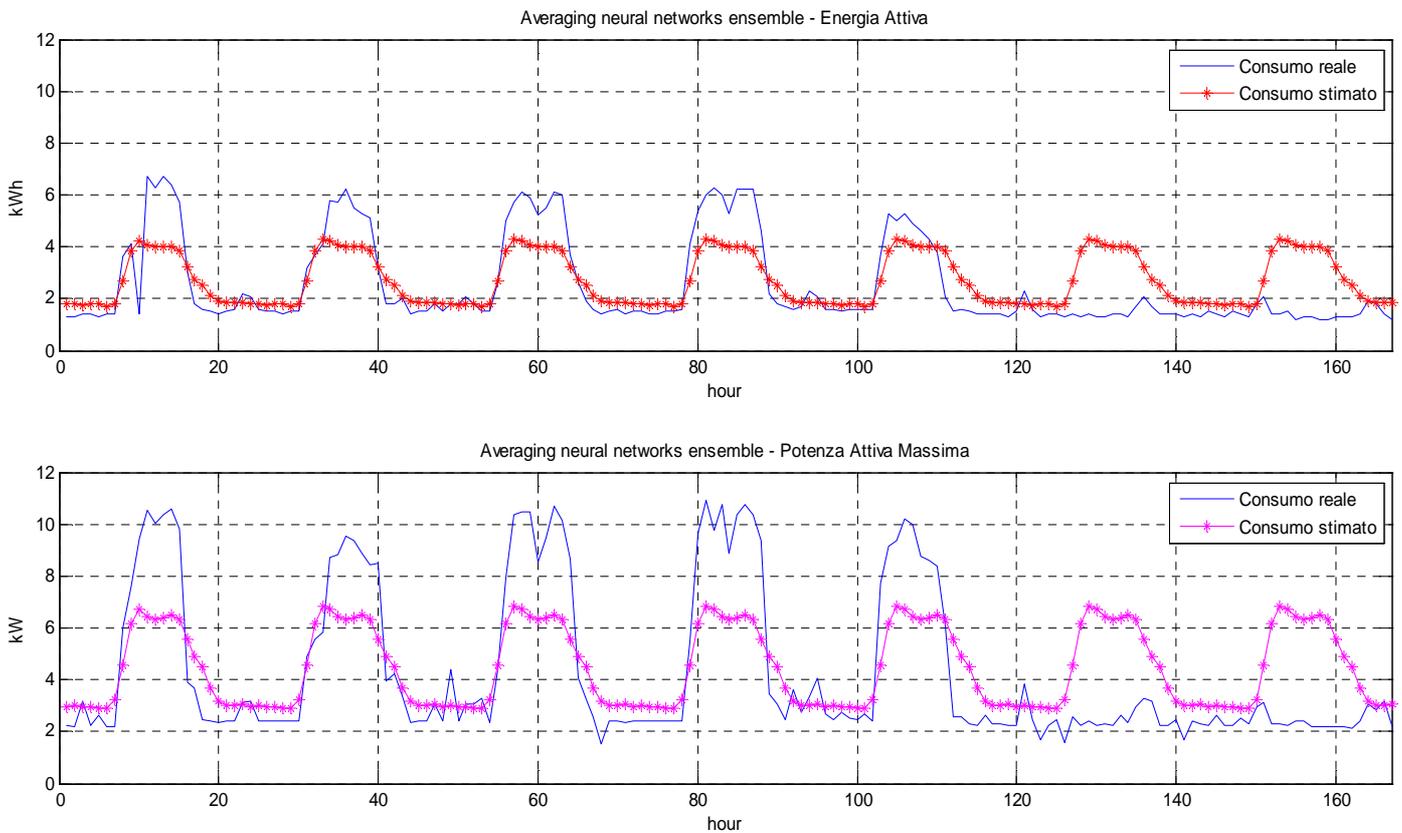


Figura 83- Prova G: output testing BEM nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

Come in precedenza, le Tabelle che seguono illustrano i risultati ottenuti nel training (Tabella 8 e Tabella 9) e nel testing (Tabella 10 e Tabella 11).

Tabella 8 - Risultati training consumo FEM: MAE (kWh per Energia Attiva, kW per Potenza Attiva Massima) nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

Prova	RNA Energia Attiva	BEM Energia Attiva	RNA Potenza Attiva Massima	BEM Potenza Attiva Massima
Prova A	0.50 ( $\pm 0.03$ )	0.45	0.75 ( $\pm 0.05$ )	0.67
Prova B	0.54 ( $\pm 0.02$ )	0.51	0.80 ( $\pm 0.03$ )	0.75
Prova C	0.59 ( $\pm 0.03$ )	0.56	0.87 ( $\pm 0.04$ )	0.84
Prova D	0.58 ( $\pm 0.01$ )	0.57	0.86 ( $\pm 0.02$ )	0.85
Prova E	0.60 ( $\pm 0.02$ )	0.59	0.90 ( $\pm 0.04$ )	0.88
Prova F	0.58 ( $\pm 0.01$ )	0.57	0.86 ( $\pm 0.03$ )	0.84
Prova G	1.11 ( $\pm 0.006$ )	1.11	1.73 ( $\pm 0.02$ )	1.72

Tabella 9 - Risultati training consumo FEM: MAX (kWh per Energia Attiva, kW per Potenza Attiva Massima) nel periodo 15/06/2012 – 15/07/2012

Prova	RNA Energia Attiva	BEM Energia Attiva	RNA Potenza Attiva Massima	BEM Potenza Attiva Massima
Prova A	3.22	2.68	5.40	4.43
Prova B	3.75	3.41	5.32	5.01
Prova C	3.54	3.06	5.47	4.64
Prova D	3.79	3.75	5.61	5.51
Prova E	3.93	3.73	5.73	5.55
Prova F	3.82	3.73	5.64	5.47
Prova G	3.95	3.67	5.54	5.44

Tabella 10 - Risultati testing consumo FEM: MAE (kWh per Energia Attiva, kW per Potenza Attiva Massima) nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

Prova	RNA Energia Attiva	BEM Energia Attiva	RNA Potenza Attiva Massima	BEM Potenza Attiva Massima
Prova A	0.73 ( $\pm 0.06$ )	0.65	1.25 ( $\pm 0.11$ )	1.15
Prova B	0.72 ( $\pm 0.04$ )	0.63	1.25 ( $\pm 0.08$ )	1.13
Prova C	0.71 ( $\pm 0.07$ )	0.68	1.22 ( $\pm 0.08$ )	1.19
Prova D	0.66 ( $\pm 0.04$ )	0.63	1.15 ( $\pm 0.13$ )	1.10

<b>Prova E</b>	0.70 ( $\pm 0.07$ )	0.67	1.19 ( $\pm 0.11$ )	1.16
<b>Prova F</b>	0.63 ( $\pm 0.04$ )	0.60	1.05 ( $\pm 0.07$ )	1.03
<b>Prova G</b>	0.94 ( $\pm 0.01$ )	0.94	1.73 ( $\pm 0.02$ )	1.73

Tabella 11 - Risultati testing consumo FEM: MAX (kWh per Energia Attiva, kW per Potenza Attiva Massima) nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

<b>Prova</b>	<b>RNA Energia Attiva</b>	<b>BEM Energia Attiva</b>	<b>RNA Potenza Attiva Massima</b>	<b>BEM Potenza Attiva Massima</b>
<b>Prova A</b>	4.25	3.64	6.55	5.07
<b>Prova B</b>	3.61	2.85	6.50	5.05
<b>Prova C</b>	5.80	4.94	6.38	5.01
<b>Prova D</b>	4.68	4.50	10.18	5.01
<b>Prova E</b>	4.77	4.47	9.05	5.42
<b>Prova F</b>	4.61	4.38	5.32	5.11
<b>Prova G</b>	3.27	2.94	4.81	4.56

In questo caso, poiché si fa riferimento ad un periodo caratterizzato da clima estivo, l'andamento del consumo reale fem è molto più regolare. Proprio per questo motivo si osserva che l'utilizzo dei dati climatici in input (Prova A e Prova B) è poco influente sulla modellazione dei consumi fem.

Nel testing di quasi tutte le prove (da Prova A a Prova E) si osserva una certa difficoltà della rete neurale e dell'ensembling a modellare la giornata di mercoledì 18/07/2012 che, come profilo di consumo, è comunque simile a quello degli altri mercoledì utilizzati nel training. Ciò è dovuto ad un errore nell'acquisizione dei dati di presenza di piano e di stanze attive di piano, che risultano notevolmente più bassi rispetto a quelli reali. Ripetendo il testing delle prove senza considerare i dati relativi a questa giornata, otteniamo:

Tabella 12 - Risultati testing consumo FEM: MAE (kWh per Energia Attiva, kW per Potenza Attiva Massima) nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012 senza mercoledì 18/07/2012

<b>Prova</b>	<b>RNA Energia Attiva</b>	<b>BEM Energia Attiva</b>	<b>RNA Potenza Attiva Massima</b>	<b>BEM Potenza Attiva Massima</b>
<b>Prova A</b>	0.69 ( $\pm 0.07$ )	0.61	1.14 ( $\pm 0.12$ )	1.04
<b>Prova B</b>	0.69 ( $\pm 0.05$ )	0.60	1.15 ( $\pm 0.09$ )	1.02
<b>Prova C</b>	0.66 ( $\pm 0.06$ )	0.62	1.09 ( $\pm 0.07$ )	1.06
<b>Prova D</b>	0.65 ( $\pm 0.03$ )	0.64	1.09 ( $\pm 0.09$ )	1.03
<b>Prova E</b>	0.67 ( $\pm 0.06$ )	0.64	1.10 ( $\pm 0.10$ )	1.07
<b>Prova F</b>	0.64 ( $\pm 0.03$ )	0.63	1.01 ( $\pm 0.04$ )	0.98
<b>Prova G</b>	0.98 ( $\pm 0.02$ )	0.97	1.74 ( $\pm 0.02$ )	1.74

Tabella 13 - Risultati testing consumo: MAX (kWh per Energia Attiva, kW per Potenza Attiva Massima) nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012 senza mercoledì 18/07/2012

Prova	RNA Energia Attiva	BEM Energia Attiva	RNA Potenza Attiva Massima	BEM Potenza Attiva Massima
Prova A	4.25	3.64	6.55	5.07
Prova B	3.61	2.85	5.56	5.05
Prova C	5.80	4.94	6.38	5.01
Prova D	4.68	4.50	10.18	5.01
Prova E	4.77	4.47	9.05	4.85
Prova F	4.61	4.38	5.32	5.11
Prova G	3.27	2.94	4.81	4.56

Si osserva ora che i risultati migliori si ottengono oltre che nella prova F (che considera in input l’ora e le stanze attive di piano) anche nei casi in cui si applicano in input un numero piuttosto alto di variabili (Prova A e Prova B).

#### Sviluppo di modelli statistici per la valutazione automatica di valori anomali per l’analisi diagnostica

Riguardo al metodo statistico, sulla base degli studi condotti in letteratura, è emersa la necessità di provvedere a una classificazione dei dati in funzione degli attributi rappresentati dalle variabili indipendenti misurate (nei casi oggetto del presente lavoro sono rappresentati dall’energia richiesta o dalla potenza per ogni step temporale per diversi usi finali), al fine di suddividere il campione di dati in classi omogenee prima di condurre l’analisi di individuazione delle anomalie. *Un evento anomalo può essere efficacemente rilevato soltanto all’interno di una serie di dati, soltanto se questi sono stati generati sotto le stesse condizioni al contorno.*

Tra i metodi di classificazione è stato selezionato il metodo CART (classification and regression tree), poiché esso è risultato flessibile sia rispetto alla quantità di dati da trattare che rispetto allo loro tipologia.

Si tratta di una procedura molto flessibile che consente di maneggiare facilmente variabili indipendenti continue, categoriche o congiuntamente categoriche e continue. L’albero finale include solo le variabili indipendenti che risultano essere predittive della variabile dipendente; le altre variabili indipendenti non predittive non hanno effetto sul risultato finale e sotto questo aspetto il metodo CART si differenzia dalle altre procedure statistiche tradizionali come la regressione.

Inoltre tale tecnica di classificazione, come sarà più chiaro avanti, è basata sulla costruzione di alberi decisionali dai quali è possibile estrapolare le regole (rules based approach) che consentono di classificare i dati che in tempo reale arrivano dal sistema di monitoraggio. Pertanto il metodo proposto è finalizzato all’individuazione di alberi decisionali dai quali è possibile individuare regole basate sui valori che assumono le variabili indipendenti per la classificazione dei dati e per la successiva ed efficace individuazione delle anomalie. Esso quindi risulta particolarmente adatto per condurre analisi di *fault detection in tempo reale*.

Una struttura ad albero, output della procedura di classificazione, a prima vista sembra presentare numerosi elementi di contatto con il dendrogramma di una cluster analysis gerarchica.

In realtà le due tecniche presentano differenze sostanziali sia negli obiettivi che nelle modalità di analisi. La finalità della cluster è quella di accorpare le unità statistiche in gruppi o classi che sono ignote all'analista. Tale raggruppamento avviene attraverso la ricerca di gruppi in cui le osservazioni siano omogenee rispetto alle  $p$  variabili  $X$  osservate. Diversamente, in un albero di classificazione, i gruppi a cui le unità appartengono sono già noti a priori in una variabile indicata con  $Y$ , e attraverso la metodologia si individuano le relazioni tra le  $p$  variabili esplicative  $X$  che spiegano il perché un'osservazione appartenga ad una classe della  $Y$  piuttosto che ad un'altra.

Tale struttura di relazioni, una volta definita, consente anche di predire, per nuove unità statistiche, la classe di appartenenza quando questa non sia nota a priori. Questi due differenti approcci sono noti in letteratura come:

#### **classificazione supervisionata**

come nel caso degli alberi di classificazione in cui la ricerca della partizione è guidata (supervisionata) dalla conoscenza a priori della  $Y$ ;

#### **classificazione non supervisionata**

come nel caso della cluster analysis in cui la ricerca della partizione è effettuata unicamente sulla base della somiglianza delle unità rispetto alle caratteristiche osservate (le variabili  $X$ ).

Gli **alberi di classificazione** (o di *segmentazione*) rappresentano pertanto una metodologia che ha l'obiettivo di ottenere una segmentazione gerarchica di un insieme di unità statistiche mediante l'individuazione di "regole" che sfruttano la relazione esistente tra una classe di appartenenza e le variabili rilevate per ciascuna unità. Essi vengono utilizzati per individuare l'appartenenza di unità statistiche alle classi di una variabile dipendente conoscendo i valori o le modalità di una o più variabili esplicative. La regola individuata viene successivamente impiegata per classificare nuove unità statistiche di cui si ignora la categoria di appartenenza (*albero decisionale*). Il metodo CART risulta particolarmente flessibile poiché può essere utilizzato sia con variabili numeriche che categoriali e adatto nell'individuazione degli outliers. L'algoritmo attraverso cui viene eseguito lo split dei dati consente di isolare i valori anomali in alcuni nodi terminali. Inoltre un'importante proprietà pratica del metodo CART è che la struttura della sua classificazione è invariante rispetto alle trasformazioni monotone delle variabili indipendenti, per cui può essere sostituito il valore di ogni variabile con il suo logaritmo o il suo quadrato senza che cambi la struttura dell'albero.

#### **Definizione di una struttura ad albero**

Per albero si intende un modello grafico costituito da un insieme finito di elementi, detti nodi, che si dipartono da un nodo iniziale denominato nodo radice.

La struttura di un classification tree include i nodi non terminali (*parent nodes*), i quali hanno due discendenti diretti (*child nodes*), ed i nodi terminali che non subiscono ulteriori bipartizioni (*terminal nodes*). Il primo nodo non terminale o parent node contiene tutte le osservazioni che vengono immediatamente suddivise in due gruppi o in due child nodes. Ogni child node diventa un parent node e viene ancora suddiviso in due child nodes. Il processo continua fino a che l'albero non conclude la sua crescita. I nodi terminali o terminal nodes sono i nodi finali dell'albero decisionale e contengono insiemi di osservazioni che vanno a formare classi omogenee al loro interno ma diverse tra loro. Il metodo è binario e ricorsivo: binario poiché ogni parent node si divide in due nodi e ricorsivo poiché i nodi (non terminali) nati dallo split del nodo genitore possono diventare, a loro volta, nodi genitore e suddivisi in due nodi figli successivi.

L'idea di base dalla segmentazione binaria è quella suddividere ricorsivamente un insieme di unità in gruppi sempre più fini, cioè di numerosità inferiore, e sempre più omogenei internamente (rispetto alla distribuzione della variabile risposta). Per definizione i nodi terminali rappresenteranno un grado di

omogeneità interna maggiore rispetto al gruppo di partenza. Il ruolo di generatore delle possibili partizioni, o split, viene assunto dai predittori, i quali caratterizzano il passaggio delle unità statistiche della variabile  $Y$  da un nodo ai suoi discendenti.

La segmentazione può essere d'ausilio per soddisfare due obiettivi:

1. **esplorativo**, finalizzato principalmente all'individuazione e descrizione delle relazioni esistenti tra le diverse variabili esplicative e l'appartenenza ad una classe piuttosto che ad un'altra della variabile di risposta;
2. **decisionale**, finalizzato alla costruzione di un albero che consenta di classificare nuove unità statistiche per le quali non è nota la classe di appartenenza ma unicamente le modalità assunte per le variabili esplicative.

### Le fasi della procedura

Ogni procedura di segmentazione è caratterizzata da un certo numero di fasi che guidano la costruzione dell'albero:

- Creazione dell'*insieme degli split*, cioè dell'insieme dei potenziali tagli binari (ottenuti attraverso le variabili esplicative) che consentono di dividere le unità contenute in un nodo padre in due insiemi che formano i nodi figli;
- Il *criterio di partizione*, passaggio fondamentale consistente in un algoritmo di partizione che genera, a partire dal nodo radice, gruppi sempre più omogenei internamente ed eterogenei dall'esterno;
- La *regola di arresto* della procedura, essenziale per il controllo della dimensione dell'albero finale;
- L'*assegnazione della risposta*, che si esplica con l'assegnazione di una classe alle unità presenti in un nodo terminale;
- La *potatura dell'albero*, che consente di individuare, a partire dall'albero finale, un sottoalbero ottimale che possa essere utilizzato poi a fini decisionali.

E' necessario quindi adottare un criterio di bontà dello split ossia di bontà della tecnica con i cui i nodi vengono suddivisi da parent nodes a child nodes (*split criterion*); stabilire una regola di arresto di crescita dell'albero (stopping rule); e, una volta che un nodo viene riconosciuto come terminale, fissare una regola che permetta di stabilire come classificare i casi che in esso sono contenuti. Il processo inizia con una domanda binaria che stabilisce se l'osservazione si collocherà nel nodo di destra o di sinistra. Se l'osservazione soddisfa il criterio sarà collocata a destra nel caso contrario a sinistra. Il processo continuerà fino a che tutte le osservazioni saranno divise in child nodes e non verranno raggiunti nodi terminali che saranno tra di loro più differenti possibile ma che andranno a costituire classi molto omogenee al loro interno. Il criterio con i cui i nodi vengono suddivisi da parent nodes a child nodes sarà tanto buono quando sarà alto il grado di omogeneità in ogni nodo terminale ovvero quanto minimo sarà il grado di impurità di ciascun nodo. La regola di arresto o stopping rule è opzionale ma utile ad evitare problemi di overfit. Un'altra strategia consiste nel lasciare che l'albero cresca liberamente e, successivamente, applicare una procedura definita "pruning", che prevede la "potatura" dell'albero eliminando i rami meno significativi. Lo step finale consiste nell'assegnare ciascun nodo terminale ad una classe. Il risultato finale della procedura, consiste, quindi, nell'individuazione delle classi costituite ognuna dagli elementi della variabile  $Y$  con carattere di omogeneità rispetto alle variabili esplicative.

### Costruzione dell'insieme di split

Primo passo della segmentazione binaria consiste nella individuazione di tutte le potenziali domande dicotomiche (binarie) generate dalle variabili  $X$  originarie. Le possibili suddivisioni dipendono dalla natura quantitativa o qualitativa dei predittori.

La fase di ripartizione consiste quindi nell'individuazione, tra l'insieme di tutti i possibili split generati nella fase precedente, del taglio binario "migliore" rispetto ad un dato criterio statistico.

Nella metodologia CART, il criterio statistico che guida la scelta del migliore split si basa sul concetto di **decremento di impurità**.

Essendo l'obiettivo della segmentazione quello di ottenere nodi sempre più puri, *si individua tra tutti i possibili tagli, lo split ottimo come quello che massimizza la riduzione di impurità che si ottiene tagliando un nodo padre in due nodi figli*.

Sia  $t_p$  il nodo padre e  $t_l$  e  $t_r$  rispettivamente i nodi figlio di sinistra e destra del nodo padre  $t_p$ . Si consideri un campione con la matrice delle variabili  $X$  con  $M$  pari a  $n$  numero di variabili ed  $N$  osservazioni. Sia il vettore  $Y$  costituito da  $N$  osservazioni con un valore totale di  $K$  classi. L'albero di classificazione è costruito in accordo con le regole di split. Ogni valore della variabile deve essere diviso in due parti con la massima omogeneità:

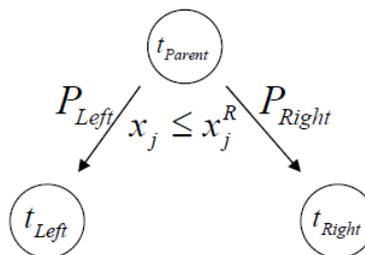


Figura 84 – Algoritmo per lo split del metodo CART.

con  $x_j$  variabile  $j$  e  $x_j^R$  il valore relativo del criterio migliore di split per le variabili  $x_j$ .

La massima omogeneità dei nodi figlio è definita attraverso la funzione di impurità  $i(t)$ . Dato che il grado di impurità del nodo padre  $t_p$  è costante per ognuno dei possibili split  $x_j \leq x_j^R$ ,  $j = 1, \dots, M$  la massima omogeneità dei nodi figlio sinistro e destro sarà equivalente alla massimizzazione del decremento della funzione di impurità.

Il decremento di impurità ad un nodo  $t$  ottenuto con uno split  $s$ , si definisce come:

$$\Delta i_Y(t,s) = \{i_Y(t) - [i_Y(t_L)p(t_L) + i_Y(t_R)p(t_R)]\}$$

dove  $i_Y(t)$  è il grado di impurità nel nodo padre  $t$ ;

$i_Y(t_L)$  è il grado di impurità nel nodo figlio di sinistra e  $p(t_L)$  è la proporzione di unità contenute nel nodo di sinistra;

$i_Y(t_R)$  è il grado di impurità nel nodo figlio di destra e  $p(t_R)$  è la proporzione di unità contenute nel nodo di destra.

Il migliore split  $s^*$  è quello che massimizza il decremento di impurità:

$$s^* \rightarrow \max \Delta i_Y(t, s)$$

L'algoritmo CART quindi, ad ogni nodo genera l'insieme S di tutte le possibili partizioni binarie (split), calcola il decremento di impurità e determina la miglior partizione cui è associato il massimo decremento di impurità.

In sostanza, l'algoritmo CART si compone dei seguenti passi:

- *Passo 1. si genera l'insieme S di tutte le possibili partizioni binarie ottenute dal set di predittori X;*
- *Passo 2. per ogni split s dell'insieme S si calcola il decremento di impurità;*
- *Passo 3. si determina la miglior partizione a cui è associato il massimo decremento di impurità.*

L'algoritmo è applicato ad ogni nodo fino a che la costruzione dell'albero non si arresta. Il costo computazionale di questa metodologia è molto elevato. Infatti basti pensare al caso in cui i predittori impiegati sono in numero sostanzioso ed inoltre parte di essi sono in scala numerica o nominale. In questo caso il numero di split S che deve essere generato ad ogni nodo è considerevole soprattutto se si pensa che ogni volta per ognuno di esso, l'algoritmo deve calcolare il decremento di impurità per poi selezionare la migliore partizione.

Nel presente lavoro per applicare la metodologia CART è stato adottato quale misura d'impurità, per gli alberi di classificazione, l'**indice H di eterogeneità di Gini**.

Esso si definisce in generale come:

$$H = 1 - \sum_{j=1}^J f_j^2$$

dove  $f_j$  rappresenta la frequenza relativa di osservazioni la cui modalità della variabile è pari a j.

Nell'ambito della segmentazione binaria, l'**impurità in un nodo** sarà quindi pari a:

$$i_Y(t) = 1 - \sum_{j=1}^J p^2(t|Y = j)$$

dove  $i_Y(t)$  è la misura di impurità in un generico nodo t e  $p(t|Y = j)$  è la proporzione di unità nel nodo t che appartengono alla *j-esima* classe della variabile di risposta Y.

### **Regole d'arresto**

Le regole d'arresto della procedura rappresentano l'insieme di criteri che determinano quando un nodo debba essere dichiarato terminale e quindi non più ulteriormente divisibile in ulteriori nodi figli.

Esse consistono nelle seguenti condizioni: **"Un nodo t diventa terminale se"**:

a) *La numerosità dello stesso è inferiore ad una certa soglia prefissata;*  
 Si fissa una soglia minima per il numero di osservazioni contenute in un nodo padre o eventualmente nei nodi figli generati da questo. La regola serve ad ottenere alberi i cui nodi non siano espressione di singole o pochissime unità fornendo così percorsi poco informativi;

b) *Il grado di impurità del nodo  $t$  è al di sotto di una certa soglia prefissata;*  
 Se il nodo ha un grado di purezza elevato allora sue ulteriori partizioni non produrranno alcun miglioramento nell'accuratezza della struttura ma unicamente uno svantaggio misurato dalla crescita della complessità dell'albero.

Si rende pertanto necessaria una procedura di induzione dell'albero che da una parte lo semplifichi e dall'altra consideri l'accuratezza di previsione per nuove unità.

Tale procedura prende il nome di **pruning** (*potatura*).

Il pruning si prefigge l'obiettivo di individuare le branche meno rilevanti o addirittura dannose per il processo decisionale e di rimuoverle.

## Il pruning

Il pruning della metodologia CART è un metodo che genera una sequenza ottimale nidificata di sottoalberi potati tra i quali ne viene selezionato uno finale quale regola di decisione per nuove unità.

Molto sinteticamente, la procedura di pruning opera nel modo seguente: Si definisce una misura che tenga conto del trade-off tra il costo (*l'aumento della impurità dell'albero*) e il beneficio (*semplificazione della struttura*) legato alla potatura di un albero. Tale misura alfa, detta **parametro di costo complessità** è calcolata ad ogni nodo interno dell'albero:

$$\alpha_t = \frac{R(t) - R(T_t)}{|\tilde{T}| - 1} = \frac{\text{aumento impurità}}{\text{riduzione della complessità}}$$

Dove al numeratore si misura la crescita di mal classificati come differenza tra il tasso al nodo  $t$  (che se potato diventerebbe terminale) e quello del ramo  $T_t$  che diparte da  $t$ . Mentre al denominatore si misura la riduzione della complessità della struttura in termini di riduzione del numero di nodi terminali.

*Ad ogni passo verrà potato il ramo il cui nodo di partenza presenta l'alfa minimo dell'intera struttura ad albero.*

In questo modo, ripetendo iterativamente la procedura, si otterrà una sequenza di alberi, via via più piccoli, tutti potenzialmente candidati ad essere scelti come albero decisionale.

Simulando in ognuno di essi un nuovo campione di dati (il **campione test**) si potrà scegliere l'albero migliore come quello che minimizza il tasso di errata classificazione del campione test.

I principali step della metodologia statistica adottata per l'analisi di "fault detection" sono di seguito riassunti:

- Analisi di sensibilità sui dati di monitoraggio al fine di individuare le variabili indipendenti di maggiore importanza rispetto alla variazione delle variabili dipendenti (energia o potenza);
- Classificazione dei dati attraverso il metodo CART e utilizzo del criterio di GINI per effettuare lo splitting dei dati;
- Applicazione di un metodo statistico robusto per la determinazione dei valori anomali per ogni classe individuata;
- Individuazione di indicatori statistici adimensionali sintetici per valutare il grado di importanza o di severità di ogni valore anomalo individuato in ogni classe (outlier individuati).

### Metodi per il rilevamento e l'identificazione di valori anomali di energia e potenza

Per la determinazione dei valori anomali per ogni classe individuata sono stati implementati due diversi metodi i cui modelli si basano su diversi principi metodologici per la determinazione di valori anomali di un set di dati. Un valore anomalo è definito come un'osservazione che appare inconsistente rispetto alla maggioranza delle osservazioni di un dato set di dati.

Il primo metodo implementato, "peak detection method" [20], consente di identificare ed analizzare i picchi presenti in una serie temporale, esigenza essenziale, in tutte quelle applicazioni (quali il monitoraggio dei consumi energetici) che richiedono l'analisi di grandi quantità di dati in tempo reale. L'analisi condotta ha richiesto pertanto la formalizzazione della nozione di picco al fine di mettere a punto un algoritmo capace di rilevarli automaticamente in una data serie temporale.

Sulla base di un esteso studio di letteratura l'attenzione si è focalizzata su algoritmi per la rilevazione dei picchi nelle serie di dati basati sull'utilizzo di una funzione picco  $S$ , che associa un punteggio (score) ad ogni elemento della serie: un elemento viene considerato un picco quando lo score ad esso associato è positivo e supera una certa soglia  $\theta$  definita dall'utente o opportunamente calcolata.

Sia  $T = x_1, x_2, \dots, x_N$  una serie temporale univariata campionata in maniera uniforme, contenente  $N$  valori. Sia  $x_i$  un  $i$ -esimo punto assegnato in  $T$ , con relativo score  $S(i, x_i, T)$  associato dalla funzione  $S$ : se tale score supera la soglia  $\theta$  ( $S(i, x_i, T) \geq \theta$ ), allora  $x_i$  è un picco. Non tutti i picchi individuati tuttavia sono "veri" picchi: un picco locale è un vero picco se ha un valore ragionevolmente grande anche nel contesto globale. Negli step che seguono, in cui si articola l'algoritmo implementato per la peak detection, si specifica come eliminare alcuni dei picchi locali rilevati utilizzando il contesto globale (l'intera serie temporale).

- 1) Si inizializza l'insieme dei picchi  $O$  come insieme vuoto;
- 2) Si inizializza il valore di  $k$  (tipicamente tra 1 e 5) e di un ulteriore costante  $h$  (tipicamente tra 1 e 3);
- 3) Si calcola il valore della funzione picco per ognuno degli  $N$  punti in  $T$ ;
- 4) Si calcola la media  $m'$  e la deviazione standard  $s'$  di tutti i valori positivi della funzione picco  $S$ ;
- 5) Si eliminano i picchi locali che sono "piccoli" nel contesto globale. In particolare, si inseriscono nell'insieme  $O$  solo i punti  $x_i$  della serie temporale che soddisfano la seguente condizione:

$$S(k, i, x_i, T) - m' > h * s'$$

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

Il secondo metodo utilizzato, ESD (generalized extreme studentized deviate many outlier procedure), consente di rilevare uno o più valori anomali partendo da un set di dati che seguono approssimativamente

una distribuzione normale. A partire dall'individuazione dei valori estremi rispetto al valor medio del vettore oggetto di indagine, i valori anomali vengono individuati dal confronto tra ogni deviazione massima e un valore critico valutato sulla base della distribuzione t student.

La procedura ESD consente di identificare gli elementi di un set di dati che rappresentano valori anomali. Il modello prevede che l'utente debba specificare la probabilità  $\alpha$  di individuare dei falsi outlier e il numero massimo  $n_u$  di potenziali outliers.

Nel presente lavoro, seguendo le indicazioni di Carey et al. [21], il numero  $n_u$  è stato individuato trovando il più grande intero che soddisfa la seguente disuguaglianza:  $n_u \leq 0,5 (n - 1)$ .

Di seguito è descritta per step la procedura alla base del metodo per l'individuazione dei valori anomali di un set di dati X:

1) Viene fissato inizialmente un numero di outlier  $n_{out}$  pari a zero.

2) Viene calcolata la media degli elementi nel set X:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

dove  $x_j$  è un elemento del vettore X ed n è uguale al numero di elementi in X

3) Viene calcolata la deviazione standard degli elementi nel vettore X. Questa è pari a:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Se la deviazione standard è uguale a zero allora tutti gli elementi nel vettore X hanno lo stesso valore per cui non ci sono ulteriori valori anomali.

4) Viene individuato il valore estremo  $x_{e,i}$  nel vettore X. L'elemento è identificato come l'osservazione del vettore X che presenta la massima distanza dal valor medio.

$$x_{e,i} = \max |x_j - \bar{x}|$$

5) Viene calcolata la massima deviazione  $R_i$  che rappresenta la misura normalizzata della distanza dell' i-esimo valore estremo dal valor medio del campione:

$$R_i = \frac{|x_{e,i} - \bar{x}|}{s}$$

6) Viene calcolato l' i-esimo valore critico  $\lambda_i$  attraverso la seguente equazione

$$\lambda_i = \frac{(n-i)t_{n-i-1,p}}{\sqrt{(n-i+1)(n-i-1)t_{n-i-1,p}^2}}$$

dove  $t_{n-i-1,p}$  rappresenta la distribuzione t student con  $(n-i-1)$  gradi di libertà e con probabilità  $p$  determinata attraverso la seguente relazione:

$$p = \frac{\alpha}{2(n-i+1)}$$

- 7) Se il valore  $R_i$  risulta maggiore del valore  $\lambda_i$  per il corrispondente valore  $x_{e,i}$ , il valore di  $n_{out}$  (numero degli outliers) viene posto pari a  $i$ .
- 8) Viene rimosso il valore estremo  $x_{e,i}$  dal vettore  $X$  per cui quest'ultimo presenta un numero di valori pari a  $n-i$ . Se  $i$  è uguale ad  $n_u$  allora la procedura si ferma, diversamente ricomincia un nuovo ciclo su  $i$  considerando il nuovo vettore  $X$  costituito da un numero di valori pari  $n-i$  dove  $i$  rappresenta il numero di valori estremi che rispettano la disuguaglianza di cui al punto 8.
- 9) Il modello restituisce alla fine il vettore costituito dai valori estremi  $x_{e,i}$  considerati anomali. Si osserva che il modello non considera valori anomali tutti i valori estremi trovati durante la procedura ma soltanto i primi valori  $i=n_u$ .

### Indicatori adimensionali per la diagnostica degli edifici

A seguito dell'individuazione dei valori anomali per ogni classe individuata sono stati introdotti alcuni indici sintetici che consentono di quantificare la severità della anomalie riscontrate, e quindi di fornire informazioni circa la priorità di intervento da associare ad ognuna di esse. Tali indici si basano sulla determinazione del grado e della direzione della variazione di ogni outlier da una distribuzione normale. A tal fine sono stati valutati gli indici *z score*, *s function* e *modified z score*.

Quest'ultimo, è basato sulla distanza e la direzione di ogni valore anomalo individuato rispetto al valore medio di osservazioni normali (osservazioni che non contengono valori anomali).

Il metodo prevede la determinazione dell'indice *modified zscore* sulla base della stima del valor medio e della deviazione standard per il set di dati  $X$  osservati.

Sulla base della conoscenza del vettore costituito dagli  $n_{out}$  valori anomali individuati con i metodi sopra descritti, si individua il set di valori del vettore  $X$ ,  $X_{non-out}$ , costituito dai soli valori non anomali  $n-n_{out}$ .

Si calcola la media e la deviazione standard del vettore  $X_{non-out}$ :

$$\bar{X}_{rob} = \frac{\sum_{j=1}^{n-n_{out}} X_j}{n-n_{out}}, \quad S_{rob} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n-n_{out}} (X_j - \bar{X}_{rob})^2}{n-n_{out}-1}}$$

Il valore di *modified zscore* viene calcolato per ogni valore anomalo individuato nel seguente modo:

$$Z_m = \frac{\overline{X_{out}} - \overline{X_{rob}}}{S_{rob}}$$

Il valore di *zscore* viene invece calcolato per ogni valore anomalo individuato nel seguente modo:

$$Z = \frac{\overline{X_{out}} - \overline{X}}{S}$$

Allo stesso modo è stato assegnato un punteggio anche ai valori del vettore che non sono risultati outlier calcolando anche per essi l'indice *modified zscore* e *zscore*:

$$Z_m = \frac{\overline{X_{non-out}} - \overline{X_{rob}}}{S_{rob}}$$

$$Z = \frac{\overline{X_{non-out}} - \overline{X}}{S}$$

Per il calcolo della *s function*, che cattura la "spigolosità" del punto  $x_i$  in un contesto locale, esistono differenti approcci. L'approccio utilizzato nei test effettuati, per un assegnato punto  $x_i$  in  $T$ , calcola la media tra la massima distanza di  $x_i$  dai suoi  $k$  vicini a sinistra e i suoi  $k$  vicini a destra (dove  $k$  è un parametro intero positivo stabilito dall'utente, che deve essere tanto più piccolo quanto più i picchi da individuare sono di breve durata). I valori di  $s(i, x_i, T)$  indicano l'"importanza" dell'altezza del picco all'istante di tempo  $i$ -esimo:

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

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

### Risultati dell'analisi diagnostica condotta per l'edificio F40

A partire dai dati di monitoraggio dell'edificio F40 sono stati condotti numerosi test con l'applicazione dei metodi sopra descritti alle variabili dipendenti energia, potenza massima, media e minima per gli usi finali FEM e illuminazione.

Le elaborazioni sono state condotte con diversa frequenza temporale, considerando come attributi per la costruzione dell'albero di classificazione la data, il giorno della settimana, il tempo, il numero di stanze attive e il numero di occupanti corrispondenti.

Nella tabella seguente sono riportati i dettagli di tutte le prove effettuate con l'indicazione della variabile dipendente scelta, la frequenza temporale, le variabili indipendenti, l'indice diagnostico calcolato e il metodo di fault detection utilizzato.

Sulla base di un'analisi di sensibilità preliminare, è stato verificato che la potenza elettrica massima per ogni step temporale risulta essere la grandezza elaborata in fase di preprocessing più efficace per il rilevamento delle anomalie. Pertanto, per tutte le simulazioni condotte nel presente lavoro, è stato considerato il valore massimo della potenza elettrica attiva come variabile dipendente.

Tabella 14 – Sommario di tutte le prove effettuate

Uso energetico finale	Frequenza temporale	Variabile dipendente	Variabili indipendenti	Livello di dettaglio	Indice diagnostico	Metodo di fault detection	Periodo temporale
Illuminazione corridoio	1 minuto	Potenza elettrica	-Data -Giorno -Tempo	-Piano terra -Piano primo -Piano secondo	Modified z score z score s funtion	ESD Peak detection	16 Luglio – 22 Luglio
Illuminazione corridoio	15 minuti	Potenza elettrica massima	-Data -Giorno -Tempo -Numero di stanze attive -Numero di persone per piano	-Piano terra -Piano primo -Piano secondo	Modified z score z score s funtion	ESD Peak detection	16 Luglio – 22 Luglio
Illuminazione corridoio	1 ora	Potenza elettrica massima	-Data -Giorno -Tempo -Numero di stanze attive -Numero di persone per piano	-Piano terra -Piano primo -Piano secondo	Modified z score z score s funtion	ESD Peak detection	16 Luglio – 22 Luglio
Illuminazione corridoio	1 ora	Energia elettrica media	-Data -Giorno -Tempo -Numero di stanze attive -Numero di persone per piano	-Piano terra -Piano primo -Piano secondo	Modified z score z score s funtion	ESD Peak detection	16 Luglio – 22 Luglio
Forza elettromotrice	1 ora	Potenza elettrica massima	-Data -Giorno -Tempo -Numero di stanze attive -Numero di persone per piano	-Piano primo	Modified z score z score s funtion	ESD Peak detection	15Giugno – 22 Luglio
Forza elettromotrice	1 ora	Energia elettrica media	-Data -Giorno -Tempo -Numero di stanze attive -Numero di persone per piano	-Piano primo	Modified z score z score s funtion	ESD Peak detection	15Giugno – 22 Luglio

Per ogni simulazione è stato costruito un albero di classificazione e regressione relativamente ad ogni piano dell’edificio F40, conducendo contestualmente un’analisi di sensibilità sulle variabili indipendenti rispetto

all'influenza che la loro variazione ha sulla variabile dipendente (potenza o energia). Tale analisi risulta di fondamentale importanza poiché necessaria ad individuare le variabile che determina il primo split dei dati per la formazione dei child nodes. Tutte le simulazioni sono state condotte operando una cross validation sul grado di purezza di ogni nodo terminale, inoltre è stato effettuato un pruning dell'albero.

Di seguito sono presentati alcuni risultati ottenuti dall'applicazione della metodologia sopra descritta. In particolare i risultati presentati fanno riferimento al piano terra e in corrispondenza della classe di dati contenente i valori di potenza o energia relativi al 17 Luglio, giorno nel quale è stato creato un fault artificiale per verificare l'attendibilità e l'efficacia del metodo utilizzato.

Al fine di generare tale anomalia il giorno 17 luglio 2012, infatti, alla fine dell'orario di lavoro tra le 16.30 e le 17.08 sono state dapprima spente tutte le luci e successivamente è stato generato un picco di potenza accendendole tutte per 30 minuti.

Nelle figure seguenti (da Fig. 85 a Fig. 107) è riportato per ogni prova effettuata la struttura gerarchica dell'albero decisionale, il dettaglio delle caratteristiche dei nodi terminali individuati e il risultato dell'analisi di sensibilità condotta.

Inoltre, è riportata la rappresentazione della variabile dipendente (potenza o energia) per la classe contenente i dati relativi al fault artificiale creato, e la variazione della variabile dipendente per un determinato periodo temporale con dati non classificati.

Nei grafici in cui è rappresentato l'andamento della potenza o dell'energia sia per l'illuminazione che per la FEM sono evidenziati i valori anomali individuati per la serie di dati e il relativo valore di *modified z score*.

In particolare sono rappresentati con due differenti colori i valori anomali comuni (individuati sia attraverso il metodo ESD che il metodo *peak detection*) e i valori individuati solo con il metodo ESD. Per ogni valore anomalo è riportato il valore di *modified zscore* calcolato sulla base degli outlier individuati con il metodo ESD oltre che il relativo giorno e la relativa ora.

Inoltre, per ogni prova eseguita è riportato l'andamento temporale per la potenza o l'energia dei dati non classificati con l'evidenza degli outlier individuati attraverso l'analisi effettuata classificando preventivamente i dati. L'obiettivo è quello di evidenziare che alcune anomalie non possono essere rilevate se i dati non sono classificati, per cui nella serie di dati le anomalie non risultano evidenti né rilevabili se i dati non sono preventivamente suddivisi in classi omogenee.

E' stato verificato che per tutte le simulazioni effettuate l'indice *modified zscore* presenta valori estremi in valore assoluto in corrispondenza delle anomalie rilevate sia dal metodo ESD che dal *peak detection*, per cui esso risulta un ottimo indicatore diagnostico per l'analisi di fault detection. L'indice *z score*, invece, in generale presenta un andamento simile a quello dell'indice *modified zscore*, ma non assume la stessa caratteristica di amplificarsi in valore in corrispondenza delle anomalie.

Relativamente al test effettuato con i dati con frequenza temporale un minuto, è riportato anche l'andamento nel tempo della funzione *s function* per la classe 15. E' evidente che l'indice assume valori estremi in corrispondenza dell'anomalia generata, per cui similmente all'indice *modified zscore* risulta un buon indicatore diagnostico.

Inoltre, relativamente ai risultati ottenuti per la FEM in Fig. 104 e Fig. 105, sono riportati due scatter plot per i dati di potenza oraria massima in funzione del numero degli occupanti per due differenti classi. Da questa efficace rappresentazione è possibile osservare da una parte la qualità della classe di dati creata in termini di carattere di omogeneità, e dall'altra l'evidenza dei valori anomali (cerchiati) che sono stati rilevati attraverso i metodi ESD e *peak detection*.

In generale la metodologia adottata si è rivelata robusta e ha consentito per tutti i casi esaminati di individuare il fault artificiale generato per verificarne l'affidabilità.

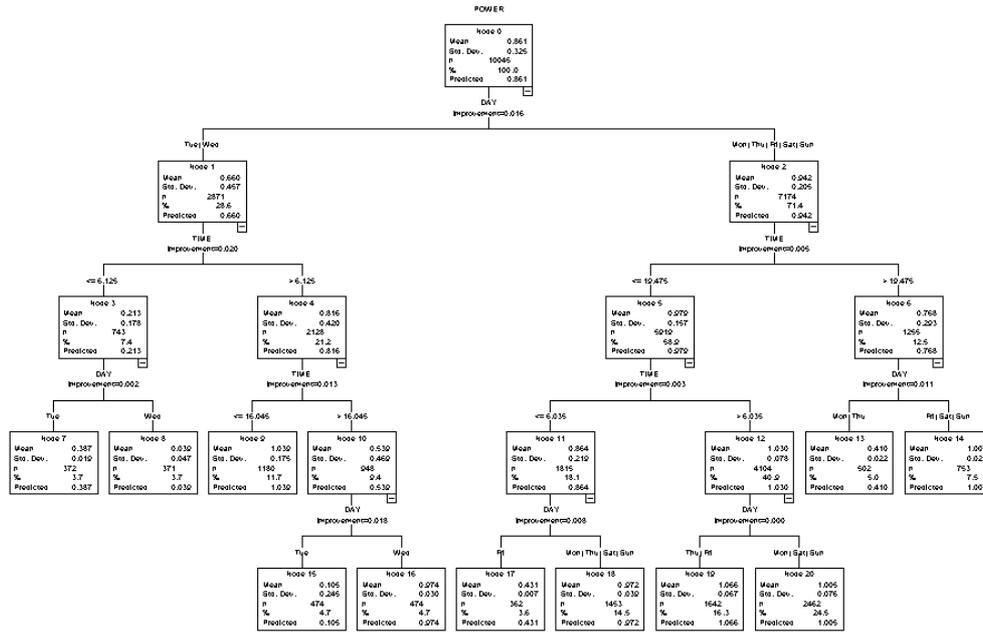
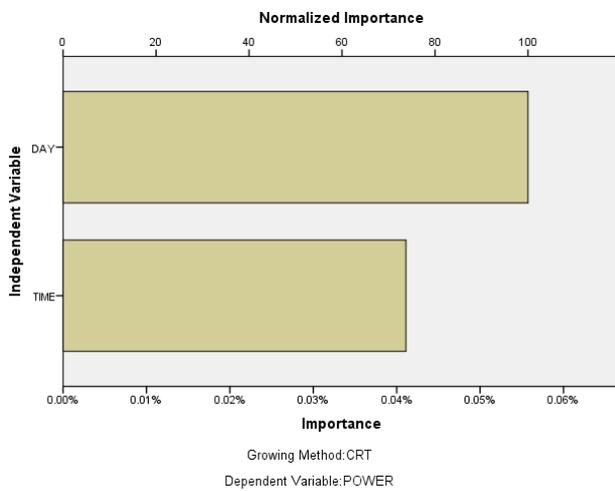


Figura 85 – Albero di classificazione (frequenza temporale 1 minuto, piano terra, illuminazione)



Gain Summary for Nodes

Node	N	Percent	Mean
19	1642	16.3%	1.0663
9	1180	11.7%	1.0386
14	753	7.5%	1.0066
20	2462	24.5%	1.0055
16	474	4.7%	.9739
18	1453	14.5%	.9716
17	362	3.6%	.4314
13	502	5.0%	.4101
7	372	3.7%	.3870
15	474	4.7%	.1047
8	371	3.7%	.0389

Figura 86 – Analisi di sensibilità e caratteristiche dei nodi terminali (frequenza temporale 1 minuto, piano terra, illuminazione)

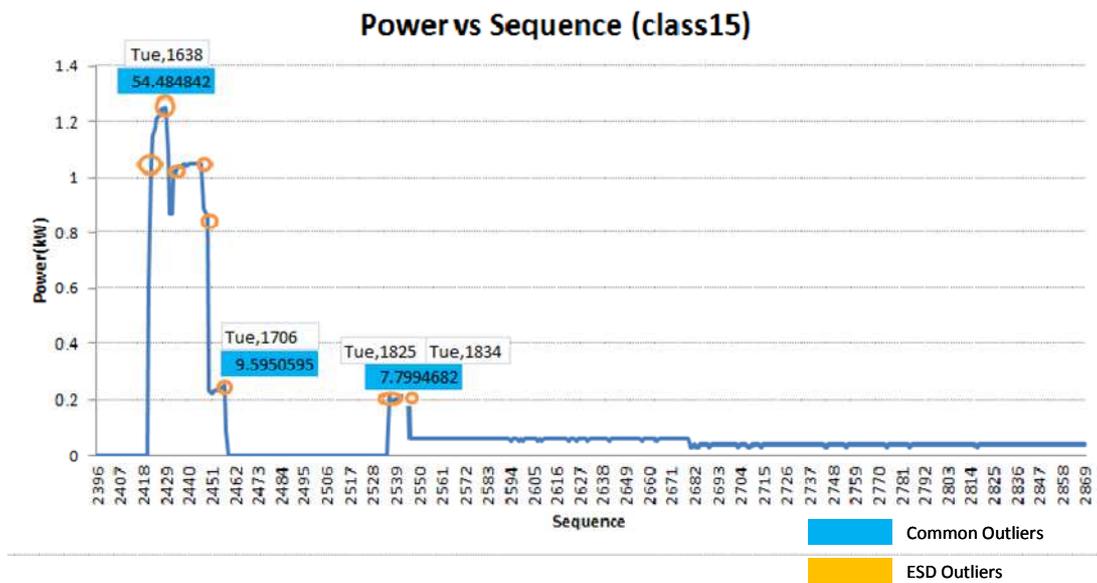


Figura 87 – Variazione della potenza elettrica attiva con indicazione degli outlier per una classe di dati (frequenza temporale 1 min, piano terra, illuminazione)

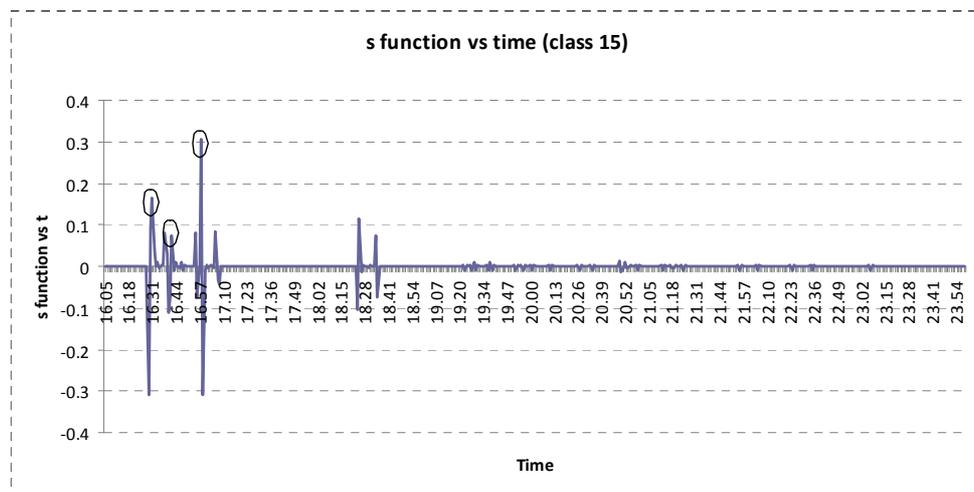


Figura 88 – Variazione dei s function in funzione del tempo per una classe di dati (frequenza temporale 1 min, piano terra, illuminazione)

From Tue, 17/07/2012 13:38 To Tue, 17/07/2012 18:38

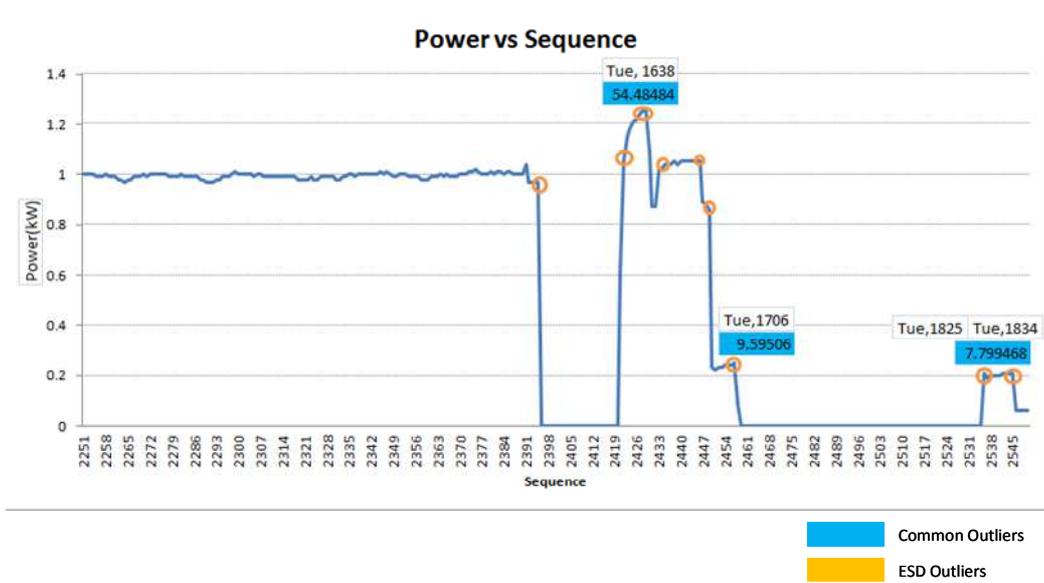


Figura 89 – Andamento della potenza elettrica attiva nel tempo con dati non classificati (frequenza temporale 1 min, piano terra, illuminazione)

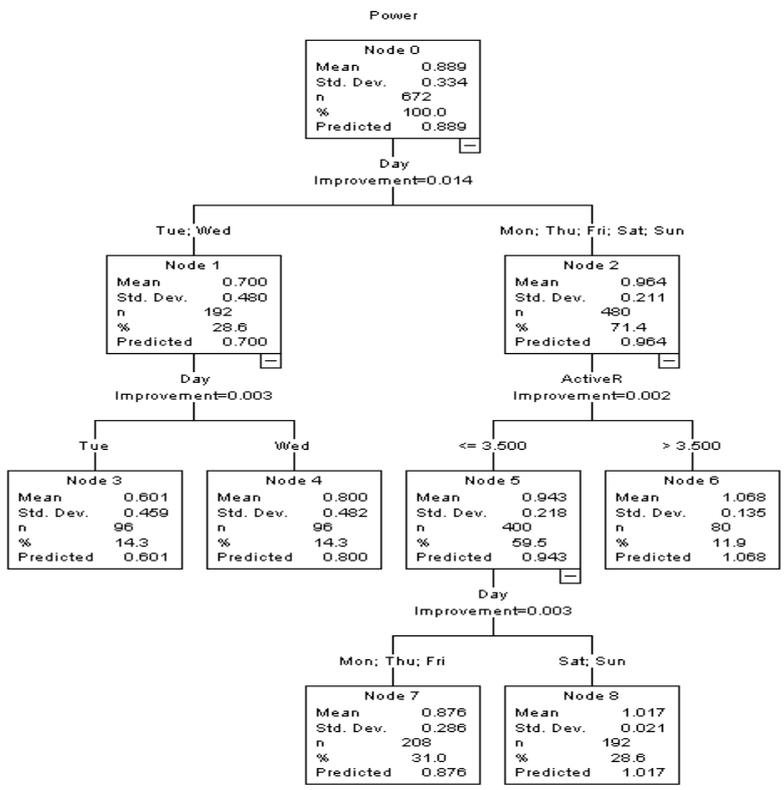
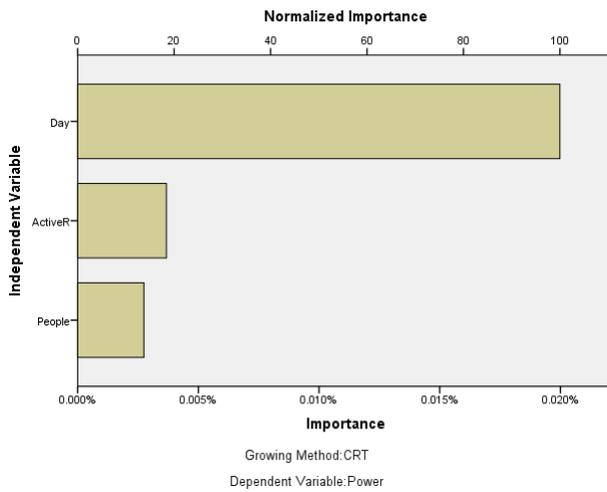


Figura 90 – Albero di classificazione(frequenza temporale 15 min, piano terra, illuminazione)



**Gain Summary for Nodes**

Node	N	Percent	Mean
6	80	11.9%	1.0676
8	192	28.6%	1.0166
7	208	31.0%	.8757
4	96	14.3%	.7996
3	96	14.3%	.6008

Figura 91 – Analisi di sensibilità e caratteristiche dei nodi terminali (frequenza temporale 15 min, piano terra, illuminazione)

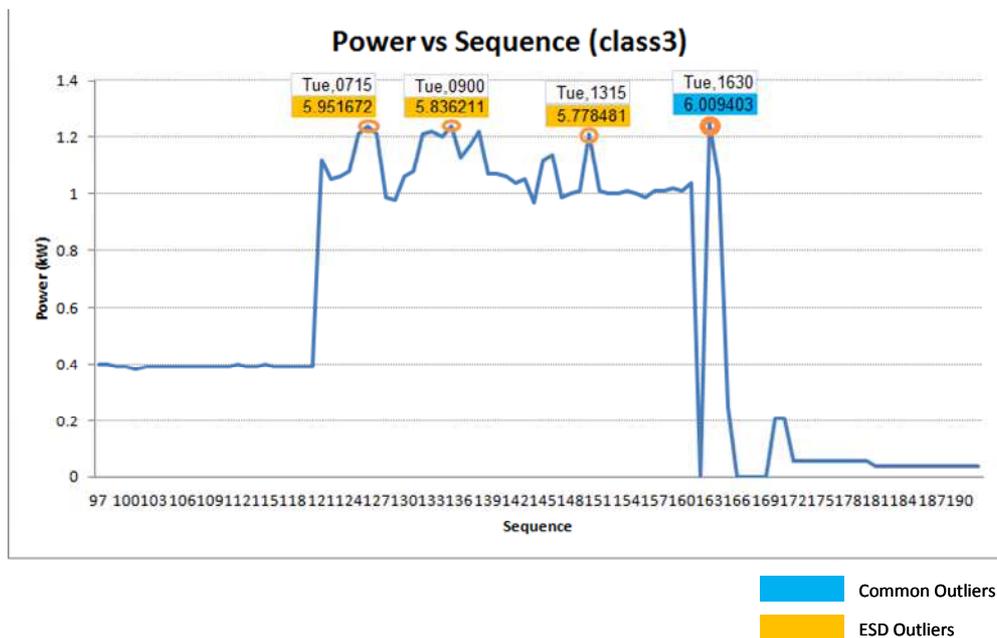


Figura 92 - Variazione della potenza elettrica attiva con indicazione degli outlier per una classe di dati (frequenza temporale 15 min, piano terra, illuminazione)

From *Mon, 16/07/2012 20:00 hrs* To *Wed, 18/07/2012 07:30*

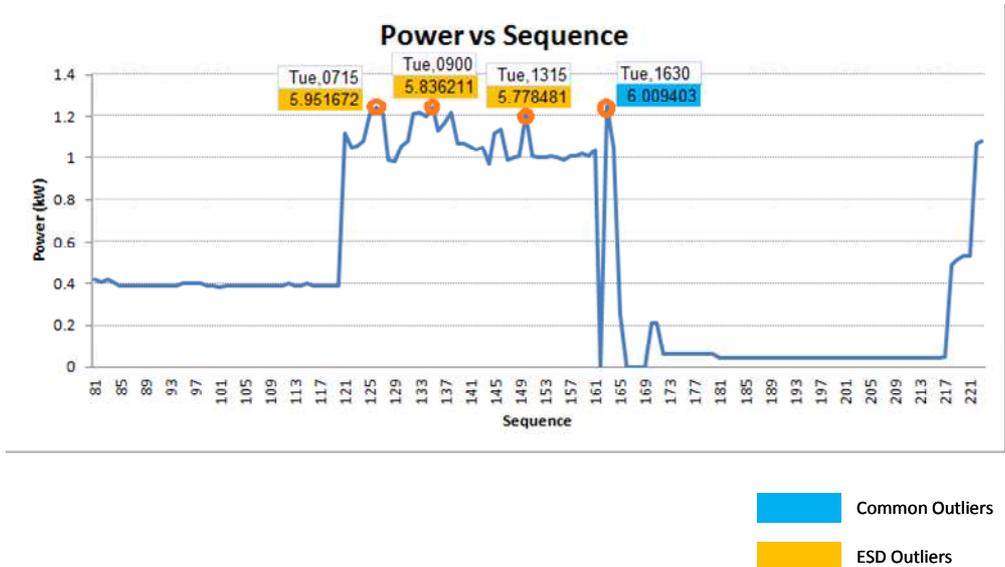


Figura 93 - Andamento della potenza elettrica attiva nel tempo con dati non classificati (frequenza temporale 15 min, piano terra, illuminazione)

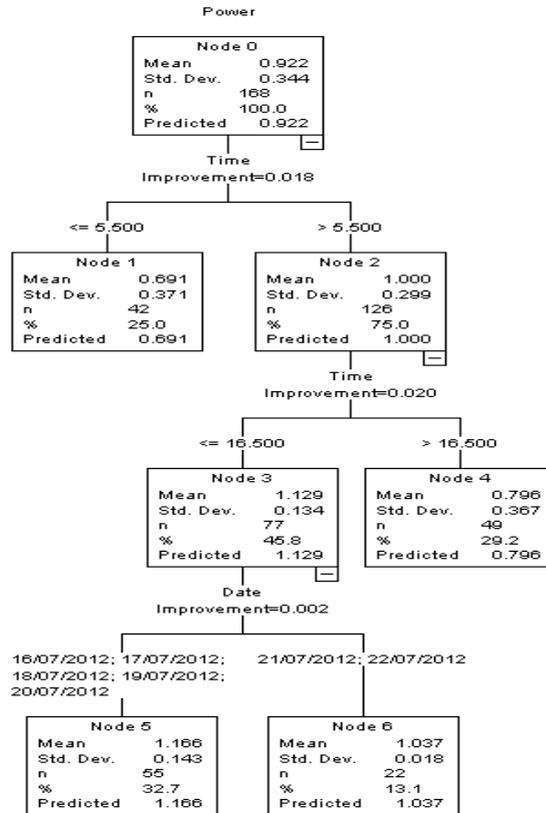
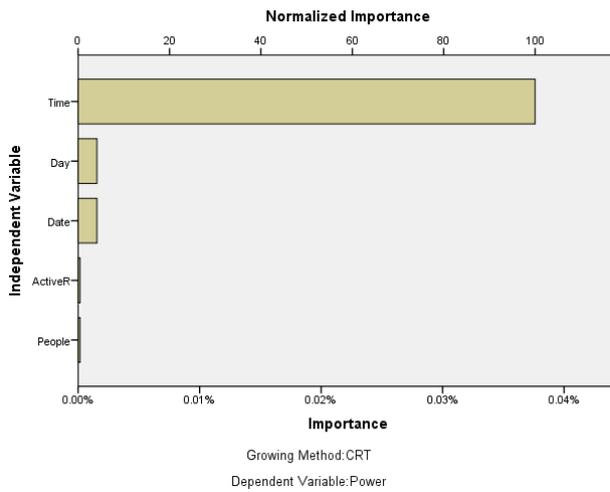


Figura 94 - Albero di classificazione (frequenza temporale 1 ora, piano terra, illuminazione)



**Gain Summary for Nodes**

Node	N	Percent	Mean
5	55	32.7%	1.1658
6	22	13.1%	1.0373
4	49	29.2%	.7959
1	42	25.0%	.6912

Figura 95 - Analisi di sensibilità e caratteristiche dei nodi terminali (frequenza temporale 1 ora, piano terra, illuminazione)

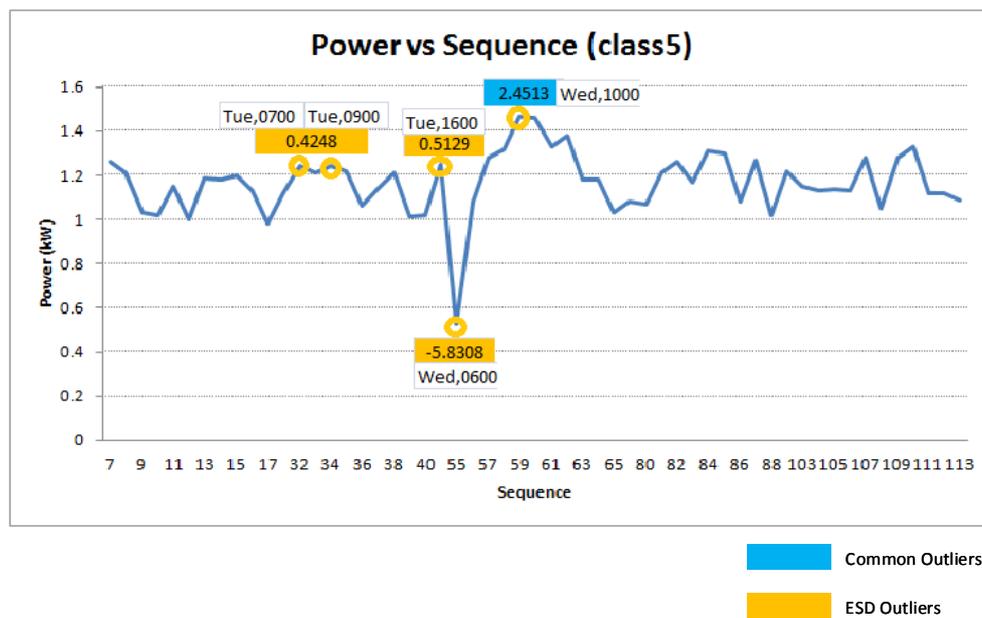
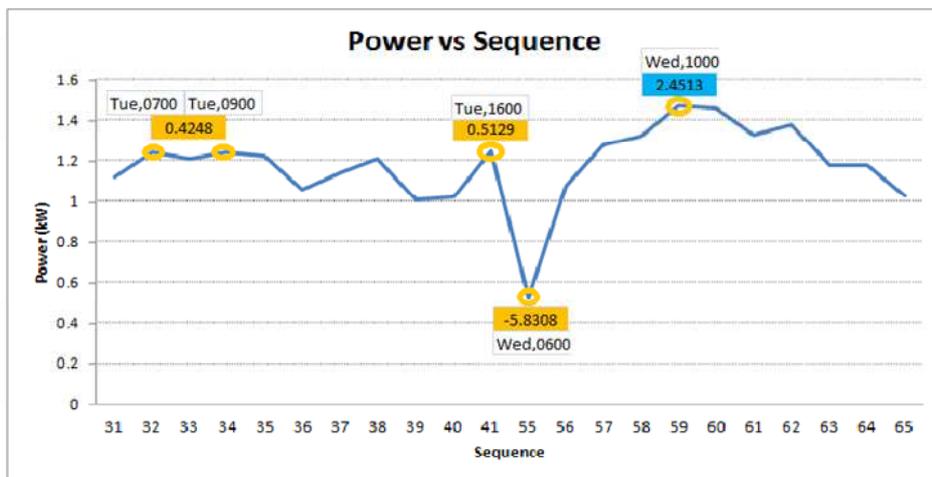


Figura 96 - Variazione della potenza elettrica attiva con indicazione degli outlier per una classe di dati (frequenza temporale 1 ora, piano terra, illuminazione)

From Tue, 17/07/2012 06:00 To Wed, 18/07/2012 16:00



Common Outliers  
ESD Outliers

Figura 97 - Andamento della potenza elettrica attiva nel tempo con dati non classificati (frequenza temporale 1 ora, piano terra, illuminazione)

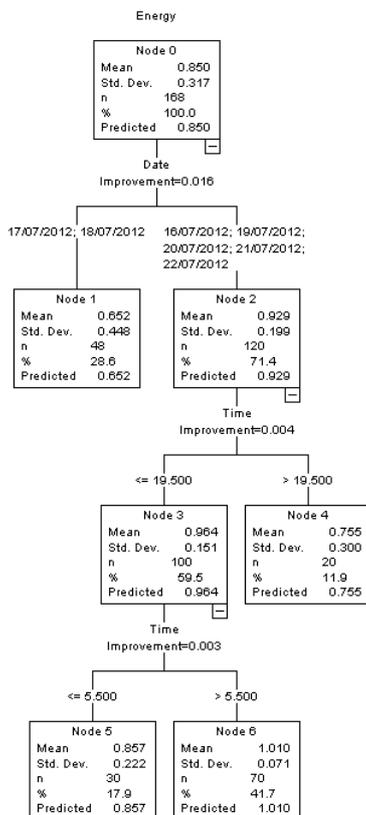
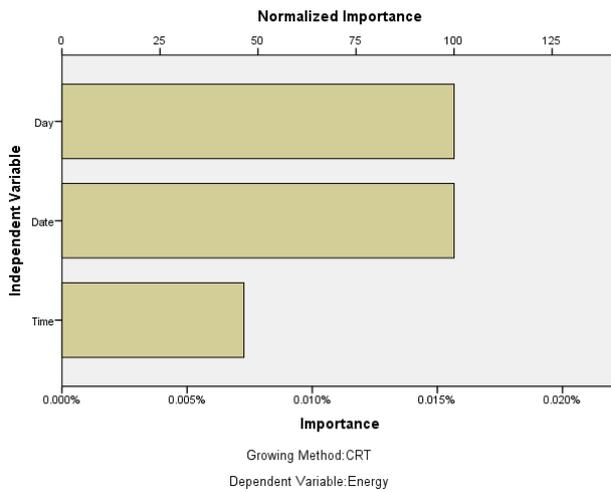


Figura 98 - Albero di classificazione (frequenza temporale 1 ora, piano terra, illuminazione)



Node	N	Percent	Mean
6	70	41.7%	1.0100
5	30	17.9%	.8567
4	20	11.9%	.7550
1	48	28.6%	.6521

Figura 99 - Analisi di sensibilità e caratteristiche dei nodi terminali (frequenza temporale 1 ora, piano terra, illuminazione, energia)

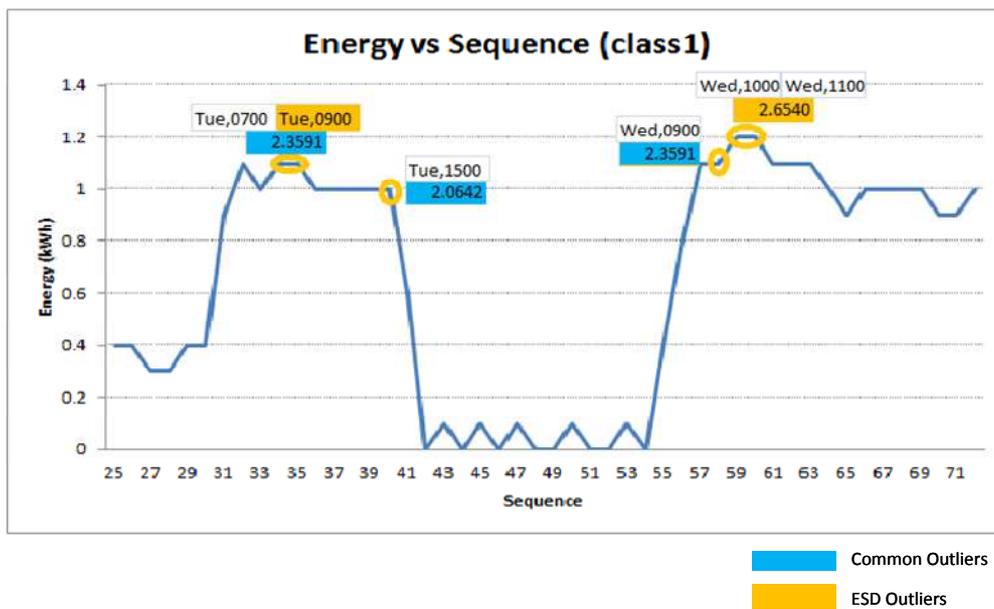


Figura 100 - Variazione dell'energia elettrica con indicazione degli outlier per una classe di dati (frequenza temporale 1 ora, piano terra, illuminazione, energia)

From *Mon, 16/07/2012 20:00* To *Fri, 20/07/2012 23:00*

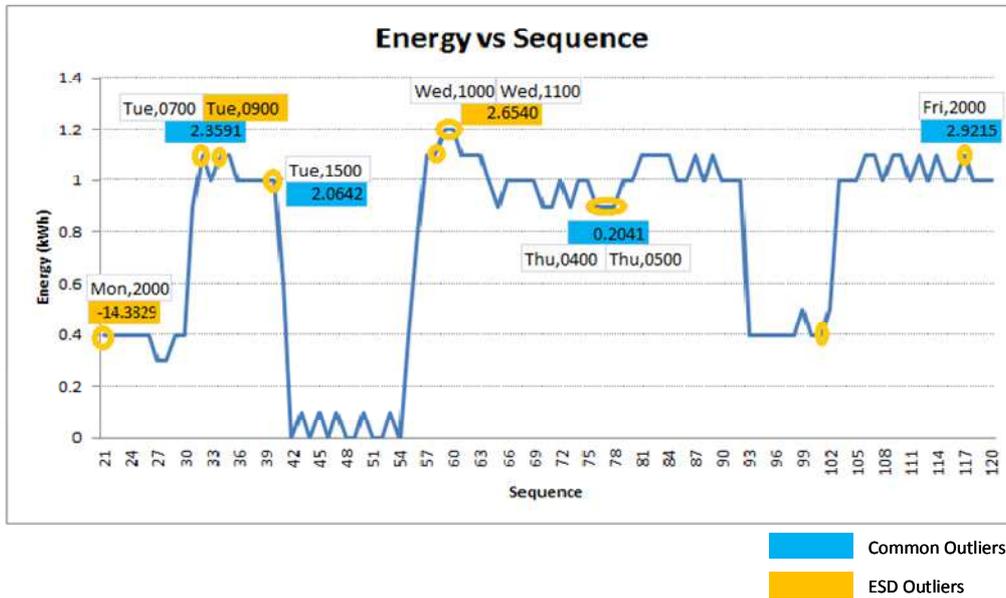


Figura 101 – Variazione dell’energia elettrica attiva nel tempo con dati non classificati (frequenza temporale 1 ora, piano terra, illuminazione, energia)

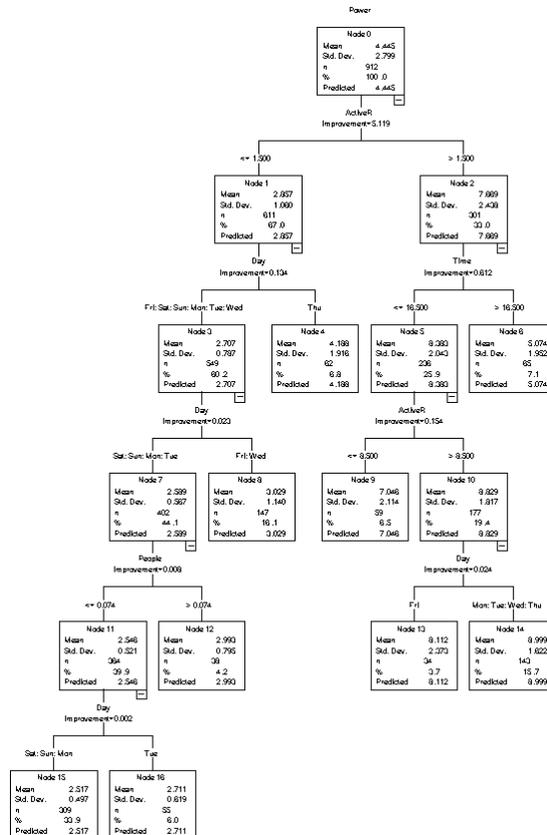
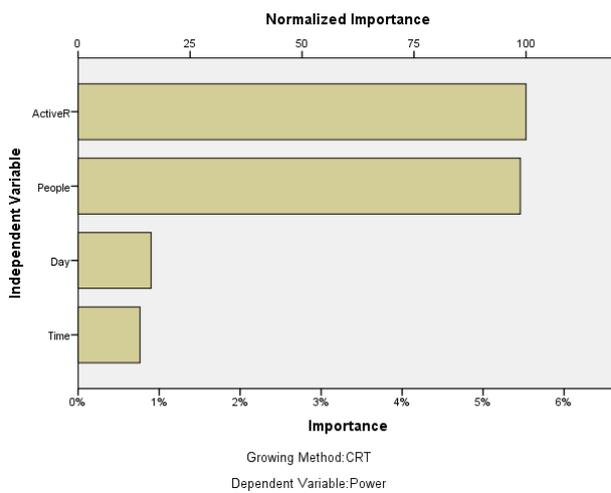


Figura 102 - Albero di classificazione (frequenza temporale 1 ora, piano primo, FEM, potenza)



**Gain Summary for Nodes**

Node	N	Percent	Mean
14	143	15.7%	8.9994
13	34	3.7%	8.1118
9	59	6.5%	7.0463
6	65	7.1%	5.0735
4	62	6.8%	4.1881
8	147	16.1%	3.0293
12	38	4.2%	2.9932
16	55	6.0%	2.7105
15	309	33.9%	2.5172

Figura 103 - Analisi di sensibilità e caratteristiche dei nodi terminali (frequenza temporale 1 ora, piano primo, FEM, potenza)

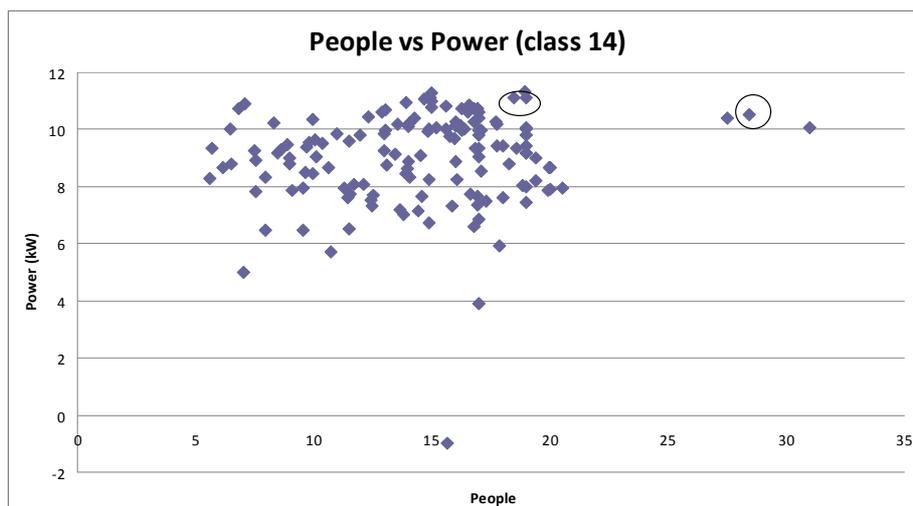


Figura 104 – Scatter plot della potenza massima oraria in funzione del numero degli occupanti per una classe di dati (frequenza temporale 1 ora, piano primo, FEM, potenza)

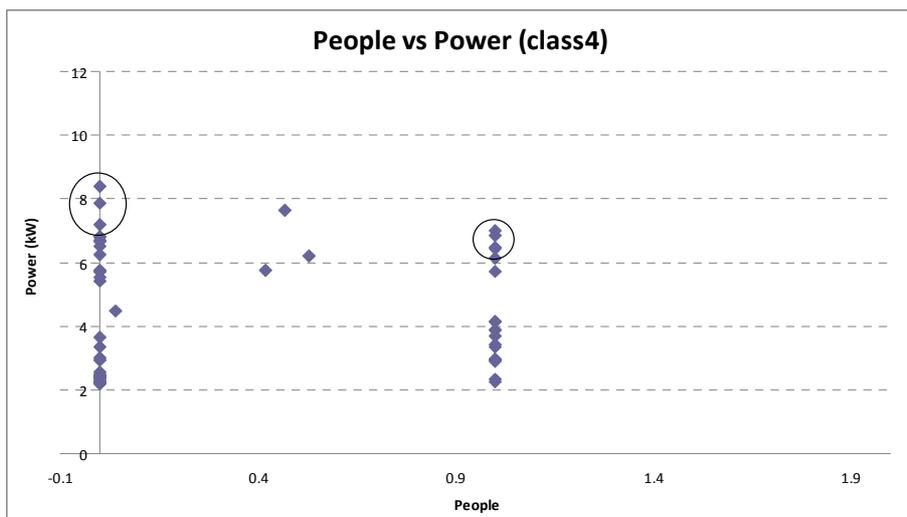


Figura 105 - Scatter plot della potenza massima oraria in funzione del numero degli occupanti per una classe di dati (frequenza temporale 1 ora, piano primo, FEM, potenza)

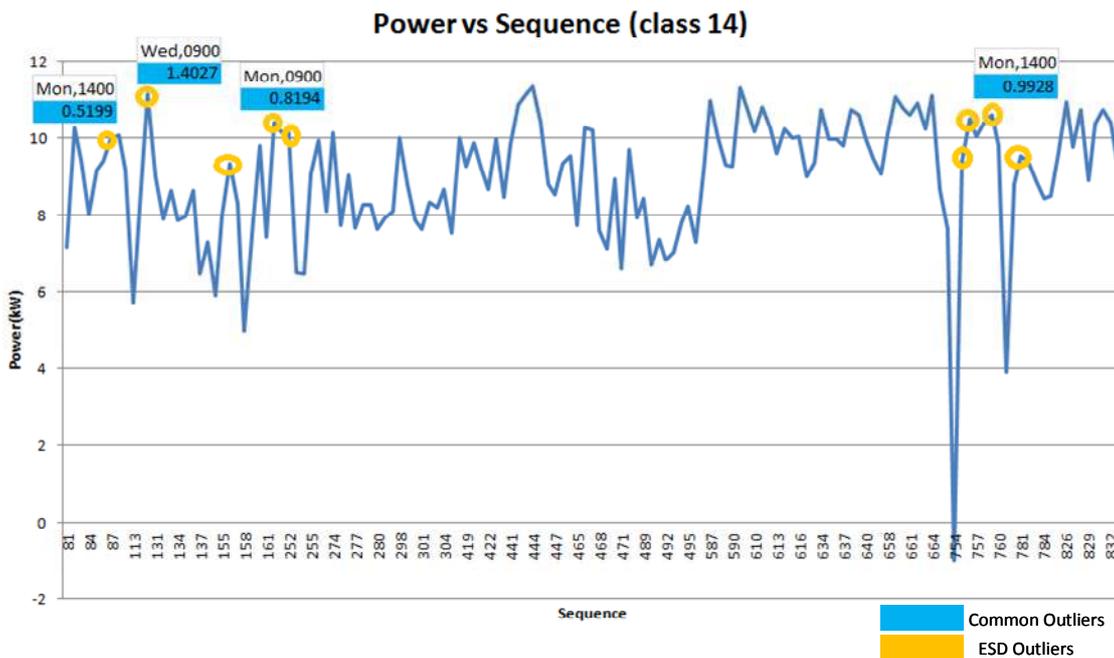


Figura 106 - Variazione della potenza elettrica attiva con indicazione degli outlier per una classe di dati (frequenza temporale 1 ora, piano primo, FEM, potenza)

From *Mon, 18/06/2012 03:00* To *Fri, 20/07/2012 08:00*

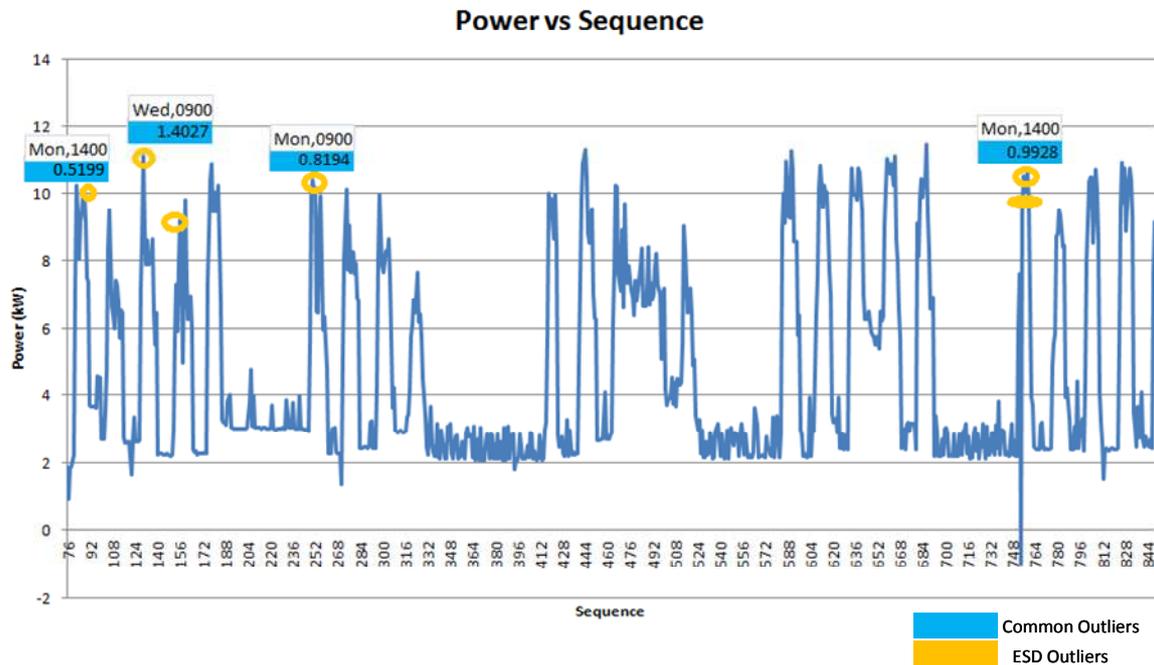


Figura 107 – Variazione della potenza elettrica attiva nel tempo con dati non classificati (frequenza temporale 1 ora, piano primo, FEM, potenza)

A seguito delle numerose simulazioni effettuate si è osservato e verificato che per i dati con frequenza temporale bassa (1 minuto) il numero di falsi positivi (falsi allarmi) risulta essere maggiore, per cui la metodologia proposta, nonostante abbia consentito di rilevare il fault artificiale generato con tutte le frequenze temporali sperimentate, risulta meno robusta con dati che presentano una frequenza temporale inferiore a 15 minuti.

In generale le anomalie riscontrate nell'edificio F40, oltre a quella generata artificialmente, relativamente all'uso finale illuminazione, sono state rilevate durante le ore notturne (potenza anomala in corrispondenza di una presenza di occupanti nulla) e al mattino molto presto tra le 6 e le 8 in presenza di valori di potenza elettrica anomali in corrispondenza di pochissimi occupanti.

Inoltre, è il caso di osservare come alcune anomalie rilevate siano in realtà riconducibili a errori di acquisizione del sistema di monitoraggio (sia dei consumi, sia dei dati di occupazione), errori che sono stati allo stesso modo opportunamente identificati e contestualizzati attraverso la metodologia introdotta nel presente lavoro.

Le anomalie riscontrate per la potenza elettrica dovuta alla forza elettromotrice sono state rilevate principalmente durante l'orario di lavoro. Si è osservato una forte dipendenza della potenza dovuta alla FEM con il numero di stanze attive e di occupanti. In generale la metodologia, per come è concepita, individua un valore anomalo in funzione del valore assunto dalla variabile dipendente, per cui un valore di potenza elevato in corrispondenza di una presenza elevata di persone o di stanze attive è ritenuto uno stato normale. Le anomalie riscontrate si sono verificate in corrispondenza di valori di potenza elevati (comparabili con quelli individuati con un numero elevato di persone) e un numero molto basso di occupanti.

Il metodo proposto e implementato si è rivelato robusto e particolarmente adatto ai fini diagnostici e quindi adatto a convertire dati di consumo energetico in informazioni utili all'ottimizzazione della prestazione del sistema.

### *Data fusion per la determinazione delle cause connesse alle anomalie riscontrate*

Sulla base del processo concepito per lo studio delle logiche diagnostiche attraverso cui individuare le possibili cause associate alle anomalie riscontrate (attraverso lo step concettuale del “situation assessment”), sono state implementate alcune regole di individuazione automatica delle cause associabili ad alcune tipologie di anomalie attraverso tecniche di data fusion (logica fuzzy). In particolare questa analisi è stata condotta sulla base di alcuni valori di pre-processing dei dati relativi all’illuminazione e alle relative cause associate attraverso lo step concettuale del situation assessment, inseriti nella Tabella di diagnostica sviluppata nel PAR 2010 e rivisitata e migliorata nell’attività di ricerca relativa al PAR 2011 da parte di tutti i partner. I risultati di questa attività sono illustrati nel Rapporto Tecnico sviluppato dall’Università di Roma Tre, a cui si rimanda per approfondimenti.

### *Cenni sulla teoria degli insiemi sfumati (fuzzy set) e logica sfumata (fuzzy logic)*

Un insieme sfocato o insieme sfumato (in inglese fuzzy set) è un insieme che rientra in un'estensione della teoria classica degli insiemi. Il concetto è stato introdotto da Lotfi A. Zadeh, nel 1965, come estensione della classica definizione di insieme. Un insieme sfocato è caratterizzato da una funzione di grado di appartenenza, che mappa gli elementi di un universo in un intervallo reale continuo [0;1]. Il valore 0 (zero) indica che l'elemento non è per niente incluso nell'insieme sfocato, il valore 1 (uno) indica che l'elemento è certamente incluso nell'insieme (questi due valori corrispondono alla teoria classica degli insiemi), mentre i valori tra zero e uno indicano il grado di appartenenza dell'elemento all'insieme sfocato in questione. Per un universo X e una data funzione del grado di appartenenza  $f : X \rightarrow [0;1]$ , l'insieme sfocato A è definito come:

$$A = \{ ( x, f(x) ) \mid x \in X \}.$$

Gli insiemi fuzzy non godono di relazioni di univocità e biunivocità fra gli elementi di insiemi diversi. Pertanto, gli insiemi fuzzy sono un'estensione, ma non una generalizzazione degli insiemi della teoria classica; ovvero sono una teoria che allarga ed è inclusa in quella degli insiemi, piuttosto che includerla in una teoria nuova e più vasta. Un semplice passaggio di notazione da un discreto fra 0 e 1 a un intervallo continuo di appartenenza fra gli stessi due estremi rappresenta un notevole salto concettuale ed è un esempio dell'importanza di disporre di una notazione matematica sintetica e potente. Sugli insiemi fuzzy valgono gli operatori insiemistici: unione, intersezione e complementare. Valgono inoltre le leggi di De Morgan; non valgono invece il principio del terzo escluso (per cui l'unione di un insieme con il suo complementare ha somma pari a 1) e il principio di non-contraddizione (l'intersezione di un insieme con il suo complementare è un insieme vuoto). Il discorso ovviamente è valido in quanto la complementarità è definita indipendentemente da questi principi fondamentali di logica (e da tutti gli altri, che ne sono una derivazione) come proprietà di un singolo insieme e non di due o più insiemi in relazione tra loro. Vi sono vari modi possibili di generalizzare gli operatori della logica classica.

L'operazione di unione su due insiemi fuzzy A e B si esegue applicando ad ogni elemento x di A e y di B una funzione chiamata s-norm; tipicamente si prende il massimo tra i due valori.

L'operazione di intersezione invece viene effettuata utilizzando funzioni t-norm, tipicamente la funzione minimo; per definire invece il complementare di un insieme, si calcola il nuovo grado di appartenenza di un elemento al nuovo insieme B come 1-grado di appartenenza ad A

La logica fuzzy o logica sfumata o logica sfocata è una logica in cui si può attribuire a ciascuna proposizione un grado di verità compreso tra 0 e 1. È una logica polivalente, e pertanto un'estensione della logica booleana. È fortemente legata alla teoria degli insiemi sfocati e, già intuita da Cartesio, Bertrand Russell, Albert Einstein, Werner Karl Heisenberg, Jan Łukasiewicz e Max Black, venne concretizzata da Lotfi Zadeh il quale, nei primi anni sessanta, professore all'Università della California di Berkeley, molto noto per i suoi contributi alla teoria dei sistemi, cominciò ad avvertire che le tecniche tradizionali di analisi dei sistemi erano eccessivamente ed inutilmente accurate per molti dei problemi tipici del mondo reale. L'idea di grado d'appartenenza, il concetto divenuto poi la spina dorsale della teoria degli insiemi sfumati, fu da lui introdotta nel 1964, e ciò portò in seguito, nel 1965, alla pubblicazione di un primo articolo, ed alla nascita della logica sfumata.

Nel 1994 Zadeh scriveva: « Il termine logica fuzzy viene in realtà usato in due significati diversi. In senso stretto è un sistema logico, estensione della logica a valori multipli, che dovrebbe servire come logica del ragionamento approssimato. Ma in senso più ampio logica fuzzy è più o meno sinonimo di teoria degli insiemi fuzzy cioè una teoria di classi con contorni indistinti. Ciò che è importante riconoscere è che oggi il termine logica fuzzy è usato principalmente in questo significato più vasto ».

La teoria degli insiemi fuzzy costituisce quindi un'estensione della teoria classica degli insiemi poiché per essa non valgono i principi aristotelici di non-contraddizione e del terzo escluso (detto anche "tertium non datur"). Si ricorda che, dati due insiemi A e !A (non-A), il principio di non-contraddizione stabilisce che ogni elemento appartenente all'insieme A non può contemporaneamente appartenere anche a non-A; secondo il principio del terzo escluso, d'altro canto, l'unione di un insieme A e del suo complemento non-A costituisce l'universo del discorso. In altri termini, se un qualunque elemento non appartiene all'insieme A, esso necessariamente deve appartenere al suo complemento non-A.

Tali principi logici conferiscono un carattere di rigida bivalenza all'intera costruzione aristotelica, carattere che ritroviamo, sostanzialmente immutato ed indiscusso, sino alla prima metà del XX secolo, quando l'opera di alcuni precursori di Zadeh (in primis Max Black e Jan Łukasiewicz) permette di dissolvere la lunga serie di paradossi cui la bivalenza della logica classica aveva dato luogo e che essa non era in grado di chiarire. Il più antico e forse celebre di tali paradossi è quello attribuito ad Ebulide di Mileto (IV secolo a.C.), noto anche come paradosso del mentitore, il quale, nella sua forma più semplice, recita:

***"Il cretese Epimenide afferma che il cretese è bugiardo"***

Ad ogni modo, il paradosso del mentitore nella sua forma proposizionale appartiene alla classe dei paradossi di autoriferimento. Ogni membro di questa classe presenta una struttura del tipo:

***"Questa frase è falsa"***

Orbene, la logica aristotelica si dimostra incapace di stabilire se queste proposizioni siano vere o false. Essa è strutturalmente incapace di dare una risposta proprio in quanto bivalente, cioè proprio perché ammette due soli valori di verità: vero o falso, bianco o nero, tutto o niente; ma giacché il paradosso contiene un riferimento a se stesso, non può assumere un valore che sia ben definito (o vero o falso) senza autocontraddirsi: ciò implica che ogni tentativo di risolvere la questione posta si traduce in un'oscillazione senza fine tra due estremi opposti. Il vero implica il falso, e viceversa. Nella logica fuzzy l'esistenza di circostanze paradossali, vale a dire di situazioni in cui un certo enunciato è contemporaneamente vero e falso allo stesso grado, è evidenziata da ciascuno dei punti d'intersezione tra una generica funzione d'appartenenza e il suo complemento, avendo necessariamente tali punti ordinati pari a  $\frac{1}{2}$ . Ciò in quanto il valore di verità della proposizione in questione coincide con il valore di verità della sua negazione.

Con grado di verità o valore di appartenenza si intende quindi quanto è vera una proprietà: questa può essere, oltre che vera (= a valore 1) o falsa (= a valore 0) come nella logica classica, anche pari a valori intermedi.

Gli operatori logici AND, OR e NOT della logica booleana sono definiti di solito, nell'ambito della fuzzy logic, come operatori di minimo, massimo e complemento; in questo caso, sono anche detti operatori di Zadeh, in quanto introdotti per la prima volta nei lavori originali dello stesso Zadeh. Pertanto, per le variabili fuzzy  $x$  e  $y$  si ha, ad esempio:

$$\text{NOT } x = 1 - v(x)$$

$$x \text{ AND } y = \min(v(x), v(y))$$

$$x \text{ OR } y = \max(v(x), v(y))$$

ove  $v(x)$  rappresenta il valore di verità (funzione di appartenenza nei fuzzy set) nel lattice  $[0,1]$  della variabile  $x$ .

### La logica fuzzy per l'individuazione delle anomalie e per la diagnostica (FDD)

I metodi fuzzy per l'individuazione delle anomalie e per la diagnostica utilizzano la teoria degli insiemi fuzzy per tenere conto delle incertezze associate alla descrizione del comportamento energetico degli edifici [22]. Un modello fuzzy è un insieme di regole fuzzy che descrive la relazione tra un insieme di input e un insieme di output in termini qualitativi (descrizione rule-based) .

Gli schemi fuzzy FDD possono utilizzare modelli fuzzy impliciti, che collegano i sintomi osservati alle anomalie, o espliciti, che descrivono il comportamento del sistema sia quando opera correttamente sia quando sono presenti delle anomalie. Tra i principali vantaggi degli schemi fuzzy FDD si ha che i modelli fuzzy riescono a tenere conto del comportamento altamente incerto e non lineare tipico, ad esempio, degli impianti HVAC [23] e che l'implementazione software della logica fuzzy è computazionalmente poco onerosa. Tra gli svantaggi si ha invece che gli schemi fuzzy FDD portano a risultati meno precisi rispetto agli altri approcci e che le descrizioni rule-based, tipiche di questi metodi, sono meno concise di quelle quantitative.

### Sperimentazione

La sperimentazione si è focalizzata sull'implementazione di un modello fuzzy implicito per un caso di anomalia certa di cui fosse nota la causa a priori, in modo tale da verificare la correttezza della metodologia.

Il caso scelto da diagnosticare è stato il seguente :

#### **C13a : luci accese al di fuori degli orari di lavoro**

Per generare tale anomalia il giorno 17 luglio 2012, alla fine dell'orario di lavoro tra le 16.30 e le 17.00, sono state dapprima spente tutte le luci e successivamente è stato generato un picco di potenza accendendole tutte per 30 minuti.

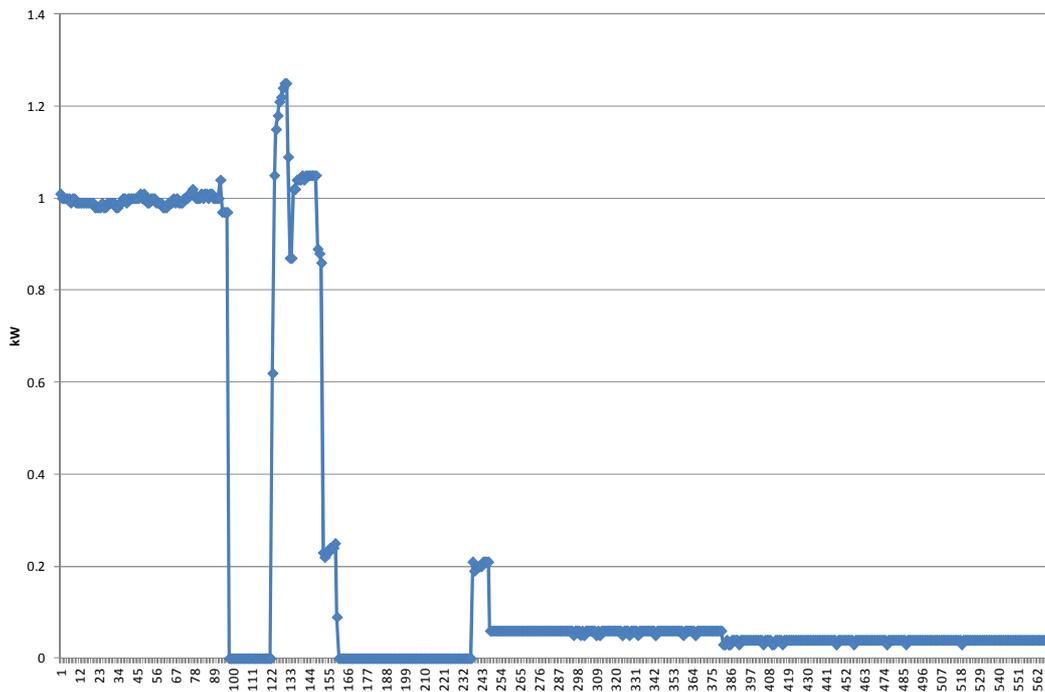


Figura 108 – Anomalia generata.

La causa C13a è definita come:

C13a = S1a AND NOT S30

dove:

S1a = “Accensione contemporanea di un numero eccessivo di luci”

S30 = “Alto numero di stanze occupate fuori orario di lavoro”

ovvero:

S1a = P1a OR P1b OR (0.7P8a + 0.3P8b)

S30 = P51 AND P24c.

Quindi si è proceduto alla fuzzyficazione di tutti i sintomi (preprocessing) coinvolti.

Dapprima sono stati definiti i seguenti fuzzy set :

F1 = “E’ stato rilevato un picco” = “Il valore di SFunction è alto”

F2 = “E’ stato rilevato un outlier” = “Il valore della ZScore Modificata è alto”

Entrambi sono stati modellati con funzioni di appartenenza sigmoidali (Fig. 109):

$\text{sigm}(x) = 1 / \exp(- (x-c)/t)$

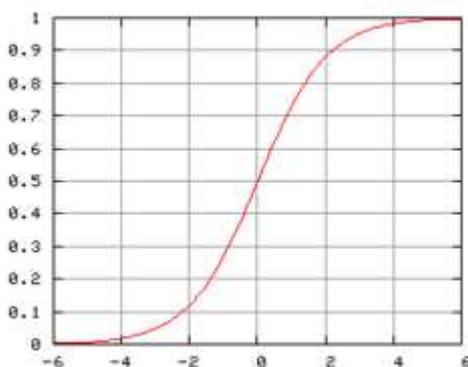


Figura 109 – Sigmoide.

in cui i parametri c e t regolano il punto di flesso di coordinate (c,0.5) e la pendenza nel punto stesso. Nel caso dei fuzzy set in questione i parametri sono stati impostati come segue :

F1 : c=0.08, t=0.1

F2 : c=10, t=8

L’argomento di questi fuzzy set è il valore di potenza al minuto e questi sono stati composti in modo tale da definire il sintomo (sfumato):

P1a = “Outlier di potenza elettrica (illuminazione corridoi)”

e sono state considerate 3 diverse possibili combinazioni : OR logico, AND logico e media aritmetica (AVG), che si può dimostrare essere un operatore intermedio tra i due connettivi logici tradizionali.

Tabella 15 – Valori delle diverse combinazioni di fuzzy set implementate.

DATE	HOUR	S FUNCTION	MZ Score	F1	F2	OR	AND	AVG
17/07/2012	16.31	0.165	0.000	0.70	0.22	0.70	0.22	0.46
17/07/2012	16.37	0.005	54.485	0.32	1.00	1.00	0.32	0.66
17/07/2012	16.38	0.08	54.485	0.50	1.00	1.00	0.50	0.75
17/07/2012	16.42	0.075	44.160	0.49	0.99	0.99	0.49	0.74
17/07/2012	16.55	0.08	45.507	0.50	0.99	0.99	0.50	0.74
<b>17/07/2012</b>	<b>16.58</b>	<b>0.305</b>	<b>36.978</b>	<b>0.90</b>	<b>0.97</b>	<b>0.97</b>	<b>0.90</b>	<b>0.94</b>
17/07/2012	17.06	0.085	9.595	0.51	0.49	0.51	0.49	0.50
17/07/2012	18.25	0.115	7.799	0.59	0.43	0.59	0.43	0.51
17/07/2012	18.34	0.075	7.799	0.49	0.43	0.49	0.43	0.46

In questa tabella è possibile apprezzare il diverso comportamento delle diverse aggregazioni. L’OR genera troppi falsi positivi, l’AND invece rileva solamente quelli sicuri e la media invece ha un comportamento intermedio.

Su questa base è stato definito quindi:

P1a = F1 AND F2

Il P1b ed i P8a e P8b attualmente sono stati definiti come funzioni costanti, in quanto in questa sperimentazione particolare l'anomalia ha riguardato solamente un picco di potenza senza apprezzabili cambiamenti nei trend.

Il P51 = "In orario di lavoro" è stato fuzzyficato usando il sigmoide inverso  $1 - \text{sigm}(x)$ , avente per argomento l'ora del giorno 24h ed impostando i parametri  $c = 16.5$ ,  $t = 0.5$ .

Il P24c = "Percentuale di stanze occupate" è già di per sé un valore sfumato in  $[0,1]$  e quindi non ha bisogno di fuzzyficazione.

Di seguito si riportano i risultati finali dell'indicatore, in cui è stato verificato che quel giorno nell'orario indicato vi era il 75% delle stanze occupate (P24c):

Tabella 16 – Risultati finali dell'indicatore.

DATE	HOUR	P1a	P1b	P8a	P8b	P24c	P51	S1a	S30	C13a = S1a AND NOT S30
17/07/2012	16.31	0.22	0	0	0	0.75	0.50	0.22	0.50	0.22
17/07/2012	16.37	0.32	0	0	0	0.75	0.45	0.32	0.45	0.32
17/07/2012	16.38	0.50	0	0	0	0.75	0.40	0.50	0.40	0.50
17/07/2012	16.42	0.49	0	0	0	0.75	0.35	0.49	0.35	0.49
17/07/2012	16.55	0.50	0	0	0	0.75	0.31	0.50	0.31	0.50
<b>17/07/2012</b>	<b>16.58</b>	<b>0.90</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.75</b>	<b>0.27</b>	<b>0.90</b>	<b>0.27</b>	<b>0.73</b>
17/07/2012	17.06	0.49	0	0	0	0.75	0.23	0.49	0.23	0.49
17/07/2012	18.25	0.43	0	0	0	0.75	0.02	0.43	0.02	0.43
17/07/2012	18.34	0.43	0	0	0	0.75	0.01	0.43	0.01	0.43

È interessante notare che, se quel giorno ci fosse stato lo 0% di stanze occupate (P24c), l'indicatore avrebbe correttamente fornito un valore di allarme più elevato (0.9 vs 0.7) (Tab. 17):

Tabella 17 – Valore dell'indicatore con un numero diverso di stanze occupate.

DATE	HOUR	P1a	P1b	P8a	P8b	P24c	P51	S1a	S30	C13a = S1a AND NOT S30
17/07/2012	16.31	0.22	0	0	0	0	0.50	0.22	0	0.22
17/07/2012	16.37	0.32	0	0	0	0	0.45	0.32	0	0.32
17/07/2012	16.38	0.50	0	0	0	0	0.40	0.50	0	0.50
17/07/2012	16.42	0.49	0	0	0	0	0.35	0.49	0	0.49
17/07/2012	16.55	0.50	0	0	0	0	0.31	0.50	0	0.50
<b>17/07/2012</b>	<b>16.58</b>	<b>0.90</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.27</b>	<b>0.90</b>	<b>0</b>	<b>0.90</b>
17/07/2012	17.06	0.49	0	0	0	0	0.23	0.49	0	0.49
17/07/2012	18.25	0.43	0	0	0	0	0.02	0.43	0	0.43
17/07/2012	18.34	0.43	0	0	0	0	0.01	0.43	0	0.43

Da tali risultati è possibile concludere che la metodologia proposta è in grado di risalire correttamente alla causa che ha generato l'anomalia in esame, fornendo un valore sfumato del grado di allarme in funzione delle variabili che vengono monitorate.

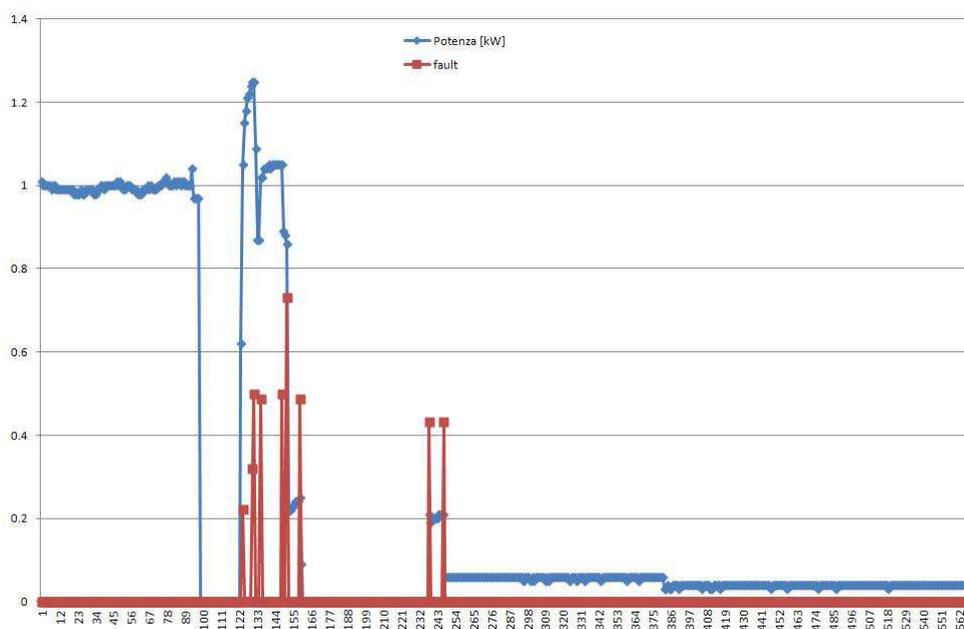


Figura 110 – Grado di allarme dell’indicatore in corrispondenza del fault.

## Conclusioni

L’esperienza dell’attività di progettazione ed installazione di un sistema di monitoraggio all’interno dell’edificio F40 ha messo in luce le problematiche, a livello soprattutto operativo, che un’operazione di questa portata, effettuata su un edificio esistente, può comportare.

La sensorizzazione di tutti gli uffici e laboratori consente certamente di poter effettuare una diagnostica avanzata del sistema edificio-impianti, ma comporta spese e tempi di realizzazione consistenti. Il caso dell’F40, oltretutto, per come è stato strutturato il progetto, risulta essere di difficile esportazione sul mercato.

Da tale esperienza è nata la necessità di ideare un kit minimo di sensoristica e sistemi di controllo, in grado di potersi facilmente adattare a qualsiasi edificio affrontando spese contenute e tempi di installazione ridotti. Chiaramente il dettaglio di controllo e monitoraggio passa dal livello di stanza al livello di piano, o addirittura di intero edificio, ma la soluzione che, in questo caso, è stata utilizzata per il cluster di 8 edifici, consente comunque di sviluppare sistemi diagnostici per i singoli edifici o per la rete intera, garantendo un’efficace gestione energetica degli stessi.

Il progetto, così strutturato, tende a dimostrare che un adeguato sistema di monitoraggio, diagnostica e controllo da remoto di un edificio o di una rete di edifici, sia in grado di ottenere benefici in termini di costi energetici e comfort degli occupanti.

Il giudizio che consegue allo studio permette di definire il benchmarking come un importante strumento di controllo. Il lavoro di ricerca rappresenta l’inizio di un’attività che potrà concludersi quando i dati raccolti permetteranno il calcolo degli indicatori proposti e che ha come finalità l’individuazione di politiche di consumo attraverso il controllo periodico degli indicatori stessi. Si fa notare che un’ applicazione efficace del processo valutativo non dovrà trascurare i seguenti aspetti:

- la composizione del campione la cui numerosità migliora l’accuratezza dell’analisi;
- la qualità dei dati raccolti che devono risultare omogenei ai fini della comparazione.

Relativamente al primo aspetto, le analisi proposte sul cluster composto da 8 edifici dovranno essere accompagnate da tecniche adatte al trattamento di piccoli campioni.

Per quanto attiene invece al secondo aspetto, immaginando di estendere le analisi a campioni più ampi, risulta essenziale l'attenzione alla qualità dei dati raccolti che dovrebbero risultare "standard".

Sulla base dei dati di monitoraggio energetici ed ambientali, l'attività di ricerca si è inoltre focalizzata ed ha avuto come scopo l'individuazione di un metodo robusto per l'individuazione automatica di valori anomali di energia e potenza per effettuare analisi diagnostiche. L'analisi si è orientata allo sviluppo di una procedura di diagnostica avanzata attraverso l'applicazione della metodologia concepita nel precedente contratto (PAR 2008-09), finalizzata a supportare la complessa operazione decisionale legata all'individuazione delle cause connesse alle anomalie riscontrabili, a partire dai dati di monitoraggio elaborati secondo grandezze e indicatori aggregati.

In particolare, l'analisi si è concentrata sull'individuazione concettuale dei criteri e dei metodi attraverso cui attivare il processo diagnostico, e quindi sulla metodologia necessaria a individuare gli eventi anomali sulla base dei dati di monitoraggio.

A tale scopo è stata dapprima condotta una vasta analisi bibliografica sui principali metodi adottati per condurre analisi di "fault detection and diagnosis" (FDD), proponendo una classificazione tra quelli basati su modelli quantitativi, qualitativi e su dati di serie storiche. Dall'analisi critica effettuata sono emersi i vantaggi e gli svantaggi associati a ogni metodo e approccio, e in generale la necessità di condurre sempre un'analisi preliminare (*prior knowledge*) volta alla conoscenza delle dinamiche e della logica dei sistemi energetici a servizio dell'edificio, necessaria a interpretare opportunamente i risultati delle analisi diagnostiche operate, e a condurre conseguenti azioni di ottimizzazione.

Nello studio effettuato sono stati applicati sia metodi basati sull'utilizzo di modelli inversi sia metodi statistici, seguendo un approccio del tipo top down e quindi finalizzato a condurre analisi di rilevamento di anomalie sulla base di dati di monitoraggio relativi all'intero edificio F40 o a una sua porzione.

La modellazione dei consumi dell'edificio F40 con modelli inversi è stata effettuata utilizzando reti neurali (RNA) ed ensembling di reti neurali (BEM), il cui training è stato svolto a partire da dati relativi a quattro settimane. Sono stati pertanto sviluppati modelli neurali affidabili concepiti come strumenti per l'individuazione di anomalie in analisi diagnostiche da condurre attraverso l'analisi statistica dei residui. Riguardo ai metodi statistici applicati è emersa la necessità di provvedere a una classificazione dei dati in funzione degli attributi (variabili indipendenti misurate), al fine di suddividere il campione di dati in classi omogenee prima di condurre l'analisi di individuazione delle anomalie.

Il metodo selezionato per la classificazione dei dati è il metodo CART, il quale è risultato flessibile sia rispetto alla qualità dei dati da trattare che alla loro tipologia. Inoltre tale tecnica di classificazione ha comportato la costruzione di alberi decisionali per i dati di monitoraggio analizzati per l'edificio F40. Il metodo proposto consentirà di estrapolare le regole dagli alberi decisionali, consentendo la classificazione dei dati in tempo reale sulla base dei valori che assumono le variabili indipendenti per la successiva individuazione di anomalie. Lo studio condotto pertanto è stato concepito sull'esigenza di individuare una metodologia di classificazione dei dati che fosse compatibile con un'analisi di fault detection in tempo reale.

Per la determinazione dei valori anomali per ogni classe individuata sono stati implementati due diversi metodi, i cui modelli si basano su diversi principi metodologici per la determinazione di valori anomali di un set di dati.

A partire dai dati di monitoraggio dell'edificio F40, sono stati condotti numerosi test con l'applicazione di questi metodi alle variabili dipendenti energia, potenza massima, media e minima per gli usi finali FEM e illuminazione, elaborate con diversa frequenza temporale, considerando come attributi per la costruzione dell'albero di classificazione, la data, il giorno della settimana, il tempo, il numero di stanze attive e il numero di occupanti corrispondenti.

In generale la metodologia adottata si è rivelata robusta e affidabile, e ha consentito per tutti i casi esaminati di individuare un fault artificiale appositamente generato per verificarne l'affidabilità.

Inoltre, è stato verificato che per tutte le simulazioni effettuate gli indici di diagnostica introdotti risultano essere particolarmente efficaci poiché assumono valori elevati in modulo in corrispondenza delle anomalie rilevate.

A seguito delle numerose simulazioni effettuate si è osservato e verificato che per i dati con frequenza temporale bassa (1 minuto) il numero di falsi positivi (falsi allarmi) risulta essere maggiore, per cui la metodologia proposta, nonostante abbia consentito di rilevare il fault artificiale con tutte le frequenze temporali sperimentate, risulta meno robusta con dati che presentano una frequenza temporale inferiore a 15 minuti.

Inoltre, alcune anomalie rilevate sono riconducibili a errori di acquisizione del sistema di monitoraggio (sia dei consumi, sia dei dati di occupazione), errori che sono stati allo stesso modo opportunamente identificati e contestualizzati attraverso la metodologia introdotta nel presente lavoro.

Il metodo proposto e implementato si è rivelato robusto e particolarmente adatto ai fini diagnostici e quindi adatto a convertire dati di consumo energetico in informazioni utili all'ottimizzazione della prestazione del sistema.

Infine sulla base del processo concepito nel PAR 2010 per lo studio delle logiche diagnostiche attraverso cui individuare le possibili cause associate alle anomalie riscontrate, sono state implementate alcune regole di individuazione automatica delle cause associabili ad alcune tipologie di anomalie attraverso tecniche di data fusion (logica fuzzy). La sperimentazione si è focalizzata sull'implementazione di un modello fuzzy implicito per un caso di anomalia generata artificialmente di cui fosse nota la causa a priori, in modo tale da verificare la correttezza della metodologia.

La metodologia proposta si è rivelata in grado di risalire correttamente alla causa che ha generato l'anomalia in esame, fornendo un valore sfumato del grado di allarme in funzione delle variabili che vengono monitorate.

## Appendici

### *Appendice 1*

Schede riassuntive identificativo sensoristica F40

Piano Terra

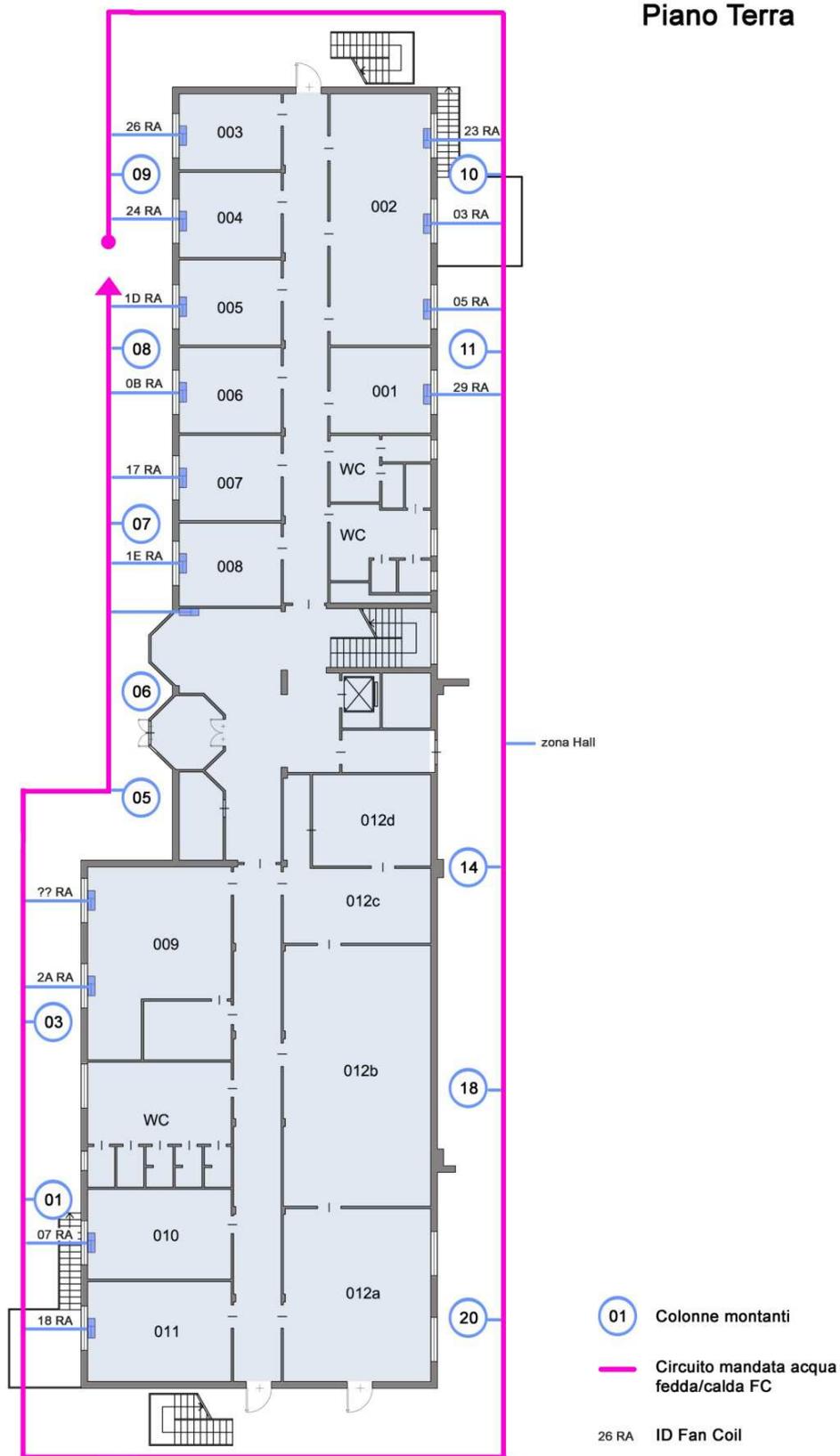


Figura A1.1: Circuito idronico a servizio dei fancoils: Piano terra

**Piano Primo**

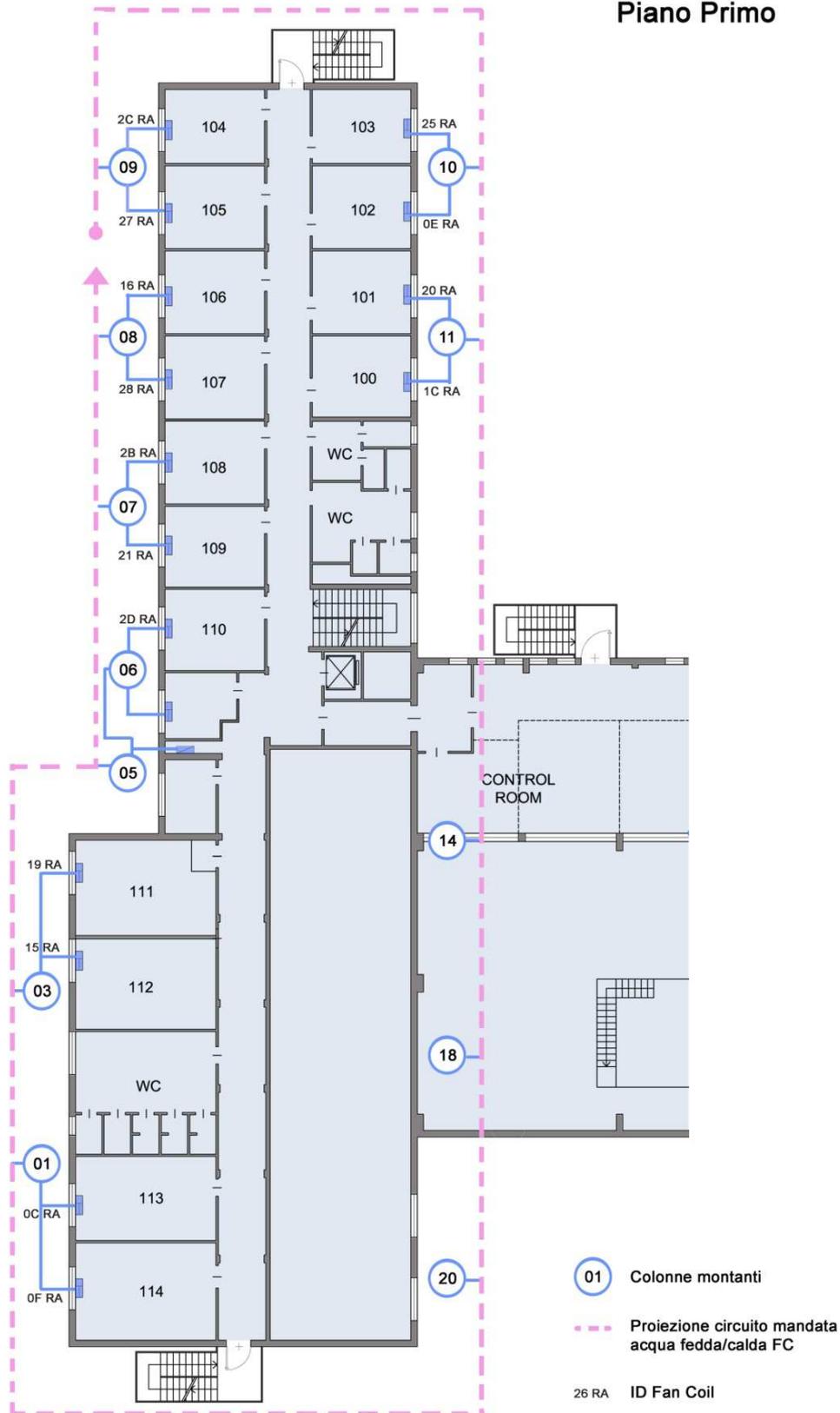


Figura A1.2: Circuito idronico a servizio dei fancoils: Piano Primo

Piano Secondo

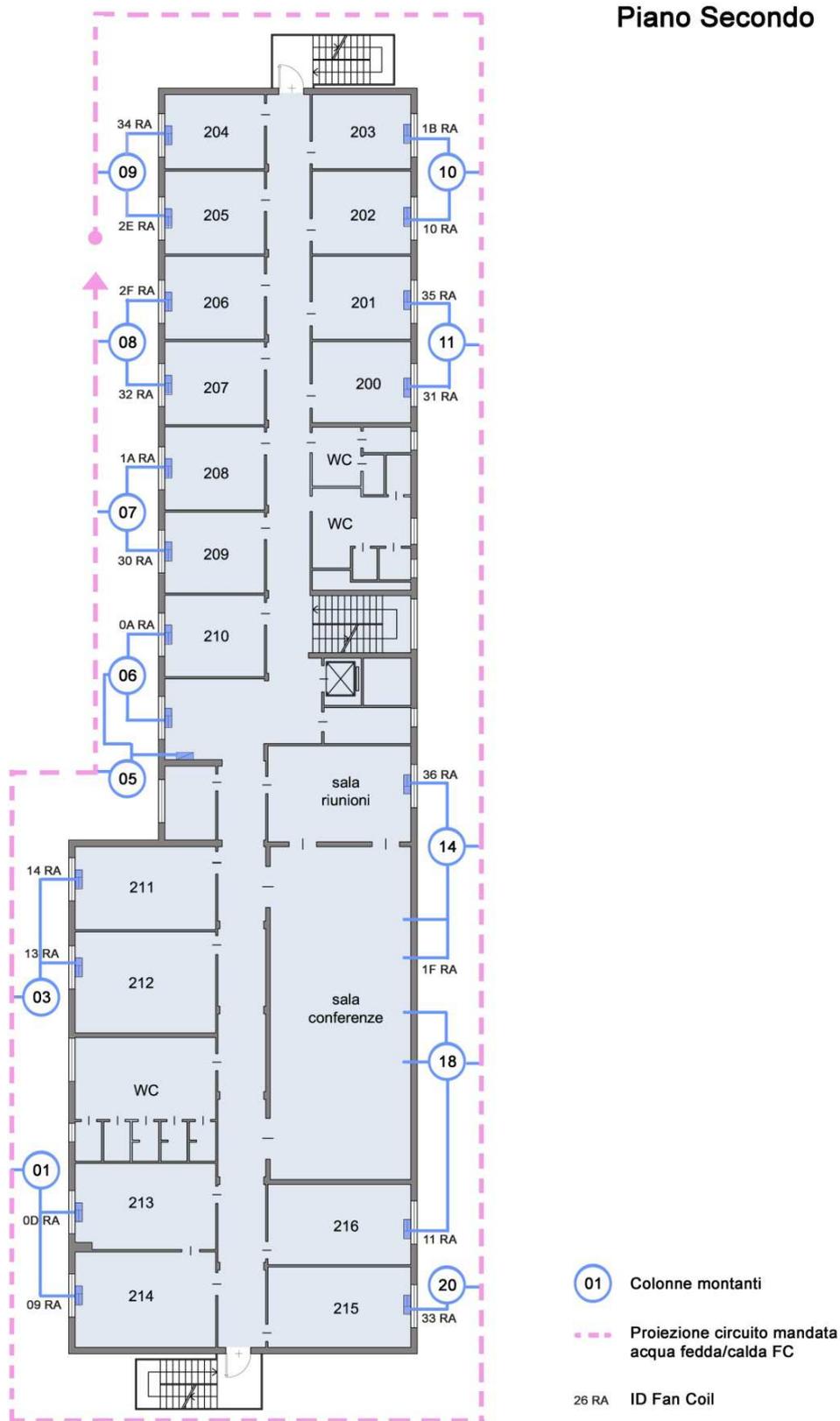


Figura A1.3: Circuito idronico a servizio dei fancoils: Piano Secondo

## Piano Terra



Figura A1.4: Piano Terra: rappresentazione grafica della sensoristica installata negli uffici. In figura si identificano le stanze monitorate, i sensori installati, gli apparecchi di illuminazione, i fancoils e i dispositivi di comunicazione per la trasmissione dati via powerline.

### Piano Primo

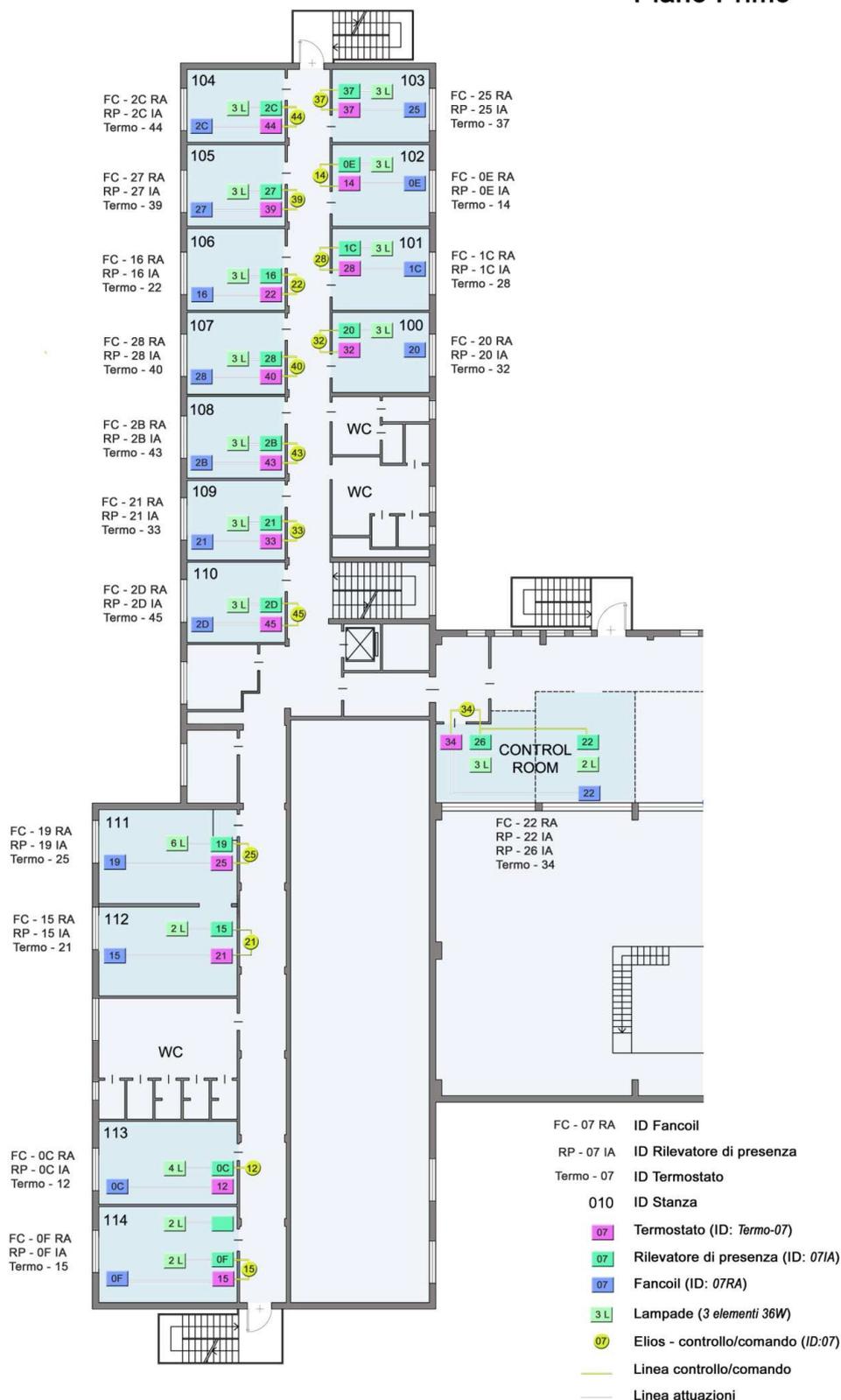


Figura A1.5: Piano Primo: rappresentazione grafica della sensoristica installata negli uffici. In figura si identificano le stanze monitorate, i sensori installati, gli apparecchi di illuminazione, i fancoils e i dispositivi di comunicazione per la trasmissione dati via powerline.

## Piano Secondo

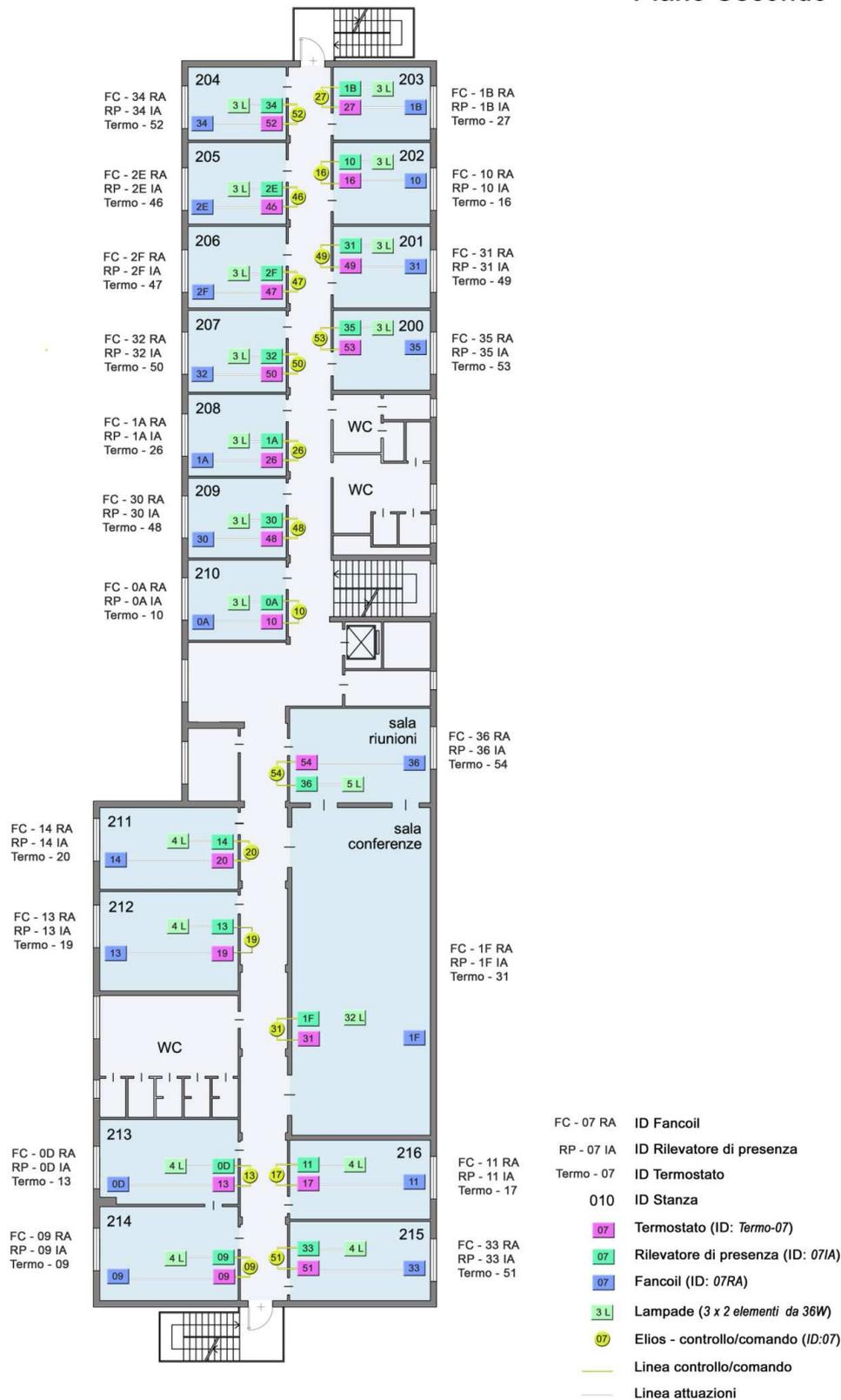


Figura A1.6: Piano Secondo: rappresentazione grafica della sensoristica installata negli uffici. In figura si identificano le stanze monitorate, i sensori installati, gli apparecchi di illuminazione, i fancoils e i dispositivi di comunicazione per la trasmissione dati via powerline.

Tabella A1.1: Dati relativi alla geometria e all'occupazione degli ambienti

Piano	Stanza	Destinazione uso	Esposizione	Superficie	Occupanti	
				m <sup>2</sup>	N°	
Piano Terra	001	officina	Est	15,0	0-1	
	002	laboratorio	Nord-Est	44,0	0-1	
	003	ufficio	Nord-Ovest	13.5	2	
	004	ufficio	Ovest	15.2	1	
	005	ufficio	Ovest	15.2	0	
	006	ufficio	Ovest	15,0	2	
	007	ufficio	Ovest	15.2	1	
	008	ufficio	Ovest	14.8	2	
	009	laboratorio	Nord-Ovest	38.7	0-1	
	010	laboratorio	Ovest	22.5	0-1	
	011	laboratorio	Sud-Ovest	25,0	0-1	
		Corridoio PT-02	-	-	132,0	-
Primo Piano	100	ufficio	Est	14.5	2	
	101	ufficio	Est	14.8	1	
	102	ufficio	Est	14.8	1	
	103	ufficio	Nord-Est	13.2	1	
	104	ufficio	Nord-Ovest	13,4	1	
	105	ufficio	Ovest	15,0	2	
	106	ufficio	Ovest	15,0	2	
	107	sgabuzzino	Ovest	15,0	1	
	108	ufficio	Ovest	14.8	2	
	109	ufficio	Ovest	14.6	2	
	110	ufficio	Ovest	14.6	2	
	111	CED	Nord-Ovest	27.8	3	
	112	CED	Ovest	20,0	2	
	113	ufficio	Ovest	21.4	2	
	114	ufficio	Ovest	24.7	3	
		Control Room	ufficio	Sud-Ovest	36.2	4
		Corridoio 1P-04	-	-	106,0	-

Secondo Piano	200	ufficio	Est	14,0	1
	201	ufficio	Est	15,0	1
	202	ufficio	Est	14,4	2
	203	ufficio	Nord-Est	14,6	1
	204	ufficio	Nord-Ovest	13,5	1
	205	ufficio	Ovest	15,0	1
	206	ufficio	Ovest	15,2	2
	207	ufficio	Ovest	15,2	1
	208	ufficio	Ovest	15,2	1
	209	ufficio	Ovest	14,8	1
	210	ufficio	Ovest	14,8	2
	211	ufficio	Nord-Ovest	21,0	1
	212	ufficio	Ovest	25,2	2
	213	ufficio	Ovest	20,3	1
	214	ufficio	Sud-Ovest	24,0	1
	215	ufficio	Sud-Est	20,0	1
	216	ufficio	Est	20,0	1
	Sala conferenze	Sala conferenze	Est	81,2	max 47
	Sala riunioni	Sala riunioni	Est	25,0	max 12
	stanza servizio	stanza servizio	Ovest	?	-
Corridoio 2P-06	-	-	117,0	-	

Tabella A1.2: Dati relativi ad apparecchiature elettroniche e impiantistiche installate negli ambienti

Piano	Stanza	computers	stampanti	apparecchi illuminanti		apparecchi illuminanti (EMERGENZA)		fancoils
		N°	N°	N°	potenza (W)	N°	potenza (W)	N°
Piano Terra	001	macchine utensili	-	4	36	2	36	1
	002	macchine utensili	-	12	36	6	36	3
	003	2	2	4	36	2	36	1
	004	1	0	4	36	2	36	1
	005	0	0	4	36	2	36	1
	006	3	2	4	36	2	36	1
	007	0	0	4	36	2	36	1
	008	2	0	4	36	2	36	1
	009	macchine utensili	-	10	36	4	36	2
	010	macchine utensili	-	6	36	2	36	1
	011	macchine utensili	-	6	36	2	36	1
	Corridoio PT-02	-	0	24	36	12	36	0
Primo Piano	100	2	2	4	36	2	36	1
	101	1	1	4	36	2	36	1
	102	1	1	4	36	2	36	1
	103	2	1	4	36	2	36	1
	104	1	1	4	36	2	36	1
	105	2	2	4	36	2	36	1
	106	2	2	4	36	2	36	1
	107	1	1	4	36	2	36	1
	108	2	1	4	36	2	36	1
	109	2	1	4	36	2	36	1
	110	2	1	4	36	2	36	1
	111	4	1	8	36	4	36	1
	112	4	0	4	36	0	-	1
	113	2	2	6	36	2	36	1
	114	3	2	6	36	2	36	1
	Control Room	7	2	10	36	-	-	1
Corridoio 1P-04	-	1	20	36	12	36	0	

Secondo Piano	200	1	1	4	36	2	36	1
	201	1	1	4	36	2	36	1
	202	2	2	4	36	2	36	1
	203	2	1	4	36	2	36	1
	204	1	1	4	36	2	36	1
	205	1	1	4	36	2	36	1
	206	1	1	4	36	2	36	1
	207	1	1	4	36	2	36	1
	208	1	1	4	36	2	36	1
	209	3	1	4	36	2	36	1
	210	4	1	4	36	2	36	1
	211	1	1	6	36	2	36	1
	212	2	2	6	36	2	36	0
	213	1	1	6	36	2	36	1
	214	1	1	0	-	0	-	1
	215	1	1	6	36	2	36	1
	216	1	1	6	36	2	36	1
	Sala conferenze	-	-	64	18	-	-	?
Sala riunioni	-	-	5	36	-	-	1	
stanza servizio	-	1	1	36	-	-	1	
Corridoio 2P-06	-	2	22	36	12	36	0	

Tabella A1.3: Dati relativi ad eventuali sistemi schermanti interni, apparecchiature elettroniche ed impianti di climatizzazione presenti negli ambienti.

Piano	Stanza	Schermature interne	Lampade	pompa di calore - raffrescamento		pompa di calore - riscaldamento		stufa elettrica		note
		tipologia	N°	N°	potenza (kW)	N°	potenza (kW)	N°	potenza (kW)	
Piano Terra	001	-	-	-	-	-	-	-	-	
	002	veneziana	-	-	-	-	-	-	-	
	003	veneziana	-	-	-	-	-	-	-	
	004	veneziana	-	-	-	-	-	-	-	
	005	-	-	-	-	-	-	-	-	
	006	-	-	-	-	-	-	-	-	
	007	-	-	-	-	-	-	-	-	Boiler + piastra e bollit.(elettrici) (1000 + 700 W)
	008	-	-	-	-	-	-	-	-	
	009	-	-	-	-	-	-	-	-	
	010	-	-	-	-	-	-	-	-	
	011	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Corridoio PT-02	-	-	-	-	-	-	-	-	
Primo Piano	100	tende	-	1	-	-	-	-	-	3 monitor
	101	-	-	-	-	-	-	-	-	
	102	-	-	-	-	-	-	1	-	
	103	-	-	-	-	-	-	-	-	2 monitor
	104	-	-	-	-	-	-	-	-	
	105	-	-	-	-	-	-	1	-	
	106	veneziana	-	-	-	-	-	-	-	
	107	-	-	-	-	-	-	-	-	
	108	-	-	-	-	-	-	-	-	
	109	veneziana	-	-	-	-	-	-	-	
	110	veneziana	-	-	-	-	-	-	-	
	111	-	-	1	-	-	-	-	-	
	112	-	-	2	-	-	-	-	-	pompa di calore non attiva
	113	-	-	-	-	-	-	-	-	
	114	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Control Room	-	-	1	-	-	-	-	-	attivi 3 server (se a regime)
	Corridoio 1P-04	-	-	-	-	-	-	-	-	

Secondo Piano	200	-	-	-	-	-	-	1	-	
	201	-	1	-	-	-	-	-	-	
	202	-	-	-	-	-	-	1	-	scannner
	203	-	-	-	-	-	-	-	-	
	204	-	1	-	-	-	-	-	-	scannner
	205	-	-	-	-	-	-	-	-	scannner
	206	-	-	-	-	-	-	-	-	
	207	-	-	-	-	-	-	-	-	plotter
	208	-	-	-	-	-	-	-	-	
	209	-	-	-	-	-	-	-	-	scannner
	210	-	-	-	-	-	-	-	-	scannner
	211	-	-	1	7,25	-	7,1	-	-	spilt e frigo
	212	-	1	1	1,22	1	1,22	-	-	scannner
	213	-	-	1	3,5	1	4,2	-	-	fancoil non utilizzato - funzionante
	214	-	3	1	3,5	1	4,2	-	-	fancoil non utilizzato - funzionante
	215	-	1	-	-	-	-	-	-	
	216	-	1	-	-	-	-	-	-	
		Sala conferenze	3 lucernai schermati	-	-	-	-	-	-	-
	Sala riunioni	-	-	-	-	-	-	-	-	
	stanza servizio	-	-	-	-	-	-	-	-	stampante HP laserjet 5550 dtn max 632 W
	Corridoio 2P-06	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tabella A1.4: Scheda caratteristiche tecniche Termostato KRONO

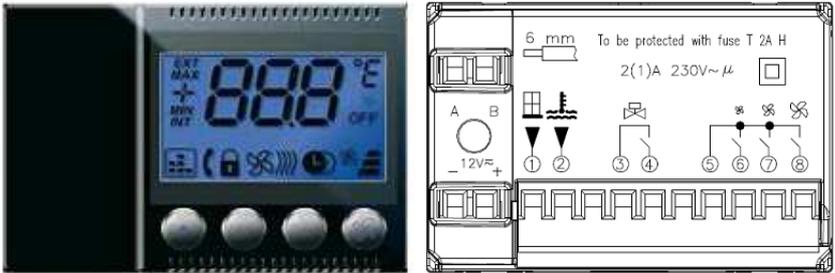
Nome	KRONO
Azienda	Symple life - UMPI
Tipologia sensore	termostato ambiente
Funzionalità	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rilievo di temperatura ambiente</li> <li>- gestione termoregolazione locale in cui è collocato</li> <li>- controllo dell'attuazione delle valvole dei fancoil</li> <li>- controllo dell'attuazione e della variazione delle velocità dei fancoil</li> </ul> (funzionamento sia in modalità stand alone che in connessione ad un sistema di telecontrollo)
Uscite	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bus di campo per l'alimentazione (12-24 Vcc-aa)</li> <li>- bus di segnalazione per la connessione ad altre unità di campo e/o alla periferica di comunicazione poweline</li> <li>- 3 relè (C-NA) per comando 3 velocità fancoil</li> <li>- 1 relè (C-NC) per comando elettrovalvola</li> <li>- 2 ingressi per stato finestra e sonda temperatura acqua</li> </ul>
Dimensioni	scatola 503: 67,5 mm (l) x 45 mm (h) x 55,5 mm (p)
Morsettiere	estraibili 12A - 250V
Condizioni climatiche	da -10°C a + 50 °C - 2000 m s.l.m
Tensione alimentazione	12 Vac/dc
Assorbimento massimo	150 mA (@ 12 Vdc), 250mArms(@ 12 Vac)
Grado di protezione	IP 40
Immagine	 <p>The image shows the physical thermostat on the left and its internal wiring diagram on the right. The thermostat has a digital display showing '88.8 °E' and several control buttons. The wiring diagram shows a terminal block with 8 terminals numbered 1 to 8. Terminal 1 is labeled 'A', terminal 2 is labeled 'B', and terminal 3 is labeled '-12V+'. There are also labels for '6 mm' and 'To be protected with fuse T 2A H'. The diagram includes symbols for a fuse, a relay, and a switch, and shows the connections between the terminals and these components.</p>

Tabella A1.5: Scheda comparativa caratteristiche tecniche rilevatori di presenza

Nome	Sensor - 360	Sensor - 200	MSD Multi-Sensor-Dimmer
Azienda	<i>Vemer</i>	<i>Vemer</i>	<i>Altenburger</i>
Tipologia sensore	Rilevatore di presenza da soffitto 360°	Rilevatore di presenza da parete 200°	Rilevatore di presenza con controllo dell'illuminamento
Dimensioni	138,5 x 46 mm (raggio x h)	72 x 80 x 100 mm (l x h x p)	58,5 x 70,5 x 42 mm (l x h x p)
Temperature	da -20°C a + 40°C	da -20°C a + 40°C	da 0°C a +50°C
Assorbimento	< 2W	1W	1 W
Alimentazione	230V AC 50 HZ	230V AC 50 HZ	230V - 50/60 HZ
Potere interrutz.	10A 250V AC (carico resistivo)	5A 250V AC (carico resistivo)	5A (carico resistivo)
Campo di azione illuminamento	3 - 300 - ∞ lux	5 - 30 - 2000 lux	50 - 800 lux
Tempo di intervento	da 3 secondi a 10 minuti (circa)	da 3 secondi a 30 minuti (circa)	da 10 a 30 secondi / disattivazione dopo 1-3 minuti
Angolo di rilevamento	360°	200°	100°
Campo di rilevamento	5 m (installato ad un'altezza di 2,5m può coprire un'area di raggio di 3,5m)	frontale: 12 m a 20°C laterale: 8m a 20°C	a 2,5 - 3 m si copre l'area massima
Grado protezione	IP 20	IP 55	IP 20
Classe di isolamento	II	II	II
Immagine			

Tabella A1.6: Scheda caratteristiche tecniche stazione meteorologica METEO1

Nome	METEO1
Azienda	Simple Life
Funzionalità	Stazione meteorologica wireless, per la misura dei principali parametri meteorologici. La stazione di rilevazione meteo esterna è fornita in versione wireless ed è dotata cella di alimentazione ad energia solare e batteria al Litio e blocco sensori integrato
Elementi installati	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pluviometro: per rilevazione quantità pioggia (in mm o inches)</li> <li>- Anemometro: per velocità e direzione vento</li> <li>- Sensore temperatura esterna</li> <li>- Sensore umidità esterna</li> <li>- Blocco integrato per contenimento sensori</li> <li>- Cella alimentazione ad energia solare</li> <li>- Modulo di trasmissione wireless</li> <li>- Consolle di ricezione dati wireless</li> <li>- Sonda temperatura ed umidità interna</li> </ul>
Tensione di alimentazione e consumo	5Vdc, tramite AC Power Adapter, 200 mA
Connettore Modulare	tipo RJ-11
Frequenza tx/rx wireless	868.0 – 868.6 MHz FHSS
Potenza in uscita	Certificato CE, inferiore a 8 mW
Range segnale (in linea retta)	Sino a 300 m
Dimensioni (antenna inclusa)	165 x 95 x 38 mm
Sensore temperatura interna	Range da 0° a +60 °C, accuratezza 1°C, aggiornamento 1 min
Umidità relativa interna	Range da 10° al +90% RH, accuratezza 5%,
Batterie	3 AA-cells, durata sino 4 mesi
Temperatura di funzionamento	-18° ÷ + 60° C
Codici disponibili	8
Contenitore	In PVC, UV-resistant
Range segnale (attraverso muri)	Da 75 a 150 m
Peso	260 g
Pressione barometrica	Range da 880.0 a +1080.0 hPa/mb, range installazione da -460 a 4670 m, aggiornamento 1 min
Immagine	

Tabella A1.7: ID sensori Termostati

Piano	Stanza	ID	Code
Piano Terra	001	-	-
	002	-	-
	003	003-Termo-38	003-Termo-38 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-0426)
	004	004-Termo-36	004-Termo-36 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-0424)
	005	005-Termo-29	005-Termo-29 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-041d)
	006	006-Termo-11	006-Termo-11 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-040b)
	007	007-Termo-23	007-Termo-23 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-0417)
	008	008-Termo-30	008-Termo-30 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-041e)
	009	009-Termo-42	009-Termo-42 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-042a)
	010	-	-
	011	011-Termo-24	011-Termo-24 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-0418)
	Corridoio PT-02	-	-
Primo Piano	100	100-Termo-32	100-Termo-32 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-0420)
	101	101-Termo-28	101-Termo-28 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-041c)
	102	102-Termo-14	102-Termo-14 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-040e)
	103	103-Termo-37	103-Termo-37 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-0425)
	104	104-Termo-44	104-Termo-44 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-042c)
	105	105-Termo-39	105-Termo-39 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-0427)
	106	106-Termo-22	106-Termo-22 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-0416)
	107	107-Termo-40	107-Termo-40 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-0428)
	108	108-Termo-43	108-Termo-43 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-042b)
	109	109-Termo-33	109-Termo-33 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-0421)
	110	110-Termo-45	110-Termo-45 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-042d)
	111	111-Termo-25	111-Termo-25 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-0419)
	112	112-Termo-21	112-Termo-21 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-0415)
	113	113-Termo-12	113-Termo-12 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-040c)
	114	114-Termo-15	114-Termo-15 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-040f)
	Control Room	Control-Room-Termo-34	Control-Room-Termo-34 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04-0422)
	Corridoio 1P-04	-	-

Secondo Piano	200	200-Termo-53	200-Termo-53 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-0435)
	201	201-Termo-49	201-Termo-49 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-0431)
	202	202-Termo-16	202-Termo-16 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-0410)
	203	203-Termo-27	203-Termo-27 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-041b)
	204	204-Termo-52	204-Termo-52 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-0434)
	205	205-Termo-46	205-Termo-46 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-042e)
	206	206-Termo-47	206-Termo-47 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-042f)
	207	207-Termo-50	207-Termo-50 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-0432)
	208	208-Termo-26	208-Termo-26 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-041a)
	209	209-Termo-48	209-Termo-48 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-0430)
	210	210-Termo-10	210-Termo-10 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-040a)
	211	211-Termo-20	211-Termo-20 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-0414)
	212	212-Termo-19	212-Termo-19 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-0413)
	213	213-Termo-13	213-Termo-13 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-040d)
	214	214-Termo-9	214-Termo-9 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-0409)
	215	215-Termo-51	215-Termo-51 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-0433)
	216	216-Termo-17	216-Termo-17 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-0411)
	Sala conferenze	Sala Conferenze-Termo-31	Sala Conferenze-Termo-31 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-041f)
	Sala riunioni	Sala Riunioni-Termo-54	Sala Riunioni-Termo-54 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05-0436)
Corridoio 2P-06	-	-	

Tabella A1.8: ID Sensori di Presenza

Piano	Stanza	ID	Code
Piano Terra	001	29 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	002	23 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
		03 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	003	05 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	004	26 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	005	24 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	006	1D IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	007	0B IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	008	17 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	009	1E IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	010	2A IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	011	07 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
Corridoio PT-02	18 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)	
Primo Piano	100	02 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	101	20 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	102	1C IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	103	0E IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	104	25 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	105	2C IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	106	27 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	107	16 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	108	28 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	109	2B IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	110	21 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	111	2D IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	112	19 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	113	15 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	114	0C IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	Control Room	0F IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	Corridoio 1P-04	22 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
		26 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
		04 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)

Secondo Piano	200	35 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	201	31 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	202	10 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	203	1B IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	204	34 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	205	2E IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	206	2F IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	207	32 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	208	1A IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	209	30 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	210	0A IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	211	14 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	212	13 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	213	0D IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	214	09 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	215	33 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	216	11 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	Sala conferenze	1F IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	Sala riunioni	36 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	Corridoio 2P-06	06 IA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	-	-	-

Tabella A1.9: ID fan coils

Piano	Stanza	ID	Code
Piano Terra	001	29 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	002	23 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
		03 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	003	05 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
		26 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	004	24 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	005	1D RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	006	0B RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	007	17 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	008	1E RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	009	2A RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	010	07 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	011	18 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
Corridoio PT-02	02 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)	
Primo Piano	100	20 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	101	1C RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	102	0E RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	103	25 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	104	2C RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	105	27 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	106	16 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	107	28 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	108	2B RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	109	21 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	110	2D RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	111	19 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	112	15 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	113	0C RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	114	0F RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	Control Room	22 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)
	Corridoio 1P-04	-	-
		04 RA	-

Secondo Piano	200	35 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	201	31 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	202	10 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	203	1B RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	204	34 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	205	2E RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	206	2F RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	207	32 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	208	1A RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	209	30 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	210	0A RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	211	14 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	212	13 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	213	0D RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	214	09 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	215	33 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	216	11 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	Sala conferenze	1F RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	Sala riunioni	36 RA	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-05)
	Corridoio 2P-06	06 RA	Simplex-PL-PT2 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-01)
	01 RA	Simplex-PL-PT2 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-01)	

Tabella A1.10: Scheda caratteristiche tecniche elementi installati nei centralini di telecontrollo (1)

Nome	Simplex	Simplex AL	Simplex PL	Simplex PLE-T
Azienda	<i>Simple Life</i>	<i>Simple Life</i>	<i>Simple Life</i>	<i>Simple Life</i>
Funzionalità	Modulo base del sist. SimpleLife per controllo e comunic. su rete Ethernet di impianti in Building Automation	Dispositivo di alimentazione dei moduli del sistema Simple Life	Modulo che collega il modulo Simplex ad una linea di periferiche con comunicazioni su PowerLine	Modulo che collega il modulo Simplex ad una linea elettrica trifase, per periferiche con comunicaz. PowerLine
Tensione Funzionamento	9 Vcc	230 Vac, Tensione di uscita: 9 Vcc	9 Vcc	9-24 Vcc / ca (typ:15Vca)
Potenza Ass.	0,7 VA	6 VA	0,5 VA	1,5 VA
Temperatura funzionamento	-25 °C ÷ +70 °C	-25 °C ÷ +70 °C	-25 °C ÷ +70 °C	-25 °C ÷ +70 °C
Umidità relativa	< 90% (non condensante)	< 90% (non condensante)	< 90% (non condensante)	< 90% (non condensante)
Protocolli comunicazione	- Modbus su RS-485 - Stack TCP/IP su linea Ethernet	Modbus su RS-485	- Modbus su RS-485 - Pr. PLC: standard PT2-OC - Pr.PLC: 1022 codici	- Modbus su RS-485 - Pr. PLC: con moduli Elios
Uscite	- Linea Comunicazione RS485: Due connettori RJ 12 - Linea Comunicazione Ethernet: Un connettore RJ45	- Collegamento a linea alimentazione: Morsettiera 2 poli p. 7,62 - Linea Comunicazione RS485: Linea SR485 3 conduttori; Due connettori RJ 12	- Linea Comunicazione RS485: Due connettori RJ 12 - Collegamento a linea PLC: Morsettiera 2 poli p. 7,62	- Linea Comunicazione RS485: Morsettiera 3 poli p. 5 - Collegamento a linea PLC: Morsettiera 2 poli p. 10
Led segnalazione stato	- Presenza su rete LAN - Trasmissione su rete LAN - Presenza rete - Presenza supervisore - Anomalie periferiche.	-	-	-
Grado protezi.	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20
Isolamento Elettrico	Classe III	Classe II	Classe II	Classe II
Dimensioni	35,5 x 90 x 70 mm (2 moduli DIN)	53 x 90 x 70 mm (3 moduli DIN)	17,75 x 90 x 70 mm (1 moduli DIN)	53 x 90 x 70 mm (3 moduli DIN)
Peso	75 g	285 g	55 g	145 g
Immagine				

Tabella A1.11: Scheda caratteristiche tecniche elementi installati nei centralini di telecontrollo (2)

Nome	PT2-OC	3 Phase Coupler	WM 14-DIN
Azienda	<i>Simple Life</i>	<i>Simple Life</i>	<i>Minos System</i>
Funzionalità	Periferica di controllo e comando. Comunica con tecnologia PLC su linea elettrica 230 Vac, con un modulo di controllo Simplex-PL gestito da un modulo base Simplex.	Accoppiatore capacitivo per segnali PowerLine	Analizzatore di rete per linea trifase in grado di effettuare misure e rilevazioni dei principali parametri elettrici di una linea elettrica trifase.
Tensione Funzionamento	230 V $\sim \pm 10\%$	220 V $\sim \pm 10\%$	A trasformatore: 230V, 115V,48V, 24VCA -15/+10% 50-60 Hz; da 24V a 48VDC $\pm 20$
Potenza Ass.	2 VA	-	Corrente nominale: 5A (da TA)
Temperatura funzionamento	0 °C ÷ +65 °C	-25 °C ÷ +70 °C	0 °C ÷ +50 °C
Umidità relativa	< 90% (non condens.)	-	-
Protocolli comunicazione	-	-	MODBUS/JBUS, Vel.com.c.:9600 baud.
Uscite	- Collegamento PLC: 2 morsetti - Collegamento ingressi: 3 morsetti - Collegamento uscite: 3 x 2 morsetti. - Input: 2 ingressi per contatti puliti NA-NC - Output: 2 relè di scambio mac 230Vac 5A ac1	-	- Porta seriale RS485 (opzionale) 2 o 4 fili - Sistema elettrico selezionabile: monofase, bifase, trifase bilanciato, trifase sbilanciato con o senza neutro, trifase ARON.
Led segnalazione stato	- 2 led rossi : "stato ingressi" - 2 led rossi : "uscite attivate" - 1 led verde : "logica interrogata"	-	15 led rossi di segnalazione, misure e allarmi
Grado di protezione	IP 20	IP 20	Frontale IP 40, connessioni IP 20
Isolamento Elettrico	Classe II	-	Classe III
Dimensioni	53 x 90 x 70 mm (3 moduli DIN)	34,6 x 89 x 65 mm (2 moduli DIN)	35 x 90 x 60 mm (6 moduli DIN)
Peso	200 g	100 g	-
Immagine			

Tabella A1.12: ID sensori per la contabilizzazione dell'energia

Energia Elettrica		
Collocazione	Codice	ID - Code
Centrale termica	Q.C.Compress.F40 (code=ec-b4:c8:10:00:00:34; fw= 1, LAN)	WM 14-Linea Q.Compressori (code=ec-b4:c8:10:00:00:34-02)
Generale edificio	2_Q.Generale F40 (code=ec-b4:c8:10:00:00:30; fw= 1, LAN)	WM14-Linea Generale QG (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-01)
		WM14-Linea FM-Normale QG (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-02)
		WM14-Linea Luce-Normale QG (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-03)
Piano Terra	3_Q.P.Terra F40 (code=ec-b4:c8:10:00:00:35; fw= 1, LAN)	WM14-Linea FM QPT (code=ec-b4:c8:10:00:00:35-02)
		WM14-Linea Luce QPT (code=ec-b4:c8:10:00:00:35-03)
		WM14-Linea Fan-Coil QPT (code=ec-b4:c8:10:00:00:35-04)
Primo Piano	4_Q.P.Primo F40 (code=ec-b4:c8:10:00:00:36; fw= 1, LAN)	WM14-Linea FM Q1P (code=ec-b4:c8:10:00:00:36-02)
		WM14-Linea Luce Q1P (code=ec-b4:c8:10:00:00:36-03)
		WM14-Linea Fan-Coil Q1P (code=ec-b4:c8:10:00:00:36-04)
Secondo Piano	5_Q.P.Secondo F40 (code=ec-b4:c8:10:00:00:37; fw= 000037;PORT)	WM14-Linea FM Q2P (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-03)
		WM14-Linea Luce Q2P (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-02)
		WM14-Linea Fan-Coil Q2P (code=ec-b4:c8:10:00:00:37-04)

Energia Termica		
ID	Nome	Code
01 IA	Contacalorie Inverno	Simplex-PLE (code=ec-b4:c8:10:00:00:30-04)

Tabella A1.13: Scheda caratteristiche tecniche Contabilizzatore di calore T550 Ultraheat

Nome	T550 Ultraheat
Azienda	Landis+Gyr
Tipologia sensore	Contabilizzatore di calore
Funzionalità	<p>Contatore di calore statico ad ultrasuoni progettato per la misura dell'energia termica in ogni applicazione nella quale si utilizzi l'acqua come vettore per il calore. È composto da un misuratore di portata, 2 sonde di temperatura ed un'unità elettronica.</p> <p>Nello specifico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– registra fino a 3 diversi valori di soglia per la portata, potenza, temperatura di mandata, di ritorno, o differenza di temperatura.</li> <li>– Registra energia termica di mandata o di ritorno.</li> <li>– Misura combinata caldo/freddo, con cambio automatico e soglie di temperatura impostabili.</li> <li>– Registra consumo con impostazione delle ore di accensione/ spegnimento giornaliero.</li> <li>– Attiva/disattiva la registrazione dei consumi tramite M-bus.</li> </ul>
Uscite	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Interfaccia ottica secondo la norma EN 62056-21, ad esempio per la comunicazione con il software di servizio.</li> <li>– Modulo impulsi con due uscite (calore e volume / raffreddamento / stato dell'unità e del registro delle tariffe).</li> <li>– Modulo circuito corrente, CL loop 20 mA di corrente secondo la norma EN 62056-21 (utilizzato per la lettura dei valori di consumo con un point-to-point).</li> <li>– M-Bus modulo G4 (secondo EN 1434-3) con fisso o variabile frame di dati. La struttura di dati variabili può essere regolato individualmente. Rapida lettura modalità di accoppiamento con un controllore di riscaldamento adatto. *</li> <li>– M-Bus modulo G4-MI con 2 ingressi impulsi per il collegamento 2 misuratori ad un MBus-sistema. Modulo analogico con 2 uscite per 0-10V, 0-20mA o 4-20mA. I valori selezionabili (portata, potenza, temperatura di mandata e di ritorno, la differenza di temperatura), scala della produzione è selezionabile libero.</li> <li>– Modulo radio (valori di consumo di lettura via radio) con 2 ingressi impulsivi per l'installazione di un massimo di 2 misuratori (frequenza 433MHz, portata fino a 200 m)</li> <li>– GSM (lettura via SMS) con 2 ingressi a impulsi, la trasmissione dei valori di consumo via SMS</li> <li>– GPRS, trasmissione dei valori di consumo via e-mail, ftp, http, o SMS; M-Bus Master integrato, con possibilità di collegare fino ad 8 misuratori M-Bus.</li> </ul>
Immagine	

Caratteristiche tecniche	<b>Temperature range</b>	<b>5 to 130°C</b> Recommended for... ...heat application 10 to 130°C *) ...cooling application 5 to 50°C *) *) national approvals may differ				
	<b>Temperature difference range <math>\Delta\Theta</math></b>	3...120 K				
	<b>Response threshold for <math>\Delta T</math></b>	0,2 K				
	<b>Thermal coefficient</b>	gliding compensated				
	<b>t-measurement error without sensor (EN 1434)</b>	(0,5 + $\Delta\Theta_{min}/\Delta\Theta$ )%, max. 1,5% at $\Delta\Theta = 3$ K				
	<b>Ambient temperature</b>	5...55°C				
	<b>Permissible humidity</b>	< 93% r.h. (without condensation)				
	<b>Dimensions</b>	136 x 136 mm <sup>2</sup>				
	<b>Nominal flowrate</b>	q <sub>p</sub>	<b>0,6</b>	<b>1,5</b>	<b>2,5</b>	m <sup>3</sup> /h
	Metrological class		1:100	1:100	1:100	
	Maximum flow	q <sub>s</sub>	1,2	3	5	m <sup>3</sup> /h
	Minimum flow	q <sub>i</sub>	6	15	25	l/h
	Response threshold ***		2,4	6	10	l/h
	Pressure loss at q <sub>p</sub> :					
	<b>110 mm thread</b>	p	150	150	----	mbar
	<b>130 mm thread</b>	p	----	160	200	mbar
	<b>190 mm thread</b>	p	150	160	200	mbar
	<b>190 mm flange</b>	p	125	160	195	mbar
	Flowrate at p = 1 bar					
	<b>110 mm thread</b>	K <sub>V</sub>	1,5	3,9	----	m <sup>3</sup> /h
	<b>130 mm thread</b>	K <sub>V</sub>	----	3,8	5,6	m <sup>3</sup> /h
	<b>190 mm thread</b>	K <sub>V</sub>	1,5	3,8	5,6	m <sup>3</sup> /h
	<b>190 mm flange</b>	K <sub>V</sub>	1,7	3,8	5,7	m <sup>3</sup> /h
	Mounting orientation		any			
	Temperature range		5 ...130°C			
Maximum temperature	t <sub>max</sub>	150°C for 2000h				
Nominal pressure	PN	16/25				
Tolerable measurement error		according to EN 1434 (class 2 or 3)				
1) Nominal flowrate q <sub>p</sub> (Q <sub>n</sub> ) 0,6 m <sup>3</sup> - 2,5 m <sup>3</sup>						
<b>Ultrasonic Heat Meter ULTRAHEAT®:</b>						
<b>- Short design with threaded joint</b>						
Meter including						
• installation in return			• 6-year-battery (2xAA cells)			
• removable electronic unit with 1,5 m control cable			• compliant to MID Cl. 3			
• return sensor integrated in volume measuring unit			• display in MWh			
• temperature sensor Pt 500, M 10x27,5mm, type DS to EN1434 for direct mounting, cable length 1,5 m						
qp 0,6	110	G 3/4	16	27,5	UH50-A05C-DE00-F 0B-A000-M3B	
qp 1,5	110	G 3/4	16	27,5	UH50-A21C-DE00-F 0B-A000-M3B	
plus						
Mounting element for temperature sensor DS, M 10x1/4" with Cu-seal					WZT-A 12	
Fitting G 3/4 x R 1/2, mounting kit(couple)					WZM-E34	

Tabella A1.14: Scheda caratteristiche tecniche dispositivo periferico di comunicazione PLC, ELIOS.

Nome	Elios
Azienda	Simple Life
Funzionalità	Dispositivo periferico con comunicazione PLC su linea elettrica 230Vac. Svolge funzioni di controllo e comando. Comunica con Simplex-PLC, connesso a sua volta ad un Simplex.
Tensione Funzionamento	- Tensione alimentazione: 230 V~ ± 10% - Alimentazione interna 5Vdc 5W
Potenza Assorbita	1,1W
Temperatura funzionamento	0 °C ÷ +65 °C
Umidità relativa	< 90% (non condensante)
Uscite	- Collegamento PLC: 1 morsettiera 2 pp.7,62 - Collegamento uscite: 2 morsettiere 2 pp.5 - Input: 2 ingressi per contatti puliti NA-NC - Output: 2 relè in scambio mac 230Vac 5 A ac1 - Collegamento ingressi: 1 morsettiera 3 pp.5 - Collegamento RS485: 1 morsettiera 3 pp.5
Led segnalazione stato	- 1 led verde: alimentazione e comunicazione PLC - 1 led rosso : "anomalia"
Grado di protezione	IP 20
Isolamento Elettrico	Classe II
Dimensioni	Contenitore ovale: 165 x 100 x 30 mm
Peso	200 gr
Immagine	

Tabella A1.15: Livello di quadro. Centralini di telecontrollo: misura e controllo dei parametri elettrici, gestione delle comunicazioni e dei comandi, ed elementi installati.

	Misura e Controllo, Gestione	Elementi installati nel centralino di telecontrollo
<b>Q.GEN - QUADRO GENERALE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– misura e controllo dei parametri elettrici sulle linee principali del quadro</li> <li>– gestione della comunicazione powerline, con i dispositivi negli uffici (Elios) dei piani Terra e Primo (la linea elettrica utilizzata per la comunicazione powerline è quella che alimenta i fan coil degli uffici/laboratori.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– n.1 modulo centrale di controllo (Simplex) e n. 1 modulo alimentatore (Simplex-AL)</li> <li>– n.1 modulo comunicazione powerline (Simplex-PL-T) + n.1 accoppiatore trifase (3-Phase-Coupler)</li> <li>– n.3 analizzatori di rete (WM14-DIN) connessi alle linee: alimentazione generale; linea FM normale, linea luce normale;</li> </ul> <p>Nei quadri elettrici di potenza, sulle linee da misurare sono stati inseriti i TA per la misura delle correnti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- n.3 TA 250/5 A per linea generale;</li> <li>- n. 3 TA 100/5 per linea FM normale;</li> <li>- n.3 TA 50/5 per linea luce normale.</li> </ul>
<b>Q.PT - QUADRO PIANO TERRA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– misura e controllo dei parametri elettrici sulle linee principali del quadro piano terra</li> <li>– gestione dei comandi di alcune linee elettriche: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) comando ON/OFF linea luce corridoi e atrio gestito da supervisore remoto e/o da comando manuale su centralino</li> <li>b) comando disabilitazione sensori di presenza nei corridoi del piano terra gestito da supervisore remoto</li> <li>c) comando ON/OFF linea luce uffici (dx-sx) gestito da comando manuale su centralino</li> <li>d) comando ON/OFF linea fan coil ed Elios di piano gestito da comando manuale su centralino.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– n.1 modulo centrale di controllo (Simplex) e n. 1 modulo alimentatore (Simplex-AL)</li> <li>– n.1 modulo comunicazione (Simplex-PL) + n.1 periferica di segnalazione e comando (PT2-OC)</li> <li>– n. 5 contattori di potenza 25 A + n.3 interruttori modulari</li> <li>– n.3 analizzatori di rete (WM14-DIN) connessi alle linee: alimentazione FM; linea luce, linea fan coil;</li> </ul> <p>Nei quadri elettrici di potenza ,sulle linee da misurare sono stati inseriti i TA per la misura delle correnti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- n.3 TA 50/5 A per linea FM;</li> <li>- n. 3 TA 50/5 per linea luce;</li> <li>- n.3 TA 50/5 per linea fan coil</li> </ul>
<b>Q.1P - QUADRO PIANO PRIMO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– misura e controllo dei parametri elettrici sulle linee principali del quadro piano primo</li> <li>– gestione dei comandi di alcune linee elettriche: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) comando ON/OFF linea luce corridoi e atrio gestito da supervisore remoto e/o da comando manuale su centralino</li> <li>b) comando disabilitazione sensori di presenza nei corridoi del piano terra gestito da supervisore remoto</li> <li>c) comando ON/OFF linea luce uffici (dx-sx) gestito da comando manuale su centralino</li> <li>d) comando ON/OFF linea fan coil ed Elios di piano gestito da comando manuale su centralino.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– n.1 modulo centrale di controllo (Simplex) e n. 1 modulo alimentatore (Simplex-AL)</li> <li>– n.1 modulo comunicazione (Simplex-PL) + n.1 periferica di segnalazione e comando (PT2-OC)</li> <li>– n. 5 contattori di potenza 25 A + n.3 interruttori modulari</li> <li>– n.3 analizzatori di rete (WM14-DIN) connessi alle linee: alimentazione FM; linea luce, linea fan coil;</li> </ul> <p>Nei quadri elettrici di potenza sulle linee da misurare sono stati inseriti i TA per la misura delle correnti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– n.3 TA 50/5 A per linea FM;</li> <li>– n. 3 TA 50/5 per linea luce;</li> <li>– n.3 TA 50/5 per linea fan coil</li> </ul>

<b>Q.2P - QUADRO PIANO SECONDO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- misura e controllo dei parametri elettrici sulle linee principali del quadro piano secondo</li> <li>- gestione dei comandi di alcune linee elettriche:             <ul style="list-style-type: none"> <li>a) comando ON/OFF linea luce corridoi e atrio corridoi, gestito da supervisore remoto e/o da comando manuale su centralino</li> <li>b) comando disabilitazione sensori di presenza nei corridoi del piano terra, gestito da supervisore remoto</li> <li>c) comando ON/OFF linea luce uffici (dx-sx), gestito da comando manuale su centralino</li> <li>d) comando ON/OFF linea fan coil ed Elios di piano, gestito da comando manuale su centralino</li> </ul> </li> <li>- gestione e comunicazione powerline, con i dispositivi negli uffici (Elios) dei secondo piano e con le Elios di controllo generale dei piani</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- n.1 modulo centrale di controllo (Simplex) e n. 1 modulo alimentatore (Simplex-AL)</li> <li>- n.1 modulo comunicazione (Simplex-PL) + n.1 periferica di segnalazione e comando (PT2-OC)</li> <li>- n.1 modulo comunicazione powerline (Simplex-PL-T) + n.1 accoppiatore trifase (3-Phase-Coupler)</li> <li>- n. 5 contattori di potenza 25 A + n.3 interruttori modulari</li> <li>- n.3 analizzatori di rete (WM14-DIN) connessi alle linee: alimentazione FM; linea luce, linea fan coil;</li> </ul> <p>Nei quadri elettrici di potenza , sulle linee da misurare sono stati inseriti i TA per la misura delle correnti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- n.3 TA 50/5 A per linea FM;</li> <li>- n. 3 TA 50/5 per linea luce;</li> <li>- n.3 TA 50/5 per linea fan coil</li> </ul>
<b>Q.Compr. - QUADRO CENTRALE TERMICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- misura e controllo dei parametri elettrici sulle linee principali del quadro e di segnalazioni di apparati di misurazione e controllo</li> <li>- gestione dei comandi di alcune apparecchiature:             <ul style="list-style-type: none"> <li>a) comando ON/OFF compressore 1, 2 3</li> <li>b) comando ON/OFF pompa estate 1-2 - riserva</li> <li>c) comando ON/OFF pompa inverno 1-2 - riserva</li> </ul> </li> <li>- remotizzazione segnalazioni             <ul style="list-style-type: none"> <li>- stato ON/OFF pompa</li> <li>- stato blocco/guasto pompa per ognuna delle 6 pompe previste</li> </ul> </li> <li>- remotizzazione dei parametri (energia e volume) rilevati da conta calore e comunicati al centralino di telecontrollo come ingressi impulsivi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- n.1 modulo centrale di controllo (Simplex) e n. 1 modulo alimentatore (Simplex-AL)</li> <li>- n.1 modulo comunicazione (Simplex-PL) + n.2 periferiche di segnalazione e comando (PT2-OC)</li> <li>- n.2 analizzatori (WM14-DIN) di rete connessi alle linee: generale; gruppo compressori;</li> </ul> <p>Nei quadri elettrici di potenza , sulle linee da misurare sono stati inseriti i TA per la misura delle correnti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- n.3 TA 250/5 A per linea generale quadro;</li> <li>- n. 3 TA 250/5 per linea compressori</li> </ul> <p>I conta calorie sono posizionati sulla tubazione generale riscaldamento e sulla tubazione gruppo compressori.</p>
<p>L'integrazione relativa ai comandi pompe richiederà l'inserimento di ulteriori periferiche di segnalazione e comando, da collegarsi in parallelo alle periferiche esistenti (e posizionate un centralino da parete ausiliario posto sotto a quello esistente)</p> <p>n.6 periferiche di segnalazione e comando (PT2-OC)</p> <p>n.12 relè interfaccia per rilevazione stato pompe/guasto (REL 1/230)</p>		

Tabella A1.16: Livello corridoio. Centralini di telecontrollo: misura e controllo dei parametri elettrici, gestione delle comunicazioni e dei comandi, ed elementi installati.

CORRIDOI PIANO TERRA, PIANO PRIMO E PIANO SECONDO	Misura e Controllo, Gestione	Elementi installati
	<p>Le luce dei corridoi sono comandate (attraverso da due contattori 25 A relativi a luce corridoi/servizi e luce atrio) tramite:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- un comando manuale posto sul centralino di telecontrollo</li> <li>- un comando inviato da supervisore alla periferica PT2-OC del quadro di telecontrollo</li> <li>- la segnalazione di presenza rilevata da n.3 sensori posizionati nei corridoi in corrispondenza dei locali bagno e dell'atrio scala</li> <li>- La segnalazione di presenza è trasferita, attraverso la periferica Elios posta presso il quadro di telecontrollo, al supervisore. Dal supervisore è possibile disabilitare l'attivazione della luce attraverso il sensore di presenza e/o forzare l'attivazione/disattivazione della luce</li> </ul> <p>La rilevazione della presenza è realizzata tramite dei sensori di presenza 230Vac (alimentati su linea FM, in modo da essere alimentati anche quando la linea luce è disabilitata) posti sotto il controsoffitto del corridoio. Le uscite dei sensori sono collegate sino al quadro di piano.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- periferica di segnalazione e comando con comunicazione powerline (Elios)</li> <li>- sensore /i presenza tipo a 360 a soffitto (SENSOR 360)</li> </ul>

Tabella A1.17: Livello uffici / laboratori. Centralini di telecontrollo: misura e controllo dei parametri elettrici, gestione delle comunicazioni e dei comandi, ed elementi installati.

	Misura e Controllo, Gestione	Elementi installati
<b>UFFICI / LABORATORI</b>	Presentano tre possibili gestioni:	
	4- gestione illuminazione e termoregolazione	- periferica di segnalazione e comando con comunicazione powerline (Elios)
	5- gestione illuminazione senza comando termoregolazione	- sensore /i presenza tipo direzionale (Vemer 200)
	6- gestione illuminazione senza rilevazione temperatura	- termostato ambiente (Krono) + trasformatore alimentazione 12Vac - interruttori, relè e contattori ausiliari
<p><b>1- Gestione illuminazione e termoregolazione (maggior parte degli uffici)</b></p> <p>Consiste nella rilevazione della presenza, con comando di abilitazione all'uso dell'illuminazione. I sensori di presenza e le plafoniere degli uffici sono alimentati sulla linea luce emergenza degli uffici. La/le uscite dei sensori non pilotano direttamente l'illuminazione, ma comandano la bobina di un relè di segnalazione, la cui uscita è connessa alla periferica Elios del locale (segnalazione remota presenza nell'ufficio), e comandano la bobina di un contattore tripolare (ON/OFF luce). Il contattore tripolare è anche comandato dall'interruttore manuale di esclusione sensore presenza, posto nel corridoio sopra la porta del locale (in scatola 503). In tal modo l'interruttore permette di by-passare la segnalazione del sensore di presenza "forzando" l'accensione dell'illuminazione.</p> <p>A valle del contattore tripolare è collegato il pulsante di comando manuale luce ufficio, tramite cui l'utente può spegnere la luce anche quando il sensore tenderebbe a tenerla accesa (esclusione manuale). Il sensore di presenza è regolabile con un tempo di inattività variabile in genere da 3 sec a 10 min. ed è in grado di rilevare anche una soglia minima di luminosità, sopra alla quale non accende la luce neppure in presenza dell'occupante. Nei sensori installati tale parametro è stato settato al minimo, per cui il livello minimo di luminosità viene ignorato.</p> <p>L'esclusione del sensore di presenza tramite l'apposito interruttore cortocircuita l'ingresso di segnalazione della periferica Elios, per cui sul supervisore il locale sarà visto come occupato.</p> <p>La rilevazione della temperatura ambiente, la trasmissione remota della segnalazione e il comando automatico del termoconvettore (ON/OFF fan coil) avvengono nel modo seguente: all'interno del locale, in una scatola da esterno tipo 503, è posizionato un termostato digitale dotato di pulsanti di impostazione set e comando temperatura. Tale termostato (alimentato tramite un trasformatore 12Vca posizionato sopra il controsoffitto) è connesso, su una linea seriale RS485 con la periferica Elios che trasferisce la lettura al supervisore. Il comando inviato dal termostato è relativo solo al comando ON/OFF e non alle tre velocità. L'uscita corrispondente al comando 3° velocità è collegata al termoconvettore e ne abilita l'attivazione ON/OFF (la velocità della ventola termoconvettore è impostabile direttamente sull'apparecchiatura). Il set manuale del termostato richiede che l'apparato parta alla terza velocità, cioè quando il delta tra set impostato e temperatura aria rilevata è superiore ad 1°C. I settaggi del termostato (stagione attiva: estate/inverno; delta velocità; offset su temperatura aria rilevata; fattore correzione sonda; ecc.) possono essere impostati direttamente sul termostato e non è possibile la variazione da remoto.</p> <p>Il termostato, così come la periferica Elios ed i termoconvettori, sono alimentati sulla linea fan coil proveniente dal quadro di piano, perché nella scatola di derivazione del corridoio, non è disponibile la linea FM.</p>		

*2- Gestione illuminazione senza comando termoregolazione (ridotto numero di uffici, equipaggiati con termoconvettori del tipo a split con telecomando)*

In questo caso la rilevazione della presenza dell'utilizzatore, con comando di abilitazione all'uso dell'illuminazione è del tutto analoga a quanto descritto nel caso precedente (1).

La rilevazione della temperatura ambiente avviene tramite termostato, ma non viene inviato nessun comando automatico al termoconvettore. Come nel caso precedente, all'interno del locale, in una scatola da esterno tipo 503, è posizionato un termostato digitale dotato di pulsanti di impostazione set e comando temperatura. Il termostato (alimentato tramite un trasformatore 12Vca posizionato sopra il controsoffitto) è connesso, su una linea seriale RS485, con la periferica Elios che trasferisce la lettura al supervisore. Il termoconvettore è attivato direttamente da un telecomando. Se il termostato regolasse il termoconvettore, a seguito di ogni abilitazione inviata dal termostato sarebbe necessario che l'utente riattivasse successivamente l'apparecchio mediante il telecomando. Per tale ragione il termostato è quindi utilizzato solo per leggere la temperatura ambiente sul supervisore, tramite la periferica Elios a cui esso è collegato.

Il termostato, come pure la periferica Elios ed i termoconvettori, sono alimentati sulla linea fan coil proveniente dal quadro di piano, perché nella scatola di derivazione del corridoio non è disponibile la linea FM.

*3- Gestione illuminazione senza rilevazione temperatura (alcuni laboratori in cui il termostato ambiente è presente, ma non è tele controllato dal supervisore)*

Anche in questo caso la rilevazione della presenza dell'utilizzatore, con comando di abilitazione all'uso dell'illuminazione, è del tutto analoga a quanto descritto nei casi precedenti (1-2).

La temperatura aria ambiente aziona il comando automatico del termoconvettore in modalità stand-alone, ma non viene monitorata. Come nei casi precedenti all'interno del locale, in una scatola da esterno tipo 503, è posizionato un termostato digitale dotato di pulsanti di impostazione set e comando temperatura. Il termostato (alimentato tramite un trasformatore 12Vca posizionato sopra il controsoffitto) questa volta non è collegato con la Elios tramite la connessione RS485. Il termostato gestisce dunque l'attivazione del termoconvettore secondo la logica di funzionamento descritta al punto (1), con l'unica differenza che la temperatura letta non è trasferita al supervisore tramite la periferica Elios.

Il termostato, come pure la periferica Elios ed i termoconvettori, sono alimentati sulla linea fan coil proveniente dal quadro di piano, perché nella scatola di derivazione del corridoio, non è disponibile la linea FM.

Tabella A1.18: Livello locali bagno. Centralini di telecontrollo: misura e controllo dei parametri elettrici, gestione delle comunicazioni e dei comandi, ed elementi installati.

	Misura e Controllo, Gestione	Elementi installati
<b>LOCALI BAGNO</b>	<p>Nei locali bagno è controllata solo l'attivazione dell'illuminazione dell'antibagno, attraverso la rilevazione del sensore di presenza.</p> <p>La rilevazione della presenza è realizzata tramite un sensore di presenza 230Vac posto nel locale antibagno, in genere a soffitto.</p> <p>L'uscita del sensore pilota direttamente l'attivazione dell'illuminazione del locale in modo automatico.</p> <p>Un interruttore manuale di esclusione del sensore presenza è posto nel corridoio sopra la porta del locale (in scatola 503). In tal modo l'interruttore permette di by-passare la segnalazione del sensore di presenza "forzando" l'accensione dell'illuminazione.</p>	<p>- sensore /i presenza tipo a 360 a soffitto (SENSOR 360)</p> <p>A valle del sensore di presenza sono collegati il/i pulsanti di comando manuale luce, tramite cui l'utente può spegnere la luce anche quando il sensore tenderebbe a tenerla accesa (esclusione manuale).</p>

## *Appendice 2*

Schede riassuntive identificativo sensoristica per piano di monitoraggio di un cluster di edifici

Tabella A2.1: Caratteristiche tecniche modulo Modulo DIN per acquisizione temperature da sonde (XM-9) e Misuratore di Temperatura e Umidità relativa (XM-11)

Nome	XM-9	XM-11
Casa prod.	<i>Energy Team</i>	<i>Energy Team</i>
Tipologia sensore	Modulo DIN per acquisizione temperature da sonde	Misuratore di Temperatura e Umidità relativa
Funzionalità	Permette di leggere una temperatura mediante una sonda PT100, PT500 o PT1000, e di convertirne il valore letto uscita impulsiva con frequenza compresa tra 0 Hz e 5Hz. Le sonde applicabili possono essere a 2, 3 o 4 fili, eventualmente anche con cavo schermato.	Permette di leggere la temperatura e umidità relativa ambiente mediante una sonda interna e di convertirne il valore letto in uscita impulsiva con frequenza compresa tra 0Hz e 5Hz.
Accuratezza della misura	È garantita una tolleranza sulla misura impulsiva in uscita pari a $\pm 0,5$ °C, con un range tra -40°C e 150°C. La migliore precisione si ottiene comunque mediante termoresistenze a 4 fili con cavo schermato.	Vcc 12
Alimentazione	12 Vdc	0,85 W 71 mA
Consumo	0,85 W / 71 mA	-10 °C , +65 °C
Range di Funzionamento	-40°C - + 50 °C	$\pm 0,3/\pm 0,8$ °C
Isolamento Galvanico ingresso/uscita	2,5 kV	0% a 100%
Precisione	0,5% del F.S.	$\pm 2\%$
Morsettiere a vite, dim. Max cavo	1,5 sq.mm.	mmq 0,5
Tipo di uscita impulsiva	0/5 Hz	Hz 0/5
Grado di protezione	IP 20	IP20
Dimensioni	(lxh) 17,5 mm x 60 mm	(lxhxp) 64 mm x 76 mm x 26 mm
Peso	60 gr	50 gr
Tipo contenitore	1Mod. DIN	plastico con due asole forate (D=4.75mm) per un agevole montaggio a parete mediante viti
Immagine		

Tabella A2.2: Caratteristiche tecniche contabilizzatore di energia elettrica

Nome	X-Meter DIN	X-MCF3
Azienda	Energy Team	Energy Team
Funzionalità	Strumento multifunzione, analizzatore grandezze elettriche per monitoraggio e misurazione reti elettriche	Contatore di energia elettrica elettronico trifase a 4 fili in classe 1. Ideale per la misura dell'energia elettrica su reti trifasi.
Tensione Funzionamento	100-250 Vac / 100-350 Hz	Tensione Nominale: 3x220V/380V / 3 x 230V/400V Corrente Nominale: 3 x 1.5(6)A inserzione indiretta / 3 x 20(100)A inserzione diretta
Frequenza	Vdc 50-60	50-60Hz
Consumo	5 Va	1W
Temperatura funzionamento	-10°C + 55°C	-20°C +55°C
Umidità relativa	95% senza condensa	<90% senza condensa
Ingressi tensioni	N.3,100 o 400 Vac	-
Ingressi correnti	N.3,A / 5	-
Caratteristiche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Misure in valore efficace (true RMS)</li> <li>- Misure su 4 quadranti</li> <li>- Display grafico e Tastiera 6 tasti</li> <li>- Indicazioni estese e in chiaro delle misure rilevate</li> <li>- Uscita impulsiva energia attiva e reattiva</li> <li>- Uscita allarmi di minima e di massima impostando la grandezza desiderata</li> <li>- Visualizzazione Grafica della potenza attiva e reattiva e fattore di potenza degli ultimi 3 giorni</li> <li>- 2 Totalizzatori energia prelevata di cui uno resettabile</li> <li>- Indicazione in Euro dell'energia prelevata</li> <li>- Orologio calendario non volatile</li> <li>- Contenitore da guida DIN 46277 (9 moduli)</li> <li>- Morsetti estraibili per facilità di montaggio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Microprocessore che consente una misura precisa e affidabile nel tempo</li> <li>- disponibile in due versioni che prevedono uno l'inserzione indiretta con l'ausilio di TA a secondario 5A (mod. XMC3F) e l'altro l'inserzione diretta fino a 80A (mod. XMC3F-ID(80)A).</li> <li>- Semplicità di montaggio</li> <li>- Dimensioni contenute (76 mm e 90 mm per la versione ID(80)A</li> <li>- Utilizzo sia in ambito civile che industriale</li> <li>- Dotato di un'uscita impulsiva collegabile a un apparato X-Meter col quale è possibile archiviare i consumi di energia del carico trifase misurato</li> </ul>
Precisione	+/- 0.25% del F.S. Val.Mis., +/- 0.50% del F.S. Val.Mis.Deriv.	1.0
Uscite Impulsive	N.2 (Att./Reatt.) Uscite Optomos : (N.1 Min N.1 Max)100 mA / 24 Vdc N.2 (Att./Reatt.)	Num. Impulsi: 800 imp/kWh (inserzione diretta) 12000 imp/kWh (inserzione indiretta)
Grado di protezione	IP 20	IP20
Dimensioni	9 moduli DIN 157,5 x 90 x58 mm	100 x 76 x 65 (ins. diretta,circa 5 mod. DIN)
Peso	400 gr	500 gr
Immagine		

Tabella A2.3: Caratteristiche tecniche Sonda amperometrica Rogowski

Nome	Sonda amperometrica Rogowski
Azienda	Energy Team
Tipologia sensore	Captatore di corrente
Funzionalità	Dispositivo elettrico per la misurazione di corrente alternata e corrente di tipo impulsivo.
Sensore	Flessibile ed apribile
Diametro utile di serraggio	100 mm oppure 200 mm
Cavo uscita	2 m schermato
Precisione	Classe 1
Tipo di Amplificatore Rogowski	Misura mono-trifase (da 1 a 3 captori)
Portate fondo scala	60, 125, 250, 500, 1000 e 2000 A
Alimentazione	12 Vdc
Contenitore	Plastico da guida DIN 4 moduli
Connessione	Morsetti estraibili
Utilizzo	Con X-Meter modificati con ingressi amperometrici in tensione
Precisione	Classe 1
Immagine	 <p>The image section contains three visual elements: a schematic diagram on the left showing three Rogowski coils (labeled R, S, T) connected to an 'Energy Team Miniflex Adapter Rogowski Coil Interface' module. The module has terminals for 'Verso morsettiera del TA dell'X-Meter' (3, 4, 5, 6, 7, 8) and 'Alimentazione 12 Vdc'. To the right are two photographs of the physical device: one showing the red flexible coil and black cable, and another showing the coil in its closed, looped configuration.</p>

Tabella A2.4: Caratteristiche tecniche Orologio programmabile XM-7

Nome	XM-7
Azienda	Energy Team
Tipologia sensore	Orologi programmabili
Funzionalità	<p>Associando a uno strumento X-Meter o XRWU-Gold la funzione XM7 e l'hardware aggiuntivo XM15 si attiva l'estensione orologi programmabili che consente di controllare l'accensione e lo spegnimento delle 4 uscite locali secondo un criterio a base set- timanale completamente personalizzabile al fine di incontrare tutte le possibili esigenze dei vari settori applicativi (commercio, industria, servizi, etc.).</p> <p>È possibile specificare 12 profili con 8 operazioni giornaliere differenziate fra giorni feriali, prefestivi, festivi e infrasettimanali speciali. Oltre a questi periodi ripetitivi si possono definire fino a 2 periodi speciali (da definire con una data di inizio e una data di fine) e 20 giorni speciali durante i quali è possibile applicare un profilo a piacere per ciascun carico. Periodi speciali e giorni speciali sono applicati solo per l'anno in cui sono definiti, mentre le regole settimanali sono gestite in perpetuo. Nei periodi speciali è inoltre possibile definire due modalità particolari, sempre acceso o sempre spento.</p>

Tabella A2.5: Caratteristiche tecniche Rete ethernet XM-5

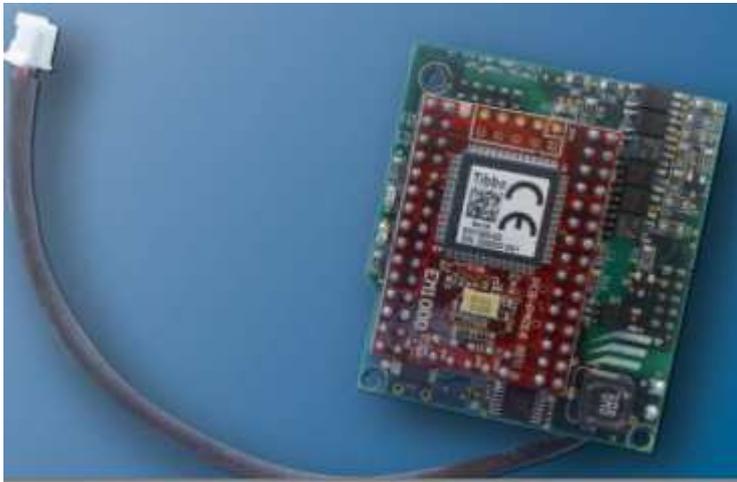
Nome	XM-5
Azienda	Energy Team
Tipologia sensore	Rete Ethernet integrato
Funzionalità	<p>Scheda Ethernet inserita all'interno dell'apparato che consente di collegare l'X-Meter alla rete ethernet o intranet aziendale, e di interrogarlo da più postazioni di raccolta e monitoraggio dei dati tramite la semplice assegnazione di un indirizzo IP. Questa opzione è attivabile solo assieme alle funzioni di estensione di memoria (XM1) e al software di gestione "ES3".</p>
Caratteristiche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la connessione alla rete ethernet avviene attraverso una porta a 100 megabit su doppino twistato (10baseT);</li> <li>- protocollo utilizzato: TCP/IP.</li> <li>- Il sw accede agli apparati collegati ad ethernet con un socket;</li> <li>- volume di dati effettivamente trasferito assimilabile a quello che può essere trasferito su una linea seriale a 9600precludendo ogni ipotesi di congestione della rete</li> </ul>
Immagine	

Tabella A2.6: Caratteristiche tecniche modulo relè XM-15

Nome	XM-15
Azienda	Energy Team
Tipologia sensore	Modulo Relè d'interfaccia carichi
Alimentazione	230 VAC ±6%
Protezioni su Alim.	Fusibili 5x20R da 50mA
Consumo	2,6VA MAX
Range di Funzionamento	-10°C+50°C
Isolamento Galv. Uscita	250V
N. di uscite	4 relè 1 scambio-C,NC,NO
Corrente Max Commutata	16 A per ogni scambio
Protezione su C. Comm.	275V
Numero di cicli Garantiti	100.000
Tipo di comando	Elettronico / Man.
Segnalazione	Led
Custodia	Plastica autoestinguente
Grado di protezione	IP40 (frontale)
Dimensioni	6TE 108 mm X 58 mm H
Montaggio	Su guida DIN
Terminali	Su morsetti a vite
Sezione max cavi Uscita relè	2,5 mmq
Peso	350 gr
Montaggio Relè	Zoccolo da CS
Tipo Morsettiere	Estraibili Polarizzate
Test Funzionamento	Manuale
Temperatura di esercizio	-20 °C +65 °C
Umidità relativa	90% senza condens.
Immagine	

Tabella A2.7: Caratteristiche tecniche contabilizzatore di calore (composto da 3 elementi: Misuratore di portata, contabilizzatore di energia, 2 sonde PT 100)

Azienda	Energy Team
Tipologia sensore	Misuratore di portata
Funzionalità	<p>Misuratore ad induzione elettromagnetica.</p> <p>Principali funzionalità:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- misura</li> <li>- controllo,</li> <li>- regolazione</li> <li>- registrazione</li> <li>- monitoraggio</li> <li>- analisi</li> </ul> <p>Dotato di display per:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Visualizzazione della portata istantanea</li> <li>- Impostazione della frequenza massima (10 HZ), della durata dell'impulso e della costante di tempo (min 0,1 sec.)</li> <li>- Indicazione anomalie (di impostazione o di malfunzionamento)</li> </ul>
Caratteristiche tecniche	<p>Convertitore / Trasmettitore (certificato CE)</p> <p>Sistema a microprocessore, liberamente programmabile, completo di circuito di blocco a zero dei segnali nel caso di svuotamento del tubo di misura e memorizzazione dei dati su E2prom e circuito di autodiagnosi completa del sistema di misura.</p> <p>Segnali in uscita:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 contatti o.c. (programmabili come: impulsi di totalizzazione massimo 1250 Hz; direzione flusso; all. portata; ecc.)</li> <li>- n. 4 totalizzatori interni a 10 cifre (2 per ogni direzione di flusso)</li> <li>- n. 4 lingue di programmazione (selezionabili dall'utente)</li> <li>- Misura bidirezionale della portata</li> <li>- Precisione del sistema di misura 0,8 % del V.M. (per velocità del liquido &gt; 1 m/s);</li> <li>- Ripetibilità, migliore dello 0,2%</li> <li>- Versione con display alfanumerico (non retroilluminato) a 2 righe da 16 cifre e tastiera interna di programmazione ( a 3 tasti)</li> <li>- Custodia in "Nylon PA 6 rinforzato fibra di vetro", classe di protezione IP65- Esecuzione compatta Alimentazione : 220 V – 50 Hz</li> </ul>
Immagine	

Azienda	Energy Team
Tipologia sensore	<i>Contabilizzatore di energia</i>
Funzionalità	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Commutazione automatica (riscaldamento / raffreddamento e viceversa) oppure manualmente attraverso una abilitazione esterna (un impulso)</li> <li>- Valenza degli impulsi in volume da misuratore esterno della portata fluido termovettore, programmabile da tastiera frontale (esempio k=1-2,5-10-100-1000 lt/imp)</li> <li>- Ingresso in temperatura per il calcolo della energia termica (2,3,4 fili) da Pt.100</li> <li>- Doppio in ingresso impulsivo da misuratori esterni acqua fredda e calda sanitaria, con valenza degli impulsi programmabile da tastiera frontale (esempio k=10lt/imp)</li> <li>- Uscita impulsiva</li> </ul>
Caratteristiche tecniche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Installazione sporgente a parete – Protezione IP67</li> <li>- Dimensioni circa 106x129x73mm</li> <li>- Campo temperatura ambientale ammessa da -20°C a +60°C</li> <li>- Alimentazione con trasformatore 220V ac.</li> <li>- Display frontale per le seguenti funzioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Visualizzazione dei consumi attuali</li> <li>▪ Visualizzazione dei valori istantanei (es. portata, potenza, temperature acqua ecc..) sia in unità ingegneristiche che in %</li> <li>▪ Valori per la programmazione</li> <li>▪ Eventuali messaggi di errore</li> <li>▪ Tastiera frontale per la visualizzazione dei dati sopra citati</li> </ul> </li> <li>-</li> </ul>

Azienda	Energy Team
Nome	<i>PT100 testa DIN a 4 fili</i>

## Riferimenti bibliografici

- [1] Hyvärinen, J. and al. 1996 Building Optimisation and Fault Diagnosis (BOFD) source book document - IEA Annex 25). VTT, Finland, ISBN 952-5004-10-4.
- [2] Rossi T M and Braun J E. 1997. A statistical, rule-based fault detection and diagnostic method for vapor compression air conditioners. International Journal of HVAC&R Research, 3(1), 19-37.
- [3] Vaezi-Nejad H et al, Automatic tools for fault detection and diagnostic of HVAC systems for hotel and office building.
- [4] Visier J C., Vaezi-Nejad H., Corrales P. 1999. "A fault detection tool for school buildings." ASHRAE Transactions. 105(1): pp. 543-554.
- [5] Haves P, Overview of Diagnostic Methods, Lawrence Berkeley National Laboratory: Diagnostics for Commercial Buildings: Research to Practice.
- [6] J.E Seem, Using intelligent data analysis to detect abnormal energy consumption in buildings. Energy and buildings, 2007, 39(1): 52-58.
- [7] Liu D, Chen Q, Mori K, Kida Y, A Method for Detecting Abnormal Electricity Energy Consumption in Buildings; Journal of Computational Information Systems 6:14 (2010) 4887-4895.
- [8] Dodier Robert H, Kreider Jan F. Detecting whole building energy problems. ASHRAE Transactions, 1999, 105(1):579-592.
- [9] Holcomb D, Li W, Seshia SA, Algorithms for Green Buildings: Learning-Based Techniques for Energy Prediction and Fault Diagnosis, 2009.
- [10] D.E.Claridge, J.Haberl, R.Sparks et al. Monitored commercial building energy data: reporting and results. ASHRAE Transactions, 1992, 98(1):881-889.
- [11] J. S. Haberl, M. Abbas, Development of Graphical Indices for Viewing Building Energy Data: Part I. Journal of Solar Energy Engineering, 1998,120(3):156-161.
- [12] J. S. Haberl, M. Abbas, Development of Graphical Indices for Viewing Building Energy Data: Part II. Journal of Solar Energy Engineering, 1998,120(3):162-167.
- [13] House JM, Lee W Y, Shin DR, Classification Techniques for Fault Detection and Diagnosis of an Air-Handling Unit, CH-99-18-5; ASHRAE Transactions, Vol. 105, No. 1, 1987-1997, 1999.
- [14] J.E.Seem. Pattern recognition algorithm for determining days of the week with similar energy consumption profiles. Energy Buildings, 2005, 37(2):127-139.
- [15] Xiaoli Li, Chris P. Bowers, Thorsten Schnier. Classification of Energy Consumption in Buildings with Outlier Detection, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2009, pp(99):1-6.
- [16] M. R. Amin-Naseri, A. R. Soroush, Combined use of unsupervised and supervised learning for daily peak load forecasting, Energy Conversion and Management, 2008; 49(6): 1302 – 1308.

- [17] T. Rasanen, J. Ruuskanena, M. Kolehmainen, Reducing Energy consumption by using self-organizing maps to create more personalized electricity use information, *Applied Energy*, 2008; 85(9): 830 – 840.
- [18] IEA Annex 34, 2001, *Neural networks in fault detection and diagnosis*, J. M. House, Technical Research Centre of Finland.
- [19] HVAC&R Research, Volume 14, Number 6, 2008, *Wavelet Neural Network-Based Fault Diagnosis in Air-Handling Units*, Z. Du, X. Jin and Y. Yang.
- [20] G. K. Palshikar, Simple algorithms for peak detection in time-series, Tata Research Development and Design Centre (TRDDC), India.
- [21] V.J Carey, C. G. Wagner, E. E. Walters, B. A. Rosner, Resistant and test-based outlier rejection: effects on Gaussian one - and two – sample inference, *Technometrics* 39 (3) (1997) 320 – 330.
- [22] IEA Annex 34, 2001, *Fuzzy logic in fault detection and diagnosis*, A. L. Dexter, Technical Research Centre of Finland.
- [23] Eighth International IBPSA Conference, Building Simulation (2003) 1459 – 1466, *Fuzzy Neural Networks Model for Building Energy Diagnosis*, B. Yu and D. H. C. van Paassen.

Bibliografia non citata nel testo:

- Filippin C. Benchmarking the energy efficiency and greenhouse gases emissions of school buildings in central Argentina. *Build Environ*2000;35:407–14.
- Birtles AB, Grigg P. Energy efficiency of buildings: simple appraisal method. *Build Ser Eng Res Technol* 1997;18(2):109–14.
- Monts JK, Blissett M. Assessing energy efficiency and energy conservation potential among commercial buildings: a statistical approach. *Energy* 1982;7(10):861–9.
- Sharp T. Energy benchmarking in commercial office buildings. ACEEE 1996 summer study on energy efficiency in building, vol. 4; 1996. p. 321–9.
- Kinney S, Piette MA. Development of California commercial building energy benchmarking database. ACEEE 2002 summer study on energy efficiency in buildings, vol. 7; 2002. p. 109–20.
- Chung W, Hui YV, Lam YM. A benchmarking model for the energy efficiency of commercial buildings. *Appl Energy* 2006;83:1–14.
- Winsten CB. Discussion on Mr. Farrell’s paper. *J Roy Stat Soc Ser A* 1957;120(III):282–4.
- Farrell MJ. The measurement of productive efficiency. *J Roy Stat Soc Ser A* 1957;120(III):253–81.
- Greene W. Maximum likelihood estimation of econometric frontier functions. *J Econom* 1980;13:26–57.
- Aigner DJ, Lovell CAK, Schmidt P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *J Econom* 1977;6:21–37.
- Meeusen W, van den Broeck J. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *Int Econ Rev* 1977;18:435–44.
- Reifschneider D, Stevenson R. Systematic departures from the Frontier: a framework for the analysis of firm inefficiency. *Int Econ Rev* 1991;32:715–23.
- Buck J, Young D. The potential for energy efficiency gains in the Canadian commercial building sector: a stochastic frontier study. *Energy* 2007;32:1769–80.

- Coelli TJ. A Guide to FRONTIER Version 4.1: a computer program for stochastic frontier production and cost function estimation. department of econometrics. Armidale, Australia: University of New England; 1994.
- Charnes A, Cooper WW, Rhodes EL. Measuring the efficiency of decision making units. *Eur J Oper Res* 1978;2:429–44.
- Charnes A, Cooper WW, Rhodes EL. Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through. *Manage Sci* 1981;27:668–97.
- Banker RD, Charnes A, Cooper WW. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Manage Sci* 1984;30: 1078–92.
- Schmidt P. Frontier production functions. *Econom Rev* 1985;4(2):289–328.
- Banker RD. Maximum-likelihood, consistency and data envelopment analysis – a statistical foundation. *Manage Sci* 1993;39(10):1265–73.
- Simar LP, Wilson W. Statistical inference in nonparametric frontier models: recent developments and perspectives. In: Fried HO, Lovell CAK, Schmidt SS, editors. *The measurement of productive efficiency and productivity growth*. New York: Oxford University Press; 2008. p. 421–51.
- Banker RD, Datar SM, Kemerer CF. A model to evaluate variables impacting the productivity of software maintenance projects. *Manage Sci* 1991;37(1):1–18.
- Gstach D. Another approach to data envelopment analysis in noisy environments: DEA+. *J Prod Anal* 1998;9(2):161–76.
- Cooper WW, Huang ZM, Li SX. Satisfying DEA models under chance constraints. *Ann Oper Res* 1996;66:279–95.
- Daraio C, Simar L. Conditional nonparametric frontier models for convex and nonconvex technologies: a unifying approach. *J Prod Anal* 2007;28(1– 2):13–32.
- Kuosmanen T, Johnson AL. Data envelopment analysis as nonparametric leastsquares regression. *Oper Res* 2010;58(1):149–60.
- Cook WD, Seiford LM. Data envelopment analysis (DEA) – thirty years on. *Eur J Oper Res* 2009;192:1–17.
- Federspiel C, Zhang Q, Arens E. Model-based benchmarking with applications to laboratory buildings. *Energy Build* 2002;34(3):203–14.
- Mui KW, Wong LT, Law LY. An energy benchmarking model for ventilation systems of air-conditioned offices in subtropical climates. *Appl Energy* 2007;84:89–98.
- Liu Y, Harris DJ. Effects of shelterbelt trees on reducing heating-energy consumption of office buildings in Scotland. *Appl Energy* 2008;85(2–3): 15–127.
- Palmero-Marrero AI, Oliveira AC. Effect of louver shading devices on building energy requirements. *Appl Energy* 2010;87(6):2040–9.
- Rahman MM, Rasul MG, Khan MMK. Energy conservation measures in an institutional building in sub-tropical climate in Australia. *Appl Energy* 2010;87(10):2994–3004.
- Yalcintas M, Ozturk A. An energy benchmarking model based on artificial neural network method utilizing US Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS) database. *Int J Energy Res* 2007;31:412–21.
- Wong SL, Wan KKW, Lam TNT. Artificial neural networks for energy analysis of office buildings with daylighting. *Appl Energy* 2010;87(2):551–7.
- Lee SE, Priyadarsini R. Building energy efficiency labeling programme in Singapore. *Energy Policy* 2008;36:3982–92.

- Sharp T. Benchmarking energy use in schools. ACEEE 1998 summer study on energy efficiency in buildings, vol. 3. 1998. p. 305–16.
- Bloyd CN, Mixon WR, Sharp T. Institutionalization of a benchmarking system for data on the energy use in commercial and industrial buildings. Asia–Pacific Economic Cooperation; 1999.
- MacDonald M, Livengood S. Benchmarking residential energy use. 2000 ACEEE Buildings Summer Study; 2000. <[http://www.ornl.gov/~webworks/cpr/pres/107615\\_.pdf](http://www.ornl.gov/~webworks/cpr/pres/107615_.pdf)>.
- Westphal FS, Lamberts R. Regression analysis of electric energy consumption of commercial buildings in Brazil. In: Proceedings: building simulation 2001, seventh international IBPSA conference, Rio de Janeiro, Brazil August 13–15;2001
- Olofsson T, Sjögren JU, Andersson S. Energy performance of buildings of buildings evaluated with multivariate analysis. In: Ninth international IBPSA conference Montréal, Canada August 15–18; 2005.
- Bohdanowicz P, Mart I. Determinants and benchmarking of resource consumption in hotels – case study of Hilton International and Scandic in Europe. Energy Build 2007;39:82–95.
- Chung W, Hui YV. A study of energy efficiency of private office buildings in Hong Kong. Energy Build 2009;41:696–701.
- Wu XC, Priyadarsini R, Lee SE. Benchmarking energy use and greenhouse gas emissions in Singapore’s hotel industry. Energy Policy 2010;38:4520–7.
- Lee WS. Benchmarking the energy efficiency of government buildings with data envelopment analysis. Energy Build 2008;40:891–5.
- Lee WS, Lee KP. Benchmarking the performance of building energy management using data envelopment analysis. Appl Therm Eng 2009;29:3269–73.
- Kilgore WC, Carlson LT. Energy End-Use Intensities in Commercial Buildings. User-needs study for the 1992 commercial buildings energy consumption survey, DOE/EIA-0555(92)/4, Washington, DC, September 1992.
- Chow S, Parkin P, Fetters A. Energy assessment of selected schools in Anchorage school district. 26th World energy engineering congress, Atlanta Georgia, November 12–14, 2003.
- Olofsson T, Meier A, Lamberts R. Rating the energy performance of buildings. Int J Low Energy Sustain Build 2004;3.
- Chan AT, Yeung CH. Implementing building energy codes in Hong Kong: energy savings, environmental impacts and cost. Energy Build 2005;37:631–42.
- Hernandez P, Burke K, Lewis JO. Development of energy performance benchmarks and building energy ratings for non-domestic buildings: an example for Irish primary schools. Energy Build 2008;40:249–54.
- Lee WL, Burnett J. Benchmarking energy use assessment of HK-BEAM, BREEAM and LEED. Build Environ 2008;43:1882–91.
- Guo P, Tanaka H. Fuzzy DEA: a perceptual evaluation method. Fuzzy Sets Syst 2001;119(1):149–60.
- Wen M, You C, Kang R. A new ranking method to fuzzy data envelopment analysis. Comput Math Appl 2010;59(11):3398–404.
- The European Green Building Programme. “A benchmarking guide”
- The European Green Building Programme. “A benchmarking guide adapted to air conditioning based on electricity bills”
- E. Santini, S. Elia, G. Fasano “Caratterizzazione dei consumi energetici nazionali delle strutture ad uso ufficio” Report RSE/2009/121

- T. Caliman, G. Pianta "Le Imprese del Settore Idrico in Italia: una Analisi di Benchmarking, edited by Lanfranco Senn (CerTet, Bocconi), 2009, Ed. F. Angeli
- I. Meroni, A. Bellazzi "Definizione degli indici e dei livelli di fabbisogno dei vari centri di consumo energetico degli edifici e valutazione dei consumi nell'edilizia esistente e benchmark mediante codici semplificati" Report RSE/2009/116
- G.V. Fracastoro, M. Serraino "Valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici alla scala provinciale"

## Curriculum Vitae Autori del rapporto tecnico

### *Stefano Paolo Corgnati*

Ingegnere meccanico e dottore di ricerca in Energetica, è professore associato di "Fisica Tecnica Ambientale" presso il Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino. Svolge attività di ricerca nel gruppo TEBE (Technology for Energy, Building and Environment) nei campi delle prestazioni energetiche degli edifici e del benessere climatico indoor. E' coordinatore operativo del Centro di Ricerca "Indoor Environment & Energy Management Competence Centre" di Telecom presso il Politecnico di Torino. E' autore di oltre 190 pubblicazioni relative all'energetica edilizia e al comfort negli edifici. Per le sue ricerche, nel 2009 è vincitore del premio REHVA "Young Scientist Award". E' Vice-Presidente di Rehva, Federazione Europea della Associazioni del Condizionamento dell'Aria. E' membro del Consiglio Direttivo dell'associazione AICARR.

Per la International Energy Agency, è Subtask leader nel progetto ECBCS-Annex 53 "Total Energy Use in Buildings".

### *Alfonso Capozzoli*

Alfonso Capozzoli, ingegnere meccanico e dottore di ricerca in ingegneria dei sistemi meccanici è ricercatore a contratto presso il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino dove insegna come docente a contratto impianti termotecnici presso la I facoltà di Ingegneria.

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

E' autore di circa 50 pubblicazioni scientifiche, tecniche e didattiche sugli impianti di climatizzazione, sulla simulazione energetica dinamica della prestazione degli edifici, sulla fisica dell'edificio, sul controllo dell'umidità e sulla modellazione inversa.

E' membro del consiglio direttivo della sezione italiana di IBPSA (International Building Performance Simulation Association) e partecipa in qualità di esperto a gruppi di lavoro in ambito CTI (Comitato Termotecnico Italiano) sul tema delle prestazioni energetiche degli edifici.

E' membro del comitato scientifico del master di II livello della I Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino in edilizia sostenibile ed efficienza energetica. E' coinvolto in diversi progetti nazionali e internazionali sulla prestazione energetica degli edifici.

### *Fiorella Lauro*

Fiorella Lauro, ha conseguito la Laurea Specialistica in Ingegneria dell'Automazione presso l'Università della Calabria. Nel lavoro di tesi, svolto presso l'unità UTTEI del Centro Ricerche ENEA di Roma, si è occupata dello sviluppo di un nuovo approccio per la modellazione dei consumi energetici degli edifici al fine di realizzare un innovativo sistema di gestione remota per la diagnostica delle anomalie e l'ottimizzazione del comportamento energetico delle reti di edifici. E' autore di due pubblicazioni scientifiche sull'ensembling di reti neurali e su modelli ibridi applicati ai consumi energetici degli edifici. Attualmente è ricercatore a

contratto presso il Politecnico di Torino e la sua attività di ricerca riguarda la modellazione dei consumi energetici degli edifici attraverso approcci metodologici inversi e l'individuazione di efficaci metodologie diagnostiche.

### *Stefano Pizzuti*

Laurea in Informatica (107/110) conseguita nel 1996, da allora ricercatore a contratto presso ENEA. Le attività di ricerca hanno riguardato lo sviluppo di sistemi innovativi, basati su metodologie di intelligenza artificiale, per monitoraggio e diagnostica, ottimizzazione e controllo di sistemi energetici complessi. Autore di oltre 50 pubblicazioni scientifiche nazionali ed internazionali e di decine di rapporti tecnici. Membro di svariate reti di eccellenza europee. Attualmente impegnato nelle applicazioni di 'smart cities' per quel che riguarda il settore ICT, 'smart lighting' e 'smart building'. Revisore di riviste scientifiche internazionali, membro di comitati scientifici di conferenze internazionali, coordinatore di work-package del Joint-Program 'EERA - Smart Cities' nonché membro di gruppi di lavoro di Confindustria.

### *Daniela Raimondo*

Daniela Raimondo, laureata in Scienze dell'Architettura e dottore di ricerca in Innovazione per l'ambiente costruito (Fisica tecnica ambientale), svolge attualmente il ruolo di ricercatore a contratto all'interno del gruppo Tebe, presso il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino. Durante il percorso di formazione ha approfondito i temi del comfort ambientale legato ai consumi energetici degli edifici, focalizzando parte della ricerca su sistemi radianti innovativi a bassa domanda energetica. Ha svolto parte del dottorato di ricerca all'International Center of Indoor Environment and Energy del DTU di Copenhagen, dove ha svolto attività di monitoraggio energetico ed ambientale che sono ora alla base della sua ricerca presso l'Indoor Environment and Energy Management Competence Center di Telecom. Da 4 anni copre il ruolo di assistenza al corso di progettazione sostenibile presso la Facoltà I di Architettura del Politecnico di Torino. È attualmente coinvolta in svariati progetti di ricerca nazionali ed internazionali ed è autrice di oltre 10 pubblicazioni scientifiche nazionali e internazionali.

### *Novella Talà*

Novella Talà ha conseguito la Laurea in Ingegneria Civile presso il Politecnico di Torino nel 2003. Nel periodo ottobre 2003-marzo 2008 ha lavorato presso imprese di costruzioni come assistente direttore tecnico. Attualmente è ricercatore a contratto presso il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino. La sua attività di ricerca è focalizzata principalmente nell'area dei metodi di analisi statistica finalizzati allo studio dell'utilizzo dell'energia negli edifici e alla previsione dei consumi energetici degli edifici. Ing. Talà è coautore di oltre 10 pubblicazioni in atti di convegni internazionali e rapporti interni per industrie. Ing. Talà collabora con ENEA e TELECOM in progetti nazionali e con diverse istituzioni accademiche e industriali nell'ambito di progetti europei ANNEX e BECA.