



Ricerca di Sistema elettrico

Studio degli scenari di flessibilità di un micro distretto orientato al Demand Response

F. Lauro, F. Riganti Fulginei, S. Panzieri

STUDIO DEGLI SCENARI DI FLESSIBILITA' DI UN MICRO DISTRETTO ORIENTATO AL DEMAND RESPONSE

F. Lauro, F. Riganti Fulginei, S. Panzieri (Università Roma Tre)

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

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

Progetto D.1: Tecnologie per costruire gli edifici del futuro

Tema di Ricerca: Edifici intelligenti

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

Responsabile del Progetto: Ing. Giovanni Puglisi, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Studio degli scenari di flessibilità di un micro distretto orientato al DemandResponse"

Responsabile scientifico ENEA: Stefano Pizzuti

Responsabile scientifico Università Roma Tre : prof. Stefano Panzieri

Indice

SOMMARIO.....	5
1 INTRODUZIONE.....	6
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	6
2.1 VALUTAZIONE DELLA FLESSIBILITÀ NELL'AMBITO DEMAND-RESPONSE DI UN MICRO DISTRETTO COSTITUITO DA EDIFICI APPARTENENTI ALLO "SMART VILLAGE" ENEA.....	6
2.1.1 <i>Definizione degli scenari di test</i>	6
<i>Calibrazione dell'emulatore di micro-distretto</i>	6
<i>Sperimentazione</i>	7
2.1.2 <i>Risultati</i>	9
2.2 DEFINIZIONE E DESCRIZIONE DEI CASI D'USO DI GESTIONE ENERGETICA EFFICIENTE DEGLI EDIFICI APPARTENENTI ALLO "SMART VILLAGE" ENEA.....	11
2.2.1 <i>Casi d'Uso "Monitoraggio Building"</i>	11
<i>Caso d'Uso "Monitoraggio Elettrico"</i>	13
<i>Caso d'Uso "Monitoraggio Termico"</i>	15
<i>Caso d'Uso "Monitoraggio Presenza"</i>	16
<i>Caso d'Uso "Monitoraggio Ambientale Indoor"</i>	19
<i>Caso d'Uso "Monitoraggio Ambientale Outdoor"</i>	21
2.2.2 <i>Casi d'Uso "Diagnostica e KPI Building"</i>	22
<i>Caso d'Uso "Diagnostica Elettrica e Termica"</i>	24
<i>Caso d'Uso "KPI Elettrici e Termici"</i>	25
2.2.3 <i>Casi d'Uso "Controllo Building"</i>	27
<i>Caso d'Uso "Controllo Elettrico"</i>	28
<i>Caso d'Uso "Controllo Termico"</i>	30
2.3 STRATEGIE DI CONTROLLO PREDITTIVO PER LA REGOLAZIONE DI TEMPERATURA DI EDIFICI MULTI-ZONA SULLA BASE DEL LIVELLO DI OCCUPAZIONE E DEL PREZZO DELL'ENERGIA.....	32
2.3.1 <i>Sperimentazione</i>	32
2.3.2 <i>Risultati</i>	34
<i>Strategia MPC non adattiva</i>	35
<i>Strategia MPC adattiva con setpoint di temperatura dinamici sulla base del livello di occupazione</i>	36
<i>Strategia MPC adattiva con setpoint di temperatura dinamici sulla base del livello di occupazione e della fascia di prezzo</i>	37
<i>Discussione</i>	39
2.4 ANALISI DEI PRINCIPALI OPEN STANDARD DI COMUNICAZIONE ORIENTATI AL DEMAND-RESPONSE.....	39
2.4.1 <i>Introduzione al Protocollo OpenADR Alliance</i>	39
2.4.2 <i>Specifiche tecniche</i>	41
<i>Architettura Automated Demand Response</i>	41
<i>Requisiti generali</i>	43
<i>Data Entities usate dalle funzione dell'interfaccia</i>	44
<i>Modelli dell'evento Demand Response</i>	45
2.4.3 <i>Specifiche funzionali</i>	51
<i>Esempi di funzioni utilizzate dalle Utility o ISO</i>	51
2.4.4 <i>Policy per la sicurezza</i>	52
<i>Controllo degli accessi e regole di sicurezza</i>	52
2.4.5 <i>Sviluppi futuri</i>	55
3 CONCLUSIONI.....	55
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	56
5 CURRICULUM VITAE DEGLI AUTORI DEL RAPPORTO TECNICO.....	56
FIORELLA LAURO.....	56
FRANCESCO RIGANTI FULGINEI.....	56

STEFANO PANZIERI57

Sommario

L'attività svolta nel programma di ricerca del PAR 2015 si è delineata intorno alla sperimentazione riferita all'obiettivo "Gestione di edifici in contesto Smart District e scenari di Demand Response" del progetto "Tecnologie per costruire gli edifici del futuro". Il lavoro svolto dall'Università degli Studi Roma Tre è stato strutturato in quattro attività, ciascuna delle quali è illustrata nel presente documento.

La prima attività ha riguardato la valutazione della flessibilità nell'ambito Demand Response di un micro distretto di edifici appartenenti allo "Smart Village" del Centro Ricerche ENEA Casaccia. Oggetto di analisi è stata la domanda elettrica del micro distretto, valutando diversi scenari comprendenti elementi di generazione da fonti rinnovabili e/o di storage (attualmente non presenti nel Centro). L'attività è stata condotta attraverso l'impiego di un emulatore di micro-distretto in grado di replicarne il comportamento elettrico, considerando elementi emulati e reali. L'obiettivo della sperimentazione è stato generare un profilo energetico ottimo per tutti i componenti del micro distretto per il giorno successivo oggetto di sperimentazione che minimizzasse i costi giornalieri associati allo scambio di energia tra il micro-distretto e il mercato dell'energia. Al fine della valutazione dei risultati relativi ai costi e ai risparmi, gli scenari emulati sono stati comparati con lo scenario di benchmark che esclude la presenza di elementi di generazione e di storage e che corrisponde allo stato attuale del cluster di edifici ENEA.

La seconda Attività si è focalizzata sulla definizione e descrizione dei casi d'uso di gestione energetica efficiente nell'ottica Smart Building di edifici reali del terziario. In particolare, il riferimento ha riguardato le attività di monitoraggio, diagnostica, controllo e generazione KPI (Key Performance Indicator) realizzate in forma prototipale e tuttora in fase di sviluppo sugli edifici dello "Smart Village" ENEA nell'ambito dei consumi elettrici e termici.

Proseguendo un lavoro intrapreso nella precedente annualità, la terza Attività ha approfondito lo studio di strategie di controllo predittivo per la regolazione di temperatura di edifici multi-zona sulla base del livello di occupazione e del prezzo dell'energia. L'idea principale è stata il raggiungimento di performance maggiori assicurando una regolazione di temperatura sulla base dei profili di occupazione come nella precedente annualità ma considerando in questa nuova fase anche la fascia di prezzo dell'energia. Sono state confrontate le architetture MPC distribuita e decentralizzata e i risultati sono stati valutati in termini di consumo energetico e livello di comfort.

Infine nell'ultima Attività sono stati analizzati i principali open standard di comunicazione orientati al Demand-Response. L'obiettivo è stato lo studio degli standard aperti che sono maggiormente diffusi in ambito internazionale orientati ai protocolli di comunicazione di alto livello negli scenari di Demand-Response. In particolare, sono state descritte le caratteristiche di tali protocolli e ne sono stati valutati pregi e limiti attuali.

1 Introduzione

L'attività di ricerca e sviluppo condotta nell'ambito del presente accordo di collaborazione tra ENEA e Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi Roma Tre ha portato avanti alcuni studi iniziati nelle precedenti annualità (RdS/PAR2014/024) inerenti la gestione energetica efficiente di edifici terziari. In particolare le linee di attività riprese e ulteriormente sviluppate riguardano la definizione e descrizione dei casi d'uso di gestione energetica efficiente degli edifici appartenenti allo "Smart Village" ENEA e lo studio di strategie di controllo predittivo per la regolazione di temperatura di edifici multi-zona sulla base del livello di occupazione e del prezzo dell'energia

Nel corso di questa annualità sono poi stati avviati altri studi riguardanti gli scenari di Demand Response. Con il termine Demand Response (DR) si intende il servizio tramite il quale i clienti possono gestire l'utilizzo dell'energia elettrica, decidendo di limitarne l'impiego in determinati momenti della giornata o spostandolo in altre fasce orarie. I fattori che influenzano tali scelte possono essere di varia natura, dal prezzo dell'elettricità, a condizioni ambientali e disponibilità più favorevoli in determinati periodi, piuttosto che in altri. Il DR mira a ridurre sia i costi a beneficio dei clienti, sia i consumi energetici, cercando di bilanciare l'energia richiesta con quella offerta. Una nuova linea di attività ha riguardato la valutazione della flessibilità nell'ambito DR di un micro distretto costituito da edifici appartenenti allo "Smart Village" ENEA. L'implementazione del DR richiede una infrastruttura che metta in comunicazione la sorgente di informazione nel sistema, ad esempio un contatore 'intelligente' (smart meter), con le apparecchiature connesse alla rete. Nell'ultima Sezione del presente documento viene illustrato il funzionamento di uno dei più importati software (open source) di comunicazione nel campo di sistemi DR: l'OpenADR 2.0.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

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

La presente attività ha avuto come obiettivo la valutazione della flessibilità nell'ambito Demand-Response di un micro distretto di edifici del terziario. Il micro distretto considerato comprende il cluster di edifici ad uso ufficio ed annessa centrale termica appartenenti allo "Smart Village" ENEA.

Ai fini dell'analisi di flessibilità in ambito Demand-Response, si è supposto che il micro distretto includa, a differenza della situazione reale attuale, elementi di generazione di energia da fonti rinnovabili ed elementi di storage. Oggetto di analisi è stata la domanda elettrica del micro distretto in condizioni di esercizio estive. In particolare si è fatto riferimento al profilo di carico di potenza attiva generale complessivo di tutti gli edifici (che comprende le utenze di illuminazione, fancoil e forza elettromotrice). Nel caso della centrale termica la linea fancoil corrisponde a quella del gruppo frigo.

L'attività è stata condotta presso il Centro Ricerche IREC (Catalonia Institute for Energy Research) di Barcellona, attraverso l'impiego di un emulatore di micro-distretto presente nel Centro. Tale emulatore è in grado di replicare il comportamento energetico (elettrico) del micro-distretto, considerando elementi emulati (cabine elettriche per l'emulazione dei profili di carico complessivo e di energia generata da pannelli fotovoltaici) e reali (batterie fisiche utilizzate come elementi di storage).

2.1.1 Definizione degli scenari di test

Calibrazione dell'emulatore di micro-distretto

Primo step fondamentale dell'attività è stato pertanto la calibrazione e messa a punto dei singoli elementi costituenti l'emulatore di micro-distretto affinché l'esperimento di emulazione vera e propria risultasse consistente. Nel caso della calibrazione delle cabine elettriche per l'emulazione dei profili di carico e dei profili di generazione di energia da pannelli fotovoltaici, sono stati utilizzati i dati reali di consumo del

cluster di edifici dello Smart Village ENEA e le condizioni meteo (radiazione solare e temperatura) registrate nel Centro. Di seguito sono riportati alcuni dati tecnici relativi alla parte di calibrazione dei singoli elementi dell'emulatore, di cui si è resa necessaria una "scalatura" per via del limite di 4 kW di potenza elettrica massima emulata dalle cabine:

- **Carico:** Potenza massima reale 111,6 kW; Potenza massima emulata 4 kW.
- **Pannelli solari:** Potenza di picco reale 102 kWp; Potenza massima solare reale 111,3 kW; Potenza massima solare emulata 3,93 kW. La presente configurazione corrisponde a una superficie del tetto impiegata pari al 25% della superficie totale (circa 3200 m²) del tetto del cluster di edifici.
- **Batterie:** Potenza massima reale 5 batterie * 10 kW ca per batteria = 50 kW ca; Potenza massima emulata 1,8 kW ca; Capacità reale 5 batterie * 23,33 kWh ca per batteria = 116,65 kWh ca; Capacità emulata = 4,2 kWh ca.

Sperimentazione

Il secondo step dell'attività è consistito nella sperimentazione di tre scenari:

1. **Scenario 1:** il primo Scenario ha previsto l'emulazione del comportamento energetico del micro-distretto in presenza degli elementi di generazione e di storage;
2. **Scenario 2:** il secondo Scenario ha previsto i soli elementi di storage;
3. **Scenario 3:** il terzo Scenario ha previsto i soli elementi di generazione.

Per ogni scenario l'obiettivo è stato generare per le 24 ore successive un profilo energetico ottimizzato per ogni elemento del micro distretto. I profili energetici risultanti dall'ottimizzazione minimizzano i costi giornalieri associati allo scambio di energia tra il micro-distretto e la Grid generale (e quindi il mercato dell'energia). L' algoritmo di ottimizzazione alla base di questo processo (implementato in CPLEX 12.5 con opzioni standard) cerca di ridurre l'acquisto di energia dal mercato elettrico nelle ore caratterizzate da prezzi più alti dell'energia. Tra gli input dell'algoritmo vi sono pertanto le previsioni per le 24 ore successive di:

- Carico elettrico complessivo: previsioni basate sui dati reali di consumo del cluster di edifici ENEA;
- Meteo (radiazione solare e temperatura): previsioni basate sulle condizioni meteo registrate nel Centro ENEA;
- Prezzo dell'energia: previsioni basate sui prezzi del mercato italiano dell'energia con variazioni orarie.

Tutti gli scenari utilizzano, sia per la parte di calibrazione dell'emulatore che di predizione dell'algoritmo di ottimizzazione, le reali condizioni di consumo e meteo registrate nello Smart Village ENEA nella giornata del 1 Luglio 2014 (Figure 1, 2, 3). L'andamento del prezzo dell'energia nell'arco della giornata di sperimentazione è illustrato in Figura 4.



Figura 1 - Consumo elettrico complessivo del cluster di edifici ENEA nella giornata 1 Luglio 2014

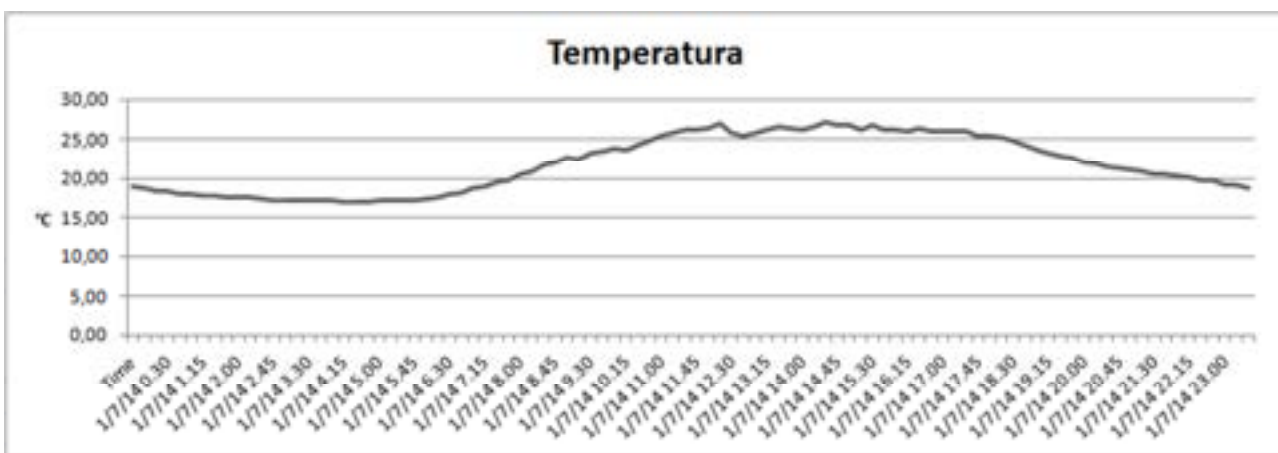


Figura 2 - Temperatura esterna misurata nel Centro ENEA nella giornata 1 Luglio 2014

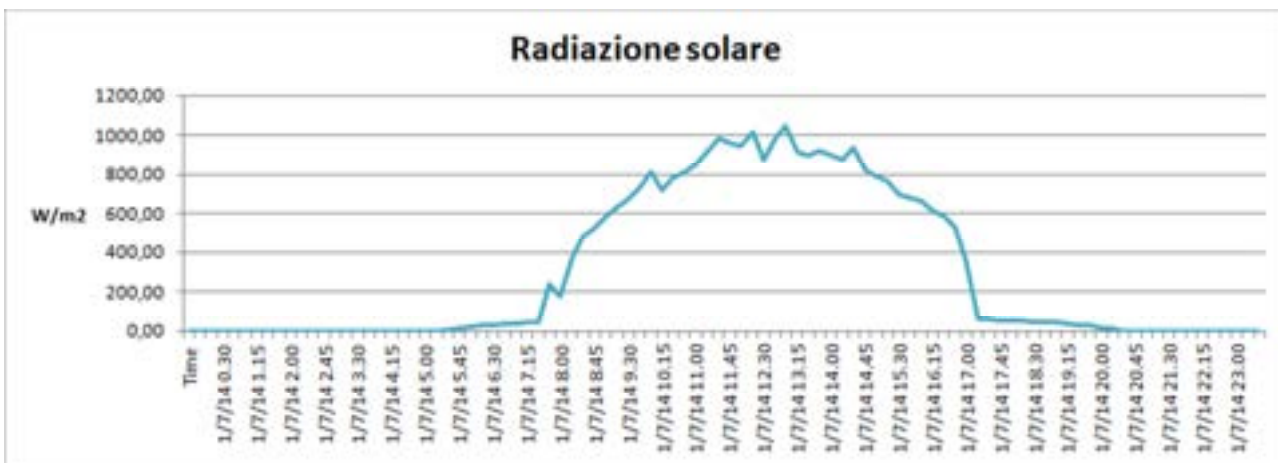


Figura 3 - Radiazione solare misurata nel Centro ENEA nella giornata 1 Luglio 2014



Figura 4 - Prezzo del Mercato Italiano dell'Energia in un giorno lavorativo tipo

2.1.2 Risultati

Le Figure 5, 6 e 7 mostrano i test effettuati rispettivamente nei casi di Scenario1, Scenario 2 e Scenario 3. In particolare vengono riportati:

- in giallo l'andamento del carico elettrico complessivo del cluster di edifici ENEA;
- in verde la potenza generata dagli elementi fotovoltaici;
- in blu la potenza di storage (positiva quando le batterie sono in fase di carica, negativa quando le batterie sono in fase di scarica);
- in bianco la potenza scambiata con la Grid (positiva quando il micro-distretto acquista dalla Grid, negativa quando il micro- distretto vende alla Grid).



Figura 5 - Risultati Test Scenario 1 (Gen., Stor.)



Figura 6 - Risultati Test Scenario 2 (No Gen., Stor.)



Figura 7 - Risultati Test Scenario 3 (Gen., No Stor.)

Al fine della valutazione dei risultati relativi ai costi e ai risparmi, sono stati comparati i tre scenari sopra citati con lo scenario di benchmark (**Scenario 0**) che esclude la presenza di elementi di generazione e di storage e che corrisponde allo stato attuale del cluster di edifici ENEA. In particolare si è valutato la richiesta giornaliera di energia (kWh) alla Grid e il costo giornaliero (€) di interazione con la Grid. Quest'ultimo è dato dalla seguente relazione:

$$\sum_{t \in T} \Delta T (C^{I_2} (p_t^{I_p} + p_t^{I_s}) + C_t^{I_1} (p_t^{I_p} - p_t^{I_s}))$$

dove:

Δt : durata degli intervalli temporali;
 C^{12} : costo di accesso alla Grid (nella sperimentazione supposto costante: 0,12 €/kWh);
 p_t^{lp} : potenza acquistata dalla Grid (kW);
 p_t^{ls} : potenza venduta alla Grid (kW);
 C_t^{11} : vettore dei prezzi finali dell'energia (orari).

La Tabella 1 mostra i risultati ottenuti nella giornata di sperimentazione secondo i diversi scenari descritti.

Tabella 1 - Confronto dei risultati degli scenari emulati di micro distretto

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

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

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

L'obiettivo di questa attività è stato quello di formalizzare tramite "use case" le applicazioni di gestione energetica efficiente negli ambiti Smart Building e Smart District. Tale attività si inserisce in un ambito più ampio di definizione di una piattaforma di distretto interoperabile, sviluppata nella tematica "Smart Cities & Communities", progetto D7 "Sviluppo di un modello integrato di Smart District Urbano", Task A "Le specifiche della smart platform del distretto" (Report RdS/PAR2015/014), che raccoglie i casi d'uso di tutti gli ambiti applicativi che questa dovrà gestire (oltre a Smart Building anche Smart Lighting e Smart Home, così come indicato nel Paragrafo 1.4 "Classificazione Casi d'Uso" dello stesso Report).

In particolare per questo ambito applicativo il riferimento ha riguardato le attività di monitoraggio, diagnostica, controllo e generazione KPI (Key Performance Indicator), realizzate in forma prototipale e tuttora in fase di sviluppo sugli edifici dello "Smart Village" ENEA. La formalizzazione tramite use case di queste attività viene presentata nei Paragrafi seguenti. La struttura e le convenzioni usate per la formalizzazione degli use case sono descritte nel Paragrafo 1.5 "Convenzioni per i Casi d'Uso" del suddetto Report RdS/PAR2015/014.

2.2.1 Casi d'Uso "Monitoraggio Building"

I Casi d'Uso presentati in questo Paragrafo sono inerenti il "Monitoraggio Building" per l'area di gestione "Area Campo", del Contesto Applicativo "Smart Building Network". Essi descrivono il flusso dati relativo al monitoraggio di grandezze degli edifici (consumi e variabili al contorno) che, opportunamente elaborate, permettono una gestione energetica quanto più efficiente degli stessi edifici nell'ottica Smart Building.

Il flusso dati dell'ambito "Monitoraggio Building" coinvolge due piattaforme:

1. Piattaforma Building (BEMS): è la Piattaforma del Building Energy Management System, ossia la Piattaforma del sistema di gestione energetica dell'edificio su cui è ospitato il DB di acquisizione dati

delle grandezze monitorate e attraverso cui è possibile effettuare attuazioni basate su regole di controllo elementari;

2. Piattaforma Facility: è la piattaforma sulla quale confluiscono i dati acquisiti dalle varie Piattaforme Building (BEMS) e da altri contesti applicativi. Questi dati vengono elaborati tramite algoritmi presenti sulla Piattaforma al fine di ottenere informazioni utili all'Energy Manager per una gestione più efficiente dell'edificio e/o di attuare in maniera automatica delle azioni di controllo "intelligenti".

I Casi d'Uso presentano i flussi dei dati relativi al Monitoraggio Building e sono suddivisi nelle seguenti cinque tipologie (Figura 8):

1. caso d'uso "Monitoraggio Elettrico": acquisizione delle grandezze elettriche dai sensori alla Piattaforma Building (BEMS) e da questa alla Piattaforma Facility;
2. caso d'uso "Monitoraggio Termico": acquisizione delle grandezze termiche dai sensori alla Piattaforma Building (BEMS) e da questa alla Piattaforma Facility;
3. caso d'uso "Monitoraggio Presenza": acquisizione delle presenze dai sensori alla Piattaforma Building (BEMS) e da questa alla Piattaforma Facility;
4. caso d'uso "Monitoraggio Ambientale Indoor": acquisizione delle grandezze ambientali interne dai sensori alla Piattaforma Building (BEMS) e da questa alla Piattaforma Facility;
5. caso d'uso "Monitoraggio Ambientale Outdoor": acquisizione delle grandezze ambientali esterne dai sensori alla Piattaforma Facility.

Questa suddivisione è stata fatta per consentire una descrizione in diverse parti, parti che nel contesto applicativo reale possono essere implementate autonomamente.

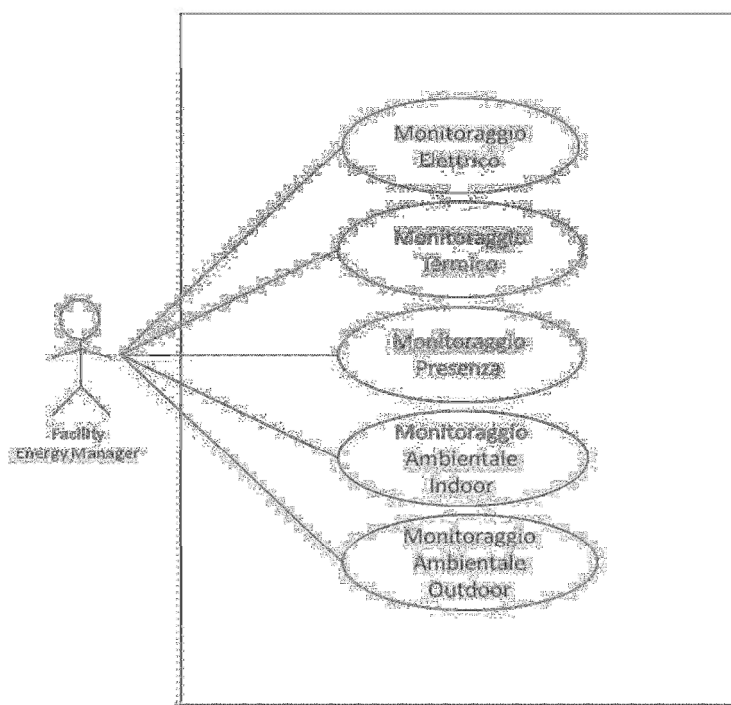


Figura 8 - Casi d'Uso "Monitoraggio Building"

Caso d'Uso "Monitoraggio Elettrico"

I consumi elettrici dei diversi usi finali (generale, luci, fancoil) sono monitorati tramite Smart Meter presenti sui quadri elettrici di piano/edificio, mentre i consumi elettrici dei dispositivi sono monitorati tramite Smart Plug. I dati monitorati vengono acquisiti dalla specifica Piattaforma BEMS (Building Energy Management System), e da quest'ultima con timestamp di aggregazione diversi passano alla Piattaforma Facility dove sono verificati ed elaborati dai vari applicativi di gestione energetica efficiente degli edifici.

Le Tabelle 2, 3 e 4 descrivono le caratteristiche del Caso d'Uso, Figura 9 ne illustra il diagramma UML (Unified Modeling Language), Tabella 5 ne riporta la sequenza delle attività.

Tabella 2 - Descrizione Caso d'Uso "Monitoraggio Elettrico"

ID	Nome Caso d'uso
D1.1.1	Monitoraggio Elettrico
Obiettivo	
Acquisizione dei dati di consumo dei dispositivi elettrici e degli usi finali di consumo elettrico degli edifici	
Descrizione	
Il caso d'uso descrive l'acquisizione dei dati di consumo elettrico degli edifici, in particolare dati di consumo relativi ai dispositivi elettrici e alle linee elettriche degli usi finali (tipicamente consumo Generale, Luci e Fancoil a livello di piano). I dati di consumo misurati dai sensori vengono trasmessi alla Piattaforma Building (BEMS), e successivamente da questa alla Piattaforma Facility.	

Tabella 3 - Attori Caso d'Uso "Monitoraggio Elettrico"

Attore	Descrizione	VINCOLI
Smart Plug	Prese elettriche per il monitoraggio e il controllo dei dispositivi di interesse	---
Smart Meter Quadro Elettrico	Multimetri installati sui Quadri Elettrici di Piano per Linea Elettrica	---
Piattaforma Building (BEMS)	Piattaforma di gestione del contesto applicativo Smart Building. BEMS è l'acronimo di Building Energy Management System, quindi indica il sistema di gestione energetica dell'edificio. Su questa Piattaforma è ospitato il DB di acquisizione dati delle grandezze monitorate e attraverso questa Piattaforma è possibile effettuare attuazioni basate su regole di controllo elementari.	---
Piattaforma Facility	Piattaforma sulla quale confluiscono i dati acquisiti dalle varie Piattaforme Building (BEMS) e da altri contesti applicativi. Questi dati vengono elaborati tramite algoritmi presenti sulla Piattaforma al fine di ottenere informazioni utili al Facility Energy Manager per una gestione più efficiente dell'edificio e/o attuare in maniera automatica delle azioni di controllo "intelligenti".	---

Tabella 4 - Informazioni Caso d'Uso "Monitoraggio Elettrico"

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area di gestione
Consumi Elettrici	Facility	Facility Energy Manager	Piattaforma Facility, Piattaforma BEMS	Smart District Manager	Smart District Platform

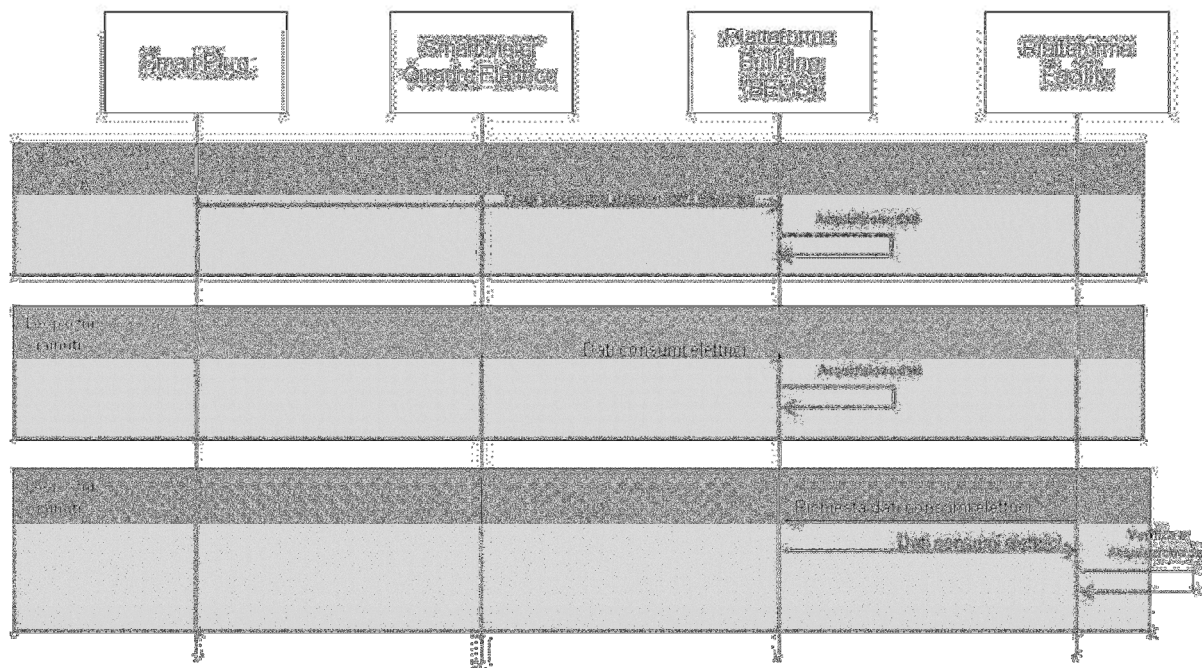


Figura 9 - Diagramma UML Caso d'Uso "Monitoraggio Elettrico"

Tabella 5 - Attività Caso d'Uso "Monitoraggio Elettrico"

N.	Quando si attiva l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore Informazione	Ricevitore informazione	Informazione scambiata	Requisiti scambio informazione (#)	VINCOLI: Formato Dati (FD); Protocollo Applicativo (PA); Mezzo Fisico (MF)
1	Ad ogni variazione	Acquisizione Dati consumi dispositivi elettrici	Le Smart Plug (1 o N) inviano i Dati relativi ai consumi dei dispositivi ad esse connessi ad ogni variazione del valore di consumo.	Smart Plug	Piattaforma Building (BEMS)	Dati consumi dispositivi elettrici	---	FD: double PA: Z-Wave, Ethernet MF: onde radio (wireless), rete locale LAN
2	Loop ogni x minuti	Acquisizione Dati consumi elettrici	Gli Smart Meter inviano i Dati medi di consumo relativi alla Linee elettriche ogni x minuti, dove x varia tra 1 e 15 minuti a seconda del caso specifico.	Smart Meter	Piattaforma Building (BEMS)	Dati consumi Quadri elettrici	---	FD: double PA: onde convogliate PLC (Power Line Communication), Ethernet MF: Rete di alimentazione elettrica, rete locale LAN
3	Loop ogni y minuti	Richiesta, Verifica e Acquisizione Dati consumi elettrici	La Piattaforma Facility richiede i Dati di consumo elettrico alla Piattaforma Building (BEMS) ogni y minuti, dove y varia tra 10 e 15 minuti a seconda della Piattaforma Building (BEMS). La Piattaforma Facility verifica la consistenza dei Dati ricevuti e li acquisisce.	Piattaforma Building (BEMS)	Piattaforma Facility	Dati consumi elettrici	---	FD: double PA: XML MF: Rete locale LAN

Caso d'Uso "Monitoraggio Termico"

Le Tabelle 6, 7 e 8 descrivono le caratteristiche del Caso d'Uso, Figura 10 ne illustra il diagramma UML, Tabella 9 ne riporta la sequenza delle attività.

Tabella 6 – Descrizione Caso d'Uso "Monitoraggio Termico"

ID	Nome Caso d'uso
D1.1.2	Monitoraggio Termico
Obiettivo	
Acquisizione di grandezze termiche e consumi termici degli edifici	
Descrizione	
Il caso d'uso descrive l'acquisizione dei Dati relativi a grandezze termiche e consumi termici degli edifici. I dati misurati dai sensori (Contacalorie) vengono trasmessi alla Piattaforma Building (BEMS), e successivamente da questa alla Piattaforma Facility.	

Tabella 7 - Attori Caso d'Uso "Monitoraggio Termico"

Attore	Descrizione	VINCOLI
Contacalorie	Sensore Contacalorie installato in Centrale Termica	---
Piattaforma Building (BEMS)	Piattaforma di gestione del contesto applicativo Smart Building. BEMS è l'acronimo di Building Energy Management System, quindi indica il sistema di gestione energetica dell'edificio. Su questa Piattaforma è ospitato il DB di acquisizione dati delle grandezze monitorate e attraverso questa Piattaforma è possibile effettuare attuazioni basate su regole di controllo elementari.	---
Piattaforma Facility	Piattaforma sulla quale confluiscono i dati acquisiti dalle varie Piattaforme Building (BEMS) e da altri contesti applicativi. Questi dati vengono elaborati tramite algoritmi presenti sulla Piattaforma al fine di ottenere informazioni utili al Facility Energy Manager per una gestione più efficiente dell'edificio e/o attuare in maniera automatica delle azioni di controllo "intelligenti".	---

Tabella 8 - Informazioni Caso d'Uso "Monitoraggio Termico"

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area di gestione
Consumi Termici	Facility	Facility Energy Manager	Piattaforma Facility, Piattaforma BEMS	Smart District Manager	Smart District Platform

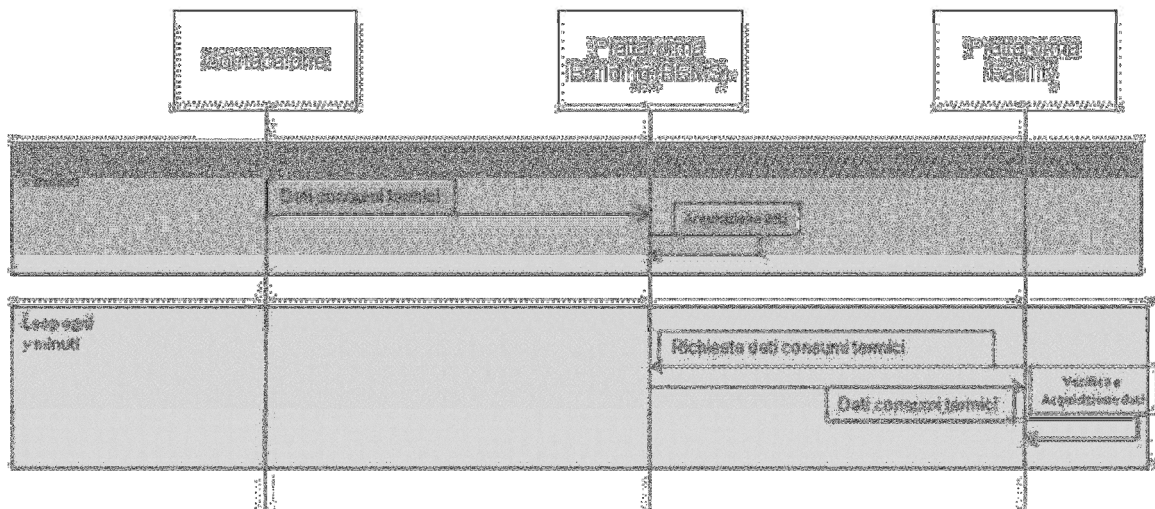


Figura 10 - Diagramma UML Caso d'Uso "Monitoraggio Termico"

Tabella 9 - Attività Caso d'Uso "Monitoraggio Termico"

N	Quando si attiva l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore Informazione	Ricevitore informazione	Informazione scambiata	Requisiti scambio informazione (#)	VINCOLI: Formato Dati (FD) Protocollo Applicativo (PA); Mezzo Fisico (MF)
1	Loop ogni x minuti	Acquisizione Dati consumi termici	I Contacalorie inviano i Dati cumulati o non cumulati di consumo termico ogni x minuti, dove x varia tra 1 e 15 minuti, a seconda dei casi specifici.	Contacalorie	Piattaforma Building (BEMS)	Dati consumi termici	---	FD: double PA: onde convogliate PLC, Ethernet MF: Rete di alimentazione elettrica, rete locale LAN
2	Loop ogni y minuti	Richiesta, Verifica e Acquisizione Dati consumi termici	La Piattaforma Facility richiede i Dati di consumo termico alla Piattaforma Building (BEMS) ogni y minuti, dove y varia tra 10 e 15 minuti a seconda della Piattaforma Building (BEMS). La Piattaforma Facility verifica la consistenza dei Dati ricevuti e li acquisisce.	Piattaforma Building (BEMS)	Piattaforma Facility	Dati consumi termici	---	FD: double PA: XML MF: Rete locale LAN

Caso d'Uso "Monitoraggio Presenza"

Le Tabelle 10, 11 e 12 descrivono le caratteristiche del Caso d'Uso, Figura 11 ne illustra il diagramma UML, Tabella 13 ne riporta la sequenza delle attività.

Tabella 10 - Descrizione Caso d'Uso "Monitoraggio Presenza"

ID	Nome Caso d'uso
D1.1.3	Monitoraggio Presenza
Obiettivo	
Acquisizione dei dati di presenza all'interno degli edifici	
Descrizione	
Il caso d'uso descrive l'acquisizione dei dati di presenza degli occupanti all'interno degli edifici. I dati provengono da diverse sorgenti informative. I dati di presenza misurati dai sensori vengono trasmessi alla Piattaforma Building (BEMS), e successivamente da questa alla Piattaforma Facility.	

Tabella 11 - Attori Caso d'Uso "Monitoraggio Presenza"

Attore	Descrizione	VINCOLI
Sensore movimento	Rilevatori di movimento e sensori di presenza in grado di rilevare la presenza di occupanti nell'ambiente	---
Lettore badge	Lettore per l'identificazione degli occupanti di un edificio tramite apposito badge	Solo gli occupanti muniti di badge sono rilevati. Un altro vincolo è quello riconducibile alla privacy degli occupanti.
Mobile detector	L'occupante all'interno dell'edificio viene rilevato tramite i dati provenienti da un'apposita App installata sullo Smartphone dell'occupante che sfrutta la localizzazione GPS	L'occupante deve essere munito di Smartphone con apposita App installata
Smart Plug	Prese elettriche per il monitoraggio e il controllo dei dispositivi di interesse. Dai dati di consumo da esse provenienti è possibile avere una stima del dato di presenza.	---
Piattaforma Building (BEMS)	Piattaforma di gestione del contesto applicativo Smart Building. BEMS è l'acronimo di Building Energy Management System, quindi indica il sistema di gestione energetica dell'edificio. Su questa Piattaforma è ospitato il DB di acquisizione dati delle grandezze monitorate e attraverso questa Piattaforma è possibile effettuare attuazioni basate su regole di controllo elementari.	---
Piattaforma Facility	Piattaforma sulla quale confluiscono i dati acquisiti dalle varie Piattaforme Building (BEMS) e da altri contesti applicativi. Questi dati vengono elaborati tramite algoritmi presenti sulla Piattaforma al fine di ottenere informazioni utili al Facility Energy Manager per una gestione più efficiente dell'edificio e/o attuare in maniera automatica delle azioni di controllo "intelligenti".	---

Tabella 12 - Informazioni Caso d'Uso "Monitoraggio Presenza"

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area di gestione
Valori di presenza	Facility	Facility Energy Manager	Piattaforma Facility, Piattaforma BEMS	Smart District Manager	Smart District Platform

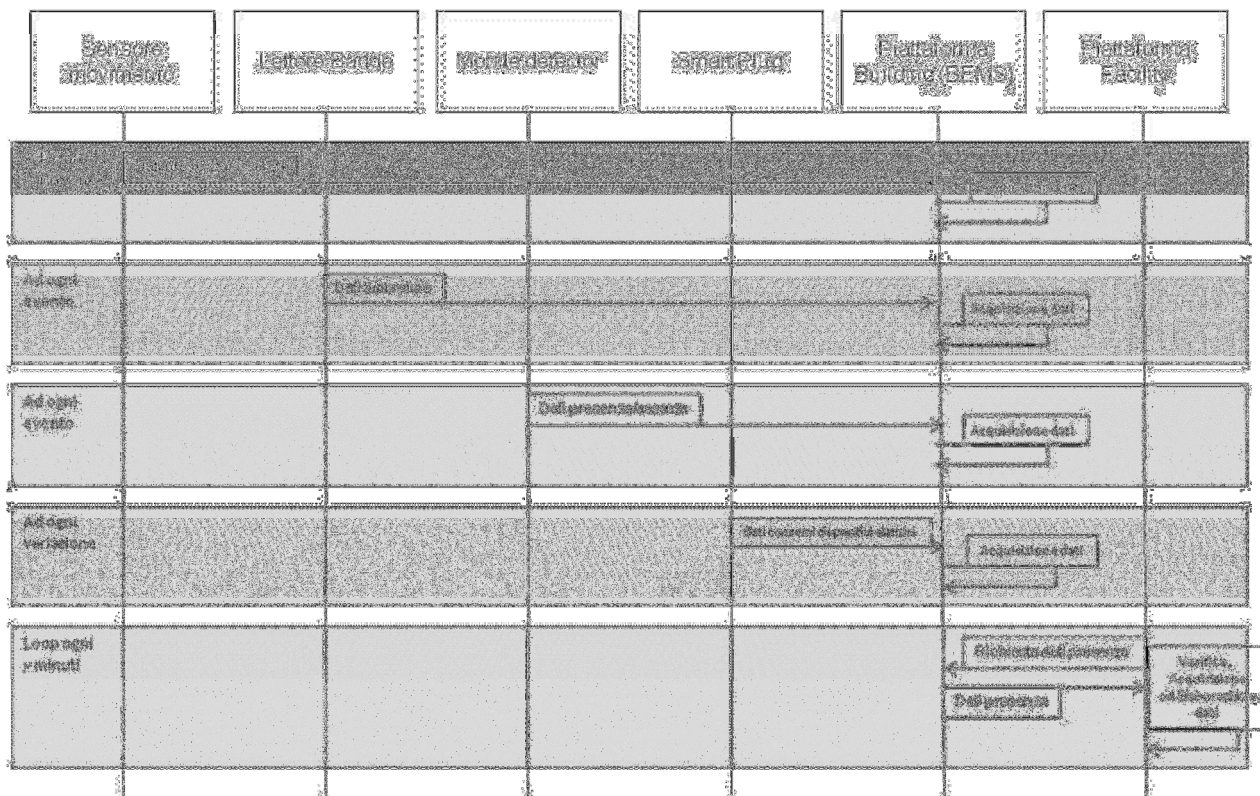


Figura 11- Diagramma UML Caso d'Uso "Monitoraggio Presenza"

Tabella 13 - Attività Caso d'Uso "Monitoraggio Presenza"

N°	Quando si attiva l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore Informazione	Ricevitore informazione	Informazione scambiata	Requisiti scambio informazione (#)	VINCOLI: Formato Dati (FD) Protocollo Applicativo (PA); Mezzo Fisico (MF)
1	Ad ogni variazione	Acquisizione Dati presenza/assenza	I rilevatori di movimento e i sensori di presenza inviano il dato di presenza/assenza di occupanti nell'ambiente ad ogni variazione	Sensore movimento	Piattaforma Building (BEMS)	Dati presenza/assenza	---	FD: binario PA: onde convogliate PLC, Ethernet MF: Rete di alimentazione elettrica, rete locale LAN
2	Ad ogni evento	Acquisizione Dati timbratura	Il Lettore badge invia l'orario e la matricola dell'occupante ad ogni timbratura	Lettore badge	Piattaforma Building (BEMS)	Dati timbratura	---	FD: timestamp, intero PA: onde convogliate PLC, Ethernet MF: Rete di alimentazione elettrica, rete locale LAN
3	Ad ogni evento	Acquisizione Dati presenza/assenza	Il Mobile detector invia il dato di presenza/assenza dell'occupante quando entra/esce nell'/dall'area di interesse	Mobile detector	Piattaforma Building (BEMS)	Dati presenza/assenza	---	FD: binario PA: onde radio, Ethernet MF: Wireless, rete locale LAN

4	Ad ogni variazione	Acquisizione Dati consumi dispositivi elettrici	Le Smart Plug (1 o N) inviano i Dati relativi ai consumi dei dispositivi ad esse connessi ad ogni variazione del valore di consumo	Smart Plug	Piattaforma Building (BEMS)	Dati consumi dispositivi elettrici	---	FD: double PA: Z-Wave, Ethernet MF: onde radio (wireless), rete locale LAN
5	Loop ogni y minuti	Richiesta, Verifica, Acquisizione ed Elaborazione Dati presenza	La Piattaforma Facility richiede i Dati di presenza alla Piattaforma Building (BEMS) ogni y minuti, dove y varia tra 10 e 15 minuti a seconda della Piattaforma Building (BEMS). La Piattaforma Facility verifica la consistenza dei Dati ricevuti e li acquisisce. Una volta acquisiti, i diversi dati vengono opportunamente elaborati sulla Piattaforma Facility al fine di estrarre le informazioni di presenza di interesse.	Piattaforma Building (BEMS)	Piattaforma Facility	Dati presenza	---	FD: binario, double, intero, timestamp PA: XML MF: Rete locale LAN

Caso d'Uso "Monitoraggio Ambientale Indoor"

Le Tabelle 14, 15 e 16 descrivono le caratteristiche del Caso d'Uso, Figura 12 ne illustra il diagramma UML, Tabella 17 ne riporta la sequenza delle attività.

Tabella 14 - Descrizione Caso d'Uso "Monitoraggio Ambientale Indoor"

ID	Nome Caso d'uso
D1.1.4	Monitoraggio Ambientale Indoor
Obiettivo	
Acquisizione di grandezze ambientali interne degli edifici	
Descrizione	
Il caso d'uso descrive l'acquisizione dei Dati relativi a grandezze ambientali interne degli edifici. I dati misurati dai sensori (temperatura, umidità, qualità dell'aria, luminosità) vengono trasmessi alla Piattaforma Building (BEMS), e successivamente da questa alla Piattaforma Facility.	

Tabella 15 - Attori Caso d'Uso "Monitoraggio Ambientale Indoor"

Attore	Descrizione	VINCOLI
Sensore temperatura/umidità	Sensori che misurano la temperatura e l'umidità ambientali interne. Sono installati a livello di stanza o piano.	---
Sensore qualità dell'aria	Sensori che misurano la qualità dell'aria dell'ambiente interno attraverso il valore di concentrazione di CO ₂ . Sono installati solitamente a livello di stanza.	---
Sensore luminosità	Sensori che misurano la luminosità nell'ambiente interno. Sono installati solitamente a livello di stanza.	---
Piattaforma Building (BEMS)	Piattaforma di gestione del contesto applicativo Smart Building. BEMS è l'acronimo di Building Energy Management System, quindi indica il sistema di gestione energetica dell'edificio. Su questa Piattaforma è ospitato il DB di acquisizione dati delle grandezze monitorate e attraverso questa Piattaforma è possibile effettuare attuazioni basate su regole di controllo elementari.	---

<p>Piattaforma Facility</p>	<p>Piattaforma sulla quale confluiscono i dati acquisiti dalle varie Piattaforme Building (BEMS) e da altri contesti applicativi. Questi dati vengono elaborati tramite algoritmi presenti sulla Piattaforma al fine di ottenere informazioni utili al Facility Energy Manager per una gestione più efficiente dell'edificio e/o attuare in maniera automatica delle azioni di controllo "intelligenti".</p>	---
-----------------------------	--	-----

Tabella 16 - Informazioni Caso d'Uso "Monitoraggio Ambientale Indoor"

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area di gestione
Dati ambientali interni	Facility	Facility Energy Manager	Piattaforma Facility, Piattaforma BEMS	Smart District Manager	Smart District Platform

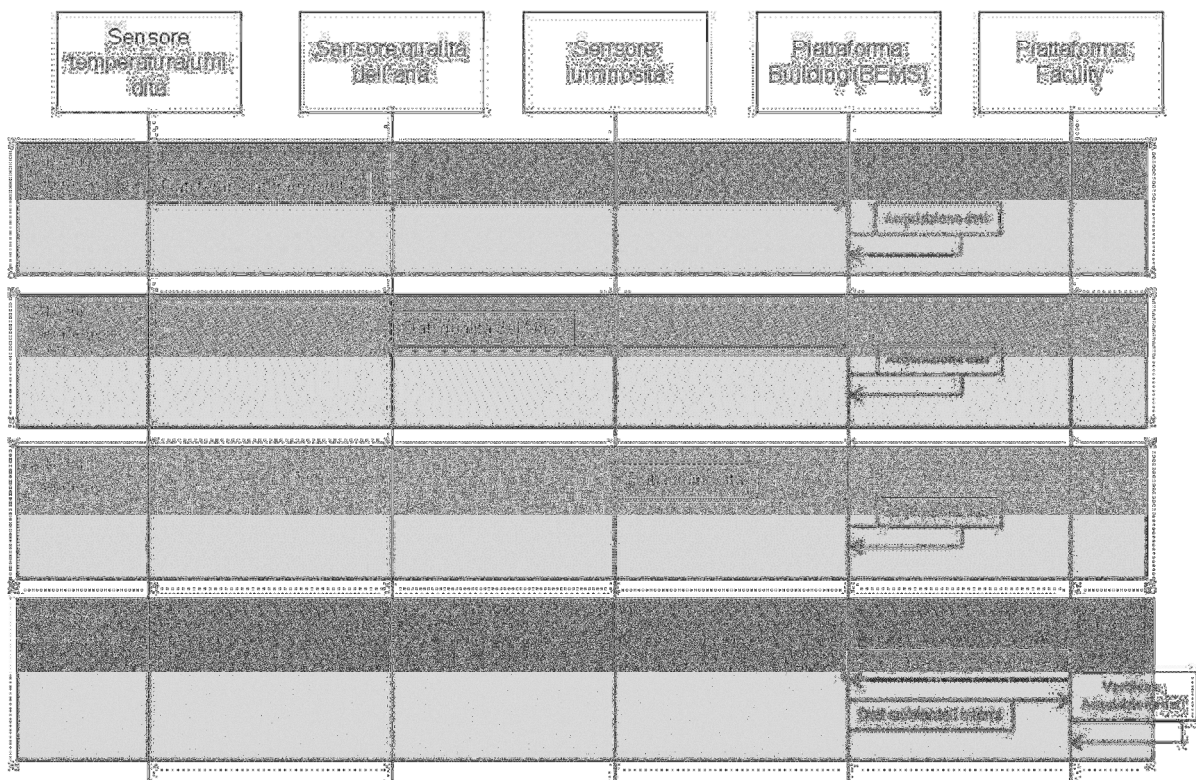


Figura 12 - Diagramma UML Caso d'Uso "Monitoraggio Ambientale Indoor"

Tabella 17 - Attività Caso d'Uso "Monitoraggio Ambientale Indoor"

N°	Quando si attiva l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore Informazione	Ricevitore informazione	Informazione scambiata	Requisiti scambio informazione (#)	VINCOLI: Formato Dati (FD) Protocollo Applicativo (PA); Mezzo Fisico (MF)
1	Ad ogni variazion e	Acquisizio ne dati temperat	I sensori di temperatura e umidità inviano i Dati di temperatura e/o umidità	Sensore temperatu ra/umidità	Piattafor ma Building	Dati di temperatu ra e/o	---	FD: double PA: onde convogliate PLC,

		ura/umidità	ad ogni variazione rilevata in ambiente		(BEMS)	umidità		Ethernet MF: Rete di alimentazione elettrica, rete locale LAN
2	Ad ogni variazione	Acquisizione dati qualità dell'aria	I sensori di qualità dell'aria inviano i Dati di concentrazione di CO ₂ ad ogni variazione rilevata in ambiente	Sensore qualità dell'aria	Piattaforma Building (BEMS)	Dati di concentrazione di CO ₂	---	FD: double PA: onde convogliate PLC, Ethernet MF: Rete di alimentazione elettrica, rete locale LAN
3	Ad ogni variazione	Acquisizione dati luminosità	I sensori di luminosità inviano i Dati di luminosità ad ogni variazione rilevata in ambiente	Sensore luminosità	Piattaforma Building (BEMS)	Dati luminosità	---	FD: double PA: onde convogliate PLC, Ethernet MF: Rete di alimentazione elettrica, rete locale LAN
4	Loop ogni 10 minuti ca.	Richiesta, Verifica e Acquisizione Dati ambientali interni	La Piattaforma Facility richiede i Dati ambientali interni alla Piattaforma Building (BEMS) ogni 10 minuti. La Piattaforma Facility verifica la consistenza dei Dati ricevuti e li acquisisce.	Piattaforma Building (BEMS)	Piattaforma Facility	Dati ambientali interni	---	FD: double PA: XML MF: Rete locale LAN

Caso d'Uso "Monitoraggio Ambientale Outdoor"

Le Tabelle 18, 19 e 20 descrivono le caratteristiche del Caso d'Uso, Figura 13 ne illustra il diagramma UML, Tabella 21 ne riporta la sequenza delle attività.

Tabella 18 - Descrizione Caso d'Uso "Monitoraggio Ambientale Outdoor"

ID	Nome Caso d'uso
D1.1.5	Monitoraggio Ambientale Outdoor
Obiettivo	
Acquisizione di grandezze ambientali esterne (condizioni meteo)	
Descrizione	
Il caso d'uso descrive l'acquisizione dei Dati relativi a grandezze ambientali esterne (condizioni meteo). I dati misurati dai sensori (temperatura, umidità, velocità e direzione del vento, livello di pioggia, pressione, radiazione solare) vengono trasmessi direttamente alla Piattaforma Facility.	

Tabella 19 - Attori Caso d'Uso "Monitoraggio Ambientale Outdoor"

Attore	Descrizione	VINCOLI
Centralina Meteo	Centralina meteorologica che misura le seguenti grandezze atmosferiche: temperatura, umidità, velocità e direzione del vento, livello di pioggia, pressione, radiazione solare.	---
Piattaforma Facility	Piattaforma sulla quale confluiscono i dati acquisiti dalle varie Piattaforme Building (BEMS) e, come in questo caso, da altri contesti applicativi. Questi dati vengono elaborati tramite algoritmi presenti sulla Piattaforma al fine di ottenere informazioni utili al Facility Energy Manager per una gestione più efficiente dell'edificio e/o attuare in maniera automatica delle azioni di controllo "intelligenti".	---

Tabella 20 - Informazioni Caso d'Uso "Monitoraggio Ambientale Outdoor"

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area di gestione
Dati ambientali esterni	Facility	Facility Energy Manager	Piattaforma Facility	Smart District Manager	Smart District Platform

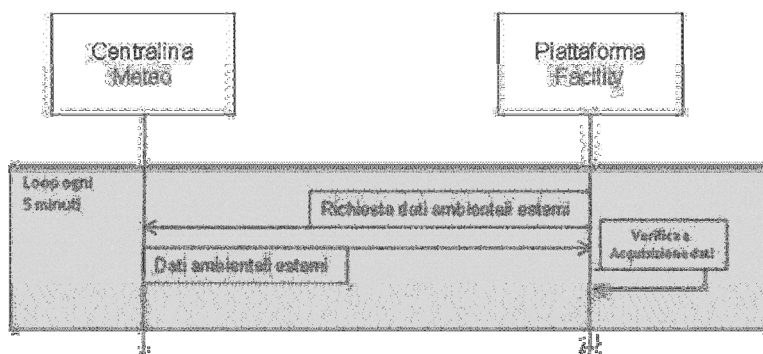


Figura 13 - Diagramma UML Caso d'Uso "Monitoraggio Ambientale Outdoor"

Tabella 21 - Attività Caso d'Uso "Monitoraggio Ambientale Outdoor"

N	Quando si attiva l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore Informazione	Ricevitore informazione	Informazione scambiata	Requisiti scambi o informazione (#)	VINCOLI: Formato Dati (FD) Protocollo Applicativo (PA); Mezzo Fisico (MF)
1	Loop ogni 5 minuti	Richiesta, Verifica e Acquisizione Dati ambientali esterni	La Piattaforma Facility richiede i Dati ambientali esterni al DB di appoggio della Centralina Meteo ogni 5 minuti. La Piattaforma Facility verifica la consistenza dei Dati ricevuti e li acquisisce.	Centralina Meteo	Piattaforma Facility	Dati ambientali esterni	---	FD: double PA: Onde convogliate PLC, XML MF: Rete di alimentazione elettrica, Rete locale LAN

2.2.2 Casi d'Uso "Diagnostica e KPI Building"

Nel caso della diagnostica, sono stati formalizzati gli use-case relativi all'identificazione di anomalie non individuate direttamente da evidenze ma dall'opportuna elaborazione di una o più grandezze misurate, la cosiddetta diagnostica "high level" già descritta nelle precedenti annualità (RdS/PAR2014/023, RdS/2013/119, RdS/PAR2013/060 e RdS/PAR2013/061). Esempi di use-case di diagnostica "high level" formalizzati sono stati quelli di analisi del comportamento dell'occupante in relazione all'utilizzo delle utenze elettriche di luci e fancoil e quelli relativi ad anomalie del consumo termico.

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

I Casi d'Uso presentati in questo Paragrafo sono inerenti la "Diagnostica e KPI Building" per l'area di gestione "Area Piattaforma Locale" del Contesto Applicativo "Smart Building Network". Essi descrivono il

flusso dati relativo alla diagnosi di possibili cause di anomalie nei consumi elettrici e termici di edificio e all'elaborazione di KPI utili alla valutazione del comportamento energetico di edificio da parte degli Energy Manager di livello Facility e Smart District. In entrambi i casi il fine ultimo è quello di offrire strumenti atti a migliorare la gestione energetica degli edifici nell'ottica Smart Building.

Il flusso dati dell'ambito "Diagnostica e KPI Building" coinvolge tre Piattaforme:

1. Piattaforma Facility: è la piattaforma su cui risiede il DB di tutte le grandezze monitorate (consumi degli edifici e variabili al contorno). Questi dati vengono elaborati tramite algoritmi presenti sulla Piattaforma al fine di ottenere informazioni utili all'Energy Manager e/o di attuare in maniera automatica delle azioni di controllo "intelligenti".
2. Piattaforma Energy Manager: questa Piattaforma contiene tutte le informazioni utili a valutare il comportamento energetico degli edifici di interesse in un orizzonte temporale breve/medio.
3. Piattaforma Smart District: questa Piattaforma contiene tutte le informazioni utili a valutare il comportamento energetico degli edifici a livello di Distretto in un orizzonte temporale medio/lungo.

I Casi d'Uso presentano i flussi dei dati relativi alla Diagnostica e ai KPI Building e sono suddivisi nelle seguenti due tipologie (Figura 14):

1. caso d'uso "Diagnostica elettrica e termica": elaborazione dei dati diagnostici all'interno della Piattaforma Facility; acquisizione dei dati diagnostici dalla Piattaforma Facility alla Piattaforma Energy Manager e alla Piattaforma Smart District;
2. caso d'uso "KPI elettrici e termici": elaborazione dei KPI all'interno della Piattaforma Facility; acquisizione dei KPI dalla Piattaforma Facility alla Piattaforma Energy Manager e alla Piattaforma Smart District.

Questa suddivisione è stata fatta per consentire una descrizione in diverse parti, parti che nel contesto applicativo reale possono essere implementate autonomamente.

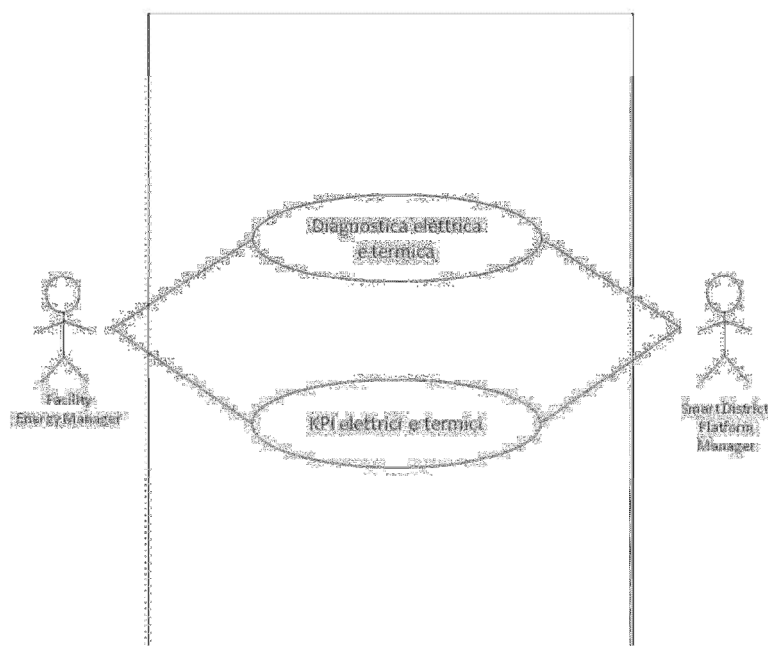


Figura 14 - Casi d'Uso "Diagnostica e KPI Building"

Caso d'Uso "Diagnostica Elettrica e Termica"

Le Tabelle 22, 23 e 24 descrivono le caratteristiche del Caso d'Uso, Figura 15 ne illustra il diagramma UML, Tabella 25 ne riporta la sequenza delle attività.

Tabella 22 - Descrizione Caso d'Uso "Diagnostica Elettrica e Termica"

ID	Nome Caso d'uso
D1.2.1	Diagnostica Elettrica e Termica
Obiettivo	
Elaborazione ed acquisizione dei dati diagnostici dei consumi elettrici e termici degli edifici	
Descrizione	
Il caso d'uso descrive l'elaborazione delle grandezze monitorate (consumi e variabili al contorno) presenti nel DB della Piattaforma Facility al fine di individuare possibili cause di anomalie nei consumi elettrici e termici di edificio. In particolare, nel caso dei consumi elettrici vengono diagnosticate le situazioni in cui gli occupanti escono dall'edificio lasciando le utenze di luce e fancoil accese. Nel caso di anomalie nei consumi termici vengono invece individuate le seguenti situazioni: malfunzionamento timer della centrale termica; scorretta distribuzione del calore; scorretto funzionamento della valvola miscelatrice; staratura dei termostati di stanza o malfunzionamento al sistema di raffrescamento. Una volta elaborate, le informazioni di diagnostica vengono trasmesse con granularità temporali differenti alla Piattaforma Energy Manager e alla Piattaforma Smart District.	

Tabella 23 - Attori Caso d'Uso "Diagnostica Elettrica e Termica"

Attore	Descrizione	VINCOLI
Piattaforma Facility	Piattaforma su cui risiede il DB di tutte le grandezze monitorate (consumi degli edifici e variabili al contorno). Questi dati vengono elaborati tramite algoritmi presenti sulla Piattaforma al fine di ottenere informazioni utili all'Energy Manager e/o di attuare in maniera automatica delle azioni di controllo "intelligenti".	---
Energy Manager Platform	Piattaforma contenente tutte le informazioni utili a valutare il comportamento energetico degli edifici in un orizzonte temporale breve/medio	---
Smart District ICT Platform	Piattaforma contenente tutte le informazioni utili a valutare il comportamento energetico degli edifici a livello di Distretto in un orizzonte temporale medio/lungo	---

Tabella 24 - Informazioni Caso d'Uso "Diagnostica Elettrica e Termica"

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area di gestione
Anomalie elettriche e termiche	Smart District	Facility Energy Manager, Smart District Platform Manager	Energy Manager Platform, Smart District ICT Platform	Municipalità	---

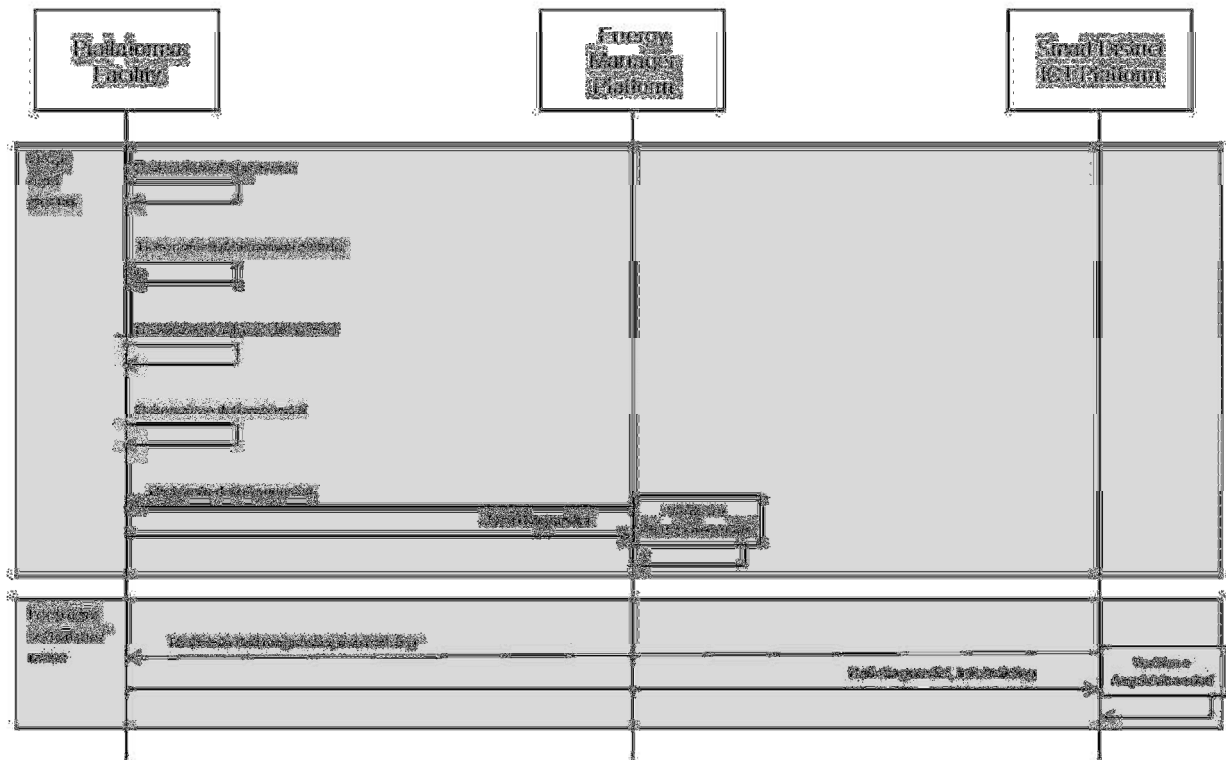


Figura 15 - Diagramma UML Caso d'Uso "Diagnostica Elettrica e Termica"

Tabella 25 - Attività Caso d'Uso "Diagnostica Elettrica e Termica"

N°	Quando si attiva l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore Informazione	Ricevitore informazione	Informazione scambiata	Requisiti scambio informazione (#)	VINCOLI: Formato Dati (FD) Protocollo Applicativo (PA); Mezzo Fisico (MF)
1	Loop ogni giorno	Elaborazione dati presenza/consumi elettrici/consumi termici/ambientali	Algoritmi appositi presenti sulla Piattaforma Facility elaborano i dati relativi ai consumi di edificio e alle variabili al contorno al fine di individuare le informazioni diagnostiche di interesse	Piattaforma Facility	Piattaforma Facility	Dati presenza/consumi elettrici/consumi termici/ambientali	---	FD: timestamp, double, intero PA: Ethernet MF: Rete locale LAN
2	Loop ogni giorno	Verifica e acquisizione Dati diagnostici	La Piattaforma Facility invia i Dati diagnostici relativi al giorno precedente alla Energy Manager Platform	Piattaforma Facility	Energy Manager Platform	Dati diagnostici elettrici e termici	---	FD: timestamp, double, intero PA: XML MF: Rete locale LAN
3	Loop ogni Settimana/mese	Verifica e acquisizione Dati diagnostici, info building	La Piattaforma Facility invia i Dati diagnostici relativi all'ultima settimana e all'ultimo mese alla Smart District ICT Platform	Piattaforma Facility	Smart District ICT Platform	Dati diagnostici elettrici e termici	---	FD: timestamp, double, intero PA: XML MF: Rete Internet

Caso d'Uso "KPI Elettrici e Termici"

Le Tabelle 26, 27 e 28 descrivono le caratteristiche del Caso d'Uso, Figura 16 ne illustra il diagramma UML, Tabella 29 ne riporta la sequenza delle attività.

Tabella 26 - Descrizione Caso d'Uso "KPI Elettrici e Termici"

ID	Nome Caso d'uso
D1.2.2	KPI Elettrici e Termici
Obiettivo	
Elaborazione ed acquisizione dei KPI di consumo elettrico e termico degli edifici	
Descrizione	
<p>Il caso d'uso descrive l'elaborazione delle grandezze monitorate (consumi e variabili al contorno) presenti nel DB della Piattaforma Facility al fine di valutare degli indicatori di performance (KPI) del comportamento energetico degli edifici. In particolare, gli Indicatori di energia elettrica considerati sono il consumo specifico, il consumo per numero effettivo di persone ed il consumo per numero teorico di persone; per gli indicatori di energia termica abbiamo il consumo specifico e il consumo specifico normalizzato rispetto ai gradi giorno. Una volta elaborati, i KPI vengono trasmessi con granularità temporali differenti alla Piattaforma Energy Manager e alla Piattaforma Smart District.</p>	

Tabella 27 - Attori Caso d'Uso "KPI Elettrici e Termici"

Attore	Descrizione	VINCOLI
Piattaforma Facility	Piattaforma su cui risiede il DB di tutte le grandezze monitorate (consumi degli edifici e variabili al contorno). Questi dati vengono elaborati tramite algoritmi presenti sulla Piattaforma al fine di ottenere informazioni utili all'Energy Manager e/o di attuare in maniera automatica delle azioni di controllo "intelligenti".	---
Energy Manager Platform	Piattaforma contenente tutte le informazioni utili a valutare il comportamento energetico degli edifici in un orizzonte temporale breve/medio	---
Smart District ICT Platform	Piattaforma contenente tutte le informazioni utili a valutare il comportamento energetico degli edifici a livello di Distretto in un orizzonte temporale medio/lungo	---

Tabella 28 - Informazioni Caso d'Uso "KPI Elettrici e Termici"

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area di gestione
KPI elettrici e termici	Smart District	Facility Energy Manager, Smart District Platform Manager	Energy Manager Platform, Smart District ICT Platform	Municipalità	---

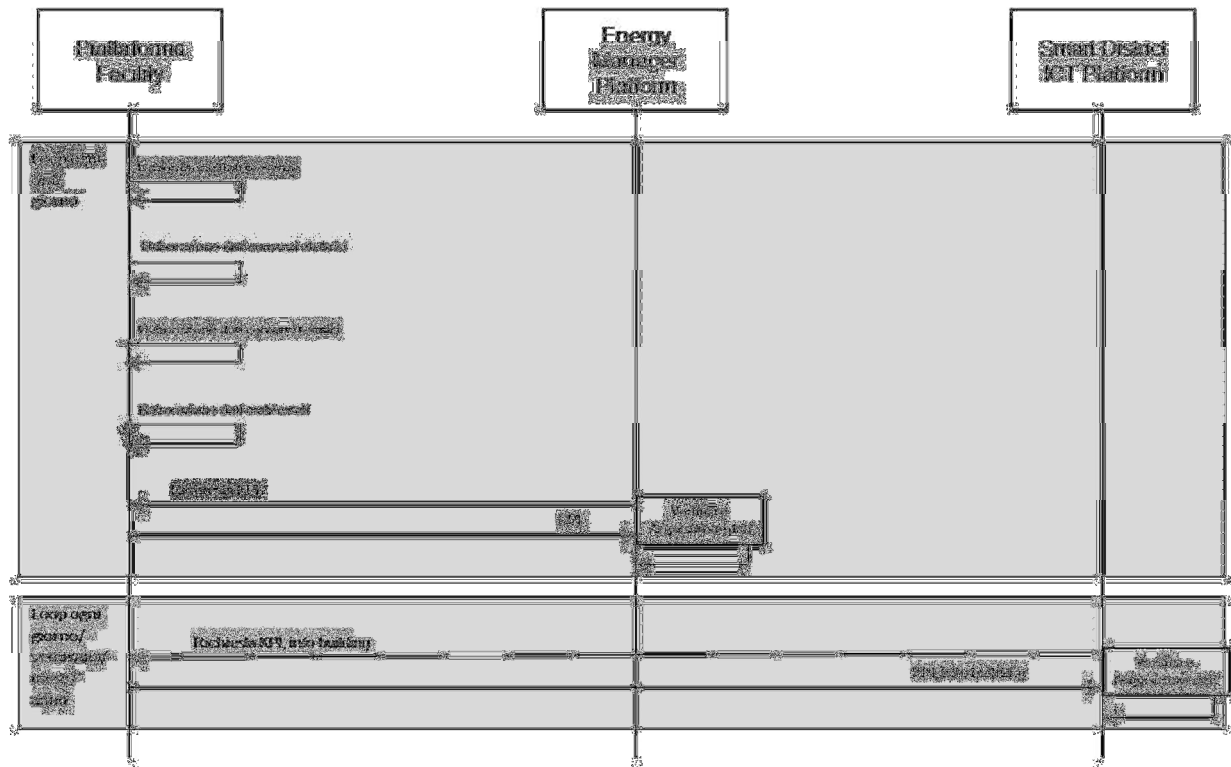


Figura 16 - Diagramma UML Caso d'Uso "KPI Elettrici e Termici"

Tabella 29 - Attività Caso d'Uso "KPI Elettrici e Termici"

N	Quando si attiva l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore Informazione	Ricevitore informazione	Informazione scambiata	Requisiti scambio informazione (#)	VINCOLI: Formato Dati (FD) Protocollo Applicativo (PA); Mezzo Fisico (MF)
1	Loop ogni ora/giorno	Elaborazione dati presenza/consumi elettrici/consumi termici/ambientali	Algoritmi appositi presenti sulla Piattaforma Facility elaborano i dati relativi ai consumi di edificio e alle variabili al contorno al fine di individuare i KPI di interesse	Piattaforma Facility	Piattaforma Facility	Dati presenza/consumi elettrici/consumi termici/ambientali	---	FD: timestamp, double, intero PA: Ethernet MF: Rete locale LAN
2	Loop ogni ora/giorno	Verifica e acquisizione KPI	La Piattaforma Facility invia i KPI relativi all'ora/giorno precedente alla Energy Manager Platform	Piattaforma Facility	Energy Manager Platform	KPI elettrici e termici	---	FD: timestamp, double, intero PA: XML MF: Rete locale LAN
3	Loop ogni giorno/settimana/mese/anno	Verifica e acquisizione KPI, info building	La Piattaforma Facility invia i KPI relativi all'ultimo giorno/settimana/mese/anno alla Smart District ICT Platform	Piattaforma Facility	Smart District ICT Platform	KPI elettrici e termici	---	FD: timestamp, double, intero PA: XML MF: Rete Internet

2.2.3 Casi d'Uso "Controllo Building"

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

I Casi d'Uso presentati in questo Paragrafo sono inerenti il "Controllo Building" per l'area di gestione "Area Campo", del Contesto Applicativo "Smart Building Network". L'obiettivo della sperimentazione è individuare le condizioni migliori in base alle quali è effettuabile un controllo efficiente dal punto di vista energetico e di comfort.

I Casi d'Uso presentano i flussi dei dati relativi al Controllo Building e sono suddivisi nelle seguenti due tipologie (Figura 17):

1. caso d'uso "Controllo elettrico" : Comandi binari di controllo, ON/OFF;
2. caso d'uso "Controllo Termico" : Comandi interi di impostazione setpoint.

Questa suddivisione è stata fatta per consentire una descrizione in diverse parti che nel contesto applicativo reale possono essere implementate autonomamente.

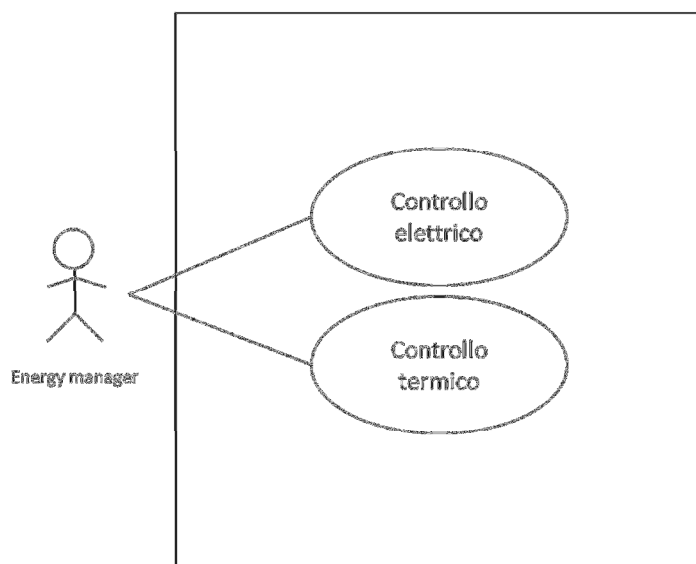


Figura 17 - Casi d'Uso "Controllo Building"

Caso d'Uso "Controllo Elettrico"

Le Tabelle 30, 31 e 32 descrivono le caratteristiche del Caso d'Uso, Figura 18 ne illustra il diagramma UML, Tabella 33 ne riporta la sequenza delle attività.

Tabella 30 - Descrizione Caso d'Uso "Controllo Elettrico"

ID	Nome Caso d'uso
D1.3.1	Controllo Elettrico
Obiettivo	
Controllo dei dispositivi elettrici al fine di ottimizzare i consumi energetici	
Descrizione	
Viene controllata da remoto l'accensione delle luci e dei dispositivi di climatizzazione, solo quando necessari. L'obiettivo è quello di minimizzare il disagio e massimizzare l'efficienza energetica.	

Tabella 31 - Attori Caso d'Uso "Controllo Elettrico"

Attore	Descrizione	VINCOLI
Piattaforma Facility	È il sistema di controllo, effettua delle scelte in funzione di variabili in input e richiede le attuazioni al sistema BEMS	Disponibilità dei dati sulla base di cui si effettuano scelte
Piattaforma Building / BEMS	Building Energy Management System (B.E.M.S.): Piattaforma di gestione del contesto applicativo Smart Building, è il server che invia i comandi agli attuatori e contiene il Database.	Disponibilità rete TCP/IP
Smart Meter / Quadro Elettrico	Controller relativi alle linee di luci e fancoil.	Disponibilità rete TCP/IP

Tabella 32 - Informazioni Caso d'Uso "Controllo Elettrico"

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area di gestione
Dati presenze	Facility	Facility Energy Manager	Piattaforma Facility	municipalità	smart district platform
Attuazione Facility-BEMS	Facility	Facility Energy Manager	BEMS	municipalità	smart district platform
Attuazione BEMS-Quadro	Facility	Facility Energy Manager	Quadro elettrico	municipalità	smart district platform

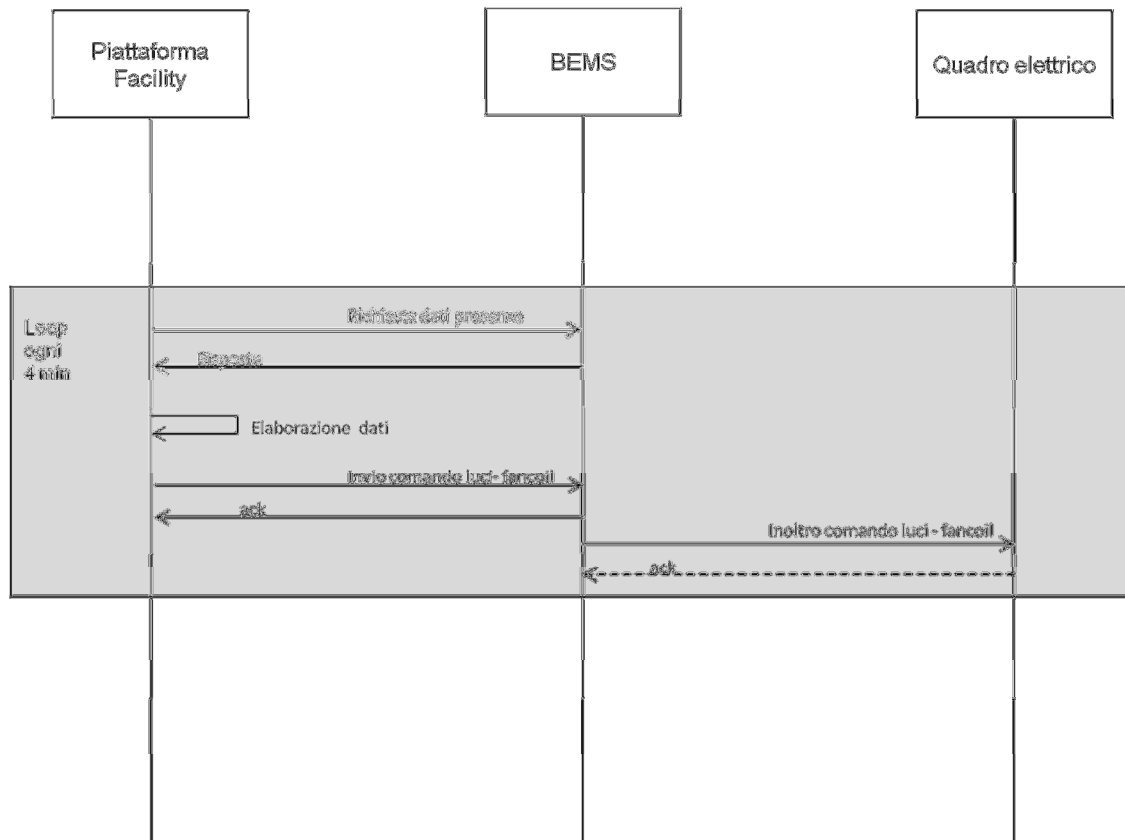


Figura 18 - Diagramma UML Caso d'Uso "Controllo Elettrico"

Tabella 33 - Attività Caso d'Uso "Controllo Elettrico"

N.	Quando si attiva l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore informazione	Ricevitore informazione	Informazione scambiata	Requisiti scambio informazione (#)	VINCOLI: Formato Dati (FD) Protocollo Applicativo (PA); Mezzo Fisico (MF)
1	Loop ogni 4 minuti	Richiesta dati presenze	La piattaforma Facility richiede e acquisisce i dati relativi alle presenze da BEMS	BEMS	Facility	Numero presenze per unità temporale (15 min)	---	(FD) Record Mysql
2	Loop ogni 4 minuti	Elaborazione e dati	La piattaforma facility valuta le condizioni.	Facility	Facility		---	
3	Loop ogni 4 minuti	Invio comando valvola	In base al risultato dell'attività 2 la piattaforma Facility può richiedere al BEMS l'accensione/spegnimento di luci e fancoil.	Facility	BEMS	Comando attuazione		(FD) Binario (PA) Web Service REST
4	Loop ogni 4 minuti	Attuazione elettrica	La piattaforma BEMS inoltra i comandi ricevuti dalla piattaforma Facility verso il Quadro elettrico, per attuazione	BEMS	Campo / Quadro elettrico	Comandi	---	(FD) Binario

Caso d'Uso "Controllo Termico"

Le Tabelle 34, 35 e 36 descrivono le caratteristiche del Caso d'Uso, Figura 19 ne illustra il diagramma UML, Tabella 37 ne riporta la sequenza delle attività.

Tabella 34 - Descrizione Caso d'Uso "Controllo Termico"

ID	Nome Caso d'uso
D1.3.2	Controllo Termico
Obiettivo	
Controllo dei dispositivi termici e idraulici al fine di massimizzare e ottimizzare i consumi energetici	
Descrizione	
Si effettua il controllo dell'apertura/chiusura delle valvole di intercettazione per il riscaldamento/raffrescamento dei singoli edifici.	
Si imposta il valore di setpoint per la valvola miscelatrice presente in centrale termica, necessario per effettuare il controllo sulla temperatura del fluido nel circuito termico generale.	
L'obiettivo è quello di minimizzare il disagio e massimizzare l'efficienza energetica.	

Tabella 35 - Attori Caso d'Uso "Controllo Termico"

Attore	Descrizione	VINCOLI
Piattaforma Facility	È il sistema di controllo, effettua delle scelte in funzione di variabili in input e richiede le attuazioni al sistema BEMS	---
Piattaforma Building / BEMS	Building Energy Management System (B.E.M.S.): Piattaforma di gestione del contesto applicativo Smart Building, è il server che invia i comandi agli attuatori e contiene il Database.	---
Controller termico	Controller relativi alle linee delle valvole di mandata/ritorno e della valvola miscelatrice.	---

Tabella 36 - Informazioni Caso d'Uso "Controllo Termico"

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area di gestione
Dati presenze	...	Facility Energy Manager	Piattaforma Facility	municipalità	smart district platform
Attuazione web service	...	Facility Energy Manager	BEMS	municipalità	smart district platform
Attuazione BEMS - Valvole	...	Facility Energy Manager	termico	municipalità	smart district platform
Attuazione web service	...	Facility Energy Manager	BEMS	municipalità	smart district platform
Attuazione BEMS – Valvola regolatrice	...	Facility Energy Manager	termico	municipalità	smart district platform

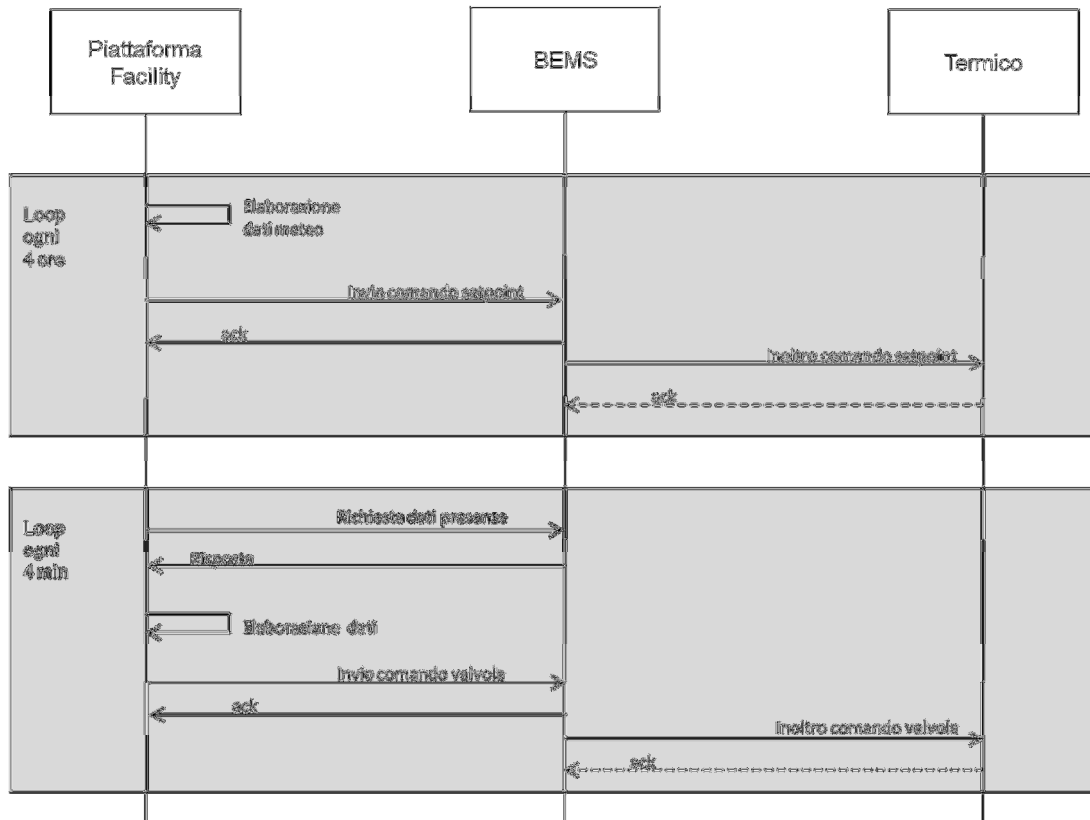


Figura 19 - Diagramma UML Caso d'Uso "Controllo Termico"

Tabella 37 - Attività Caso d'Uso "Controllo Termico"

N.	Quando si attiva l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore informazione	Ricevitore informazione	Informazione scambiata	Requisiti scambio informazione (#)	VINCOLI: Formato Dati (FD) Protocollo Applicativo (PA); Mezzo Fisico (MF)
1	Loop ogni 4 ore	Elaborazione dati meteo	La piattaforma Facility richiede i dati meteo da una sorgente esterna. (centralina o fornitore pubblico) quindi valuta le condizioni e individua le impostazioni termiche migliori.	Sorgente dati meteo	Facility	Stato meteo attuale		(PA) Web Service SOAP
2	Loop ogni 4 ore	Invio comando valvola	La piattaforma facility, invia al BEMS l'attuale valore di setpoint.	Facility	BEMS – Valvola regolatrice	Valore intero di setpoint		(FD) numerico Intero (PA) Web Service SOAP
3	Loop ogni 4 ore	Inoltro comando valvola	La piattaforma BEMS, invia al sistema Termico l'attuale valore di setpoint richiesto	BEMS	Termico	Valore intero di setpoint		
4	Loop ogni 4 minuti	Acquisizione dati	La piattaforma facility richiede e acquisisce i dati relativi alle presenze da Database	BEMS	Facility	Dati presenze	---	(FD) Record Mysql
5	Loop ogni 4 minuti	Elaborazione dati	La piattaforma facility valuta le condizioni temporali	Facility	Facility		---	
6	Loop ogni 4 minuti	Invio comando valvola	In base al risultato dell'attività 5 la piattaforma Facility può richiedere al BEMS l'apertura/chiusura delle valvole	Facility	BEMS	Comando attuazione		(FD) Binario (PA) Web Service REST
7	Loop ogni 4 minuti	Inoltro comando valvola	La piattaforma BEMS inoltra i comandi ricevuti dalla piattaforma Facility	BEMS	Campo / Termico	Comandi	---	(FD) Binario

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

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

2.3.1 Sperimentazione

L'edificio per uffici considerato comprende tre zone delle stesse dimensioni, ognuna corrispondente ad una stanza occupata da un dipendente (Figura 20).



Figura 20 - Edificio Caso di Studio

Il riscaldamento/raffrescamento di ogni zona dell'edificio avviene tramite fancoil elettrici, uno per zona, con identiche caratteristiche: in particolare, livello massimo di velocità del flusso di massa d'aria, M_{dot} (9.18 kg/min), e livello minimo, pari a 0 kg/min, quando sono spenti. In Tabella 38 sono elencate le caratteristiche più importanti di edificio e fancoil. Nella sperimentazione viene considerata una giornata lavorativa invernale, quindi i fancoil operano in modalità riscaldamento.

Tabella 38 - Caratteristiche dell'edificio e delle unità fancoil caso di studio

Parametro	Zona	Totale edificio
Area calpestabile (m ²)	25	75
Larghezza (m)	5	5
Lunghezza (m)	5	15
Altezza (m)	3	3
Spessore delle pareti interne (m)	0.1	-
Spessore delle pareti esterne (m)	0.2	-
Coefficiente di conduttività termica delle pareti interne (W/mC)	0.36	-
Coefficiente di conduttività termica delle finestre (W/mC)	0.078	-
Coefficiente di conduttività termica delle pareti esterne (W/mC)	0.038	-
Massima velocità del flusso di massa d'aria M_{dot} (kg/min)	9.18	-
Massa d'aria M_{air} (kg)	91.87	275.62
Capacità termica dell'aria c (J/kgK)	1005.4	-
Temperatura dell'aria calda del fancoil T_h (°C)	40	-

Si suppone che l'accoppiamento termico tra le zone dell'edificio influisca sulle rispettive temperature interne. Vengono considerate solo le influenze termiche tra le zone che avvengono attraverso le pareti interne.

I dati di presenza delle zone dell'edificio sono ottenuti ogni 10 minuti da due sorgenti di informazione:

- **Timbrature dei badge:** indicano se gli impiegati si trovano o meno nell'edificio;
- **Sensori di presenza:** indicano se c'è almeno una persona nelle relative zone monitorate.

Incrociando queste due misure, è possibile definire quattro livelli di occupazione per ogni zona dell'edificio, come mostrato in Tabella 39.

Tabella 39 - Livelli di occupazione

Livello di occupazione	Badge	Sensore di presenza
1	Si	Si
0.7	Si	No
0.3	No	Si
0	No	No

Nella sperimentazione è stata simulata un'intera giornata lavorativa, con differenti profili di occupazione per ogni zona (Tabella 40) e prezzo dell'energia variabile secondo le tre "fasce" seguenti (Tabella 41): prezzo alto nella prima mattinata, prezzo basso nella parte centrale della giornata, prezzo medio nel pomeriggio.

Tabella 40 - Livelli di occupazione delle tre zone dell'edificio nella giornata di sperimentazione

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

Tabella 41 - Prezzi dell'energia nella giornata di sperimentazione

Fascia di Prezzo	Time slot		
	7:00-11:10	11:10-15:20	15:20-19:30
	ALTO	BASSO	MEDIO

Come nella precedente annualità, sono state confrontate le architetture MPC distribuita (che considera l'accoppiamento termico tra le zone dell'edificio) e decentralizzata (che non tiene conto dell'accoppiamento termico tra le zone dell'edificio). La Tabella 42 riporta i parametri delle strategie MPC che si è scelto di utilizzare nella sperimentazione.

Tabella 42 - Parametri MPC

Parametro	Valore
Tempo di campionamento (min)	1
Intervallo di controllo (min)	1
Orizzonte di predizione N_p (min)	10
Orizzonte di controllo N_c (min)	4

2.3.2 Risultati

I risultati sono stati valutati in termini di consumo energetico e livello di comfort definito dalle temperature operative interne di zona. In particolare, sono stati adottati due indici di performance:

- per il comfort, quando il livello di occupazione è massimo, la distanza media giornaliera delle temperature interne reali da quelle di setpoint nell'intero edificio, MAE_{TOT} ;
- per il consumo, il flusso d'aria totale emesso dai fancoil nell'intero edificio, M_{tot} .

Le performance di controllo ottenute sono state confrontate con quelle della strategia dell'annualità precedente e di una strategia MPC non adattiva, in modo da evidenziare i vantaggi e i miglioramenti conseguiti.

Strategia MPC non adattiva

In questo caso i setpoint di temperatura di tutte le zone sono impostati a 22 °C indipendentemente dal livello di occupazione. Solo nel caso in cui il livello di occupazione sia 0 (il dipendente non si trova né nella sua stanza né nell'edificio) il setpoint di temperatura viene impostato a 11 °C (con conseguente spegnimento del fancoil di zona). Nelle Figure 21 e 22 sono riportati gli andamenti delle temperature interne di zona e dei segnali di controllo ottenuti con questa strategia MPC.

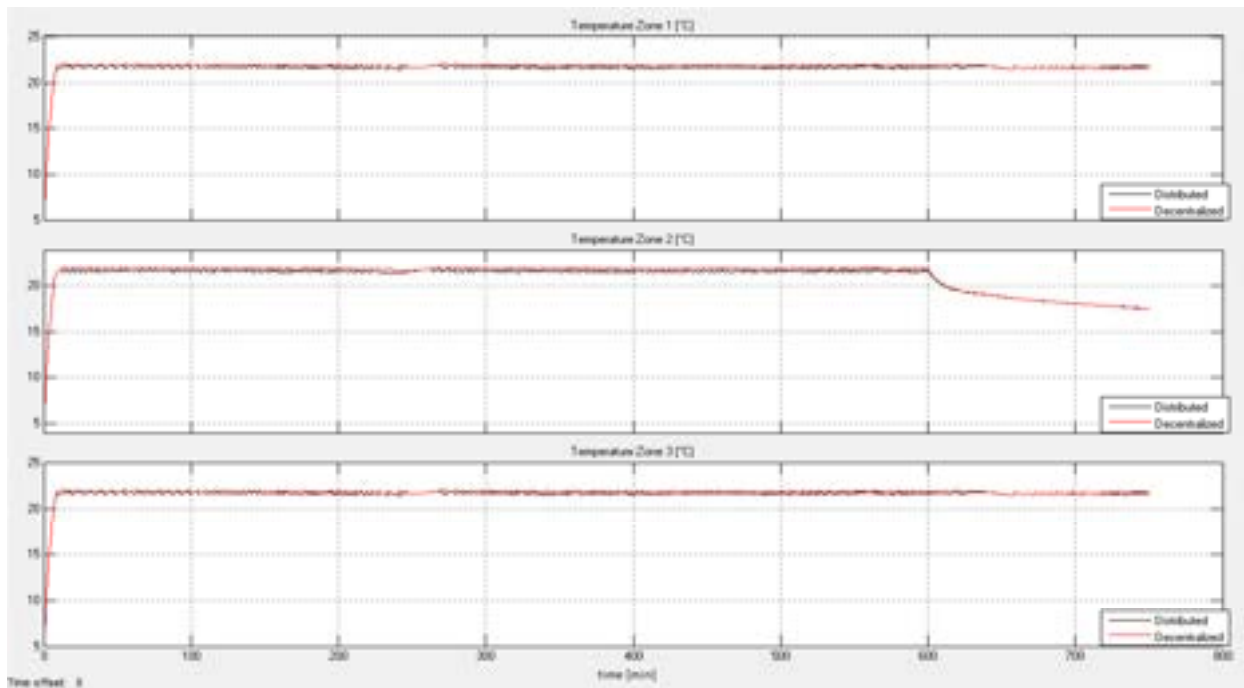


Figura 21 - Temperature interne di zona con MPC non adattivo

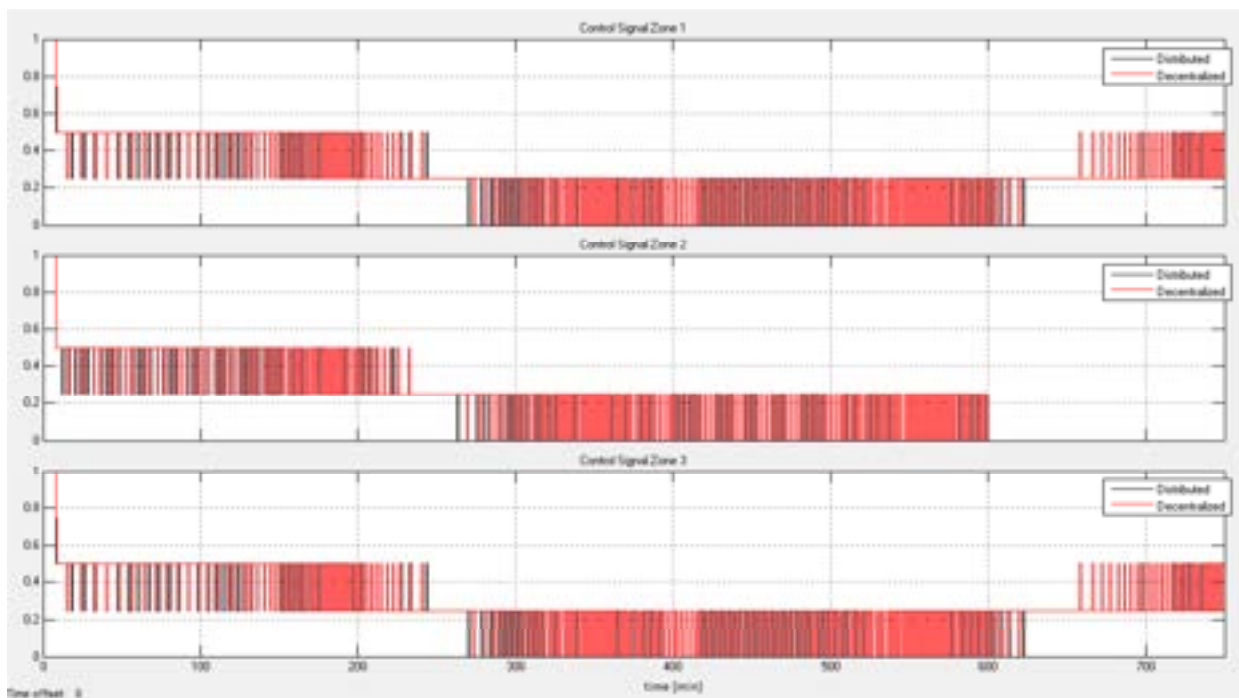


Figura 22 - Segnali di controllo di zona con MPC non adattivo

Strategia MPC adattiva con setpoint di temperatura dinamici sulla base del livello di occupazione

Con questa strategia MPC i setpoint di temperatura cambiano sulla base dei livelli di occupazione di ogni zona come segue (Tabella 43):

Tabella 43 - Setpoint di temperatura basati sul livello di occupazione

Livello di occupazione	Setpoint di temperatura (°C)
1	22
0.7	20
0.3	19
0	11

Nelle Figure 23 e 24 sono riportati gli andamenti delle temperature interne di zona e dei segnali di controllo ottenuti con questa strategia MPC.

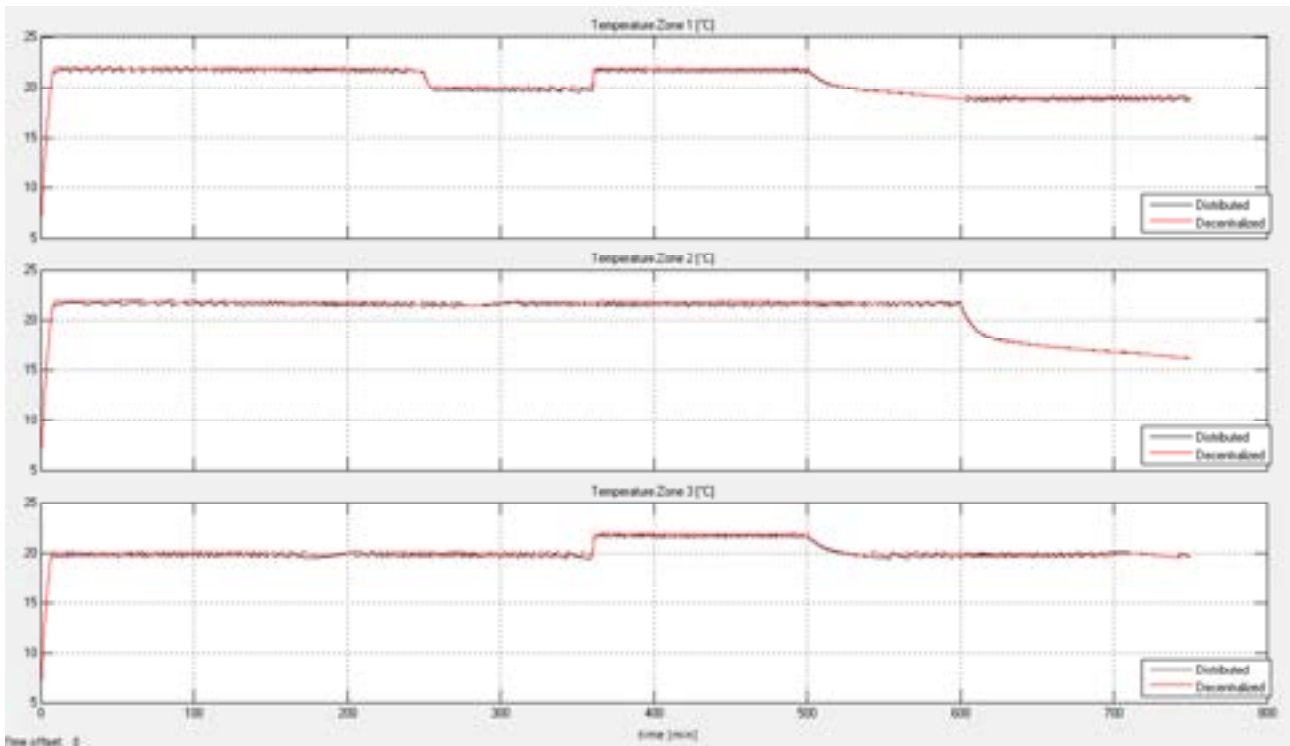


Figura 23 - Temperature interne di zona con MPC adattivo basato su livello di occupazione

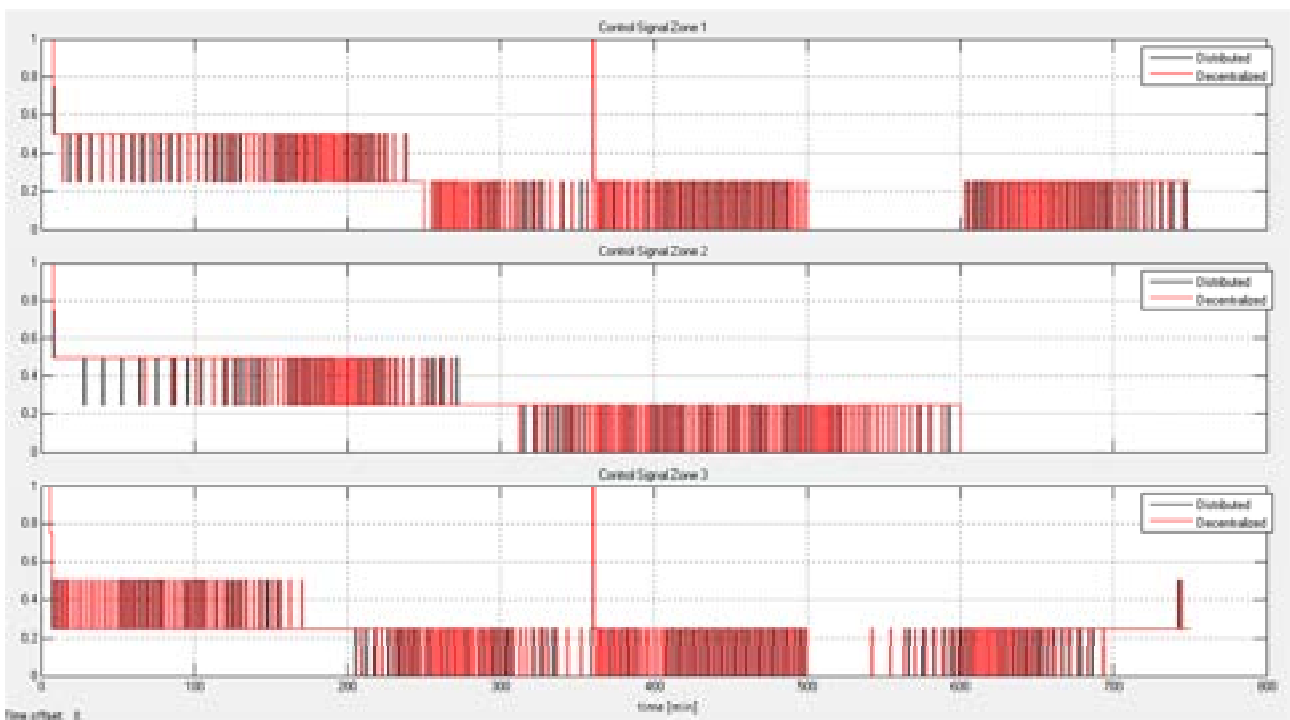


Figura 24 - Segnali di controllo di zona con MPC adattivo basato su livello di occupazione

Strategia MPC adattiva con setpoint di temperatura dinamici sulla base del livello di occupazione e della fascia di prezzo

In questo caso si è assunto che i setpoint di temperatura cambino sulla base dei livelli di occupazione di ogni zona e della fascia di prezzo dell'energia, come descritto dalle Tabelle 44, 45 e 46. Nelle Figure 25 e 26 sono riportati gli andamenti delle temperature interne di zona e dei segnali di controllo ottenuti con questa strategia MPC.

Tabella 44 - Setpoint di temperatura basati sul livello di occupazione nel caso di prezzo "ALTO" dell'energia

Livello di occupazione	Setpoint di temperatura (°C)
1	21
0.7	20
0.3	19
0	11

Tabella 45 - Setpoint di temperatura basati sul livello di occupazione nel caso di prezzo "MEDIO" dell'energia

Livello di occupazione	Setpoint di temperatura (°C)
1	22
0.7	20
0.3	19
0	11

Tabella 46 - Setpoint di temperatura basati sul livello di occupazione nel caso di prezzo "BASSO" dell'energia

Livello di occupazione	Setpoint di temperatura (°C)
1	22
0.7	21
0.3	20
0	11

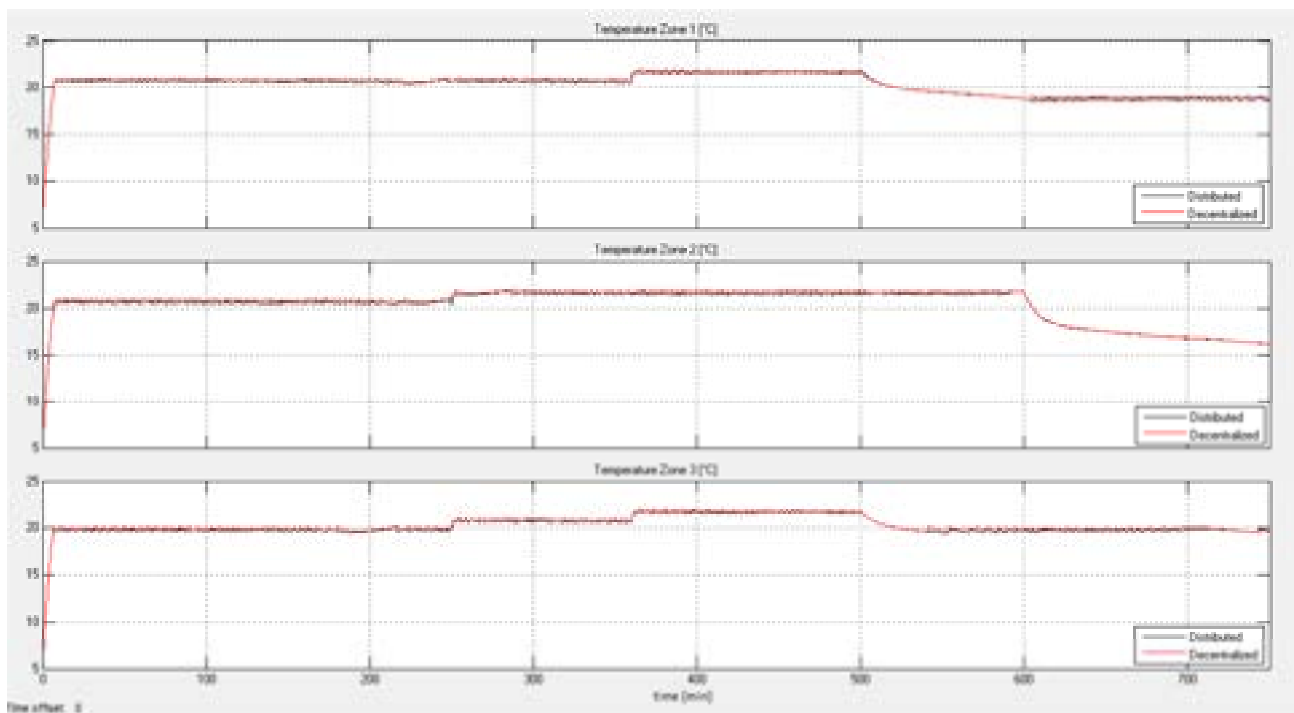


Figura 25 - Temperature interne di zona con MPC adattivo basato su livello di occupazione e prezzo dell'energia

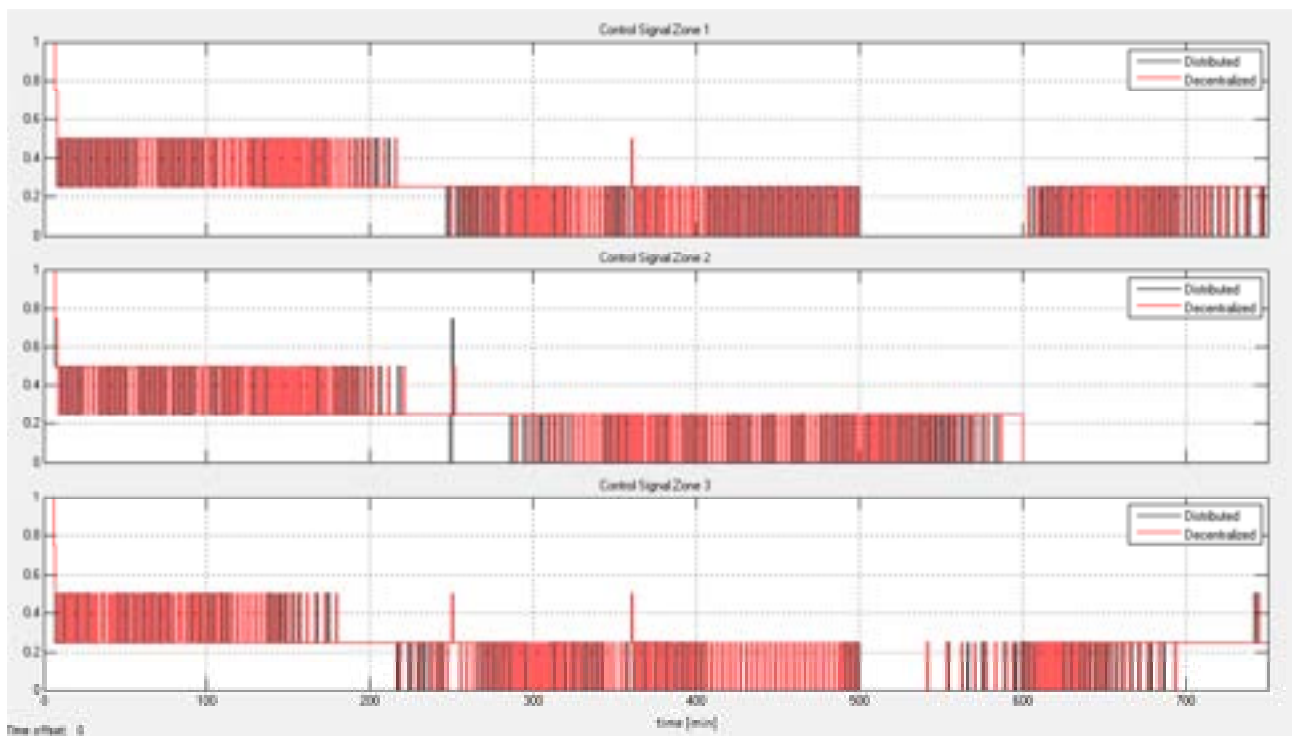


Figura 26 - Segnali di controllo di zona con MPC adattivo basato su livello di occupazione e prezzo dell'energia

Discussione

In Tabella 47 sono riportati i risultati conseguiti con tutte le strategie analizzate per un opportuno confronto. E' evidente il grande vantaggio di utilizzare una strategia MPC adattiva: i risultati relativi a M_{tot} confermano che il consumo energetico di una configurazione MPC adattiva è molto più basso di quello di una strategia non adattiva. Si evidenzia inoltre il vantaggio di utilizzare una strategia MPC distribuita rispetto a una decentralizzata: i consumi sono inferiori a fronte di errori di temperatura leggermente più alti. La strategia MPC adattiva con setpoint di temperatura dinamici sulla base del livello di occupazione e di prezzo è la configurazione MPC che presenta l'indice di consumo globale M_{tot} più basso. In particolare, dal confronto con la strategia MPC adattiva con setpoint di temperatura dinamici sulla base del livello di occupazione, è importante osservare che il consumo è più basso nella fascia oraria corrispondente al prezzo alto dell'energia ed è più alto nella fascia oraria corrispondente al prezzo basso dell'energia. D'altra parte, l'errore medio di temperatura MAE_{TOT} nella terza configurazione MPC è più alto dal momento che, quando il prezzo dell'energia è alto e il livello di occupazione è massimo, il setpoint di temperatura è 21 °C, quindi la distanza dalla temperatura interna di comfort (22 °C) è maggiore.

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

2.4.1 Introduzione al Protocollo OpenADR Alliance

Lo sviluppo di Open Automated Demand Response Communications Specification (OpenADR o Open Auto-DR) [1], inizia nel 2002 dopo la crisi dell'energia elettrica della California. Le sue specifiche descrivono un modello open standard di data communication finalizzato a ottimizzare lo scambio di informazioni automatizzato tra i fornitori di energia elettrica e i consumatori, sulla base del "demand response". OpenADR è stato progettato con l'idea di realizzare uno dei diversi elementi chiave che comporranno le future Smart Grid sviluppate per ottimizzare i flussi di potenza nelle reti elettriche e non solo. L'intenzione è quella di instradare segnali di controllo tra edifici e sistemi di controllo industriali che sono programmati per rispondere in tempo reale senza la necessità di un intervento umano. In questo contesto le specifiche

Tabella 47 - Confronto dei risultati di strategie MPC adattive e non adattive

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

open di OpenADR permettono a tutti di implementare in modo completo sia un sistema automatizzato di server/client, sia un protocollo standard di trasporto dati per incrementare il numero di servizi offerti e ridurre, nel contempo, il costo dell'energia utilizzata. La nostra attività di ricerca si è concentrata, in particolare, sullo studio dell'ultima versione del protocollo: OpenADR 2.0.

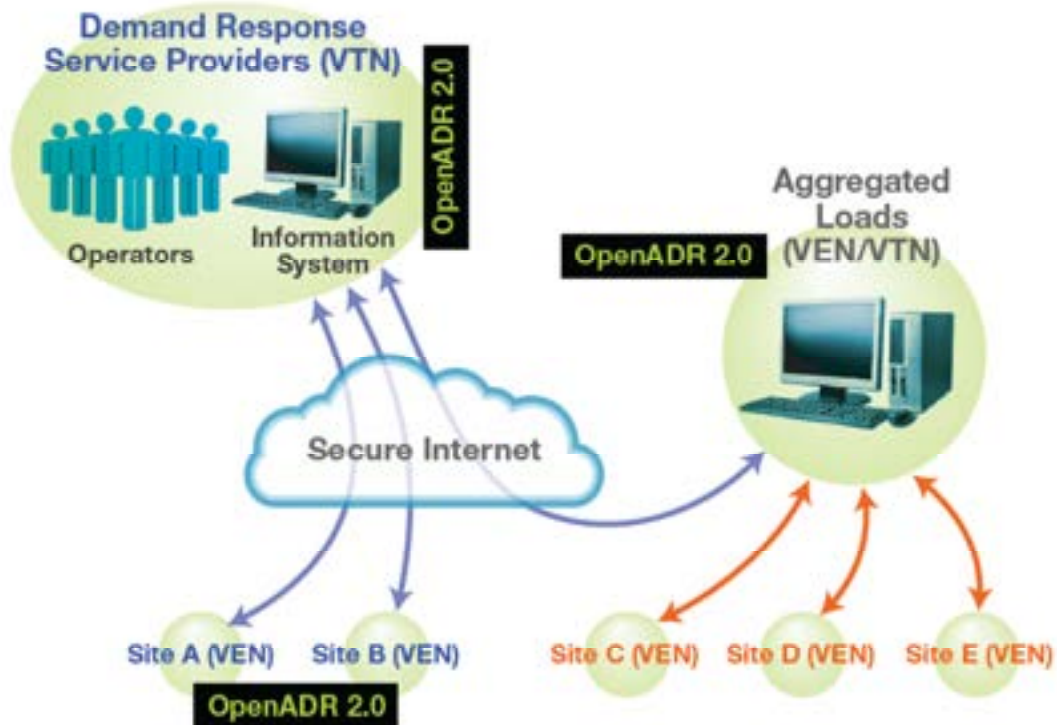


Figura 27 - Schema di principio di OpenADR 2.0

In Figura 27 viene mostrato lo schema di principio del funzionamento di OpenADR 2.0. Come già accennato in precedenza, esso realizza un'interfaccia che permette ai fornitori di energia elettrica di comunicare, attraverso un apposito sistema di segnalazioni definito dal protocollo stesso, direttamente con gli utilizzatori/consumatori utilizzando tecnologie già esistenti e ampiamente diffuse. Infatti OpenADR sfrutta

essenzialmente due principali strati dei sistemi di comunicazione attualmente in uso: 1) la rete Internet come strato fisico; 2) il meta-linguaggio XML (eXtensible Markup Language) per la parte della definizione del protocollo, ovvero delle specifiche. Queste ultime sono la parte caratterizzante di OpenADR. Esse servono a definire un particolare framework che descrive tutti gli aspetti delle interfacce, inclusi server (o Virtual Top Nodes - VTNs) e client (o Virtual End Nodes - VENs). Nelle successive sezioni verranno descritte in dettaglio le singole parti che compongono il protocollo OpenADR.

2.4.2 Specifiche tecniche

In questo paragrafo vengono fornite le specifiche tecniche dei vari componenti e funzioni del DRAS (Demand Response Automation Server).

Architettura Automated Demand Response

Le Figure 28 e 29 mostrano l'architettura dell'interfaccia con DRAS per gestire gli eventi Demand Response (DR). Allo stesso tempo le Figure mostrano anche la struttura dell'interfaccia verso DRAS necessaria ad automatizzare l'invio di richiesta da parte dei partecipanti al DR program. L'interfaccia grafica del DRAS web server e del web client esula dallo scopo di questo documento, perciò non verrà trattata.

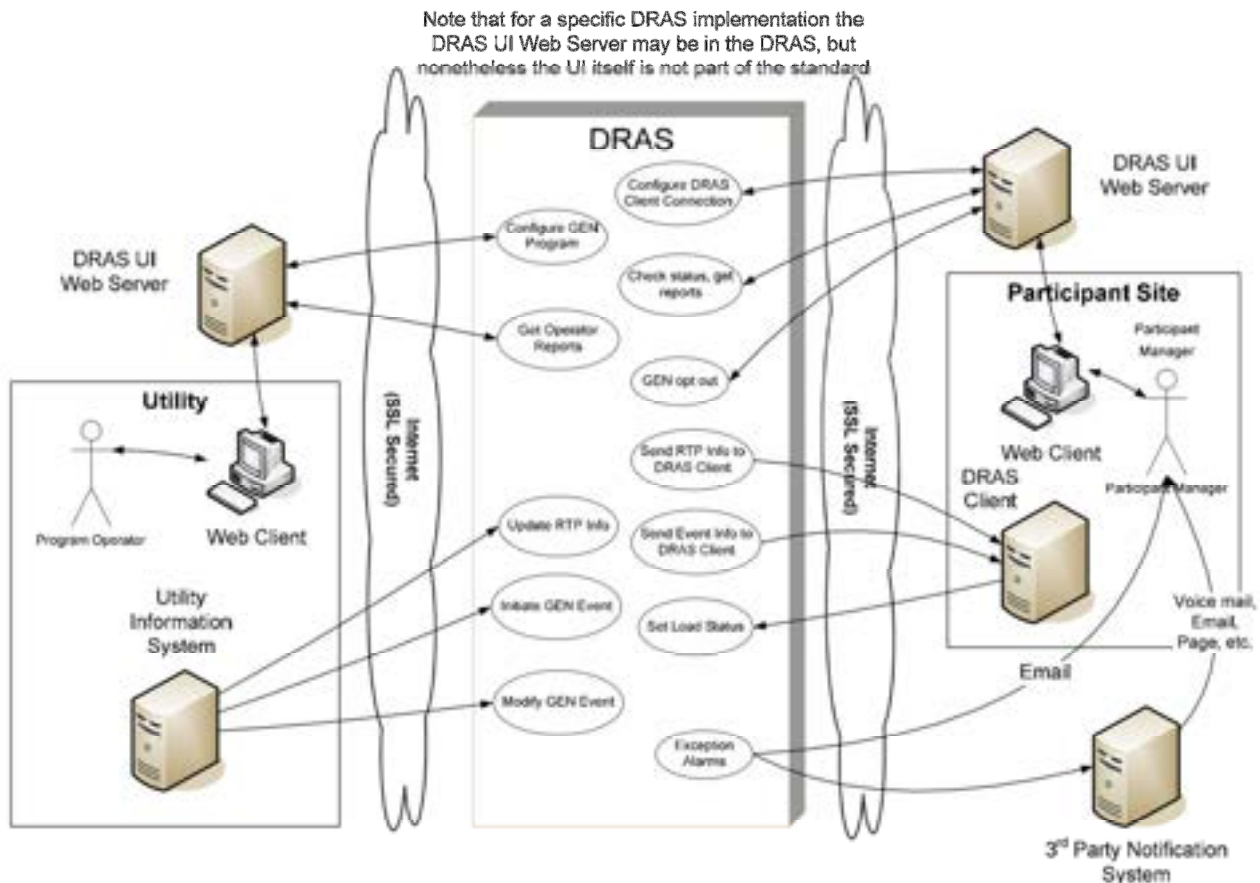


Figura 28 - General Automated Events Architecture with Standalone DRAS (Source: Lawrence Berkeley National Laboratory/ Akua)

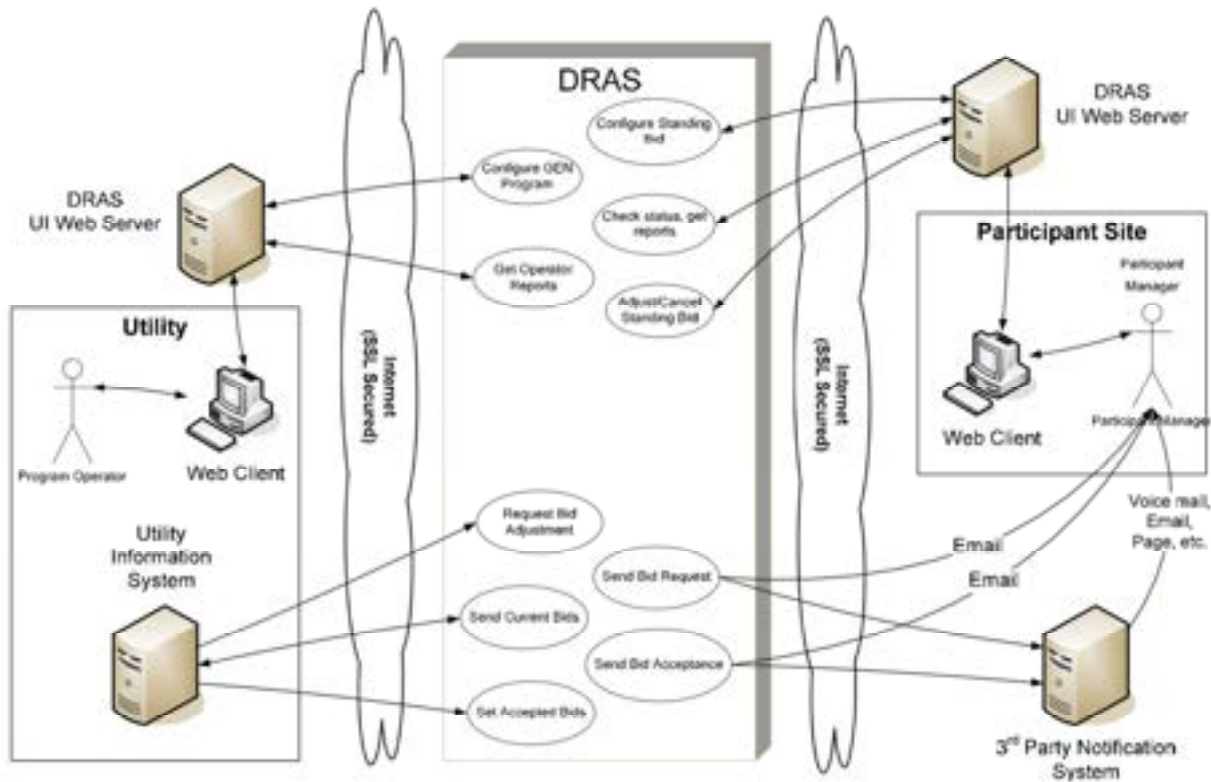


Figura 29 - General Automated Bidding Architecture con Standalone DRAS (Source: Lawrence Berkeley National Laboratory/ Akuacom)

Ciò che viene posto come standard è lo scambio di informazioni con il DRAS così da poter costruire interfacce utente anche differenti ma tutte funzionanti sullo stesso server. Infatti, usando uno standard di scambio informazioni, sarà possibile per terze parti di implementare interfacce utente con i propri stili e formati, dando la possibilità all'operatore di poter scegliere quella più adatta alle proprie esigenze.

Nelle Figure 30 e 31, la parte chiamata "Third Party Notification System" è un sottosistema responsabile alla comunicazione con generici operatori di servizi ed usa tecnologie ampiamente affermate quali telefoni, email, fax, etc.

Analizzando gli use cases e l'architettura presentata nella precedente Sezione, è possibile raggruppare le diverse funzionalità come mostrato in Figura 30.

Le funzioni di interfaccia supportate da DRAS possono essere classificate in tre gruppi:

- Utility e ISO functions
- Participant functions
- DRAS Client functions

Inoltre DRAS può contenere anche un web server per prevedere una interfaccia web con gli operatori partecipanti. In tal caso non è necessario che essi implementino le funzioni base del protocollo poiché sarà cura del web server interfacciarsi con DRAS.

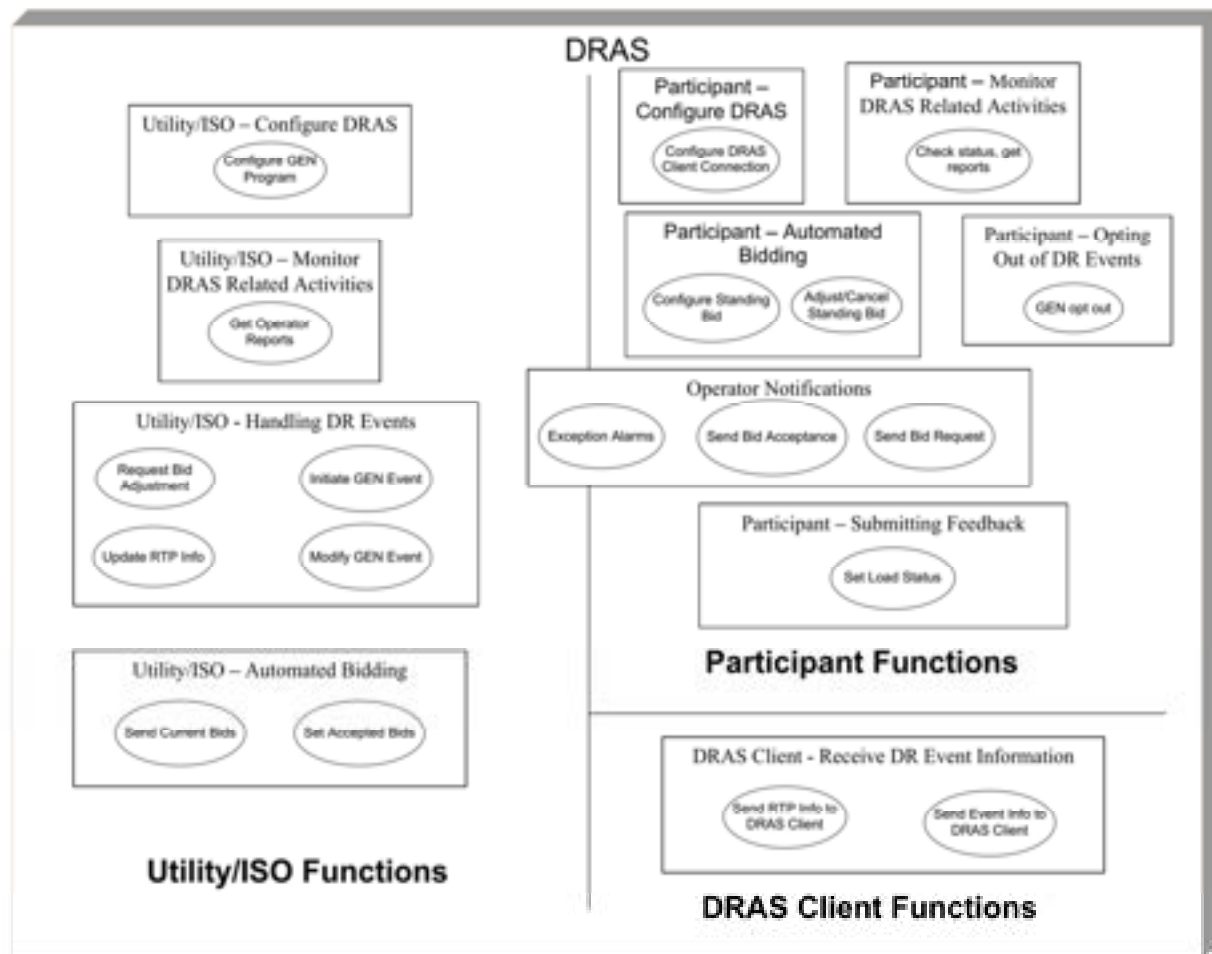


Figura 30 - Dagli use cases alle specifiche funzionali (Source: Lawrence Berkeley National Laboratory/ Akuacom)

Requisiti generali

Tutte le funzioni DRAS devono soddisfare i seguenti requisiti:

- devono essere implementate usando qualche tipo di protocollo di comunicazione: in particolare è necessario sapere in tempo reale se le informazioni scambiate hanno raggiunto correttamente la destinazione.
- devono aderire alle policies di sicurezza specificate nella documentazione OpenADR.
- devono essere implementate usando i servizi web standard.
- il loro utilizzo deve essere governato da un ben preciso set di regole di accesso.

Per questioni di sicurezza, ogni funzione accessibile dall'interfaccia DRAS può essere utilizzata soltanto dagli utenti che hanno apposite autorizzazioni ottenute attraverso i propri accounts all'interno di DRAS. Sono previste le seguenti regole di sicurezza:

- *DRAS Operator* – gli operatori hanno accesso a tutte le funzioni e le informazioni di DRAS (livello di accesso più alto), inclusa la possibilità di creare account per altri utenti.

- *Participant Manager* – i participant managers hanno accesso a tutte le informazioni elencate nei propri account. Essi vengono chiamati anche *Partecipant Operator*.
- *DRAS Client* – un DRAS Client rappresenta il software che viene utilizzato da un dispositivo per accedere a DRAS.
- *Utility and ISO Operator* – questo operatore ha accesso a tutte le funzioni e agli utility methods all'interno di DRAS.
- *DRAS Client Installer (Technical Coordinators)* – queste figure sono dei tecnici coordinatori che hanno il compito di installare e testare i DRSA Client sul campo.

DRAS deve essere in grado di tracciare ed eseguire i log di qualsiasi operazione fatta dai vari operatori e partecipanti. In più DRAS ha la necessità di monitorare in tempo reale tutti i diversi segnali di allarme che possono attivarsi.

DRAS può tenere traccia di tutte le comunicazioni aperte con i client, assegnano ad ognuna uno stato: Online (il client sta comunicando correttamente), Degraded (online con errori di comunicazione), Communication Failed (la comunicazione è fallita), Out of Service (momentaneamente fuori servizio per manutenzione).

Se necessario, DRAS può inviare notifiche direttamente agli operatori attraverso l'utilizzo di email o interfacce dedicate di terze parti (pagers, voice mail, messaggi di testo, etc...).

DRAS prevede anche due procedure di test con i client per verificare la correttezza del funzionamento del protocollo e la qualità della comunicazione: "End to end testing of DR events" - test per gli eventi DR ; "DRAS Client testing" - test di comunicazione con i client.

Data Entities usate dalle funzione dell'interfaccia

In questa sezione vengono descritte alcuni modelli (entità dato) di dati utilizzati per lo scambio di informazioni attraverso le funzioni di cui sopra.

Ogni entità rappresenta la struttura base del dato ed ha le seguenti caratteristiche:

- Nome del data entity
- Chiave primaria ("PK"): è un identificatore che possono usare le altre entità per accedere al dato.
- Data elements e attributi: sono i vari campi dell'entità.
- Riferimenti ad altre entità: l'entità può accedere ad un'altra entità attraverso i campi *foreign key* ("FK") che contengono le chiavi primarie (PK) dei dati a cui si riferisce.

Ad esempio l'entità *UtilityDREvent*, descritta in Figura 31, è utilizzata per specificare tutte le informazioni (attraverso attributi) associate ad un evento DR. Tra i vari attributi possiamo notare l'*eventIdentifier* che contiene l'identificativo dell'evento, il *programName* che contiene la chiave primaria del programma DR che ha generato l'evento, gli identificatori *Destinations* che specificano chi deve ricevere l'evento, gli attributi *Event Information* che contengono le informazioni vere e proprie dell'evento da comunicare al destinatario, etc...

L'entità *UtilityProgram* contiene tutte le informazioni di un programma DR. Ogni programma infatti prevede un set di attributi che specificano come esso viene gestito e avviato dal DRAS e dai partecipanti. Ad esempio in Figura 32 viene mostrato come la *UtilityProgram* interagisce con altri tipi di entità come la *ProgramConstraint* (che specifica tempo e data in cui il programma può essere eseguito) e la *PartecipantAccount* (contenente le informazioni del partecipante).

Modelli dell'evento Demand Response

In questa sezione viene descritto come ogni singolo evento viene visto e modellato da DRAS e dai clienti ad esso collegati. Quando un'utenza (utility) o un operatore indipendente (Independent system operator - ISO), inizializzano in evento, essi utilizzano l'entità *UtilityDREvent*. La Figura 33 mostra i tempi associati agli stati di un evento DR visto da una utility o ISO.

I partecipanti vengono avvisati dell'evento al tempo corrispondente al punto (A). *Active time* è il periodo che intercorre tra l'inizio dell'evento (B) e la sua fine (C). Le informazioni legate all'evento (*EventInfo*) sono valide solo in questa finestra di tempo (Active state). Il tempo che intercorre tra (A) e (B) è chiamato tempo di *pending* in cui l'evento è in attesa di entrare nell'*active time*. Un altro modo per osservare il passaggio tra stati di un evento DR è mostrato in Figura 34.

Come si è detto, nella finestra *Active time* vengono rese accessibili le informazioni dell'evento DR. In generale è possibile trasferire numerosi differenti tipi di informazioni associate ad un singolo evento DR, in funzione del programma che lo ha generato. Questa informazione è rappresentata dalle entità *EventInfo*. In Figura 35 viene descritto un esempio di configurazione in cui il programma 1 genera un evento destinato ai partecipanti.

Molto importanti nel funzionamento di tutto il sistema sono i vincoli di programma (Program Constraints) che interagiscono con la propagazione degli eventi DR. Essi vengono definiti nell'entità chiamata *ProgramConstraint*. In sostanza essa contiene e stabilisce un set di vincoli che agiscono sul tempo e la data dei vari eventi DR.

In Figura 36 vengono mostrati i punti in cui un evento DR può essere soggetto a vincoli mentre si propaga verso un cliente DRAS. È possibile inoltre associare delle variabili di vincolo ai singoli eventi. In questo caso il sistema DRAS prenderà in considerazione queste ultime al posto di quelle più generali dell'intero programma.

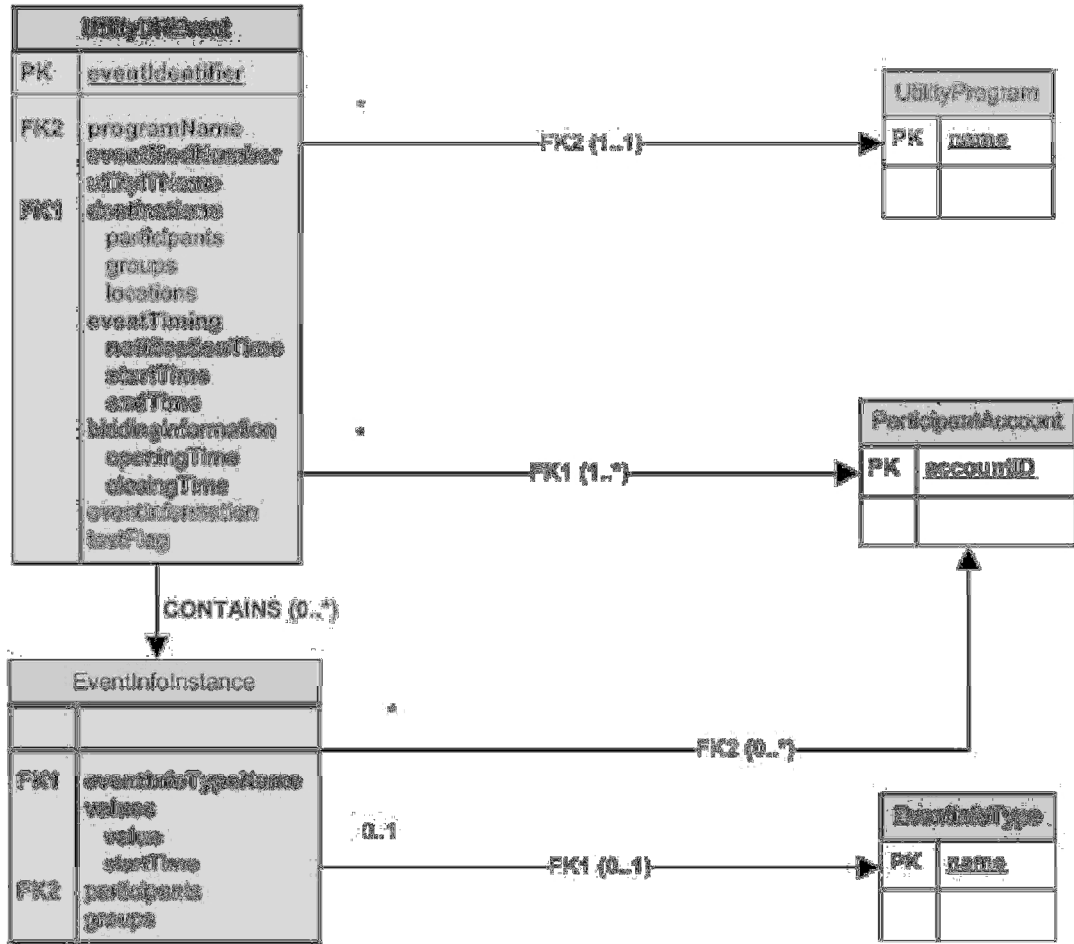


Figura 31 - Entità evento DR, UtilityDREvent (Source: Lawrence Berkeley National Laboratory/ Akuacom)

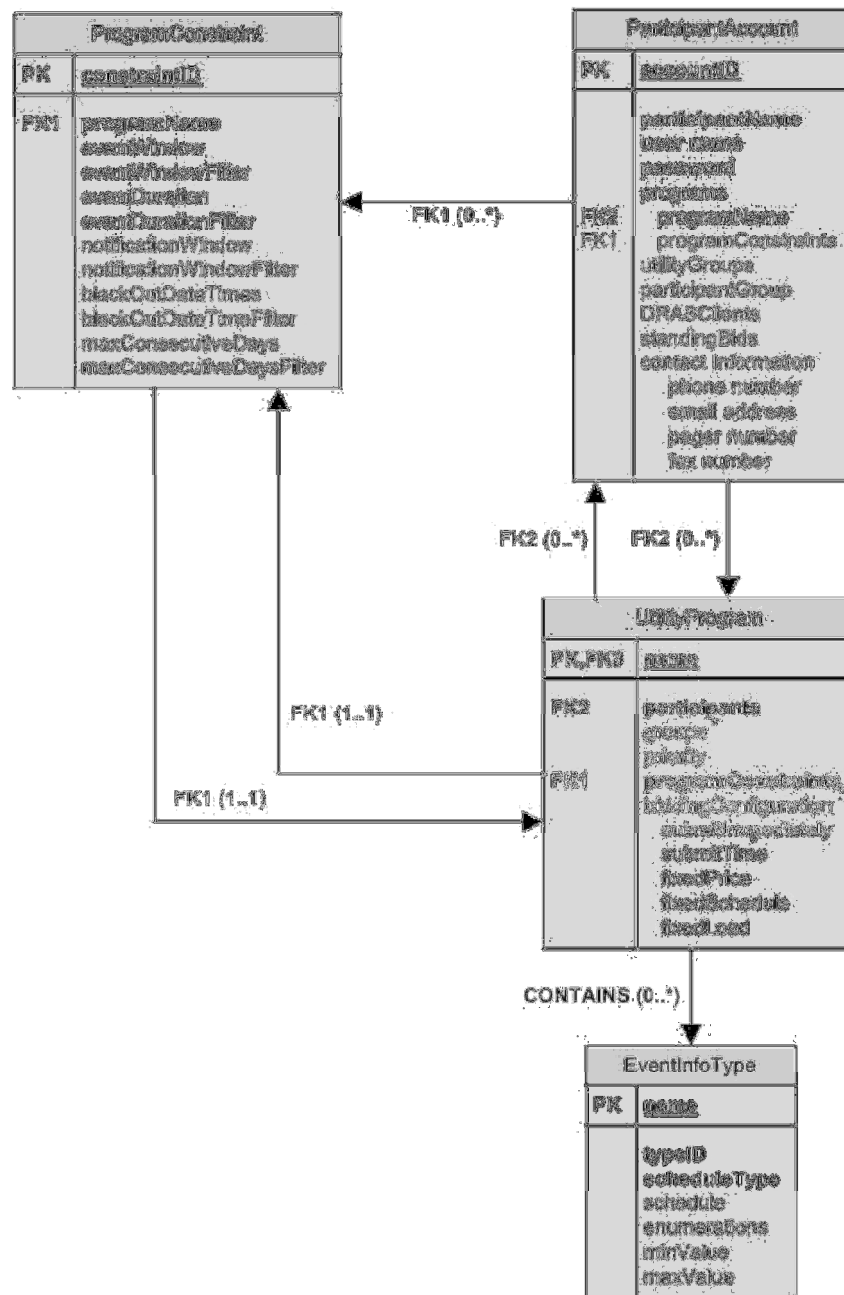


Figura 32 - Utility Configuration Entities (Source: Lawrence Berkeley National Laboratory/ Akuacom)

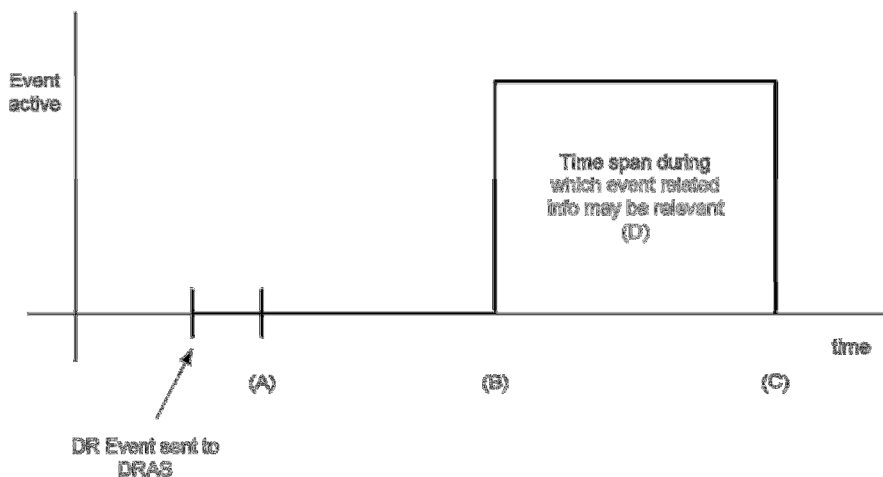


Figura 33 - Modello temporale di un evento DR visto da una utility o ISO (Source: Lawrence Berkeley National Laboratory/ Akuacom)

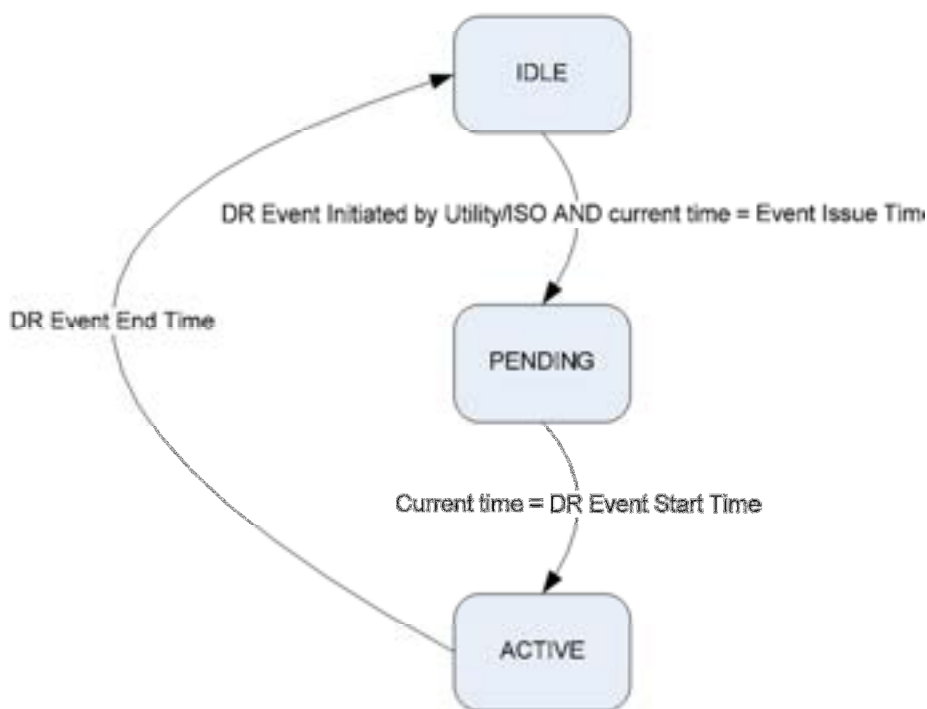


Figura 34 - Diagramma degli stati di un evento DR (Source: Lawrence Berkeley National Laboratory/ Akuacom)

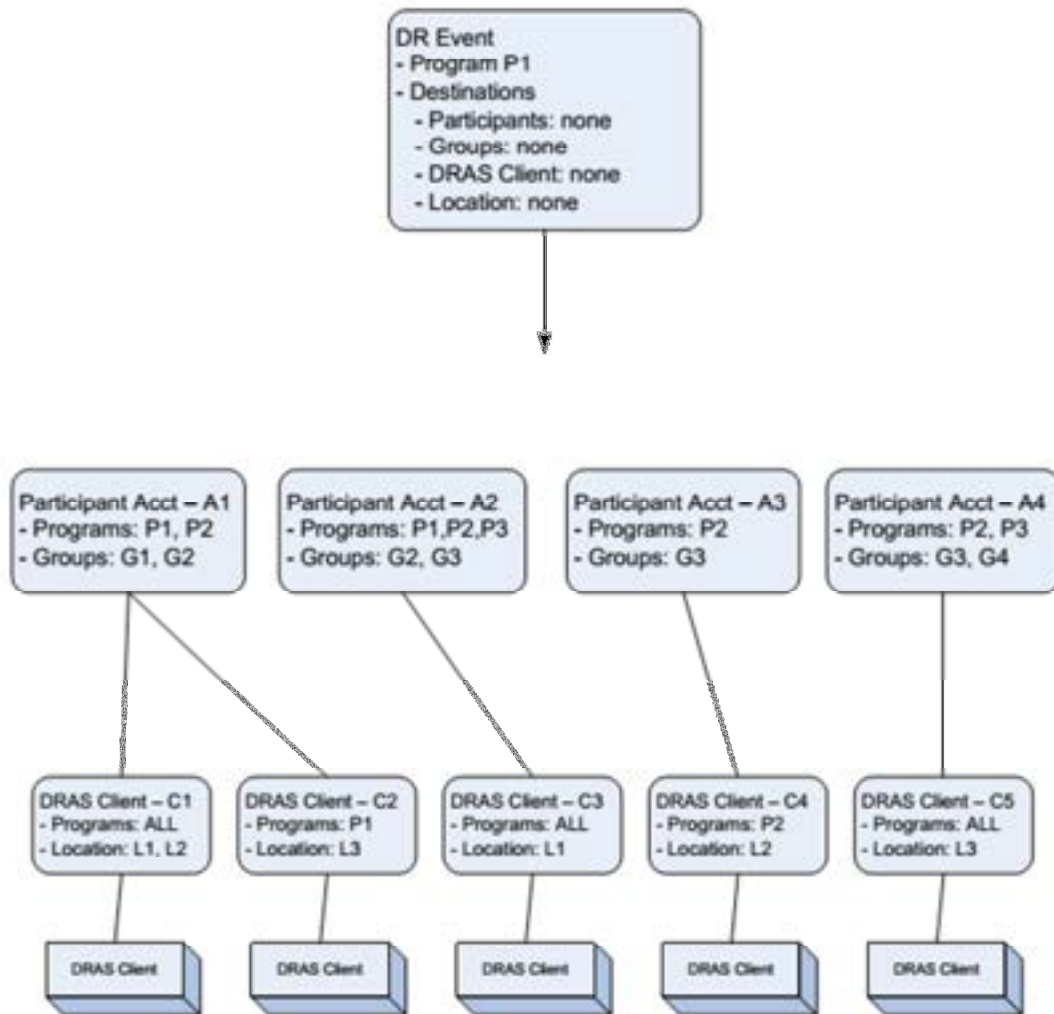


Figura 35 - Configurazione di esempio per la propagazione di eventi (Source: Lawrence Berkeley National Laboratory/ Akuacom)

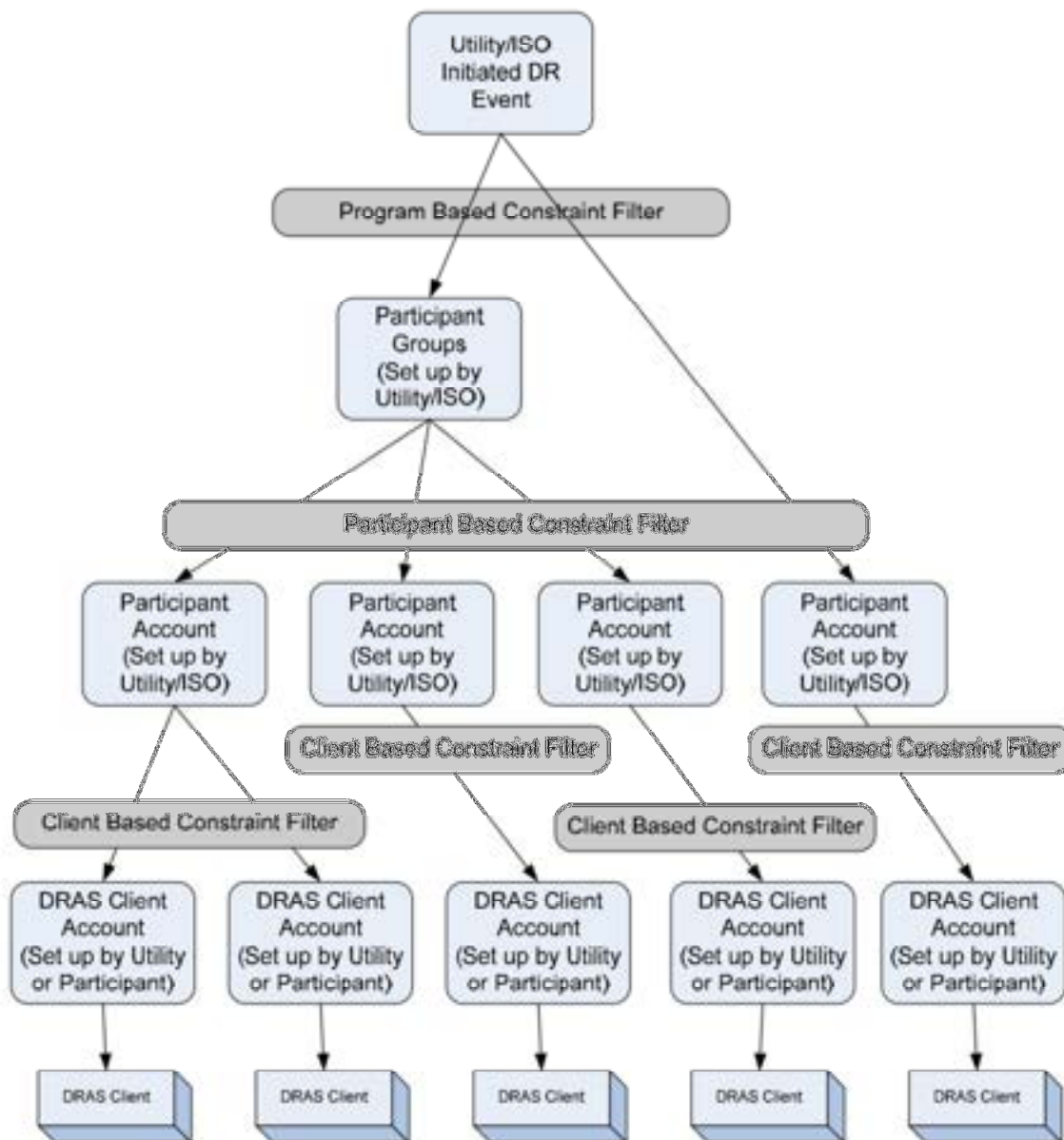


Figura 36 - Program Constrains applicati ad un evento DR (Source: Lawrence Berkeley National Laboratory/ Akuacom)

Ogni partecipante può decidere se avere o meno dei vincoli sugli eventi DR. La Figura 37 mostra il processo di comparazione e l'azione dei filtri dei vincoli su un evento DR mentre si sta propagando.

Si possono brevemente descrivere le finestre temporali in cui agiscono i filtri come segue:

- Event window – Imposta la finestra temporale in cui può verificarsi l'evento DR nell'arco del giorno.
- Event duration – Definisce la durata massima di un evento DR.
- Notification window – Finestra temporale in cui un evento può essere notificato (distanza tra gli eventi che un partecipante può lanciare).
- Blackout dates – Date in cui l'evento DR non può essere rilasciato

- Valid dates – sono le date in cui l'evento DR può essere rilasciato.
- Max consecutive days – Numero massimo di giorni consecutivi per cui l'evento DR può essere rilasciato.

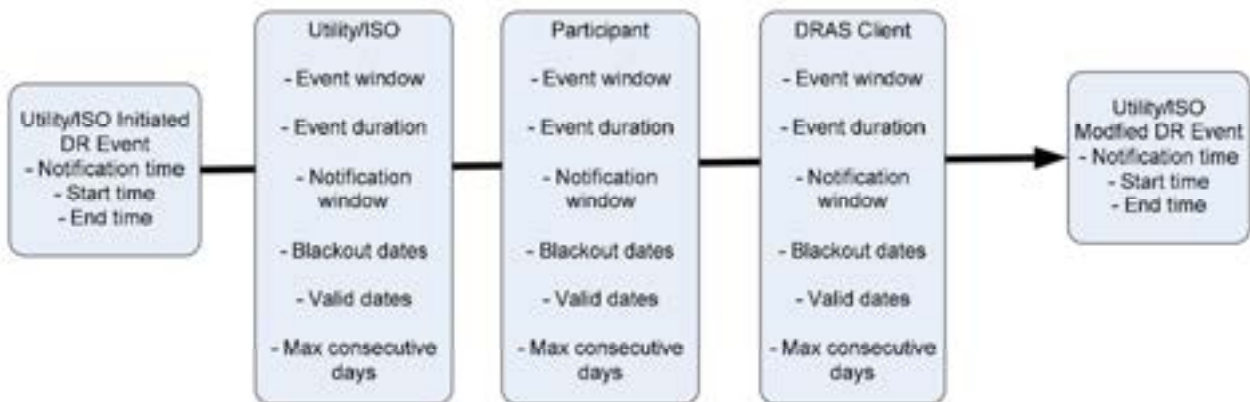


Figura 37 - Filtri applicati ad un evento DR (Source: Lawrence Berkeley National Laboratory/ Akuacom)

2.4.3 Specifiche funzionali

In questa sezione viene fornita una breve descrizione delle funzioni richieste da un sistema DRAS per sostenere la gestione di eventi DR come quelli discussi in precedenza. Le funzioni possono essere raggruppate principalmente in tre categorie:

- Funzioni utilizzate dalle Utility o ISO
- Funzioni utilizzate per le interfacce degli operatori dei partecipanti
- Funzioni utilizzate dalle interfacce dei client DRAS

Esempi di funzioni utilizzate dalle Utility o ISO

Le funzioni di base sono quelle che gestiscono direttamente l'evento come:

- Inizializza l'evento DR
- Modifica o cancella l'evento DR esistente
- Estrai le informazioni dall'evento DR

Ad esempio, la funzione *InitiateDREvent* inizializza l'evento DR: l'evento viene creato dalle Utility o ISO passando tutte le informazioni necessarie e le specifiche dei partecipanti o dei clienti DRAS che dovrebbero riceverlo. La funzione *ModifyDREvent* può agire in tre modi:

1. Cancellare l'evento DR
2. Cambiare la lista dei partecipanti
3. Modificare la lista dei partecipanti all'evento DR

La funzione *GetDREventInformation*, se vogliamo quella più centrale, è usata per estrarre le informazioni dell'evento DR. La *SetEventConstraint* ha il compito di impostare i vincoli di programma di un evento DR. Come per le entità dei dati, anche le funzioni sono molto numerose e descriverle tutte non è l'obiettivo di questo documento. Per questo approfondimento si rimanda il lettore alla documentazione ufficiale OpenADR 2.0 [1].

2.4.4 Policy per la sicurezza

In questa sezione viene descritto come un sistema DRAS agisce nel rispetto della sicurezza informatica identificando un certo numero di elementi e interfacce che sono richieste, dunque, anche da OpenADR.

In generale esistono molti modi con cui può essere effettuato un attacco informatico, dall'accesso fisico di intrusi ai dispositivi all'interno degli edifici, alla violazione dei sistemi di sicurezza dei server in remoto attraverso l'apertura fraudolenta di canali di comunicazione. OpenADR copre solamente la parte dei protocolli di scambio dati usati da un sistema DRAS per comunicare con i client o viceversa. Ogni altra difesa per ulteriori forme di intrusione (firewalls, intrusion detection, etc.) non sono garantite.

Un sistema DRAS ha tre distinte interfacce web service a cui è dedicata la policy di sicurezza:

- Utility and ISO Operator Interface
- Participant Operator Interface
- DRAS Client Interface

Controllo degli accessi e regole di sicurezza

Un primo modo per aumentare la sicurezza è suddividere in classi i tipi di utenti che possono collegarsi al sistema DRAS o comunque interagire in qualche modo con esso. Ogni classe di accesso ha le proprie regole (realizzate attraverso interfacce) che gli utenti devono rispettare. La Tabella 48 mostra le interfacce messe a disposizione.

Tabella 48 - Regole di sicurezza delle interfacce utente DRAS (Source: Lawrence Berkeley National Laboratory/ Akuacom)

	Utility Interface	Participant Interface	DRAS Client Interface	DRAS Interface on DRAS Client
DRAS	n/a*	n/a*	n/a*	Full Access
DRAS Operator	Full access	Full access	Full access	none
Participant Operator	none	Access to all methods, but limited scope in what can be done, viewed, etc. with each method.	none	none
Utility Program Operator	Full access	Full access	none	none
DRAS Client	none	None	Full access	n/a*
DRAS Client Installer	none	Limited to a limited number of methods used for testing.	none	none

*n/a-not applicable

Per molte funzioni, DRAS deve poterne limitare le invocazioni a dati o metodi attraverso delle credenziali degli utenti che voglio accedere a tali funzioni. Ad esempio se un utente con una particolare regola di sicurezza cerca di utilizzare l'entità *GetParticipantAccount* (che ritorna le informazioni di account di un

determinato partecipante) esso deve avere accesso solo alle informazioni che sono permesse in base alle sue credenziali:

- **Confidentiality:** il contenuto della comunicazione e l'identità devono essere protette dall'accesso di terze parti.
- **Integrity:** la comunicazione deve essere protetta da eventuali manipolazioni
- **Authentication:** la comunicazione può essere effettuato solo attraverso autenticazione
- **Non - repudiation:** le transazioni e la consegna dei messaggi non possono essere negate né dal mittente né dal destinatario.

Per aumentare la sicurezza nella trasmissione dei dati, ogni client dovrebbe essere dotato di proxy come descritto nella Figura 38 per il client B.

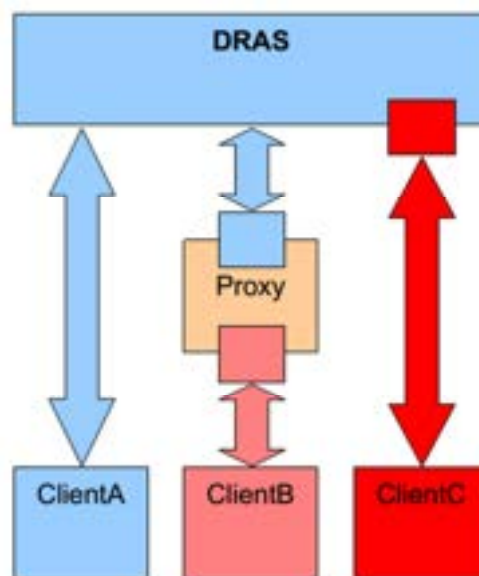


Figura 38 - Client DRAS con diversi livelli di sicurezza (Source: Lawrence Berkeley National Laboratory/ Akuacom)

In Figura 38 il client A è quello con il minor livello di sicurezza mentre il client C risponde alle regole di sicurezza stabilite dal DRAS.

Le Tabelle 49 e 50 elencano e descrivono le principali sorgenti di rischio nel sistema DRAS. In particolare OpenADR Alliance è progettato per gestire una propria Public Key Infrastructure (PKI) per le comunicazioni client/server ed è partner di NetworkFX, una società indipendente esperta nella sicurezza dei dispositivi collegati in rete e che mantiene direttamente OpenADR PKI per conto di Alliance (Figura 39).

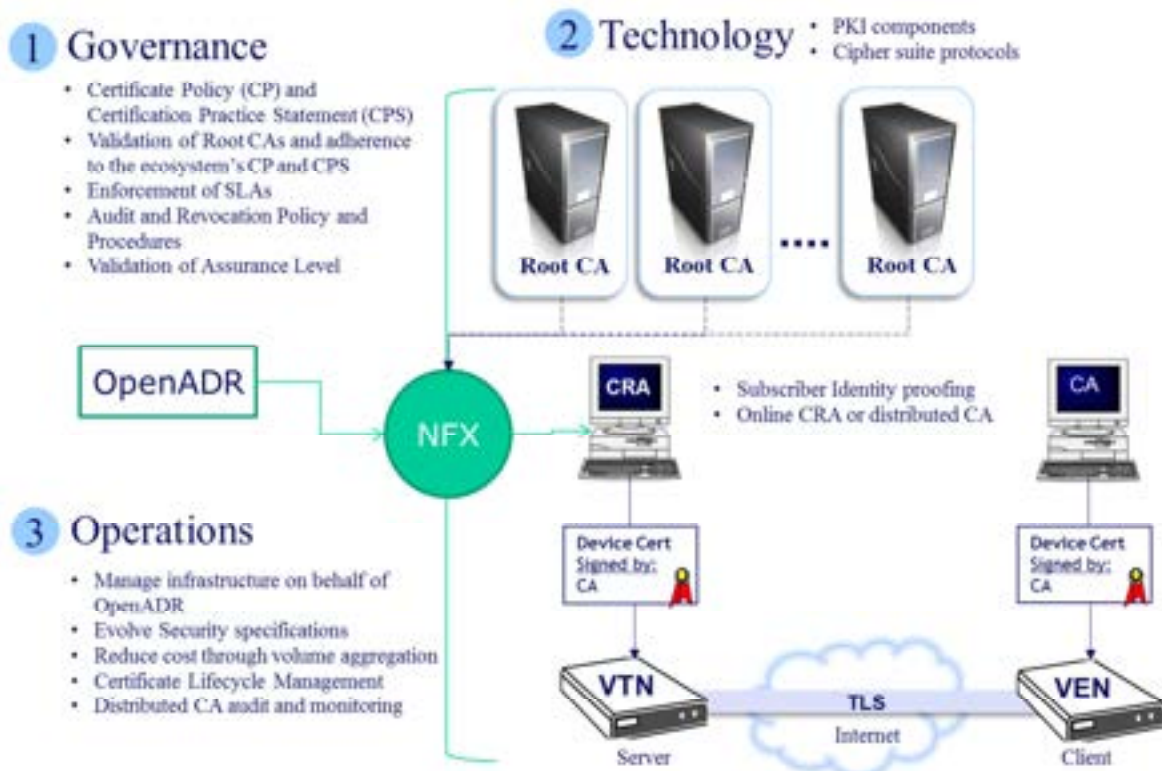


Figura 39 - OpenADR e NetworkFX

Tabella 49 - Classificazione generale delle sorgenti di rischio nel sistema DRAS (Source: Lawrence Berkeley National Laboratory/ Akuacom)

Accidental or non-Malicious Activities	Severity
Operational errors by either utility or ISO and customer that limit a customer's ability to respond to DR events. This could range from utility or ISO database data entry errors to incorrect equipment control settings at customer sites.	3
Minor telecommunications equipment failures that affect only a portion of DRAS Clients.	3 to 2
Major IT equipment failure at A DRAS site or widespread, regional telecommunications outages.	1
Fatal DRAS software implementation flaws that surface under unusual or unsuspected circumstances.	UNKNOWN
Malicious, non-Communications Related Activities	Severity
Participant denies submitting bid	2
Participant denies receiving DR event information	2
Intentional manipulation of DR events issued by the DRAS.	3
Manipulation (i.e. "gaming") of the DRAS system by one or more customers on discovery of unintentional flaw in system software implementation.	3
Malicious Communications-based Activities	Severity
Flood the DRAS communications channel with non-DR related Internet traffic (Denial of Service attack).	1
Modify existing configuration data in the DRAS including programs, participants, etc.	1

Tabella 50 - Classificazione generale delle sorgenti di rischio nel sistema DRAS (Source: Lawrence Berkeley National Laboratory/ Akuacom)

Issue spurious or detrimental DR events	1
Modify existing DR events, including canceling them and changing which DRAS Clients receive the events.	1
View data within the DRAS including participant information and user activities.	1
View private data contained in messages flowing to and from the DRAS.	1
Potentially gain access to a DRAS Client's credentials and directly access the DRAS Client (e.g. "man in the middle attack").	1
Disable the DRAS Client from receiving DR events	1
Manually issue messages to DRAS Client	1
Shut down all DRAS operations	1
Shut out access to other operators	1
Submit Bids for participants	1
Reject/Accept Bids	1
Mimic the DRAS Client and intercept DR event messages	1
Submit false feedback information	1
Participant denies submitting bid	2
Participant denies receiving DR event information	2

2.4.5 Sviluppi futuri

Possibili sviluppi futuri dichiarati dagli stessi sviluppatori di OpenADR 2.0 potrebbe includere i seguenti obiettivi:

- Espandere OpenADR con ulteriori programmi di Demand Response per tenere conto di nuovi use case
- Aumentare il bacino di utenze coinvolgendo un numero sempre maggiore di soggetti interessati ed esperti industriali per migliorare lo sviluppo delle specifiche OpenADR
- Continuare la collaborazione con le maggiori organizzazioni che definiscono gli standard industriali

3 Conclusioni

Le attività di ricerca e sviluppo descritte nel presente documento rientrano nell'ambito di una sperimentazione riguardante la gestione di edifici in contesto Smart District e scenari di Demand Response. La prima attività ha valutato la flessibilità nell'ambito Demand-Response di un micro distretto di edifici del terziario. Il micro distretto considerato corrisponde al cluster di edifici ad uso ufficio ed annessa centrale termica appartenenti allo "Smart Village" ENEA con elementi di generazione di energia da fonti rinnovabili ed elementi di storage. La sperimentazione, portata avanti grazie ad un emulatore di micro-distretto, ha evidenziato l'efficacia dei pannelli fotovoltaici come elementi di generazione in ambito Demand Response. L'obiettivo della seconda attività è stato la formalizzazione tramite "use case" di applicazioni di gestione energetica efficiente degli edifici terziari dello "Smart Village" ENEA negli ambiti Smart Building e Smart District. Tale attività si inserisce in un ambito più ampio che è quello della definizione di una piattaforma di distretto interoperabile. Nel caso della diagnostica sono stati formalizzati gli use-case relativi

all'identificazione di anomalie non individuate direttamente da evidenze ma dall'opportuna elaborazione di una o più grandezze misurate. Esempi di use-case di diagnostica formalizzati sono quelli di analisi del comportamento dell'occupante in relazione all'utilizzo delle utenze elettriche di luci e fancoil. Per quanto riguarda l'ambito del controllo, sono stati formalizzati gli use-case relativi alle attività di controllo di accensione/spengimento delle utenze elettriche fancoil e luci sulla base delle presenze e il controllo adattivo della temperatura di mandata della centrale termica che serve gli edifici sulla base delle presenze e della temperatura esterna. Infine, per quanto riguarda l'ambito di generazione KPI, sono stati definiti gli use-case relativi ai principali indicatori di performance degli edifici (e.g. "consumo specifico") ai fini della valutazione dell'andamento dei consumi elettrici e termici.

La terza attività prosegue lo studio "Strategie di controllo predittivo distribuito per la regolazione della temperatura interna di edifici multi-zona" dell'annualità precedente, in particolare apportando degli sviluppi all'approccio adattivo Model Predictive Control (MPC) per la regolazione termica delle diverse zone di un edificio per uffici. Nella sperimentazione è stata simulata un'intera giornata lavorativa, con differenti profili di occupazione per ogni zona e prezzo dell'energia variabile: le performance di controllo ottenute sono state confrontate con quelle della strategia dell'annualità precedente, in modo da evidenziare i vantaggi e i miglioramenti conseguiti.

Nell'ultima Sezione è stato descritto il protocollo di comunicazione OpenADR 2.0. Sono state messe in evidenza alcune principali caratteristiche di base che lo rendono uno dei software/framework più utilizzati nel campo del Demand Response. Oltre ad essere molto completo, OpenADR 2.0 è distribuito con licenza open source e supportato da un'ampia documentazione. OpenADR 2.0 sfrutta essenzialmente due principali strati dei sistemi di comunicazione attualmente in uso: 1) la rete Internet come strato fisico; 2) il metalinguaggio XML (eXtensible Markup Language) per la parte della definizione del protocollo, ovvero delle specifiche. In conclusione, OpenADR 2.0 risulta essere un'ottima scelta per qualsiasi tipo applicazione, anche per quelle che prevedono un elevato impatto industriale come nel caso del progetto che si intende realizzare.

4 Riferimenti bibliografici

1. Sito web: <http://www.openadr.org/>

5 Curriculum vitae degli Autori del Rapporto Tecnico

Fiorella Lauro

Ha conseguito la Laurea Specialistica in Ingegneria dell'Automazione presso l'Università della Calabria ed il Dottorato di Ricerca in Ingegneria Informatica e dell'Automazione presso l'Università degli Studi Roma Tre. È ricercatore a contratto presso il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino nell'ambito del programma di collaborazione IEEB (Indoor Environment and Energy in Buildings) con il Centro Ricerche ENEA Casaccia di Roma. La sua attività di ricerca riguarda i temi della gestione energetica di Smart Building, in particolare la modellazione dei consumi energetici degli edifici attraverso approcci metodologici inversi, l'individuazione di efficaci metodologie diagnostiche dei consumi anomali e l'ottimizzazione dei consumi tramite tecniche di Intelligenza Artificiale e di controllo predittivo. È autore di oltre 10 pubblicazioni scientifiche nazionali e internazionali su queste tematiche.

Francesco Riganti Fulginei

Francesco Riganti Fulginei è Professore Associato presso il Dipartimento di Ingegneria, sezione di Elettronica, dell'Università degli Studi Roma Tre. È responsabile del Laboratorio ESTLAB (Electrical Science and Technology LABORatory) sito all'interno del Dipartimento. È titolare presso l'Università degli Studi

Roma Tre dei corsi "Ottimizzazione di circuiti e calcolo scientifico" , "Matematica per l'Ingegneria Elettronica", "Elettrotecnica ed Elettronica". E' autore di numerosi articoli su riviste internazionali, capitoli di libro e brevetti. I suoi campi di ricerca possono riassumersi in: ottimizzazione di sistemi complessi e problemi inversi, modellistica numerica applicata a fenomeni e materiali magnetici, energia rinnovabile e modellistica per celle e pannelli solari.

Stefano Panzieri

Stefano Panzieri è Professore Associato di Automatica presso Roma TRE. Vicepresidente del Comitato Unico di Garanzia dell'Ateneo Roma TRE. Responsabile del Laboratorio di Modellistica e Simulazione nel settore della Protezione delle Infrastrutture Critiche (MCIP Lab). Coordinatore di Ateneo del progetto per la Regione Lazio Smart Environments. Responsabile di ricerche sul tema della diagnostica energetica nell'ambito Smart Buildings. Coordinatore di alcuni progetti Europei sulle Infrastrutture Critiche. Coordinatore del Dottorato di Ricerca in Ingegneria Informatica e dell'Automazione. Dottore di Ricerca in Ingegneria dei Sistemi nel 1993 alla Sapienza. La sua attività di insegnamento si svolge nel settore dei Controlli Automatici, nei Sistemi di Controllo di Processo e nella gestione della sicurezza di grandi infrastrutture. Autore di più di 150 pubblicazioni in ambito internazionale sulle tematiche già citate e nel settore della Robotica.