



Ricerca di Sistema elettrico

# Definizione, a livello macro, del modello semantico di riferimento per la Piattaforma ICT

Michela Milano, Federico Chesani



DEFINIZIONE, A LIVELLO MACRO, DEL MODELLO SEMANTICO DI RIFERIMENTO PER LA PIATTAFORMA ICT

Michela Milano, Federico Chesani (DISI – Università di Bologna)

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.7 Sviluppo di un modello integrato di Smart District urbano

Obiettivo: a. Piattaforma ICT per la gestione dello Smart District

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Modello semantico di riferimento per la Piattaforma ICT"

Responsabile scientifico ENEA: Angelo Frascella

Responsabile scientifico Università di Bologna: Michela Milano

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 ANALISI DELLA DOCUMENTAZIONE SUI CASI D'USO E MODELLAZIONE DEL DOMINIO DELLE INFORMAZIONI RELATIVE AL DISTRETTO URBANO.....	7
2.1 SCENARIO DI RIFERIMENTO.....	7
2.2 DEFINIZIONE DEI CASI D'USO.....	8
2.3 DESCRIZIONE DEI CASI D'USO.....	10
2.4 VANTAGGI DELL'USO DI UN'ONTOLOGIA.....	14
3 ANALISI DELLE ONTOLOGIE ESISTENTI.....	17
3.1 FORMATO DI RAPPRESENTAZIONE DELLE ONTOLOGIE.....	17
3.2 ONTOLOGIE SU RACCOLTA DI DATI DA SENSORI.....	18
3.3 PROGETTO CITY PROTOCOL.....	20
3.4 PROGETTO CITYKEYS.....	21
3.5 CONCLUSIONI.....	23
4 MODELLO SEMANTICO DI RIFERIMENTO PROPOSTO.....	24
4.1 CORE DELL'ONTOLOGIA.....	24
4.1.1 <i>Informazioni di tempo e spazio</i> .....	24
4.1.2 <i>Altre informazioni associate</i> .....	27
4.2 ESTENSIONE DELL'ONTOLOGIA.....	29
5 MAPPING SULL'ONTOLOGIA DEI DATI SCAMBIATI DALLA PIATTAFORMA ICT.....	30
5.1 INFORMAZIONI CONTENUTE NEGLI UKAI.....	30
5.2 ADATTAMENTO ALL'ONTOLOGIA.....	31
6 CONCLUSIONI.....	34
7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	36

## Sommario

Il presente documento nasce all'interno del progetto del MiSE per lo sviluppo di un modello integrato di Smart District Urbano nel Piano Annuale di Realizzazione ENEA 2015 sulla Ricerca di Sistema Elettrico. L'idea centrale è la definizione di un set di Specifiche per una piattaforma software in grado di gestire un distretto urbano al fine di incrementare l'efficienza energetica e il risparmio di energia.

Una delle azioni chiave per raggiungere tale risultato è sicuramente l'integrazione delle informazioni provenienti dai diversi ambiti organizzativi di un distretto come un edificio, il singolo appartamento o la strada. Per facilitare e uniformare lo scambio di informazioni è stata ipotizzata la realizzazione di uno strumento tale da organizzare le informazioni da scambiare. A tal fine è stata proposta la realizzazione di un'ontologia sulla base delle tecnologie del web semantico, che permetta uniformità di accesso ai dati e un'organizzazione uniforme delle conoscenze al fine di semplificare lo scambio dei dati.

Questo documento descrive il lavoro svolto per raggiungere tale risultato. Si è partiti dall'analisi dei casi d'uso, frutto del lavoro svolto dai diversi gruppi che si occupano della definizione delle operazioni da eseguire all'interno dei diversi ambiti di uno Smart District. In seguito si sono osservate le iniziative internazionali che si sono focalizzate su ambiti simili, infine si è proposto un modello base ed estendibile di ontologia su cui poter basare l'interazione fra i vari contesti dello Smart District.

## 1 Introduzione

La keyword “Smart City” viene spesso usata per indicare una delle misure prioritarie per affrontare la problematica energetico-ambientale propria di una città, ovvero il luogo in cui si concentra il maggiore consumo di risorse energetiche poiché vi si concentra l’attività insediativa, produttiva e di massimo impatto sull’ambiente.

L’approccio Smart City consiste, quindi, nel raggiungimento di traguardi di abbattimento dei consumi energetici (in primo luogo elettrici) molto più consistenti di quelli ottenuti finora attraverso strategie basate essenzialmente sulla sostituzione di componenti con altri a maggiore efficienza energetica. Il principio organizzativo da utilizzare è quello del “resource on demand”. Tale approccio richiede però una tecnologia di sistema avanzata che coinvolge e integra: i) una sensoristica urbana e sistemi d’interazione per comprendere esattamente la necessità dell’utente, ii) sistemi di trasmissione e raccolta integrata dei dati (cloud urbani), iii) sistemi a elevata intelligenza, per analisi, diagnostica, elaborazione e ottimizzazione che fondono dati provenienti da diversi canali informativi, e infine iv) servizi urbani capaci di adattare la risposta.

Il principale obiettivo di una Smart City sta nella capacità di mettere insieme gli elementi energetico-ambientali e quelli di carattere sociale come la consapevolezza energetica, la partecipazione e coesione sociale e la qualità della vita attraverso l’uso di tecnologie e di applicazioni e dell’interconnessione tra reti, ottenendo lo sviluppo di “servizi innovativi multifunzionali” che vanno dalla gestione ottimale dei consumi energetici e della rete locale, al controllo degli impatti ambientali, dagli aspetti legati alla mobilità, alla crescita educativa, alla partecipazione in ambito sociale e nella governance.

Il presente lavoro si inserisce nel progetto D.7 - SVILUPPO DI UN MODELLO INTEGRATO DI SMART DISTRICT URBANO. Il principale obiettivo del progetto D.7 consiste nello sviluppo di un modello di “distretto urbano intelligente” che coniughi aspetti tecnologici e sociali, finalizzati al miglioramento dei servizi erogabili ai cittadini in quanto più efficienti dal punto di vista energetico e funzionale.

Nel distretto è prevista, infatti, l’implementazione di tecnologie e metodologie per l’integrazione tra vettori energetici e le loro infrastrutture, la cui gestione combinata renderà il sistema più efficiente, affidabile e meno energivoro. La soluzione proposta prevede, infatti, una combinazione tra tecnologie, modelli di business e coinvolgimento dei cittadini in un approccio innovativo di rigenerazione urbana.

L’attività si focalizza sullo sviluppo integrato di infrastrutture pubbliche urbane, sistemi per la modellazione e gestione della rete energetica del distretto (Smart District), sistemi centralizzati per l’analisi dei dati provenienti dalle abitazioni ed edifici con feedback all’utente per orientarlo a un uso consapevole (smart home e smart building) e sistemi di supporto alle decisioni per la valutazione del rischio del patrimonio edilizio e delle infrastrutture.

Obiettivo finale dell’attività è lo sviluppo di un modello di Smart District come distretto urbano intelligente in cui tutti i servizi di quartiere siano gestiti in maniera ottimale, sinergica e interoperabile. Grazie alla definizione e utilizzo di specifiche standard e tecnologie open, si agevolerà la replicabilità dei modelli sviluppati come primo step di una roadmap per la realizzazione delle Smart City; di fatto si realizzerà uno strumento a servizio delle amministrazioni locali e dei cittadini per evitare il lock-in rispetto ai fornitori.

Attualmente le PA, una volta adottata una soluzione per la gestione dei servizi, si trovano vincolate nel tempo a rivolgersi allo stesso fornitore; invece il modello sviluppato a fine attività consentirà alle PA di scegliere, adottare e cambiare più agevolmente nel tempo il miglior gestore di un particolare servizio. Inoltre i modelli e le metodologie sviluppati potranno essere qualificati nella sperimentazione in un distretto urbano reale.

Uno degli obiettivi del progetto è la definizione delle specifiche della Smart Platform (task a) in grado di raccogliere e integrare tra loro i dati dai diversi ambiti applicativi: building network, lighting, smart home network, sicurezza delle infrastrutture e coinvolgimento dei cittadini. La Piattaforma ICT deve essere interoperabile e aperta per la gestione delle infrastrutture fisiche di distretto attraverso l’integrazione di applicazioni verticali relative ai servizi di distretto sviluppati nelle linee di attività D7 (smart home network,

district safety & security, smart community) e nelle altre linee progettuali dell'area D (D1- smart building, D5 - smart lighting, D8 - smart mobility). La Piattaforma ICT, denominata Smart Platform, è un livello software orizzontale, trasversale a tutte le applicazioni verticali da cui riceve i dati. Tali dati devono essere elaborati, forniti e resi fruibili dai diversi attori che interagiscono con il distretto (gestori, amministratori comunali, utenti).

All'interno di questo task si sviluppa il lavoro condotto dal Dipartimento di Informatica – Scienza e Ingegneria (DISI) dell'Università di Bologna. Il lavoro svolto consiste nell'analisi dei dati ed elaborazione delle informazioni per poter definire uno strato di interoperabilità semantica che ha come scopo quello di semplificare l'implementazione di algoritmi intelligenti facilitando la selezione e aggregazione dei dati provenienti dai diversi ambiti applicativi.

Dal momento che i dati che confluiscono sulla piattaforma possono provenire da fornitori diversi che gestiscono parti diverse dell'infrastruttura e di raccogliere informazioni provenienti da varie attività della città o del distretto, è stato previsto l'uso di uno strato semantico di interoperabilità basato su di un'ontologia. Questo è un requisito fondamentale per evitare di legare le amministrazioni cittadine, utenti ideali della piattaforma ICT di distretto, a tecnologie proprietarie di singoli fornitori. Come abbiamo detto, una Smart City può definirsi tale se gestisce e integra efficacemente informazioni che provengono da diversi ambiti applicativi della città. La combinazione di queste informazioni è spesso limitata dal modo in cui sono rappresentate tali informazioni e ai concetti a cui si riferiscono non necessariamente interpretati in maniera univoca.

Lo scopo di un'ontologia è proprio quello di appianare tali differenze al fine di facilitare l'analisi delle informazioni permettendo una più facile elaborazione automatica, e in questo caso, al fine di progettare un'infrastruttura che limiti i tempi di sviluppo e al tempo stesso faciliti il lavoro di estensione dell'ontologia stessa per favorire un'implementazione futura di nuovi servizi da integrare nella piattaforma della Smart City.

Nel seguito del documento sono descritte le attività svolte. Nel capitolo 2 verrà presentato lo scenario Smart City in cui si sta operando e i casi d'uso emersi per la piattaforma. Nel capitolo 3 si analizzeranno alcune delle ontologie esistenti che si occupano di modellare concetti legati al mondo Smart City e si analizzeranno i risultati di alcuni progetti tesi a raccogliere informazioni in ambito cittadino al fine di migliorare l'efficienza della stessa città. Nel capitolo 4 verranno gettate le basi per l'ontologia che si occuperà di gestire le informazioni all'interno della piattaforma del progetto. Nell'ultimo capitolo verranno tratte le conclusioni del lavoro svolto.

## 2 Analisi della documentazione sui casi d'uso e modellazione del dominio delle informazioni relative al Distretto Urbano

In questa sezione verrà presentato lo scenario di riferimento su cui si svolge questo lavoro di progetto, verranno poi presentati i casi d'uso su cui s'intende operare e infine si procederà all'analisi di tali casi d'uso. Il risultato di tale analisi sarà in seguito utilizzato per definire l'ontologia di riferimento utile ai nostri scopi.

### 2.1 Scenario di riferimento

Le varie infrastrutture pubbliche a disposizione della società, come quelle stradali, elettriche o di edilizia privata quali edifici e abitazioni, rappresentano un asset significativo e strategico per il sistema-Paese ma la loro manutenzione e gestione costituisce una spesa ingente nei bilanci pubblici. Ne deriva l'esigenza di valorizzare il patrimonio infrastrutturale esistente attraverso l'adeguamento tecnologico, individuando meccanismi nuovi da inserire in queste infrastrutture per aumentarne l'efficienza e ridurre il consumo di risorse nella loro gestione e manutenzione.

Ad esempio, strade e abitazioni sono alcuni dei primi ambiti d'interesse per i cittadini e le principali risorse di una città. Per cui, questi ambiti, con sensori opportunamente collocati al loro interno, sono destinati a generare una molteplicità di dati d'interesse per il gestore dell'infrastruttura, per gli utenti, per le autorità e per gli enti di pianificazione; dati che possono essere fattori abilitanti per lo sviluppo di opportunità di business innovative (ad esempio sviluppo di applicazioni software). Affinché i dati possano effettivamente svolgere il duplice ruolo, di rendere più efficiente una Smart City e promuovere lo sviluppo, devono essere verificate le seguenti due condizioni:

- devono essere effettivamente fruibili (a condizioni note)
- devono essere "aperti" (secondo modalità certe e note).

Le città, nel prossimo futuro, saranno dotate di sensori di diverso tipo che permetteranno di raccogliere costantemente informazioni sui più disparati ambiti di funzionamento delle stesse. Si pensi, a titolo di esempio, ai sensori per il traffico nei suoi vari aspetti, per lo stress dei manufatti e per le condizioni dei terreni, ai sensori meteo locali o a quelli ambientali, ai sensori per il monitoraggio di ponti, viadotti e gallerie, barriere stradali, paravalanghe, o ancora sensori di luminosità, consumo elettrico pubblico e privato di abitazioni, quartieri e vie. La tecnologia offre già oggi (e offrirà sempre più nel futuro) soluzioni a basso costo per esigenze specifiche. Per l'immediato futuro, si prevede che sia il mercato dei sensori sia quello dei servizi e delle applicazioni, crescano notevolmente [1].

Come descritto in precedenza, l'obiettivo della piattaforma è l'integrazione delle informazioni provenienti dai diversi ambiti di gestione di una Smart City. Tali informazioni possono sembrare a prima vista scollegate tra di loro perché riguardanti ambiti diversi come il traffico o il consumo elettrico. Tuttavia, se usate in combinazione tra di loro, possono portare a vantaggi di diverso tipo, tra cui il risparmio energetico ottenibile con un'attenta gestione dei consumi di un edificio o di un appartamento, azionando in maniera automatica o programmata dispositivi d'illuminazione e riscaldamento a partire dalle informazioni di movimento e degli utenti.

A questo proposito sono stati presi in analisi i casi d'uso Smart Building e Smart Home Network. In particolare, a partire dai dati di presenza delle persone all'interno di un edificio, è possibile applicare politiche di accensione d'illuminazione e fancoil per un particolare piano o stanza. Analogamente, è possibile controllare le prese elettriche per far azionare gli elettrodomestici sulla base delle preferenze dell'utente e sulle sue abitudini. Lo scopo, in questo caso, è quello di garantire un risparmio energetico impiegando delle logiche di gestione avanzata dei quadri elettrici dell'illuminazione e mantenere un confort della temperatura gestendo l'attivazione del riscaldamento/raffreddamento, in base ad abitudini e presenza effettiva degli utenti.

Nel corso della fase iniziale della ricerca ci si era focalizzati sulla possibilità di effettuare una raccolta di dati puntuale dei sensori. Infatti, l'idea iniziale era di dover raccogliere tutti i dati e le informazioni generati dai singoli sensori e presentarli all'infrastruttura di comunicazione tra i diversi ambiti della Smart City, cioè alla

piattaforma ICT oggetto dell'attività D7 (fig. 1). Durante la fase di analisi preliminare tuttavia si è convenuto che tale architettura presentasse dei problemi da diversi punti di vista. Il primo problema riguarda la necessità di dover presentare alla piattaforma ingenti flussi di dati provenienti dai diversi contesti applicativi della Smart City quali Smart Building, Smart Home Network, Smart Lighting, Smart Mobility, Smart Community e Supporto alle decisioni. Tale mole di dati avrebbe richiesto una capacità di memorizzazione, elaborazione e gestione elevata e aggiunto un'eccessiva granularità delle informazioni presenti nel sistema per gli scopi che si vogliono raggiungere.

Un altro problema che avrebbe comportato tale approccio riguarda la gestione dei dispositivi di raccolta dati (cioè i sensori stessi). Cosa sarebbe successo in caso di malfunzionamento? Cosa sarebbe successo se in base a tale malfunzionamento si fossero adottate politiche sbagliate se non addirittura dannose? Si presume che gli enti pubblici che gestiscono una Smart City e le sue infrastrutture possono concedere in gestione l'infrastruttura di controllo a enti terzi specializzati a seguito di una contrattualizzazione dei risultati che si vogliono ottenere. Quindi l'ente pubblico dovrebbe richiedere un livello di servizio al fornitore e sarebbe necessario definire dei livelli di responsabilità con conseguenti interventi volti a verificare e controllare lo stato dell'infrastruttura di sensing. Perciò è sicuramente più interessante e fattibile ottenere delle informazioni già pre-elaborate a partire dai sensori presenti sul territorio.

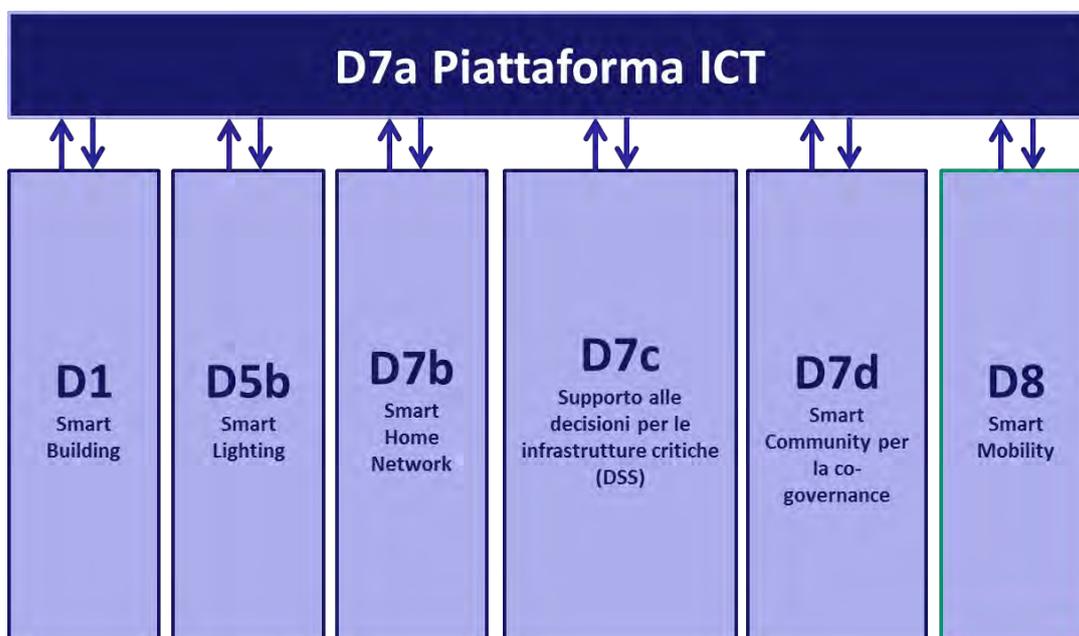


Figura 1. Relazione tra Piattaforma ICT e Contesti Applicativi

## 2.2 Definizione dei Casi d'Uso

I casi d'uso definiti riguardano la raccolta e l'uso di dati provenienti dagli ambiti definiti in fig. 1. Lo scopo principale è lo scambio e integrazione di dati al fine di aumentare l'efficienza nella gestione della città. In particolare, il focus principale è stato sulla gestione energetica. Ad esempio, attraverso uno scambio di informazioni tra i contesti smart lighting e smart mobility sarebbe possibile illuminare la strada durante la notte in funzione del traffico corrente o del traffico atteso. Si potrebbe operare attraverso una riduzione d'intensità della luminosità delle lampade dei pali della luce o attraverso configurazioni di acceso/spento dei pali stessi, garantendo comunque un livello di luminosità minimo prescritto dall'amministrazione comunale. Discorsi analoghi possono essere effettuati per la gestione energetica domestica e la pianificazione dell'approvvigionamento energetico di una particolare zona.

La raccolta dati può essere effettuata nei modi più disparati, ad esempio usando dispositivi statici presenti sulla strada come sensori di pressione, spire induttive o fotocellule, oppure telecamere posizionate su pali nei pressi della strada. In ambito domestico si potrebbero attuare dei controlli sul consumo energetico per

il riscaldamento e il raffrescamento dell'ambiente basati sulla presenza fisica di persone nell'edificio o nell'unità abitativa attraverso sensori di presenza volumetrici o di altro tipo.

Un'altra alternativa all'utilizzo di dispositivi statici potrebbe essere l'uso di dispositivi personali degli utilizzatori della strada (cioè i cittadini) che inviano in modo manuale o automatico informazioni sul traffico attraverso la pratica nota come crowdsensing. Si dovrebbe quindi prevedere la creazione di piattaforme d'interazione per un uso appropriato delle informazioni provenienti dagli utenti, eventualmente anche attraverso sistemi di comunicazione diretti o semidiretti (mediati dai guidatori/viaggiatori) con i veicoli. Oltre a queste tecniche, si può prevedere che in futuro se ne possano affiancare altre come ad esempio l'informazione ottenuta direttamente dai veicoli (usando un'apposita piattaforma di comunicazione V2I (Vehicle to Infrastructure) e/o i metodi di comunicazione convenzionali).

Alla raccolta dati deve essere affiancata una fase di analisi degli stessi e per fare questo si prevede di realizzare una prima analisi dei dati internamente all'applicazione verticale. La progettazione, inizialmente, ipotizzava la definizione di una piattaforma focalizzata al recupero e alla memorizzazione di tutti i dati provenienti dai diversi contesti applicativi, fornendo inoltre una serie di servizi utente e divenendo così il nodo principale per la gestione centralizzata del distretto. Un approccio di questo tipo è più idoneo per una piattaforma per la singola Facility, dove la responsabilità è centralizzata. Al contrario, uno Smart District richiede, per sua natura, un approccio distribuito al fine di ottenere una gestione migliore delle differenti Utility della città. È stata comunque individuata la necessità di una modularità dei contesti applicativi e di un collettore di più alto livello, per questo è stata individuata l'impostazione schematica (presentata in fig. 1) con:

- Contesti Applicativi verticali e indipendenti;
- Piattaforma ICT orizzontale e trasversale.

Ogni contesto applicativo deve gestire internamente le proprie politiche, ciò che è vincolante è il set di requisiti minimi per connettersi alla Piattaforma ICT, costituito da:

- capacità di esportazione/importazione UKAI (Urban Key Application Indicator);
- rappresentazione degli UKAI pubblici in formato aperto e condiviso;
- trasporto degli UKAI pubblici tramite canale di trasporto aperto e condiviso;
- adesione al protocollo di connessione/disconnessione dalla piattaforma.



Figura 2. Modello del Contesto Applicativo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Per ulteriori approfondimenti sul Modello del Contesto Applicativo e sugli UKAI si veda il Report RdS/PAR2015/014

Di conseguenza, gli UKAI non sono altro che il frutto di una elaborazione (proiezione, astrazione, aggregazione, validazione) del contenuto informativo raccolto dai sensori del particolare contesto applicativo (fig. 2). L'elaborazione del contenuto ha lo scopo di:

- ottenere dati derivati;
- integrare le osservazioni con ulteriori fonti complementari;
- realizzare estensioni spaziali o proiezioni temporali;
- verificare/validare la qualità dei dati allo scopo di migliorarne l'affidabilità.

La misura e osservazione consistono nell'identificazione sistematica e nella rappresentazione organica e accessibile delle seguenti categorie di dati:

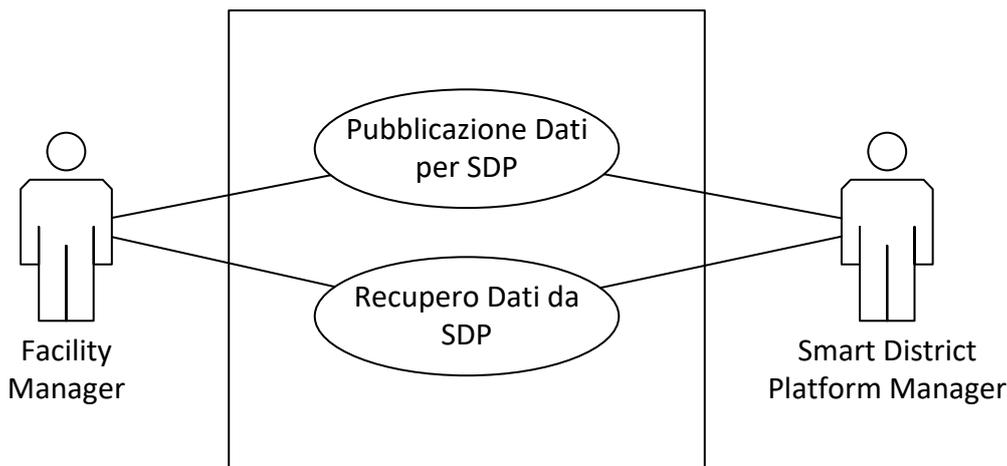
- caratteristiche statiche delle infrastrutture di raccolta dati (es.: geometria, posizione, vincoli di operatività, ecc.);
- caratteristiche dinamiche delle infrastrutture (es.: stato di salute, durata dell'operatività, ecc.);
- dati raccolti dalla rete di sensori (es.: dati grezzi come singolo passaggio di un veicolo con timestamp, tipologia dei veicoli inquadrati in una telecamera, assorbimento istantaneo di corrente rilevato da uno smart meter posizionato a monte di un gruppo di lampioni d'illuminazione pubblica, ecc.).

I soggetti gestori delle diverse infrastrutture sono tenuti all'elaborazione del contenuto informativo di tali misure e osservazioni, nonché alla loro storicizzazione ed eventualmente alla realizzazione dell'estensione temporale con stime e previsioni almeno nel breve termine, alla validazione della qualità dei dati raccolti ed elaborati e, infine, garantire l'accesso a tutto il contenuto informativo disponibile in modo fruibile per la Piattaforma ICT e con lo scopo di realizzare un content-provider minimo.

La predisposizione dei servizi informativi consiste nella trasformazione dei dati disponibili nel sistema dei content-provider in informazioni fruibili da parte di utenti finali. Occorre definire gli obiettivi dell'informazione, il target di utenti finali, il contesto, le modalità di fruizione, il canale di distribuzione, la frequenza di aggiornamento, ecc. Lo scopo è di abilitare un vasto ecosistema tecnologico favorevole allo sviluppo di servizi avanzati per gli utenti finali. Si ricorda che l'accesso al sistema dei content-provider dovrebbe avvenire secondo le regole degli open-data.

### **2.3 Descrizione dei Casi d'Uso**

Dallo studio dei casi d'uso, realizzato da ENEA, è risultato che la principale interazione tra i diversi contesti applicativi e la piattaforma Smart District riguarda il recupero e la pubblicazione dei dati sulla piattaforma principale come mostrato in fig. 3. Questo caso d'uso si applica a tutti i contesti applicativi. I singoli contesti hanno dei casi d'uso interni specifici attraverso cui operano per raccogliere dati e per migliorare l'efficienza dell'ambito di attività. Ciascun contesto è strutturato con una propria piattaforma che gestisce i dati e le informazioni che gli competono.



**Figura 3. Casi d’uso per l’interazione Contesto Applicativo – Smart District Platform**

Di seguito è mostrato il dettaglio del caso d’uso presentato con una breve descrizione delle operazioni svolte.

ID	Nome Caso d’uso
Dx.1	Pubblicazione Dati per la Smart District Platform
<b>Obiettivo</b>	
Pubblicazione Dati (aggregati e non) da parte della piattaforma dello specifico contesto applicativo (aggregatore) per l’acquisizione da parte della Smart District ICT Platform.	
<b>Descrizione</b>	
Il caso d’uso descrive la pubblicazione da parte dell’aggregatore dei dati, aggregati e non, relativi allo specifico contesto applicativo, che saranno recuperati e acquisiti nella piattaforma ICT del distretto (Smart District Platform) e saranno così resi pubblici a tutti i contesti applicativi verticali che vorranno usufruirne, in linea con l’architettura di massima definita per la Smart District Platform (task D7a).	

Attore	Descrizione
Facility Manager	Aggregatore dei dati ad alto livello del contesto applicativo.
Smart District ICT Platform	Piattaforma ICT di distretto.

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione
Dati (aggregati e non)	Public	Public	Smart District Platform	Ogni Contesto Applicativo verticale connesso alla Smart District Platform

Di seguito vengono presentati in maniera più dettagliata i casi d’uso del sistema e oggetto dell’analisi. I diversi Contesti Applicativi si occupano di raccogliere i dati e di elaborarli al fine di esporre alla Piattaforma i dati elaborati sotto forma di UKAI e infine di eseguire una logica di gestione sulla base delle informazioni ottenute dagli altri Contesti Applicativi attraverso la piattaforma (fig. 4). In questo documento ci focalizzeremo sulla gestione dei dati tra i diversi applicativi e di un’eventuale loro recupero da parte di entità esterne alla Piattaforma.

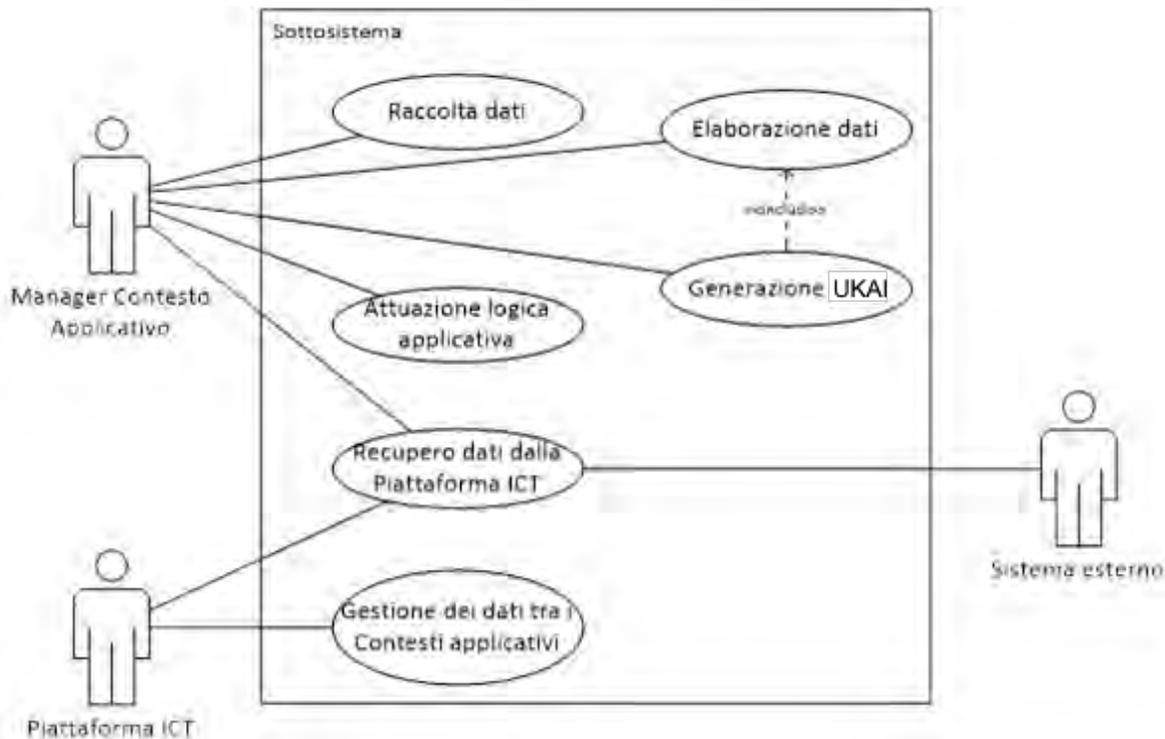


Figura 4. Casi d'uso della piattaforma

Attore	Descrizione
Manager Contesto Applicativo	Il Contesto Applicativo è un’infrastruttura di gestione di un aspetto della Smart City. Si occupa di raccogliere dati, elaborarli e aggregarli con lo scopo di fornire degli UKAI per la piattaforma e per gli altri Contesti Applicativi. Confronta i propri dati con quelli degli altri Contesti allo scopo di implementare politiche di attuazione per migliorare le prestazioni della Smart City.
Piattaforma ICT	Piattaforma che si occupa della distribuzione dei dati tra i diversi Contesti e che fornisce un livello d’interoperabilità semantica allo scopo di facilitare lo scambio dei dati tra i vari Contesti e verso l’esterno attraverso la fornitura di Open Data.
Sistema esterno	Sistema che interroga la Piattaforma ICT per il recupero di dati prodotti dalla Smart City, per fornire servizi esterni a quelli implementati dalla piattaforma stessa.

ID	Nome Caso d’uso
D7.1	Gestione dati tra i Contesti Applicativi
<b>Obiettivo</b>	
Distribuire le informazioni provenienti dai vari ambiti della città per permettere la loro integrazione e l’applicazione di politiche complesse di gestione delle infrastrutture.	
<b>Descrizione</b>	
Flusso dati relativi al monitoraggio dei diversi Contesti Applicativi e distribuiti sotto forma di UKAI. I sensori possono essere di vario tipo e il Contesto Applicativo si occupa di raccogliere ed elaborare i dati per fare in modo di riportare valori coerenti per gli UKAI. I dati vengono inviati al Server dedicato del Contesto Applicativo e qui vengono immagazzinati e resi disponibili per il recupero tramite chiamata a web service	

mappandoli nell'ontologia di riferimento.

La Piattaforma ICT di acquisizione dati utilizza il web service per recuperare i dati in oggetto, li immagazzina nel proprio database di acquisizione e:

- avvia logiche di monitoraggio e diagnostica su tali dati;
- distribuisce i dati ai servizi che ne fanno richiesta.

I Verticali che ricevono i dati prodotti da altri possono decidere di applicare regole di gestione per ottimizzare le politiche da applicare.

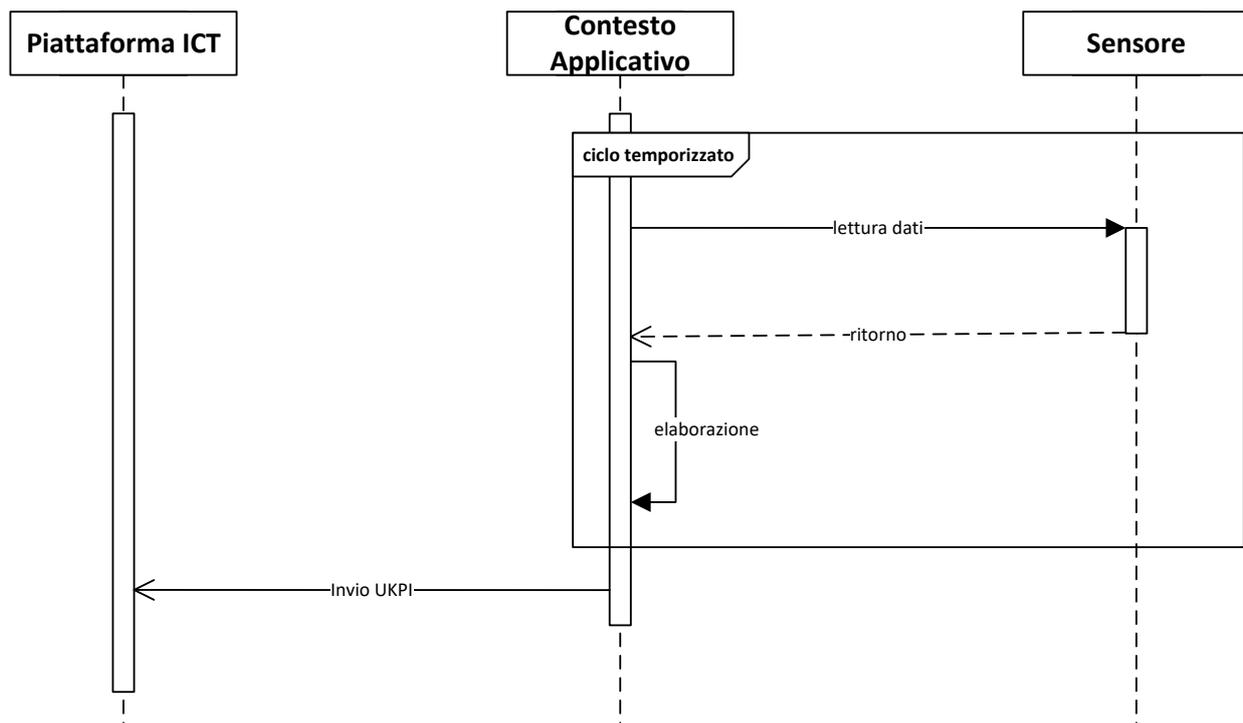


Figura 5. Raccolta dati, elaborazione e pubblicazione degli UKAI

ID	Nome Caso d'uso
D7.2	Recupero dati dalla Piattaforma ICT
<b>Obiettivo</b>	
Fornire le informazioni immagazzinate nella Piattaforma ai Contesti Applicativi e ai Sistemi esterni che li richiedono.	
<b>Descrizione</b>	
Un Contesto Applicativo o un sistema esterno richiede i dati relativi ad alcuni UKAI. La Piattaforma ICT: - riceve la richiesta; - provvede a fornire i dati richiesti ai richiedenti.	

Tutti i contesti applicativi prevedono una raccolta dei dati da sensori specifici. I gestori dei contesti, una volta elaborati e aggregati su base temporale e spaziale i dati raccolti, effettuano l'invio alla piattaforma centrale (fig. 5). In tal modo i dati sono disponibili a chi ne fa richiesta (fig. 6) al fine di applicare delle politiche di gestione più efficienti.

I dati aggregati possono essere resi disponibili anche all'esterno della piattaforma al fine di favorire la diffusione di tali informazioni per la creazione di servizi di terze parti a partire da dati aperti (fig. 7).

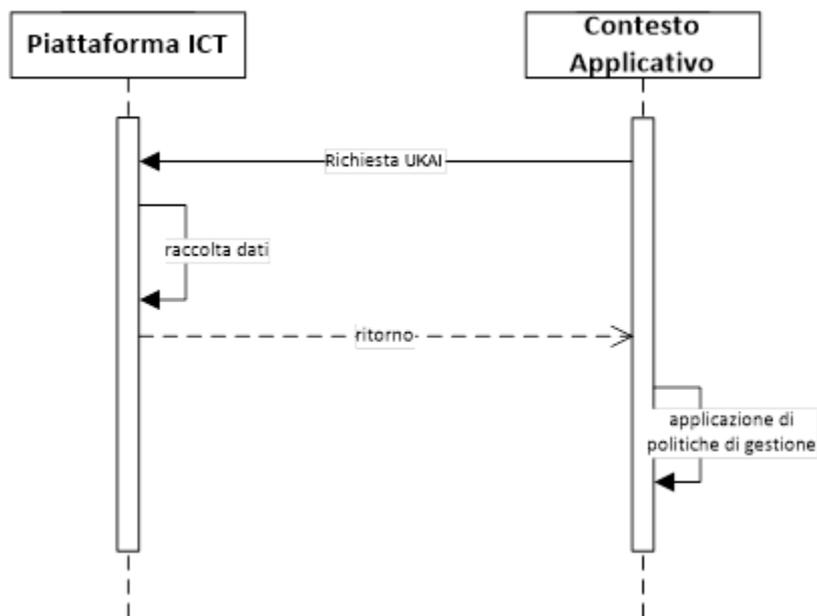


Figura 6. Richiesta di UPKI aggiornati da parte di un Contesto Applicativo per decidere politiche di gestione

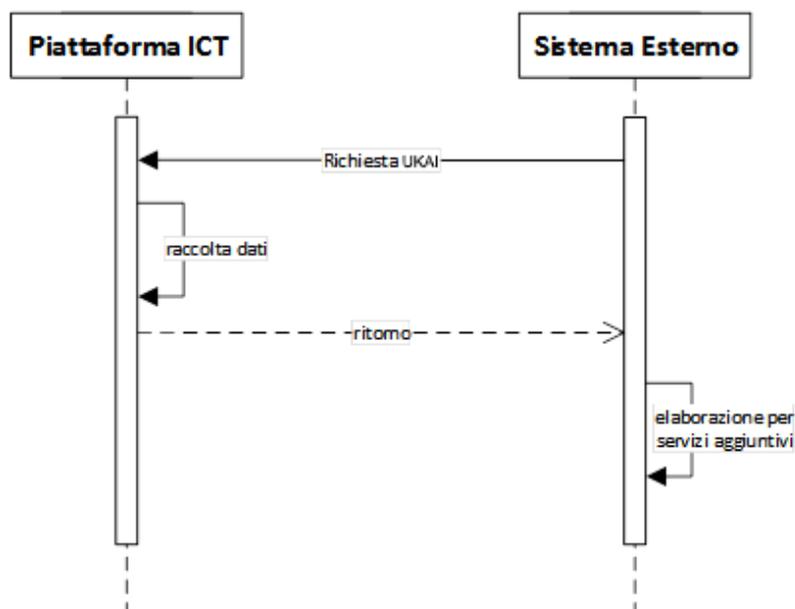


Figura 7. Richiesta di UPKI aggiornati da parte di un Sistema esterno per fornire servizi aggiuntivi ai cittadini

## 2.4 Vantaggi dell'uso di un'ontologia

Il lavoro che la Piattaforma ICT deve svolgere è quello di mediatore delle informazioni. In particolare, deve rendere efficiente lo scambio di informazioni tra i diversi contesti applicativi che s'interfacciano con essa. In

questo punto può sorgere un problema d'interoperabilità. L'uso di differenti linguaggi, paradigmi e strumenti software causano limitazioni all'interoperabilità e al potenziale riuso del software. A lungo termine questo conduce alla perdita di tempo nel dover riscrivere il software. Infatti se i differenti contesti applicativi operano attraverso formati diversi, possono sopraggiungere problemi riguardanti l'estrapolazione di dati dai differenti formati. In una situazione del genere renderebbe necessario del lavoro aggiuntivo per le piattaforme dei diversi contesti applicativi al fine di poter interpretare i formati degli altri gestori. La situazione diventerebbe ancora più grave se il formato di un contesto dovesse cambiare a seguito del cambio di un gestore dei dispositivi del contesto.

Un modo per affrontare questo problema è attraverso la riduzione o l'eliminazione della confusione terminologica e con una conoscenza e una terminologia condivisa attraverso un framework unificante fra le diverse parti interagenti che funga da base per l'interoperabilità tra sistemi realizzati con differenti modelli, paradigmi e linguaggi di programmazione. Porterebbe benefici dal punto di vista dell'affidabilità, in quanto una rappresentazione formale renderebbe automatico il controllo della consistenza e quindi il software più affidabile. Una conoscenza condivisa può essere utile nel processo di identificazione dei requisiti e definizione di una specifica per sistemi IT; può essere utile anche per la definizione formale delle entità importanti e delle loro correlazioni. Questa rappresentazione formale può essere un componente riusabile in un sistema software [2].

Un'ontologia può essere utilizzata come base comune, come framework unificante per risolvere i problemi descritti in precedenza. Essa giocherebbe un ruolo molto importante nella comunicazione fornendo disambiguazione delle definizioni dei termini utilizzati dentro i software. Un'ontologia fornisce una specifica dichiarativa del sistema software che permette di ragionare a ciò per cui il sistema è progettato piuttosto per come il sistema supporta una funzionalità. Un'altra caratteristica importante è la sua riusabilità. Un'ontologia fornisce una libreria di classi, per modellare problemi, facile da riutilizzare. L'ontologia stessa può riutilizzare parti definite da altre ontologie e la sua diffusione renderebbe ancora più semplice l'integrazione e la comparazione di dati prodotti, ad esempio, dalle piattaforme ICT di due diverse Smart City [2].

L'uso di un'ontologia favorisce l'interoperabilità e l'integrazione in ambienti aperti e grandi. Inoltre permette la scalabilità dei servizi [3]. Ad esempio, nel caso in cui si sentisse la necessità di aggiungere un nuovo contesto applicativo, questo potrebbe essere integrato molto più facilmente rispettando le specifiche dell'ontologia e limitando, così, i costi e la complessità che ci sarebbero stati senza di essa [4]. Un problema simile potrebbe verificarsi nel caso si dovessero ricontrattare i dati prodotti dai fornitori che si occupano dei contesti. In questo caso la ridefinizione dei dati sarebbe molto più semplice e l'integrazione, nel resto della piattaforma, dei nuovi dati sarebbe molto più immediata in quanto la struttura non sarebbe cablata nel codice della piattaforma.

L'utilizzo di tecnologie standard per la definizione dell'ontologia, come quelle definite dal World Wide Web Consortium (W3C), permette di avere disponibili tutta una serie di protocolli e linguaggi da usare per la comunicazione. Tali strumenti facilitano lo sviluppo di nuove applicazioni, rendono immediata e automatizzabile la verifica di aderenza al formato di comunicazione e favoriscono la scoperta automatica della struttura dei dati e del significato degli stessi, attraverso l'organizzazione dei concetti in una gerarchia e il collegamento con informazioni correlate, rendendo automatica anche la generazione della documentazione relativa.

Un ulteriore vantaggio che può apportare l'uso di un'ontologia è la possibilità di definire, in maniera semplice, regole per generare nuove informazioni in maniera autonoma con degli appositi strumenti software. Infatti, esistono diversi meccanismi e linguaggi che permettono di definire regole per ottenere nuove informazioni a partire dai dati memorizzati nella base di conoscenza. Nel caso di una Smart City, sarebbe possibile, ad esempio, calcolare informazioni di consumo in una particolare zona. In dettaglio, ricevendo, dai diversi Contesti Applicativi, informazioni di consumo elettrico, si possono selezionare i dati relativi a un distretto in uno specifico intervallo temporale ed eventualmente applicare in automatico regole di conversione delle unità di misura, al fine di valutare l'efficienza del distretto. Ad esempio, si

potrebbero raggruppare le informazioni di consumo dei lampioni della smart lighting con quelle degli edifici dei contesti verticali relativi a Smart Building e Smart Home con eventuale futura integrazione delle informazioni di consumo delle colonnine di ricarica per auto elettriche della città del domani. Tale valutazione potrebbe essere comparata con altre informazioni presenti in un database, eventualmente strutturato anch'esso secondo i formati del web semantico, dell'amministrazione cittadina al fine di normalizzare la valutazione dell'efficienza usando come riferimento il numero di abitanti della zona o il numero di edifici e abitazioni. Ciò permetterebbe di definire degli indici di performance cittadini e comparare i risultati con i diversi distretti della città stessa.

L'ontologia, in questa logica, permette la semplificazione del processo di aggiunta di nuove logiche, dovuta alla loro natura dichiarativa e non essendo cablate nel codice della piattaforma. Le regole possono essere definite in qualunque momento futuro in base a necessità che possono presentarsi e che non sono necessariamente prevedibili. Inoltre possono essere modificate, riviste ed eliminate. Questo permette di venire incontro alla natura dinamica di una Smart City.

La ricerca sulla definizione delle regole e dei loro meccanismi è ancora in una fase evolutiva piuttosto dinamica. Questa intensa attività di ricerca è spinta anche dal W3C, con lo scopo di integrare le tecnologie di base del web semantico con sistemi per la rappresentazione e la gestione di sistemi di regole. Lo scopo è affrontare, in modo sempre più efficiente, problemi e casi d'uso sempre di maggiore interesse per i progettisti software-Ciò ci permette di essere ragionevolmente ottimisti sulla centralità che può avere in futuro un'ontologia all'interno di un sistema software come la Piattaforma ICT al centro di questo progetto.

Nel capitolo successivo si esploreranno i possibili usi di un'ontologia in ambito Smart City. Si analizzeranno, pertanto, lavori e progetti che fanno uso di un'ontologia per lo scambio e organizzazione dell'informazione al fine di comprendere come integrare e in che forma, tale tassello all'interno della Piattaforma ICT.

### 3 Analisi delle ontologie esistenti

L'architettura di riferimento ipotizzata per la Piattaforma ICT prevede, tra le altre cose, un approccio modulare e un set di specifiche aperte. Lo scopo di tali richieste è quello di fornire soluzioni replicabili e sostituibili. Per permettere che i dati prodotti possano essere interpretabili da processi che elaborano automaticamente le informazioni, è necessario che tali dati siano strutturati e definiti senza ambiguità. Per raggiungere tale risultato, l'uso di un'ontologia che definisca tali concetti è ritenuto un passaggio fondamentale.

Nell'attività di definizione e creazione dell'ontologia, la fase iniziale è stata incentrata sull'analisi e l'esplorazione delle ontologie esistenti che trattassero l'argomento delle smart city sotto vari aspetti. In particolare, si è partiti dall'analisi dei progetti presenti nel portale *smartcity.linkeddata.es*<sup>2</sup> del progetto READY4SmartCities FP7 CSA [5], il cui scopo è di incrementare consapevolezza e interoperabilità per l'adozione di tecnologie semantiche in ambito energetico per ridurre consumi ed emissioni di CO<sub>2</sub> a livello di comunità di smart city. Nel portale sono raccolte diverse ontologie per i servizi più disparati relativi a una smart city.

Gli argomenti coperti dalle varie ontologie presenti variano da sistemi di smart building ad aeroporti, da materiali da costruzione a descrizioni di processi, da descrizione di ambienti di domotica ai sistemi catastali e di descrizione di informazioni geografiche. Le ontologie presenti sono anche di varia natura: da quelle più generiche e di alto livello, fino a quelle più specifiche e di dominio.

L'analisi è iniziata osservando le caratteristiche di ontologie sviluppate allo scopo di organizzare dati provenienti da sensori di diverso tipo ipoteticamente distribuiti all'interno di una smart city.

#### 3.1 Formato di rappresentazione delle ontologie

Col termine ontologia ci si riferisce a un sistema per descrivere il modo in cui diversi schemi vengono combinati in una struttura dati contenente tutte le entità rilevanti e le loro relazioni in un dominio. Un'ontologia per il Web è costituita da una tassonomia, da un insieme di relazioni fra gli elementi della tassonomia e da un insieme di regole d'inferenza. La tassonomia definisce una classificazione gerarchica di oggetti. Classi, sottoclassi e relazioni fra entità sono strumenti molto potenti. Si può esprimere un grande numero di relazioni fra entità assegnando proprietà a classi e permettendo alle sottoclassi di ereditarle. Per esempio, uno studente può essere definito come un tipo di persona e una matricola può essere definita come applicabile solo a oggetti di tipo studente.

In questo modo è possibile combinare informazioni presenti su database diversi memorizzati con nomi diversi, ma che in realtà identificano la stessa categoria logica. Idealmente, una macchina, grazie all'utilizzo di un'ontologia comune, sarebbe in grado di scoprire e individuare quest'uguaglianza di significati per qualsiasi database incontrasse.

Tuttavia possono sorgere problemi, se si cerca di aggregare informazioni provenienti da sorgenti diverse che fanno uso di ontologie diverse. Questo problema può essere risolto attraverso l'uso di relazioni di equivalenza in una o entrambe le ontologie.

In ambito di Web Semantico, i concetti sono identificati univocamente con gli URI (Uniform Resource Indicator), mentre i vocabolari dei termini sono utilizzati per descrivere le relazioni tra le risorse. Queste descrizioni rappresentano lo schema dell'informazione e forniscono le indicazioni utilizzate dai Linked Data per rappresentare l'informazione. I vocabolari, a loro volta, sono descritti sotto forma di Linked Data.

Un'ontologia usa un certo numero di elementi di base per descrivere i dati e le loro relazioni, ovvero Class, Individuals e Property. L'espressività di un'ontologia varia in funzione della definizione che viene data di Class e Property, per cui è possibile ottenere una descrizione della struttura dei dati con complessità diverse, ovvero OWL Lite, OWL DL, OWL Full.

---

<sup>2</sup> <http://smartcity.linkeddata.es/>

Le regole d'inferenza rappresentano uno strumento molto potente: esse consentono di estrarre nuova informazione a partire dai dati disponibili. Per eseguire tale processo, tuttavia, risulta necessario un query engine.

Resource Description Framework (RDF) è una specifica del W3C rilasciata nel 1999. Progettato per l'elaborazione di metadati web, RDF fornisce una piattaforma di interoperabilità tra applicazioni web che scambiano informazioni comprensibili dalle macchine. Il framework facilita l'elaborazione automatica delle informazioni e può essere utilizzato in diverse aree di applicazione: nella ricerca di risorse (*resource discovery*), per migliorare le capacità dei motori di ricerca, per descrivere il contenuto e le relazioni disponibili in un particolare sito web, pagina o digital library, per facilitare condivisione e scambio di conoscenza tramite gli agenti intelligenti, nella valutazione del contenuto, nella descrizione di collezioni di pagine che rappresentano un singolo documento *logico*, nella descrizione del copyright di pagine web, per esprimere le preferenze di un utente, per la gestione della privacy di un sito.

RDF Schema (RDFS, noto anche come RDF vocabulary description language) è un'estensione semantica per RDF introdotta con lo scopo di descrivere le ontologie. Fornisce un meccanismo di base per descrivere gruppi di risorse collegate tra loro e le relazioni tra le stesse risorse. È in grado di definire concetti e relazioni, e di definire vocabolari di termini per modellare specifici domini attraverso il linguaggio RDF stesso.

RDFS è basato su un set di classi e proprietà di default con cui è possibile specificare altre classi e proprietà e specificare, così, un vocabolario completo. Il vocabolario costruito deve definire tutti i possibili concetti e tutte le relazioni tra i concetti, con lo scopo di poter costruire una struttura adatta a descrivere correttamente l'ambito informativo che si vuole modellare.

RDF Schema è uno strumento che consente (in modo molto basilare) di definire vocabolari RDF, tuttavia in alcuni casi può essere utile utilizzare altri linguaggi che forniscono qualche capacità in più. Alcune di queste capacità sono state raccolte all'interno di Web Ontology Language (OWL). Si tratta di un altro importante pezzo per la costruzione del Web Semantico.

OWL è una raccomandazione W3C per la creazione di ontologie da utilizzare per di descrivere il significato semantico dei dati. OWL presenta strumenti più espressivi di RDFS, di cui ne costituisce un'estensione, per esprimere le informazioni semantiche.

Tale formato è, di fatto, quello più utilizzato per la rappresentazione delle ontologie, le quali hanno avuto una forte spinta con la diffusione dei concetti di web semantico e dei formati che sono sopraggiunti in quel periodo sotto la spinta del W3C. Per questo motivo tutte le ontologie analizzate usano questo modello di rappresentazione così come il prodotto di questo lavoro è stato rappresentato secondo tale specifica.

### 3.2 Ontologie su raccolta di dati da sensori

La ricerca è partita osservando ontologie che modellano la raccolta dati da sensori. All'interno del portale *smartcity.linkeddata.es*, anche tra le ontologie di tale dominio, ne sono presenti di diversi tipi: sia quelle generiche e di più alto livello, sia quelle più specifiche.

Tra quelle di più alto livello è presente la Semantic Sensor Network Ontology sviluppata da W3C [6]. Come descritto dagli autori stessi, tale ontologia è intesa come una struttura generale per descrivere sensori e osservazioni e si prefigge di descrivere concetti di tale dominio assieme a tempo, posizione o altro attraverso l'import di altre ontologie, facendo uso dei concetti di base già descritti.

Tale ontologia è suddivisa in moduli che modellano diversi aspetti del dominio: da una descrizione generica dei dispositivi ed eventi fino a oggetti per descrivere il deployment, l'osservazione dei valori e la capacità di raccolta dati di output dei sensori, il processo di sensing o vincoli di operatività. Quest'ontologia definisce lo Stimulus-Sensor-Observation design pattern (fig. 8) per le ontologie, il quale tende a definire un numero minimo di concetti e relazioni centrate intorno ai concetti di stimolo (cambio osservabile nell'ambiente), osservazione (connessione tra stimolo, sensore e output del sensore) e sensore (oggetto fisico che esegue

l'osservazione). Inoltre, tale ontologia è allineata alla **DOLCE-Ultralight Ontology** [7], un'ontologia generale (upper ontology) con l'obiettivo di catturare categorie ontologiche che sottostanno al linguaggio naturale e al senso comune umano.

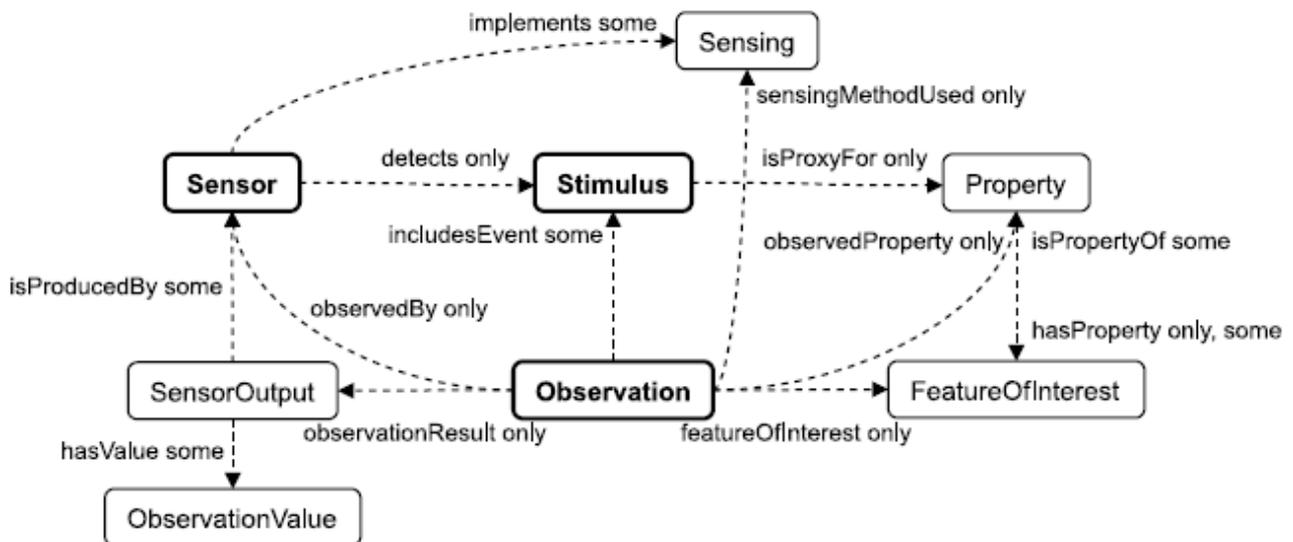


Figura 8. Stimulus–Sensor–Observation Pattern

Oltre a tale ontologia, ne sono state definite altre che estendono la Semantic Sensor Network Ontology a titolo esemplificativo al fine di definirne l'uso con casi reali e specifici, dove naturalmente alcune entità e proprietà definite sono sottoclassi di altre, definite nella Semantic Sensor Network Ontology. Ad esempio:

- **Agriculture Meteorology** [8]: descrive la raccolta dati in ambito meteorologico a partire da Semantic Sensor Network Ontology, con lo scopo di misurare valori atmosferici definendo sensori, unità di misura usati e caratteristiche come superfici, tipo di terreno, precipitazione e vento.
- **Meteorological Sensors** [9]: è una sotto sezione di Agriculture Meteorology e presenta un insieme di classi atte a descrivere dei sensori che operano in campo meteorologico. I sensori sono raggruppati in base alla misura che eseguono e distinti per la modalità di esecuzione del sensing (es. la classe WindSensor ha come sottoclasse WindVane, Pressure tube anemometer, UltrasonicWindSensor, ecc., ovvero la rappresentazione di diverse tipologie di sensori atti a calcolare la velocità del vento).
- **Wind Sensor** [10]: tale ontologia descrive un modello specifico di sensore per misurare il vento, quindi le sue capacità, vincoli di operatività e di alimentazione necessaria.
- **Stimulus-WSNnode-Communication Pattern** [11]: si tratta di un'ulteriore estensione della Semantic Sensor Network Ontology in cui si cerca di modellare una rete WSN. Oltre a una definizione dei tipi di sensori in gioco, vengono aggiunti anche i concetti che modellano la comunicazione dei dati oltre che la raccolta dei dati, visti i limiti operativi che devono affrontare le WSN e le policy per gestirli. Vengono quindi differenziati i data stream in Acquisitional e Communication.

**Stream Annotation Ontology** [12] è un'altra ontologia progettata per essere applicata a stream di dati e definita all'interno del progetto CityPulse [13]. Lo scopo del progetto è il supporto e l'integrazione di sorgenti di dati dinamiche e processi di elaborazione facendo da ponte tra le applicazioni e gli stream di dati provenienti da sensori. Per raggiungere quest'obiettivo è stato creato un framework distribuito per la ricerca semantica di informazioni e l'elaborazione di una grossa quantità di dati real-time da sensori IoT (Internet of Things) e social stream per estrarre informazioni in un ambiente cittadino. È stato creato un framework che effettua un'annotazione semantica ai dati in arrivo dalle diverse sorgenti. L'annotazione semantica è realizzata mediante configurazione di dati provenienti da diversi sensori in modo da

aggiungere informazioni per annotare i dati (ad esempio posizione del sensore, informazioni sul tipo di dato raccolto, ecc.) o configurare servizi esterni per aggiungere tali informazioni (ad esempio a partire dalla posizione risalire al nome del luogo attraverso geonames). Il framework include, oltre al sistema di annotazione semantica, anche strumenti per accedere ai diversi formati di dato in arrivo e organizzarli secondo i vari casi d'uso, un middleware di comunicazione in ambienti distribuiti di tipo pub/sub, un meccanismo di fault tolerance nel caso di malfunzionamenti dei sensori o, sulla base di strategie predefinite, di risoluzione di conflitti informativi in seguito ad analisi di dati.

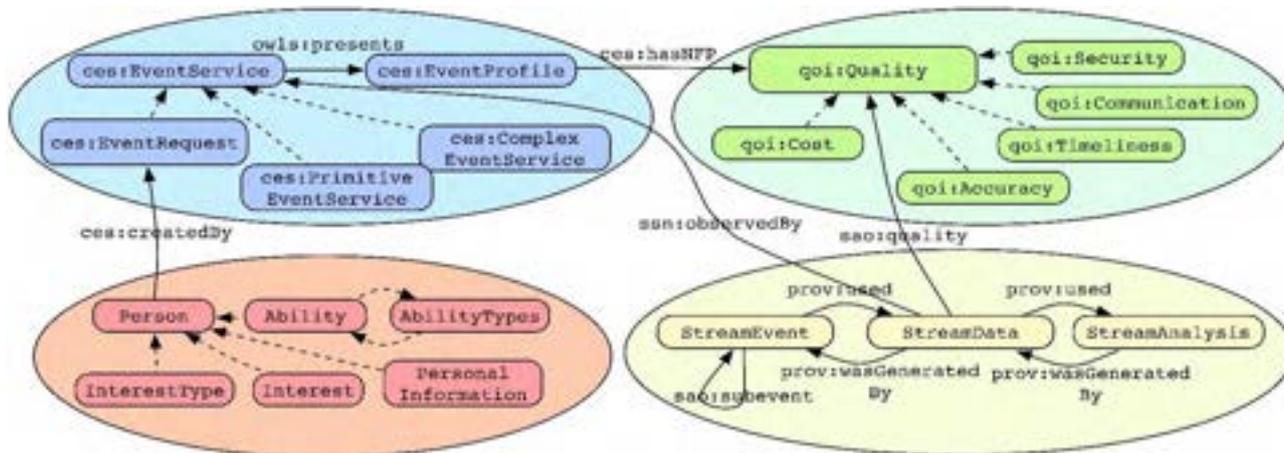


Figura 9. Stream Annotation Ontology

L'ontologia adotta il concetto di evento e definisce il concetto di StreamEvent (fig. 9). Si collega, inoltre, alla Semantic Sensor Network Ontology, in particolare alla sezione Observation, attraverso il concetto di StreamData che permette l'osservazione del flusso in istanti di tempo o segmenti di tempo.

Altre ontologie: le altre ontologie nel portale *smartcity.linkeddata.es* sono per lo più limitate sia nel numero di concetti e proprietà sia nelle relazioni tra di loro. Si focalizzano per lo più in ambiti molto ristretti e specifici. Di seguito si riporta una breve descrizione:

- **BOnSAI:** focalizzata sull'idea di smart building localizzando i sensori all'interno di stanze e vani, modella anche l'idea di attuatore oltre che di sensore, che quindi agisce su di un dispositivo domestico.
- **SmartBuilding:** descrive il funzionamento di dispositivi interconnessi per la gestione di un appartamento. Molto limitata in concetti e proprietà; inserisce il concetto di allarme.
- **Smartcode:** presenta una classificazione per i dispositivi che utilizzano energia, questi prodotti hanno parametri di sensing e sono caratterizzati da una strategia di gestione energetica
- **WeatherOntology:** definisce la posizione dei sensori come coordinate geografiche, descrive con maggior cura i fenomeni atmosferici e le previsioni metereologiche.

### 3.3 Progetto City Protocol

Il progetto **City Protocol** [14] è un progetto collaborativo, condotto dalla città di Barcellona, il cui obiettivo è la creazione di un sistema comune per le città e lo sviluppo di protocolli che permettano innovazione attraverso l'interazione tra diversi settori e ambiti della vita cittadina e con il fine di creare un'interconnessione tra le città. Tale ricerca viene intrapresa attraverso la definizione di una piattaforma di interoperabilità per poter affrontare in maniera olistica l'organizzazione e i problemi della città.

Il progetto prevede la definizione di un'ontologia fondamentale<sup>3</sup> che definisca una struttura della città attraverso la definizione di concetti di base e generali per le diverse attività della città sia dal punto di vista infrastrutturale che sociale, economico o ambientale.

In particolare, l'ontologia definita in questo processo contiene i concetti di indicatori della città, calcolati a partire dai dati raccolti da sensori attraverso il sistema di interazione definito come "Information Platform".

Il progetto prevede la definizione di ulteriori ontologie che si focalizzino su settori specifici. In particolare **City Anatomy Indicators**<sup>4</sup> e **Open Sensor Platform**<sup>5</sup>.

Tale ontologia fa uso anche di altre ontologie per descrivere altri concetti importanti, usati per connotare le attività della città e le informazioni raccolte. A tale scopo sono presentate diverse ontologie tra cui quelle definite per descrivere luoghi geografici, per descrivere i valori numerici usati per le diverse informazioni della città e per descrivere informazioni relative allo scorrere del tempo. Nel documento "A Foundation Ontology for Global City Indicators"<sup>6</sup>, adottato dal progetto City Protocol, sono descritte alcune di queste ontologie tra cui **Schema.org**, che contiene concetti relativi a tipologie di luoghi come sc:Country, sc:City o sc:GeoCoordinates e sc:GeoShape, mentre **Linkedgeodata.org** contiene concetti collegati a edifici e alla loro tipologia come gd:neighborhood, gd:building, gd:hospital o gd:airport. Il progetto **GeoNames**, invece, fornisce identificatori unici per più di dieci milioni di luoghi in giro per il mondo e realizzati come istanze della **GeoNames Ontology** [15] la quale integra diversi tipi di ontologie tra cui quelle di Schema.org e Linkedgeodata.org.

**Ontology of units of Measure** [16], un'ontologia usata per descrivere le quantità numeriche usate nella misura dei dati rilevati, e **PROV** [17], che ha come scopo l'indicazione della provenienza di un dato, sono utilizzate all'interno di questo progetto. A integrazione di questi concetti sono necessari anche concetti relativi al tempo. A questo scopo viene segnalata **OWL-Time** [18] che descrive non solo gli istanti di tempo, ma anche le relazioni di ordinamento tra i diversi istanti.

All'interno del progetto City Protocol è presente una task force che si sta occupando di definire una piattaforma per la raccolta di dati da sensori e lo scambio con attuatori. Il progetto parte dall'analisi di diverse piattaforme per IoT. Tra queste è presente la piattaforma open source Sentilo<sup>7</sup>, usata attualmente dalla città di Barcellona. Lo scopo del progetto è quello di definire una piattaforma che permetta l'integrazione e l'interoperabilità dei dati raccolti permettendo che i dati fluiscono tra i diversi domini della città. È interessante notare che non è prevista l'integrazione dei dati provenienti dai singoli sensori all'interno dell'ontologia, e che quindi si focalizza solamente sull'organizzazione dei concetti relativi agli indicatori della città.

### 3.4 Progetto CITYkeys

Il progetto **CITYkeys** [19] è un progetto finanziato dal programma HORIZON 2020 e ambisce a definire una serie di KPI (Key Performance Indicators) e procedure di raccolta delle informazioni per favorire il monitoraggio e la comparabilità di soluzioni Smart City sul territorio europeo. Ha come ulteriore obiettivo il miglioramento nello scambio di informazioni tra i vari soggetti che forniscono servizi all'interno di una Smart City. Lo scambio di tali informazioni deve permettere l'implementazione di azioni e procedure tali da rendere più efficiente la città nella gestione dei servizi e delle sue attività.

Il progetto cerca di identificare i KPI per aiutare la città a implementare strategie di gestione collegando vari servizi o a sviluppare un progetto con obiettivi definiti. I KPI sono collegati a una strategia e sono critici per il successo dell'esecuzione. I KPI sono quindi degli indicatori che identificano quali sono i progetti che

<sup>3</sup> City Anatomy, disponibile a: [http://www.cptf.cityprotocol.org/CPAI/CPA-I\\_001-v2\\_Anatomy.pdf](http://www.cptf.cityprotocol.org/CPAI/CPA-I_001-v2_Anatomy.pdf)

<sup>4</sup> City Anatomy Indicators, disponibile a: <http://cityprotocol.org/city-indicators-supporting-ontologies/>

<sup>5</sup> Open Sensor Platform, disponibile a: <http://cityprotocol.org/open-sensors-platform/>

<sup>6</sup> A Foundation Ontology for Global City Indicators, disponibile a: <http://www.semantic-web-journal.net/system/files/swj1133.pdf>

<sup>7</sup> <http://www.sentilo.io>

stanno ottenendo successo nel raggiungere gli obiettivi e quanto tali progetti sono stati in grado di migliorare le performance.

I KPI sono classificati secondo le categorie su cui ha impatto quelle attività in ambito di sostenibilità di una Smart City (fig. 10). Queste categorie sono:

- *People*: attrattività per gli abitanti e quindi indicatori sulla qualità della vita, la salute e l'educazione;
- *Planet*: pulizia ed efficienza della città e quindi indicatori sul consumo energetico, cambio climatico, inquinamento e rifiuti;
- *Prosperity*: equità della società, supporto a soluzioni smart e green, e quindi indicatori su lavoro, performance economica e innovazione;
- *Governance*: amministrazione e implementazione dei progetti e quindi indici su implementazione di policy per Smart City e coinvolgimento della comunità;
- *Propagation*: potenziale di diffusione ad altre città o contesti e quindi indici su replicabilità e scalabilità di una Smart City.

People	Planet	Prosperity	Governance	Propagation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Health</li> <li>• Safety</li> <li>• Access to (other) services</li> <li>• Education</li> <li>• Diversity &amp; social cohesion</li> <li>• Quality of housing and the built environment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energy &amp; mitigation</li> <li>• Materials, water and land</li> <li>• Climate resilience</li> <li>• Pollution &amp; waste</li> <li>• Ecosystem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Employment</li> <li>• Equity</li> <li>• Green economy</li> <li>• Economic performance</li> <li>• Innovation</li> <li>• Attractiveness &amp; competitiveness</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organisation</li> <li>• Community involvement</li> <li>• Multi-level governance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scalability</li> <li>• Replicability</li> </ul>

Figura 10. Framework di indicatori per CITYkeys

Il progetto definisce diverse tipologie di indici: input, processo, output, risultato e impatto. Un indice di input si riferisce alle risorse necessarie per eseguire un'attività o eseguire una misurazione (per esempio risorse umane economiche o materiali necessari), un indice di processo si riferisce a quando un'attività pianificata è stata eseguita (per esempio la distribuzione di smart meter), un indice di output aggiunge dettagli al risultato di un'attività (per esempio il numero di smart meter distribuiti), un indice di risultato si riferisce agli obiettivi di un risultato (per esempio la percentuale di case con isolamento termico dopo una campagna di incentivazione all'isolamento termico), infine un indice di impatto misura la quantità e qualità di risultati a lungo termine di una pianificazione (per esempio la riduzione nell'uso di energia).

Il progetto si sofferma in particolar modo sugli indicatori di impatto. Un esempio di impatto può essere la diminuzione di emissioni di gas serra. Il miglioramento dell'indicatore può essere ottenuto in vari modi, come la costruzione di edifici con migliore isolamento termico o con l'immatricolazione di auto elettriche. L'indicatore permette alla città di raggiungere l'obiettivo nel modo che si ritiene opportuno senza prescrivere il modo in cui si debba raggiungere. Focalizzandosi sugli impatti è possibile valutare soluzioni cross-settoriali.

Un grosso limite è che le informazioni sugli impatti sono disponibili solo dopo un certo periodo di tempo dall'implementazione del progetto. Inoltre, fattori contestuali possono influenzare l'indice di impatto. Nonostante questo, il valore di impatto è l'unica misura che conta per valutare e raggiungere gli obiettivi prefissati.

Il progetto, inoltre, elenca una raccolta estensiva e dettagliata di indicatori raggruppati per temi e definisce una serie di parametri per effettuare una scelta di quali indicatori scegliere per ottenere una breve lista che copra gli aspetti di interesse per uno specifico progetto di Smart City.

### 3.5 Conclusioni

L'analisi svolta finora è partita dall'esplorazione di ontologie esistenti in ambito Smart City e si è focalizzata, in una prima fase, su dati provenienti da sensori. Si sono osservate alcune delle ontologie esistenti e ne sono state individuate alcune come possibili candidate per una loro adozione/estensione o da cui trarre ispirazione per la definizione di una nuova ontologia per Smart City adatta ai nostri scopi.

La ricerca si è quindi spostata sui progetti CityProtocol e CITYkeys. Il primo prevede la definizione di un'ontologia per raggruppare e ordinare gli indicatori della città. Il secondo progetto ha come obiettivo l'individuazione di tali indicatori. Il vantaggio di un approccio alla gestione della Smart City attraverso l'uso di indicatori generati da aggregazione di dati permette una maggiore resistenza alle interferenze degli errori di misura, ma non danno garanzia e supporto alla reattività della risposta in quanto tali indici non sono in grado di fornire informazioni per poter reagire a eventi eccezionali, ma solo una valutazione della bontà dell'azione di gestione che l'indice cerca di misurare. Gli indici proposti, in particolare, hanno un'alta inerzia perché sono focalizzati a descrivere l'andamento generale della città e possono volerci anche diverse settimane prima che ci sia un cambiamento sensibile.

Durante questa fase ci si è convinti che l'uso di un'ontologia fosse da prendere in forte considerazione vista la diffusione in progetti simili o comunque correlati. L'idea iniziale era di effettuare un mapping dei singoli sensori all'interno dell'ontologia stessa. Però questo modello, in cui si opera direttamente da un dato grezzo, mostra una forte criticità: l'eccessiva volatilità di un dato proveniente da un sensore potrebbe fornire dati errati e quindi condurre a eseguire azioni non necessarie, o addirittura dannose, in risposta a tale input. Nel caso di azioni dannose, potrebbero verificarsi conseguenze anche gravi, che possono essere causa di problemi anche legali. Esiste, inoltre, il problema della gestione della rete di sensori. Se la Smart City decidesse di appoggiarsi a un servizio esterno, dovrebbe richiedere un livello di servizio al fornitore e anche definire dei livelli di responsabilità. Attività che possono risultare difficili da implementare. Un'altra criticità sofferta dal modello costituito dal mappare direttamente nella piattaforma il sensore riguarda la velocità di risposta. Infatti un sistema con un flusso di dati consistente e costante basato su formato RDF può, oltre a far correre il rischio di immagazzinare inutilmente una grossa quantità di informazioni, essere fonte di lentezza nel recupero dell'informazione. Infatti il recupero di dati su di basi di conoscenza basati su RDF e SPARQL soffre di tempi di accesso dilatati quando il numero di record cresce molto.

Una possibile soluzione a tale problema è l'uso di dati aggregati, ovvero una prima elaborazione su base temporale e spaziale dei dati provenienti da un sensore, o gruppo di sensori, al fine di generare degli indicatori sensati che descrivano l'andamento di un particolare aspetto in una zona circoscritta della Smart City. A partire da tale analisi si è deciso, quindi, di evitare di effettuare un mapping dei singoli sensori all'interno dell'ontologia e di usare, invece, degli indicatori aggregati che forniscono una serie di informazioni provenienti dall'aggregazione di diversi dati. In questo modo si risolvono i problemi relativi ai possibili fallimenti dei sensori ma allo stesso tempo si ottengono dati già elaborati su cui è possibile fare dei calcoli avanzati in maniera più semplice. Questo meccanismo non vieta che possa comunque essere usato un mapping su di un particolare tipo di sensore nel caso fosse necessario accedere a informazioni a granularità molto fine in scenari specifici.

Nel prossimo capitolo, si procede definendo un insieme di concetti core dell'ontologia che possa essere facilmente estendibile e una serie di estensioni che si riferiscono ai diversi contesti applicativi previsti dal progetto.

## 4 Modello semantico di riferimento proposto

Sulla base di quanto discusso finora, si è deciso di organizzare l'ontologia in due parti. La prima parte definisce i concetti chiave e li organizza con riferimento ad altre ontologie esistenti al fine di creare una base limitata in dimensione ma solida per quanto riguarda la definizione. Questa base centrale servirà per definire il punto di partenza per la creazione di estensioni che serviranno a coprire i concetti dei diversi ambiti applicativi in cui è diviso il progetto.

### 4.1 Core dell'ontologia

L'ontologia ruota intorno al concetto di UKAI. Con tale concetto si riferisce ogni dato, aggregato o meno, che un contesto applicativo è in grado di elaborare a partire dai dati raccolti dai sensori dislocati nello Smart District. Questo è il nodo nevralgico di tutta la comunicazione e l'informazione principale che deve essere scambiata all'interno dell'infrastruttura.

Naturalmente, tale informazione da sola ha un contenuto informativo limitato se non associato a informazioni di contesto che ne qualificano e definiscono meglio il valore. Per far ciò è utile usare un'ontologia per organizzare le informazioni in modo tale da realizzare un vocabolario comune per la comunicazione e l'organizzazione delle informazioni anche in caso di fornitori dell'infrastruttura di sensing e aggregazione diversi. Infatti, se ogni fornitore utilizzasse un formato diverso per trasferire i dati ci si troverebbe in uno scenario in cui chiunque voglia ricevere i dati di uno specifico fornitore dovrebbe modificare l'implementazione del proprio software al fine di elaborare il messaggio. Uno scenario ancora più problematico si verificherebbe al cambio di un fornitore. In quel caso, non solo il nuovo fornitore dovrebbe implementare la logica di aggregazione e comunicazione dei dati verso la piattaforma, ma tutti gli altri fornitori e richiedenti i dati dovrebbero implementare dei meccanismi per l'elaborazione del formato del nuovo fornitore dando vita a una situazione complessa da gestire e con conseguente crescita dei costi. Un formato unico per i dati e la loro memorizzazione che favorisce un facile recupero, elaborazione e integrazione è, per questo motivo, sicuramente da preferire. Tale meccanismo, infatti, permette un accesso alle informazioni più efficiente e le rende uniformi sia per gli utenti che per strumenti automatici [3].

È inoltre utile utilizzare ontologie già esistenti, definite e testate in altri contesti, per associare, quando possibile, ai concetti e dati di UKAI altre informazioni quali ad esempio la posizione o il tempo di rilevamento del dato. In questo modo si hanno diversi vantaggi. Uno di questi è l'uso di qualcosa di già testato e che quindi ha superato la validazione dovuta all'uso di tale strumento in un'altra applicazione. Un altro vantaggio è dovuto dall'uso di un qualcosa già noto ad altri o ad altri sistemi automatici. In questo modo è possibile che siano stati già definiti strumenti che siano in grado di analizzare quella sotto-parte di grafo RDF in maniera automatica. L'utilizzo di una rappresentazione comune di un dominio permette inoltre di condividere anche tra umani la conoscenza di dominio facilitando la comprensione della struttura dei dati e favorire il riuso di tali conoscenze anche in altre applicazioni e in contesti diversi. Il riuso facilita inoltre non solo la comunicazione e la condivisione, ma anche la manutenibilità del sistema in generale.

Di seguito sono spiegate le varie parti che compongono l'ontologia. Il tutto è accompagnato da grafici che ne mostrano le relazioni. In tali immagini le parti in grassetto sono state definite per l'occasione mentre le altre sono pezzi di ontologie importate che completano e aiutano la sua definizione.

#### 4.1.1 Informazioni di tempo e spazio

Nel definire il concetto di UKAI si fa riferimento a uno o più flussi di dati provenienti da sensori posizionati all'interno della città o distretto di interesse. Dal momento che l'aggregazione viene eseguita su un sottoinsieme di tali dati, è scontato ipotizzare che tali dati siano da circoscrivere in qualche modo. Due modi per delimitare tali dati sono il tempo e lo spazio. È banale capire che un UKAI è calcolato con un limite temporale, infatti questi indici sono ricalcolati a intervalli di tempo prestabiliti. Perciò ognuno di essi è associato a un intervallo di tempo a cui fanno riferimento i dati usati per l'elaborazione.

A tale scopo esistono diverse ontologie che sono in grado di rappresentare intervalli temporali. Durante la progettazione di quest'ontologia ne sono state prese in considerazione due: **Timeline Ontology** (<<http://purl.org/NET/c4dm/timeline.owl#>>) [20] e **OWL-Time** (<<http://www.w3.org/2006/time#>>) [18].

Queste due ontologie hanno come obiettivo rappresentare concetti che hanno a che vedere con l'ambito della rappresentazione del tempo. In particolare sono in grado di rappresentare istanti temporali e intervalli di tempo.

La prima ontologia (Timeline ontology) è stata sviluppata presso la Queen Mary, University of London; essa è in grado di annotare qualsiasi oggetto riferibile a uno specifico istante o intervallo temporale ed è stata progettata con particolare interesse verso l'ambito musicale e del flusso di informazioni di qualsiasi tipo. È in grado di rappresentare intervalli sia definendo un istante di inizio e di fine, sia attraverso la definizione di un istante di inizio e una durata espressa utilizzando il formato *xsd:duration*. Tale formato permette di definire un intervallo di tempo attraverso una stringa alfanumerica. La seconda ontologia (OWL-Time) è stata sviluppata dal W3C ed è tuttora supportata e in evoluzione. Oltre a permettere la definizione di istanti di tempo e intervalli temporali a partire da istanti, possiede funzionalità avanzate come la dichiarazione del sistema di riferimento temporale utilizzato per la definizione dell'intervallo o dell'istante temporale.

Sebbene per il caso in analisi possono essere entrambe valide come scelta, si è ritenuto di preferire la OWL-Time per via di un supporto ancora attivo e la maggiore diffusione riscontrata. Un'altra caratteristica che ha fatto propendere verso questa scelta è il maggiore dettaglio e la struttura più rigorosa nell'organizzazione dei concetti, oltre che per essere supportata dal W3C e dall'Open Geospatial Consortium (OGC).



Figura 11. Associazione tra UKAI e Intervallo temporale

In fig. 11 è mostrata l'associazione tra UKAI e il concetto *Interval* dell'ontologia OWL-Time (qui indicata col namespace *time*) attraverso la relazione *hasInterval* che deve essere una relazione di tipo funzionale, ovvero può essere associato al massimo un solo valore dell'intervallo dal momento che una rilevazione è fatta in uno specifico intervallo di tempo.

Oltre a una classificazione in base al tempo, è utile indicare una classificazione delle informazioni geolocalizzata. Infatti, essendo i dati provenienti da sensori posizionati in varie zone del distretto in analisi, è utile mantenere informazioni sulla zona di provenienza al fine di poter effettuare analisi più fini sui dati stessi.

A tale scopo si è scelto di utilizzare, come base per indicare la posizione e la geometria dell'area associata ai dati usati per generare il dato aggregato, l'ontologia definita per **GeoSPARQL** [21] (qui indicata con namespace *geo*). GeoSPARQL è uno standard per la rappresentazione e l'interrogazione di Linked data geografici nel Web semantico descritto da OGC. I motori in grado di risolvere query SPARQL [22] che gestiscono dati geografici GeoSPARQL supportano anche operazioni topologiche di confronto geometrico come ad esempio la verifica di inclusione o sovrapposizione tra geometrie. Tali operazioni possono essere utili, ad esempio, per analizzare aggregazioni effettuate su dati provenienti da aree diverse in seguito alla riconfigurazione dei sensori del distretto o una diversa ripartizione della gestione dell'infrastruttura tra diversi gestori.

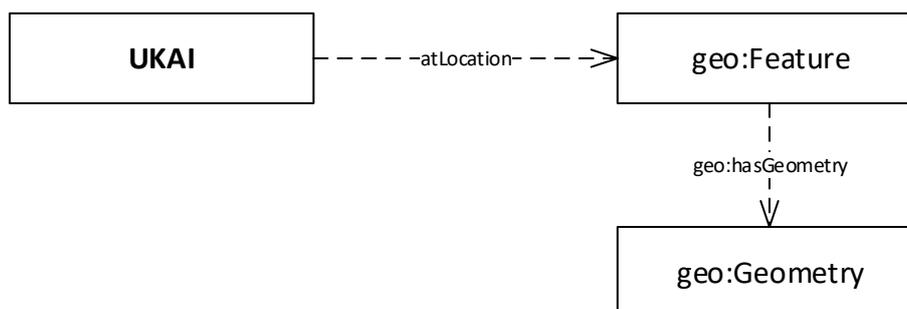


Figura 12. Associazione tra UKAI e area geografica

Come mostrato in fig. 12, una nuova proprietà è associata al concetto di UKAI. Tale proprietà la mette in relazione con il concetto di Feature, termine con cui in ambito GIS (Geographic Information System) s'intende una caratteristica del luogo rappresentata in una mappa come ad esempio un fiume, una strada o un'abitazione. A ogni Feature è associata una geometria ovvero una forma. Tale forma può essere puntuale, avere l'aspetto di una linea spezzata o di una qualsiasi figura geometrica utilizzando i formati GML [23] o WKT [24].

Altre ontologie osservate utilizzano come base la **PROV Ontology** [17] (qui indicata con namespace *prov*) per legare, tra le altre cose mostrate in seguito, un'informazione a tempo e luogo associato a essa. In particolare, nel caso del luogo, viene associato al concetto di Entity (secondo la definizione: un tipo di cosa fisica, digitale, concettuale o di altro tipo con alcuni aspetti fissati; le entità possono essere reali o immaginarie) quello di Location o di posizione. Si è optato per estendere la struttura di PROV perché presentava altri punti di contatto con aspetti trattati nel paragrafo successivo.

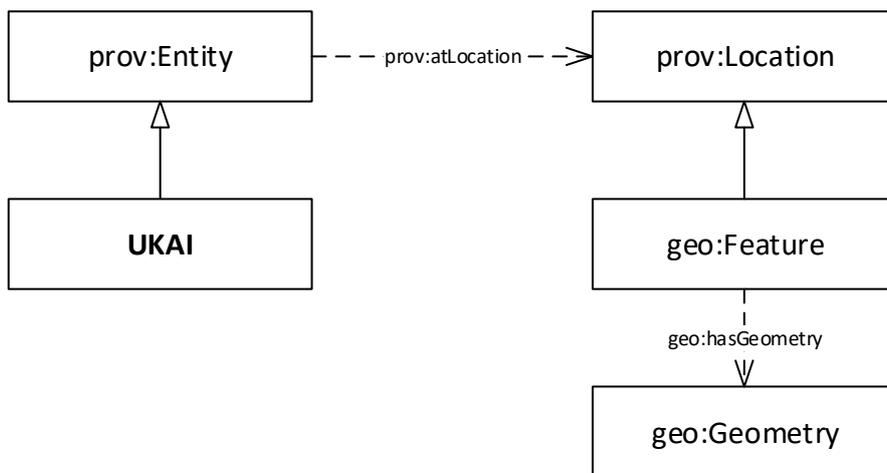


Figura 13. Associazione tra UKAI e area geografica con l'introduzione di PROV

A questo punto, come mostrato in fig. 13, possiamo ristrutturare la proposta precedente definendo UKAI come sottoclasse di Entity e Feature come sottoclasse di Location in modo da avere una struttura coerente con PROV Ontology.

PROV Ontology definisce anche una proprietà per riferire un'informazione temporale del momento della generazione del dato, ma tale proprietà, la *generatedAtTime*, è di tipo *DataType* ovvero ha come codominio un dato di tipo *xsd:dateTime*. Dal momento che non permette la rappresentazione di intervalli temporali ma solo di istanti, tale proprietà risulta essere inadatta alle nostre necessità di rappresentazione di intervalli temporali a cui fa riferimento il dato generato dall'aggregazione, ma potrebbe essere usato per contenere informazioni aggiuntive sul momento in cui sono stati valutati i dati per generare gli UKAI.

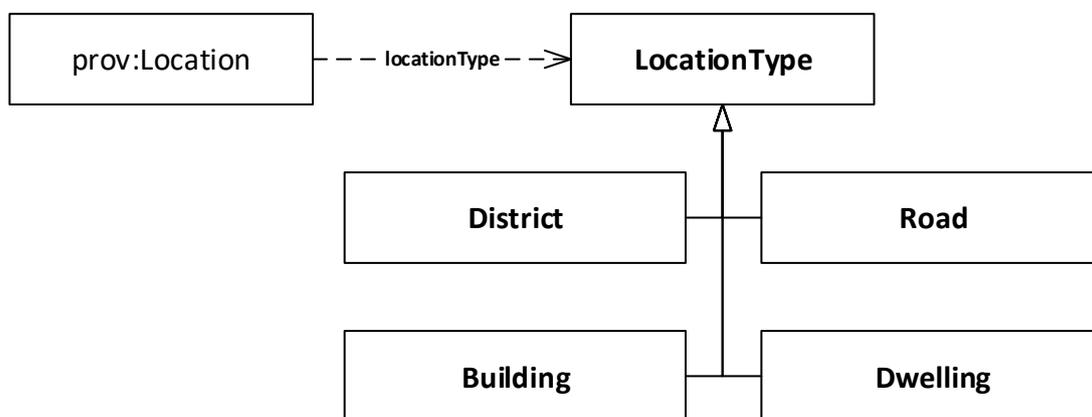


Figura 14. Tipi di luoghi a cui si riferiscono i dati raccolti

I dati raccolti per essere aggregati, oltre a essere associati a un luogo, possono contenere anche informazioni sulla tipologia dello stesso. Per questo motivo è stata prevista la possibilità di associare, a un UKAI, un tipo di luogo (fig. 14) e a ognuno di essi le proprietà corrispondenti che li descrivono come indirizzo e descrizione.

#### 4.1.2 Altre informazioni associate

Un aspetto importante di un indicatore è la sua provenienza, cioè da quali dati deriva e come è stato calcolato. Nel paragrafo precedente è stata introdotta la PROV Ontology che ha proprio questa funzione. Oltre al concetto di entità di cui si vuole specificare la provenienza sono affiancati i concetti di Activity e Agent che rappresentano rispettivamente l'azione che crea l'entità e il sistema o l'organizzazione che esegue l'azione di creazione. Nel caso specifico, questi concetti sono estesi con DataAggregation e DataProvider (fig. 15) che descrivono rispettivamente la modalità e il processo con cui l'indice UKAI è creato, nonché l'ente a cui è demandata questa attività.

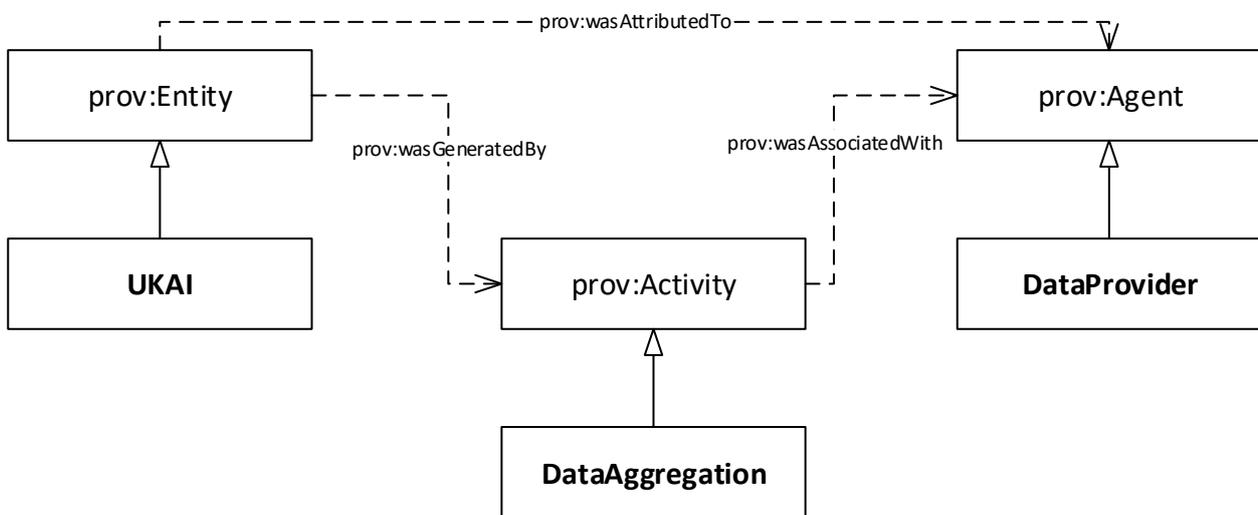


Figura 15. Associazione tra UKAI DataAggregation e DataProvider

Naturalmente alle classi DataAggregation e DataProvider devono essere associate altre proprietà che ne descrivono le caratteristiche. Dal momento che si tratta ancora di una fase preliminare del processo di sviluppo, si ritiene necessario rimandare a un secondo momento la fase di definizione dettagliata di queste informazioni. Tali informazioni devono essere discusse con chi definirà quali sono le informazioni necessarie da scambiare tra i vari sistemi che si devono interfacciare con la piattaforma e perciò sarebbe avventato prevedere già in questa fase un tale livello di dettaglio.

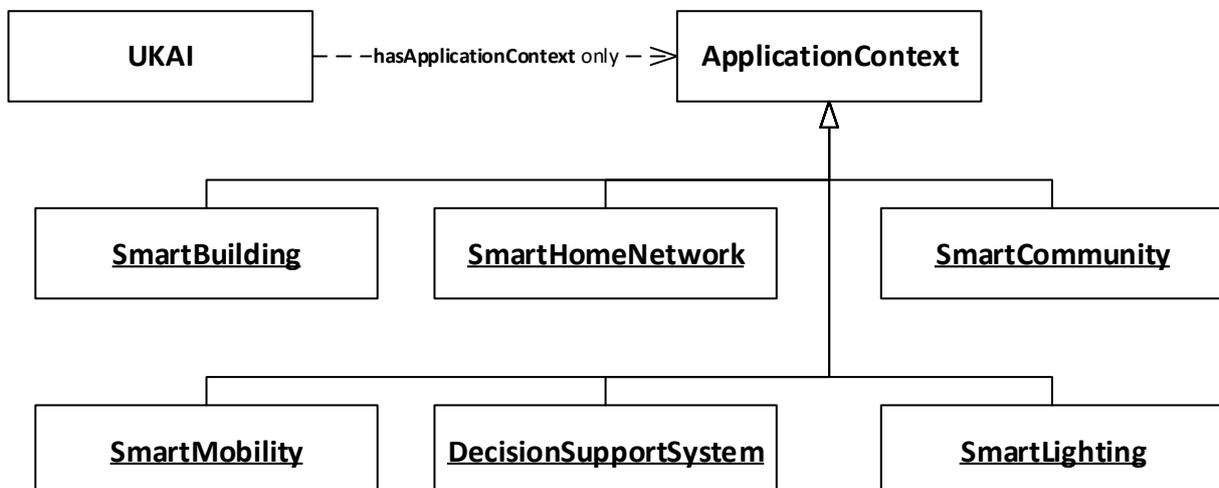
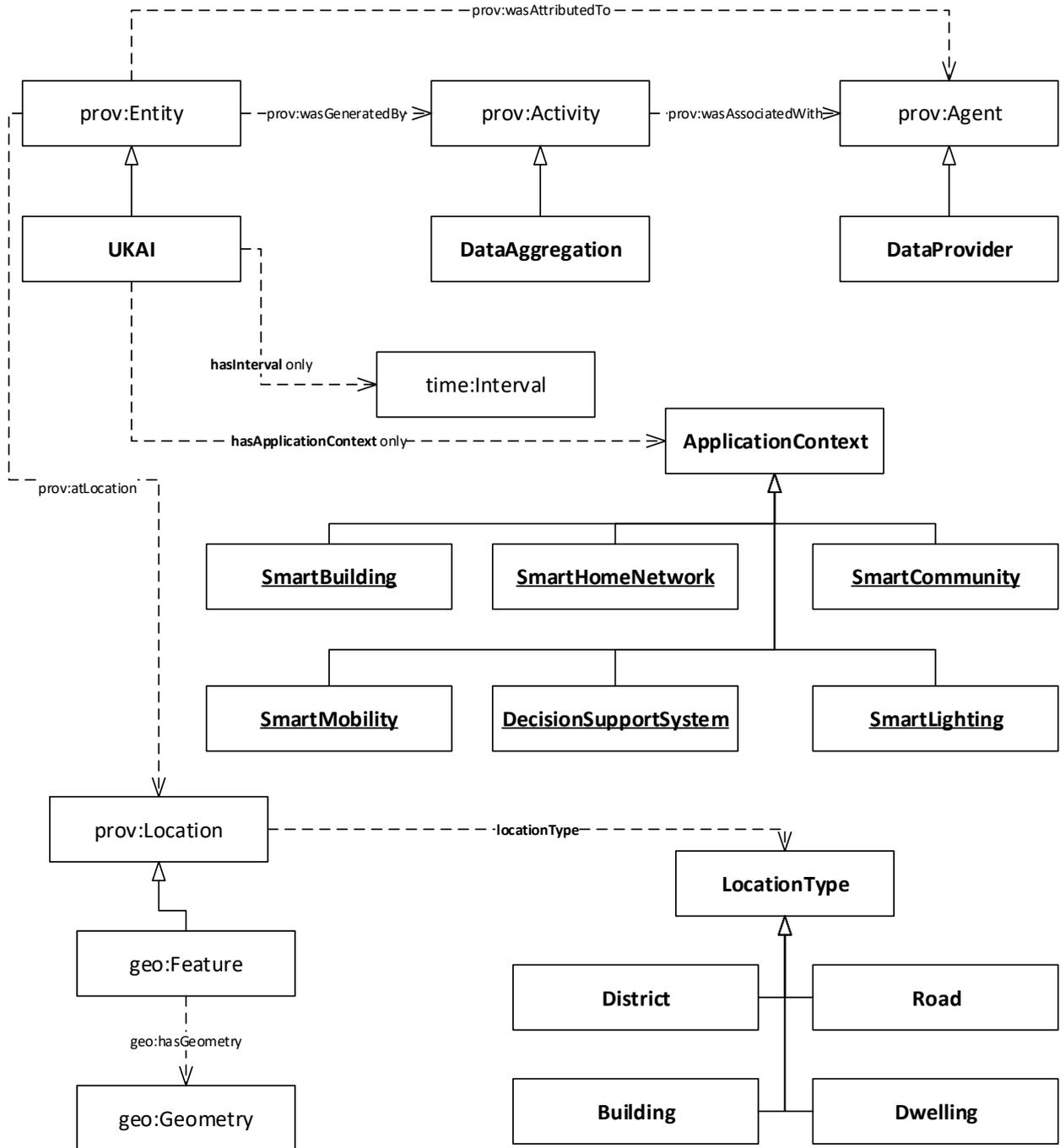


Figura 16. Associazione tra UKAI e ApplicationContext

Un UKAI contiene un'aggregazione di dati provenienti da sensori di tipi specifici e perciò tali informazioni sono ascrivibili a un particolare contesto applicativo. Per questo motivo, è stata prevista l'esistenza di una proprietà che metta in relazione una particolare istanza di UKAI con un contesto applicativo. In fig. 16 sono definite le istanze (indicate con testo sottolineato) che un *ApplicationContext* può assumere attraverso la relazione *hasApplicationContext*. Inoltre, è specificato dall'ontologia che un UKAI può essere associato esclusivamente a un solo *ApplicationContext* tramite la dicitura *only*.



prefix time: <http://www.w3.org/TR/owl-time/#> .  
 prefix prov: <http://www.w3.org/TR/2013/REC-prov-o-20130430/>  
 prefix geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql>

Figura 17. Visione completa dello schema di ontologia

In fig. 17 è mostrata una vista completa di quanto è stato presentato finora. In questa immagine sono mostrati tutti i collegamenti ipotizzati; in grassetto sono mostrate le parti ipotizzate per questa specifica ontologia, le altre si riferiscono alle ontologie già esistenti e diffuse usate per rappresentare concetti di base. In basso sono indicati i prefissi utilizzati per far riferimento a tali ontologie.

#### 4.2 Estensione dell'ontologia

Quello mostrato finora è soltanto la parte centrale dell'ontologia. Quello che manca perché sia effettivamente usabile è una definizione dettagliata dalla struttura degli UKAI. Tale definizione deve derivare direttamente dalla definizione precisa dei casi d'uso dei diversi contesti applicativi e dai dati che devono essere scambiati da essi. Una volta individuati i dati da condividere sarà possibile procedere a una più completa definizione.

Attualmente sono già state ipotizzate le proprietà che devono essere associate al singolo UKAI attraverso quanto mostrato finora. Manca da definire precisamente una gerarchia di UKAI a cui vanno associate diverse proprietà come ad esempio l'informazione sull'unità di misura usata per dato rappresentato.

Altre informazioni importanti sono le descrizioni dei modi con cui sono calcolati gli indicatori, quindi una gerarchia che estenda DataAggregation al fine di distribuire l'informazione sulle modalità di aggregazione e calcolo utilizzate per il particolare UKAI. e infine, le proprietà da associare a DataProvider.

A partire da queste informazioni potrebbe essere opportuno valutare l'integrazione di altre ontologie che risolvono già questi problemi come ad esempio **Ontology of units of Measure (OM)** [16] per descrivere le unità di misura, oppure **FOAF** [25] per descrivere le organizzazioni e quindi utile ad associare a ciascun UKAI le informazioni di chi lo ha prodotto.

## 5 Mapping sull'ontologia dei dati scambiati dalla Piattaforma ICT

In questo capitolo mostreremo alcuni esempi su come è possibile effettuare un mapping tra dati scambiati con la Piattaforma ICT dalle diverse piattaforme dei singoli Contesti Applicativi. Per effettuare quest'operazione sono necessarie delle informazioni più precise al fine di modellare correttamente e in maniera completa i dati da mappare. Dal momento che si tratta di un lavoro ancora in fase esplorativa, di seguito sono mostrati alcuni esempi di come potrebbero essere mappati i dati UKAI all'interno dell'ontologia della piattaforma.

### 5.1 Informazioni contenute negli UKAI

Come detto in precedenza, ogni UKAI contiene una serie di informazioni che lo connotano nello spazio e nel tempo. Infatti le informazioni raccolte devono essere collegate a questi due concetti al fine di avere un'utilità.

A questo proposito mostriamo il contenuto di un ipotetico UKAI relativo al contesto applicativo Smart Home. In particolare, ipotizziamo un indice in cui viene calcolato il consumo medio elettrico in base al numero di residenti nell'appartamento. Ipotizziamo quindi che tra le informazioni contenute ci siano, oltre tempo e luogo, anche il consumo elettrico medio nell'intervallo di tempo e informazioni sul gestore dell'infrastruttura di raccolta. Di seguito una tabella riassuntiva con i dati previsti.

**Tabella 1. Esempio di dato UKAI generato da un Contesto Applicativo**

Dato Aggregato	Unità di misura	Esempio
UKAI ID	Adimensionale	0013
UKAI Application Context	Adimensionale	SmartHomeNetwork
Istante del calcolo	Timestamp	2016-08-15 12:00:24
Consumo a persona	kWh/persona	2,3
Data inizio raccolta	Timestamp	2016-08-14 12:00:00
Data fine raccolta	Timestamp	2016-08-15 12:00:00
Posizione geografica	WGS84 (GPS)	41.90N, 12.49E
Indirizzo	Adimensionale	Viale Luigi Einaudi 15, interno 7, 00045 Roma
Frequenza di aggiornamento	Adimensionale	Giornaliero
Descrizione	Adimensionale	totale consumi smart home per un giorno per abitante
Fornitore ID	Adimensionale	004

La tabella 1 mostra una serie di informazioni che possono essere utili a descrivere il dato e permettere al gestore della piattaforma di poter analizzare le informazioni. Tali dati, all'interno di sistemi software complessi, sono solitamente inviati utilizzando formati decisi più o meno arbitrariamente durante lo sviluppo e possono essere cambiati con molta difficoltà. Generalmente anche l'ordine dei campi risulta importante e sono previsti meccanismi sistematici limitati per verificare l'aderenza al formato e quindi evitare rischi di malfunzionamenti dovuti a interpretazioni errate dei dati. Esistono meccanismi di serializzazione e deserializzazione automatica ma hanno dei limiti sulla rappresentazione delle informazioni. Etichettare i dati attraverso il formato RDF fornisce dei vantaggi in termini di verifica automatica della consistenza, l'etichettatura delle informazioni e l'organizzazione gerarchica permettono di automatizzare l'esplorazione e l'analisi dei dati ricevuti.

Rispetto a quanto detto in precedenza, qui mancano informazioni precise sul fornitore dei dati. Si presume che tale dato non venga inviato in maniera completa a ogni aggiornamento, ma sia definito una sola volta e di conseguenza venga riferito solo l'identificativo dell'istanza di fornitore. Discorso simile può essere fatto

per la descrizione dell'operazione di aggregazione effettuata. Sia per il fornitore che la modalità di calcolo è prevista la loro definizione attraverso un contratto che il gestore amministrativo del distretto firma con il fornitore. Informazioni di questo tipo restano stabili durante la fase di raccolta dati e non è necessario che tale informazione viaggi nella piattaforma. È necessario solamente che sia riferita l'istanza dove è contenuta l'informazione.

## 5.2 Adattamento all'ontologia

Di seguito è presentata una possibile dimostrazione di come potrebbe apparire il documento scambiato tra i diversi Contesti Applicativi se fosse aderente all'ontologia precedentemente definita e utilizzando il formato di serializzazione Turtle (Terse RDF Triple Language) [26]. Esistono diversi formati con cui possono essere rappresentati i dati sotto forma di grafo e aderenti allo standard del web semantico. Tutti i formati sono intercambiabili tra loro dal punto di vista dei contenuti e con pochissime differenze dal punto di vista delle prestazioni software. Qui si è scelto di mostrare il contenuto del messaggio utilizzando Turtle perché probabilmente il più facile da leggere per una persona.

```
@prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> .
@prefix prov: <http://www.w3.org/ns/prov#> .
@prefix time: <http://www.w3.org/2006/time#> .
@prefix v: <http://www.w3.org/2006/vcard/ns#> .
@prefix : <http://example.com/> .

:UKAI_0013_ad47c
  a :UKAI ;
  :hasApplicationContext :smartHomeNetwork ;
  :UKAI_ID "0013";
  rdfs:label "UKAI consumo giornaliero ad abitante" ;
  rdfs:comment "totale dei consumi dentro una smart home network per un
                                                       giorno per abitante" ;

  :value "2,3"^^xsd:float ;
  :unitOfMeasure "kWh/persona" ;
  :updateFrequency "Giornaliero" ;
  :generatedAt [
    a time:Instant ;
    time:inXSDDateTime "2016-08-15T12:00:24+02:00"^^xsd:dateTime ;
  ] ;
  :hasInterval [
    a time:Interval ;
    time:hasBeginning [
      a time:Instant ;
      time:inXSDDateTime "2016-08-14T12:00:00+02:00"^^xsd:dateTime ;
    ] ;
    time:hasEnd [
      a time:Instant ;
      time:inXSDDateTime "2016-08-15T12:00:00+02:00"^^xsd:dateTime ;
    ] ;
  ] ;
  prov:atLocation :dataLocation_01 ;
  prov:wasAttributedTo : dataProvider_01 ;
  prov:wasGeneratedBy : dataAggregation_01 .
```

Provvederemo a illustrare il contenuto del file scambiato e appena mostrato. Il file inizia con una serie di indicazioni di prefissi per la definizione del namespace. Si tratta di una particolarità del formato utilizzato che ne facilita la leggibilità per le persone. Dopodiché viene presentata un'istanza della risorsa UKAI con tutte le sue proprietà. L'istanza è identificata con un id univoco in modo da poter essere distinta. Tale identificatore potrebbe essere generato a partire da alcune sue proprietà scelte in modo da evitare collisioni di nomi. Ad esempio potrebbe essere una combinazione del suo id con l'hash del timestamp di

generazione. Le proprietà sono organizzate secondo la descrizione fornita dall'ontologia definita e da quelle utilizzate per mappare alcuni concetti. In particolare, sono evidenti le rappresentazioni temporali per descrivere il momento di generazione del dato aggregato e l'intervallo di tempo preso in considerazione per l'aggregazione. Tali informazioni sono definite rispettivamente come *Instant* (proprietà *generatedAt*) e *Interval* (proprietà *hasInterval*) composto a sua volta da due *Instant* per definire inizio e fine dell'intervallo.

Naturalmente è presente il valore finale dell'aggregazione effettuata assieme a un'indicazione dell'unità di misura. A proposito dell'unità di misura, esistono diverse ontologie che armonizzano i concetti di unità di misura. Andranno valutati in base alle necessità che si presenteranno. L'uso di un'ontologia per le unità di misura può permettere anche la comparazione di dati che fanno riferimento a contesti diversi ma che possono essere correlati come il consumo elettrico dei diversi contesti al fine di effettuare, ad esempio, calcoli di efficienza usando un'aggregazione temporale o spaziale.

Alla fine del file sono presenti tre proprietà che sono collegate a istanze non definite in questo messaggio. Si tratta di istanze che si presuppongono essere già presenti nella base di conoscenza dove il messaggio sarà immagazzinato dalla Piattaforma ICT. Infatti tali istanze fanno riferimento al luogo dove si trova l'abitazione sorgente dell'informazione, al fornitore dell'informazione e gestore di quella specifica infrastruttura e alla descrizione della modalità di aggregazione utilizzata, se necessaria.

Di seguito è mostrato come apparirebbe l'istanza che rappresenta la posizione dell'abitazione all'interno della nostra ontologia.

```
@prefix geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#> .
@prefix sf: <http://www.opengis.net/ont/sf#> .
@prefix : <http://example.com/> .
```

```
:dataLocation_01
  a geo:Feature ;
  :locationType [
    a :Dwelling ;
    v:hasAddress [
      a v:Address ;
      v:street-address "Viale Luigi Einaudi 15" ;
      v:extended "interno 7" ;
      v:postal-code "00045";
      v:locality "Roma" ;
      v:country-name "Italia" ;
      rdfs:comment "Viale Luigi Einaudi 15, interno 7, 00045 Roma" ;
    ] ;
  ] ;
  geo:hasGeometry [
    a sf:Point ;
    geo:asWKT "POINT(41.900000 12.490000)"^^geo:wktLiteral ;
  ] .
```

Il nome dell'istanza fa riferimento a quella mostrata in precedenza, infatti la posizione è la stessa mostrata in tabella 1. L'istanza della posizione contiene l'indirizzo e la posizione geografica GPS secondo le specifiche dell'ontologia GeoSPARQL. L'indirizzo è stato rappresentato sia come commento unico per esteso, sia utilizzando l'ontologia di vCard [27] che separa le parti dell'indirizzo in diverse proprietà al fine di identificare formalmente le parti che lo compongono.

La geometria associata al luogo in questo caso è un singolo punto ed è rappresentato in formato WKT [24]. Tale formato prevede la scrittura in formato testo della figura geometrica. Il formato prevede l'indicazione della forma (in questo caso POINT ma ne esistono di altro tipo come LINESTRING o POLYGON per citare i più comuni) con associata una lista di punti (da due o più dimensioni) separati da virgole. Se si volesse associare

una figura geometrica poligonale a un complesso di edifici o un parco si dovrebbe usare una struttura di questo tipo:

```
geo:hasGeometry [
  a sf:Polygon ;
  geo:asWKT "POLYGON(41.900000 12.490000,41.902000 12.490000,41.902000
12.490300,41.900000 12.490300,41.900000 12.490000)^^geo:wktLiteral ;
] .
```

In questo modo si è descritto un quadrato chiuso con primo e ultimo punto combacianti. L'utilizzo di tale ontologia favorisce la selezione e l'aggregazione di dati su base geografica attraverso il linguaggio di interrogazione GeoSPARQL [21] che è un'estensione del linguaggio SPARQL [22] per interrogare basi di dati contenenti informazioni geografiche organizzate a grafo utilizzando i formati dello stack del web semantico standard del W3C. Supporta operazioni di confronto geometrico utili, ad esempio, a verificare il contenimento, parziale o totale, di una figura geometrica all'interno di un'area definita.

Di seguito è mostrata l'istanza che copre il concetto di fornitore dei dati:

```
@prefix v: <http://www.w3.org/2006/vcard/ns#> .
@prefix : <http://example.com/> .

:dataProvider_01
  a :DataProvider ;
  :vCard [
    a v:Organization ;
    v:hasName "Società Test srl"
    v:hasAddress [
      a v:Address ;
      v:country-name "Australia";
      v:locality "WonderCity";
      v:postal-code "5555";
      v:street-address "111 Lake Drive" ;
    ] ;
    v:hasEmail <mailto:testsoc@example.com>;
    v:hasTelephone [
      a v:Fax, v:Voice;
      v:hasValue <tel:+617555555555> ];
  ] ;
```

In questo caso vengono mostrate ipotetiche indicazioni di contatto della società. Potrebbero essere aggiunte altre informazioni di tipo finanziario o il contratto che si ha con questa società. Tutte informazioni che possono essere stabilite in fase di progetto o in fase di uso della piattaforma.

Discorso analogo dovrà essere fatto con le informazioni di aggregazione. Tale entità è stata pensata soprattutto per elaborazioni complesse a scopo documentale. Può essere utile condividere fra tutti gli attori in gioco tale informazione per sapere come operare, come trattare i dati output di tali operazioni e definire una conoscenza comune in modo da dirimere ambiguità.

## 6 Conclusioni

In questo documento si è descritto il lavoro svolto per l'individuazione di un'ontologia comune utile per favorire lo scambio di informazioni all'interno di una piattaforma ICT per una Smart City. Lo scopo di tale piattaforma è la condivisione di informazioni tra i vari ambiti applicativi di una città. La raccolta e la condivisione di informazioni tra i diversi ambiti possono essere utili a creare sinergie tali da favorire nuovi e più importanti risultati nell'ambito del risparmio energetico e dell'efficienza di una città. Il vantaggio offerto da un'ontologia in tale ambito è la sua capacità di agire come framework unificante fra le diverse parti interagenti e fungere da base per l'interoperabilità tra sistemi realizzati con differenti modelli, paradigmi e linguaggi di programmazione. Garantisce benefici dal punto di vista dell'affidabilità, in quanto una rappresentazione formale renderebbe automatico il controllo della consistenza e quindi il software più affidabile. Può essere utile nel processo di identificazione dei requisiti e definizione di una specifica per sistemi IT. Favorisce l'interoperabilità e la scalabilità dei servizi in ambienti grandi e aperti e può essere usata facilmente come base per l'applicazione di regole logiche per l'inferenza automatica di nuova conoscenza.

Il lavoro svolto è iniziato osservando le diverse esperienze in ambito Smart City già avviate all'estero e si è cercato di trarre delle linee guida sul lavoro da svolgere. L'idea iniziale era di estendere la mappatura dell'ontologia su tutti i dispositivi di sensing della città e perciò si è partiti dall'esplorazione di ontologie esistenti in ambito smart city riguardanti dati provenienti da sensori. Si sono osservate diverse delle ontologie esistenti e sono state individuate alcune come possibili candidate per una loro adozione/estensione o da cui trarre ispirazione per la definizione di una nuova ontologia per smart city adatta ai nostri scopi. La criticità mostrata da questo modello, in cui si opera direttamente da un dato grezzo, riguarda l'eccessiva volatilità di un dato proveniente da un sensore, che potrebbe mostrare dati errati e quindi condurre a eseguire azioni non necessarie, o addirittura dannose, in risposta a tale input. Nel caso di azioni dannose, potrebbero verificarsi conseguenze anche gravi, che possono essere causa di problemi anche legali. Esiste, inoltre, il problema della gestione della rete di sensori. Se la smart city decidesse di appoggiarsi a un servizio esterno, dovrebbe richiedere un livello di servizio al fornitore e anche definire dei livelli di responsabilità. Attività che possono risultare difficili da implementare.

La ricerca si è quindi spostata sui progetti CityProtocol e CITYkeys. Il primo prevede la definizione di un'ontologia per raggruppare e ordinare gli indicatori della città. Il secondo progetto ha come obiettivo l'individuazione di tali indicatori. Il vantaggio che ha un approccio alla gestione della smart city attraverso l'uso di indicatori generati da aggregazione di dati è quello di permettere una maggiore resistenza alle interferenze degli errori di misura ma non danno garanzia e supporto alla reattività della risposta in quanto tali indici non sono in grado di fornire informazioni per poter reagire a eventi eccezionali, ma solo una valutazione della bontà dell'azione di gestione che l'indice cerca di misurare. Gli indici proposti, in particolare, hanno un'alta inerzia perché sono focalizzati a descrivere l'andamento generale della città e possono volerci anche diverse settimane prima che ci sia un cambiamento sensibile.

In base a tale analisi si è deciso di spostare l'attenzione sulla definizione di un nuovo tipo di indice che fosse una via di mezzo tra i dati grezzi e indicatori di andamento di progetti. Si è cercato di individuare, attraverso i lavori dei diversi gruppi coinvolti, un'aggregazione di informazioni su base locale e temporale con intervalli di tempo limitati a poche decine di minuti al fine di ottenere un flusso regolare e costante di informazioni sull'andamento di una particolare attività cittadina per eseguire, sulla base di tali dati, azioni di gestione al fine di migliorare l'efficienza e ridurre i consumi delle diverse zone della città.

Si è, pertanto, partiti dall'analisi degli scenari di riferimento su cui operare la raccolta delle informazioni utilizzate della piattaforma. Si sono individuate le caratteristiche comuni che contraddistinguono le informazioni da scambiare e gli interlocutori delle comunicazioni, ovvero la Piattaforma ICT principale e le diverse piattaforme dei singoli contesti applicativi. Tale analisi ha mostrato che esiste una struttura uniforme di comunicazione tra la piattaforma centrale e le piattaforme dei diversi contesti applicativi e ha perciò permesso di individuare una struttura di base comune per l'ontologia da usare al fine di organizzare la struttura delle informazioni.

Dopo di che si è passati all'individuazione dei dati da correlare all'informazione principale, ovvero agli indici UKAI. Infatti, l'utilità degli indici c'è se essi sono associati a informazioni sul contesto che li ha generati. In particolare sono state individuate come necessarie le informazioni temporali e di localizzazione dei dati usate per ottenere l'aggregazione che ha generato l'indice UKAI. Oltre a queste, sono state collegate anche altre informazioni sugli autori dell'aggregazione, ovvero il fornitore del servizio alla pubblica amministrazione, e informazioni sulle tecniche usate per effettuare l'aggregazione. Infine, queste informazioni, sono state ricondotte a un'ontologia di più alto livello per descrivere la provenienza delle informazioni.

L'ontologia fin qui realizzata descrive soltanto ad alto livello i collegamenti tra i diversi concetti e necessita di una definizione completa di tutte le proprietà necessarie al fine di poter far sì che sia utilizzabile nella pratica. A questo scopo si è ipotizzata una fase di mapping dell'ontologia su di un caso d'uso ragionevolmente vicino alla realtà che è in corso di definizione all'interno del progetto, ma non ancora definito completamente. La fase di mapping è partita da una serie di informazioni ragionevolmente utili per descrivere un UKAI e si è spostato sull'adattamento della struttura dell'informazione ai vincoli imposti dall'ontologia fin qui definita. Si sono fatte delle assunzioni per le parti non coperte dall'ontologia per giungere a un risultato in grado di essere applicabile in un sistema software reale. In questo modo si è potuto valutare l'efficacia della struttura fin qui definita.

In ogni caso, per ottenere un risultato completo è necessaria la completa definizione degli UKAI e delle informazioni che l'infrastruttura deve scambiarsi. Obiettivo che si prevede sarà raggiunto nelle prossime fasi di questo progetto. Quest'ulteriore passo permetterà di valutare ed estendere l'ontologia in modo da poter essere utilizzabile in modo efficiente nella piattaforma prevista.

## 7 Riferimenti bibliografici

1. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, "Standard funzionali per le Smart-Road", Position Paper, 2016. Disponibile all'indirizzo: <http://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/notizia/2016-06/Standard%20funzionali%20per%20le%20Smart%20Road.pdf>
2. M. Uschold, M. Gruninger, "Ontologies: principles, methods and applications", The Knowledge Engineering Review, vol. 11 (1996), pp. 93–136
3. D. Oberle, "How Ontologies Benefit Enterprise Applications", Semantic Web vol. 5 (2014), pp. 473-491.
4. H.S. Happel, S. Seedorf, "Applications of ontologies in software engineering." Proc. of Workshop on Sematic Web Enabled Software Engineering"(SWESE) on the ISWC. 2006.
5. READY4SmartCities FP7 CSA, **Project Reference:** 608711, **Subprogramme Area:** FP7-SMARTCITIES-2013. Disponibile all'indirizzo: <http://www.ready4smartcities.eu/>
6. W3C Semantic Sensor Network Incubator Group, "Semantic Sensor Network Ontology", 2009 - 2011 W3C. Disponibile a: <https://www.w3.org/2005/Incubator/ssn/ssnx/ssn>
7. A. Gangemi, N. Guarino, C. Masolo, A. Oltramari, "Sweetening WORDNET with DOLCE", AI Magazine, v.24 (2003) n.3, pp.13-24.
8. L. Lefort, "Ontology for Phenonet Sensor Network", 2010 - 2011 CSIRO. Disponibile a: <http://purl.oclc.org/NET/ssnx/meteo/phenonet>
9. L. Lefort, "Ontology for Meteorological sensors", 2010 - 2011 CSIRO. Disponibile a: <http://purl.oclc.org/NET/ssnx/meteo/aws>
10. W3C Semantic Sensor Network Incubator Group, "SSN Ontology example: Wind Sensor", 2010 - 2011 W3C. Disponibile a: <http://purl.oclc.org/NET/ssnx/meteo/WM30>
11. R. Bendadouche, C. Roussey, G. De Sousa, J.P. Chanet, and K. Mean Hou, "Extension of the Semantic Sensor Network Ontology for Wireless Sensor Networks: The Stimulus-WSNnode-Communication Pattern", SSN'12 Proceedings of the 5th International Conference on Semantic Sensor Networks, Aachen, Germania 2012, vol. 904, pp. 49-64.
12. S. Kolozali, M. Bermudez-Edo, D. Puschmann, F. Ganz, P. Barnaghi, "A Knowledge-based Approach for Real-Time IoT Data Stream Annotation and Processing", Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings 2014), settembre 2014, Taipei, Taiwan.
13. CityPulse: Real-Time IoT Stream Processing and Large-scale Data Analytics for Smart City Applications FP7. Disponibile all'indirizzo: <http://www.ict-citypulse.eu/>
14. City Protocol: Building better cities together. Disponibile a: <http://cityprotocol.org/>
15. B. Vant, GeoNames Ontology. Disponibile all'indirizzo: <http://www.geonames.org/ontology/documentation.html>
16. H. Rijgersberg, M. van Assem, D. Willems, M. Wigham, J. Broekstra, J. Top, "Ontology of units of Measure (OM)". Disponibile a: <http://www.wurvoc.org/vocabularies/om-1.8/>
17. Provenance Working Group, "The PROV Namespace". Disponibile a: <https://www.w3.org/ns/prov>
18. Spatial Data on the Web Working Group, joint activity of W3C and OGC, "Time Ontology in OWL", 2006 – 2016. Disponibile a: <https://www.w3.org/TR/owl-time/>
19. CITYkeys, finanziato dal programma European Union HORIZON 2020 Disponibile all'indirizzo: <http://www.citykeys-project.eu/citykeys/home>.
20. Y. Raimond, S. Abdallah, "The Timeline Ontology". Disponibile all'indirizzo: <http://motools.sourceforge.net/timeline/timeline.html>
21. Robert Battle, Dave Kolas, "Enabling the Geospatial Semantic Web with Parliament and GeoSPARQL" Semantic Web. Vol. 3 (2012) pp.355–370. IOS Press, Amsterdam.
22. S. Harris, A. Seaborne, E. Prud'hommeaux, "SPARQL 1.1 Query Language", 2013 W3C. Disponibile a: <https://www.w3.org/TR/sparql11-query/>
23. S. Cox, P. Daisey, R. Lake, C. Portele, A. Whiteside, "OpenGIS® Geography Markup Language (GML) Implementation Specification", Open Geospatial Consortium, Inc. 2004.
24. J. R. Herring, "OpenGIS® Implementation Standard for Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture", Open Geospatial Consortium Inc. 2011.

25. D. Brickley, L. Miller, "FOAF Vocabulary Specification 0.99", 2000-2014. Disponibile all'indirizzo: <http://xmlns.com/foaf/spec/>
26. D. Beckett, T. Berners-Lee, E. Prud'hommeaux, G. Carothers, "RDF 1.1 Turtle. Terse RDF Triple Language", 2008-2014 W3C. Disponibile a: <https://www.w3.org/TR/turtle/>
27. R. Iannella, J. McKinney, "vCard Ontology - for describing People and Organizations", 2014 W3C. Disponibile a: <http://www.w3.org/TR/vcard-rdf/>

## Curriculum Vitae Michela Milano

**Laureata in Ingegneria Elettronica** presso l'Università degli Studi di Bologna riportando la votazione di 100/100 e lode, il 16 Marzo 1994.

Ha ottenuto il titolo di **Dottore di Ricerca** in Ingegneria Elettronica e Informatica il 30 Giugno 1998.

Dal 1 Luglio 1999 al 30 Giugno 2000 ha usufruito di una **borsa di studio** per lo svolgimento dell'attività di ricerca **post-dottorato** presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara.

Dal 1 Luglio 2000 ha ricoperto il ruolo di **Ricercatore Universitario** presso la Facoltà di Ingegneria di Bologna afferendo al Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica (DEIS).

Dal 1 Novembre 2001 ha ricoperto il ruolo di **Professore Associato nel settore concorsuale 9/H1 (ING-INF/05) – Sistemi di Elaborazione delle Informazioni** presso la Facoltà di Ingegneria di Bologna afferendo prima al Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica (DEIS) poi al Dipartimento di Informatica – Scienza e Ingegneria DISI.

### Posizione Attuale

Dal 1 Aprile 2016 ricopre il ruolo di **Professore Ordinario nel settore concorsuale 9/H1 (ING-INF/05) – Sistemi di Elaborazione delle Informazioni** presso la Facoltà di Ingegneria di Bologna afferendo al Dipartimento di Informatica – Scienza e Ingegneria presso cui svolge attività didattica e di ricerca, partecipando attivamente a convenzioni e progetti di ricerca.

### Attività di Ricerca

L'attività di ricerca di Michela Milano riguarda i sistemi di supporto alle decisioni basati sulla Programmazione a Vincoli e la sua integrazione con tecniche di Programmazione Intera: in particolare, sono stati investigati sia aspetti metodologici sia aspetti applicativi con riferimento a numerose applicazioni quali scheduling, allocazione, cutting e packing, routing, aste combinatorie e recentemente per problemi decisionale e di ottimizzazioni legati allo sviluppo sostenibile e al processo di policy making.

In questo settore Michela Milano ha raggiunto visibilità internazionale e ha collaborazioni con diversi gruppi di ricerca, universitari e industriali.

E' membro dei comitati di programma delle maggiori conferenze e workshop del settore e guest editor di diversi numeri speciali di riviste internazionali.

E' **Editor in Chief** della rivista Constraints, e' **Area Editor** di Constraint Programming Letters e **Area Editor** di INFORMS Journal on Computing.

E' editor di cinque libri sull'ottimizzazione ibrida e autrice di più di 130 lavori su riviste e conferenze internazionali. E' stata **program chair** di CPAIOR 2005 e CPAIOR 2010, di CP2012 e di CompSust2012. Su tali argomenti Michela Milano ha tenuto numerosi tutorial nelle maggiori conferenze italiane e internazionali quali: AI\*IA99, PACLP2000, CP2000, IJCAI2001. Ha tenuto relazioni invitate a CP2013, ICAPS2004, INFORMS2002, INFORMS99, IFORS99 e numerosi seminari e relazioni invitate in centri di ricerca e industrie.

E' membro dell' **EurAI Board** (European Association for Artificial Intelligence) e membro del **AAAI Council** (American Association of Artificial Intelligence). E' membro dello **Steering Committee di CPAIOR**. E' stata membro del Executive Committee della ACP Association of Constraint Programming, ed è membro del Consiglio Direttivo dell'Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale AI\*IA.

Ha partecipato a numerosi progetti di ricerca italiani ed Europei. È stata **coordinatrice** del progetto Europeo FP7 **ePolicy**, Engineering the Policy Making Life Cycle, 2011-2014 e partner del progetto Europeo FP7 **COLOMBO**, Cooperative Self-Organizing System for low Carbon Mobility at low Penetration Rates, 2012-2015, del progetto EU-FP7 **DAREED**: Decision Advisor for Energy Efficient Districts, 2013-2016 e del progetto EU-H2020 **OPRECOMP**: Open Transprecision Computing, 2017-2020. E' stata principal investigator del **Google Focused Grant** on Mathematical Optimization and Combinatorial Optimization in Europe nel 2012. Inoltre le e' stato assegnato il **Google Faculty Research Award** nel 2016 su integrazione di reti neurali profonde in modelli combinatori.

## Curriculum Vitae Federico Chesani

**Laureato in Ingegneria Informatica** presso l'Università degli Studi di Bologna riportando la votazione di 98/100, il 17 Luglio 2002.

Ha ottenuto il titolo di **Dottore di Ricerca** in Ingegneria Elettronica, Informatica e delle Telecomunicazioni il 12 Aprile 2007.

Dal 1 Gennaio 2007 al 30 Marzo 2012 ha usufruito di alcune **borse di studio**, per lo svolgimento di attività di ricerca post-dottorato, bandite dal CINI (Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Informatica) e dall'Università di Bologna (Dipartimento DEIS).

Il giorno 1 Aprile 2012 ha preso servizio nel ruolo di **Ricercatore Universitario nel settore concorsuale 9/H1 (ING-INF/05) – Sistemi di Elaborazione delle Informazioni** presso la Facoltà di Ingegneria di Bologna, afferendo al Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica (DEIS).

Nel Dicembre 2013 ha ricevuto **l'abilitazione** al ruolo di Professore di Seconda Fascia ("associato") nel settore concorsuale 9/H1(ING-INF/05), e nel Gennaio 2014 ha ottenuto l'abilitazione, sempre per il ruolo di Professore di Seconda Fascia, per il settore concorsuale 01/B1 (INF/01).

### Posizione Attuale

Dal 1 Aprile 2012 svolge attività didattica e di ricerca presso la Scuola di Ingegneria e Architettura dell'Università di Bologna, e afferisce attualmente al Dipartimento di Informatica – Scienza e Ingegneria DISI, nel ruolo di Ricercatore Universitario a tempo indeterminato, partecipando attivamente sia a progetti di ricerca, che a progetti di trasferimento tecnologico.

### Attività di Ricerca

Federico Chesani ha svolto la sua attività di ricerca prevalentemente nell'ambito dei sistemi esperti e di supporto alle decisioni basati su approcci a regole: in particolare, si è occupato sia di aspetti teorici legati ai sistemi a regole in logiche abduitive per gestire l'assenza di conoscenza e l'integrazione di conoscenza ontologica, sia ad aspetti maggiormente pratici legati all'applicazione di sistemi in presenza di conoscenza incerta e/o probabilistica. In particolare, nell'ambito dei numerosi progetti a cui ha contribuito, ha applicato sistemi a regole per il supporto alle decisioni in ambito sanitario (sia a livello italiano che europeo), "policy making", e manifatturiero/industriale. Nell'ambito di tale attività di ricerca, è co-autore di oltre 60 pubblicazioni, ed è stato invitato a tenere seminari e tutorials nell'ambito di conferenze internazionali.

Federico Chesani collabora attivamente con gruppi di ricerca nazionali e internazionali, e svolge attività di coordinamento e diffusione a livello nazionale e internazionale. E' membro di diversi comitati di programma di conferenze e workshop, e svolge con continuità attività di revisore sia per progetti nazionali ed europei, che per pubblicazioni su riviste scientifiche. Dal 2013 è membro del consiglio direttivo del Gruppo Ricercatori e Utenti Logic Programming (GULP).

Ha partecipato a numerosi progetti di ricerca italiani ed Europei, tra cui il progetto Europeo FP7 **ePolicy** ("Engineering the Policy Making Life Cycle", 2011-2014), il progetto Europeo FP7 **FARSEEING** (2012-2015), il progetto europeo FP5 **SOCS** (2002-2005), i progetti Nazionali PRIN/COFIN/FIRB **MASSIVE**, **SVP**, e **tocai.it**. Attualmente sta collaborando nel progetto Europeo H2020 **PreventIT** (2016-2018).