



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



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Sviluppo di una sperimentazione dimostrativa di “Smart Village” e metodi di progettazione

Annunziato M., Comodi G., Lauro F., Meloni C., Moretti F., Pizzuti S., Romano S.

SVILUPPO DI UNA SPERIMENTAZIONE DIMOSTRATIVA DI SMART VILLAGE
E METODI DI PROGETTAZIONE

Annunziato M., Meloni C., Pizzuti S., Romano S. (ENEA), Moretti F. (Università RomaTre),
Lauro F. (Politecnico di Torino), Comodi G. (Università Politecnica delle Marche)

Settembre 2012

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

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

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

Responsabile del Progetto: Simonetta Fumagalli, ENEA

Indice

Sommario	5
<i>Introduzione</i>	6
PARTE I	8
Lo “Smart Village” (Task D.1)	8
1. L’architettura dello Smart Village	9
2. Smart lighting: applicazione e sperimentazione per il controllo dell’impianto illuminotecnico delle torri faro presso il CR Casaccia	12
3. Progettazione e realizzazione di una smart street con utenza ibrida veicolare-pedonale ed edifici uffici	21
3.1 <i>Il sistema di smart lighting</i>	21
3.2 <i>La rete degli edifici smart</i>	32
4. Smart Buildings Network: diagnosi e controllo del sistema di edifici dello Smart Village, applicazione al controllo della illuminazione di interni e della climatizzazione	38
4.1 <i>Sviluppo di un sistema di diagnosi delle anomalie ed applicazione presso l’edificio F40</i>	38
4.2 <i>Sviluppo di un sistema di simulazione per il controllo degli edifici ed applicazione presso l’edificio F40</i>	46
6. Smart Mobility: Sviluppo di un sistema di analisi dei flussi pedonali all’interno del C.R. Casaccia	52
7. Realizzazione di una Piattaforma ICT per Smart Village	59
8. Predisposizione di un programma per lo sviluppo futuro di interventi per la realizzazione dello Smart Village	64
PARTE II	68
Sviluppo di metodi di progettazione di sistemi di illuminazione smart (Task D.2)	68
9. Metodologia dello smart lighting, la sperimentazione a S.Giovanni in Persiceto (BO) ed il progetto di Bracciano .	69
10. Metodi di progettazione di componentistica multifunzionale di public lighting	72
Conclusioni	74
Riferimenti bibliografici	76
Abbreviazioni ed acronimi	77

Sommario

Questo rapporto si riferisce alla realizzazione di una sperimentazione pilota di uno Smart Village e studi sulle metodologie di progettazione per applicazioni in contesti urbani.

Attraverso la realizzazione dello Smart Village è stato possibile qualificare sperimentalmente l'integrazione di diverse funzionalità di gestione ottimale del centro, in cui il sistema di illuminazione (outdoor) diventa l'infrastruttura abilitante per applicazioni intelligenti, quali "smart lighting" (controllo adattivo della illuminazione esterna), "smart building networks" (gestione centralizzata degli edifici) e "smart mobility" (gestione centralizzata della mobilità), con il fine di sviluppare un modello integrato per un insediamento caratterizzato da un profilo di utenza omogeneo e gestione centralizzata. L'area prescelta per la dimostrazione è quella del CR ENEA Casaccia dove già in precedenza sono state effettuate alcune installazioni, per cui si è preferito continuare il percorso realizzativo avviato nelle annualità precedenti dell'Accordo di Programma. Tale obiettivo è stato sviluppato nelle seguenti attività:

- Sviluppo di un progetto di "smart village" presso il CR Casaccia
- Analisi della sperimentazione di un sistema di illuminazione adattiva del parcheggio del centro.
- Realizzazione di una "smart street" che include la realizzazione di un viale a led con telegestione adattiva e la trasformazione degli edifici che insistono sul viale in una rete coordinata e centralizzata di smart buildings sincronizzata al sistema di telegestione della illuminazione ed al sistema di monitoraggio della mobilità nel centro;
- La applicazione di un sistema di diagnostica real time avanzata all'edificio F40;
- l'implementazione dell'applicazione *smart mobility* con lo sviluppo di un sistema di analisi dei flussi pedonali all'interno del CR Casaccia;
- la realizzazione di una Piattaforma ICT per smart village per il monitoraggio, la diagnostica, il controllo ed l'ottimizzazione realtime dell'intero sistema;
- la predisposizione di un programma per lo sviluppo futuro dello smart village;

L'attività ha incluso anche studi sperimentali e studi di progettazione per applicazioni dell'approccio sviluppato nello smart village presso realtà urbane. Tali attività hanno incluso:

- la applicazione della metodologia di *smart lighting* con la sperimentazione in un realtà urbana presso il comune di San Giovanni in Persiceto e la redazione di un progetto di smart lighting presso il comune di Bracciano.
- Lo sviluppo di una metodologia di progettazione di apparati urbani multifunzionali basati sui sistemi di lighting pubblico ma integranti altre funzioni di controllo o monitoraggio della città.

Introduzione

L'obiettivo D ha riguardato la realizzazione di una sperimentazione pilota di uno Smart Village e le metodologie per la sua progettazione. Attraverso la realizzazione dello Smart Village è stato possibile qualificare sperimentalmente servizi smart applicabili anche in ambito urbano, in cui il sistema di illuminazione (outdoor) diventa l'infrastruttura abilitante per applicazioni intelligenti, quali "smart lighting" (controllo adattivo della illuminazione), "smart building networks" (gestione centralizzata degli edifici) e "smart mobility" (gestione centralizzata della mobilità), con il fine di sviluppare un modello integrato per un insediamento che si propone anche come una soluzione di base estendibile, con opportune rielaborazioni, a situazioni urbane ("smart town").

L'area prescelta per la dimostrazione è quella del CR ENEA Casaccia dove già in precedenza sono state effettuate alcune installazioni, per cui si è preferito continuare il percorso realizzativo avviato nelle annualità precedenti dell'Accordo di Programma.

In particolare, nel corso del PAR 2008-2009 sono state eseguite le prime realizzazioni riguardanti il sistema di illuminazione adattiva delle torri faro del parcheggio del CR Casaccia e la gestione energetica dell'edificio F40; queste prime sperimentazioni hanno mostrato la validità degli approcci "smart lighting" e "smart building" per cui si è proseguito nella progettazione di un'area più ampia all'interno del CR Casaccia, in cui proseguire con queste e altre applicazioni da sperimentare e qualificare.

Nel PAR 2010 è stata sviluppata la modellistica necessaria al modello integrato di smarttown e alcune componenti tecnologiche strategiche nonché sono stati fatti alcuni primi studi di fattibilità tecnico-economica su applicazioni su territori urbani definiti. In particolare è stata progettata la architettura funzionale per una piattaforma integrata per la Smart Town di diagnostica, ottimizzazione e controllo remoto di tutte le applicazioni sopra citate e permette di creare un "core" di dati condivisi.

L'obiettivo D del Progetto 3.2 del PAR 2011 "[Innovazione nella illuminazione pubblica: nuove tecnologie ed integrazione smart con altre reti di servizi energetici](#)" ha riguardato la realizzazione di una sperimentazione pilota di uno "Smart Village" e la verifica delle metodologie per la progettazione di interventi urbani di "smart lighting" attraverso l'analisi di dati relativi a casi pilota.

Tale obiettivo è stato sviluppato nelle seguenti attività:

Task D1

- Sviluppo di un progetto di "smart village" presso il CR Casaccia
- Analisi della sperimentazione di un sistema di illuminazione adattiva del parcheggio del centro.
- Realizzazione di una "smart street" che include la realizzazione di un viale a led con telegestione adattiva e la trasformazione degli edifici che insistono sul viale in una rete coordinata e centralizzata di smart buildings sincronizzata al sistema di telegestione della illuminazione ed al sistema di monitoraggio della mobilità nel centro;
- La applicazione di un sistema di diagnostica real time avanzata all'edificio F40;
- l'implementazione dell'applicazione *smart mobility* con lo sviluppo di un sistema di analisi dei flussi pedonali all'interno del CR Casaccia;
- la realizzazione di una Piattaforma ICT per smart village per il monitoraggio, la diagnostica, il controllo ed l'ottimizzazione realtime dell'intero sistema dotata sia del server di raccolta dei dati che della piattaforma integrata di diagnostica, ottimizzazione e controllo remoto sviluppata nel PAR 2010. Tale piattaforma è situata in una control room specificatamente allestita all'interno dell'edificio F40;
- la predisposizione di un programma per lo sviluppo futuro dello smart village;

Task D2

- la applicazione della metodologia di *smart lighting* con la sperimentazione in un realtà urbana presso il comune di San Giovanni in Persiceto e la redazione di un progetto di smart lighting presso il comune di Bracciano.
- Lo sviluppo di una metodologia di progettazione di apparati urbani multifunzionali basati sui sistemi di lighting pubblico ma integranti altre funzioni di controllo o monitoraggio della città.

Le attività sono state svolte da ENEA in collaborazione con il Politecnico di Torino, con l'Università Politecnica delle Marche, con l'Università degli Studi di Roma Tre, con l'Università di Pisa ed i rapporti tecnici di riferimento sono:

- “Sviluppo di una sperimentazione dimostrativa di “smartvillage” e metodi di progettazione” - ENEA (RdS/212/053);
- “Sviluppo di un approccio per la gestione ottimale di edifici: applicazione su un Smart Village C.R. Casaccia” - Università Politecnica delle Marche (RdS/2012/054);
- “Sviluppo di una metodologia per la diagnostica remota di reti di edifici: applicazione su Smart Village C.R. Casaccia” - Politecnico di Torino, Dipartimento Energia (RdS/2012/229);
- “Realizzazione di una piattaforma integrata per il data fusion di segnali provenienti da sistemi sensoriali per applicazioni di smart city integrate nella rete della pubblica illuminazione” - Università degli Studi Roma Tre, Dipartimento di Informatica e Automazione (RdS/2012/230).
- “Studio di strutture multifunzionali da installare in ambiente urbano come arredi attivi in una logica di smart cities” - Università di Pisa, Dipartimento di Sistemi Elettrici e Automazione (RdS/2012/283).

PARTE I

Lo “Smart Village” (Task D.1)

Il task D.1. del progetto 3.2 del PAR 2011 ha come obiettivo la progettazione e la realizzazione di uno Smart Village in grado di qualificare sperimentalmente l'integrazione sul sistema di illuminazione di funzionalità smart di controllo e gestione dell'intero “village”. Oltre all'importante segmento di mercato terziario che lo “smart village” rappresenta (es: centri ospedalieri, centri di ricerca ed università, centri direzionali, centri sportivi e multifunzionali, plessi scolastici, nodi di trasporto quali stazioni ed aeroporti, caserme, centri commerciali, ecc..), questo modello costituisce una base di riferimento per applicazioni in ambito urbano (smart street, quartieri smart, percorsi smart, parchi, centri storici).

1. L'architettura dello Smart Village

L'impianto sperimentale di Smart Village è localizzato presso il CR ENEA Casaccia, su un'area in funzione del budget a disposizione, e include funzionalità di Smart Lighting, Smart Buildings Network, Smart Mobility e Piattaforma ICT.

L'obiettivo è quello di dimostrare in un caso reale, la prestazione e la robustezza della tecnologia sviluppata, la sua innovatività e competitività economica, la capacità di produrre risparmio energetico ed ambientale. La base di partenza è costituita dalle tecnologie più innovative disponibili sul mercato, sulle quali si innestano funzionalità più avanzate in particolare verso l'utilizzo delle tecnologie della computing intelligence. Seguendo l'approccio Smart Cities, tutte le applicazioni dialogano con un sistema centrale di supervisione dello Smart Village che provvede a fondere i dati ad un livello superiore. Il tema comune di tutte le applicazioni è l'approccio energy on demand, cioè fornire energia e risorse dove e quando vengono realmente richieste.

La scelta di realizzare un caso dimostrativo presso il CR ENEA Casaccia è connessa alla identificazione di un particolare segmento di mercato connesso a distretti urbani omogenei. E' necessario realizzare dapprima un esempio di riferimento prima di immettere in una città una tecnologia critica e occorre infine che tutta la tecnologia di controllo e di integrazione abbia superato la fase sperimentale mostrando di poter rispettare i vincoli della realtà urbana.

Non da meno, la possibilità di studiare un progetto "Smart" applicato ad un ambito di minori dimensioni come quello di un Centro Ricerche permette di analizzare e sperimentare le innovazioni tecnologiche avendo però la completa disponibilità di dati e informazioni più precise rispetto ad una città.



Figura 1.1 : Planimetria dello Smart Village

Il risparmio energetico è ottenuto attraverso lo sviluppo di modelli per l'ottimizzazione della fornitura energetica commisurata dinamicamente alla richiesta (*energy on demand*: fornire energia solo quando e nella misura in cui serve). Per alimentare tali modelli sono necessari metodi di rilevazione e

modellizzazione della utenza e lo sviluppo di una struttura di sensori che possa “misurare” la richiesta di energia in tempo reale, una rete di trasporto dei dati e un insieme di sistemi intelligenti che siano in grado di ottimizzare la fornitura, colloquiare con i sistemi di regolazione ed interagire con gli utenti.

Le applicazioni smart prese in considerazione per lo Smart Village si basano su tecnologie innovative disponibili sul mercato, che però includono funzionalità più avanzate, in particolare l'utilizzo delle tecnologie della computing intelligence con un approccio “resource on demand” ossia fornire il servizio esattamente nel luogo, nel tempo e nella intensità richiesta. L'architettura dello smartvillage ha come infrastruttura di base il sistema dell'illuminazione pubblica su cui sono stati integrati altri servizi smart, quali la gestione della mobilità interna e reti di edifici a controllo remoto, il tutto gestito da una piattaforma integrata ICT localizzata in una control room (vedi planimetria).

L'applicazione verticale di **Smart Lighting** si basa sulla tecnologia di Adaptive Public Lighting sviluppata nel PAR 2008-09 e PAR 2010 che utilizza sensori visivi per la ricostruzione della domanda di illuminazione sulla base del quale viene regolata l'energia luminosa. La metodologia consiste nella elaborazione delle immagini provenienti da telecamere posizionate su pali intelligenti al fine di ricostruire in continuo i flussi veicolari e pedonali, le condizioni ambientali ed eventualmente anomale; successivamente si attua una predizione oraria degli indici di attività (passaggi di persone e veicoli) sulla base dei dati elaborati al fine di determinare la “richiesta dell'utenza” nell'immediato futuro (15, 30 e 60 minuti). Infine interviene un sistema di regolazione ottimale delle potenze di alimentazione di interi tratti stradali tramite la tele gestione punto-punto del singolo punto luce.

La regolazione dinamica della potenza delle lampade dei pali ha il duplice intento di incrementare il livello di sicurezza stradale fornendo un'erogazione del servizio di illuminazione proporzionale alla quantità di traffico rilevata (energy on demand) ed in ogni caso in linea con le normative vigenti riguardo il livello di illuminamento stradale. In definitiva consente di ottenere un notevole guadagno in termini di risparmio energetico e sicurezza stradale, offrendo finalmente un servizio di qualità.

L'applicazione Smart Lighting è stata applicata su alcuni viali interni e nell'area del parcheggio del CR Casaccia utilizzando le migliori tecnologie per ridurre i consumi energetici e per fornire servizi smart su lampioni intelligenti. Sono incluse funzionalità di illuminazione led, telegestione punto-punto con rete digitale e PLC (Power line communication a larga banda), funzionalità adattiva con rilevazione video e ricostruzione del profilo di utenza (veicoli e persone).

Il sistema consentirà di sviluppare in modo concreto tutte le verifiche e le attività di ricerca sia sugli effetti di un'illuminazione innovativa, come quella a LED, sia di sperimentare gli effetti e le applicazioni di un sistema integrato che contempli gli aspetti di regolazione associata a gestione della mobilità, sicurezza, etc. L'applicazione **Smart Building** consiste nella realizzazione di una rete di smart buildings (9 edifici) che vengono equipaggiati con sistemi sensoriali i cui dati vengono portati in real time sul sistema di supervisione dello Smart Village. Il sistema di supervisione delle applicazioni intelligenti sviluppate da ENEA provvede alla diagnostica avanzata ed alla ottimizzazione della gestione. I risultati vengono inviati agli attuatori per la implementazione delle strategie di controllo e, in relazione ai target, verso l'energy manager della rete o verso gli utenti.

Tali edifici saranno equipaggiati con sensori di consumo elettrico e termico e collegati in tempo reale ad un server internet dove risiedono programmi di diagnostica remota (computation intelligence) i cui risultati consistono in segnalazione di guasti, gestione di bassa qualità, carenze dell'edificio o degli impianti o dei sistemi di automazione, comportamenti errati dal punto di vista della gestione energetica. Il sistema offre indicazioni dialogative sulla ottimizzazione progressiva della gestione degli edifici ed in alcuni casi può avviare una reimpostazione dei parametri dei sistemi di controllo locali.

Tale gestione energetica degli edifici ha l'obiettivo di ottimizzarne i consumi energetici rendendoli più efficienti; si fonda su un sistema di diagnostica ed ottimizzazione centralizzato che potrebbe portare a notevoli risparmi energetici ed economici con costi di investimento contenuti essendo fondati principalmente su automazione ed intelligenza.

L'applicazione **Smart Mobility** riguarda la realizzazione di sistemi per la mobilità intelligente all'interno del Centro e per il trasporto lavoro-abitazione.

In particolare una delle applicazioni si basa su dispositivi installati su una navetta elettrica per la raccolta e trasmissione dati verso i pali intelligenti e la infrastruttura del centro al fine di monitorare informazioni sullo stato del mezzo (i.e. stato di carica della batteria, localizzazione e velocità, ecc...). Una seconda applicazione realizza una modellistica degli spostamenti interni utilizzando i dati dei sistemi badge per l'accesso al centro ed alla mensa. Infine si sta studiando un sistema ICT per la facilitazione del trasporto abitazione-lavoro tramite carpooling.

L'applicazione **Piattaforma ICT** è trasversale e consiste nello sviluppo di una soluzione hw-sw ICT per l'integrazione dei dati provenienti dalle varie applicazioni verticali; in particolare la piattaforma integrata ha la funzione di raccolta, organizzazione ed elaborazione dati e la loro redistribuzione alle varie applicazioni per la gestione dei vari servizi (es: interazione tra mobilità ed accesso edifici con la gestione della illuminazione).

La piattaforma ICT è ospitata all'interno di una control room localizzata nell'edificio F40 che dispone di attrezzature informatiche ad hoc per il monitoraggio, la diagnostica, il controllo e l'ottimizzazione real time dell'intero sistema, essendo dotata sia del server di raccolta dei dati che della piattaforma di diagnostica, ottimizzazione e controllo remoto sviluppata nel PAR 2010.

L'ENEA fornisce le specifiche dei sistemi intelligenti coniugando le proprie competenze multidisciplinari e sviluppando metodologie di gestione e controlli dei servizi smart.

Lo Smart Village è realizzato nell'ambito del PAR 2011 fino ad esaurimento delle risorse disponibili; in aggiunta accordi di partenariato con aziende prevedono lo sviluppo congiunto di una o più applicazioni Smart, ad integrazione di quelle già finanziate col l'Accordo di Programma.

I risultati della sperimentazione saranno trasferiti alle aziende partecipanti e successivamente a quelle operanti nel settore energetico e ICT mentre la spinta verso le tematiche energetiche anche a livello di politiche comunitarie promuoverà la nascita di un nuovo tipo di imprese dedicate alla gestione delle applicazioni smart in ambito urbano.

2. Smart lighting: applicazione e sperimentazione per il controllo dell'impianto illuminotecnico delle torri faro presso il CR Casaccia.

L'obiettivo di questa attività consiste nella sperimentazione delle metodologie di 'smart lighting' sviluppate nell'ambito del PAR 2010.

Il concetto di base che è stato applicato è quello di 'energy on demand', ovvero di regolare la potenza del flusso luminoso in funzione della domanda (flusso di traffico veicolare urbano). Il punto critico di questo approccio è quello di avere degli strumenti che riescano a modellare la domanda in maniera più accurata possibile. In tal modo è possibile risparmiare grandi quantità di energia e migliorare sensibilmente la sicurezza delle strade fornendo più illuminazione quando è necessaria e meno quando non serve.

Le metodologie applicate si riferiscono all'implementazione di modelli predittivi basati su reti neurali a breve di flussi di traffico veicolare urbano e le strategie di controllo.

Il lavoro si è sviluppato in due fasi distinte tra di loro :

1. Installazione del sistema di monitoraggio e controllo;
2. sperimentazione ed analisi dati.

Il sistema di monitoraggio e controllo si basa sulla tecnologia Minos System di Umpi Elettronica.

Minos System è un sistema di telegestione dell'illuminazione pubblica ed esterna che consente di monitorare costantemente lo stato degli impianti, conoscere in tempo reale il dettaglio dei guasti, decidere con flessibilità come, dove e quando accendere, spegnere o ridurre il flusso luminoso del singolo punto luce.

Grazie al riconoscimento del guasto lampada e all'installazione del modulo Syra in serie alla linea di alimentazione, Minos System telecontrolla costantemente ogni punto luce dell'impianto di illuminazione. Questa caratteristica consente quindi di rilevare dettagliatamente i guasti e lo stato di funzionamento della singola lampada.

L'utilizzo delle onde convogliate (PLC - Power Line Communication) permette a Minos System di comunicare con il singolo lampione sfruttando la rete elettrica esistente, senza dover aggiungere nuovi e costosi cablaggi. Il sistema può essere programmato attraverso timer astronomici/settimanali ed inoltre decidere anche in modo flessibile, in quale zona e in quale orario inviare al punto luce comandi di accensione, spegnimento o riduzione del flusso luminoso, oltre a ricevere le informazioni sullo stato e il malfunzionamento della lampada. Tutte le funzionalità di Minos System sono accessibili attraverso internet tramite browser.

Nella seguenti figure sono riportate una schematizzazione del sistema installato e la schermata del pannello di controllo web. I flussi dati (lampade e video) vengono convogliati via linea elettrica ad un quadro di telecontrollo connesso alla LAN del C.R. Casaccia. Da qui i dati vengono trasferiti via internet ad un server remoto accessibile via browser web attraverso il normale protocollo http.

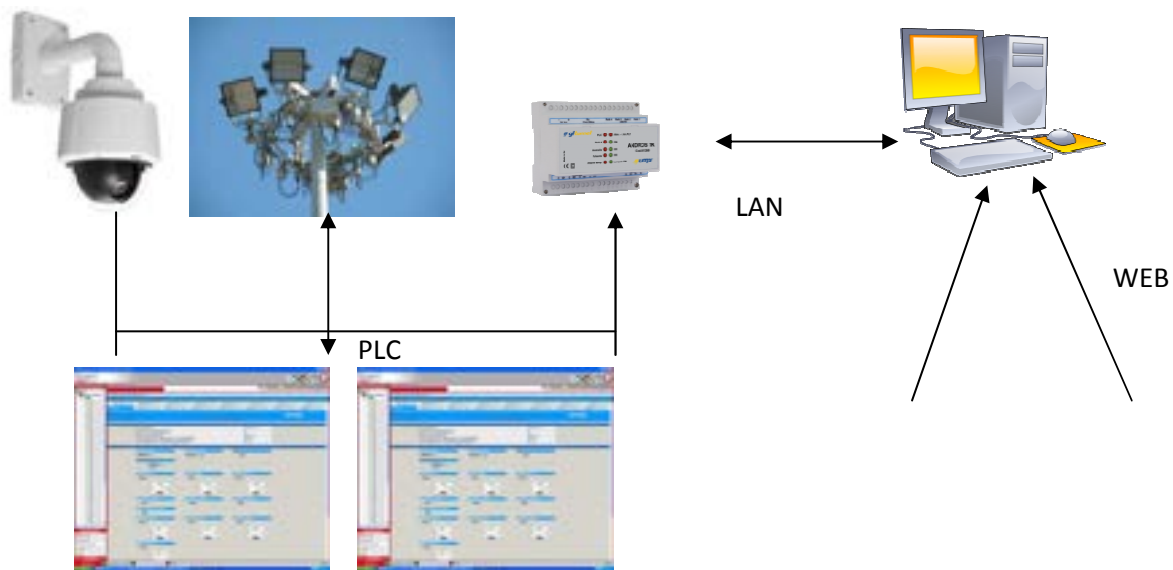


Figura 2.1 : Architettura logica sistema di monitoraggio e controllo

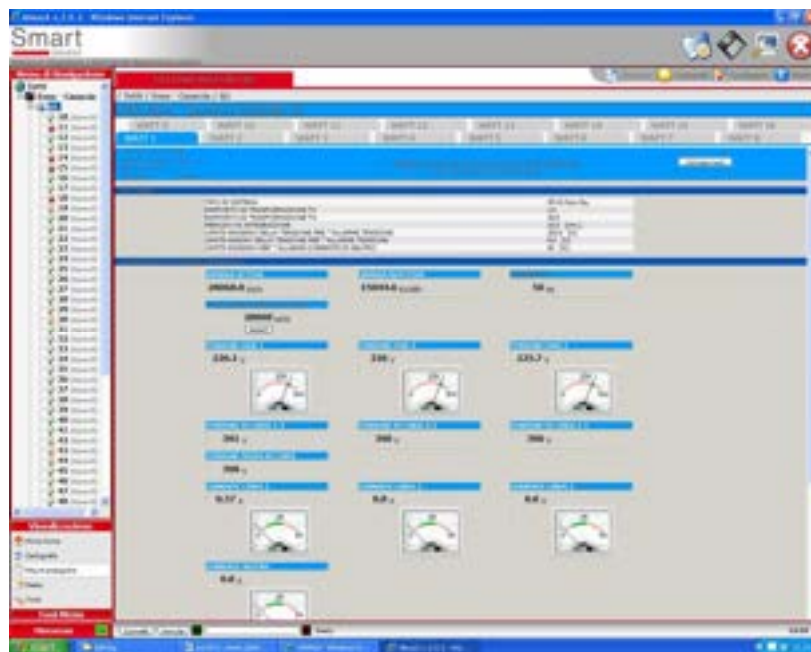


Figura 2.2 : Pannello di controllo web sistema Minos

L'installazione è stata piuttosto articolata e complessa in quanto ha richiesto le seguenti fasi

- sostituzione lampade (in tutto 64) con SAP 400w
- installazione moduli
 - Syra-D (64, 1 per ogni punto luce) : modulo periferico per diagnostica, alimentazione lampada, comunicazione su linea alimentazione con tecnologia PLC
 - Telecamere Axis (2)
- configurazione quadro di telecontrollo

Nella figura seguente viene riportata lo scenario ripreso da una delle due telecamere installate. Tale scenario consiste essenzialmente del parcheggio interno al C.R. Casaccia (oggetto principale dello studio e della sperimentazione) nonché della via anguillarese (sulla destra) e di un vialetto interno di prevalente mobilità pedonale (sulla sinistra).

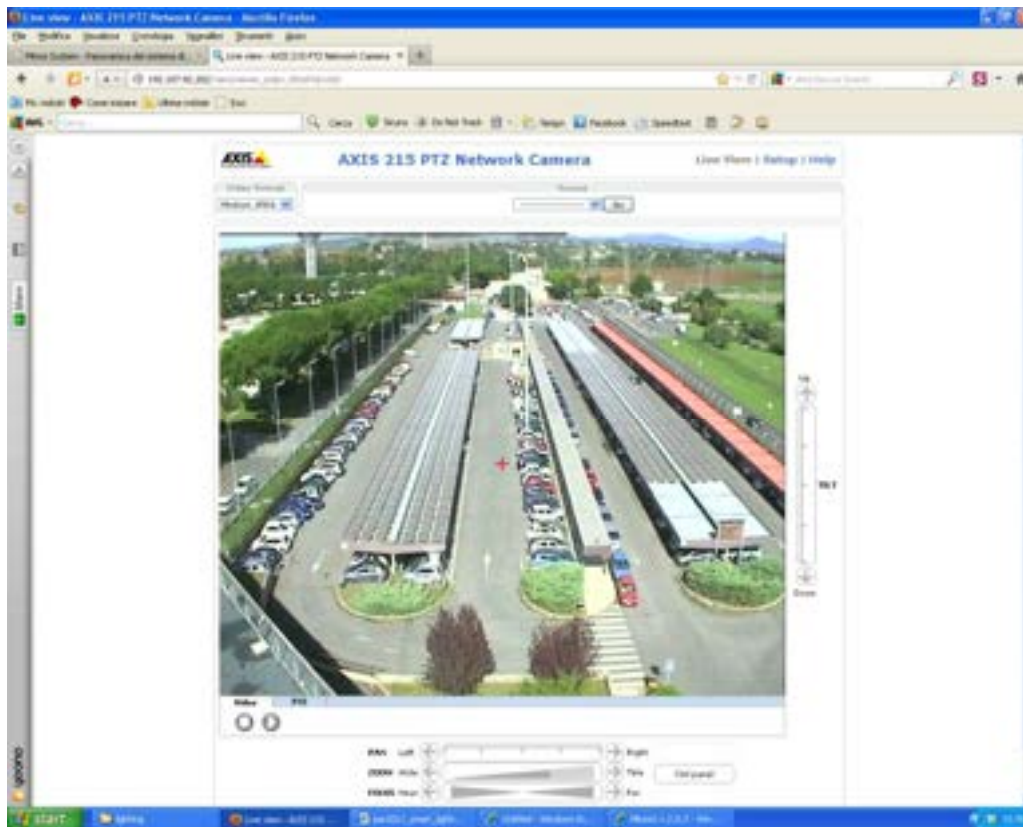


Figura 2.3 : Acquisizione telecamera

La fase sperimentale ha riguardato due aspetti :

1. l'analisi dei flussi video delle telecamere
2. applicazione di strategie di controllo

L'analisi dei flussi video è stata effettuata con un sistema di elaborazione delle immagini real time che consente di identificare gli oggetti in movimento basandosi sulla differenza tra i frame acquisiti, il background estratto periodicamente dalla scena ed una media pesata dei frame immediatamente precedenti a quelli acquisiti. Per una descrizione più approfondita dell'implementazione e dei risultati ottenuti con tale sistema si rimanda al report RdS/2011/329.

Per la sperimentazione sono state analizzate le registrazioni del parcheggio del C.R. ENEA Casaccia relative ad un arco temporale di circa un mese (17 Febbraio – 12 Marzo). L'attenzione è stata focalizzata solo sulle ore notturne per cui l'analisi è stata effettuata offline a posteriori.

Per individuare la migliore configurazione per il settaggio dei parametri sono stati effettuati dei test a diversi orari del giorno con differenti configurazioni iniziali. E' stato riscontrato, come ci si aspettava, che la configurazione risulta fortemente dipendente dalle condizioni di illuminazione, per cui sono stati individuati tre scenari differenti in cui vanno utilizzate impostazioni diverse sul sistema di analisi.

- Giorno, illuminazione naturale
- Sera, illuminazione naturale
- Notte, illuminazione artificiale

I test sono stati effettuati su tre diverse aree di interesse del parcheggio, sia per verificare la correlazione tra i risultati ottenuti sulle diverse aree sia per verificare il comportamento del sistema in situazioni di notevole difficoltà, come nel caso dell'area di interesse posta in una zona dell'immagine in cui gli oggetti in movimento sono avvistati con difficoltà anche ad occhio nudo.

Scenario 1. Giorno con illuminazione naturale

Il primo scenario preso in considerazione è quello diurno.

Sorgente Video	Can01_2012.02.17_0008.eye
Illuminazione	Mattina
Tipo di illuminazione	Naturale
Orario	08:00
Meteo	Sereno



Figura 2.3: Scenario 1

I risultati ottenuti sono stati molto soddisfacenti su tutte le zone di interesse come mostrato nella tabella.

Target	Conteggio totale reale	Conteggio totale elaborato	Errore
0	76	80	5,00%
1	68	64	5,88%
2	116	116	0,00%

Scenario 2. Sera con illuminazione naturale

Sorgente Video	Can01_2012.02.17_0028.eye
Illuminazione	Tramonto

Tipo di illuminazione	Naturale
Orario	17:00
Meteo	Sereno



Figura 1.4: Scenario 2

I test effettuati sullo scenario serale hanno dato risultato peggiori rispetto al caso precedente. I risultati sulla zona 0, come ci si aspettava non sono soddisfacenti, in quanto la distanza tra la telecamera e quella zona del parcheggio è notevole, e si fatica a distinguere auto e pedoni anche ad occhio nudo. Nelle altre due aree la % di errore è incrementata soprattutto a causa della mancata identificazione dei pedoni, infatti considerando solo l'errore sulle automobili i risultati migliorano notevolmente.

Target	Conteggio totale reale	Conteggio totale elaborato	Errore sul totale	Errore su auto
0	18	0	100,00%	100,00%
1	19	15	21,05%	16,67%
2	34	28	17,65%	0,00%

Scenario 3. Notte con illuminazione artificiale

Sorgente Video	Can01_2012.02.17_0032.eye
Illuminazione	Notte
Tipo di illuminazione	Artificiale
Orario	19:00
Meteo	Sereno



Figura 2.5: Scenario 3

I test effettuati sullo scenario notturno hanno dato dei risultati molto soddisfacenti.

Target	Conteggio totale reale	Conteggio totale elaborato	Errore
0	0	1	100,00%
1	11	11	0,00%
2	36	32	11,11%

Riepilogando sono stati quindi individuati tre differenti tipi di configurazione al variare delle condizioni d'illuminazione che consentono di ottenere buoni risultati in tutti gli scenari in cui le condizioni atmosferiche consentono una buona analisi. Al contrario è stato riscontrato un peggioramento critico delle prestazioni in presenza di condizioni atmosferiche avverse: vento, pioggia, neve, nebbia.

Nel primo caso è possibile risolvere il problema con metodologie di stabilizzazione dell'immagine attraverso una ricostruzione dell'immagine originaria sfruttando le informazioni dell'optical flow. Negli altri casi risulta invece problematico evitare il calo di prestazioni, in quanto possono verificarsi anche occlusioni della telecamera, come mostrato nelle figura.



Figura 2.5: Occlusioni della telecamera

Un ulteriore problema tecnico riscontrato riguarda la trasmissione dati. La banda effettiva garantita dalla comunicazione in power line non si è rivelata sufficiente per trasportare flussi video ad un FPS costantemente accettabile. A causa di tale problema di comunicazione a volte le registrazioni presentano dei buchi.

Di conseguenza a causa dei problemi atmosferici e di comunicazione sono stati scartati molti risultati all'interno dell'arco temporale preso in considerazione.

La sperimentazione ha riguardato essenzialmente l'applicazione di una strategia di controllo statico, in quanto, a causa dell'esiguità dei dati validi sui flussi di traffico, non è stato possibile sviluppare né un modello statistico né un modello predittivo basato su reti neurali. In tale contesto sono stati valutati gli effetti delle seguenti strategie :

- nessun controllo : tutte le lampade accese al 100% della potenza
- controllo statico : due valori di funzionamento (50% - 100%) regolati da un timer settimanale in cui la modalità al 50% è stata impostata in questi modi :
 - dimmerazione di tutte le lampade al 50%
 - spegnimento della metà delle lampade

I risultati riportati si basano sulle misure dei consumi reali e si riferiscono al risparmio ottenuto rispetto al caso senza alcun controllo.

controllo dimmerato	controllo a spegnimento
-20%	-29%

Tabella 2.1 : Risultati strategie di controllo (percentuale di risparmio)

Tale risultato risulta piuttosto lontano dalle aspettative, in particolare nel caso del controllo a spegnimento ci si aspetterebbe un risparmio vicino al 50%. Per cercare di verificare questa anomalia è stata fatta anche una prova (di giorno) provando ad accendere solo il 10% delle lampade ed è stato misurato un consumo pari a circa il 30% rispetto al consumo del 100% delle luci accese. Ciò conferma che nell'impianto elettrico ci sono dispersioni quantificabili a circa il 15%-20% dei consumi totali.

Tale risultato è già da solo significativo poiché dalla semplice analisi dei consumi misurati è stato possibile effettuare una diagnostica di impianto che rileva una anomalia abbastanza importante.

Nella figura seguente viene riportato un grafico dei consumi confrontando il controllo a spegnimento (ultimi 4 giorni) con il controllo dimmerato. In tale grafico è visibile anche la prova effettuata con il 10% delle lampade.

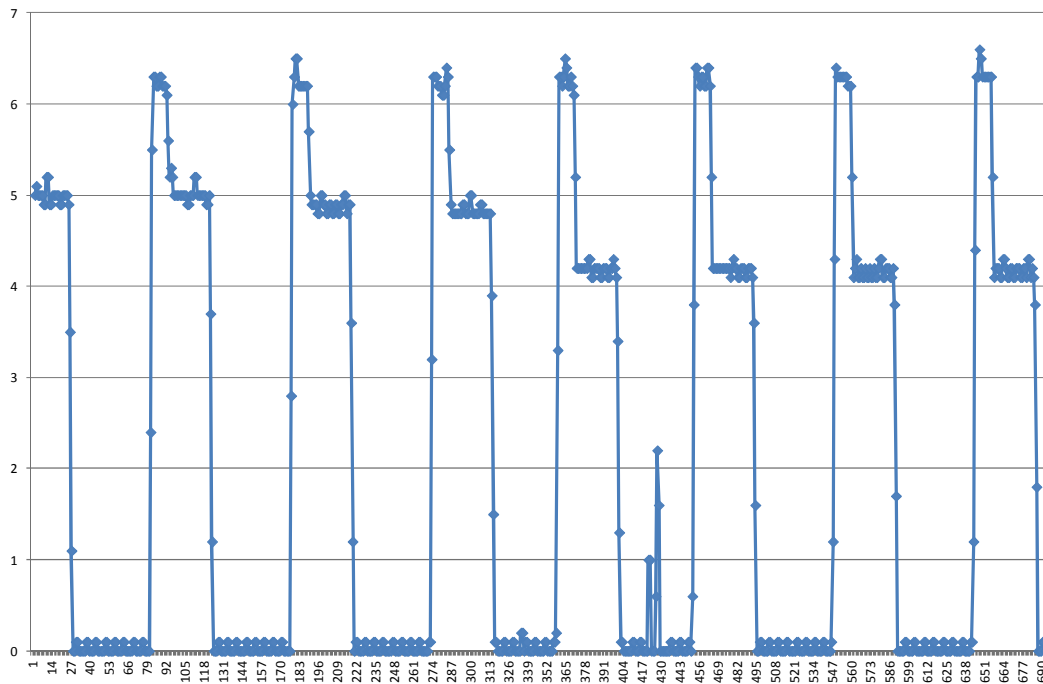


Figura 2.6 : Comparazione strategie di controllo (consumi misurati)

Le direzioni che ENEA intende intraprendere nel prosieguo dello sviluppo della metodologia di smart lighting riguardano essenzialmente la problematica dell’acquisizione dati via telecamera.

Infatti, è stato ampiamente verificato che la principale problematica riscontrata è stata quella che il trasporto dei flussi video via linea elettrica è altamente inefficiente e per questo motivo è stata avviata una linea di ricerca che non prevede il trasporto del flusso video ma prevede l’intera analisi delle immagini direttamente a livello della singola telecamera.

Tale approccio è stato sperimentato presso il comune di San Giovanni (vedi cap.9) dove è stato utilizzato un sensore di visione integrato che rileva i numeri di targa dei veicoli. Tale approccio ha mostrato un risultato molto più interessante in termini di risparmio energetico. Il rilevamento delle targhe richiede comunque un apparato di visione piuttosto accurato il cui costo potrebbe rivelarsi eccessivo per le applicazioni su larga scala (5000-7000 euro per un palo intelligente) senza considerare il problema del trattamento dei dati sotto vincoli di privacy. Pertanto è stato intrapreso un secondo studio basato sul riconoscimento della “sagoma” del veicolo senza necessariamente identificare la “proprietà” del veicolo.

In tal senso è stato effettuato uno studio ad hoc con l’azienda Smart-I, la cui competenza è stata coinvolta nello sviluppo del sistema di analisi delle immagini. Lo studio è stato mirato alla realizzazione di un sensore innovativo (SmartEye) per l’analisi dello scenario urbano, con particolare riferimento alle condizioni ambientali, meteorologiche, ed il monitoraggio dei flussi veicolari. Il sistema SmartEye progettato è caratterizzato da sensori di visione (videocamere operanti nello spettro visibile e/o infrarosso) montati su punti di rilievo lungo il tratto stradale (tipicamente lampioni della luce), dotati di scheda elettronica di processamento che gestisce il funzionamento, analizza il flusso video, e riporta in output il risultato degli algoritmi di analisi della scena. Tali dati sono disponibili ad un gestore del sistema tramite interfaccia locale ed inviati in remoto ad un centro di aggregazione per l’elaborazione di statistiche e l’archiviazione.

Potendo lavorare ad alta risoluzione ed a pieno frame rate (25 frame al secondo) le difficoltà incontrate sarebbero risolte poiché integrando in un chip dedicato i software di analisi ambientale e di analisi del traffico, ed effettuando tali elaborazioni in locale sulla telecamera, la problematica del quantità dei dati da trasferire si ridurrebbe all'invio di pochi dati numerici (i risultati delle elaborazioni) e quindi la rete elettrica sarebbe adeguata per il trasporto di una bassa quantità di dati.

Dal punto di vista del costo del singolo sistema questo sarebbe ancora contenuto (circa 3000 euro per telecamera + sistema di analisi immagini + sistema di trasmissione dati) e potrebbe essere compatibile con le reti PLC a bassa banda quali vengono normalmente utilizzate da diversi anni. Inoltre questa si presenta come la soluzione ideale per essere integrata con i "lampioni intelligenti". Nel caso di una integrazione del sensore visivo direttamente nel lampioni i costi dell'apparato aggiuntivo di analisi immagini potrebbero scendere intorno a 500-1000 euro e quindi prestarsi ad una applicazioni di massa. Tale conclusione rappresenta il punto di approdo attuale nel percorso di ingegnerizzazione della metodologia di smart lighting

3. Progettazione e realizzazione di una smart street con utenza ibrida veicolare-pedonale ed edifici uffici

Nell'ambito delle applicazioni di smart lighting presso il C.R. Casaccia è stato progettato e realizzato un impianto dimostrativo pilota su scala reale di diverse tecnologie altamente performanti e innovative già disponibili sul mercato: la tecnologia led, la tele gestione punto-punto, il controllo ottimizzato degli edifici. Per quanto riguarda l'illuminazione stradale l'impiego della tecnologia led consente di adattare il flusso luminoso alla domanda dell'utenza caratterizzata, nel caso in esame, dalla presenza contemporanea di veicoli e pedoni.

L'obiettivo è quello di sperimentare e qualificare un sistema di smart lighting applicato ad un distretto omogeneo in grado di assicurare il risparmio energetico ed il comfort per gli utenti. Il sistema così elaborato e testato potrà poi essere riprodotto in realtà simili ed implementato per soddisfare situazioni più complesse come gli scenari urbani. Infatti le dimensioni contenute dell'intervento e l'opportunità di avere la completa disposizione dei dati consentono di agevolare le attività di analisi e sperimentazione soprattutto se confrontate a realtà più articolate come le città.

La struttura che è stata messa a punto si basa sul connubio di due tecnologie altamente performanti e innovative: la tecnologia led e la telegestione che consente la regolazione adattiva dell'illuminazione in relazione alla richiesta dell'utenza e che pertanto è subordinata alla possibilità di monitorare in tempo reale il passaggio di veicoli e persone.

3.1 Il sistema di smart lighting

Impianto di illuminazione led

L'intervento si è focalizzato sulla realizzazione di un impianto di illuminazione innovativo di un viale interno al centro di ricerca compreso tra gli edifici che vanno dall'F65 all'F73 della figura 2 anch'essi oggetto di sperimentazione e riconversione in una rete di smart buildings.

Il viale è costituito da una strada larga 6 metri con marciapiedi laterali di cui, quello sul fronte Ovest, è coperto da una pensilina metallica, su di esso prospettano 8 edifici che ospitano gli uffici della Direzione di Centro; la lunghezza del tratto preso in esame è di circa 150 m. Esso è adibito sia al traffico veicolare che pedonale con prevalenza di quest'ultimo, mentre la velocità consentita in tutto il Centro di Ricerca è di 30 Km/h.

L'impianto di illuminazione preesistente era costituito da apparecchi a globi con lampade ai vapori di mercurio da 125 W schermate da alette paraluce che consentivano di limitare solo parzialmente la dispersione di luce verso l'alto inoltre nel tempo i globi si erano opacizzati riducendo ulteriormente l'efficienza delle lampade.

La progettazione illuminotecnica si è basata oltre che sul risparmio energetico, sul rispetto dei requisiti prestazionali previsti dalle attuali norme in vigore:

- CIE 115 – Recommendations for the lighting roads for motor and pedestrian traffic;
- CIE 136 – Guide to the lighting of urban areas;
- CIE 126 – Guidelines for minimizing sky glow;
- CIE 27 – Photometry of luminaries for street lighting;
- CEI 43-21 – Apparecchi di illuminazione: prescrizioni generali;
- CEI 34-33 – Apparecchi di illuminazione stradale;
- UNI 11248 Illuminazione stradale – selezione delle categorie illuminotecniche;
- UNI EN 13201 – 1 Illuminazione stradale – Requisiti prestazionali;

- UNI EN 13201 – 2 Illuminazione stradale – Calcolo delle prestazioni;
- UNI EN 13201 – 3 Illuminazione stradale – Metodi di misura e delle prestazioni fotometriche;
- UNI 10819 – Requisiti per la limitazione del flusso luminoso verso l’alto;
- UNI EN 40 – Sostegni per l’illuminazione stradale: dimensioni e tolleranze.

Per determinare le prestazioni illuminotecniche dell’impianto da realizzare, secondo quanto previsto dalla norma UNI 11248, il viale è stato classificato di tipo F: strada locale extraurbana. Nella fase di analisi dei rischi si è tenuto conto del limite di velocità imposto all’interno del Centro di 30km/h e dell’esistenza di zone di conflitto in corrispondenza degli accessi agli edifici dove vi è la possibilità di attraversamento da parte dei pedoni. Pertanto è stata scelta come categoria illuminotecnica di progetto la CE4/S2, prevedendo in esercizio di scendere alle categorie CE5/S3 e S4. Infatti la norma UNI 11248 stabilisce che le strade possono essere declassate se i flussi di traffico orari sono inferiori a valori di portata prefissati per ciascun indice. Ovvero, è possibile ridurre il flusso luminoso, se il traffico nelle condizioni più sfavorevoli, non raggiunge il 50% della portata oraria prevista per tale tipo di strada, e declassarla di 2 indici illuminotecnici, se il traffico non raggiunge il 25% della portata oraria.

Lo figura 1 che segue, sintetizza l’iter progettuale così come previsto dalla norma.

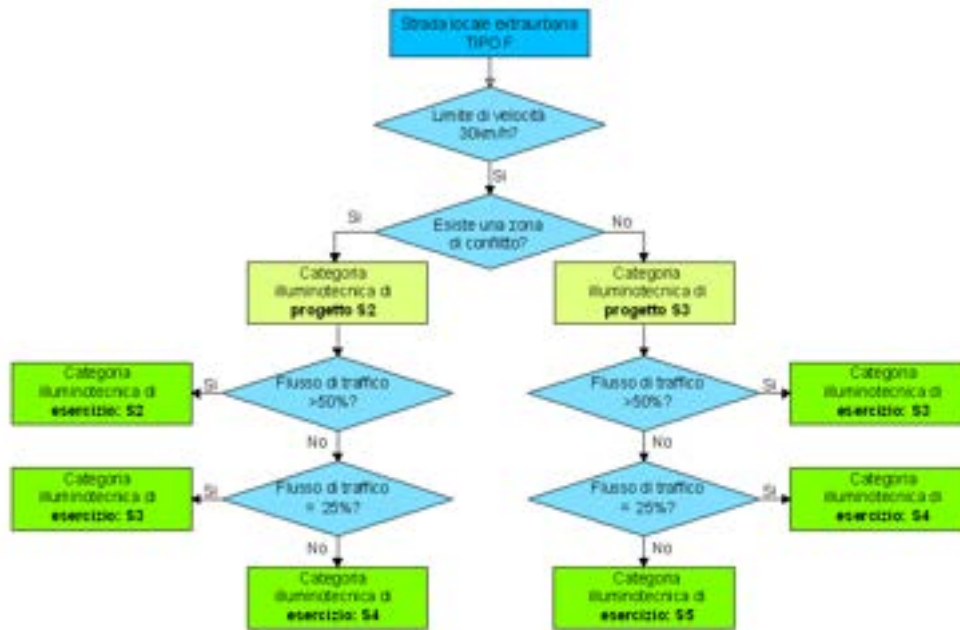


Figura 3.1.1: Diagramma di flusso per la determinazione della categoria illuminotecnica

Per quanto riguarda i valori di illuminamento richiesti per le diverse categorie illuminotecniche della serie S si fa riferimento alla norma UNI-EN 13201-2 riportata nella tabella 3.1.

Categoria	Illuminamento orizzontale	
	E_{medio} * min.mantenuto[lx]	E_{min} mantenuto[lx]
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6
S7	prestazione non determinata	prestazione non determinata

NOTA: *(per ottenere l'uniformità $E_{medio} < 1,5 E_{min}$ indicato per la categoria)

Tabella 3.1.1 - Categorie illuminotecniche serie S (norma EN 13201-2:2003)

Nella realizzazione del nuovo impianto sono stati scelti apparecchi di illuminazione a led di ultima generazione e con elevate prestazioni già disponibili sul mercato, mentre è stata mantenuta la posizione degli apparecchi originali. La fase progettuale è stata condotta in collaborazione con l'azienda fornitrice dei corpi illuminanti, iGuzzini.


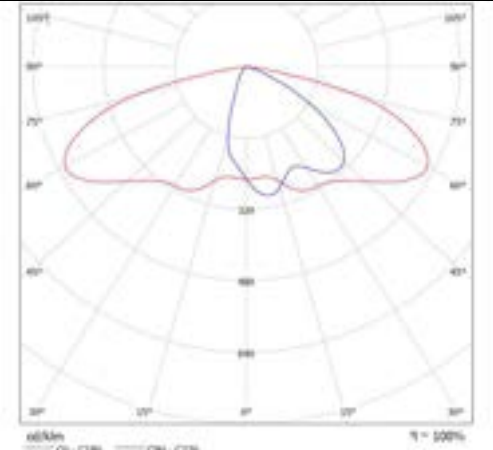
Come riportato nella figura 2 i punti luce sostituiti sono stati 15, di cui :

- 12 tipo Wow BH 34 da 40 W, sul lato Est, installati su mensole fissate alla facciata degli edifici ad altezza fuori terra di circa 3,2 m ed interasse variabile dai 12-13 m.
- 3 composizioni Wow da 60 W, sul lato Nord, installati in testa a pali di altezza di circa 4 m fuori terra illuminano lo spazio antistante utilizzato come area parcheggio.



Figura 3.1.2: Planimetria dell'area di intervento

Si riportano di seguito le specifiche tecniche degli apparecchi installati:

	Specifiche tecniche	Curve fotometriche
	<p>Tipo: Wow BH34</p> <p>Flusso luminoso: 4120 lm</p> <p>Potenza: 40,1 W</p> <p>Descrizione delle lampade: 45W Neutral White</p> <p>Diffusione del fascio: Ottica Stradale ST1.2</p>	


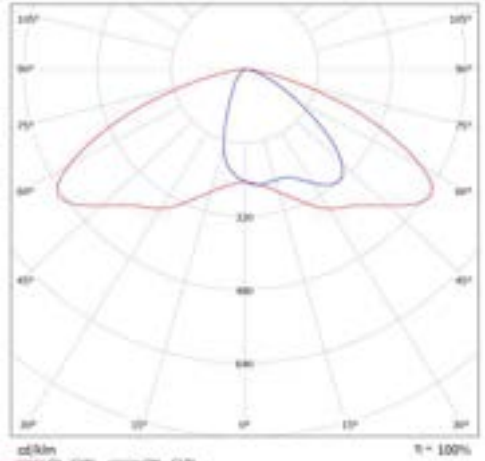
	Tipo	Composizione Wow 60W	
	Flusso luminoso	6050 lm	
	Potenza	60 W	
	Descrizione delle lampade	45W Neutral White	
	Diffusione del fascio	Ottica Stradale ST1.C	

Tabella 3.1.2 : Specifiche tecniche apparecchi di illuminazione installati

L’impiego della tecnologia led ha consentito di soddisfare il risparmio energetico grazie all’installazione di lampade ad alta efficienza, che garantiscono una elevata trasformazione della potenza impegnata in flusso luminoso.

Se si confronta la potenza impiegata prima dell’intervento e quella richiesta dopo l’intervento si può notare una riduzione del 35% (tabella 3.3).

	N	Tipo lampada	Potenza (W)	Potenza totale (W)
Vecchio impianto	15	Ai vapori di mercurio	125	1875
Nuovo impianto	12	Led	40,1	481,2
	3	Led	60	180
	totale			661,2

Tabella 3.1.3

L’impiego di apparecchi illuminanti stradali della tipologia cut-off, come si può notare dalle curve fotometriche (tabella 2), hanno garantito una corretta distribuzione del flusso luminoso sulla sede stradale, assicurando un migliore utilizzo del flusso dal punto di vista energetico escludendo la dispersione del flusso verso l’alto scongiurando quindi l’inquinamento luminoso.

Inoltre le lampade utilizzate sono tra le più innovative disponibili sul mercato infatti assicurano una elevata qualità in termini di resa cromatica grazie ad una temperatura di colore pari a 4000 K fornendo una luce bianca.

Infine la possibilità di dimmerazione offerta dalla tecnologia led consente di realizzare una illuminazione stradale di tipo adattivo cioè in grado di regolare il flusso luminoso in base al flusso di traffico veicolare e pedonale, diminuendo così i consumi e migliorando la sicurezza.

Si riporta di seguito la verifica illuminotecnica effettuata in fase di progetto: figura 3.3

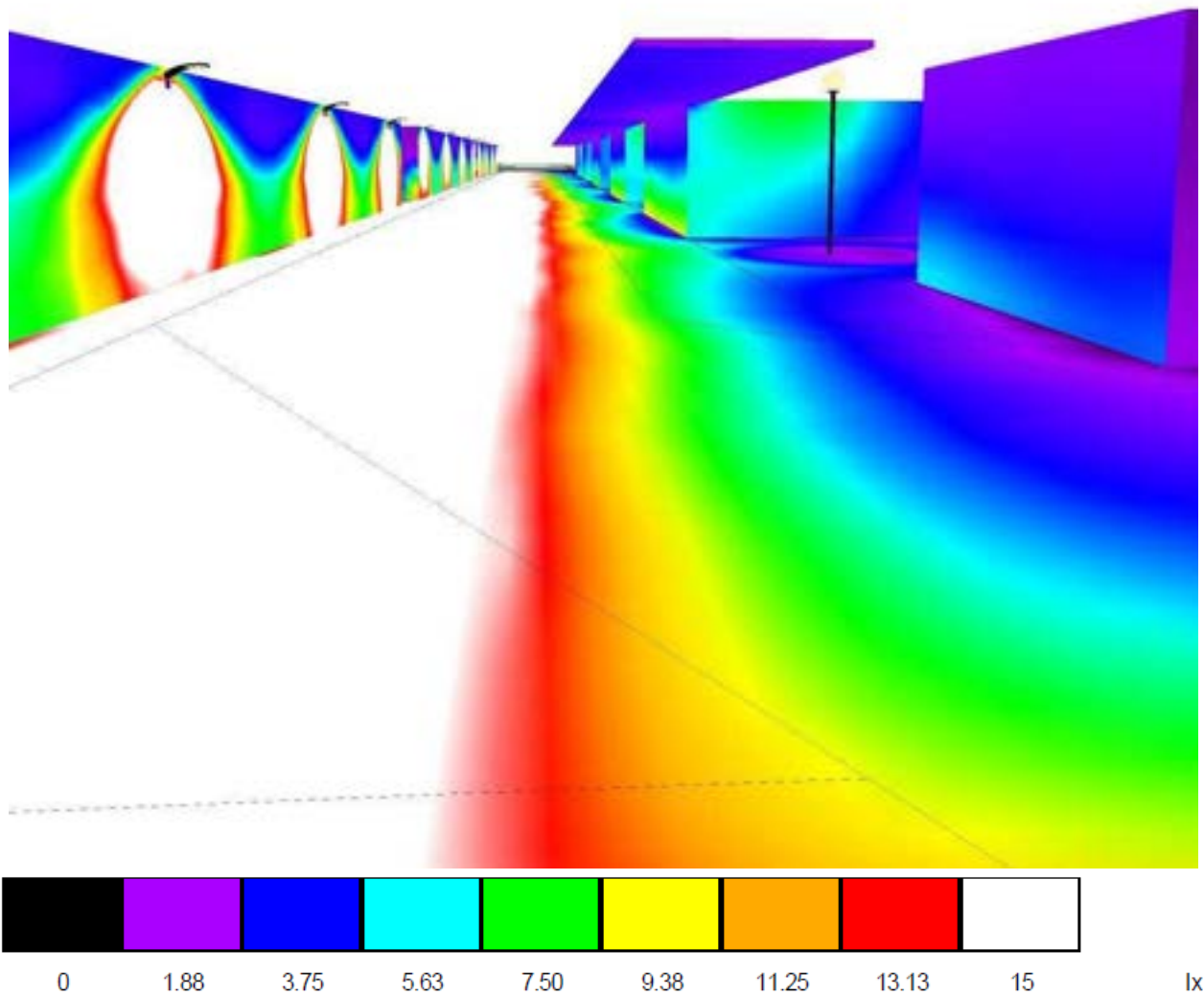


Figura 3.1.3: Rendering a colori

Sistema di telegestione

Il sistema di illuminazione è stato integrato con uno di telegestione che prevede la regolazione adattiva del singolo punto luce in base alla reale domanda da parte dell'utenza secondo la logica dell' "energy on demand".

L'architettura funzionale del sistema prevede i seguenti componenti:

- Acquisizione dei dati dai sensori distribuiti sul viale;
- Analisi dei flussi di traffico;
- Elaborazione della strategia di controllo;
- Regolazione e attuazione dell'impianto di illuminazione.



Figura 3.1.4: Architettura funzionale del sistema di tele gestione

Nella realizzazione in Casaccia sono stati impiegati sistemi commerciali per l'acquisizione dati e l'attuazione dei punti luce, mentre è completamente sperimentale il sistema di data fusion che viene condotto presso la piattaforma ICT ospitata nell'edificio F40, qui i dati raccolti dai sistemi di acquisizione vengono elaborati ed integrati per definire le differenti strategie di controllo, successivamente grazie ad un server dedicato è possibile gestire i punti luce.

Per il rilevamento dei dati relativi al flusso veicolare e pedonale sono stati installati sensori di movimento e telecamere disponibili sul mercato. Questi dati sono stati integrati dalle informazioni fornite dal sistema di rilevamento delle presenze in uso presso il Centro.

Per il sistema di regolazione e attuazione è stato utilizzato il sistema commerciale MINOS messo a punto dalla UMPI Elettronica.

Il sistema è costituito da un insieme di apparecchiature elettroniche che permettono il monitoraggio, la programmazione e il comando dei singoli punti luce. Esso si basa sulla tecnologia delle onde convogliate PLC che consente una comunicazione digitale tra il modulo installato sul singolo punto luce e il modulo di gestione, posto all'interno del quadro di comando, così la trasmissione delle informazioni avviene attraverso gli stessi conduttori che trasportano l'energia evitando l'installazione di circuiti dedicati.

Monitorando i parametri elettrici questo sistema consente la diagnostica totale della singola lampada e permette quindi di ottenere il massimo delle informazioni utili alla gestione e regolare l'intensità delle singole lampade. Un orologio astronomico fornisce, in funzione delle coordinate geografiche della località, le ore in cui sorge e tramonta il sole, automatizzando automaticamente l'accensione e lo spegnimento delle lampade.

I vantaggi offerti da questa metodologia sono molteplici sia sul fronte del risparmio energetico che sui costi di manutenzione riduzione di interventi "in field" di personale tecnico. Il sistema di gestione infatti fornisce informazioni utili per il controllo dell'impianto, misurando l'effettiva resa dei componenti installati e monitorando eventuali anomalie e guasti. Il risultato è una maggiore sicurezza, prevenendo le condizioni di pericolo, un servizio con un elevato livello di qualità.

Nel dettaglio il sistema risulta costituito dai seguenti elementi:

- Regolatori sul singolo punto luce denominato Syra;
- Regolatore sul quadro elettrico ospitato presso la cabina di trasformazione posta presso l'edificio F20;
- Server e software di gestione installato presso la control room dello Smart Village.

Progetto della strategia di controllo della illuminazione esterna

L'idea sviluppata nel progetto è che la smart street realizzata possa "simulare" 2 differenti scenari:

- Strada interna ad un complesso terziario a utenza omogenea e controllo centralizzato (smart village). Varianti: strada pedonale, strada mista pedonale più veicoli lenti (30 km/h)
- Strada urbana pedonale o mista pedonale più veicoli lenti (30-50 km/h)

Il progetto prevede quindi l'utilizzo di una serie di sistemi sensoriali ed informativi che possono essere diversamente configurati per simulare le due situazioni di riferimento. Nel caso specifico del CR Casaccia sono:

- A. Il sistema di controllo degli accessi GEPVV;
- B. Sensori posizionati agli ingressi degli edifici che prospettano sul viale;
- C. Telecamere poste alle estremità del percorso.

Ai differenti tipi di informazione corrispondono differenti strategie di controllo con conseguenti diversi scenari di risparmio energetico. I sistemi A e B sono generalmente installabili soltanto presso "smart villages" mentre i sistemi C sono installabili anche presso realtà urbane.

L'attività del prossimo programma annuale dovrà implementare e sperimentare tali strategie. Le strategie si differenziano per l'ambito applicativo idonee per diverse tipologie di strada e utenze nella sperimentazione che verrà condotta si procederà a testare sia l'efficienza ed affidabilità dei sensori che le differenti strategie di controllo che possono scaturire dai dati forniti.

A- Il sistema di controllo degli accessi

Per il controllo degli accessi e rilevazione delle presenze presso il centro ENEA è in uso il sistema denominato GEPVV, basato sull'utilizzo da parte dei dipendenti di un badge in corrispondenza dei tornelli agli ingressi del centro e della mensa. Tale sistema registra in un database, per ciascun dipendente, l'ora di accesso e di uscita, il tornello utilizzato e l'edificio in cui il dipendente è ospitato.

In Enea è stato sviluppato un software dedicato installato presso il server della control room, che è in grado di interrogare il database del sistema GEPVV, estrarre dati relativi alle presenze nel centro e ricostruire un profilo dell'andamento del traffico. Le strategie che potenzialmente ne derivano possono essere applicate sono differenti.

- I dati forniti dal sistema di rilevazione delle presenze, se esaminati per un intervallo di tempo significativo, permettono di stabilire tramite un algoritmo di tipo statistico un profilo orario medio settimanale. La logica di controllo e regolazione dell'illuminazione che ne consegue è di tipo statico. Ovvero si stabilisce un intervallo di tempo fisso in cui ridurre il flusso luminoso. Questo metodo non tiene conto di eventuali situazioni impreviste né consente di adattarsi in tempo reale alla richiesta dell'utenza.
- Il server posto nella control room dialoga con il database del sistema GEPVV che è in grado di fornire in tempo reale l'orario di uscita dell'ultimo dipendente dal centro. Al livello di server è possibile sincronizzare il set point di spegnimento/dimmerazione dei punti luce con l'uscita dell'ultimo dipendente così da attuare una strategia di controllo che definiremo spegnimento adattivo. Tale metodo ha il vantaggio di adattarsi giorno per giorno alla richiesta effettiva dell'utenza riducendo di fatto i consumi energetici nell'intervallo di tempo in cui non vi sono dipendenti. Inoltre non richiedendo ulteriori sensori risulta particolarmente economico e al tempo stesso affidabile. Nel caso specifico del centro Casaccia tale sistema di regolazione generale dovrebbe anticipare la riduzione del flusso luminoso di alcune ore rispetto a quanto è attualmente in uso. Qui l'alimentazione dei punti luce è assicurata da due circuiti denominati serale e notturno. Al tramonto, un interruttore crepuscolare automatizza l'accensione delle lampade del circuito

serale, mentre un orologio assicura che tra le 23 e le 6 siano accese solo le lampade del circuito notturno che sono circa 1/3 del totale. Questo sistema attualmente prevede lo spegnimento di una quota parte degli apparecchi che può variare dal 50% al 70%. Questa soluzione, che comunque genera carenze nella illuminazione dell'area è purtroppo ancora largamente utilizzata anche nei contesti urbani per ridurre i consumi della rete di illuminazione pubblica pur non assicurando il rispetto dell'uniformità della luminanza del piano stradale richiesto dalle normative in vigore.

- Il progetto prevede l'impiego di un sistema di analisi dei dati delle timbrature che incrociati con gli edifici di provenienza o destinazione delle persone/veicoli permette la ricostruzione dei flussi pedonali nelle varie ore del giorno e della notte nei diversi viali del centro che collegano gli edifici con le uscite o con altri punti di destinazione (es: mensa).
- Sulla base di questa ricostruzione un sistema di ottimizzazione ha il compito di modellare e predire l'evoluzione a breve della domanda (flussi di persone nelle varie ore del giorno sui diversi tragitti) e permette di sviluppare un sistema di controllo adattivo a breve termine che evolve in contemporanea alla domanda, ovvero con frequenza oraria viene regolato il flusso luminoso delle lampade per l'ora successiva in funzione del flusso pedonale/veicolare atteso.

B- I sensori di movimento

I sensori di movimento a infrarossi installati in corrispondenza degli ingressi degli edifici forniscono informazioni sulla richiesta dell'utenza nell'istante e nella posizione esatta in cui effettivamente si presenta. Questa informazione potrebbe consentire l'accensione automatica dei lampioni corrispondenti al tragitto tra edificio e destinazione se la destinazione stessa fosse conosciuta. In realtà l'attivazione del sensore non assicura che l'utente uscirà sulla strada né dà informazione sulla la direzione che percorrerà. Occorre infatti una conferma del dato deve venire da altri sensori opportunamente posizionati così da costituire una rete di sensori bene integrata in grado di fornire informazioni attendibili e accurate, come direzione e velocità dei flussi di mobilità. Inoltre le informazioni utili fornite dai sensori di movimento sono subordinate alla sensibilità del sensore stesso in termini di area di copertura e velocità rilevabile, mentre non è in grado di distinguere il tipo di utente, veicolo o pedone, pertanto questa tecnologia presa singolarmente non risulta idonea a realtà di traffico misto.

La conoscenza della richiesta da parte dell'utenza in tempo reale può alimentare sistemi di gestione adattivi che si impostano su modelli predittivi integrando il profilo della domanda basato sul numero complessivo dei dipendenti con quello dei presenti negli edifici in prossimità del viale da illuminare. Inoltre l'istantanea rilevazione della presenza dell'utente permette di sfruttare al massimo la possibilità offerta dal sistema di gestione dell'impianto adottato, grazie alla possibilità di controllo del singolo punto luce si può adattare il flusso luminoso alla richiesta dell'utenza così da creare una sorta di onda di luce che segue l'utente lungo il suo percorso.

A tal fine il progetto prevede lo sviluppo di algoritmi che consentono la regolazione adattiva e istantanea del singolo punto luce: al massimo livello quando viene rilevata la presenza e movimento dell'utente diminuendola poi al minimo quando non è più necessaria. Questa metodologia di controllo seguendo punto per punto ed istante per istante la richiesta dell'utente garantisce anche il massimo risparmio energetico. Nella figura 5 viene descritto l'andamento nel tempo della regolazione del flusso luminoso da lampione a lampione.

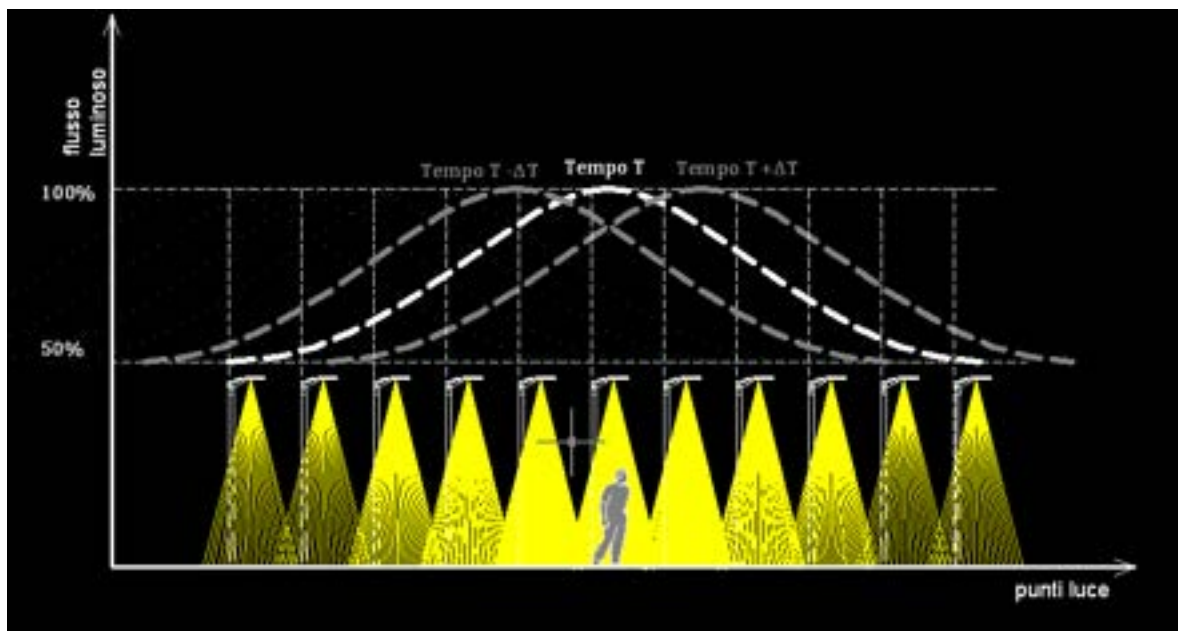


Figura 3.1.5: Regolazione adattiva con attivazione istantanea

C. Le telecamere

Le telecamere rispetto ai sistemi precedentemente descritti consentono di acquisire in tempo reale informazioni più complete sulla effettiva situazione di mobilità.

Per ricostruire il profilo dell'utenza in ENEA è stato sviluppato un applicativo che è in grado di estrarre indici di attività della strada a partire dalle immagini. Questo programma esegue iterativamente una serie di procedure che consentono, a partire da un frame acquisito, di estrarre un'immagine filtrata in cui compaiono solo gli oggetti in movimento e su cui vengono successivamente estratti i contorni. Grazie ad algoritmi è possibile ottenere una descrizione quantitativa e qualitativa della misura del traffico rilevato in termini di indici di attività e conteggio.

Gli utenti presenti vengono riconosciuti come vettori in movimento fornendone quantità, direzione e velocità. Inoltre le elaborazioni effettuate sulle immagini permettono di distinguere i pedoni dai veicoli. L'insieme delle informazioni offerte dalle immagini delle telecamere consente differenti approcci che si traducono in differenti metodi di gestione della illuminazione illustrati di seguito.

- La disponibilità dei dati di presenza in tempo reale consente di predire cosa succederà nelle ore successive ricostruendo il profilo delle utenze con modelli predittivi. La strategia di controllo che ne consegue è di tipo adattivo a breve termine. Il metodo di elaborazione si basa sulle reti neurali artificiali (RNA) ovvero su modelli di calcolo che si ispirano al funzionamento di sistemi nervosi biologici per risolvere problemi di classificazione, modellazione e predizione di elevata complessità, ovvero dipendenti da un elevato numero di variabili ed altamente non lineari, e pertanto non risolvibili attraverso metodi algoritmici. Tali sistemi necessitano di un periodo di apprendimento (tipicamente di alcuni mesi) per imparare a predire con precisione. Tale procedura è a tutti gli effetti un problema di ottimizzazione in cui si richiede di minimizzare l'errore tra il dato reale e quello stimato, ovvero si adotta un meccanismo di 'apprendimento tramite esempi avendo a disposizione un set di dati del fenomeno che si vuole modellare. Pertanto disporre di un ampio insieme di dati da inserire come input al sistema consentirà una maggiore accuratezza nel modello di output con conseguente maggiore rispondenza alla reale domanda dell'utenza.
- Altro tipo di approccio possibile per la gestione dei punti luce è quello real time che prevede l'attivazione dell'impianto di illuminazione nell'istante in cui la telecamera rileva il movimento sulla strada, mentre se non vi è movimento, superato un intervallo di tempo prestabilito, l'impianto ritorna nella situazione iniziale. Anche in questo caso, come per i sensori di presenza, la logica di controllo sarà adattiva e istantanea. Questa tecnologia richiede una distribuzione di un numero considerevole di telecamere per assicurare la risoluzione necessaria alle elaborazioni successive e

quindi un costo più elevato rispetto ai semplici sensori di presenza. Inoltre nell'utilizzo delle telecamere vanno prese in considerazione alcune limitazioni come la scarsa qualità delle immagini in caso di condizioni meteorologiche avverse, l'impossibilità di trasmissione a grande distanza dall'origine dell'immagine ed i tempi di lunghi di elaborazione delle immagini.

Nella figura seguente sono schematizzati per i diversi sistemi di rilevamento i differenti metodi di analisi dei flussi di traffico e le conseguenti strategie di controllo.

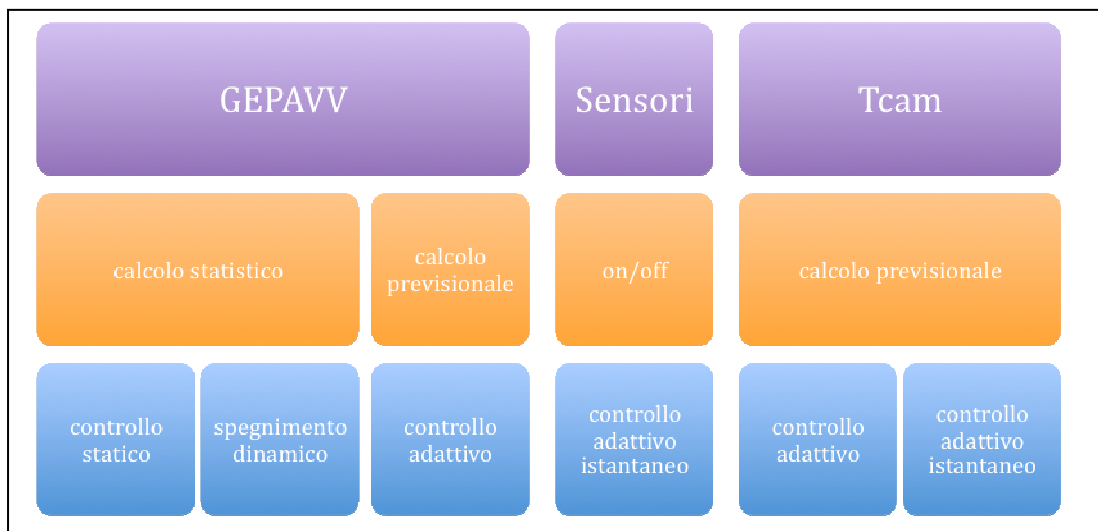


Figura 3.1.6: Regolazione adattiva con attivazione istantanea

Il progetto prevede una sperimentazione da condurre in Casaccia in cui le metodologie di controllo vengono integrate e confrontate tra loro per una loro verifica e implementazione.

La possibilità di simulare differenti scenari, associata alla completa disponibilità dei dati, consente di sperimentare e qualificare differenti modelli di gestione dell'illuminazione adattiva sia in termini di strategia di controllo che di scelta della tipologia dei sensori da impiegare tenendo conto del rapporto costi/benefici. Per la sperimentazione si ipotizzano differenti scenari, per i quali sono richieste determinate prestazioni illuminotecniche a garanzia del comfort e della sicurezza, legati ai differenti tipi di utenza: pedonale, veicolare o ibrida (pedonale e veicolare).

Le soluzioni testate presso la Casaccia potranno essere replicate nella città dove si possono presentare le stesse tipologie di utenze anche se con differenti categorie illuminotecniche. Nella tabella 4 è riportata la categoria di illuminotecnica di riferimento in funzione del tipo di strada come previsto dalle norma UNI 11248.

Tipo	Descrizione	Limiti di velocità km/h	Cat. illuminotecnica di riferimento
A1	Autostrade extraurbane	130-150	ME1
	Autostrade urbane	130	ME1
A2	Strade di servizio alle autostrade	70-90	ME3a
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	ME3a
B	Strade extraurbane principali	110	ME3a
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	70-90	ME4a
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2)	70-90	ME3a
	Strade extraurbane secondarie	50	ME4b
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70-90	ME3a

D	<i>Strade urbane di scorrimento veloce</i>	70	ME3a
	<i>Strade urbane di scorrimento veloce</i>	50	ME3a
E	<i>Strade urbane interquartiere</i>	50	ME3c
	<i>Strade urbane di quartiere</i>	50	ME3c
F	<i>Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2)</i>	70-90	ME3a
	<i>Strade locali extraurbane</i>	50	ME3b
	<i>Strade locali extraurbane</i>	30	S3
	<i>Strade locali urbane (tipi F1 e F2)</i>	50	ME4b
	<i>Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30</i>	30	CE4
	<i>Strade locali urbane: altre situazioni</i>	30	CE5/S3
	<i>Strade locali urbane: aree pedonali</i>	5	CE5/S3
	<i>Strade locali urbane: centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)</i>	5	CE5/S3
	<i>Strade locali interzonali</i>	50	CE5/S3
	<i>Strade locali interzonal</i>	30	CE5/S3
	<i>Piste ciclabili</i>	<i>non dichiarato</i>	S3
	<i>Strade a destinazione particolare</i>	30	S3

Tabella 3.1.4: Classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica (Prospetto 1- norma UNI 11248)

Conclusioni

Nella sperimentazione che verrà condotta in Casaccia si procederà a testare le diverse strategie di controllo e ad implementare i sistemi per creare applicativi che portino a gestire l'illuminazione in modo adattivo, in quanto tale metodologia assicura il maggiore risparmio energetico garantendo sicurezza e confort. Pertanto le informazioni provenienti dai differenti sistemi di analisi del traffico verranno integrate al livello di sistema centrale per ottimizzare le logiche di gestione adattiva:

- a breve termine;
- dinamica con attivazione istantanea.

Il controllo adattivo a breve termine

Questo metodo è basato su modelli previsionali, il profilo viene aggiornata di ora in ora in funzione del flusso veicolare atteso in modo tale da limitare la fluttuazione del flusso luminoso e salvaguardare quindi lo stress per le lampade. Il problema consiste nel creare un profilo della domanda quanto più rispondente alla realtà. La disponibilità di dati di input che derivano da diversi sistemi di analisi del flusso di traffico consentono di definire una previsione quanto più realistica. Il modello genera la previsione della domanda nell'immediato futuro e fornisce tale informazione ad un sistema di supervisione a cui convergono anche le informazioni provenienti dalle variabili ambientali e dalla diagnostica strumentale. La diagnostica individua eventuali situazioni anomale sfruttando le informazioni sullo stato corrente del traffico rilevato e quelle predette dal modello. Questa metodologia può essere trasferita a realtà più complesse, su strade con qualsiasi categoria illuminotecnica, anche se strade con traffico sostenuto soprattutto veicolare, come quelle individuate la diverse categoria ME della tabella 4, permettono di sfruttarne appieno tutte le potenzialità. In questo caso il mezzo più idoneo a fornire le informazioni necessarie sulla situazione del traffico, grazie alla loro versatilità ed efficienza, sono le telecamere.

Il controllo adattivo e dinamico con attivazione istantanea

Nella fase di sperimentazione si ipotizza di adattare dinamicamente la fornitura di potenza alle lampade così da realizzare una sorta di onda di luce che accompagna l'utente nel suo percorso in modo da assicurare il massimo livello di comfort e sicurezza ma al tempo stesso anche un estremo risparmio energetico e riduzione dell'inquinamento luminoso. Un sistema intelligente rileva il movimento circostante, regola la

luce al massimo livello quando aumenta l'attività, diminuendola al minimo quando non si registra alcun movimento. A tal fine si prevede di elaborare algoritmi che terranno conto di più variabili, la presenza dell'utente, la velocità di movimento e la direzione. La velocità di movimento dell'utente può risultare un limite per quanto riguarda il campo di applicazione di questa metodologia, pertanto gli ambiti in cui replicare questa metodo sono le aree residenziali e le zone pedonali o più in generale le strade classificate di tipo F secondo la tabella 4.

Infine nella tabella 6 è stato sintetizzato per ogni sistema di controllo:

- il possibile campo di applicazione: realtà urbana o Village distinguendo tra utenza esclusivamente pedonale (P) o mista (M): pedonale e veicolare.
- le strategia di controllo.

Sistema di analisi del flusso	Campo applicazione				STRATEGIA DI CONTROLLO			
	URBANA		VILLAGE		STATICA	SPEGNIMENTO ADATTIVO	ADATTIVA BREVE TERMINE	ADATTIVA Istantanea
	P	M	P	M				
TCAM	✓	✓	✓	✓	O	O	X	X
SENSORI	✓		✓		O	/	/	X
BADGE			✓	✓	X	X	X	/
LEGENDA:	O Superfluo X Idoneo / Non possibile							

Tabella 3.1.6

3.2 La rete degli edifici smart

Progettazione e realizzazione di una rete di 8 edifici a controllo remoto

Sullo stesso viale su cui è stato sviluppato il progetto per il viale led-smart, è stata progettata una rete di edifici smart (8 edifici) in modo da combinare i dati provenienti dagli edifici con quelli della illuminazione outdoor al fine di prevenire ad un modello di viale interamente controllato ed ottimizzato.

La presente attività rientra nell'ambito dello sviluppo di un sistema di gestione energetica di reti di edifici all'interno dello Smart Village, finalizzata al risparmio energetico attraverso funzionalità di monitoraggio, diagnostica e controllo. L'approccio all'efficienza energetica che si intende realizzare è caratterizzato da un aspetto fortemente innovativo; gli interventi atti a ridurre i consumi non sono infatti rivolti alle caratteristiche costruttive del singolo edificio, bensì alla gestione del comportamento energetico degli edifici nell'insieme intesi come nodi di una stessa rete. Nel contesto globale di rete è possibile confrontare i comportamenti energetici dei vari edifici e pertanto individuarne in tempo reale eventuali andamenti anomali a parità di condizioni d'esercizio (analoghe caratteristiche costruttive, destinazioni d'uso e zone climatiche). L'obiettivo è quello di individuare un sistema di monitoraggio, diagnosi e controllo degli edifici replicabile a costi contenuti. Esso si basa sulla progettazione di una rete capillare di sensori su ogni singolo edificio che permette di remotizzare in tempo reale le informazioni acquisite e trasferirle tramite rete a una piattaforma ICT integrata che ne gestisce e ottimizza i consumi energetici.

Lo sviluppo della metodologia di diagnostica è stata effettuata da ENEA in collaborazione con il Politecnico di Torino ed il rapporto tecnico di riferimento è: "Sviluppo di una metodologia per la diagnostica remota di reti di edifici: applicazione su Smart Village C.R. Casaccia" - (RdS/2012/229) - Dipartimento Energia del Politecnico di Torino.

Descrizione delle caratteristiche tecniche e impiantistiche degli edifici

Il complesso di edifici preso in esame è situato all'interno del Centro Ricerche ENEA Casaccia e comprende gli edifici denominati 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, per una superficie complessiva di circa 3400 m². 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 come riportato nella figura.

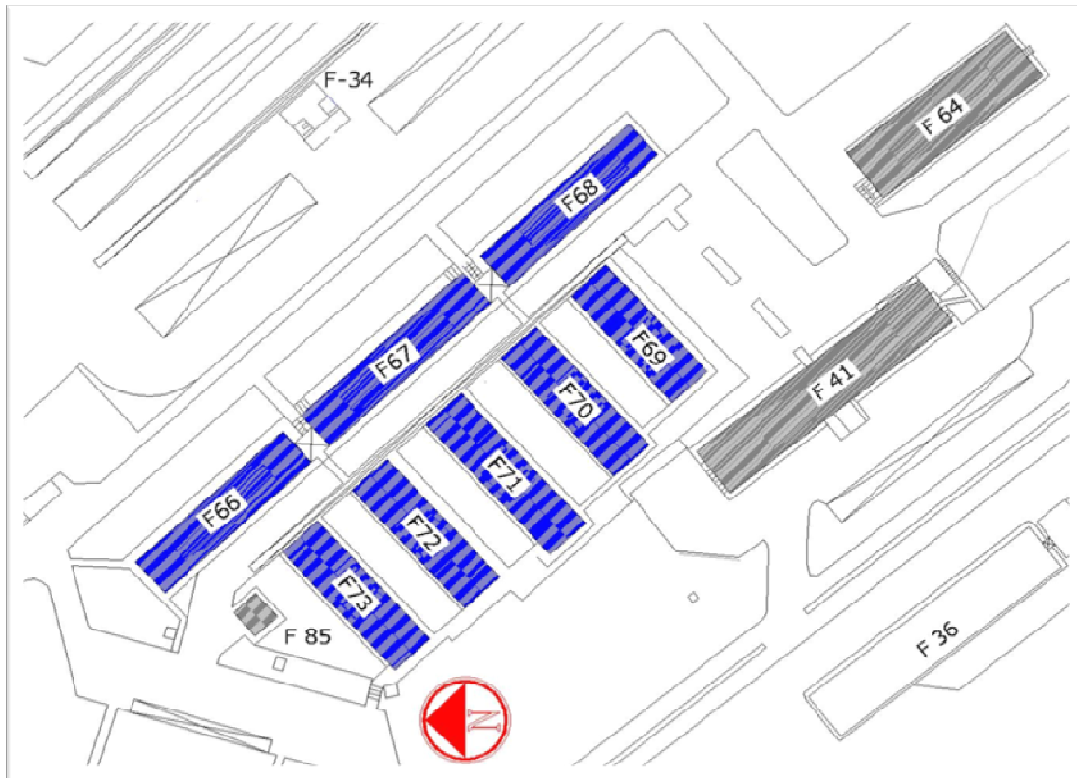


Figura 3.2.1: Planimetria del cluster di 8 edifici

Gli otto edifici presentano caratteristiche costruttive simili sia dal punto vista strutturale che impiantistico e sono tutti adibiti ad uffici. Tutti gli edifici sono ad un unico piano eccetto l'edificio F67 che presenta anche un piano interrato.

La centrale termica dell'intero Centro Casaccia è costituita da 3 caldaie da 7 MW ciascuna alimentate a metano, da cui si dirama la rete di teleriscaldamento che utilizza come fluido vettore acqua surriscaldata a 140 °C e che a sua volta alimenta le sottocentrali termiche a servizio di gruppi di edifici; in particolare la sottocentrale che serve gli otto edifici è dislocata presso un locale tecnico, denominato F85, adiacente ad uno dei blocchi.

Anche per quanto riguarda l'energia elettrica, gli edifici sono serviti da un'unica cabina elettrica, la numero 11, tra le cui utenze è compreso anche un altro edificio a tre piani, l'F64, che ospita altri uffici; nella figura 3.7 è stata schematizzata la rete impiantistica a servizio degli edifici.

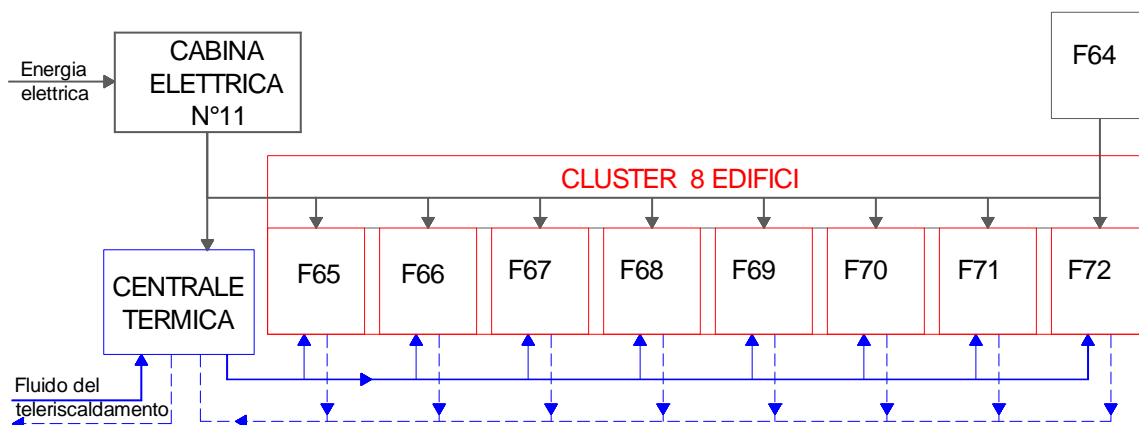


Figura 3.2.2: Schema della rete impiantistica a servizio del cluster

Queste caratteristiche rendono tali edifici significativi per un'analisi della gestione energetica di un cluster di edifici; inoltre essendo tutti ad un unico piano, in tale contesto, la logica di controllo di edificio coincide con una logica di controllo di piano.

Strategia di monitoraggio

Il monitoraggio remoto costituisce il primo passo per lo sviluppo di una rete di edifici; conoscere l'intensità, il profilo e le criticità del consumo sono gli elementi fondamentali per pianificare una strategia di intervento competitiva su reti di edifici. Lo scopo è quello di individuare le informazioni necessarie che permettono di ottenere strategie di diagnosi efficaci, determinare i costi da affrontare in relazione alle condizioni di vetustà e ai vincoli dell'edificio e quantificare il risparmio energetico/ambientale ottenibile dall'impiego di differenti strategie.

E' quindi chiaro come un'attività di metering affidabile e il più possibile automatizzata sia una preconditione essenziale per un'adeguata gestione energetica di reti di edifici, attraverso un sistema di metering evoluto e focalizzato al miglioramento continuo delle performance energetiche.

Inoltre un adeguato sistema di monitoraggio, con l'acquisizione dei dati in tempo reale, permette di individuare immediatamente le eventuali criticità ed intervenire tempestivamente con conseguente notevole risparmio energetico.

Nel Cluster dello Smart Village si intendono sviluppare dei piani di monitoraggio mirati 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.

I consumi che vengono monitorati sono quelli elettrici e termici, mentre per individuare parametri utili a definire e caratterizzare le richieste dell'utenza viene monitorata la presenza del personale negli edifici e le condizioni ambientali.

Monitoraggio dei consumi elettrici

I consumi elettrici vengono monitorati a livello di edificio al fine di individuare le richieste dell'utenza per illuminazione, climatizzazione, forza motrice. Anche a livello di sottocentrale termica si individuano i consumi elettrici relativi al consumo generale e quello dei gruppi frigo.

Ogni edificio presenta un proprio quadro elettrico suddiviso in linee dedicate a luce, fancoil, FEM con i relativi interruttori.

Nella figura 3.8 sono riportati i punti di misura relativi alle linee elettriche per ciascun edificio.

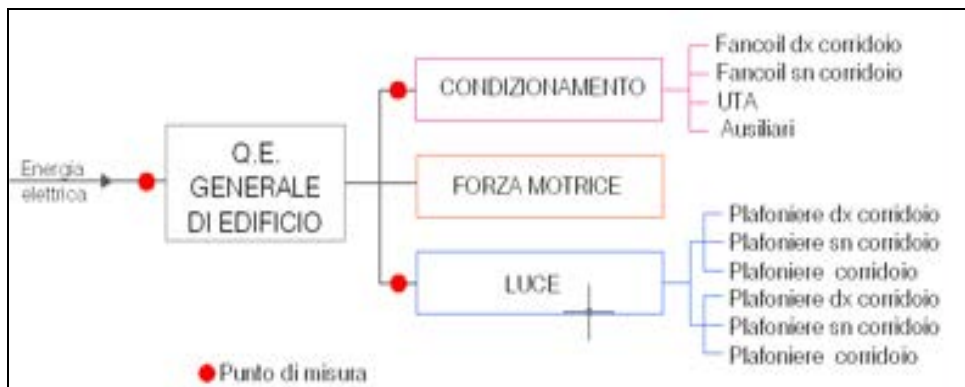


Figura 3.2.3: Punti di misura dei parametri elettrici per ciascun edificio

Analogamente per quanto riguarda il quadro elettrico della Sottocentrale Termica sono presenti interruttori relativi a generale totale, gruppo frigorifero, luce, Fem e ausiliari. Come descritto nella figura 3.9 nella sottocentrale termica i punti di misura si riferiscono al consumo generale e quello dei gruppi frigo. 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.

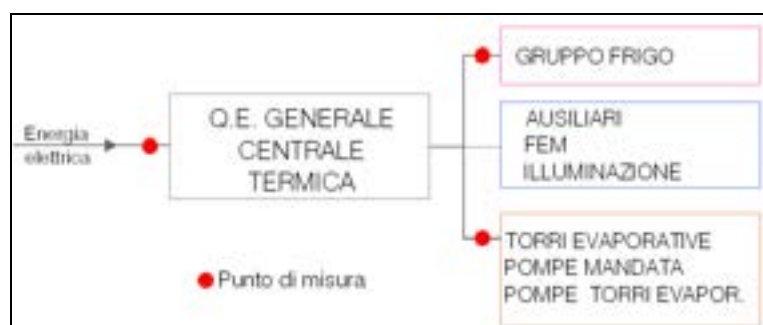


Figura 3.2.4: Punti di misura dei parametri elettrici della sottocentrale termica

Lo strumento utilizzato per la misurazione di tutte le grandezze elettriche è un analizzatore di rete disponibile sul mercato, X-Meter DIN, il quale grazie ad un software dedicato è in grado di effettuare la telelettura dei valori acquisiti per ottenere statistiche negli intervalli di tempo desiderati. Tale strumento permette inoltre di contabilizzare i prelievi di singole linee interne, verificare il corretto dimensionamento dei componenti elettrici installati, inviare allarmi dovuti al superamento di soglie preimpostate, gestire in automatico lo sgancio carichi - e opzionalmente tramite orologi programmabili annuali.

Monitoraggio dell'energia termica

La sottocentrale termica unica per tutti gli otto edifici distribuisce i fluidi termovettori ai singoli edifici, nei quali sono presenti locali tecnici di smistamento delle linee di riscaldamento e raffreddamento.

In inverno il fluido termovettore proveniente dalla centrale termica del Centro arriva nella sottocentrale (F 84), 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.

A livello di singolo edificio il fluido termovettore alimenta i fancoil presenti nelle stanze ed una Unità di Trattamento Aria (UTA) che effettua il trattamento dell'aria primaria.

Dal punto di vista del monitoraggio energetico degli impianti sono stati individuati i seguenti punti di misura:

- Presso la sottocentrale termica è stata installata una postazione di controllo delle calorie/frigorie costituita da un misuratore elettromagnetico, un contabilizzatore ed una coppia di sonde in grado di fornire il consumo di energia termica totale;
- Ciascuno degli otto edifici è stato dotato di 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.

Gli impianti termici del cluster risalgono agli anni ottanta e nel tempo hanno perso la loro efficienza. Nella sperimentazione che si intende effettuare presso il cluster si procederà a verificare quanto un impianto nuovo possa incidere sul risparmio energetico grazie alla sua maggiore efficienza. Il cluster permette di effettuare un confronto tra edifici identici per dimensioni, caratteristiche costruttive, posizione ed orientamento. Il confronto verrà effettuato tra gli edifici F72 ed F 70 riportati nella figura 1 e 4, pertanto quest'ultimo edificio è stato dotato di una nuova UTA e di un sistema di regolazione locale.

Monitoraggio delle presenze

La possibilità di monitorare la presenza di personale all'interno degli edifici consente di definire dei parametri per la gestione delle utenze energetiche.

A tal fine vengono utilizzate due metodologie di cui la seconda rappresenta una implementazione della prima:

1. ricavare i dati di presenza di ogni edificio ricorrendo alle timbrature dei badge ai tornelli (ingresso - mensa - uscita).
2. ricavare i dati di presenza attraverso dei sensori appositi installati su ogni edificio in prossimità degli ingressi ai singoli edifici. Nella figura 3.10 è riportata la posizione degli 11 sensori ad infrarossi installati.

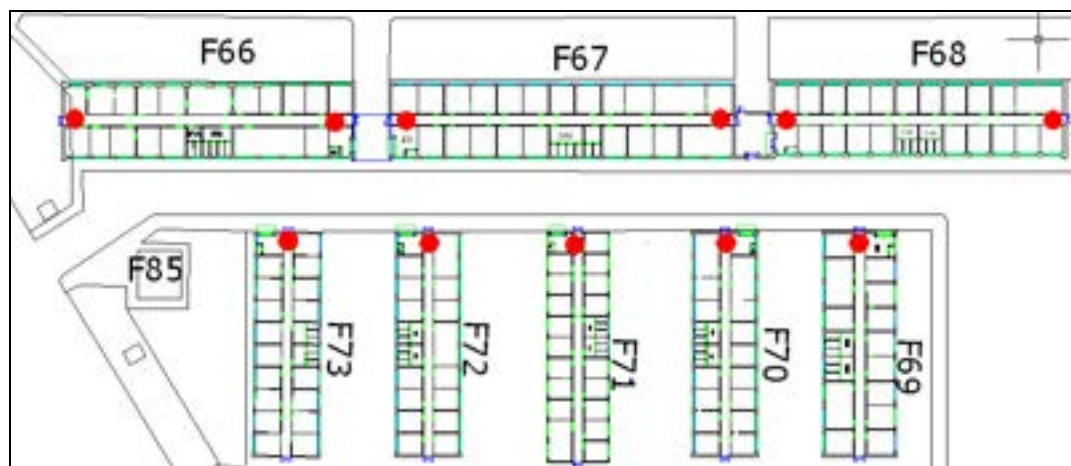


Figura 3.2.5: Planimetria generale del cluster e posizionamento dei sensori di presenza

Monitoraggio dei parametri ambientali

Il monitoraggio dei parametri ambientali consente di gestire da remoto le funzionalità del condizionamento e dell'illuminazione. A tal fine viene misurata la temperatura ambiente tramite un dispositivo dotato di sonda interna posizionato all'interno di ogni edificio.

I dati climatici esterni sono invece reperibili attraverso la centralina meteo presente in prossimità dell'edificio F40.

Progetto delle Strategie di controllo

Il sistema di monitoraggio realizzato presso il cluster consente di effettuare una diagnosi dei consumi energetici del cluster e definire strategie di controllo ottimizzato da remoto.

Tali strategie portano a modulare la fornitura di energia, termica ed elettrica, in funzione delle necessità dell'utenza, secondo la logica dell' "energy on demand". Nota infatti la presenza degli occupanti e le condizioni ambientali, sia interne che esterne, si potrà controllare da remoto l'attuazione dei seguenti comandi:

- ♦ LUCE:
 - accensione/spegnimento delle luci di ogni singolo edificio in base all'occupazione dell'edificio e ai parametri ambientali.
 - regolazione adattiva dell'impianto di illuminazione esterna del viale su cui prospettano gli 8 edifici.

- ♦ FAN-COIL: accensione/spegnimento delle ventole dei fan-coil di ogni singolo edificio in base all'occupazione dell'edificio e ai dati ambientali interni/esterni.

- ♦ CENTRALE TERMICA: accensione/spegnimento di parte dei compressori della centrale termica tramite orologio in base a dei profili temporali.

Conclusioni

Un adeguato sistema di monitoraggio, diagnostica e controllo da remoto dell'edificio permette di ottenere benefici in termini di risparmio energetico, comfort ambientale e conseguenti risparmi economici.

L'obiettivo della sperimentazione è quello di individuare un kit di monitoraggio minimo che, basandosi su un numero limitato di sensori per il monitoraggio, è in grado di garantire un'efficace gestione energetica degli edifici. Questo modello così qualificato potrà essere proposto e replicato negli edifici esistenti grazie alla possibilità di un ritorno dell'investimento a breve termine.

4. Smart Buildings Network: diagnosi e controllo del sistema di edifici dello Smart Village, applicazione al controllo della illuminazione di interni e della climatizzazione

In questo capitolo vengono descritte le attività svolte riguardanti lo sviluppo e l'applicazione di metodologie innovative mirate ad una gestione efficiente di edifici e reti di edifici. In particolare ci si è focalizzati sui seguenti temi:

1. Sviluppo di un sistema di diagnosi delle anomalie ed applicazione presso l'edificio F40;
2. Sviluppo di un sistema di simulazione per il controllo degli edifici ed applicazione presso l'edificio F40.

4.1 Sviluppo di un sistema di diagnosi delle anomalie ed applicazione presso l'edificio F40

L'attività condotta in collaborazione con il Politecnico di Torino si è declinata secondo cinque diverse fasi e obiettivi finalizzati all'individuazione di metodologie innovative per la diagnostica degli edifici. Tali fasi sono descritte evidenziando metodologie adottate e risultati conseguiti.

Per ogni approfondimento vedere il rapporto tecnico del Politecnico di Torino "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" (RdS/2012/229).

Attività 1: Analisi dei dati raccolti sull'F40 e verifica dei dati stessi. Follow-up della implementazione del sistema in campo per la diagnostica dello smart building F40

Il sistema di monitoraggio previsto dal progetto è stato installato "a bordo" dell'edificio F40 presso il centro ENEA della Casaccia. Tale sistema si compone di un primo apparato mirato alla misurazione dell'energia (elettrica e termica) e di un secondo dedicato alla misurazione dei parametri ambientali.

Come descritto in dettaglio nella relazione finale, l'obiettivo dell'attività non si riduce alla sola elaborazione dei dati monitorati: l'intero sistema di acquisizione installato diventa, infatti, elemento essenziale per la costituzione di una rete di monitoraggio/attuazione progettata ai fini diagnostici per l'edificio. Sensori di misura trasmettono i dati a concentratori 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.

Al fine di verificare la qualità di acquisizione, sia in termini di accuratezza che di frequenza temporale, il sistema è stato per ora testato per un periodo di 2 mesi. I dati raccolti da una piattaforma web sono di rapida consultazione ed è consentito esportarli in formato csv.

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. Eventuali altre criticità riscontrate nella qualità dei dati attribuibili all'installazione dei sensori o alla modalità di acquisizione sono descritte al paragrafo successivo.

Attività 2: Definizione protocollo di installazione del sistema di monitoraggio

Allo scopo di raccogliere tutte le informazioni relative alla costruzione di un sistema di acquisizione dati ed attuazione dei sistemi dell'edificio F40, è stato redatto un protocollo di installazione del sistema di monitoraggio. Tale documento 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: la relazione finale riporta 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. 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 alla piattaforma web. Invertendo il processo si va invece ad attuare il sistema (ad esempio impostando la temperatura di setpoint da remoto). Il controllo può avvenire anche a livello di piano: qui il monitoraggio è in particolare quello dell'energia elettrica, che 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 intero edificio vengono inoltre contabilizzate l'energia elettrica assorbita dal gruppo frigo e dall'intera centrale termica, nonché l'energia termica (riscaldamento/raffrescamento). 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.
- Qualità e Criticità del sistema installato: comprendente le osservazioni (positive e negative) emerse a seguito dell'implementazione del sistema in campo.

L'intero sistema di monitoraggio qui illustrato, ed applicato al caso studio oggetto d'esame, presenta una struttura generalizzabile e ripetibile su altri edifici o (come evidente al paragrafo successivo) a gruppi di edifici. A seconda del caso studio, strumenti di monitoraggio, parametri da misurare e punti di misura potranno variare per adattarsi al caso specifico.

In figura si riporta, a titolo di esempio, la planimetria del Secondo piano dell'edificio F40, in cui si identificano graficamente le stanze monitorate, i sensori installati, gli apparecchi di illuminazione, i fancoil e i concentratori per la trasmissione dati via rete elettrica.

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", 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*). 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 sia sull'utilizzo di metodi statistici, sia su metodi grafici risultanti da opportune rappresentazioni della serie di dati. 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 (singolo piano). 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. Le stime effettuate si riferiscono ai dati di consumo forza elettromotrice (FEM): in particolare, si fa riferimento al consumo orario di energia attiva e potenza attiva massima della forza elettromotrice del primo piano dell'edificio nell'arco di una settimana di testing.

Nella tabella seguente sono elencati i diversi tipi di prove effettuate con RNA e BEM, ognuna delle quali è caratterizzata da un particolare set di input. La tabella successiva illustra i risultati ottenuti nel testing in funzione dell'errore medio assoluto (MAE), riportato tra output reale e output stimato dal modello, e della deviazione standard (tra parentesi).

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

Tabellam 4.1.1 : Prove effettuate su consumo FEM del primo piano nel periodo 15/06/2012 – 22/07/2012

Prova	RNA Energia Attiva	BEM Energia Attiva	RNA Potenza Attiva Massima	BEM Potenza Attiva Massima
Prova A	0.73 (± 0.06)	0.65	1.25 (± 0.11)	1.15
Prova B	0.72 (± 0.04)	0.63	1.25 (± 0.08)	1.13
Prova C	0.71 (± 0.07)	0.68	1.22 (± 0.08)	1.19

Prova D	0.66 (± 0.04)	0.63	1.15 (± 0.13)	1.10
Prova E	0.70 (± 0.07)	0.67	1.19 (± 0.11)	1.16
Prova F	0.63 (± 0.04)	0.60	1.05 (± 0.07)	1.03
Prova G	0.94 (± 0.01)	0.94	1.73 (± 0.02)	1.73

Tabella 4.1.2: Risultati testing consumo FEM: MAE (kWh per Energia Attiva, kW per Potenza Attiva Massima) nel periodo 16/07/2012 – 22/07/2012

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. 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 alla loro tipologia. Inoltre tale tecnica di classificazione 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 individuazione delle anomalie. Esso quindi risulta particolarmente adatto per condurre analisi di fault detection in tempo reale.

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 (outliers individuati).

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.

Il primo metodo implementato, "*peak detection method*", 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 soglia definita dall'utente o opportunamente calcolata. In particolare, la funzione picco S utilizzata nei test effettuati, calcola la media tra la massima distanza di un punto della serie dai suoi k vicini a sinistra e i suoi k vicini a destra (dove k è un parametro stabilito dall'utente, che deve essere tanto più piccolo quanto più i picchi da individuare sono di breve durata).

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.

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 *outliers* da una distribuzione normale. A tal fine sono stati valutati gli indici *z score*, *s function* e *modified z score*. Quest'ultimo, ad esempio, 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).

A partire dai dati di monitoraggio dell'edificio F40 sono stati condotti numerosi test con l'applicazione del metodo sopra descritto 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. Nella figura seguente è rappresentato l'andamento della potenza per l'illuminazione relativa al piano terra dell'edificio F40 con l'evidenza dei valori anomali individuati e del relativo valore di *modified z score*.

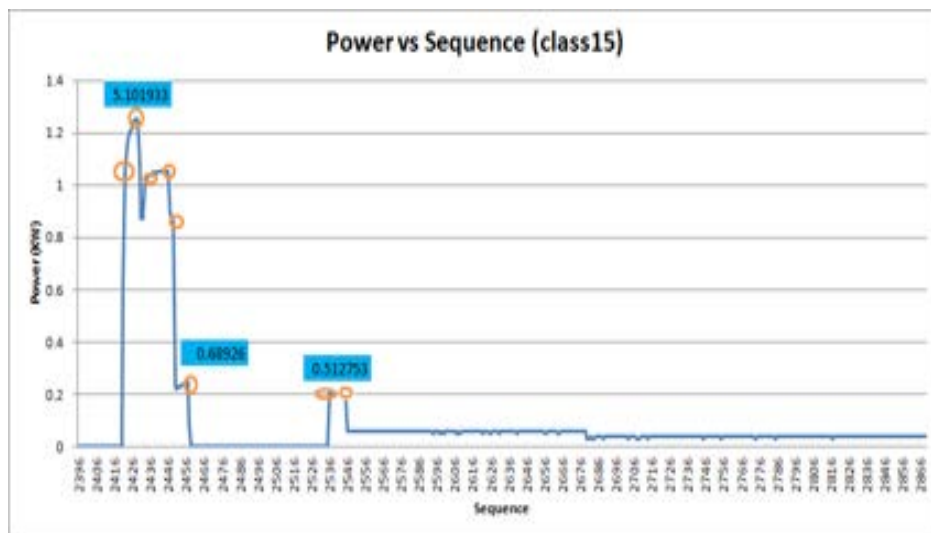


Figura 4.1.2

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, (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 è stata verificata sperimentalmente la seguente anomalia da diagnosticare :

C13a : luci accese al di fuori degli orari di lavoro

e per generare tale anomalia il giorno 17 luglio 2012 alla fine dell'orario di lavoro tra le 16.30 e le 17 sono state dapprima spente tutte le luci e successivamente è stato generato un picco di potenza accendendole tutte per 30 minuti. Nella tabella e figura seguenti i risultati sperimentali ottenuti in cui sono state definite :

C13a = S1a AND NOT S30

In cui le *Situation Assessment* S1a e S30 sono

S1a = "Accensione contemporanea di un numero eccessivo di luci"

S30 = "Alto numero di stanze occupate fuori orario di lavoro"

DATE	HOUR	S1a	S30	C13a = S1a AND NOT S30
17/07/2012	16.31	0.22	0.50	0.22
17/07/2012	16.37	0.32	0.45	0.32
17/07/2012	16.38	0.50	0.40	0.50
17/07/2012	16.42	0.49	0.35	0.49
17/07/2012	16.55	0.50	0.31	0.50
17/07/2012	16.58	0.90	0.27	0.73
17/07/2012	17.06	0.49	0.23	0.49
17/07/2012	18.25	0.43	0.02	0.43
17/07/2012	18.34	0.43	0.01	0.43

Tabella 4.1.3: risultati fault detection

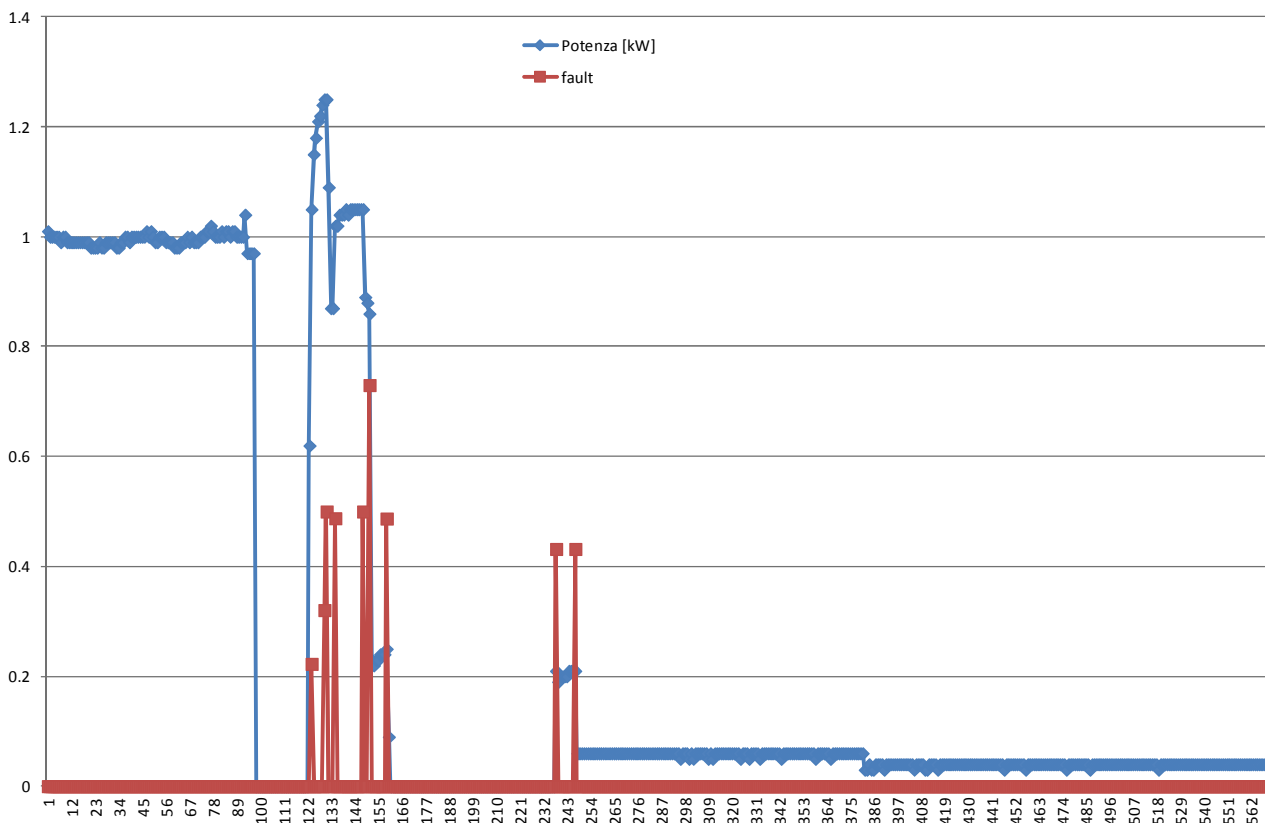


Figura 4.1.3 : fault detection

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.

Attività 4: Studio e proposta di indicatori adimensionali per le valutazioni energetiche e l'analisi diagnostica di parchi edilizi

E' stata condotta un'analisi bibliografica volta a spiegare la natura dell'analisi di benchmarking intesa come strumento di valutazione delle prestazioni energetiche di un edificio.

Dalla ricerca bibliografica emerge che la definizione dei benchmark di consumo energetico può avvenire in due modi:

- attraverso la simulazione dinamica di un edificio tipo che rappresenta la configurazione standard o il livello "miglior pratica costruttiva";
- attraverso metodi statistici (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 (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.

Nell'ambito del seguente studio i benchmarks sono stati definiti calcolando le statistiche degli indicatori (media, mediana, decimo percentile del campione, ecc..).

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 della retta individuata.

4.2 Sviluppo di un sistema di simulazione per il controllo degli edifici ed applicazione presso l'edificio F40

L'attività condotta in collaborazione con l'Università Politecnica delle Marche ha avuto come obiettivo principale lo sviluppo di un simulatore dei consumi dell'edificio F40 nell'ottica di studiare ed implementare possibili strategie di attuazione e controllo al fine di ridurre i consumi dell'edificio stesso.

Per ogni approfondimento vedere il rapporto tecnico dell'Università Politecnica delle Marche "Sviluppo di un approccio per la gestione ottimale di edifici integrato nella rete della pubblica illuminazione: applicazione su smart village C.R. Casaccia" (RdS/2012/054).

L'edificio F40 può essere considerato, per molti aspetti, rappresentativo di molti edifici sedi di uffici del terziario in generale e della pubblica amministrazione in particolare. Per questo motivo, una delle principali finalità del lavoro è stato quello di proporre una metodologia robusta e facilmente replicabile su larga scala specialmente negli edifici della pubblica amministrazione a cui la Direttiva Europea 2006/32/CE nell'articolo 5 conferisce un "ruolo esemplare". Non solo La Direttiva specifica espressamente che "gli Stati membri assicurano che il settore pubblico prenda una o più misure di miglioramento dell'efficienza energetica privilegiando quelle efficaci sotto il profilo costi-benefici che generano il maggior risparmio energetico nel minor lasso di tempo".

Il presente lavoro è stato realizzato conseguito attraverso due linee di attività:

1. Sviluppo di un simulatore dell'edificio F40 per la modellazione dei consumi energetici.
2. Studio e proposta di possibili strategie per il controllo ottimo finalizzato alla riduzione di consumi energetici per l'edificio F40;

Attività 1

A seguito di una prima fase preliminare di audit risulta che i consumi dell'illuminazione mostrano un andamento qualitativamente molto simile durante tutto l'arco dell'anno: uno zoccolo notturno (19.00-6.00) compreso in genere tra 2 e 9 kW, un picco tra le 6.00 e le 7.00 del mattino dovuto al servizio delle pulizie, un consumo mediamente costante tra i 10 ed i 15 kW nella fascia lavorativa 8.00-18.00.

Questa elaborazione è stata tuttavia propedeutica all'individuazione di quello che sembra essere il vero driver dei consumi di illuminazione durante l'orario lavorativo, cioè il numero di stanze attive, vale a dire quelle stanze che hanno almeno un occupante. Questa distinzione, rispetto al numero di presenze, è stata necessaria in quanto la palazzina F40 è dotata di uffici con diversa occupazione (1, 2, 3 occupanti); questo implica il fatto che non ci sia necessariamente una relazione tra numero di occupanti e illuminazione: dall'audit svolto, risulta che un ufficio con 2 persone consuma come quello occupato da una persona e non come due uffici occupati da una persona.

Il numero di stanze attive è stato quindi individuato come il principale parametro di ingresso di un potenziale modello per i consumi di illuminazione.

Incrociando i dati dei consumi, con quelli già presentati per l'audit risultano i seguenti valori indicativi:

- la potenza di una singola stanza attiva è pari a $2 \times 72 \text{ W} = 144 \text{ W}$;
- lo zoccolo di potenza rappresentato da bagni e corridoi (cioè la potenza che sarebbe utilizzata se tutte le lampade di bagni e corridoi fossero accese insieme) è pari a 4,27 kW;
- lo zoccolo di potenza rappresentato da scale e servizi (cioè la potenza che sarebbe utilizzata se tutte le lampade di bagni e corridoi fossero accese insieme) è pari a 0,86 kW.

L'audit realizzato nella fase preliminare è stato propedeutico allo sviluppo del simulatore dei consumi per l'edificio F40. L'obiettivo del simulatore è duplice. Da un lato esso deve permettere di simulare/prevedere i

consumi dell'edificio F40, dall'altro deve essere di supporto allo sviluppo di logiche di ottimizzazione dei consumi. Visto che:

- le principali inefficienze dei consumi sono state riscontrate nell'illuminazione;
- sulle altre linee (in particolare FEM ed emergenza) non possono essere attuate logiche di ottimizzazione visto che le uniche logiche implementabili con gli attuatori installati prevedono l'interruzione dell'alimentazione elettrica

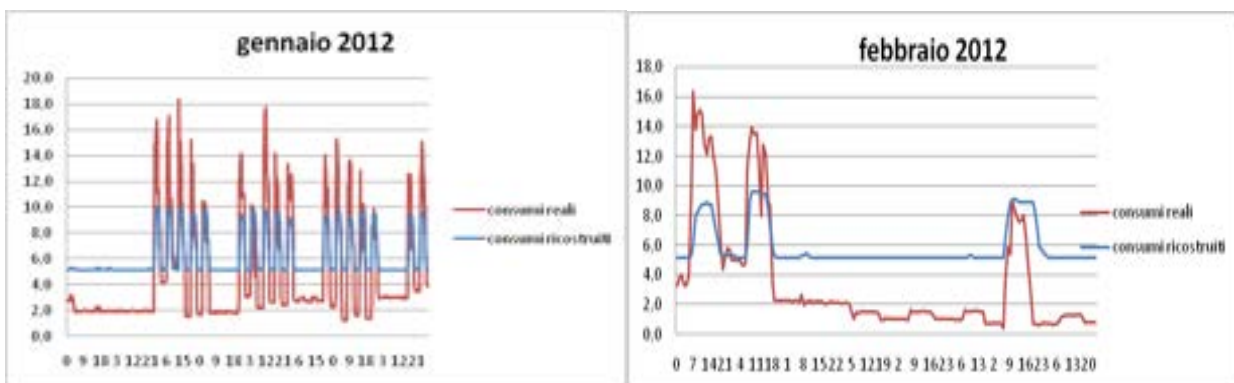
lo sviluppo del simulatore, in questa fase si è concentrato sulla ricostruzione dei consumi per l'illuminazione (scorporata dalla linea emergenza). La calibrazione dei consumi è stata fatta, infatti, considerando solo la linea di alimentazione normale, detraendo cioè dai consumi effettivamente registrati il contributo dato dalla linea emergenza. Il periodo preso in considerazione per il confronto è l'inverno 2012 (mesi di gennaio, febbraio e marzo), essendo disponibili per tale periodo i dati forniti dall'Enea riguardanti sia i consumi reali che il numero di stanze attive ora per ora nell'edificio. Quest'ultimo parametro in base all'audit preliminare, è stato scelto come quello che maggiormente influenza l'andamento dei consumi.

Dall'audit presentato nella sezione precedente risultano i seguenti valori:

- la potenza di una singola stanza attiva è data dalla potenza delle plafoniere (72 W) moltiplicata per il numero delle stesse in ciascuna stanza (n.2) ed è pari 144W;
- lo zoccolo di potenza rappresentato da bagni e corridoi (cioè la potenza che sarebbe utilizzata se tutte le lampade di bagni e corridoi fossero accese insieme) è pari a 4,27 kW;
- lo zoccolo di potenza rappresentato da scale e servizi (cioè la potenza che sarebbe utilizzata se tutte le lampade di bagni e corridoi fossero accese insieme) è pari a 0,86 kW.

Sempre dall'analisi emersa dall'audit, è stato possibile definire delle regole generali che potrebbero essere definite "DI PRIMO TENTATIVO" e che si è cercato di validare, confrontando i primi risultati ottenuti con i consumi reali.

E' importante sottolineare come l'intuizione di utilizzare le stanze attive sia stata particolarmente buona. Infatti, l'andamento dei consumi dell'illuminazione ricostruito con questo modello di primo tentativo, sebbene non sia accettabile dal punto di vista quantitativo, approssima in maniera molto buona l'andamento qualitativo come si può notare confrontando le due curve (reale e ricostruita) che presentano una ottima corrispondenza tra massimi e minimi (sia relativi che assoluti) e tra zocchi notturni e nei fine settimana, in tutti i mesi presi in considerazione.



Le ipotesi/regole di primo tentativo, che hanno fornito un andamento di riferimento, sono state una importante base di partenza per la successiva fase di affinamento e calibrazione (TUNING) del modello vero e proprio. Questa fase di tuning è stata sviluppata mediante l'utilizzo della logica Fuzzy.

I consumi dell'illuminazione sono stati modellati mediante l'utilizzo della logica fuzzy, inserendo come principali dati in ingresso il numero di stanze attive (cioè con almeno una presenza), l'ora del giorno ed il tipo di giorno (lavorativo, fine settimana, festivo). E' stato sviluppato un modello fuzzy a 14 regole che ha permesso di ricostruire i consumi dell'illuminazione dell'intero edificio, anche suddivisi tra sola illuminazione ed emergenza. La tabella seguente sintetizza i principali parametri del modello a 14 regole:

	Errore medio	Varianza di errore	Errore totale
Illuminazione	1.584346e-01	4.508353e+00	3.146511e+02
emergenza	1.464813e-01	1.339235e+00	2.909119e+02
somma	3.049159e-01	7.600822e+00	6.055630e+02

Tabella 4.2.1

Modello iniziale a 13 regole

Inizialmente è stato considerato un set di 13 regole. La figura sottostante dimostra come il modello fornisca già risultati molto migliori rispetto all’analisi di primo tentativo.

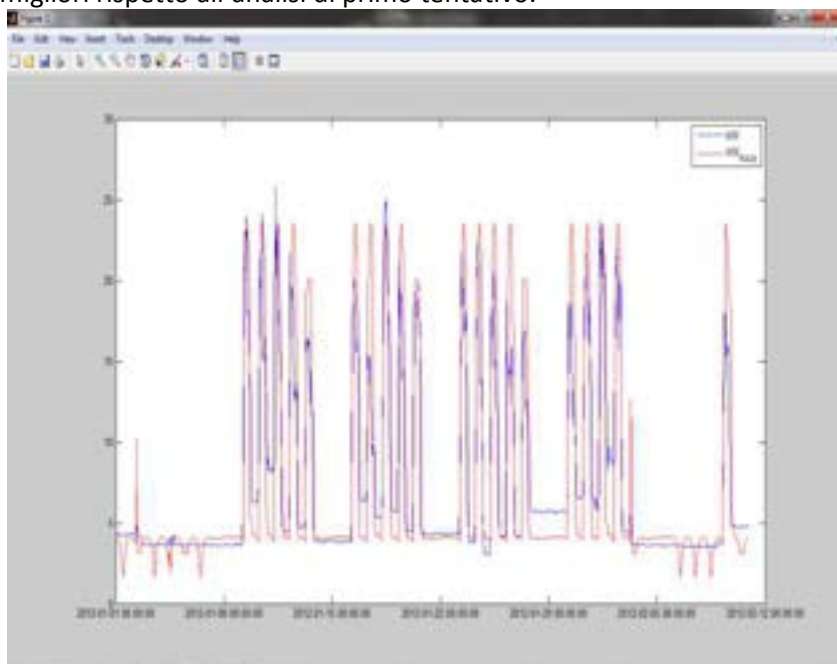


Figura 4.2.2: Modello ottimizzato a 10 regole

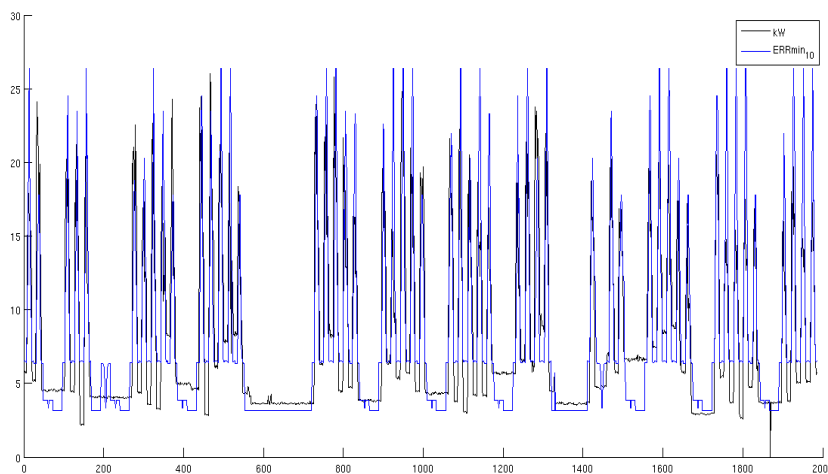


Figura 4.2.3: Risultati del modello fuzzy 10 regole con minimo errore assoluto

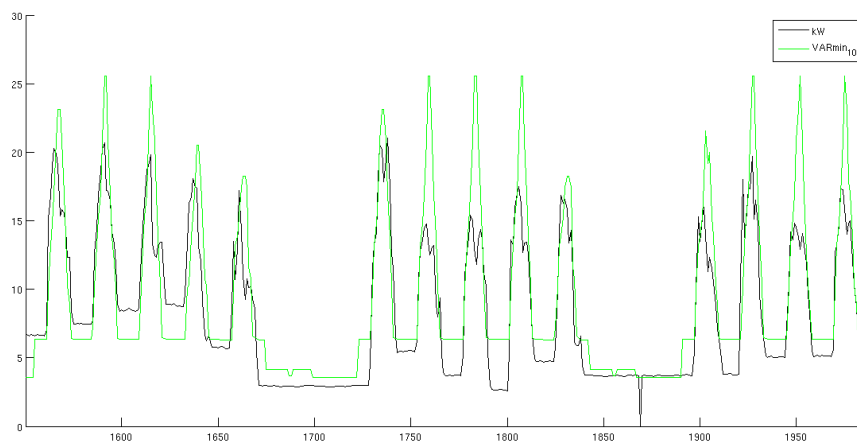
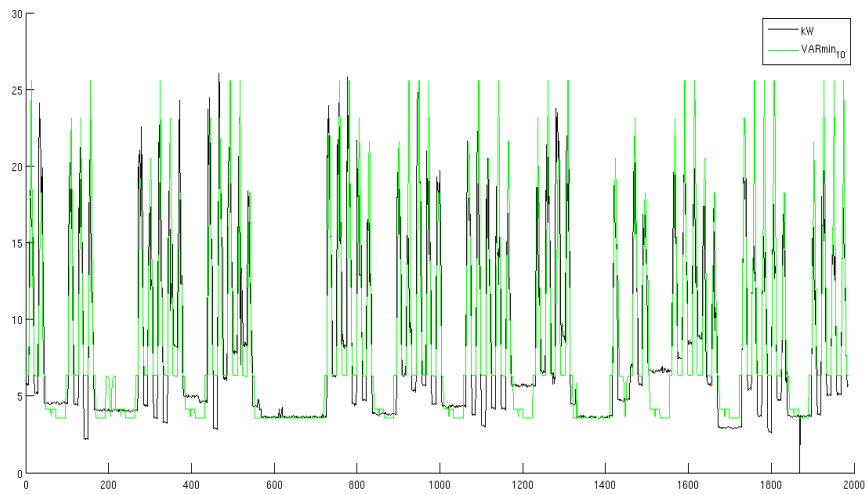


Figura 4.2.4: Risultati del modello fuzzy 10 regole con minima varianza, modello ottimizzato a 14 regole

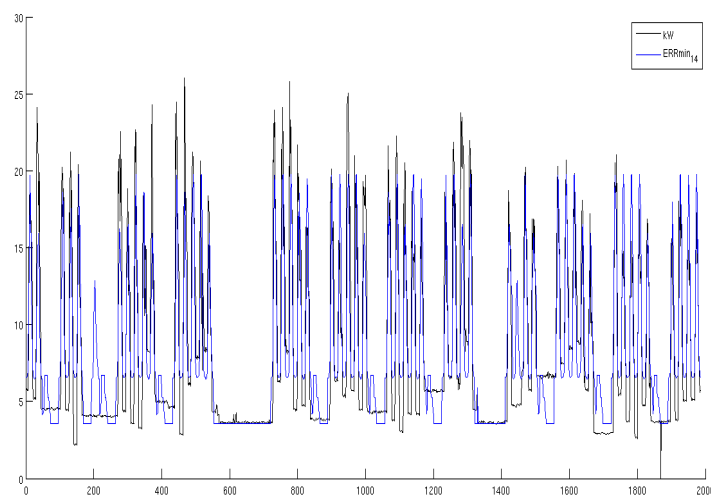


Figura 4.2.5: Risultati del modello fuzzy 14 regole con minimo errore assoluto

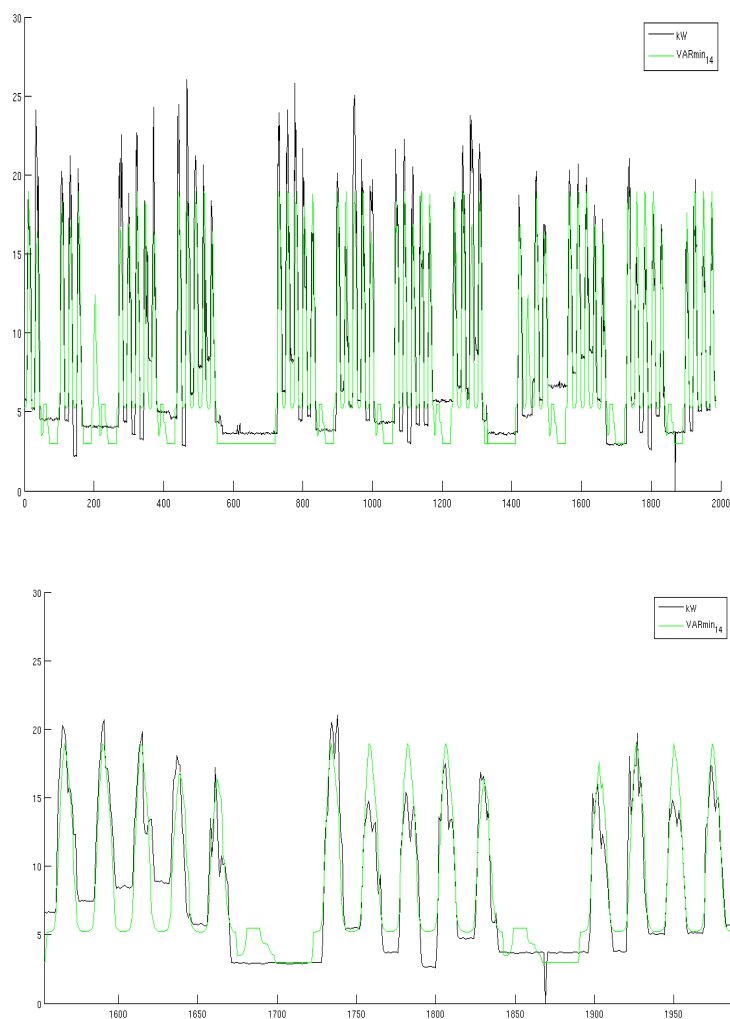


Figura 4.2.6. Risultati del modello fuzzy 14 regole con minima varianza

Attività 2

La parte conclusiva del lavoro è stata dedicata allo sviluppo ed implementazione di almeno una prima strategia di controllo, che consiste nello spegnere la sola illuminazione (non l'emergenza) nelle ore notturne (dalle ore 20.00 alle 5.59) e nei fine settimana.

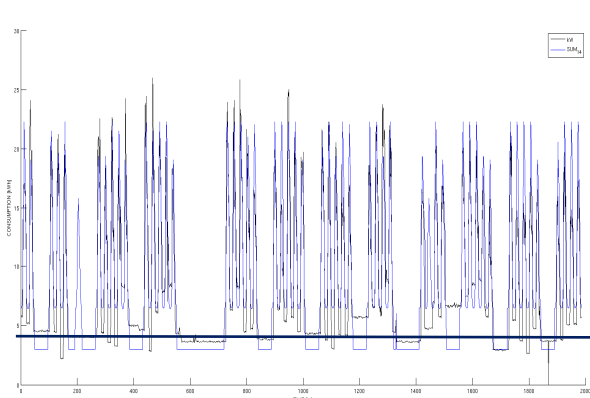


Fig. 4.2.7: Simulazione fuzzy senza ottimizzazione

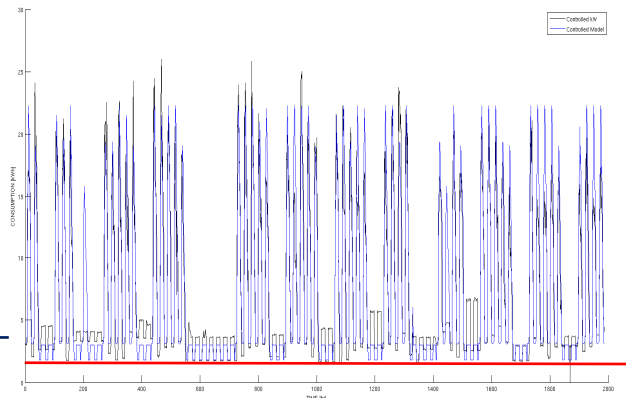


Fig.4.2.8: Simulazione fuzzy con spegnimento notturno

In base alle 1986 ore su cui si è basata l'apprendimento, i consumi complessivi delle linee sono 16197 kWh. Se si pone a 0 il consumo della sola linea di luce ordinaria in orario notturno (dalle 20 alle 6 del mattino), ma lasciando attiva la linea di emergenza, in base ai dati storici si ottiene un nuovo consumo pari a 14284 kWh, con un risparmio pari a 1913 kWh in soli 83 giorni (1986 ore).

6. Smart Mobility: Sviluppo di un sistema di analisi dei flussi pedonali all'interno del C.R. Casaccia

L'obiettivo di questo task consiste nello sviluppo di un sistema di analisi dei flussi pedonali all'interno del C.R. Casaccia.

In particolare è stato sviluppato un software per il dialogo con il sistema gestionale degli accessi al Centro ENEA Casaccia e l'elaborazione degli stessi dati finalizzata all'analisi dei flussi di persone all'interno del centro. Il software fornisce una serie di informazioni sul numero medio degli utenti del centro in modo tale da ricostruire delle matrici origine-destinazione (ingressi-edificio di appartenenza-mensa) orarie degli spostamenti in modo tale da poter ottimizzare i profili d'illuminazione dei viali e la mobilità delle navette interne. Inoltre tale analisi sarà indispensabile per perseguire l'obiettivo di 'energy on demand' su cluster di edifici, ovvero per regolare dinamicamente i flussi elettrici e termici in funzione della domanda (profilo di presenza). Il punto critico di questo approccio è quello quindi di avere uno strumento che riesca in tempo reale a ricostruire la domanda, ovvero i profili di presenza e i percorsi origine-destinazione.

Le metodologie sviluppate si riferiscono ai seguenti argomenti : Database e Software di Analisi

Il DataBase è stato sviluppato su tecnologia MySQL e memorizza gli accessi ai tornelli ed i risultati delle elaborazioni. Nella figura seguente lo schema delle tabelle.

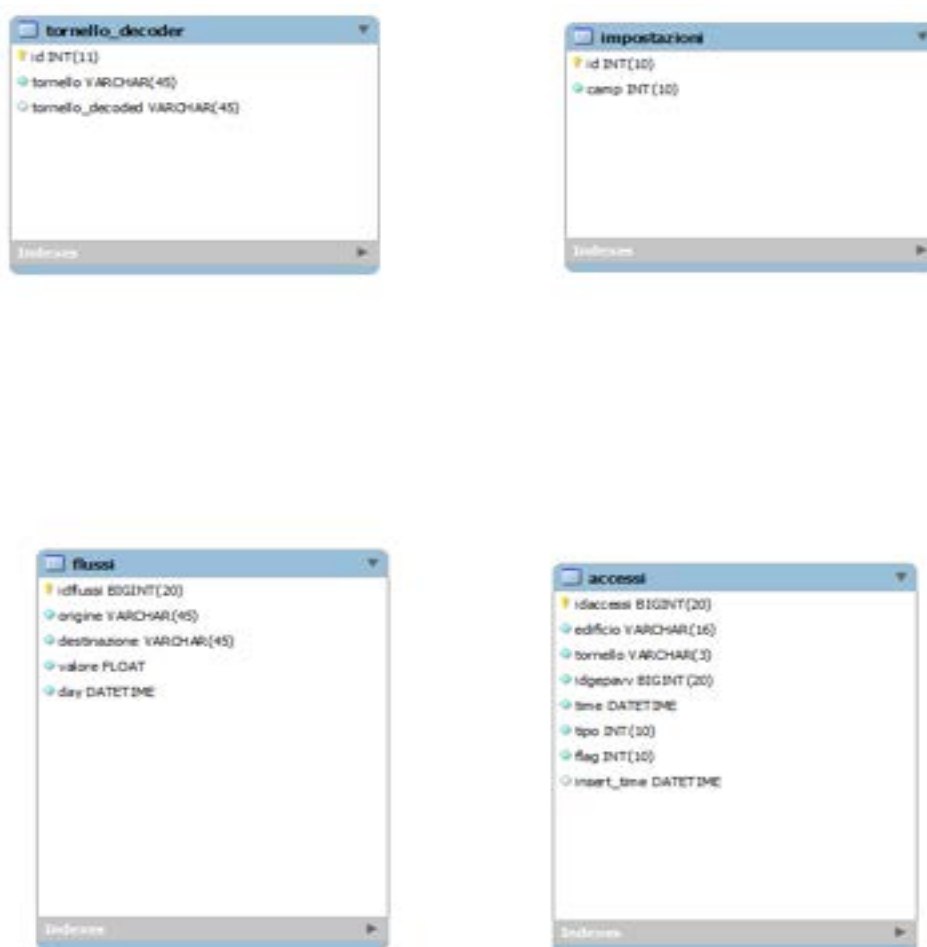


Figura 6.1 : struttura database

La tabella accessi memorizza tutte le timbrature tramite badge che avvengono ai tornelli del centro in entrata, uscita e alla mensa.

La tabella tornello_decoder contiene la corrispondenza tornello/ingresso (A,B,C) in modo tale da calcolare i flussi non sui tornelli ma sui 3 ingressi.

La tabella flussi contiene lo storico delle elaborazioni, ovvero per ogni percorso origine-destinazione il numero (campo 'valore') di persone che hanno utilizzato quel percorso in un certo intervallo di tempo (15 minuti).

La tabella impostazioni contiene l'intervallo di campionamento (15 min.) sulla base del quale viene effettuato il calcolo dei flussi.

Nella figura seguente viene riportato come esempio una schermata del database contenente l'elaborazione dei flussi.

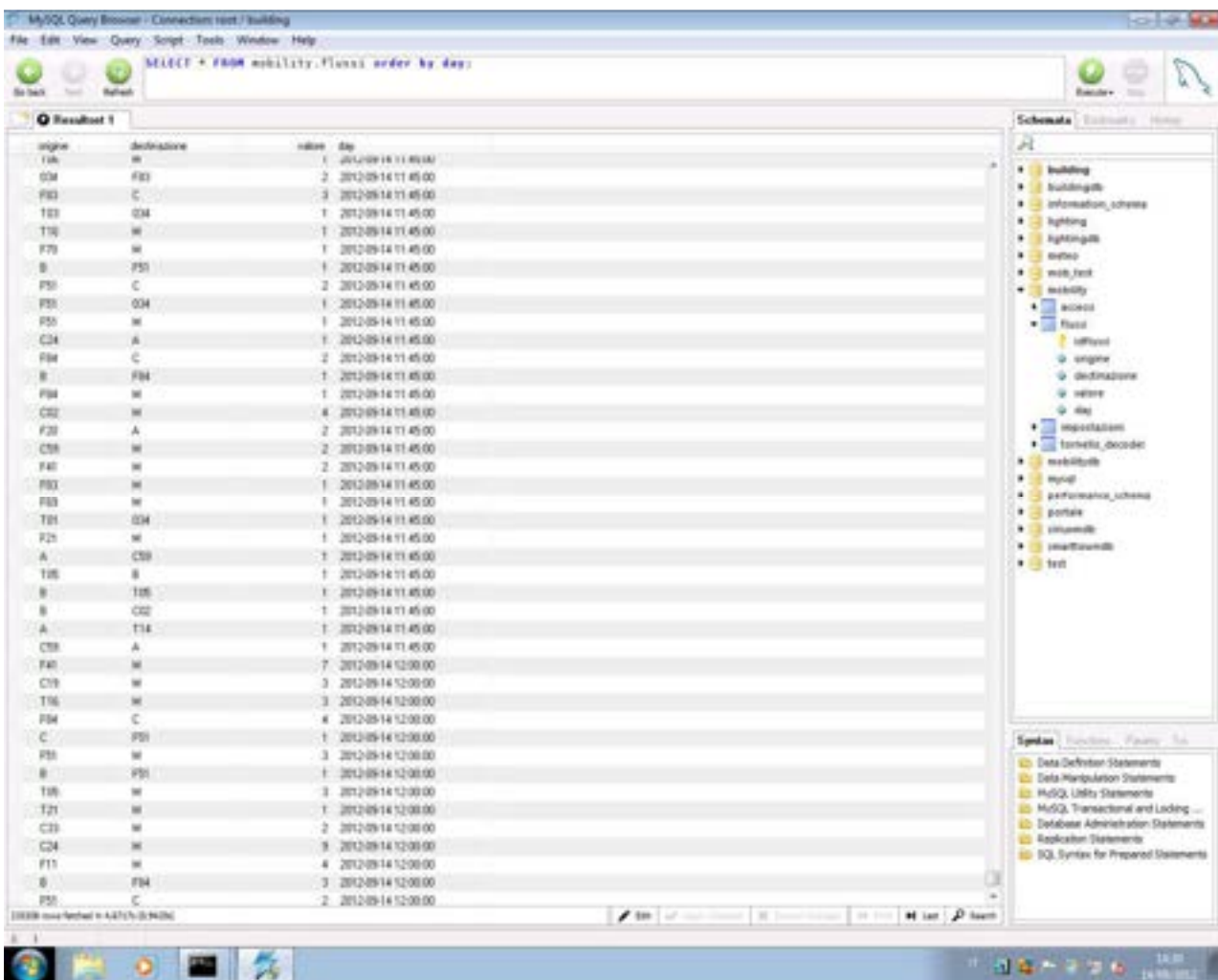


Figura 6.2 : elaborazione flussi

Il software sviluppato, basato su tecnologia Java, gestisce la connessione ai dati dei tornelli e l'elaborazione dei flussi.

Il software è composto di tre classi :

- MobilityDaemon che implementa la struttura di base dell'applicazione, il thread principale e la logica di funzionamento;

- FileConstantName che è costituito da una enumerazione delle costanti utilizzate nella lettura del file di configurazione;
- ThDaemonConsole che realizza il thread di controllo per l'arresto sicuro del daemon/thread principale (MobilityDaemon).

Il cuore della applicazione è la classe MobilityDaemon.

Classe MobilityDaemon

Metodo main()

La funzione di "avvio" main è contenuta nel file MobilityDaemon.java nella omonima classe.

All'avvio, tale funzione, legge e convalida gli argomenti passati da linea di comando, tramite la funzione parseArgs(), e istanzia e lancia il daemon.

La funzione parseArg() si limita ad effettuare il parsing dei soli parametri passati a linea di comando, non considera i parametri descritti nel file di configurazione.

Gli unici parametri riconosciuti da parseArg() sono:

- v stampa la versione del daemon;
- f specifica un file di configurazione;
- h stampa un piccolo riassunto dei parametri possibili, oltre alla versione del daemon.

Metodo execute()

La funzione di avvio del daemon, execute():

- carica la classe necessaria alla connessione ad DB, contenuta nel connectorJ ufficiale rilasciato da Oracle, richiamando loadClass() e gestendo eventuali errori relativi alla presenza/accessibilità del connettore;
- Legge e convalida i parametri (readPropFile()) necessari al funzionamento, forniti tramite il file di configurazione passato come parametro a linea di comando durante l'avvio del daemon (switch -f);
- Inizializza il log (initalizeLog()) gestito tramite log4j;

- Si connette al db tramite la funzione connectToMOBDB();
- Avvia la console di gestione per l'arresto sicuro del daemon (startDaemonConsole());
- Avvia il ciclo "while" in cui eseguire la logica di elaborazione delle timbrature;
- In uscita dal ciclo di elaborazione, nel caso di corretto arresto tramite console, chiude la connessione al db (disconnectFromMOBDB()).

Metodo readPropFile()

La funzione readPropFile() legge e convalida i parametri presenti nel file di configurazione.

Per la lettura dei parametri utilizza le costanti definite nel file FileConstantName.java.

Metodo initalizeLog()

La funzione initalizeLog() avvia il log utilizzando il file "log4j.properties" incluso nel pacchetto di rilascio. Tale file definisce la struttura delle righe stampate nel file di log, il nome del file di log e la modalità di gestione delle dimensione e della "rotazione" di tale file.

Sempre tramite il file log4j.properties è possibile attivare o disattivare il log verso la console da cui si è lanciato il daemon.

E' possibile modificare il file di proprietà di log4j prima dell'avvio del daemon senza la necessità di altre modifiche del daemon, ne a livello di sorgenti, ne ai byte code, ne al file di configurazione principale.

Metodo connectToMOBDB()

La funzione connectToMOBDB() connette il daemon, tramite il connectorJ fornito come libreria esterna, allo schema del database su cui lavorare.

Le credenziali di accesso, username e password, le coordinate di accesso, indirizzo IP del RDBMS Mysql e lo schema, sono fornite tramite il file di properties specificato a linea di comando (switch -f).

Metodo startDaemonConsole()

La funzione startDaemonConsole() avvia il thread di controllo sulla porta specificata nel file di properties.

Il codice di tale thread è definito nel file ThDaemonConsole.java. Come descritto più avanti tale thread consente, mediante una semplice console con interfaccia a linea di comando, di arrestare il daemon in maniera sicura, mantenendo la coerenza delle informazioni presenti nel DB.

La console di controllo è utilizzabile tramite un programma "telnet" connesso sulla porta di ascolto configurata per tale console.

Metodo logic()

La funzione logic() implementa la logica di calcolo dei "contatori di mobilità".

Viene richiamata la funzione selectSampling() che legge dal DB il valore di campionamento.

Tale funzione esegue un semplice controllo per verificare che il campionamento sia sottomultiplo della durata di un'ora (60 minuti).

Dopo il caricamento del valore di campionamento, logic() legge i record della tabella accessi marcati come non elaborati (flag = 0).

La query di estrazione è strutturata in maniera da decodificare il codice numerico del tornelli associato alla timbratura nella relativa stringa alfanumerica, contenuta nella tabella tornello_decoder. Nel caso non fosse presente la decodifica del codice nella tabella tornello_decoder, grazie alla LEFT JOIN, verrà utilizzato il codice originale del tornello, così come contenuto nel record della timbratura.

Per permettere al programma una "sensibilità" maggiore ai comandi della console, ogni esecuzione della query si limita ad estrarre solo il numero di record specificato dalla clausola LIMIT.

Per ogni record caricato dalla tabella accessi:

- Viene calcolato il "sample di appartenenza del record" (sample in cui ricade la timbratura).

- Se il record è relativo ad un ingresso (tipo = 0) viene impostato:

o Destinazione = edificio;

o Origine = tornello/tornello decodificato.

- Se il record è relativo ad una uscita (tipo = 1):

o Origine = edificio;

o Destinazione = tornello/tornello decodificato.

- Se il record è relativo alla pausa pranzo (tipo = 2):

o Origine = edificio;

o Destinazione = tornello/tornello decodificato.

Viene incrementato il contatore relativo al sample di appartenenza della timbratura, origine e destinazione.

Nel caso di pausa pranzo viene incrementato anche il contatore relativo al sample della timbratura più un'ora, invertendo origine e destinazione.

La funzione insertPathRecord inserisce/incrementa un contatore per ogni terna sample,origine,destinazione. Quando deve essere incrementato il contatore di un record, se il record esiste viene effettuata l'update del contatore, se il record non esiste viene inserito con contatore inizializzato a 1.

Infine, terminata l'elaborazione di un record, questo viene marcato come elaborato (flag = 1).

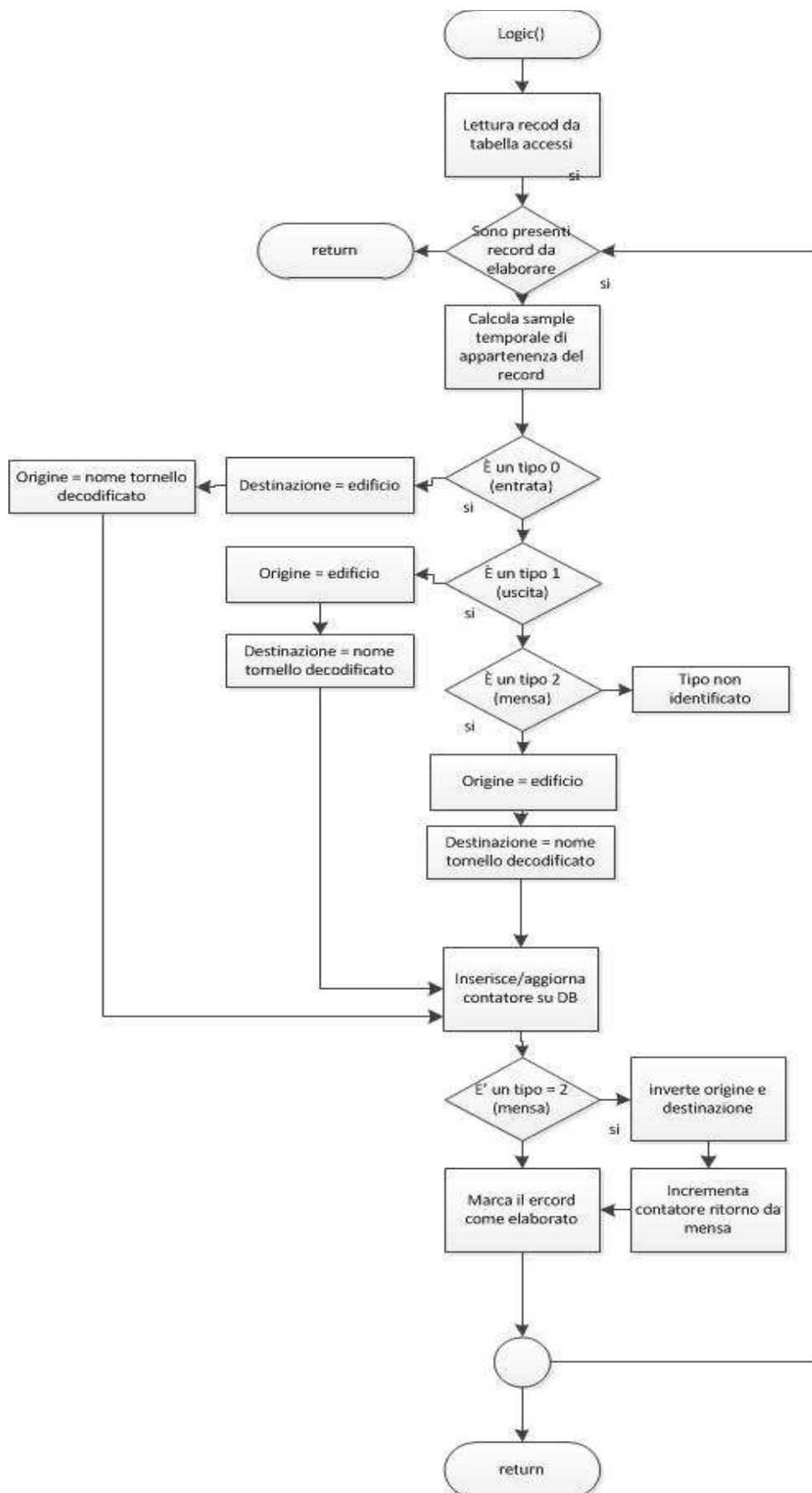


Figura 6.3 : algoritmo elaborazione flussi

ThDaemonConsole

Metodo run()

Il ThDaemonConsole implementa una semplice console in ascolto su una porta indicata nel file di configurazione.

- Il programma si mette in ascolto con un ServerSocket sulla porta e nel caso di connessione passa al relativo socket.
- Non è prevista la possibilità di connessioni multiple.
- L'insieme dei comandi è volutamente limitato e principalmente serve per arrestare il demone in modo sicuro, in maniera tale che possa terminare l'esecuzione della logica e chiudere correttamente la connessione al db mantenendo la coerenza dei dati.

Per terminare il thread principale utilizza due metodi:

- Tramite un metodo public esposto dalla classe MobilityDaemon, imposta la variabile halt = true indicando al codice del thread principale di arrestarsi;
- Tramite l'invocazione di interrupt sul reference del thread del daemon segnala, eventualmente, di uscire da uno stato di sleep e terminare il processo.

La connessione alla console può essere effettuata tramite "telnet" indicando, oltre all'indirizzo della macchina che ospita il daemon, la porta di ascolto specificata nel file delle properties del programma. La console non prevede autenticazione, né cifratura del traffico.

File di configurazione

Il file di configurazione passato al daemon in fase di avvio (switch -f) deve essere un file plain text contenente le seguenti proprietà (qui associate a valori di esempio):

```
MOB_DB_HOST=127.0.0.1  
MOB_DB_PORT=3306  
MOB_DB_NAME=mobility  
MOB_DB_USER=root  
MOB_DB_PASS=mysqladmin
```

```
QUERY_LIMIT=10000
```

```
COMMAND_PORT=5000
```

```
MAIN_INTERVAL=5000
```

Il file supporta i commenti tramite il carattere "cancelletto" (#) posto all'inizio della riga.

Di seguito una spiegazione del significato di ogni proprietà:

- MOB_DB_HOST indica l'host su cui risiede il server MYSQL che ospita lo schema del database;
- MOB_DB_PORT indica la porta di ascolto del server MYSQL sull'host indicato tramite la proprietà MOB_DB_HOST;
- MOB_DB_NAME indica il nome dello schema del database da utilizzare;
- MOB_DB_USER indica lo username dell'utente che gestisce lo schema del database;
- MOB_DB_PASS indica la password associata all'utente indicato dalla proprietà MOB_DB_USER;

- QUERY_LIMIT indica il limite massimo di record da elaborare per ogni ciclo di query effettuato. NON indica il numero massimo di record elaborati dal daemon, ma il numero massimo per ogni esecuzione della funzione logic();
- COMMAND_PORT indica la porta di ascolto del Thread della console di controllo;
- MAIN_INTERVAL indica l'intervallo in millisecondi tra il completamento della esecuzione della funzione logic() e la successiva invocazione della medesima funzione (intervallo di sleep del thread principale).

Tali metodologie sviluppate sono state dapprima validate sui dati reali del CR Casaccia e successivamente installate e rese pienamente operative.

7. Realizzazione di una Piattaforma ICT per Smart Village

Nell'ambito della realizzazione del dimostrativo dello "Smart Village" nel Centro Ricerche ENEA Casaccia è stata sviluppata una piattaforma informatica dedicata all'acquisizione ed all'elaborazione di dati sensoriali per il monitoraggio ed il controllo dei consumi energetici di diversa natura.

Questa attività è stata svolta in collaborazione con il Dipartimento di Informatica ed Automazione dell'Università degli Studi "Roma Tre" e per ogni approfondimento si può fare riferimento al rapporto tecnico ***"Realizzazione di una piattaforma integrata per il data fusion di segnali provenienti da sistemi sensoriali per applicazioni di smart city integrate nella rete della pubblica illuminazione"***.

La piattaforma è stata realizzata con l'intento di fornire servizi di elaborazione e presentazione dei dati che siano indipendenti dalla metodologia di interfacciamento con i sensori di diversa natura installati nello Smart Village. Di conseguenza la struttura generale della piattaforma è stata progettata in maniera modulare, in modo tale da permettere ulteriori estensioni dei moduli di acquisizione in maniera rapida ed efficiente.

Allo stato attuale la piattaforma è stata predisposta per la gestione di quattro moduli Smart:

- Smart Building Network
- Smart Lighting
- Smart Mobility
- Smart Weather

Il modulo Smart Building network è dedicato all'acquisizione e monitoraggio dei consumi energetici degli edifici, la diagnostica delle anomalie ed al controllo dell'accensione/spegnimento dei dispositivi energivori per il risparmio energetico.

Il modulo Smart Lighting è dedicato all'acquisizione e monitoraggio dei consumi elettrici derivanti dall'illuminazione dei luoghi comuni del CR Casaccia (es. parcheggio, viali ...), ed al controllo adattivo della potenza erogata dalle lampade per il risparmio energetico.

Il modulo Smart Mobility è dedicato all'acquisizione e monitoraggio dei dati di afflusso delle persone all'interno del centro ricerche.

Il modulo Smart Weather è dedicato all'acquisizione dei dati ambientali.

Il progetto a livello implementativo è suddiviso in due sottoprogetti:

- **DataCommunication.** Prettamente dedicato alla acquisizione ed elaborazione dei dati, alla gestione degli allarmi, all'elaborazione ed attuazione di logiche di controllo. Ogni task è un Thread che svolge una particolare funzione indipendentemente dagli altri task.
- **ServerSmartTown.** Dedicato all'interfacciamento web ed alla erogazione di servizi web tramite apposite servlet.

A livello logico la piattaforma è suddivisa in quattro strati, come mostrato nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**:



Figura 7.1: Architettura Piattaforma Smart Village

- **Presentation Layer.** Interfaccia l'utente finale con la piattaforma tramite web application (servlet, html, jsp).
- **Application Layer.** Esegue l'attività di business intelligence della piattaforma Smart Town. In tale strato vengono eseguiti i processi di analisi e fusione dei dati, del situation assessment per la diagnostica degli edifici, di realizzazione di logiche di controllo, di gestione di allarmi ed anomalie.
- **Data Layer.** Strato relativo al datawarehouse, ovvero lo storage dei dati. E' stato realizzato un database dalla struttura modulare cui possano confluire dati di diversa natura provenienti da diverse sorgenti.
- **Sensor/Actuator Layer.** Strato contenente i moduli di interfacciamento con i sensori. Ogni modulo è dedicato ad una specifica categoria di sensori ed è completamente indipendente dagli altri nella modalità di comunicazione e di interfacciamento.

Il lavoro svolto sul presentation layer si è incentrato sulla realizzazione di alcune pagine statiche in **html** per quanto riguarda le sezioni informative, mentre per quanto riguarda la sezione di presentazione e raccolta dei dati sono state realizzate delle pagine **jsp**, che mostrano in maniera dinamica quali sensori è possibile monitorare attualmente, e delle **servlet**, applicazioni web in java che consentono di creare grafici e tabelle sui dati selezionati, come mostrato nella Figura .

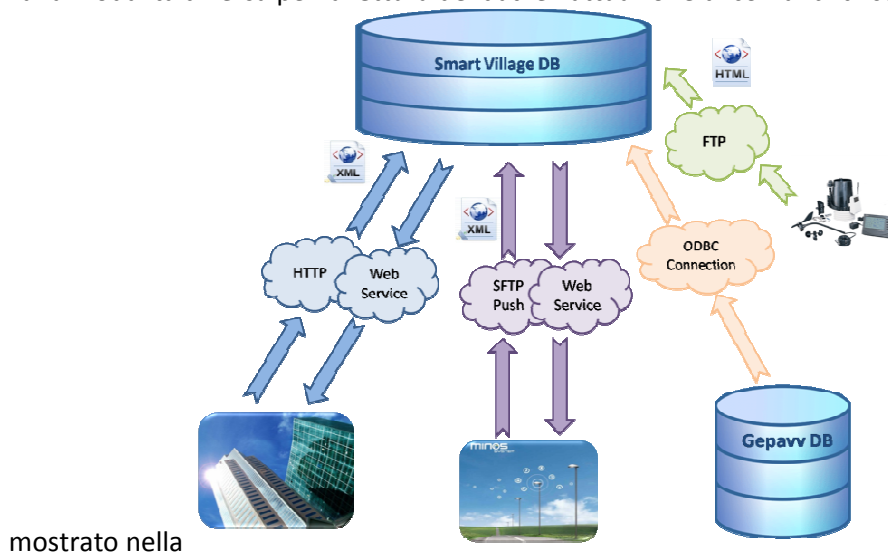


Figura 7.2: Web application che mostra il grafico di una misura

Il lavoro svolto nell'application layer si è incentrato sulla realizzazione di un sistema di logging e di gestione degli allarmi basato su periodici controlli sulle soglie minime e massime dei valori che i sensori possono assumere e sullo status stesso del sensore (Ready/Anomaly). E' stato inoltre definito un file di configurazione per la definizione dei cicli di clock dei thread, dei path ai file, degli ip delle macchine e dei nomi dei database.

L'attività svolta nel Data Layer è stata la creazione del database. Si è cercato il più possibile di scorrelare la tipologia di sorgente dal tipo di tabella, per cui il database ha una tabella *Historian* contenente lo storico di tutti i sensori di tutte le tipologie, per le informazioni in dettaglio su ogni sensore è stata creata la tabella SCADA. Sono inoltre state create tabelle dedicate a task specifici quali gestione allarmi, parsing dell'XML, raccolta dati meteorologici e diagnostica delle anomalie. Lo schema del database è mostrato nella Figura.

L'attività svolta nel sensor/actuator layer si è concentrata sulla realizzazione dei moduli interfacciamento con i sensori di campo, ovvero lo strato che fisicamente raggiunge i singoli sensori. Ciascun modulo si interfaccia in una modalità diversa per la lettura dei dati e l'attuazione di comandi di controllo come



mostrato nella

Figura .

Il modulo Smart Building (par. 4) si interfaccia con il sistema EasyCon prodotto da Umpi installato in una macchina dedicata all'interno del CR Casaccia, il quale comunica in maniera diretta con i sensori e genera periodicamente un file XML contenente le letture relative ad ogni sensore. E' stato realizzato un thread di

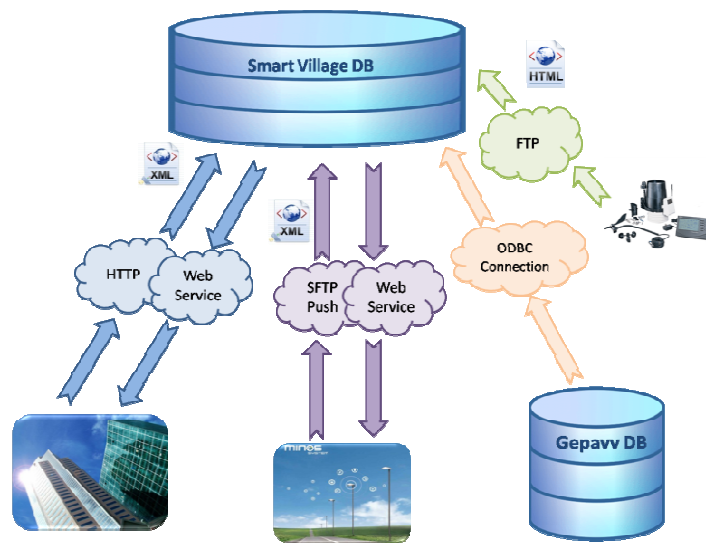


Figura 7.4: Interfacciamento tra Database e moduli Smart

Il modulo Smart Lighting (par. 3) si interfaccia con il sistema Minos di Umpi installato in una macchina di proprietà Telecom Italia esterna al CR Casaccia. Il processo di lettura viene eseguito tramite il parsing dell'XML che viene fornito tramite il servizio push da Telecom Italia verso il server nel CR Casaccia con protocollo **Secure FTP**. A tale scopo è stato attuato un processo di messa in sicurezza del server del CR Casaccia che svolge la funzione di hosting del database e delle Web Application. Tale processo consente a Telecom di effettuare il procedimento di Push via Secure FTP in modo sicuro, grazie all'algoritmo di crittazione di tipo MD5 appositamente sviluppato.

Il modulo Smart Mobility (par. 5) si interfaccia direttamente con il database interno del CR Casaccia predisposto per l'acquisizione dei dati provenienti dai tornelli. In questo modulo non sono previsti comandi di attuazione.

Il modulo Smart Weather si interfaccia con la centralina meteo attraverso il protocollo FTP. L'acquisizione dei dati avviene effettuando il parsing di un file html prodotto dalla centralina.

Per quanto riguarda la messa in sicurezza del server sono state approfondite le conoscenze dei Sistemi Operativi Linux-based a carattere Enterprise, in particolare sui sistemi Novell (Suse Linux Enterprise Server – SLES) svolgendo numerose attività di studio e di compatibilità applicativa a livello di Sistema Operativo per la messa in produzione di un Server Web Linux in OpenSource. Sono state approfondite alcune delle fondamentali attività sistemistiche contemporanee come la gestione del protocollo Secure Shell (SSH) e della sua messa in sicurezza, su come istituire una "gestione remota" di tipo amministrativo su sistemi Linux (tunneling ssh, proxy services, private keys, windows desktop, remote linux desktops).

8. Predisposizione di un programma per lo sviluppo futuro di interventi per la realizzazione dello Smart Village

Premessa

Al fine di costruire un percorso di estensione dello smart village (di cui ovviamente la Ricerca di sistema ha finanziato solo una parte per ora) e di ingegnerizzazione delle soluzioni tecnologiche ivi sviluppate al fine di renderle patrimonio pubblico attraverso l'ingresso nel mercato, è stato sviluppato un processo di coinvolgimento di realtà industriali nella partecipazione al programma successivo di sviluppo.

Gli obiettivi che si intende con tale processo raggiungere sono molteplici:

- dimostrare in un caso reale, la prestazione e la robustezza della tecnologia sviluppata, la sua innovatività e competitività economica, la capacità di produrre risparmio energetico ed ambientale;
- realizzare un esempio di riferimento che abbia già superato la prima fase sperimentale così da poterlo trasferire a realtà urbane più complesse;
- realizzare un modello in scala reale, da mostrare agli attori interessati (grandi imprese, municipalità etc.) per innescare la realizzazione e lo scale up di tali sistemi in ambiti urbani;

Lo Smart Village in Casaccia

Il processo avviato si basa su tre passi:

1. La identificazione di tematiche ed aree/applicazioni dimostrative.
2. L'avvio di una richiesta di manifestazione di interesse del mondo industriale a partecipare al programma di ricerca e sviluppo con propri investimenti.
3. L'avvio di accordi di partenariato per applicazioni dimostrative presso il CR Casaccia ispirate al concetto dello smart village e con esso integrate.
4. L'avvio di collaborazioni per il trasferimento tecnologico delle soluzioni sviluppate, l'ingegnerizzazione e l'estensione delle tecnologie.

I primi due punti del processo sono già stati avviati e conclusi. Il primo punto si è concluso con la identificazione di 4 ambiti applicativi:

1. Smart Lighting
2. Smart Building
3. Smart Mobility:
4. Piattaforma ICT.

Smart Lighting

L'applicazione consiste nella realizzazione di impianti di illuminazione innovativa sia outdoor che indoor.

Per l'illuminazione esterna le applicazioni interesseranno i viali interni del Centro Ricerche Casaccia utilizzando le migliori tecnologie per ridurre i consumi energetici e fornire servizi *smart* su lampioni intelligenti. Rientrano in questa categoria:

- apparati led outdoor (montati su palo o con soluzioni innovative in relazione alle caratteristiche del viale);
- sistemi di telegestione punto-punto per trasporto di segnali per la regolazione del singolo punto luce e di segnali video (onde convogliate o reti ZigBee); sistemi di visione (tipicamente uno o due per ogni viale); sistemi di smart services;

Le applicazioni di lighting outdoor che si intende realizzare sono sintetizzate nella tabella 8.1 che segue:

Denominazione	Geometria sezione stradale	Tipologia d'installazione	Tipologia di utenza
Viale nuovo ingresso fino alla BNL	Sezione stradale di 6 m. Lunghezza del tratto circa 400 m.	16 punti luce installati su un lato della strada su palo con sbraccio di circa 3,5 m altezza sorgente 8,5 m interasse tra i centri luminosi $i = 25$ m distanza dal ciglio della strada 1,5 m.	Mista: veicolare-pedonale
Viale dall'edificio F40 alla mensa	Due corsie di 4 m con aiuola spartitraffico centrale di circa 1 m. Lunghezza del tratto circa 430 m.	38 punti luce installati al centro della strada su 19 pali doppi con sbraccio di circa 1,3 m, altezza sorgente 7,4 m, interasse tra i centri luminosi 12-25 m	Mista: veicolare-pedonale
Viale principale dal vecchio ingresso al bivio con l'edificio F40	Unica corsia da 6 m con presenza di alberature ad alto fusto ai lati. Lunghezza del tratto circa 500 m.	18 punti luce installati su un lato della carreggiata, su palo con sbraccio di circa 3,5 m, altezza sorgente 8,5 m; interasse tra i centri luminosi 25-30 m; distanza dal ciglio della strada 1,5 m; 2 punti luce installati su 1 palo doppio con sbraccio di circa 1,2 m, altezza sorgente 8 m; 6 punti luce installati in testa a pali all'interno di aiuole, altezza sorgente 4 m; interasse tra i centri luminosi 12-15 m.	Mista: veicolare-pedonale
Viale principale dal bivio con l'edificio F40 all'edificio C19	Unica corsia da 6 m con presenza di alberature ad alto fusto ai lati. Lunghezza del tratto circa 650 m.	25 punti luce installati su un lato della carreggiata, su palo con sbraccio di circa 3,5 m, altezza sorgente 8,5 m, interasse tra i centri luminosi 25-30 m, distanza dal ciglio della strada circa 2 m.	Mista: veicolare-pedonale

Tabella 8.1 - Applicazioni di lighting outdoor

Per quanto riguarda gli interni si prevede di realizzare sistemi illuminotecnici a led per interni con sistemi di controllo adattivi, in particolare sono previste le seguenti applicazioni:

- Edificio mensa - sistemi di illuminazione a led indoor, sensori di presenza, trasmissione dati wireless o onde convogliate, regolazione lampade.
- Edificio F40 – soluzioni illuminotecniche innovative e competitive come modello di riferimento per grandi patrimoni di edifici pubblici.

Smart Building

L'applicazione consiste nella realizzazione di una rete di *smart buildings* in cui vari edifici vengono equipaggiati con sistemi sensoriali i cui dati vengono portati in real time sul sistema di supervisione dello Smart Village. Il sistema di supervisione delle applicazioni intelligenti sviluppate da ENEA provvede alla diagnostica avanzata ed alla ottimizzazione della gestione. I risultati vengono inviati al BEMS (Building Energy Management System) per la attuazione delle strategie di controllo e, in relazione ai target, verso l'energy manager della rete o verso gli utenti.

Rientrano in questa categoria sistemi BEMS (Building Energy Management Systems) che includono:

- Sensori (energia elettrica, termica, variabili ambientali, affluenza);
- Sistemi di attuazione (luce, climatizzazione, fem);
- Sistemi di trasmissione e raccolta dati;
- Sistemi di interfaccia operatore per visualizzazione dati e controllo;
- Interfaccia con sistema di supervisione dello Smart Village (esportabilità dati, importabilità controlli).

Le applicazioni sperimentali previste sono:

- l'implementazione del cluster di 8 edifici (da F66-F73) - sistema BEMS per il controllo diagnostica e visualizzazione dati del consumo energetico.
- La realizzazione di ulteriore smart building: edificio F36 - sensori per monitoraggio consumi energetici, attuatori, sistemi di trasmissione dati, interfaccia con operatore e supervisore Smart Village.

Smart Mobility

L'applicazione consiste nella realizzazione di sistemi per la mobilità intelligente e pulita all'interno del centro e sistemi lavoro-abitazione.

Le applicazioni sperimentali previste sono:

- rete gestione mobilità interna - sistemi ICT per la comunicazione dati per gestione del mobility on demand e mobilità pedonale (APP per infomobilità all'interno del Centro).
- trasporto casa-lavoro - sistemi ICT per la comunicazione dati per la gestione del car-pooling casa-lavoro.

Piattaforma ICT

L'applicazione è trasversale e consiste nello sviluppo di una soluzione hw-sw ICT per l'integrazione dei dati provenienti dalle varie applicazioni verticali (smart lighting, etc). In particolare si prevede di realizzare:

- Piattaforma integrata per lo Smart Village (raccolta ed organizzazione dati, cloud computing per elaborazione dati, sistemi web service per l'interazione con utenti).
- Social Network per la Smart Community del Village (condivisione di informazioni con approccio web 2.0).

La figura 8.2 descrive il CR Casaccia dopo la realizzazione di tutti gli interventi previsti.



Fig.8.2 - Planimetria del C.R. Casaccia al termine degli interventi previsti

La procedura di selezione delle collaborazioni

Lo strumento utilizzato per attivare la collaborazione con le aziende interessate, nel rispetto del principio di trasparenza e di parità di condizioni tra gli operatori economici potenzialmente interessati, è la pubblicazione di un avviso attraverso il quale sono stati invitati i soggetti, in possesso dei requisiti generali di cui all'art. 38 del D. Lgs. 163/2006 per contrarre con la Pubblica Amministrazione, a manifestare il proprio interesse per le attività di ricerca, sviluppo e sperimentazione per la realizzazione dello Smart Village Casaccia. Il termine per presentare le proposte da parte delle aziende è stato fissato per il 30 Settembre 2012, dopo tale data si procede alla loro valutazione e alla pubblicazione della graduatoria di quelle selezionate.

Un'adeguata diffusione dell'avviso per la manifestazione di interesse, al fine di assicurare il massimo coinvolgimento delle principali aziende operanti nei settori di riferimento, è avvenuto mediante la pubblicazione sul sito istituzionale ENEA (www.enea.it), sul quotidiano a diffusione nazionale "Gazzetta Aste e Appalti Pubblici" e per estratto sul quotidiano a diffusione nazionale "Il Sole 24 Ore".

Alle aziende interessate è stato richiesto di sviluppare una o più applicazioni dello Smart Village, per la quale impegnarsi a contribuire – a titolo gratuito – mettendo a disposizione strumentazione, sw o servizi ICT; realizzando i relativi progetti esecutivi; partecipando alla installazione dei sistemi, elaborando l'interfacciamento tra le singole tecnologie ed il sistema di supervisione dello Smart Village; partecipando alla analisi dei risultati.

Il contributo di ENEA al programma consiste nella messa a disposizione del Centro Ricerche Casaccia come campo sperimentale, nella fornitura delle informazioni necessarie allo sviluppo dei progetti esecutivi, nella eventuale partecipazione alla fase di installazione della strumentazione, nello sviluppo delle tecnologie intelligenti per l'integrazione del sistema di supervisione; nella qualificazione scientifica delle tecnologie impiegate ed infine nella divulgazione dei risultati ottenuti.

Le proposte sono in corso di valutazione da un Comitato Tecnico composto da personale ENEA, mentre la valutazione delle proposte viene effettuata in relazione ai seguenti criteri:

- Innovatività della soluzione proposta (in termini di strumentazione e/o servizio offerto e/o ad attività e/o risparmio energetico), fino a un massimo di punti 30/100;
- Integrabilità nello Smart Village (vincoli operativi e funzionali), fino a un massimo di punti 30/100;
- Grado di partecipazione della azienda (es solo fornitura di strumentazione e/o con installazione e/o con sviluppo ulteriore della tecnologia), fino a un massimo di punti 40/100.

Al termine dei lavori il Comitato di valutazione redige una graduatoria finale che riporta l'indicazione dell'operatore economico, la proposta presentata e il punteggio finale attribuito. Non sono prese in considerazione le proposte che conseguiranno un punteggio complessivo inferiore a 60/100.

Le proposte selezionate saranno rese operative attraverso una apposita convenzione.

PARTE II

Sviluppo di metodi di progettazione di sistemi di illuminazione smart (Task D.2)

La linea di ricerca prevedeva la partecipazione dell'ENEA a sperimentazione già avviata da comuni particolarmente avanzati dal punto di vista di installazioni di "smart lighting" al fine di poterne valutare l'efficacia ed il reale risparmio energetico.

Sono state esaminate varie situazioni ed è stato scelto il comune di San Giovanni in Persiceto dove la cablatura con pali intelligenti è già in fase operativa. Inoltre su questo comune oltre alla telegestione punto-punto è stato anche installato un sensore di flussi di traffico e quindi già dispone della strumentazione necessaria all'approccio di smart lighting benchè non sia mai stata utilizzata in questa direzione.

Oltre alla attività di analisi in campo si è continuata l'attività di sviluppo, iniziata nel par 2010 di progettazione di elementi multifunzionali di lighting che integrino altre funzionalità smart. In questa direzione l'Università di Pisa ha condotto uno studio che mira ad ingegnerizzare il lavoro svolto in precedenza su questo tema e ad estenderlo altre componenti urbane.

9. Metodologia dello smart lighting, la sperimentazione a S.Giovanni in Persiceto (BO) ed il progetto di Bracciano

Questa sperimentazione ha riguardato la validazione sia dei modelli predittivi che le strategie di controllo sulla base di dati di traffico forniti dal comune. In particolare, la sperimentazione si è focalizzata su una strada di particolare interesse, la tangenziale di Decima, su un periodo di 123 giorni continuativi. Tali dati hanno subito una prima fase di elaborazione per ricostruire, a partire dai transiti, i flussi orari. Da questa prima analisi è stato ricavato anche la classe della strada in esame che è risultata essere:

Strada urbana interquartiere, portata max = 800 veicoli/ora , classe = E.

Su tale classificazione è stato effettuato lo studio sulle strategie di controllo riportate di seguito.

La prima analisi ha riguardato lo sviluppo di un modello predittivo a breve termine (1 ora).

I metodi applicati sono quelli sviluppati nell'attività del PAR 2010 (al quale si rimanda per la descrizione dettagliata delle metodologie), ovvero

- Ora attuale : il flusso dell'ora successiva viene stimato usando il dato dell'ora attuale
- Settimana precedente : il flusso dell'ora successiva viene stimato usando il dato della settimana precedente corrispondente a quell'ora
- Profilo statistico : viene costruito il profilo medio orario di tutti i giorni
- Neural ensembling : metodologia innovativa di intelligenza artificiale

Nella seguente tabella vengono confrontati gli errori di predizione delle diverse metodologie, nella figura 9.1 viene riportato un grafico che compara gli andamenti del profilo statistico e del neural ensembling. Tali risultati confermano quelli riportati nel PAR 2010 in cui la metodologia innovativa di neural ensembling risulta la più precisa.

	Ora attuale.	Sett. prec.	Profilo stat.	Neural ens.
Errore	8.77%	7%	5.53%	4.39%

Tabella 9.1 : comparazione algoritmi predittivi

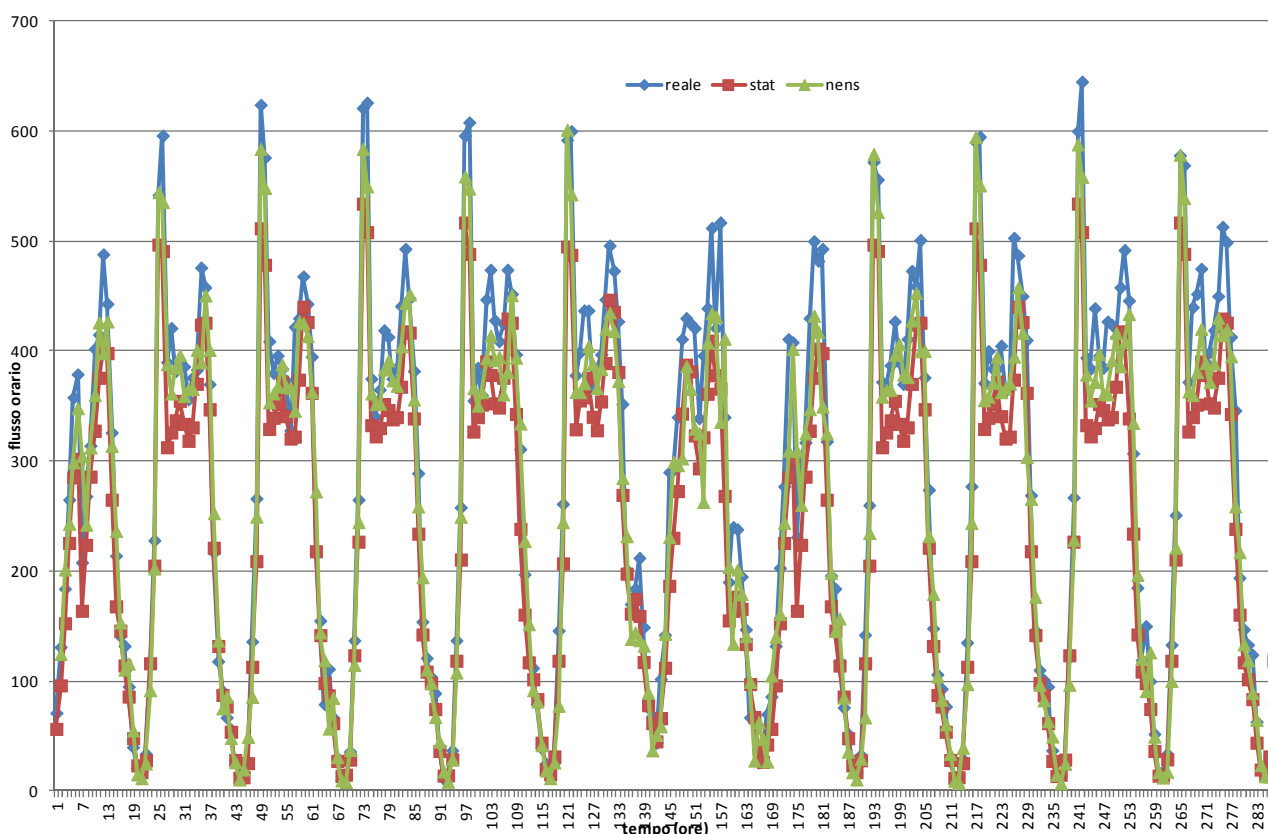


Figura 9.1 : comparazione algoritmi predittivi

Infine sono state studiate gli effetti delle diverse strategie per il controllo dell’illuminazione sviluppate nell’ambito del PAR 2010 con lo scopo di tradurre il flusso di traffico predetto in potenza di alimentazione delle lampade tenendo conto dei vincoli tecnologici e delle normative stradali. In particolare sono state applicate tre strategie di controllo: costante, statica e adattiva.

La prima consiste semplicemente nel tenere sempre un valore di potenza fisso e costante. In questa sperimentazione è stato applicato il valore fisso del 100%, che è la strategia attualmente realmente impostata sulla strada in esame.

La seconda consiste nel definire due fasce orarie esattamente della stessa durata durante le quali si applicano due diversi valori di potenza. In questa sperimentazione sono stati ipotizzati tali valori al 100% e al 75%.

La strategia adattiva invece è più raffinata. Ovvero, basandosi sulle predizioni di attività veicolare è capace di adattare ora per ora il flusso luminoso alla reale domanda del momento ottenendo così un duplice vantaggio sia in termini di risparmio che di sicurezza. Punto critico di quest’approccio è di avere un modello di predizione sufficientemente accurato. Questo tipo di strategia è stata impostata facendola variare in un range di potenza 50%-100%.

L’indice di risparmio è stato calcolato rispetto al caso costante senza alcun tipo di controllo, ovvero nella condizione in cui si fornisce il 100% della potenza per tutto il periodo di illuminazione. Tali risultati sono frutto di calcoli teorici, mentre invece nel secondo caso sperimentale (C.R. ENEA Casaccia) si tratta di risultati sperimentali misurati sui consumi reali.

controllo statico	controllo adattivo
-12%	-34%

Tabella 9.2 : comparazione strategie di controllo (percentuale di risparmio)

Da tali risultati è possibile notare immediatamente che il controllo adattivo è in grado di fornire potenzialmente un risparmio energetico notevole, garantendo al tempo stesso la sicurezza ed il rispetto delle normative.

Anche il semplice controllo statico basato sul profilo medio statistico fornisce un risultato in termini di consumo simili al controllo costante, con il vantaggio però che varia tra due fasce e quindi segue meglio le esigenze di illuminazione nel caso medio. Inoltre, rispetto al controllo adattivo questo è molto più semplice e quindi di più facile realizzazione.

Nella seguente figura mostriamo un esempio del diverso comportamento tra le strategie di controllo. Dalla figura si evince come il controllo adattivo fornisca energia seguendo molto fedelmente il flusso di traffico.

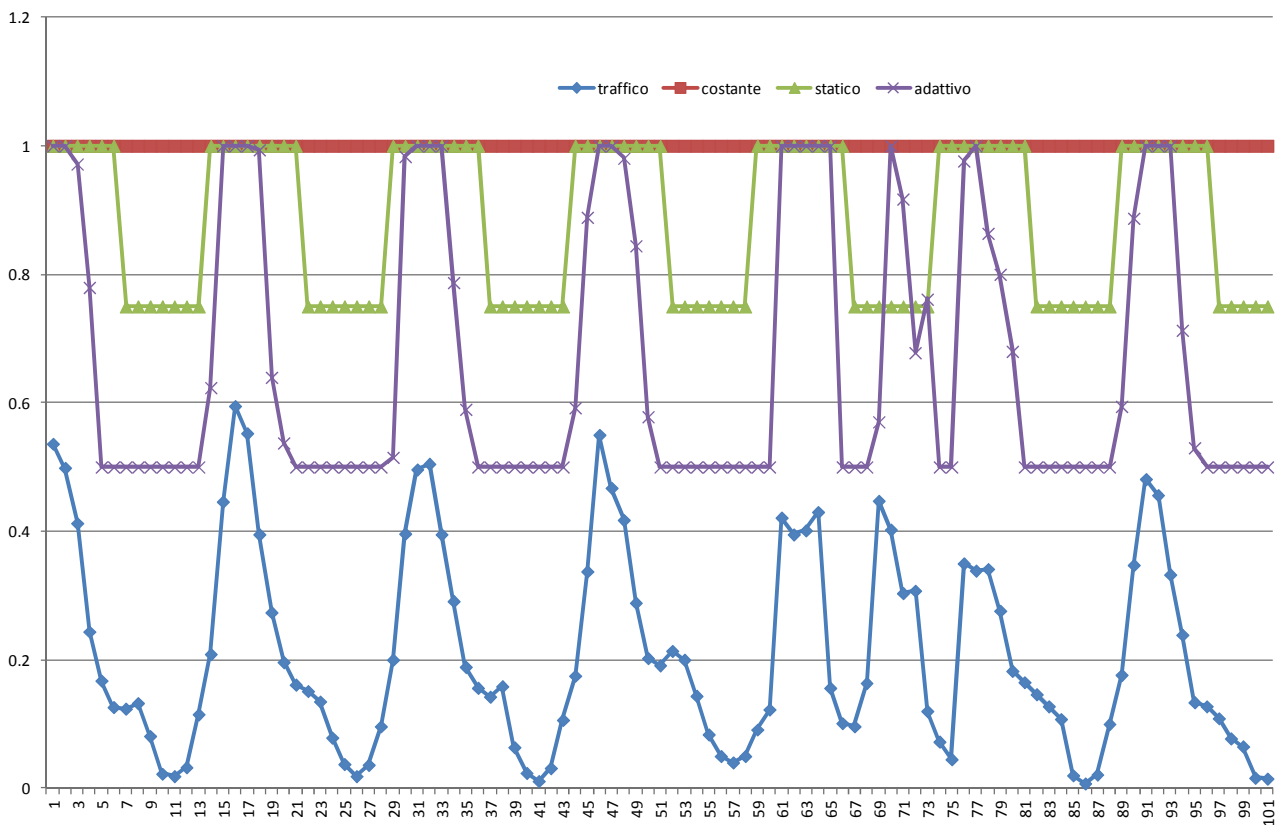


Figura 9.2 : comparazione strategie di controllo

Sulla base di tali risultati è stata intrapresa la progettazione di una applicazione presso il comune di Bracciano dove verrà realizzata una via di circa 1 Km attrezzata con sistemi di telegestione punto-punto, lampioni led e strumentazione per il controllo adattivo della illuminazione e la integrazione di servizi smart.

10. Metodi di progettazione di componentistica multifunzionale di public lighting

Con la Università di Pisa è stato affrontato uno studio di progettazione di alcuni elementi di arredo urbano secondo una logica smart cities, il rapporto tecnico di riferimento è: "Studio di strutture multifunzionali da installare in ambiente urbano come arredi attivi in una logica di smart cities" - (RdS/2012/283).

Lo studio è partito dalla ingegnerizzazione della soluzione SVEM Light sviluppata nel par 2010 per le rotonde intelligenti ed è proseguita nella direzione della applicazione della stessa modalità progettuale verso altri elementi multifunzionali di arredo urbano, diversi dei quali connessi alla illuminazione pubblica.

L'approccio che ha stimolato la ricerca delle progetti proposti è stato quello di individuare soluzioni puntando in particolare alla integrazione formale e tecnologica di elementi energeticamente attivi e di dispositivi wi-fi così come è stato fatto nel caso di SVEM Light. Il secondo e il terzo tema trattano di dispositivi per l'illuminazione che costituiscono delle reti che si estendono in gran parte della città. Questa caratteristica rende interessante l'idea di integrare hot spot wi-fi per diffondere la copertura di queste reti in ambito urbano. Vengono quindi individuate delle soluzioni integrate con elementi energeticamente attivi. Nel caso dell'illuminazione di aree pedonali viene individuata una soluzione capace di integrarsi anche in contesti di pregio storico architettonico.

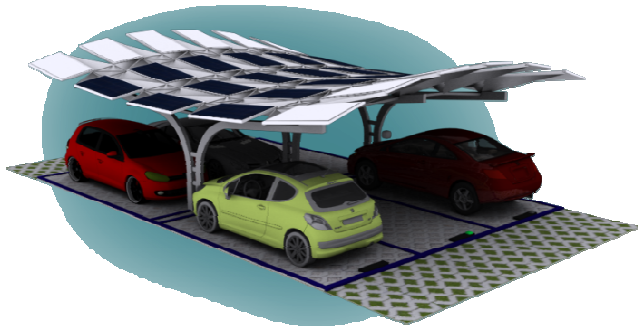


Una delle soluzioni presentate soluzione reinterpreta in una logica smart cities il concetto tradizionale di gazebo sia come struttura permanente che come allestimento temporaneo. Ne consegue l'ideazione di una struttura multifunzionale, che nel rispondere alle mutate esigenze della società contemporanea arricchisce lo spazio urbano con nuove funzioni. Una struttura che oltre ad essere allestita in parchi urbani o giardini pubblici, può divenire elemento di integrazione dell'arredo urbano di piazze,

passeggiate, o di altri contesti cittadini.

Una soluzione è stata sviluppata per servizi di bike sharing con biciclette semplici o dotate di sistemi a pedalata assistita. Lo studio di questo oggetto di arredo urbano si è concentrato principalmente sulla progettazione di un elemento modulare, capace di rendere più flessibile la gestione di questi servizi.





Infine è stata studiata una pensilina multifunzionale per il parcheggio di autoveicoli in aree di sosta a pagamento. In questo studio è stata ricercata una soluzione formale in grado di integrare sistemi per la raccolta dell'acqua piovana e pannelli solari di formato commerciale in una superficie di geometria complessa.

Conclusioni

Questo rapporto si riferisce alla realizzazione di una sperimentazione pilota di uno Smart Village e studi sulle metodologie di progettazione per applicazioni in contesti urbani.

Attraverso la realizzazione dello Smart Village è stato possibile qualificare sperimentalmente l'integrazione di diverse funzionalità del centro, in cui il sistema di illuminazione (outdoor) diventa l'infrastruttura abilitante per applicazioni intelligenti, quali "smart lighting" (controllo adattivo della illuminazione esterna), "smart building networks" (gestione centralizzata degli edifici) e "smart mobility" (gestione centralizzata della mobilità), con il fine di sviluppare un modello integrato per un insediamento caratterizzato da un profilo di utenza omogeneo e gestione centralizzata. L'area prescelta per la dimostrazione è quella del CR ENEA Casaccia dove già in precedenza sono state effettuate alcune installazioni, per cui si è preferito continuare il percorso realizzativo avviato nelle annualità precedenti dell'Accordo di Programma ed organizzarlo su una cornice più strutturata.

Questi i principali risultati ottenuti:

- E' stato sviluppato un progetto coordinato per lo sviluppo di uno "smart village" presso il CR Casaccia. Il progetto ha per ora affrontato parte delle realizzazioni secondo la logica di creare delle metodologie di riferimento e delle applicazioni esemplari di seguito descritte. E' stato avviato un processo di coinvolgimento di realtà industriali per il trasferimento tecnologico, l'ingegnerizzazione e la estensione delle soluzioni sviluppate anche in contesti urbani.
- E' stata condotta una analisi sperimentale di una installazione del metodo di "smart lighting" sviluppato da ENEA ed applicato su torri faro al parcheggio del CR Casaccia. La particolarità della applicazione sta nell'utilizzo di sistemi di visioni al fine di ricostruire adattivamente la richiesta e regolare di conseguenza il flusso luminoso di ogni lampada. La sperimentazione ha evidenziato difficoltà tecniche connesse alla trasmissione dati ad alta banda su onde convogliate di flussi video quando le distanze superano i 100 m. In relazione a ciò si sono studiate due soluzioni alternative che prevedono l'analisi delle immagini direttamente sul sensore di visione. Una di queste è stata sperimentata su area urbana, per l'altra è stato creato un progetto ad hoc.
- E' stata realizzata una dimostrazione di "smart street" che include la realizzazione di un viale a led con telegestione adattiva basata su sistemi di visione e procedure di controllo accessi e la trasformazione degli edifici che insistono sul viale (8 edifici) in una rete coordinata e centralizzata di smart buildings sincronizzata al sistema di telegestione della illuminazione ed al sistema di monitoraggio della mobilità nel centro.
- E' stata realizzata una applicazione di un sistema di diagnostica real time avanzata ad un edificio del centro altamente sensorizzato. La diagnostica si basa su sistemi predittivi e logica fuzzy ed è in grado di identificare la presenza di anomalie presenti sui sensori di consumo energetico e di risalire dai sintomi rilevati alle cause che possono aver generato tali sintomi. Tale metodologia è destinata alla gestione automatica della diagnostica remota di reti di edifici;
- E' stato sviluppato un sistema di ricostruzione dei flussi pedonali e veicolari all'interno dello smart village sulla base dell'incrocio dei dati dei badge di accesso al centro ed alla mensa. Questo ha permesso di ricostruire il profilo orario dell'utilizzo di ogni viale del centro. L'obiettivo è la ricostruzione dell'utenza del centro al fine della regolazione energetica dei flussi luminosi e servizi di mobilità del centro.

- E' stata realizzata una piattaforma ICT per il controllo integrato dell'intero smart village cui pervengono tutti i dati di utenza e dati energetici a cui accedono i servizi fondamentali e gli utenti del "village" secondo le logiche dei sistemi "open data". E' stata inoltre realizzata una control room del centro stesso;

L'attività ha incluso anche studi sperimentali e studi di progettazione per applicazioni dell'approccio sviluppato nello smart village presso realtà urbane. Tali attività hanno incluso:

- La sperimentazione con successo della metodologia di *smart lighting* presso una realtà urbana (Comune di San Giovanni in Persiceto) dove sono stati ottenuti significativi miglioramenti rispetto in termini di risparmio energetico e sicurezza rispetto alla regolazione di flusso tradizionale o l'assenza di regolazione. Inoltre è stato redatto un progetto di smart lighting presso il comune di Bracciano.
- Sono stati sviluppati dei progetti esemplari di una metodologia di progettazione di apparati urbani multifunzionali basati sui sistemi di lighting pubblico ma integranti altre funzioni di controllo o monitoraggio della città.

Sviluppi futuri

Le tre principali direzioni di continuazione della attività consistono in:

- Sperimentazione delle funzionalità già implementate nello smart village su periodi più significativi ed in particolare, la sperimentazione sull'edificio f40, la sperimentazione sulla smart street realizzata e sul sistema delle torri faro (a valle dell'upgrade con la nuova soluzione messa a punto).
- attualmente le applicazioni si sono concentrate su soluzioni di base e soluzioni di diagnostica avanzata sviluppando progetti per gli aspetti di controllo. Il passo successivo è quindi la estensione delle funzionalità attualmente implementate nella direzione del controllo ottimale sia degli edifici come della illuminazione esterna e la loro qualificazione sperimentale.
- Ingegnerizzazione delle soluzioni sviluppate con coinvolgimento di aziende e sperimentazione in contesti urbani.

Riferimenti bibliografici

- Sviluppo di una sperimentazione dimostrativa di “smartvillage” e metodi di progettazione” - ENEA (RdS/212/053);
- “Sviluppo di un approccio per la gestione ottimale di edifici: applicazione su un Smart Village C.R. Casaccia” - Università Politecnica delle Marche (RdS/2012/054);
- “Sviluppo di una metodologia per la diagnostica remota di reti di edifici: applicazione su Smart Viallge C.R. Casaccia” - Politecnico di Torino, Dipartimento Energia (RdS/2012/229);
- “Realizzazione di una piattaforma integrata per il data fusion di segnali provenienti da sistemi sensoriali per applicazioni di smart city integrate nella rete della pubblica illuminazione” - Università degli Studi Roma Tre, Dipartimento di Informatica e Automazione (RdS/2012/230).
- “Studio di strutture multifunzionali da installare in ambiente urbano come arredi attivi in una logica di smart cities” - Università di Pisa, Dipartimento di Sistemi Elettrici e Automazione (RdS/2012/283).