



Università Politecnica delle Marche

Scuola di Dottorato di Ricerca in Scienze dell'Ingegneria

Curriculum in Ingegneria Civile, Edile e Architettura

Sistema integrato di riconoscimento delle
attività domestiche di supporto
all'autonomia abitativa degli anziani

Candidato:

Paolo Iddas

Tutor:

Prof. Berardo Naticchia

Sommario

1	Introduzione.....	1
1.1	Stato dell'arte	1
1.2	Problema	2
1.3	Scopi e obiettivi	2
1.4	Struttura tesi.....	3
2	AAL e Buildings.....	5
2.1	AAL: stato dell'arte	5
2.1.1	Ambient Assisted Living	5
2.1.2	Internet of Things.....	15
2.1.3	AAL e IoT.....	21
2.1.4	Open Issues	35
2.2	Buildings: stato dell'arte.....	37
2.2.1	BIM: Building Information Modeling	37
2.2.2	BPM: Building Performance Modeling.....	41
2.2.3	BMS: Building Management Systems	50
3	Riconoscimento scenari	55
3.1	Stato dell'arte	55
3.1.1	Tecniche di monitoraggio "diretto"	56
3.1.2	Tecniche di monitoraggio "indiretto"	57
3.2	Analisi problema.....	61
3.3	Approcci.....	64
3.4	Modellazione con reti bayesiane	69
3.5	Caso di studio: riconoscimento attività e risultati.....	72

3.6	Caso di studio: composizione scenari.....	78
4	Sistema Operativo per edifici.....	81
4.1	Motivazioni	81
4.2	Sistemi Operativi: concetti, funzioni e servizi	82
4.3	Software Defined Buildings	83
4.4	Definizione e sviluppo prototipo	87
4.4.1	Metadata & QueryService.....	90
4.4.2	HPL.....	93
4.4.3	HAL	97
4.4.4	DataService	100
4.4.5	Kernel	101
4.4.6	System API & Service Bus.....	101
5	Caso di studio: progetto PASS.....	102
5.1	Visione d'insieme.....	102
5.2	Sviluppo della soluzione sensoristica	105
5.3	Implementazione e integrazione nel S.O.	115
5.4	Applicazioni.....	123
5.5	Analisi e diagnosi della soluzione	129
6	Conclusioni e sviluppi futuri.....	131
7	Bibliografia	135

1 Introduzione

1.1 Stato dell'arte

I progressi ottenuti negli ultimi anni in campo medico, scientifico e tecnologico hanno aumentato l'aspettativa di vita consentendo a milioni di persone di vivere non solo più a lungo, ma anche più in salute. L'aumento del tasso di indice di vecchiaia ha comportato un notevole aumento dei costi necessari per l'assistenza delle persone anziane: risulta sempre più evidente la necessità di trovare soluzioni tecnologiche che promuovano l'ageing in place permettendo agli anziani di vivere nelle proprie abitazioni in modo indipendente e sicuro il più a lungo possibile.

Le tecnologie dovrebbero supportare l'autonomia abitativa dotando gli edifici di una serie di servizi che soddisfino l'ampio spettro delle esigenze derivanti dalle normali attività quotidiane dei residenti: facilitare la mobilità all'interno della residenza, automatizzare gli ambienti per aiutare l'anziano nelle operazioni basilari, integrare nelle componenti delle abitazioni sistemi con interfacce semplici per mantenere vivi i rapporti sociali e così via. Un altro aspetto importante riguarda l'identificazione di quelle tecnologie per il monitoraggio costante sia dello stato di salute e sicurezza dell'anziano che dello stato di sicurezza dell'edificio. Supportare l'autonomia abitativa significa anche considerare la gestione di tutti gli aspetti degli edifici quali ad esempio comfort e consumo energetico.

Tali aspetti interdisciplinari richiedono il coinvolgimento sinergico di molte figure professionali di domini differenti: medici e psicologi per la cura della persona; ingegneri edili, architetti, ingegneri elettronici per lo sviluppo di componenti integrate con impianti e sensori; figure assistenziali per sostenere l'anziano.

1.2 Problema

Le tecnologie dell'Information and Communication Technology ad oggi hanno già prodotto centinaia di piattaforme e sistemi verticali ricoprendo una vasta gamma di esigenze inerenti alle problematiche descritte. Tuttavia le soluzioni non sono entrate nel mercato come atteso. Molti osservatori ritengono che tale situazione sia dovuta principalmente al fatto che c'è ancora troppa distanza tra le esigenze reali e il software prodotto e soprattutto le piattaforme sviluppate fino ad oggi non hanno in sé quella configurabilità, personalizzabilità e portabilità richiesta per poter riutilizzare senza sforzo le applicazioni abbattendo i costi correlati al deployment su larga scala delle soluzioni.

1.3 Scopi e obiettivi

Per colmare le lacune delle soluzioni odierne questo lavoro di ricerca propone un cambio di paradigma: l'introduzione del concetto di sistema operativo come approccio fondamentale per poter concepire l'interazione tra le componenti degli edifici in maniera innovativa garantendo la riusabilità delle risorse, degli impianti, dei processi di controllo e delle applicazioni in maniera trasparente. L'obiettivo di tale approccio è quello di rendere programmabile l'edificio e il suo comportamento, in funzione degli scenari rilevati al suo interno, e consentire ai progettisti di concentrarsi esclusivamente sulla soluzione dei problemi relativi al proprio dominio.

Gestire edifici in maniera intelligente richiede la capacità di prendere decisioni e agire in tempo reale in funzione delle situazioni che si stanno verificando al loro interno: saper identificare e riconoscere gli scenari diventa centrale sia per lo sviluppo di applicazioni che per l'evoluzione delle performance dell'edificio stesso in funzione dei modelli d'uso degli ambienti.

Il lavoro si pone quindi due obiettivi principali:

- Definire un approccio generale per risolvere il problema del riconoscimento scenari in real-time, identificato come funzionalità

essenziale per permettere ai sistemi di prendere decisioni in funzione del contesto

- Definire un prototipo di sistema operativo per edifici che tramite opportune astrazioni e servizi consenta di scrivere applicazioni disaccoppiate dalle configurazioni “hardware” del singolo edificio

1.4 Struttura tesi

Di seguito viene esplicitata la struttura della seguente tesi.

Il capitolo 2 delinea gli ambiti di riferimento del lavoro di ricerca. In particolare si analizza lo stato dell’arte dell’ Ambient Assisted Living anche in relazione alle moderne esigenze dell’Internet Of Things e vengono presentati gli approcci attuali alla gestione di tutto il ciclo di vita del building tramite BIM, BPS e BMS.

Nel capitolo 3 viene trattato il problema del riconoscimento scenari dal punto di vista della modellazione. Viene investigato il problema dell’incertezza del dato e l’utilizzo delle reti bayesiane come modello di riferimento per l’identificazione in tempo reale degli scenari attivi negli ambienti. Nello specifico viene presentato un modello bayesiano sviluppato nell’ambito di questa ricerca per il riconoscimento delle attività domestiche e testato su un ambiente sensorizzato.

Nel capitolo 4, dopo aver enunciato i vantaggi dell’approccio che prevede l’utilizzo di un sistema operativo per la gestione di edifici, vengono delineate le componenti essenziali di tale sistema e vengono mostrate alcune scelte progettuali. Oltre a ciò, ampio spazio è concesso alla presentazione del prototipo implementato.

Il capitolo 5 presenta la sperimentazione del prototipo di sistema operativo e dei modelli bayesiani di riconoscimento delle attività nell’ambito del progetto regionale PASS. Dopo aver esaminato le soluzioni sensoristiche innovative introdotte nell’ambito di tale progetto, viene descritta l’implementazione di due casi d’uso esemplificativi per mostrare i vantaggi applicativi e progettuali derivanti dall’utilizzo del sistema operativo.

Infine l'ultimo capitolo riassume il lavoro di ricerca svolto, analizza i risultati raggiunti e esplicita gli sviluppi futuri.

2 AAL e Buildings

2.1 AAL: stato dell'arte

2.1.1 Ambient Assisted Living

AAL in pillole

Secondo il “Modello universale per l' Ambient Assisted Living (AAL)” [Tafari et al., 2012], i sistemi per l'AAL possono essere definiti come sistemi socio-tecnici che consistono in dispositivi (sensori e attuatori) in rete tra loro, incorporati negli spazi per l'assistenza assistita al fine di fornire vari tipi di servizi, per il benessere delle persone assistite (anziani o disabili in genere). I servizi AAL (o le applicazioni) sono funzioni specifiche che utilizzano come input i dati dai sensori per eseguire azioni che facilitano assistenza o rafforzano l'integrazione sociale della persona assistita. Per spazio AAL si intende un ambiente “smart”, accessorato con i dispositivi in rete che permettano l'erogazione dei servizi AAL.

Quindi l'obiettivo principale dell'AAL è supportare le persone anziane o con bisogni speciali nella loro routine quotidiana, al fine di mantenere e rafforzare l'autonomia di queste persone e quindi, aumentare sicurezza e salute nel loro stile di vita e nel loro ambiente.

La necessità di queste applicazioni sorge dal cambiamento demografico che si è realizzato nelle regioni industrializzate dove l'aspettativa di vita è in aumento e il tasso di nascite in declino. Queste circostanze richiedono soluzioni innovative e cost-effective, per mantenere la spesa per la cura della salute all'interno dei limiti delle possibilità economiche [Horst et al. 2006][Georgieff et al. 2008].

Perciò, sintetizzando, le applicazioni AAL includono servizi, prodotti e concepts finalizzati ad accrescere la qualità della vita, il benessere e la sicurezza delle persone anziane o con bisogni speciali. L'obiettivo principale è raggiungere benefici per l'individuo, per l'economia (maggior efficacia di risorse limitate) e per la società (migliori standard di vita) [Barnabas et al. 2007].

I settori di bisogno delle persone coinvolte nelle applicazioni AAL sono:

- Salute
- Sicurezza
- Serenità mentale
- Indipendenza
- Mobilità
- Contatto Sociale.

Lo scopo delle applicazioni in questi settori è molto esteso.

Per questa ragione, gli ambienti AAL sono strutturati su tre livelli: hardware (sensori e reti wireless di comunicazione), middleware (raccolta del dato, sicurezza del dato, integrazione IT) e servizi (biosignal processing, application oriented processes, community services) [Kunze et al. 2007].

Questa sezione presenta il dominio e le motivazione dell'AAL, mentre una presentazione delle tecnologie esistenti rilevanti nell'ambito di questo lavoro è riportata nel paragrafo successivo: AAL e IoT.

Il supporto all'assistenza e l' AAL

Ambient Assisted Living (AAL) è il termine coniato nei primi anni 2000 per descrivere un insieme di soluzioni tecnologiche destinate a rendere attivo, intelligente e cooperativo l'ambiente nel quale viviamo, efficace nel sostenere la vita indipendente, capace di fornire maggiore sicurezza, semplicità, benessere e soddisfazione nello svolgimento delle attività della vita quotidiana.

Questo per cercare di dare una risposta alla crescente necessità di assistenza, monitoraggio e controllo di persone a ridotta autosufficienza: è ben nota, infatti, la problematica dell'innalzamento dell'età media della popolazione, dovuta a dinamiche demografiche di ridotta natalità e di prolungamento della vita media. All'età anziana è statisticamente associata la maggiore incidenza di alcune patologie invalidanti: deficit sensoriali, motori o cognitivi che complicano lo

svolgimento delle attività della vita domestica quotidiana e ne possono compromettere qualità e sicurezza. Ciò comporta una crescente necessità di assistenza che trova, solitamente, soluzione nell'assistenza personale domiciliare o nel ricovero (istituzionalizzazione) in strutture dedicate, soluzioni che hanno evidenti implicazioni in termini di costo e di qualità della vita (riduzione autonomia e privacy, rinuncia alle proprie abitudini di vita, mancanza dei familiari, ...).

L'invecchiamento della popolazione e, più in generale, la qualità della vita, rappresentano tematiche ritenute importanti sia dal punto di vista politico e sociale, sia da quello economico e scientifico: la necessità di dover affrontare problematiche comuni che coinvolgono diversi contesti e settori ha costituito, tuttavia, uno stimolo per favorire la costruzione di un "sistema" con lo scopo di realizzare un "programma comune" che preveda una collaborazione sia "orizzontale" che "verticale" (ovvero, sia tra i diversi livelli gerarchici che allo stesso livello) tra istituzioni ed enti, pubblici e privati, per affrontare in sinergia e minimizzare l'impatto che le attuali dinamiche demografiche potrebbero avere sul sistema socio-sanitario di ogni paese, anche di quelli più evoluti ed avanzati.

In questo contesto assume notevole rilevanza il programma comunitario AAL basato sull'articolo 185 (ex articolo 169) del Trattato sul Funzionamento dell'Unione Europea come unione di diversi programmi di ricerca nazionali, al fine di supportare progetti per lo sviluppo di soluzioni innovative basate sulle tecnologie dell'informazione e della comunicazione volte a migliorare le condizioni e la qualità di vita delle persone anziane.

L'obiettivo principale, è quello di individuare e selezionare le esigenze legate al modo di vivere l'abitazione in relazione all'evoluzione della società e delle persone per fornire risposte tecnologiche, non solo a fattori di comfort e gestione della casa in termini controllo e automazioni, ma soprattutto alla sempre maggiore necessità di assistenza e supporto alle fasce di popolazione più deboli.

Le tecniche AAL sono, dunque, volte ad impiegare strumenti tecnologici allo scopo di incrementare le possibilità di autonomia e di vita indipendente soprattutto di persone anziane o con disabilità, riducendo i costi complessivi

dell'assistenza e parallelamente migliorando la qualità della vita delle persone interessate.

La casa rappresenta un elemento fondamentale di autonomia nella vita di ogni persona: l'introduzione di tecnologie di supporto domestico può rivelarsi utile per migliorare usabilità ed accessibilità dei servizi utili durante la vita quotidiana, monitorando le attività domestiche e la capacità di svolgere tutte le più semplici e normali azioni giornaliere, sotto la garanzia delle dovute condizioni di sicurezza.

Grazie allo sviluppo delle più recenti tecnologie microelettroniche è possibile realizzare sistemi elettronici ed informatici di dimensioni e costi sempre più ridotti e prestazioni sempre maggiori che ne permettono una diffusione sempre più capillare. Inoltre, lo sviluppo delle telecomunicazioni e le attuali possibilità di "interconnessione" in rete ed alla rete geografica (Internet) consentono di realizzare nuove funzionalità e servizi tecnologici, anche di gestione e controllo remoto, maggiormente efficaci ed a costi complessivi inferiori.

La casa può essere, dunque, dotata di sempre maggiore intelligenza grazie alla diffusione di sistemi che, tramite l'impiego di sensori, permettono di monitorare e controllare l'ambiente domestico nonché le attività e gli eventi che si verificano al suo interno, fornendo un supporto nello svolgimento di gran parte dei compiti quotidiani. Inoltre, la possibilità di utilizzare strumenti di rilevazione di parametri fisiologici e autodiagnosi collegabili direttamente ad un computer, permette di realizzare servizi di "telemedicina e teleassistenza" che possono essere utilizzabili anche nelle singole case, senza la necessità di personale specializzato.

L'obiettivo principale è quello di promuovere l'utilizzo innovativo della "domotica assistiva" o, più in generale, delle tecnologie di assistenza al servizio degli anziani e disabili all'interno di abitazioni rese intelligenti ed attivi strumenti di assistenza tramite l'impiego di sensori e sistemi evoluti che sfruttano tecnologie d'avanguardia nei campi delle telecomunicazioni, dell'informatica, delle nano e micro tecnologie.

Fattori economici e sociali

L'invecchiamento della popolazione è diventato un fenomeno globale come conseguenza della longevità della vita e il calo del tasso di natalità della società moderna, in particolare nelle regioni sviluppate. La tendenza sarà più grave e avrà grande impatto sulla nostra società nei prossimi anni [Mirkin et al. 2010].

Il numero di persone di età compresa tra 65 anni o più è destinato a crescere da 524 milioni stimati nel 2010 a quasi 1,5 miliardi nel 2050, con la maggior parte dell'aumento nei paesi in via di sviluppo [WHO, 2011]. L'Europa detiene attualmente la più alta percentuale di invecchiamento della popolazione. Secondo i rapporti statistici demografici [DESAPD 2015] la popolazione oltre i 60 anni è pari al 24,5% del totale dell'Europa.

Recenti studi dimostrano che la vita media della popolazione europea è in continuo aumento: dal 1920 fino ai giorni nostri, la media è passata dai 55 anni agli 80 anni e le previsioni dicono che il numero di persone comprese tra i 65 e gli 80 anni aumenterà di una percentuale pari al 40% tra il 2010 e il 2030.

I dati Eurostat di seguito riportati mettono in evidenza come tra il 1990 e il 2010 la popolazione europea abbia subito modifiche ed evoluzioni nette caratterizzate dal costante aumento della vita media.

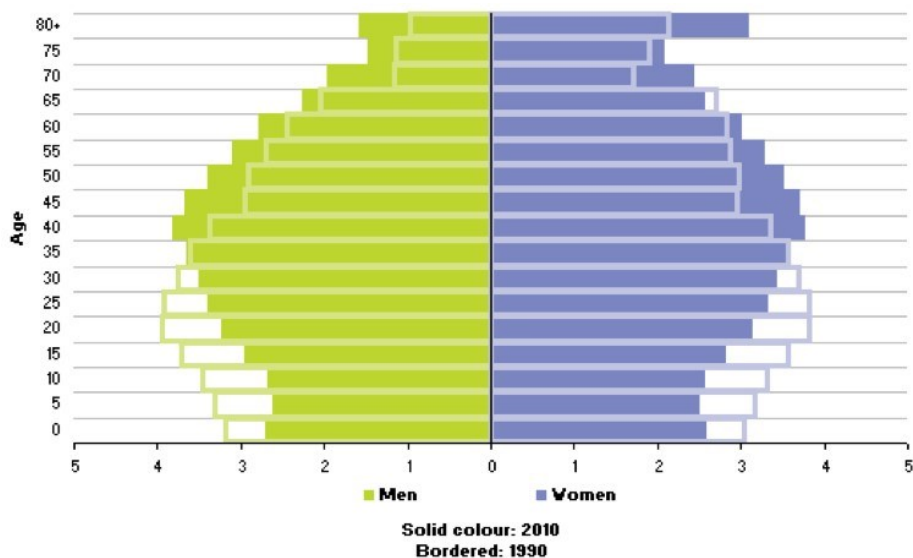


Figura 1: piramide della popolazione europea, 27 nazioni, dal 1990 al 2010

Un altro aspetto interessante, riguarda le previsioni di prospettiva di vita tra il 2010 e il 2060. Osservando il grafico della figura successiva si nota come le fasce relative alla popolazione europea ultra-sessantenne siano le uniche, da un punto di vista demografico, a crescere significativamente.

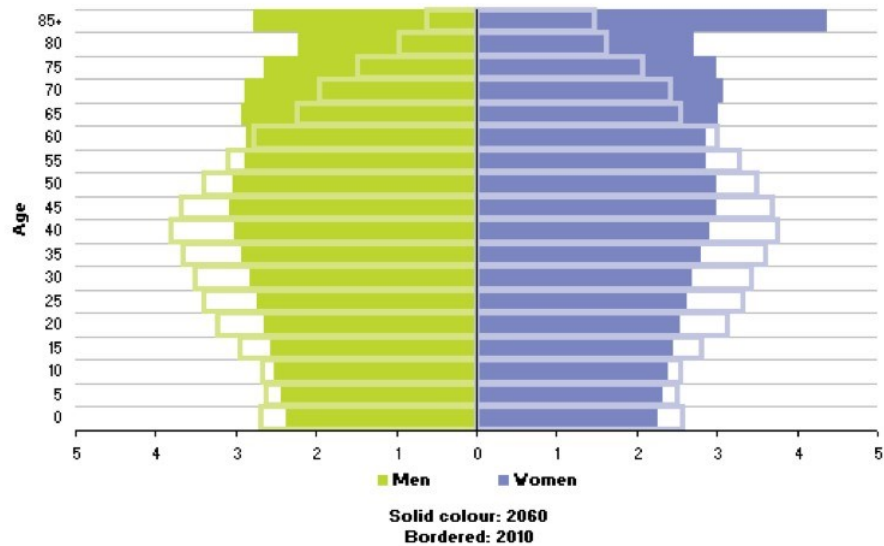


Figura 2: previsione della piramide della popolazione europea, 27 nazioni, dal 2010 al 2060

Se si guarda all'Italia, la situazione non risulta essere molto diversa da quella europea confermando quel progressivo sbilanciamento tra la fascia di popolazione "giovane" e la fascia di popolazione "anziana" che, secondo le previsioni, si accentuerà sempre di più a causa dei diversi fattori alla base di certe dinamiche ed evoluzioni demografiche.

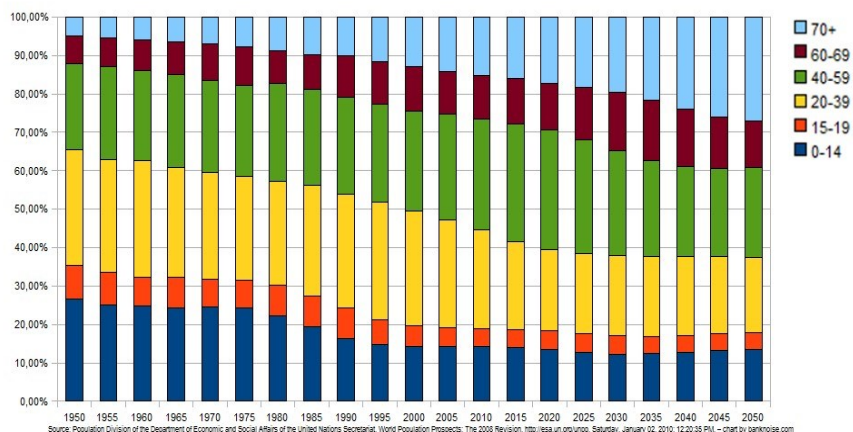


Figura 3: distribuzione in percentuale della popolazione italiana dal 1900 al 2050

Tutte queste osservazioni e previsioni, in gran parte conseguenze dello sviluppo scientifico e tecnologico e delle attuali dinamiche demografiche di bassa natalità, seppure siano da associare ai notevoli risultati e traguardi raggiunti dalla medicina e dalla scienza che, rispetto al passato, consentono condizioni di vita nettamente migliori, hanno, tuttavia, impatti e ricadute negative su diversi tessuti della società, in particolare sui sistemi previdenziali ed assistenziali del paese.

Il numero crescente di popolazione anziana sarà accompagnata con una rapida crescita nel numero di persone con squilibri fisici e mentali o con varie malattie croniche senili, come il disordine di iperattività, disordini nello spettro dell'autismo, handicap motori e malattie croniche come il declino cognitivo [PRB,2009].

Secondo il "Population Reference Bureau", nel 2011 circa 19 milioni di persone hanno dato – con le loro attività giornaliere – assistenza primaria a parenti anziani o da loro dipendenti. Il 70% di questi individui non può vivere indipendentemente e necessita di attività di assistenza e cura della salute da altri. Nel 2012, 15.4 milioni di prestatori di cure hanno fornito circa 17.5 miliardi di ore di cura non pagate, valutate in più di 216 miliardi di dollari [Alzheimer, 2013].

I costi dei prestatori di cura per persone con l'Alzheimer o altri tipi di demenza costeranno, dai 203 miliardi di dollari stimati nel 2013, a una proiezione di 1200 miliardi all'anno entro il 2050 negli USA. In tutto, si stima che la demenza costi allo UK 23 miliardi di sterline all'anno. Il costo globale della demenza nel 2010 è stato 604 miliardi di dollari, che è pari al 1% del PIL ed è verosimile che questi costi cresceranno rapidamente in proporzione al numero di anziani nei prossimi anni [WHO, 2011]. Perciò questo fenomeno di continua crescita di popolazioni anziane porterà grandi problemi e stress alle famiglie e alla società.

Un esempio significativo di "ricadute negative" è, infatti, costituito dai continui problemi che la politica del nostro paese deve affrontare per poter continuare a garantire la previdenza a tutti coloro che effettivamente ne hanno diritto. Il problema previdenziale italiano costituisce un chiaro esempio in cui lo sbilanciamento tra la fascia di popolazione in età lavorativa e quella in età non

lavorativa può creare seri problemi: le soluzioni, tuttavia, non sono mai definitive o, peggio, a volte non rappresentano neppure vere e proprie soluzioni in quanto si tratta solo di sistemi per “tamponare” (risolvere temporaneamente) il problema: il fatto di ritardare il momento del pensionamento non rappresenta certo una soluzione definitiva.

E se si prova a fare un ragionamento analogo, considerando stavolta il sistema assistenziale, si capisce che “la soluzione di tamponamento” non è applicabile come nel caso del sistema previdenziale. Le previsioni associate a dinamiche demografiche di bassa natalità e prolungamento della vita media implicano, infatti, che ci saranno sempre più persone anziane e sempre minore disponibilità di personale che possa prendersi cura di loro fornendogli sostegno e assistenza.

Da questo punto di vista emerge come, nel prossimo futuro, sia prevedibile una richiesta di servizi assistenziali sempre maggiore a fronte di una offerta (pubblica e privata) che, al contrario, a causa di una serie di fattori economici e politici, tende a contrarsi. Ed il problema non si può risolvere, in questo caso, neppure provvisoriamente, in quanto non è possibile, per esempio, “imporre per legge” che le malattie, da un certo momento in poi, possano essere ritardate in modo da “colpire” le persone ad un’età più avanzata.

Per far fronte a questa situazione diversi enti ed istituzioni, sia pubbliche che private, stanno promuovendo, con finanziamenti anche ingenti (come prevedono i programmi europei volti a favorire, ad esempio, la diffusione di tecniche di Ambient Assisted Living), politiche e programmi di supporto alla domiciliarità, finalizzati a consentire agli anziani di rimanere nel proprio ambiente domestico continuando a svolgere tutte le attività quotidiane quanto più a lungo possibile, garantendo elevati livelli di sicurezza e di qualità della vita. L’idea di concepire l’ambiente di vita quotidiana non più come barriera e ostacolo ma come strumento di assistenza per favorire la domiciliarità, oltre a soddisfare requisiti di accessibilità e inclusione, rappresenta l’unica via praticabile nella direzione di “supportare” il sistema assistenziale nel compito di trovare “sistemazione e

personale” per la cura di tutte le persone anziane e/o con problemi di autosufficienza.

Sicurezza, benessere e qualità della vita di ogni persona sono fortemente legati all’efficienza e al comfort della casa in cui si vive: l’utilizzo delle più moderne tecnologie ICT può fornire un aiuto per permettere a persone anziane o con disabilità, spesso con esigenze particolari, di essere autonomi, indipendenti e di continuare a vivere nella propria abitazione per il maggior tempo possibile.

Tutte queste motivazioni sono alla base dello sviluppo e del sempre maggiore successo riscosso dalle tecniche AAL, proprio perché finalizzate alla progettazione di un insieme di soluzioni tecnologiche destinate a rendere proattivo, intelligente e cooperativo l’ambiente nel quale si vive in modo da sostenere la vita indipendente delle persone fornendo sicurezza, confort e supporto nello svolgimento delle attività della vita quotidiana grazie soprattutto alle possibilità di monitoraggio continuo e remoto di ambienti e persone che, in prospettiva, permetteranno anche un abbattimento dei costi complessivi dell’assistenza, soprattutto di quella domiciliare.

I costi dell’assistenza domiciliare tradizionale sono, infatti, molto legati a fenomeni dinamici: nell’ultimo decennio un sostanziale contributo è arrivato dai flussi migratori verso il nostro paese (“badanti”) ed i salari sono stati, finora, influenzati dalle differenze fra i regimi economici dei paesi di origine e il nostro. Tali differenze sono, tuttavia, destinate ad attenuarsi sempre più, sia per effetto delle politiche europee, sia per l’adattamento della popolazione migrante ai tenori dei paesi ospitanti, comportando inevitabilmente un incremento dei costi. L’impossibilità di poter, nel medio/lungo periodo, continuare ad applicare i modelli assistenziali attuali rende l’introduzione di elementi di supporto tecnologico l’unica soluzione praticabile per ottenere un abbattimento della spesa complessiva per l’assistenza domiciliare e, parallelamente, una maggiore efficienza dell’intero sistema assistenziale.

Anche se la tecnologia non può sostituire l’intervento umano degli operatori assistenziali in quanto esistono competenze, non solo professionali, ma anche di

“sensibilità” nel rapporto interpersonale e umano fra “caregiver” ed assistito che non potranno mai essere sostituite da strumenti automatici (per quanto evoluti) di assistenza, sistemi intelligenti di monitoraggio continuo dell’ambiente e delle persone possono contribuire significativamente alla sicurezza di persone anziane e parzialmente autosufficienti, consentendone la permanenza nel proprio ambiente domestico e riducendo la necessità di assistenza continua con conseguenti vantaggi economici e miglioramenti della qualità della vita.

Per esempio, diverse tipologie di servizi assistenziali prevedono visite periodiche ai pazienti che, solitamente, implicano costi direttamente proporzionali all’efficienza e alla frequenza dei servizi offerti: in molti casi, l’uso di sistemi di monitoraggio e segnalazione permetterebbe di integrare le informazioni rilevate dal personale durante le visite con quelle quotidianamente acquisite dal sistema, rendendo possibili analisi e valutazioni più complete e consentendo di ricevere tempestivamente le richieste di assistenza e le segnalazioni di anomalie aumentando così l’efficienza e riducendo complessivamente i costi. La disponibilità di meccanismi automatici di sicurezza, monitoraggio e segnalazione può consentire, dunque, la permanenza di persone fragili nel proprio ambiente domestico, sotto il controllo remoto di familiari piuttosto che di assistenti professionali, evitando o, almeno, ritardando la necessità di ricorrere a ricoveri ed istituzionalizzazioni.

L’impiego della tecnologia come strumento di supporto per migliorare o, almeno, continuare a garantire efficienza e sostenibilità dell’attuale sistema assistenziale, apre a nuove prospettive e scenari che, diversamente, sarebbero impossibili o di più difficile realizzazione: per esempio, la possibilità di implementazioni che prevedano la convergenza delle informazioni provenienti da diverse residenze, verso dei centri di servizi o tele-assistenza remoti presso cui personale specializzato ha il compito di verificare e controllare la regolarità di certe funzioni e parametri sia clinici che comportamentali.

E’ opportuno sottolineare come, nonostante ci siano ancora molte difficoltà dovute a differenti questioni che spaziano da fattori di etica ed accettabilità a

fattori economici e di praticità, la necessità di compensare lo sbilanciamento tra domanda e offerta di servizi di assistenza stia determinando una diffusione sempre più capillare di metodologie ed approcci di AAL che cercano di “cavalcare l’onda” sfruttando gli strumenti sempre più innovativi messi a disposizione dal progresso tecnologico e orientando gli obiettivi sempre più al miglioramento della qualità della vita, del benessere e della salute delle persone.

2.1.2 Internet of Things

IoT in pillole

L’Internet of Things (IoT) è un nuovo paradigma in cui il mondo virtuale delle tecnologie dell’informazione e della comunicazione è strettamente integrato con il mondo reale delle cose.

Una definizione di IoT, ad esempio, è stata formulata nella Strategic Research Agenda of the Cluster of European Research Projects on the Internet of Things (CERP-IoT 2009): l’IoT può essere definita come una infrastruttura di rete globale e dinamica con capacità di auto configurazione sulla base di protocolli di comunicazione standard e interoperabili, dove gli oggetti fisici e virtuali hanno un’identità, attributi fisici, personalità virtuale e utilizzano interfacce intelligenti, oltre ad essere perfettamente integrati nella rete info-telematica.

Da un punto di vista tecnologico, l’IoT è un fenomeno che trova origine in alcuni concetti e sviluppi innovativi nel settore dell’ Information and Communication Technology (ICT):

- Ubiquitous Communication/Connectivity
- Pervasive Computing
- Ambient Intelligence

Questi concetti hanno un forte impatto nello sviluppo dell’IoT [Kuhner, 2007]. Ubiquitous Communication implica la generale capacità degli oggetti di comunicare (ovunque ed in ogni momento); Pervasive Computing significa il potenziamento degli oggetti con potenza di processing (l’ambiente attorno a noi

diventa un computer); Ambient Intelligence prevede la capacità degli oggetti a registrare cambiamenti nell'ambiente fisico e perciò interagire attivamente in un processo. Tipicamente, gli oggetti che rispondono a questi requisiti sono chiamati "smart objects" [ISTAG, 2009]. In sintesi quindi, l'IoT è definito come l'abilità di smart objects di comunicare l'un l'altro e costituire reti di cose (things), l'Internet of Things.

Alle dimensioni già note del comune internet – da qualunque tempo, in qualunque luogo, connettività per chiunque – viene aggiunta la dimensione "per qualunque cosa" [ITU, 2005].

Un'altra spiegazione dell'IoT è che gli oggetti del mondo possono costituire una rete dinamica che è connessa attraverso internet e può essere definita come la rete delle reti.

Ci si aspetta dunque che l'IoT cambi il web, da uno spazio virtuale online ad un sistema incorporato nel mondo fisico reale. Caratteristiche tipiche dell'IoT sono:

- a) Crea nuove reti indipendenti che operano con infrastrutture proprie
- b) Sarà implementato con nuovi servizi

Avvierà nuove modalità di comunicazione tra persone e cose e tra le cose stesse, inclusa la comunicazione Machine to Machine (M2M) [David Ley, 2007][CEC, 2009].

I giocatori chiave nello sviluppo e diffusione dell'IoT sono gli smart objects, caratterizzati da quattro attributi tecnologici (che implicano i tipici attributi di Ubiquitous Communication, Pervasive Computing e Ambient Intelligence):

- Identificazione
- Localizzazione
- Sensorizzazione
- Connettività.

Inoltre, gli smart objects possono essere attivi (in cui è possibile decision making in locale) o passivi (il dato del sensore viene registrato e può essere letto dall'esterno – non è possibile decision making in locale).

Le tecnologie abilitanti principali per gli smart objects sono: Radio Frequency Identification (RFID), Global Positioning system (GPS), sviluppi nelle reti di sensori, Micro Electro-Mechanical Systems (MEMS) e ulteriori sviluppi nella connettività wireless. I tag RFID permettono agli oggetti di essere identificati univocamente, per determinarne la localizzazione, percepire (sensing) cambiamenti nei dati fisici e connettere e comunicare.

Gli obiettivi principali nella realizzazione dell'IoT saranno fornire (solo) le informazioni rilevanti, nel formato corretto, quando e dove è necessario e in modo da colmare il gap tra il web e il mondo reale [David Ley, 2007]. Inoltre, l'IoT sarà una parte fondamentale dell'Internet del futuro, che sarà fatto dall'Internet dei Servizi e l'Internet delle Cose [Haller et al. 2008].

Fattori economici e sociali

L'Internet of Things è l'estensione della rete internet nel senso oggi conosciuto, dalle persone agli oggetti. Più propriamente si tratta della costruzione di una rete che pone gli oggetti e la loro interazione al centro. Questa è una visione radicalmente diversa dal consueto, se si pensa alle storie di maggior successo dei servizi del web 2.0 (Wikipedia, Facebook, YouTube, etc.) che di fatto generano valore a partire dagli utenti e dai contenuti da essi creati. A testimonianza di ciò, viene evidenziato [Miorandi et al. 2012] come l'Internet of Things non sia altro che il naturale passaggio da una Internet da rete di collegamento per end-user-devices ad una rete di interconnessione diretta di oggetti fisici in grado di comunicare e cooperare tra loro.

Viene anche sottolineato [Atzori et al. 2010] il fatto che la locuzione Internet of Things derivi dall'unione di due visioni di rete, una orientata alla rete e l'altra orientata agli oggetti. A questi gli autori aggiungono anche una terza via, quella semantic oriented che trae origine dall'esigenza di coniugare le necessità di

rappresentazione, indirizzamento ed immagazzinamento dei dati scambiati. A seconda degli attori considerati (industrie, ricercatori, organismi di standardizzazione) si ha tipicamente una propensione per una di queste tre aree.

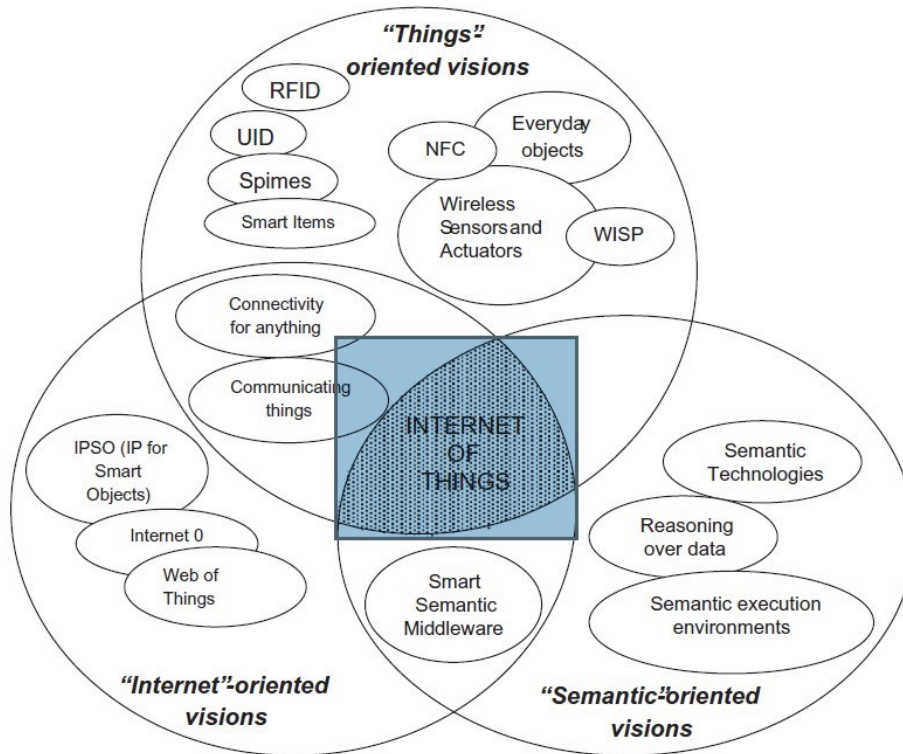


Figura 4: convergenza delle differenti visioni dell'IoT. (Atzori, et al., 2010)

L'idea alla base dell'Internet of Things è che virtualmente ogni oggetto fisico può essere connesso ad Internet. Questo non significa che ogni oggetto verrà trasformato in un PC, ma che implementerà funzionalità di calcolo basilari e tali da permettergli di partecipare alla rete. Le modalità di accesso non necessariamente devono ricalcare quelle a cui siamo abituati. Alcune interpretazioni [Mayer et al. 2009], definiscono intelligenti perfino oggetti a cui vengono applicati dei semplici tag in radiofrequenza (RFID) atti a favorirne il riconoscimento. In linea teorica, per essere definito smart, è sufficiente che un oggetto sia caratterizzato da un proprio identificativo e sia dotato della capacità di trasmetterlo.

Nonostante caratterizzazioni variamente inclusive, fattore centrale risulta sempre la presenza di una struttura protocollare che, a monte, avalli la possibilità

di comunicazione tra gli oggetti della rete. La presenza in rete di questi oggetti fisici, affiancati o meno agli umani, porta con sé la necessità di ripensare alcuni degli approcci convenzionali che fino ad oggi hanno caratterizzato i settori della comunicazione, del calcolo, della previsione e della gestione dei servizi. L'IIoT, nel senso della complementarità con i servizi attuali, aggiunge una nuova dimensione, permettendo al mondo fisico e agli oggetti che con esso direttamente si interfacciano, di generare moli di dati in forma del tutto autonoma. L'intento è duplice: innovare mediante la creazione di nuovi servizi ed aggiungere valore a quelli esistenti. In futuro praticamente ogni oggetto, dotato di opportune interfacce, avrà un indirizzo di rete, sarà connesso e potrà dialogare con gli altri.

Si tratta di un futuro abbastanza prossimo [Gartner, 2011] e la figura seguente mostra come, di qui al 2020, il volume di traffico atteso in Internet sarà, per la maggior parte, generato autonomamente dagli oggetti piuttosto che dagli esseri umani.

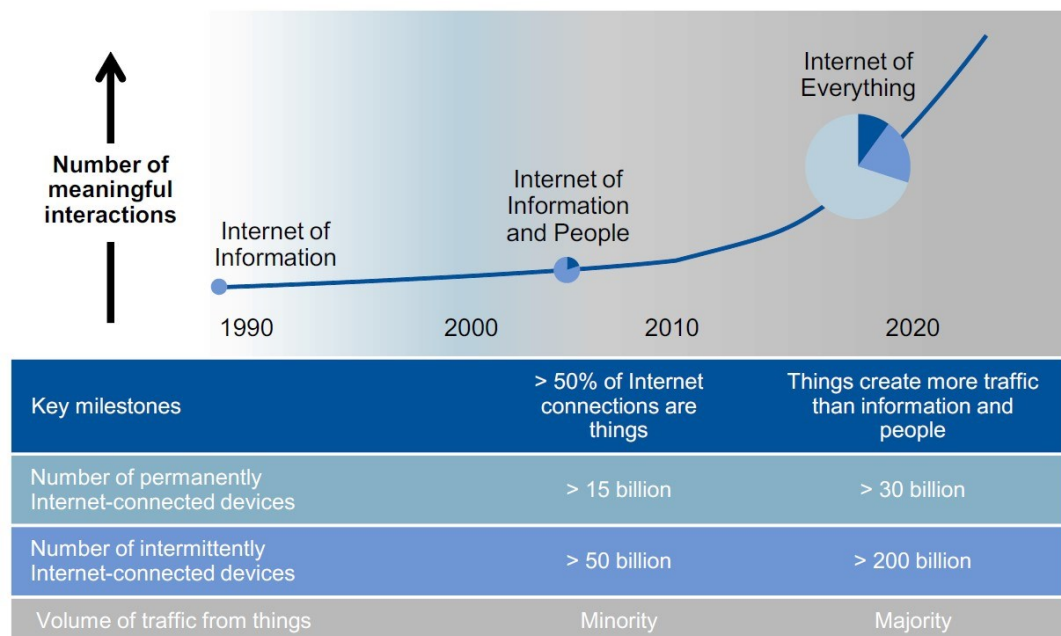


Figura 5: trend di espansione dei dispositivi connessi in rete. (Gartner, 2011)

Mentre le tecnologie IT hanno già portato ad un'automatizzazione delle operazioni di alto livello gestionali e manageriali, le tecnologie del mondo IIoT sono invece maggiormente focalizzate nella gestione di basso livello, più hardware che

software. La rete sensoriale che l'IoT permette di implementare non comporta esclusivamente un nuovo livello di risoluzione (temporale e geografica), ma è in grado di produrre dati che, rispetto agli attuali, sono più affidabili e derivanti da campionamenti statisticamente più rilevanti. Vengono di fatto abbattute molte delle barriere dovute ai vari passaggi che le informazioni devono attraversare dal momento della loro acquisizione all'uso/interpretazione. Tutto questo viene riferito [Fleish, 2010] attraverso l'espressione di silent monitoring, inteso come la possibilità di un costante monitoraggio di tutti gli eventi ed i processi di un determinato ambiente/business.

Molte tecnologie IoT, più o meno avanzate, sono già state adottate con successo anche in molti business privati [Xu et al. 2014]. Un primo esempio in questo senso è quello della logistica, dove, attraverso un'opportuna sensorizzazione dei processi, un venditore è in grado di tenere traccia delle proprie spedizioni in tempo reale e di monitorare i vari passaggi del materiale. Non si tratta certamente di un'operazione così innovativa rispetto a quanto già fatto negli ultimi anni, ma il punto è quello di riuscire a realizzarla con un livello di automazione ed informatizzazione sempre maggiore. E' possibile riscontrare questa trasformazione confrontando la logistica di aziende più moderne e dinamiche (es. Amazon) rispetto a quelle più datate che implementano ancora schemi tradizionali. Per molte attività, un fattore limitante è dovuto alla necessità di avere una visione di sistema e non più di singolo processo, riguardando, o, se necessario, ripensando ex novo, l'intera filiera di un prodotto/servizio. Nei processi industriali possono essere automatizzate molte semplici operazioni manuali, quali: la gestione carico/scarico, la gestione del magazzino, il tracciamento attrezzi e/o personale all'interno dell'azienda, la rilevazione dei fallimenti, l'invio delle notifiche, etc. Grazie all'IoT si può innalzare il livello di efficienza ed ottenere, in ambito business, un immediato ritorno economico.

Diversi studi (tra cui Nedeltchev, 2014), definiscono come le tecnologie in ambito Internet of Things cambieranno radicalmente le nostre vite, creeranno nuovi business, nuovi lavori ed offriranno opportunità fino ad oggi sconosciute, non solo rispetto a grandi questioni, ma anche migliorando piccoli aspetti della

vita delle persone. Un risparmio anche di pochi minuti nel compiere molte delle azioni quotidiane si può tradurre in minor stress e in maggior tempo libero alla fine della giornata. Ovviamente non mancano sfide da affrontare, quali ad esempio la sicurezza delle informazioni scambiate, la privacy e la gestione di quella che sarà l'identità digitale. Prendendo a prestito le parole dell'autore citato: "Every challenge is an opportunity in disguise". In futuro, molte delle nostre azioni quotidiane subiranno cambiamenti: il modo in cui guideremo l'auto, pagheremo, gestiremo la nostra salute, lavoreremo, useremo e risparmieremo l'energia, rispetteremo l'ambiente, etc.. Allo stato attuale, i settori dell'industria produttiva, della sanità, della tutela ambientale, dei trasporti e della domotica sono quelli che maggiormente hanno avviato progetti e sperimentazioni a riguardo. Bisogna infine aggiungere che sono state discusse [Gubbi et al. 2013] molte potenziali ed attuali applicazioni nei campi appena citati.

2.1.3 AAL e IoT

Soluzioni AAL richiedono IoT

Soluzioni AAL efficaci necessitano di algoritmi, architetture e platform ICT appropriate, che considerino inoltre lo sviluppo di approcci innovativi, in modo particolare nell'area dei sistemi pervasivi e dei sistemi mobili. Tra questi, il paradigma Internet of Things (IoT) sta portando ad avere oggetti "smart", capaci di identificare, localizzare, "percepire" e connettere, aprendo quindi possibilità per nuove forme di comunicazione tra persone e cose, o tra le cose stesse. Oltre a connettere le persone, in ogni luogo e in ogni momento, l'IoT conatterà le persone agli "smart-object", ponendoli a servizio dell'umanità.

La comunicazione personale tra persone anziane o a ridotta autonomia, il loro ambiente, e i gruppi rilevanti di servizio e cura è un aspetto centrale nel dominio AAL. Attraverso l'IoT possono essere realizzati paradigmi AAL innovativi, dove gli anziani vivono nelle loro case con smart objects (perciò possiamo chiamarle smart home) comunicando con il mondo esterno in maniera intelligente e mirata.

IoT e AAL condividono da sempre i concetti fondamentali nello sviluppo delle relative tecnologie: richiesta di una progettazione energeticamente efficiente, includendo circuiti low-power e protocolli di comunicazione, layers di intelligenza per trasformare l'imponente quantità di dati generati dai sistemi pervasivi in informazione significativa, gestione della privacy e dei requisiti di security.

AAL ha anche una forte correlazione alla "Ambient Intelligence", uno degli aspetti principali dell' IoT, che punta a migliorare la sicurezza e il benessere in una residenza, rendendo la casa intelligente – con l'aiuto dei dispositivi smart [Dohr et al. 2010].

Uno scenario AAL è caratterizzato dall'essere connesso, sensibile al contesto, personale, adattivo e anticipativo. Ci si aspetta che l'IoT sia in grado di fornire tutte le caratteristiche necessarie per un ambiente assistito, tutti gli aspetti necessari per i bisogni degli anziani, possono essere affrontati attraverso l'IoT: il monitoraggio di malattie croniche (health), fornitura su richiesta di generi alimentari e non (safety), sistemi di allarme (security), servizi promemoria (peace of mind) e permettere comunicazione persona-persona con parenti e conoscenti (social contact) senza riconoscere la tecnologia che ci sta dietro; sono solo alcuni esempi di possibili applicazioni dell'AAL attraverso l'IoT.

In questo quadro, tantissimi sono gli aspetti tecnologici coinvolti.

Gli approcci e le metodologie impiegati per assistere gli anziani o, più in generale, le persone fragili all'interno della loro abitazione si pongono principalmente l'obiettivo di fornire strumenti di sicurezza, di supporto e di valutazione dello stato di benessere e salute. Molto utile, soprattutto per quest'ultimo punto (strumenti di valutazione), risulta osservare quanto una persona è capace di svolgere le normali attività della vita quotidiana (ADL - Activities of Daily Living): studiare, infatti, la regolarità dello svolgimento delle attività quotidiane permette di creare indicatori comportamentali le cui variazioni significative possono essere intese come segnali di "alert" verso i familiari o gli operatori sanitari.

Molti approcci scientifici che si pongono l'obiettivo di monitorare le attività di un soggetto e di "supervisionarne" lo stato di salute si basano sull'uso di sensori indossabili [Alemdar et al. 2010] (sia medicali che non), altri, invece, sfruttano sensori audio-video [Brdiczka et al. 2009] [Zhu et al. 2010] di capacità differenti, altri ancora utilizzano, più in generale, sensori ambientali cercando di estrapolare, dai dati che essi forniscono, informazioni connesse alle attività delle persone e al loro comportamento [Virone et al. 2008] [Wang et al. 2008] [Wang et al. 2012].

La nuova sfida, oggi, non è più tanto rivolta all'ottenimento di informazioni (ambientali e/o personali) quanto all'uso che si può fare della vasta quantità di dati provenienti dalla molteplicità di sensori disponibili.

In molti casi, tuttavia, la quantità ma soprattutto l'eterogeneità e la variabilità delle informazioni disponibili, spesso in forma di dati grezzi e frammentati, richiede sforzi enormi sia dal punto di vista computazionale che dal punto di vista dell'interpretazione.

Negli ultimi anni, si è assistito ad un proliferare di approcci e iniziative, sia relativamente ai dispositivi utilizzati che ai modelli e le piattaforme che li integrano.

Progetti

Nel mondo ci sono stati numerosi progetti "smart-home" mirati alla residenza assistita.

In Asia, il progetto TRON [Sakamura, 2012] è un progetto open sugli ambienti residenziali intelligenti e la tecnologia assistiva. I progetti PAPI e U-house sono stati fondati in Taiwan, come parte del progetto TRON [TRON Project]. Ubiquitous Home [Yamazaki, 2007] ha proposto e implementato servizi context-aware in un ambiente reale "smart". I progetti Robotics Room e Sensing Room dell'Università di Tokyo [Adaptation et al. 2004] sono altri prototipi di sistemi per smart home.

All'interno dell'unità tecnologica TECNALIA's Health [Obach et al. 2012] sono stati sviluppati molti progetti relativi all'AAL. TECNALIA è il più grande gruppo

privato di RDI (Research, Development and Innovation) in Spagna e uno dei principali in Europa, a seguito di un processo di unificazione di 8 centri tecnologici dei Paesi Baschi.

Il progetto EasyLiving [Brumitt et al. 2000] della Microsoft Research ha sviluppato una architettura e tecnologie per ambienti intelligenti. Il sistema EasyLiving si è evoluto con interfacce utente smart, configurazione dinamica dei dispositivi, controllo remoto, tracciamento attività che fornisce un supporto utenti flessibile attraverso un vastità di task e modalità.

House_n [Intille, 2005] [Intille, 2006] è un progetto multidisciplinare guidato dai ricercatori al Dipartimento di Architettura del MIT. Il progetto è mirato a esplorare come le nuove tecnologie, materiali e strategie per la progettazione possono rendere gli spazi dinamici e in evoluzione, che rispondono alle complessità della vita. Si è concentrato in sviluppare nuovi strumenti di progettazione, strategie di personalizzazione e produzione, sensoristica e applicazioni relative a energia, salute e comunicazioni. Il progetto ha realizzato come risultati alcuni strumenti open source come Portable Place-Based Research Tools, OPEN Prototype House Initiative, e Portable kit nell'ambito del Open Source Building Alliance http://architecture.mit.edu/house_n/.

Il progetto CASAS Smart Home è un progetto di ricerca multi-disciplinare alla State University di Washington. E' centrato sulla creazione di un smart home environment, che utilizza agent intelligenti, dove lo stato dei residenti e del loro contesto fisico vengono percepiti e registrati attraverso sensori e il contesto ambientale viene "attivato" utilizzando controllers che vadano ad aumentare il comfort, la sicurezza e/o la produttività dei residenti. [Cook et al. 2009] [Cook et al. 2013]

Il laboratorio Ambient Intelligence Research (AIR) Lab alla Stanford University si occupa di ricerca per sviluppare tecniche e applicazioni per l'ambient intelligence nelle smart home e smart offices, e smart buildings che siano occupancy-aware, anche attraverso uno spazio reale di test [Aztiria et al. 2012].

Il centro Quality of Life Technology (QoLT) Centre è fondato dalla US National Science Foundation (NSF) Engineering Research Center (ERC) a Pittsburgh. Si occupa di sviluppo di sistemi intelligenti e tecnologie assistive che permettano agli anziani e ai disabili una vita più indipendente. Dal 2006 ad oggi, hanno sviluppato numerosi progetti incentrati sui bisogni e le attività della vita di tutti i giorni, prototipando robot assistivi personali, coach cognitivi e comportamentali, tecnologie di consapevolezza umana e assistenza e sistemi di interazione con gli esseri umani con un focus sui fattori clinici e sociali per l'installazione e adozione.

L'iniziativa Aware Home Research Initiative (AHRI) [Kidd et al. 1999] al Georgia Institute of Technology è un progetto piuttosto famoso nell'ambito delle smart home, in quanto include la AwareHome, un edificio di 3 piani e 5040 piedi quadrati, progettato per facilitare la ricerca, costituendo un autentico ambiente residenziale. I componenti tecnici analizzati includono context awareness e ubiquitous sensing, e interazione individuale con la casa.

Nell'ambito del 6° e 7° Programma Quadro Europeo, durante gli ultimi dieci anni, sono stati portati avanti una serie di progetti sulla residenza assistita. Alcuni tra i più noti sono ALADIN [Maier et al. 2010], iSPace [Hagras et al. 2004], RoboCare [Cesta et al. 2006], Sysiass [Annemarie et al. 2012], Persona [Fides-Valero et al. 2008], and LsW [Muller et al. 2014]. Nell'ambito del Europe Ambient Assisted Living Joint Programme, ci sono stati circa un centinaio di progetti presentati in 5 calls. La lista completa dei progetti si trova al <http://www.aal-europe.eu>.

Il progetto ALADIN (Ambient Lighting Assistance for an Ageing Population) ha proposto un sistema di illuminazione magico per anziani. Lo scopo del progetto era sviluppare un sistema di illuminazione adattivo, con un ciclo di controllo aperto intelligente, che potesse adattarsi in risposta ai bisogni degli utenti nelle varie situazioni, ma anche fornire una gestione intelligente ed ecologica. Il sistema di illuminazione dinamico può apportare benefici all'utente relativamente alla salute degli occhi, qualità del sonno, umore, prestazioni cognitive, perfino il sistema metabolico, specialmente alle persone con disturbi cronici e problemi alla vista. Il sistema inoltre rende possibile, per i cittadini con disabilità motoria o di altro

genere, operare i sistemi di controllo ambientale e i dispositivi direttamente senza spostarsi presso gli attuatori. Permette di controllare i device direttamente guardandoli, attraverso una interazione basata sullo sguardo [Maier et al. 2010].

iDorm è uno dei progetti più pionieristici nella ricerca su smart home in Europa. E' stato avviato dal Intelligent Environment Group of Digital Lifestyle Centre at the University of Essex in the UK in 1999 [Doctor et al. 2005]. Questo progetto è continuato ed è evoluto in iSpace, diventando un eccellente semenzaio per gli studi sugli ambienti intelligenti. Lo iDorm è un ambiente abitato intelligente multi-uso (sonno, lavoro, intrattenimento, e studio), equipaggiato con arredi comuni e sensori incorporati. Il sistema è basato su un'architettura sincrona incrementale e controllers con logica fuzzy (FLC). Ogni FLC forma un comportamento mentre i comportamenti dinamici vengono appresi dagli utenti e i comportamenti fissi da programmi pre-definiti. Gli FLC sono adatti per apprendimenti lifelong, complessi e dinamici, del comportamento degli utenti. Riguardo agli agents, comunicano l'uno con l'altro scambiandosi query in formato XML, all'interno della rete.

Robocare [Cesta et al. 2009] è sviluppato dal ISTC-CNR ed è un prototipo di ambiente domestico integrato, chiamato RDE (Robocare Domestic Environment) con supporto cognitivo per migliorare la vita di tutti i giorni degli anziani a casa. L'RDE è un sistema multi-agent distribuito, nel quale operazioni coordinate di agenti forniscono una serie di servizi. Combinando diversi agents distribuiti per assistere la vita dell'utente, richiede un servizio di coordinamento per gestire i multipli agenti. Il coordinamento viene fatto attraverso ADOPTN, una estensione dell'algoritmo ADOPT (Asynchronous Distributed Optimisation).

Persona è un progetto AAL collaborativo per la società che avanza in età, finanziato da 12 partners europei da Italia, Spagna, Germania, Grecia, Norvegia e Danimarca. E' mirato a sviluppare soluzioni sostenibili e convenienti per l'indipendenza abitativa di persone anziane, attraverso tecnologia AAL. Relativamente ai bisogni per l'indipendenza degli anziani, il progetto identifica quattro categorie:

- Servizi AAL a supporto dell'inclusione sociale e lo scambio di esperienze

- Servizi AAL a supporto delle attività di ogni giorno degli anziani
- Servizi AAL a supporto del sentimento di confidenza, salute e sicurezza, e in aiuto ai parenti a gestire situazioni di rischio
- Servizi AAL a supporto del miglioramento della mobilità internamente ed esternamente alla casa.

Il risultato del progetto è lo sviluppo di un Sistema distribuito e scalabile (platform PERSONA) per supportare la consapevolezza del contest degli spazi AAL . La platform fornisce un middleware che supporta connettività senza soluzione di continuità e interoperabilità semantica, per una auto-organizzazione dell'architettura fisica e logica. Permette inoltre la ri-configurazione dei componenti di platform quali il Situation Reasoner, il Dialogue Manager e il Services Orchestrator.

Una trattazione più articolata può trovarsi in [Li et al. 2015]

Dispositivi e Sensori

Si definisce ormai “smart home” uno spazio per la vita quotidiana con vari tipi di sensori, attuatori e in generale dispositivi installati, con l’obiettivo di monitorare le attività e controllare i vari dispositivi e sistemi presenti. Sensori e attuatori sono i componenti principali che non possono mancare in una smart home. I sensori ad esempio misurano temperatura o intensità luminosa dell’ambiente o anche i parametri vitali dell’utente. Questa informazione ottenuta in maniera attiva è usata come input per un sistema smart home, così che non debba farlo manualmente la persona. Sono gli attuatori che svolgono questo compito, in reazione all’utente o in maniera predittiva, come accendere/spegnere dispositivi e impianti, aprire/chiedere una porta, ecc. fornendo di fatto autonomia al sistema. Le tipologie di dispositivi utilizzabili in una smart home possono essere sintetizzati come [Ahonen et al. 2010]:

- Sensori: tag RFID, sensori di presenza fisica, sensori di posizionamento, dispositivi per il monitoraggio della salute (indossabili, per il corpo), rilevatori di incidente, video-camere (CCTV o telecamere private)
- Dispositivi per la casa (inclusi componenti e arredi dotati di elettrificazione): frigorifero, lavatrice, illuminazione, letto, porta, TV, computer, condizionatore, apparecchi per la cucina, apparecchi per la pulizia
- Attuatori: attuatore per apertura/chiusura porta, apertura/chiusura finestra, gestione sistema di climatizzazione e/o impianto di riscaldamento, attuatori per il sistema di illuminazione, interruttori per i dispositivi domestici
- Sistemi di sicurezza: blocco password, blocco con riconoscimento vocale, controller biometrici (impronte digitali, scanner dell'iride)
- Sistemi di comunicazione: rete, smart phone, human machine interfaces.

Oggi, esistono sistemi di monitoraggio e supervisione molto sofisticati, capaci di rilevare qualsiasi cosa accade all'interno di un ambiente. Molti sistemi, inoltre, favoriti dai costi ormai accessibili di dispositivi hardware con capacità di memorizzazione "illimitate", prevedono addirittura di tenere traccia della "storia" di un ambiente registrando tutti gli eventi che si verificano al suo interno. Sistemi di questo tipo, particolarmente orientati alla sicurezza e al monitoraggio continuo degli ambienti e delle persone, si prestano a essere utili strumenti assistivi e di supporto che permettono interventi diretti e in tempo reale in condizioni di emergenze ambientali o personali [Grossi et al. 2010] [Grossi et al. 2012].

L'uso di sensori o, più in generale, di reti di sensori, è alla base delle più diffuse metodologie di monitoraggio e analisi comportamentale impiegate nei contesti AAL che permettono di abilitare, da un lato, analisi dirette e interventi automatici e tempestivi volti a minimizzare le conseguenze di una situazione di pericolo, dall'altro, la possibilità di sfruttare una grande quantità di dati utili per fare valutazioni connesse allo stato di salute delle persone. La capacità dei sistemi moderni di AAL di gestire moli di informazioni di diversa natura, acquisite continuamente dall'ambiente e dagli occupanti, permette di fare analisi

comportamentali mirate all'individuazione di profili delle attività delle persone ("signature") che possono risultare utili, nel breve e nel lungo periodo, per fare studi sia quantitativi, magari riguardanti attività specifiche, sia qualitativi riguardanti lo stato di benessere complessivo in termini di andamenti e variazioni comportamentali. Le principali tipologie di sensori [Litz et al. 2007] impiegati dai sistemi di monitoraggio e controllo ambientale e personale si possono raggruppare in tre categorie: sensori indossabili, sensori video, sensori ambientali.

Gli enormi sviluppi della tecnologia hanno reso disponibili sensori minuscoli da poter essere indossati senza troppi oneri, capaci di rilevare informazioni più o meno specifiche riguardanti la persona. Sono molte, ad esempio, le applicazioni di sensori medicali utilizzati per monitorare l'andamento di alcuni parametri fisiologici. Alcune applicazioni sono più critiche, in quanto monitorano parametri vitali [Al Khatib et al. 2006] [Chang et al. 2007], altre meno critiche (ma altrettanto utili) in quanto permettono di fare analisi più generali e complessive riguardanti, ad esempio, la regolarità di certe funzioni o attività. Molti sensori indossabili, anche non medicali, basati su accelerometri che forniscono dati molto precisi sui movimenti di una persona, sono spesso impiegati per fare "activity recognition", ad esempio per riconoscere una caduta [Leone et al. 2008] [Parera et al. 2008] ma anche per ottenere indici riguardanti la qualità dell'attività svolta (analisi qualità del sonno [Chang et al. 2007], equilibrio e prevenzione dalle cadute [Parera et al. 2008]). Sensori indossabili di questo tipo, possono essere molto utili ai fini del monitoraggio della persona anche perché, permettono di ottenere informazioni comportamentali tanto più significative e dettagliate quanto più dedicato e specifico è il sensore. La figura riportata di seguito mostra possibili "reti di sensori" che permettono il monitoraggio di parametri fisiologici [Alemdar et al. 2010], diffuse grazie ai risultati raggiunti nel campo delle telecomunicazioni che, oggi, rendono disponibili tecnologie di comunicazione, anche wireless, molto affidabili ed efficienti.

Esistono persino "indumenti", molto particolari, realizzati con tessuti conduttivi e piezo-resistivi che svolgono il ruolo di sensori di segnali fisiologici e possono essere utilizzati anche per scopi molto specifici.

Molti sensori accelerometrici, solitamente da indossare sul polso o in cintura, forniscono dati qualitativi e quantitativi riguardo il movimento e l'attività della persona che li indossa che permettono di fare valutazioni, anche cliniche, più complete e precise [Alemdar et al. 2010] [Luo et al. 2004].

Analogamente, esistono oggi sistemi di visione che sfruttano sensori video [Lymeropoulos et al. 2008] capaci di riconoscere l'attività che una persona sta svolgendo per monitorare il comportamento e identificare situazioni di pericolo (ad esempio, le cadute [Anderson et al. 2008]).

Approcci "ibridi", inoltre, utilizzano sia sensori indossabili che sensori video per fare valutazioni più complete e specifiche [Zhu et al. 2010]. Tuttavia, seppure oggi le micro e nano tecnologie abbiano raggiunto risultati eccellenti rendendo disponibili sensori indossabili a ridottissime dimensioni e seppure esistano sistemi video moderni capaci di estrarre solo la "silhouette" e fare elaborazioni "a bordo" senza dover necessariamente diffondere le immagini acquisite [Anderson et al. 2006], si presentano inevitabilmente problematiche di tipo morale ed etico legate a questioni di invasività, privacy e, in generale, di accettazione che spesso limitano le applicazioni di approcci più invasivi che sfruttano tali tipologie di sensori. Senza considerare che, spesso, ci si scontra anche con problemi pratici come, ad esempio, il fatto che una persona possa rifiutarsi o dimenticare di indossare il sensore che dovrebbe monitorarlo (come spesso capita nel caso di persone anziane). Sono molti gli studi che mirano al monitoraggio delle attività tramite sensori indossabili per ottenere informazioni, ad esempio, riguardanti la regolarità dei cicli di veglia-sonno a cui possono essere legate diverse patologie. Tuttavia, come spiegato precedentemente, la validità dei dati acquisiti può essere influenzata da un uso errato del sensore o da una manipolazione da parte dell'utente. Alcuni studi, inoltre, fanno distinzione tra "misurazioni non naturali", ottenute tramite l'impiego invasivo di sensori dedicati che, spesso, richiedono la collaborazione dell'utente, e "misurazioni naturali" completamente trasparenti all'utente che può continuare a vivere il proprio ambiente, appunto, naturalmente. Le prime sono più adatte (o utili) in casi di specifica necessità o in

casi di sperimentazioni ma si prestano poco ad un impiego generale a causa delle ovvie questioni di privacy e invasività che rendono questi approcci poco pratici.

Per questi motivi, sono sempre più al centro dell'attenzione scientifica, approcci volti all'analisi comportamentale basata su sensori ambientali ("environmental behavioural analysis") che cercano di ottenere informazioni sul comportamento della persona attraverso la sua influenza sull'ambiente, senza necessariamente compromissioni di privacy e richiesta di "sforzi" da parte del soggetto [Tracy et al. 2005] [Yamaguchi et al. 1998].

Tramite l'analisi dei dati rilevati, ad esempio, da semplici sensori di movimento PIR (Passive Infra Red) o dai sensori installati per monitorare lo stato di porte e finestre, del sistema di illuminazione e degli elettrodomestici è possibile monitorare la regolarità ed il livello di attività di una persona durante la vita quotidiana, all'interno del proprio ambiente domestico [Ogawa et al. 2002]. Molte delle attività quotidiane, infatti, sono periodiche e ripetitive per cui un'analisi delle informazioni provenienti dall'ambiente può effettivamente evidenziare pattern comportamentali relativi a una persona in maniera del tutto gratuita e non invasiva, senza la necessità di "collaborazioni" con l'utente.

Gli approcci che conducono all'analisi comportamentale sono differenti e si distinguono in base all'obiettivo prefissato da cui dipende l'uso di una o più categorie di sensori. In generale, alla base c'è quasi sempre lo studio dei dati provenienti dall'ambiente (e/o dalle persone) che possono essere analizzati in tempo reale, o a posteriori, per estrapolare utili informazioni riguardanti il comportamento e le abitudini di una persona.

Ovviamente, quanto più specifica è l'informazione ricercata tanto più invasivi e costosi saranno gli strumenti impiegati.

Framework, Middleware e Platform

Negli ultimi dieci anni sono state sviluppate molte piattaforme riconducibili al settore AAL, molte delle quali sono state consolidate in progetti recenti oppure

sono state abbandonate. Molti progetti hanno contribuito e sono stati consolidati all'interno del progetto UniversAAL [Hanke et al. 2011]. [Memon et al. 2014] hanno condotto recentemente un survey attraverso la letteratura, mettendo in luce i principali framework e piattaforme open, e tra questi OpenCare [Wagner et al. 2009] and AmiVital [Abril-Jimenez, 2011]. Nel loro studio [Memon et al. 2014] hanno condotto anche un sondaggio basato su e-mail al fine di creare una lista dettagliata dei sistemi e piattaforme AAL contemporanei. Tra questi, le piattaforme basate su un middleware sono risultate essere: AALuis [Mayer et al. 2011], HOMER [Fuxreiter et al. 2010], and OpenCare [Wagner et al. 2009].

In letteratura, l'unica valutazione di piattaforme AAL rintracciata è stata fatta nel 2011 da [Antonino et al. 2011], ed era basato sugli attributi di qualità dell'architettura software della piattaforma. Per valutarle, veniva utilizzata una metodologia che comprendeva interviste agli sviluppatori delle stesse, per capire le caratteristiche e funzionalità che ogni platform forniva. I risultati di questa valutazione decretavano che in quel momento UniversAAL fosse la platform che maggiormente rispondeva agli attributi di qualità.

[Phull et al. 2016] hanno comparato due Platform, UniversAAL e HOMER, selezionate in quanto erano le uniche due middleware platforms AAL-specific disponibili con licenza open e ancora in fase attiva di sviluppo. Altre piattaforme sono state omesse dall'analisi comparata, principalmente per la mancanza di attività relative allo sviluppo e di supporto degli sviluppatori.

A seguire, vengono riportate brevemente le caratteristiche e i riferimenti delle Platform individuate come più rilevanti dalla letteratura scientifica, alcune ad oggi dismesse.

AmiVital: il framework di interazione e l'architettura di AmiVital mostrano una relazione tra servizi funzionali e tecnologici. Inoltre la piattaforma fornisce componenti per il context management, knowledge management e device connectivity. Per maggiori info vedi [Abril-Jimenez et al. 2009], [Abril-Jimenez, 2011]

Alhambra: Questa piattaforma fornisce un'architettura onnicomprensiva per accedere ed integrare device eterogenei, garantendo interoperabilità con differenti protocolli di comunicazione, e utilizzando una interfaccia funzionale uniforme. Alhambra è una piattaforma di servizio per sviluppare applicazioni modulari, service-oriented e hardware-independent. In questa prospettiva, fornisce modularizzazione, abilitando l'interscambio di applicazioni. Per maggiori info vedi [Dimitrov, 2005].

HOMER: La piattaforma HOMER è composta da due componenti GUI principali che sono: (1) il designer per appartamento, che permette la creazione di spazi AAL e la disposizione e configurazione di sensori e attuatori, e (2) l'editor di scenari, che consiste in una serie multipla di macchine a stati finiti che possono essere eseguite concorrentemente. Le transizioni di stato e le azioni accadono in risposta agli eventi generati dal designer o da altre macchine a stati. HOMER fornisce anche funzionalità dirette per implementare le business logics delle applicazioni, tuttavia, una serie di vincoli, possono rendere difficile realizzare pienamente alcuni use-case scenario. Per maggiori info vedi [Fuxreiter et al. 2010] e [Homer Project]

Hydra: Hydra è una piattaforma service-oriented, concepita per operare in ambienti con risorse limitate – come energia, memoria e processi computazionali. E' un sistema basato sul peer-to-peer che offre, tra gli altri, meccanismi per permettere la ricerca di servizi e assicurare elevata interoperabilità. progetto Hydra continua come middleware LinkSmart. Per maggiori info vedi [Hydra project].

OASIS: OASIS è una reference architecture e una platform open, ontology-driven, che facilita interoperabilità, connettività, e la condivisione di contenuti tra servizi differenti. E' basata su un approccio service-oriented, è aperta, modulare, e standard-based. Include una serie di tools per la connessione e gestione content/services, per la creazione e adattamento di interfacce utente, e per l'integrazione e personalizzazione di servizi. Per maggiori info vedi [Herlofson et al. 2001]

OpenCare: il framework OpenCare estende l'architettura concettuale in 4 strati logici di home, mobile, central, e public, al fine di fornire una infrastruttura completa, pervasiva e connessa per il monitoraggio della healthcare. Il framework OpenCare è implementato come platform Sekoia, utilizzata per il monitoraggio dello stato di salute personale, attraverso applicazioni per la healthcare installate localmente e servizi di telehealth [Sekoia Platform]. Per maggiori info vedi [Wagner et al. 2009].

OpenAAL: L'obiettivo principale è permettere una facile implementazione ed integrazione di servizi flessibili, context-aware, e personalizzati. Il middleware OpenAAL è un framework che supporta integrazione e comunicazione tra servizi AAL. Inoltre, fornisce servizi generici di piattaforma come il context management, specifiche del workflow del comportamento di sistema, e recupero di servizi su base semantica. I servizi sia di framework che di platform operano e comunicano per mezzo di una ontologia condivisa. Per maggiori info vedi [OpenAAL project]

PERSONA: Il progetto PERSONA mira a sviluppare una piattaforma tecnologica, scalabile e open-standard, per costruire una serie di servizi AAL. La soluzione tecnica include un middleware, un set di componenti general-purpose (che formano la platform PERSONA), e un set di servizi AAL. Il middleware comprende un set di bundles OSGi, organizzati in tre livelli logici: l'Abstract Connection Layer gestisce la connettività peer-to-peer tra istanze del middleware, il Sodapop Layer realizza le interfacce peer e listener, e il layer PERSONA-Specific implementa bus differenti, impiegati per abilitare l'interazione tra users e i componenti general-purpose. Per maggiori info vedi [Persona Project]

UniversAAL: UniversAAL è basato su una architettura service-oriented che riusa molti componenti di PERSONA. La piattaforma include le parti principali: (i) un ambiente di runtime-support che fornisce servizi core per l'esecuzione di servizi AAL, (ii) un supporto allo sviluppo che fornisce documentazione, strumenti e risorse di sviluppo, e (iii) community support, incluso il training e l'immagazzinamento online, e un shop per i servizi AAL e le applicazioni. L'ambiente a runtime si basa su una architettura bus, in particolare il bus per

contesto, servizi e interfaccia utente, che scambiano messaggi tra le istanze della platform utilizzando il meccanismo publish-subscribe. Per utilizzare questi bus, viene imposta su ogni istanza della platform una ontologia specifica. Fornisce un tool UML per creare ontologie specifiche di dominio, tuttavia l'effettivo utilizzo del tool richiede una conoscenza approfondita del grafo dell'ontologia e dei pattern di codifica per ogni tipo di bus wrapper. Per maggiori info vedi [UniversAAL Project].

2.1.4 Open Issues

Dall'analisi dello stato dell'arte nel settore AAL, emerge con chiarezza la rilevanza di questo ambito, testimoniata da numerosissimi contributi sia a livello scientifico che tecnologico, su tutte le componenti dei sistemi per AAL: dispositivi, modelli, metodologie per il riconoscimento attività, middleware e piattaforme di integrazione dei dati.

Ne deriva una proliferazione di esperienze e di approcci che, tuttavia, sembrano con fatica convergere verso uno standard, sia a livello scientifico, che sul mercato.

Per rispondere a questa "dispersione" la comunità europea finanzia dal 2010 il progetto UniversAAL (2010-2014), che oggi è portato avanti dal progetto ReAAL (2013-2016). Nell'ambito di queste iniziative è stata sviluppata la piattaforma UniversAAL, una piattaforma open con l'obiettivo di facilitare l'introduzione nel mercato delle tecnologie AAL. Tuttavia ancora oggi non sembra affatto scontato che queste aspettative possano realizzarsi. Anche per questo gli stakeholders del settore hanno dato vita al progetto ReAAL (<http://www.cip-reaal.eu>), con lo specifico obiettivo di verificare se davvero una piattaforma open possa facilitare l'avvio del mercato AAL (<http://www.cip-reaal.eu/about/project-description/>).

D'altro canto, la diversità ed eterogeneità delle persone assistite (end users dei servizi AAL) è una delle principali criticità, per lo sviluppo di sistemi AAL. Un sistema AAL può dover supportare persone con caratteristiche diverse in termini di età, abilità cognitive, preferenze, capacità fisiche, percezioni e aiuto

tecnologico, oltre che condizioni ambientali. Perciò le soluzioni AAL devono essere customizzabili e adattabili ai bisogni dei propri end-users. Inoltre, molti dei sistemi AAL sviluppati sono indirizzati soltanto a un sottoinsieme della potenziale popolazione di end-users e adottano metodi e strumenti che non sono facilmente trasferibili ad altri progetti, portando ad una risultante frammentazione nel campo AAL [Palumbo et al. 2011].

Le piattaforme middleware nascono proprio al fine di garantire la fattibilità tecnica e finanziaria di sistemi AAL vasti e complessi. I requisiti per i middleware AAL sono rivolti da un lato ad ottenere interfacce utente personalizzate, e dall'altro ad integrare differenti tecnologie di backend.

La letteratura scientifica sta cercando di valutare quanto queste piattaforme AAL siano adatte e performanti negli scenari reali di AAL, ma quello che emerge sicuramente nel frattempo è che per ogni platform, gli sviluppatori delle applicazioni devono convertire i loro modelli ai differenti paradigmi di progettazione della piattaforma.

Inoltre le piattaforme forniscono strumenti diversi agli sviluppatori di applicazioni, come se quasi avessero in mente figure diverse: a volte gli sviluppatori veri e propri, primari, delle applicazioni, altre volte gli installatori o i gestori del sistema. In ogni caso, emerge chiaramente che la creazione di una applicazione AAL richiede ad oggi una stretta interazione tra sviluppatori hardware, sviluppatori software, sviluppatori di applicazioni ed esperti nel dominio AAL.

In questa chiave, sono emblematiche le raccomandazioni che emergono da alcuni studi recenti, come ad esempio [Phull et al. 2016]:

1. Le middleware platform esistenti dovrebbero puntare a **livelli di astrazione più elevati** per la creazione delle proprie applicazioni AAL attraverso l'utilizzo di interfacce grafiche, e non testuali. Questo permetterebbe di far transitare il ruolo di sviluppatore di applicazioni dal tradizionale sviluppatore software/hardware verso lo staff medico, gli esperti di dominio, e gli implementatori. Il beneficio che ne

deriverebbe sarebbe espandere la base utenti della middleware platform AAL ad individui che lavorano a più stretto contatto con gli utenti finali delle applicazioni AAL, anziani e disabili. Inoltre, il coinvolgimento di questi individui potrebbe **ridurre il coinvolgimento degli sviluppatori ICT core, riducendo anche costi ed effort nel creare applicazioni che meglio centreranno l'obiettivo finale del dominio.**

2. Dovrebbe essere sviluppato un **linguaggio di modellazione comune**, per risanare il gap tra il personale home-care e lo sviluppo software. E' sempre più chiaro che i sistemi AAL dovranno essere programmati o customizzati da personale home-care e non da sviluppatori software.
3. La richiesta di **customizzabilità e ripetibilità** per la creazione di applicazioni è più pressante che in altre aree di dominio, benchè gli utenti finali siano diversificati in molti aspetti. Ai fini della ripetibilità, l'obiettivo dovrebbe essere aumentare il livello di astrazione degli strumenti della piattaforma, fino ad un punto di equilibrio tra la standardizzazione di soluzioni AAL che soddisfino le masse e permettano contemporaneamente agli individui con minor expertise tecnico di creare quelle soluzioni. Dal punto di vista della customizzabilità, il livello di alterazione permesso dalla piattaforma dovrebbe essere appena sufficiente a coprire la diversità degli utenti finali.

2.2 Buildings: stato dell'arte

2.2.1 BIM: Building Information Modeling

BIM è un acronimo per Building Information Modeling. Il BIM è un processo che riguarda lo sviluppo, l'analisi e la gestione di un modello digitale di un edificio.

Il BIM è chiaramente un fenomeno emergente: da un sondaggio operato dalla McGraw-Hill Construction nel Nord America è emerso che dal 2007 al 2012 l'utilizzo del BIM, nel settore delle costruzioni, è passato da un 28% a un 71%. I benefici dell'adozione BIM sono allo stesso tempo sorprendenti, il 69% degli utenti

ha riportato che il BIM fosse uno strumento fondamentale per la fase di progettazione migliorando la comprensione collettiva degli intenti del progetto. Al 62% il miglioramento della qualità del progetto stesso, riduzione dei conflitti in fase di costruzione, costi e tempi.

Il BIM è definito dal National Institutes of Building Science come la “rappresentazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali di un oggetto”.

Il BIM quindi non è un prodotto né un software ma un “contenitore di informazioni sull’edificio” in cui inserire dati grafici (come i disegni) e degli specifici attributi tecnici (come schede tecniche e caratteristiche) anche relativi al ciclo di vita previsto.

Infatti quando si disegnano oggetti come finestre, solai o muri è possibile associare alle informazioni grafiche (spessore del muro, altezza ecc.) anche informazioni come la trasmittanza termica, l’isolamento acustico ecc.

Come avviene per i progetti CAD, al cui interno si possono utilizzare oggetti CAD (2D o 3D) già realizzati in maniera seriale senza doverli disegnare ogni volta, così per i progetti BIM è possibile usare in ogni elaborazione oggetti BIM già realizzati. Su BIM.archiproducts è possibile trovare la più grande libreria digitale di oggetti BIM e CAD, facilmente accessibile online da tutti i professionisti del settore delle costruzioni.

Mentre la progettazione CAD permette l’elaborazione di un progetto attraverso disegni in 2D o 3D la progettazione BIM non si limita ad informazioni visive o rendering ma specifica le funzionalità e le prestazioni di ogni oggetto BIM presente nel progetto o dell’interno edificio elaborato.

BIM: i vantaggi

Il BIM è nato dalla volontà di andare verso la collaborazione tra i progettisti, l’interoperabilità dei software, l’integrazione tra i processi e la sostenibilità.

Il BIM è infatti un metodo di progettazione collaborativo in quanto consente di integrare in un unico modello le informazioni utili in ogni fase della progettazione: quella architettonica, strutturale, impiantistica, energetica e gestionale. Per questo può essere utilizzato dagli impiantisti, dagli ingegneri strutturisti, dagli architetti, dal costruttore, dai montatori, dai collaudatori ecc.

Il modello tridimensionale quindi racchiude informazioni riguardanti volume e dimensioni, materiale, aspetto, caratteristiche tecniche che non vengono perse nella comunicazione ad altri studi ed altre piattaforme informatiche.

La tecnologia BIM offre molteplici vantaggi come: maggiore efficienza e produttività, meno errori, meno tempi morti, meno costi, maggiore interoperabilità, massima condivisione delle informazioni, un controllo più puntuale e coerente del progetto.

Inoltre un progetto BIM dà la possibilità alla committenza di avere un'elaborazione virtuale del ciclo di vita dell'edificio, anche dopo la fase di progettazione; in questo modo è più semplice monitorare la vetustà dei materiali e programmare meglio la manutenzione.

Vladimir Bazjanac, Professore del Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California afferma che "il processo di progettazione e realizzazione delle strutture è cambiato rapidamente. Il cambiamento è dovuto soprattutto all'emergere del metodo BIM e alla sua intrinseca capacità di garantire la validità dei dati inseriti nel manufatto in ogni momento del suo ciclo di vita, permettendo un realizzazione integrata della commessa impossibile fino ad ora"

Visti gli enormi vantaggi della tecnologia BIM è ovvio che il suo utilizzo si stia diffondendo sempre più nel mondo, tuttavia c'è da considerare che il suo utilizzo richiede un maggiore investimento e lavoro nella fase iniziale del progetto (in cui si inseriscono tutte le informazioni); in seguito però semplifica notevolmente il lavoro, qualora si voglia ricavare dal modello tridimensionale la certificazione energetica, i calcoli strutturali ecc.

BIM e software interoperability

La tecnologia BIM è utilizzata da tanti software che, nel recente passato, hanno voluto mantenere il file del prodotto finale nei propri formati; tuttavia, considerato che in questo momento storico è in corso il dibattito sulla necessità della standardizzazione degli oggetti BIM, è stato sempre più accettata l'idea di un unico formato di scambio.

Generalmente un oggetto BIM viene salvato nel formato IFC (Industry Foundation Class), con estensione .ifc. Questi file IFC sono classificati come file di immagine 3D, che contengono anche altre informazioni tecniche, e sono compatibili con tutti i software che usano la tecnologia BIM.

Uno dei problemi maggiori però è la standardizzazione dei file creati con tecnologia BIM tra i diversi software in commercio, ovvero stabilire quali sono le informazioni minime o standard per considerare un file IFC un BIM. [Lee et al. 2016].

Il formato IFC rappresenta una soluzione di interoperabilità tra diverse applicazioni software che utilizzano il BIM, è quindi importante riconoscere degli standard internazionali relativi ad oggetti comunemente utilizzati nel settore edilizio.

In altre parole è necessario che i distributori di software scrivano le "informazioni giuste al posto giusto" così che tutti i software possano leggere le caratteristiche in modo inequivocabile. Inoltre è necessario che le software house stabiliscano il numero minimo di informazioni che un oggetto deve possedere per essere legittimamente definito BIM.

Per risolvere definitivamente il problema è nato il programma Open BIM, un'iniziativa lanciata dall'associazione internazionale buildingSMART in collaborazione con i principali fornitori di software per promuovere, semplificare e coordinare a livello globale il concetto di Open BIM nell'ambito del settore AEC con informazioni e materiali relativi al marchio a disposizione di tutti coloro che partecipano al programma.

Inoltre buildingSMART ha sviluppato la certificazione Open BIM, un sistema tecnico che consente ai produttori di software per il settore AEC di migliorare, verificare e certificare i sistemi di scambio dei dati per una perfetta integrazione con altre soluzioni basate su Open BIM.

Oggi, molti edifici sono equipaggiati con Building Automation Systems, che utilizzano numerosi sensori, acquisendo quantità enormi di dati. Questi dati sono utili per verificare le prestazioni degli edifici esistenti e quindi supportare una serie di decisioni nelle fasi di gestione e manutenzione. Tuttavia, i dati dei sensori tipicamente non supportano l'analisi delle condizioni di una facility nel momento in cui è necessario capire il contesto nel quale il dato è stato raccolto. Perciò, i dati circa i sensori e i dati raccolti dai sensori le corrispondenti informazioni spaziali contestuali ricavabili da un Building Information Model devono essere analizzate in maniera integrata. Benchè gli standard esistenti forniscano specifiche per rappresentare alcuni aspetti dei metadata dei sensori (e.g. SensorML) e delle informazioni sugli edifici (e.g. IFC), non è ancora disponibile un approccio che integri informazioni circa i sensori e gli elementi edilizi [Liu et al. 2009] [Nyvlt, 2014].

2.2.2 BPM: Building Performance Modeling

Requisiti per i software di modellazione edifici

Gli edifici richiedono sempre maggiori prestazioni e maggior comfort, quindi la loro energia ed i sistemi di controllo stanno diventando sempre più integrate e complesse. Ci si concentra sempre più sulla modellazione, simulazione ed analisi di edifici con sistemi energetici e di controllo.

Tali sistemi possono essere classificati come eterogenei in quanto coinvolgono più campi, come ad esempio la termodinamica, la dinamica dei fluidi, il trasferimento di calore e di massa, impianti elettrici, sistemi di controllo e di comunicazione. Inoltre in genere coinvolgono più scale e spazi temporali, e la loro evoluzione può essere descritta da un accoppiamento di equazioni differenziali,

equazioni discrete ed eventi. La modellazione e la simulazione di tali sistemi richiede un più alto livello di astrazione e modularizzazione per gestire l'incremento di complessità rispetto a quanto utilizzato negli attuali programmi di simulazione.

Per aumentare le prestazioni e migliorare il comfort, i sistemi di costruzione sono sempre più integrati. L'integrazione si ottiene fisicamente utilizzando sistemi che permettono il miglior recupero energetico, stoccaggio di energia e maggiore utilizzo di fonti di energia dall'ambiente per il riscaldamento, il raffreddamento, la ventilazione e l'illuminazione. L'integrazione si ottiene anche operativamente attraverso l'integrazione di controlli per la facciata, l'illuminazione, la climatizzazione, la combinazione di calore ed energia, sistemi solari, rete elettrica e sicurezza. Le caratteristiche di questi sistemi è che essi coinvolgono molteplici domini funzionali (trasferimento di calore e di massa, dinamica dei fluidi, luce del giorno, generazione di energia elettrica e la sua conversione, controlli, comunicazione attraverso reti), e la loro evoluzione temporale può essere descritta in un dominio continuo di tempo, in un dominio discreto e in un dominio di eventi discreto. Tipicamente queste scale temporali vanno dall'ordine di frazione di secondo (reti di comunicazione), ad anni (fonte di calore geotermica). Questa eterogeneità porta nuove sfide per la modellazione e la simulazione, che vengono utilizzate per ridurre il tempo di commercializzazione in fase di ricerca e sviluppo e per migliorare le prestazioni ed economicità nella progettazione di sistemi innovativi si energia dell'edificio e degli algoritmi associati per i controlli, rilevamento dei guasti e la diagnostica.

A causa della crescente importanza dei controlli per migliorare le prestazioni degli edifici, la rappresentazione dei controlli nei programmi di simulazione degli edifici necessita di assomigliare maggiormente a come gli algoritmi di controllo sono implementati. Date le diverse topologie in cui il sistema edilizio può essere configurato, ad esempio utilizzando una doppia facciata per la ventilazione o utilizzando un soffitto termicamente attivo per immagazzinare l'energia termica, un futuro ambiente di modellazione deve consentire una rappresentazione più intuitiva di sistemi complessi e deve permettere all'utente di aggiungere

rapidamente nuovi modelli di componenti e riconfigurare dei componenti per formare nuovi sistemi. Inoltre, l'attuale separazione tra il modello di sviluppo e il modello dell'utente non favorisce nè stimola l'innovazione.

Dato il maggior incremento di integrazione di diverse discipline, un futuro ambiente di modellazione e simulazione dovrebbe essere in grado di consentire la collaborazione concomitante di team multidisciplinari, in opposizione agli attuali sviluppati da una singola persona, e la condivisione di modelli che integrino i diversi domini. Ciò può diventare sempre più importante in quanto molte innovazioni nel campo della scienza dell'edificio avvengono a livello di interfaccia tra diverse discipline, come immagazzinamento dell'energia passiva, sistemi meccanici per la conversione di edifici energeticamente efficienti, sistemi di controllo per la riduzione delle irreversibilità (attriti del flusso del fluido e trasferimento di calore), sistemi di comunicazione per i sensori e gli attuatori e la matematica per estrarre informazioni di qualità migliore per la vasta quantità di dati misurati dai sistemi automatici degli edifici. La necessità a collaborare in modo più efficace di esperti di diverse discipline richiede la progettazione di diversi strumenti per il futuro.

Poichè sistemi informatici integrati stanno diventando sempre più economici e potenti e le prestazioni di edifici a basso consumo energetico sono sensibili ai controlli ed al degrado dei materiali, è probabile che i modelli computazionali saranno utilizzati per la rilevazione dei guasti, la diagnostica ed il controllo dei modelli. In quest'ottica, l'utilizzo dei modelli può variare da un singolo apparecchio, come ad esempio un rilevatore dei difetti del refrigeratore, o di intere comunità che possono essere collegati ad una micro rete per l'elettricità, riscaldamento o condizionamento. Dal momento che gli edifici sostenibili avranno una durata che supera generazioni multiple di linguaggi di programmazione, sistemi operativi e programmi di simulazione di edifici, i modelli utilizzati durante il funzionamento devono essere espressi ad un livello sufficientemente elevato di astrazione che assicura manutenibilità, portabilità e facilita l'aggiornamento a nuove tecnologie a cui gli edifici andranno adattati.

Per quanto riguarda l'utilizzo dei simulatori per la formazione di tecnici e agenti di messa in servizio e operatori di costruzione, gli odierni programmi di simulazione sono insufficienti per insegnare come operano i sistemi meccanici e di controllo. Allo stato attuale, modelli di questi sistemi sono spesso così semplificati da non cogliere neanche il comportamento dinamico e parte del funzionamento del sistema meccanico o la risposta di sistemi di controllo feedback. Inoltre in molti programmi di simulazione, le equazioni che governano i processi fisici non possono essere controllate dall'utente, il quale li utilizza come se fossero una scatola nera. Una simulazione che coinvolge l'utente può potenzialmente migliorare la conoscenza del comportamento operativo dell'edificio, presentando risultati della simulazione in una forma più vicina all'uomo piuttosto che ad un grafico sullo schermo di un pc. Fino ad oggi il lavoro principale è stato fatto focalizzandosi sul calcolo e la visualizzazione della distribuzione spaziale della temperatura, del flusso ed il comfort nella stanza [Malkawi, 2004]. Un ambiente versatile che permetta una modellazione ed una simulazione più realistica del sistema meccanico e di controllo, e che potrebbe essere riconfigurato dall'utente per esaminare una varietà di sistemi, si estenderebbe così la promessa di una simulazione più coinvolgente per formare professionisti nel funzionamento dei sistemi di costruzione.

La transizione verso sistemi integrati presenta nuove sfide. Efficaci strategie di modellazione necessitano di gestire la crescente complessità, la crescente frammentazione della catena della fornitura e la necessità di lavorare in team di progettazione multidisciplinare, utilizzando modelli condivisi. Nella comunità di automazione elettronica, che affronta sfide simili all'industria edilizia, ci sono richieste per la progettazione di una nuova metodologia per affrontare le sfide a livello di progettazione [Sangiovanni-Vincentelli, 2007]. Il principio base del flusso di progettazione è l'identificazione del progetto come un incontro nel mezzo del processo, dove affinamenti successivi delle specifiche si incontrano con l'astrazione del potenziale di implementazione. I processi di affinamento avvengono in strati ben definiti. Rimane da mostrare come questo approccio progettuale può portare benefici al settore edilizio e quali sono le implicazioni per

la costruzione di sistemi di modelli. La semantica di un modello deve essere espressa ad un livello sufficientemente elevato di astrazione per consentire un'analisi formale di proprietà di sistema e generare automaticamente il codice che può essere utilizzato per la progettazione. Sarebbe una sorpresa se i progressi in queste discipline correlate non abbracciassero il campo delle costruzioni per arrivare ad un più alto livello di astrazione che meglio affronta le sfide della ricerca, progettazione e gestione dei sistemi costruttivi integrati [Wetter, 2011]

Panoramica programmi di simulazione energetica

La veloce panoramica sui software attualmente disponibili per la simulazione degli edifici mostra che essi sono mal-strutturati per rispondere ai requisiti detti sopra. Principalmente questi software non si avvantaggiano degli avanzamenti nelle scienze informatiche che permetterebbero di esprimere i vari sistemi ad un maggior livello di astrazione di un sottoprogramma Fortran. Risultano programmi monolitici difficilmente estendibili a nuove applicazioni

La quasi totalità dei programmi di simulazione degli edifici finora è stata implementata in ambienti dedicati, generando quindi software non estendibili dall'utente e che possono computare soltanto le configurazioni previste. Questo da un lato ha permesso ovviamente una specializzazione di questi software, sia in termini di robustezza e affidabilità degli algoritmi, che di dettaglio ed usabilità dell'interfaccia utente, portando a software facilmente utilizzabili da operatori del settore che non necessariamente devono essere coscienti degli specifici modelli fisici utilizzati o delle equazioni computate. Molti di questi programmi di simulazione di edifici però sono vincolati ad una architettura software che non corrisponde a come edifici e sistemi energetici sono effettivamente assemblati e controllati. Inoltre, il loro linguaggio di modellazione è non sufficientemente espressivo per modellare correttamente sistemi eterogenei che includano dinamica ed eventi, come ad esempio sistemi di controllo dinamico, oggi sempre più diffusi.

Programmazione: Object-oriented vs Procedurale

Alcuni linguaggi sono object-oriented (Trnsys e Modelica) cioè si basano sulla modularizzazione del programma in entità dette 'classi'. Il motore poi si occupa di tradurre il modello ad oggetti in un linguaggio di più basso livello (C++, Fortran etc). ESP-r e EnergyPlus invece forniscono delle interfacce utente per la generazione automatica di codici procedurali (sequenze di istruzioni eventualmente raggruppate in blocchi di codice detti anche sottoprogrammi). Nei linguaggi object-oriented i componenti di un modello vengono inseriti e connessi fra loro dall'utente che ne specifica anche i parametri e le equazioni. La modularizzazione e la selezione dei componenti, la causalità e la connessione fra le variabili sono dettate dal flusso dei dati e dagli algoritmi di risoluzione. Questo da un lato permette di esplicitare i legami fra i blocchi che invece rimangono nascosti nei linguaggi procedurali, dall'altro può rendere meno robusta l'implementazione di un modello perchè è possibile comporre modelli incoerenti.

Codice Misto

Per la maggior parte degli ambienti di modellazione per edifici (traditional building simulation programs), nei modelli che li compongono sono integrati i propri risolutori numerici e vengono mescolati il flusso logico del programma e le equazioni che simulano il comportamento fisico. Ne risulta un codice di programma impegnativo da mantenere e al quale è difficile aggiungere nuovi modelli. I risolutori annidati inoltre possono anche contribuire a rumore numerico significativo nei risultati di simulazione, che rende difficile anche l'utilizzo di algoritmi di ottimizzazione [Wetter and Polak 2004, Wetter and Wright 2004]. Inoltre, la mancanza di separazione tra modelli, dati e risolutori rende complessa l'integrazione di modelli afferenti a diverse discipline per la co-simulazione, come riportano [Hensen et al. 2006].

Tempo di simulazione: nuove esigenze

I software per edifici più affermati sono stati concepiti decine di anni fa, quando l'edificio era sostanzialmente considerato una grossa capacità termica, nel quale i processi dinamici erano comunque lenti. Oggi, molti dei processi per il controllo

degli edifici richiedono analisi nel dominio delle frequenze, simulazioni nel dominio del tempo con intervalli di tempo (time-step) dell'ordine del secondo o inversione del modello del processo. I software commerciali disponibili per la simulazione energetica dettagliata degli edifici non sono utilizzabili per questo tipo di analisi, ad esempio non prevedono time-steps inferiori al minuto. Inoltre, nessuno di questi può essere utilizzato come modello per l'analisi nel dominio della frequenza perchè non può essere integrato in MATLAB/Simulink e nessuno di tali modelli definito in essi può essere automaticamente invertito ai fini del controllo.

Nuove frontiere: compatibilità con gli altri sistemi, BIM (controlli e hardware)

La maggior parte dei programmi di simulazione degli edifici non modella la dinamica degli impianti HVAC e a volte implementa controlli ideali direttamente nel modello componente, rendendo molte sequenze di controllo standard, come quelle descritte in [Ashrae 2006] e [CIBSE 2000] quasi impossibili da modellare.

Per quanto riguarda la modellazione di sistemi HVAC, si nota che in alcuni programmi di simulazione tradizionali, la disposizione dei componenti di controllo HVAC è disciplinata da regole di composizione (che definiscono come i componenti possono essere assemblati per formare un sistema) che non sono concepite su come realmente il sistema HVAC si deve connettere per formare un sistema. Piuttosto, le regole di composizione sono state definite in modo tale che una soluzione numerica efficiente può essere ottenuta in un programma che da soluzioni per componenti singole o sottosistemi. Ciò ha portato a programmi di simulazione sequenziale dei carichi, sistemi ed impianti. La conseguenza è che si sta trasformando un sistema HVAC da Building Information Model ad un programma di simulazione energetica possibile solo se è stato istanziato un sistema HVAC in modo che le componenti siano conformi alle regole di composizione del programma, questo è descritto nell'approccio in [Bazjanac et al. 2004]. Se questo approccio può presentare una soluzione per i sistemi tradizionali di controllo e HVAC, rappresenta una sfida per l'utilizzo del BIM per i sistemi HVAC non standard.

Il Software Component Model che è rappresentato in Modelica permette di collegare i modelli nel modo in cui si farebbe nel modo reale. Quindi, se i modelli sono incapsulati allo stesso modo di come sono racchiusi in BIM, è possibile fare una traduzione uno ad uno tra BIM ed un modello di simulazione energetica che può essere costruito. Con molti attuali programmi di simulazione questo non è possibile in quanto impongono delle regole su come un modello può essere connesso per comporre un modello ed in genere queste regole sono molto restrittive.

Esplicitazione delle equazioni

Dal momento che i carichi prestazionali ed i sistemi di controllo sono diventati sempre più importanti negli edifici a basso consumo energetico, i programmi di simulazione necessitano di risolvere correttamente il comportamento non lineare delle dinamiche dell'edificio ed i loro sistemi di controllo, inoltre devono catturare le dinamiche principali che potrebbero portare le attrezzature ad avere un ciclo di vita più corto. Nello sviluppo di tali sistemi, si ricavano dei sistemi di equazioni differenziali dove la costante tempo può variare notevolmente tra le diverse componenti. Questi sistemi di equazioni differenziali possono essere accoppiate a equazioni algebriche ed equazioni alle differenze finite.

Modelica è un linguaggio open-source per la modellazione object-oriented basato su sistemi di equazioni differenziali, alle differenze e su equazioni algebriche. Il suo ampio supporto in molti settori industriali lo favorisce a diventare lo standard di fatto per la modellazione di sistemi dinamici. Ha quindi il potenziale per diventare un linguaggio di scambio di modelli tra diversi campi ingegneristici, che possono utilizzare differenti modelli e ambienti di simulazione.

Espressività: la facilità e la semplicità con cui si può scrivere un dato algoritmo in un dato linguaggio; può dipendere dal tipo di algoritmo, se il linguaggio in questione è nato per affrontare certe particolari classi di problemi. In generale se un certo linguaggio consente di scrivere algoritmi con poche istruzioni, in modo chiaro e leggibile, la sua espressività è buona. In letteratura si parla anche di analisi dal punto di vista estensionale ed intensionale; il primo guarda alla sua potenza e

si cerca quindi di catalogare i diversi problemi nei diversi insiemi che li caratterizzano; nell'altro caso si può parlare della capacità di condensare, in senso di sintetico/conciso, un linguaggio.

Robustezza

di un software: E' la misura in cui il sistema si comporta in modo ragionevole in situazioni impreviste, non contemplate dalle specifiche. Situazioni di questo tipo in genere riguardano errori ed eccezioni di varia natura (dati di input scorretti, fallimenti di componenti software o hardware esterni al sistema e interagenti con esso, e così via). Essa implica certamente considerazioni di valore sugli effetti dannosi che il sistema o l'utente subiscono se il sistema reagisce in modo irragionevole a situazioni impreviste.

di un linguaggio: è la capacità del linguaggio di prevenire, nei limiti del possibile, gli errori di programmazione. Di solito un linguaggio robusto si ottiene adottando un controllo molto stretto sui tipi di dati e una sintassi chiara e molto rigida; la segnalazione e gestione di errori comuni a runtime dovuti a dati che assumono valori imprevisti (overflow, underflow) o eccedono i limiti definiti (indici illegali per vettori o matrici) controllo dei limiti; altri sistemi sono l'implementare un garbage collector, limitando (a prezzo di una certa perdita di efficienza) la creazione autonoma di nuove entità di dati e quindi l'uso dei puntatori, che possono introdurre bug molto difficili da scoprire.

Affidabilità: Un sistema è tanto più affidabile quanto più raramente, durante l'uso del sistema, si manifestano malfunzionamenti. Si può anche dire che l'affidabilità è la misura in cui l'utente può fidarsi del software; questa definizione tiene conto, in particolare, del fatto che malfunzionamenti gravi si considerano solitamente più influenti, nella valutazione dell'affidabilità, di errori minori. Versioni beta di software includono quasi tutte le funzionalità ma, di solito, vengono rilasciate per individuare e risolvere eventuali problemi non evidenziati nei test interni e sono da considerare poco affidabili.

Scalabilità: Un sistema è scalabile se può essere adattato a diversi contesti con forti differenze di complessità senza che questo richieda la riprogettazione dello

stesso sistema. Solitamente, si richiede che le prestazioni di un sistema possano essere aumentate semplicemente fornendo al sistema stesso maggiori risorse di calcolo (processori più potenti, maggiori quantità di memoria, sistemi di memoria di massa più capienti o più veloci, e così via).

Modellatore	Espressività	Robustezza	Affidabilità	Scalabilità
TRNSYS	Sufficiente	-	Buona	-
ESP-r	Sufficiente	-	Buona	-
EnergyPlus	Sufficiente	Buona	Buona	-
Dymola	Ottima	Scarsa	Sufficiente	Buona (100.000 variabili)

2.2.3 BMS: Building Management Systems

La diffusione dei BMS

Il BMS (Building Management System) è il sistema di gestione delle risorse e dei servizi presenti in un edificio. In particolare questi vengono spesso identificati, in modo non esaustivo, nei seguenti sottosistemi: regolazione climatica, controllo antincendio, controllo antintrusione, videoregistrazione a circuito chiuso, tracciabilità del personale e degli oggetti, impianti di sollevamento, sistemi di comunicazione audiovisiva.

Un BMS (Building Management System) è un sistema che permette non solo il monitoraggio e il controllo di servizi come l'illuminazione, l'impianto idraulico, l'antincendio, il riscaldamento, il condizionamento e la climatizzazione ma ha anche lo scopo di garantire il comfort e l'efficienza energetica.

Un sistema di Building Management minimizza il consumo di energia e massimizza il comfort interno, riducendo i costi energetici nella misura del 15% - 20% rispetto a un edificio senza BMS.

Per raggiungere gli obiettivi insiti nella natura stessa del BMS, produttori, progettisti, integratori e manutentori devono necessariamente svolgere il proprio lavoro in sinergia: non è possibile stabilire un livello gerarchico.

Il sistema-edificio contiene tecnologie impiantistiche e richiede processi gestionali di Facility & Energy Management (FM&E). In fase progettuale è necessario definire le migliori soluzioni tecniche per i componenti impiantistici e per gli strumenti di gestione. Le tecnologie IT di Information Technology per edifici consentono di fornire le soluzioni che siano in grado di “regolare” gli impianti e di “assistere” i processi gestionali, di fornire cioè una “intelligenza”, la cui progettazione deve essere corretta come per qualsiasi altro componente dell’edificio. Le componenti impiantistiche di un edificio sono storicamente suddivise in due settori.

Impianti Meccanici HVAC: Riscaldamento;Ventilazione; Condizionamento; Refrigerazione. Impianti Elettrici e Speciali: Distribuzione energia; Illuminazione;Security & Safety;Comunicazioni. Entrambi i settori impiantistici nei moderni edifici richiedono sistemi BMS di automazione e supervisione, che nel caso degli impianti meccanici sono chiamati di regolazione. Le tecnologie attuali consentono architetture dei sistemi integrati di controllo che prevedono piattaforme comuni standard ed aperte, in grado di gestire sia gli impianti meccanici che quelli elettrici e speciali. A volte il dialogo non sufficiente fra la progettazione meccanica e quella elettrica, la non conoscenza degli standard aperti, esigenze parziali, etc. portano a scelte progettuali settoriali che creano una errata coesistenza di sistemi simili e non integrati fra di loro; ciò è causa di problemi ed extracosti in fase gestionale e manutentiva. Un altro errore progettuale può essere l’inserimento di sistemi di controllo non correttamente dimensionati, in grado magari di fornire quantità enormi di dati ed automazioni che rischiano di essere inutilizzati o male interpretati.

Quale Gestione? Model-based Predictive Control

Nel controllo degli edifici, la parte discreta del sistema generalmente è un decisore model-driven, controllato da una serie di regole, basate sulla capacità predittiva del modello [Mahdavi, 2006].

Il ruolo funzionale del componente “modello” nell’architettura generale MPC è quindi piuttosto semplice: è dedicato a fornire previsioni del comportamento dell’edificio, sotto condizioni al contorno di stati futuri.

Tuttavia, la progettazione e lo sviluppo di questi modelli non sono compiti di poco conto, perché devono soddisfare numerose specifiche complesse e concorrenti. Da un lato il modello MPC deve fornire predizioni accurate degli stati futuri, ma dall’altro lato, deve essere efficiente da un punto di vista computazionale per poter essere incorporato nel sistema di controllo. Allo stesso tempo, il modello MPC deve fornire risultati in un intervallo di tempo compatibile con i vincoli dei tempi di monitoraggio. Inoltre i modelli MPC devono essere incorporati in sistemi implementati che, per ragioni di costo, includeranno reti di sensori/attuatori con un numero limitato di dispositivi. Nonostante il set di parametri di input sia ridotto, l’accuratezza del modello deve essere garantita con limiti di errore precisi. La soddisfazione di requisiti così competitivi, specialmente nel caso di progetti complessi, obbliga alla definizione di un framework di ingegnerizzazione dei modelli, che stabilisca gli step metodologici e gli aspetti rilevanti di cui tener conto al fine di progettare modelli MPC robusti e accurati, e limitare il tempo e il lavoro speso per questo task [Giretti et al. 2012; Ansuini et al. 2012].

Secondo [Giretti et al. 2012] l’implementazione di un framework ingegneristico per lo sviluppo di MPC dell’energia di edifici complessi è vincolato da alcuni requisiti funzionali stringenti e in concorrenza, illustrati nei seguenti punti.

- **Flessibilità:** I processi che caratterizzano le dinamiche degli edifici complessi hanno qualità e scale temporali differenti. Processi discreti, processi multi-fisici, che combinano termica, fluidodinamica e dinamica delle particelle, processi stocastici, come la meteorologia e i flussi degli

occupanti, interagiscono tutti in maniera concorrente e impattano la dinamica energetica complessiva dell'edificio. E' necessario quindi un framework di modellazione molto flessibile ed espressivo per rappresentare ciascun processo con gli strumenti computazionali più efficaci e successivamente integrare ogni modello specifico in un contesto di rappresentazione generale [Wetter et al., 2006].

- Efficacia: il risultato finale del processo deve poter funzionare negli ambienti più svariati, che a volte evolvono in condizioni operative critiche, andando ad incidere sul comfort delle persone ed in alcuni casi anche sulla loro salute. Per questo, il modello risultante deve essere efficace e robusto, mostrando alcune caratteristiche chiave quali:
 - Accuratezza e risposta in real time: il risultato del modello deve essere accurato ma anche rapido, in (near) real-time rispetto ai vincoli temporali dei processi controllati
 - Facilità di deployment: per poter essere integrato nei sistemi in sito, che solitamente non hanno tante risorse computazionali, il modello deve avere un'impronta di memoria ridotta e necessitare di un carico computazionale basso.
 - Gestione dell'incertezza: i dati misurati da reti di sensori sono interessati da un certo grado di incertezza. Perciò, il modello deve essere capace di propagare questa incertezza attraverso la catena computazionale, al fine di supportare il decisore con fattori che qualifichino le prestazioni stimate.
 - Robustezza: il modello deve essere in grado di migliorare la sua prestazione, adattando il suo comportamento sulla base dei dati misurati [Kinshuk et al., 2009].
 - Supporto alla decisione: il modello deve supportare l'analisi di scenario. Infatti, solitamente il sistema di gestione opera in supporto a decisori umani.

- Integrazione: Il processo di modellazione deve supportare la giustapposizione di diverse tecnologie che costituiscono il sistema di controllo complessivo. Questo si ottiene attraverso:
 - Supporto alla progettazione e ottimizzazione di reti di sensori. Il processo di ingegnerizzazione deve fornire suggerimenti per identificare il set di sensori necessario per catturare le dinamiche rilevanti che incidono sugli spazi controllati, per ottimizzarne il dimensionamento ed evitare ridondanze, per sviluppare configurazioni dei sensori per il data fusion e per identificare il posizionamento ottimale.

Supporto alla progettazione e ottimizzazione delle logiche di controllo: La progettazione della logica di controllo è un aspetto delicato dello sviluppo del MPC. Una progettazione accurata garantisce maggiori risparmi e ridotti periodi di ritorno dell'investimento. D'altro canto, la progettazione delle logiche di controllo necessita di test e validazioni continui che non possono essere operate negli ambienti reali. Per questo il framework ingegneristico deve fornire supporto a questa fase chiave, con specifiche tecnologie che permettano al sistema di controllo di operare in un ambiente virtualizzato.

3 Riconoscimento scenari

3.1 Stato dell'arte

Nell'ambito dell'AAL, il monitoraggio degli assistiti, inteso come riconoscimento dello stato di salute e delle attività in corso, gioca un ruolo centrale.

Oggi esistono tecnologie anche molto sofisticate di monitoraggio diretto degli assistiti che si basano sull'impiego di sensori medicali che forniscono informazioni direttamente interpretabili relative alla salute di una persona.

Nonostante l'efficacia di certi strumenti di monitoraggio capaci di rilevare informazioni direttamente correlabili alla salute delle persone, tali approcci - oltre ad essere spesso invasivi e costosi - non sono comunque sufficienti a fornire un quadro completo della situazione di una persona. Sapere che, ad esempio, la frequenza cardiaca è troppo alta può essere critico se la persona monitorata è a letto ma potrebbe non destare preoccupazioni se sta svolgendo attività fisica (per esempio cyclette). Ciò evidenzia quanto sia necessario affiancare agli strumenti di monitoraggio diretto tecniche indirette di analisi del comportamento (spesso non invasive e poco costose) che, negli ultimi tempi, stanno riscuotendo sempre maggiore interesse. I due approcci sono complementari: per sapere se si sta facendo cyclette o se si è a letto è utile l'analisi comportamentale mentre per conoscere la frequenza cardiaca servono strumenti medicali.

Le tecniche di monitoraggio indiretto del comportamento si basano sull'uso di sensori non invasivi (ambientali) che non danno informazioni direttamente correlabili allo stato di salute di una persona ma possono fornire informazioni comportamentali non meno significative di quelle fornite da sensori medicali, seppure differenti. Ad esempio, specialmente nel caso degli anziani, spesso i valori dei parametri fisiologici possono risultare regolari ma ciò non vuol dire che tutto vada bene visto che, soprattutto ad una certa età, i primi declini si manifestano con variazioni del comportamento.

Molti studi hanno dimostrato che un'analisi degli stili di vita domestici e delle routine quotidiane può rivelare eventuali pattern comportamentali le cui variazioni, quasi mai casuali, possono fornire significative indicazioni utili per "predire" un evento. L'analisi comportamentale è dipendente e connessa al riconoscimento degli eventi e delle attività, in particolare il monitoraggio ambientale e l'activity recognition sono step, spesso, necessari che permettono di ottenere informazioni la cui elaborazione potrebbe portare all'individuazione (automatica) di cambiamenti comportamentali per studiarne le cause e prendere tutte le misure di cautela necessarie a limitare le conseguenze negative (adattamento di sistemi, strumenti e, in generale, dell'ambiente). In particolare, il riconoscimento di un'attività abilita la possibilità di controllarne la regolarità ed eventualmente le variazioni nel tempo che, spesso, sono sintomo di qualche "cambiamento" nel contesto "persona-ambiente" e quindi indicatori di potenziali condizioni di attenzione [Dalal et al. 2005] [Landwehr et al. 2008].

L'activity recognition quindi – intesa come riconoscimento del comportamento degli occupanti – gioca un ruolo fondamentale in qualunque tipo di edificio, non solo nell'ambito dell'AAL, grazie alle caratteristiche che potenzialmente abilita: adattività di sistemi e ambiente all'evolversi delle esigenze subentranti o subentrate, predizione e prevenzione.

L'idea di fondo è quella di sfruttare tutta o parte della sensoristica disponibile di cui può essere dotata una casa intelligente per tracciare profili comportamentali che permettano di fare, a seconda degli obiettivi e degli strumenti impiegati, valutazioni quantitative e qualitative utili, oltre che per motivi adattativi e di comfort, soprattutto per motivi di sicurezza, di predizione e clinici [Nehmer et al. 2006] [Vikramaditya 2007] [Virone et al. 2008].

3.1.1 Tecniche di monitoraggio "diretto"

La possibilità di disporre di dati più o meno specifici e di diversa natura a seconda dei sensori impiegati, permette di fare analisi e valutazioni che possono avere scopi diversi. Alcune applicazioni, ad esempio, consentono di monitorare in

maniera “diretta” parametri relativi allo stato di salute di una persona grazie all’uso di sensori molto specifici che forniscono informazioni fisiologiche [Vikramaditya 2007] [Alemdar et al. 2010] direttamente connesse allo stato di salute e per questo facilmente interpretabili. Approcci che utilizzano sensori biomedicali, spesso, invasivi e costosi, trovano impiego soprattutto in contesti di sperimentazione o contesti specifici come, ad esempio, nel caso di applicazioni che monitorano parametri vitali, dove obiettivi e necessità non permettono l’impiego di metodologie meno invasive [Matrella et al. 2011]. Sono, inoltre, molto diffuse, anche se spesso solo a livello sperimentale per questioni di praticità, applicazioni meno critiche che prevedono l’impiego di sensori indossabili per monitorare parametri non vitali, ad esempio, riguardanti l’attività motoria [Torrent et al. 2008] o i cicli di veglia-sonno [Chang et al. 2007].

Esistono, inoltre, altri approcci meno invasivi in quanto non prevedono l’uso di sensori indossabili, ma ancora una volta diretti perché monitorano parametri biomedicali direttamente interpretabili e correlabili allo stato di salute. Questi approcci si sono diffusi con lo sviluppo della tecnologia che, ad esempio, oggi permette di rilevare la frequenza cardiaca o respiratoria, piuttosto che parametri riguardanti la temperatura corporea o l’agitazione notturna, tramite sensori non invasivi come “tappeti” da letto o elettrodi a muro [Lau et al. 2002] [Matrella et al. 2011] [Kawarada et al. 1998] [Devot et al. 2007].

Le applicazioni di monitoraggio diretto di parametri fisiologici (vitali e non) si caratterizzano, dunque, per il fatto di impiegare sensori più o meno invasivi e costosi che, in ogni caso, forniscono informazioni direttamente interpretabili e utilizzabili per attivare eventuali meccanismi di alert e per fare valutazioni di diversa complessità e tipologia.

3.1.2 Tecniche di monitoraggio “indiretto”

Lo sviluppo e la diffusione dei sistemi di controllo ambientale [Grossi et al. 2012] [Losardo et al. 2010] consente, oggi, di disporre delle informazioni che rappresentano la “storia” di un ambiente e, in particolare, dell’influenza che la

persona ha avuto sull'ambiente svolgendo le normali attività della vita domestica quotidiana. Nonostante i dati ambientali semplici e di basso livello, se considerati singolarmente, possano sembrare inutili e poco significativi (riportando solo l'informazione puntuale rilevata), se considerati nella loro totalità e nel tempo, possono fornire informazioni di più alto livello riguardanti le abitudini e i comportamenti delle persone. Tramite l'interazione della persona con l'ambiente [Philipose et al. 2004] si possono, infatti, "catturare" i segni di attività tipici di un soggetto che, monitorati nel tempo, possono portare alla creazione di indicatori di attività e benessere le cui variazioni anomale possono essere utilizzate per intervenire preventivamente al fine di evitare di sottovalutare potenziali pericoli incipienti.

Questi approcci, sono detti "indiretti" perché cercano di estrapolare informazioni relative alla salute e al benessere delle persone attraverso lo studio dei dati forniti, nel tempo, da comuni sensori ambientali come, ad esempio, sensori di movimento, sensori di presenza (letto, poltrona, ...), sensori magnetici per rilevare l'apertura e la chiusura di porte e finestre, interruttori e prese ed altri ancora che, per la loro natura, non forniscono informazioni direttamente connesse alle attività e al comportamento.

Un esempio concreto, seppure semplice, che permette di comprendere quali sono le potenzialità di approcci orientati al riconoscimento di attività e all'analisi comportamentale in maniera indiretta, è rappresentato dalla possibilità di riconoscere il percorso di una persona all'interno di un ambiente ("tracking") sfruttando le attivazioni di sensori di movimento (PIR) in sequenza, oppure, dall'individuazione di lunghi periodi di inattività che potrebbero "segnalare" una caduta [Virone et al. 2002].

Poiché uno degli aspetti fondamentali su cui si basano gli approcci di analisi comportamentale indiretta riguarda la non invasività, sono spesso utilizzati sensori di movimento a raggi infrarossi (PIR, Passive Infra-Red) che permettono di rilevare i movimenti ed, indirettamente, i segni di attività caratteristici di una persona, permettendo di distinguere, ad esempio, comportamenti "sedentari" da

comportamenti particolarmente “attivi” [Wang et al. 2012]. Tuttavia, in un ambiente intelligente, sono disponibili anche le informazioni prodotte da altri sensori non invasivi, come sensori magnetici per controllare l’apertura e la chiusura di porte e finestre, interruttori, prese, sensori da letto e da poltrona, ecc. e ogni applicazione considera i dati rilevati dai sensori ritenuti più interessanti e significativi a seconda degli obiettivi prefissati [Ogawa et al. 2002] [Ogawa et al. 1998] [Schrempf et al. 2010] [Poujaud et al. 2008] [Binh Le et al. 2008] [Noguchi et al. 2011].

Molti studi sono generali e volti all’ottenimento di indicatori di attività “complessivi” a partire dai dati prodotti da diversi sensori ambientali durante le attività quotidiane (“cooking, washing, sleeping”, ...) [Ogawa et al. 2002] [Lymberopoulos et al. 2007], il cui monitoraggio continuo può condurre all’individuazione di indici di attività utili per fare valutazioni di breve [Virone et al. 2008] ma soprattutto di lungo periodo [Noguchi et al. 2011] [Cuddihy et al. 2007].

Altri studi, invece, si concentrano su certe particolari fasce orarie come, quella notturna, e su particolari ambienti come, ad esempio, il bagno: la regolarità dei cicli veglia-sonno è, infatti, correlata a diverse patologie degenerative (problemi cognitivi, insonnia, deambulazione) [Adami et al. 2010] [Pavel et al. 2006], così come monitorare l’utilizzo del bagno può permettere di individuare l’insorgere di problemi urinari, ad esempio, dovuti all’assunzione di particolari farmaci o a declini fisiologici [Virone et al. 2008] [Tyrrer et al. 2007] [Rantz et al. 2011].

Le metodologie che si occupano di fare analisi comportamentale a partire dalla molteplicità di dati forniti dai differenti sensori installati in un ambiente devono, tuttavia, affrontare sfide significative riguardanti l’elaborazione necessaria per “trasformare” i dati grezzi in informazioni di più alto livello utili per tracciare profili comportamentali che consentirebbero di accrescere le capacità dei sistemi di controllo e monitoraggio, fornendo capacità di apprendimento, di adattamento e di diagnosi precoce.

La difficoltà di ricondurre le informazioni grezze provenienti dai sensori ad indicatori di comportamento e attività, passa per tecniche di fusione e datamining

dei dati capaci di gestire la molteplicità e l'eterogeneità, caratteristiche delle informazioni prodotte dall'interazione della persona con l'ambiente [Hsia et al. 2009] [Xianhai et al. 2009] [Mori et al. 2007].

La mancanza di riferimenti e modelli universali che possano rappresentare in maniera esaustiva i reali comportamenti, spesso non ben definiti e non deterministici, introduce maggiore complessità e coinvolge diversi campi di applicazione che variano dall'impiego di modelli statistico-probabilistici che, ad esempio, sfruttano i modelli di Markov nascosti (Hidden Markov Models, HMM) o le reti di Bayes nei processi di estrazione delle caratteristiche, di aggregazione e di labeling [Hsia et al. 2009] [Atallah et al. 2009] [Mori et al. 2007], all'uso di tecniche più orientate all'intelligenza artificiale utili soprattutto per scopi di apprendimento e predizione [Chen et al. 2010] [Kong et al. 2007]. In quest'ultimo caso, un problema significativo riguarda la mancanza di dati reali che possano rappresentare la molteplicità dei comportamenti possibili in modo da semplificare i processi di addestramento di sistemi e algoritmi che, spesso, necessitano di periodi di tempo relativamente lunghi. Poiché ogni metodo è caratterizzato da una diversa miscela fra vantaggi e svantaggi molti studi provano ad affrontare l'argomento tramite approcci ibridi che prevedono l'uso combinato delle diverse tecniche, al fine di sfruttarne i vantaggi relativi e ridurre possibilmente gli svantaggi [Atallah et al. 2009] [Carter et al. 2006].

Il processo che porta dalle informazioni di basso livello, rilevate dai sensori ambientali, alla realizzazioni di veri e propri "sensori virtuali" che aiutano a capire dinamiche comportamentali non descrivibili direttamente da nessun particolare sensore ma solo dall'uso integrato di tutti quelli disponibili, è molto lungo e laborioso ma renderebbe disponibili strumenti di rilevazione automatica di anomalie volti a prevenire situazioni pericolose incipienti. L'individuazione di profili comportamentali rappresenta il punto di partenza per la creazione di strumenti di rilevazione automatica e predizione di anomalie. La mancanza di dati reali su cui fare addestramento e la difficoltà di assegnare etichette che permettano di riconoscere pattern comportamentali ed eventuali variazioni

rappresentano gli ostacoli principali che rallentano lo sviluppo di meccanismi automatici di predizione.

Per tutti questi motivi, al momento, sono molto diffusi soprattutto approcci volti allo sviluppo di strumenti “ad hoc” adatti a rappresentare ed evidenziare, nel tempo, le caratteristiche periodiche tipiche delle attività quotidiane e dei comportamenti. Lo sviluppo di metodi e strumenti (sono molto diffuse le cosiddette mappe di densità [Wang et al. 2008]) di supporto per fare valutazioni ed analisi a posteriori e retrospettive volte all’individuazione di irregolarità e anomalie [Rantz et al. 2009] può essere un utile modo per comprendere meglio la complessità delle dinamiche comportamentali e può rappresentare, quindi, un primo passo verso la realizzazione di strumenti automatici.

3.2 Analisi problema

Gestire ambienti in maniera automatica ed efficace richiede la capacità di prendere decisioni in funzione del contesto: un sistema di monitoraggio e controllo non può prescindere dalla conoscenza degli scenari attivi al suo interno (ambient awareness). Tipicamente tali decisioni hanno come obiettivo quello di compiere attuazioni sull’ambiente per modificarne lo stato e quindi spesso risulta importante poter reagire contestualmente alle situazioni individuate nel più breve tempo possibile. In altre parole risulta di fondamentale importanza poter rilevare e riconoscere in “near real-time” quali siano gli scenari attivi (in particolare quelli critici) all’interno degli ambienti al fine di reagire contestualmente e prevenire gli incidenti.

In molti casi, infatti, in special modo per applicazioni orientate all’Ambient Assisted Living, è richiesto un controllo proattivo diretto a prevenire situazioni, tendenze o problemi futuri in modo da pianificare anticipatamente le azioni opportune e quindi capace di intervenire in anticipo. Un controllo proattivo intelligente è possibile solo se esiste un sistema in grado di riconoscere scenari al verificarsi di determinate condizioni. La rilevazione di una anomalia potrebbe

essere un indicatore importante per individuare il pericolo e il rischio di un incidente.

Per poter raggiungere tale obiettivo è necessario disporre di sistemi e modelli per la composizione dei dati misurati. Normalmente i dati vengono acquisiti grazie all'utilizzo di sensoristica eterogenea, distribuita e asincrona:

- Eterogenea: ogni singolo sensore ha esigenze specifiche riguardo alle fasi di acquisizione e di trasmissione del dato che tipicamente dipendono dalla dinamica del processo misurato (la frequenza di campionamento dipende dal grandezza fisica (processo fisico) sottoposta a misurazione) ma anche dalla tecnologia utilizzata (le modalità di trasmissione del dato dipendono dal canale utilizzato (es. radiofrequenza, cavo), dal protocollo, ...)
- Distribuita: la misurazione deve essere effettuata spazialmente il più vicino possibile rispetto alla sorgente del dato per evitare distorsioni e rumori derivanti dall'ambiente circostante che influiscono sul processo di misura
- Asincrona: ogni sensore ha un proprio ciclo di vita nel processo di acquisizione e quindi risulta naturale avere serie storiche non sincronizzate

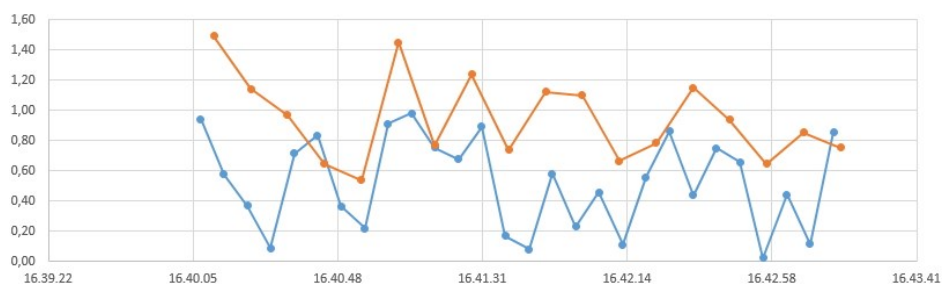


Figura 6: acquisizione asincrona

Va sottolineato che i dati grezzi collezionabili da qualunque tipo di sensore può essere sempre affetto da disturbi ambientali o errori di misurazione. Risulta così evidente che il sistema dovrà essere in grado di affrontare problemi come l'incertezza sulle misurazioni (dovuti ad errori di misura occasionali o disturbi temporanei), discontinuità temporale delle rilevazioni (assenza momentanea del

dato dovuto a conflitti o a fallimenti hardware), informazione incompleta (mancanza totale di un dato), rilevazione asincrona (misurazioni non sincronizzate).

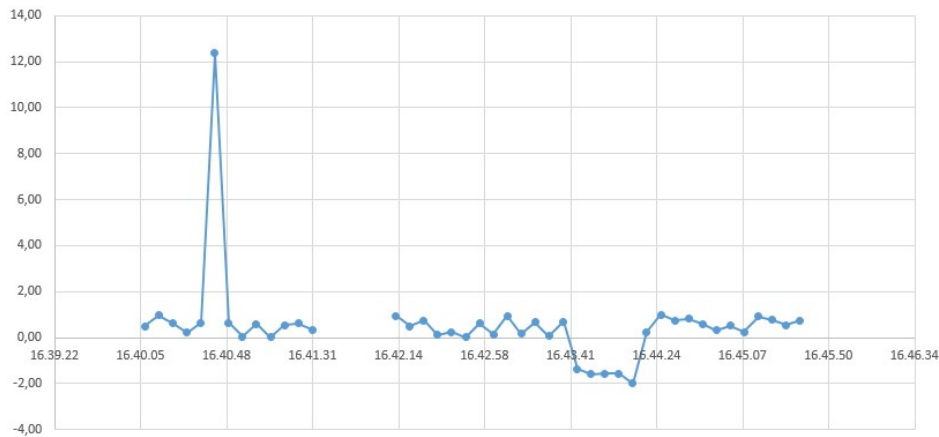


Figura 7: anomalie nel processo di acquisizione

Un'altra sorgente non secondaria di imprevedibilità che introduce incertezza all'interno del sistema è dettato dall'interazione umana con l'ambiente che è intrinsecamente non predicibile e imprevedibile (a volte addirittura apparentemente non sense o di difficile interpretazione: si pensi in particolare a situazioni che hanno a che fare con utenti con scompensi cognitivi o affetti da disabilità).

Un altro aspetto importante da evidenziare nella scelta del modello da utilizzare riguarda la capacità di poter combinare e miscelare informazione eterogenea (ad es. dati derivanti dai sensori con informazioni derivanti da modelli o da conoscenza esperta). Vista la complessità dei problema, lo strumento utilizzato nella modellazione dovrebbe inoltre consentire la suddivisione in sottoproblemi e il riutilizzo dei modelli ovvero supportare la composizionalità.

Riassumendo si può affermare che la gestione dell'edificio e dei suoi abitanti richiede identificazione e analisi di scenari che siano:

- computati «near real time»
- determinati in condizioni di incertezza

3.3 Approcci

Riconoscere scenari è un'attività complessa che richiede procedure di inferenza adeguate tipiche di persone esperte del particolare dominio. Esistono vari paradigmi utilizzati nell'ambito dell'intelligenza artificiale che hanno l'obiettivo di emulare il ragionamento umano e di conseguenza poter sostituire l'operato di uno specialista. Per tale motivo tali sistemi sono stati denominati sistemi esperti.

L' introduzione del termine "Sistema Esperto" è datata 1977 ed è opera di Feigenbaum [Fe77], che ne diede anche una definizione precisa:

"Un Sistema Esperto è un programma di calcolatore, che usa conoscenze e tecniche di ragionamento per risolvere problemi che normalmente richiederebbero l'aiuto di un esperto. Un Sistema Esperto deve avere la capacità di giustificare o spiegare il perché di una particolare soluzione per un dato problema."

Paradigmi dei Sistemi Esperti

1. Sistemi a regole (Based Rules Systems)

Una regola è una espressione nella forma

- "se A allora B"

in cui A è una affermazione e B può essere sia una azione o un'altra affermazione. Per esempio le seguenti tre regole potrebbero essere parte di un più ampio insieme di regole per l'identificazione e la localizzazione dei guasti di una pompa d'acqua:

1. Se la pompa non funziona allora la pressione è bassa
2. Se la pompa non funziona allora controllare il livello dell'olio
3. Se la non c'è alimentazione allora la pompa non funziona

Un sistema a regole consiste di una libreria di tali regole. Queste regole riflettono le relazioni essenziali nel dominio o meglio riflettono il modo di ragionare circa un dominio.

Quando informazioni specifiche diventano disponibili, le regole sono usate per trarre conclusioni e mettere in atto azioni appropriate (inferenza). Tale inferenza viene effettuata come una sorta di reazione a catena.

Nell'esempio precedente se si verifica una mancanza d'alimentazione allora la regola 3) stabilirà che la pompa non funziona e la regola 1) affermerà che la pressione è bassa; infine la regola 2) ci darà un (inutile) consiglio di controllare il livello dell'olio.

Le regole possono essere usate anche nella direzione opposta. Ad es. se sappiamo che la pressione è bassa allora la regola 1) afferma che tale condizione può essere dovuta ad un fallimento della pompa e la regola 3) ci dice che questo a sua volta può essere causato da una mancanza di alimentazione; la regola 2) Potrebbe essere usata come consiglio per verificare il livello dell'olio ma risulta veramente difficile controllare una tale mescolanza di inferenze avanti e indietro nella stessa sessione.

Incertezza

Molto spesso le connessioni considerate dalle regole non sono assolutamente certe e spesso l'informazione raccolta è soggetta ad incertezza. In tali casi, una misura di confidenza va aggiunta alle premesse così come andrebbe indicata rispetto alle conclusioni dedotte dal sistema a regole. E' possibile usare regole che utilizzino una funzione che descriva quando un cambiamento nelle certezza delle premesse causerebbe un cambiamento della certezza delle conclusioni. Nella forma più semplice la regola potrebbe essere scritta nella seguente forma:

- “se A (con certezza x) allora B (con certezza $f(x)$)”

Esistono molti schemi che trattano l'incertezza in un sistema a regole. I più comuni sono le logiche fuzzy, i fattori di certezza, e versioni adattate delle funzioni di credenza Dempster-Shafer.

Comune a tutti gli schemi è il fatto che l'incertezza è trattata localmente. Cioè il trattamento è connesso direttamente alla regola entrante e all'incertezza dei suoi elementi. Per es. aggiungendo un'altra regola del tipo “Se C (con certezza x)

allora B (con certezza $g(x)$)", avendo l'informazione che A avviene con grado di certezza a e C con grado di certezza C, quale sarà il grado di certezza di B?

Esistono differenti algebre per il calcolo di tali combinazioni di incertezza che dipendono dallo schema scelto. Comune a tutte le algebre è il fatto che in molti casi esse portano a risultati non corretti. Questo è dovuto al fatto che la combinazione dell'incertezza non è un fenomeno locale ma è fortemente dipendente dalla situazione globale

2. Reti neurali (Neural Networks)

Una rete neurale è composta da molti strati di nodi: in alto esiste un layer di nodi di input e in basso un layer di nodi di output; all'interno della rete vi sono n strati di layer nascosti. Eccetto per i nodi di uscita tipicamente tutti i nodi tra layer sono in principio interconnessi. Ogni nodo viene chiamato perceptrone.

Una rete neurale realizza tipicamente il riconoscimento di pattern. Ad es. immaginiamo una rete per il riconoscimento di lettere scritte a mano. Per l'identificazione automatica, una lettera scritta a mano potrebbe essere trasformata in una serie di tratti (lavoro preliminare alla rete); la rete avrà un nodo di input per ogni possibile tipo di tratto e un nodo di uscita per ogni lettera dell'alfabeto. Quando un insieme di casi sono usati per alimentare la rete, il sistema confronterà il pattern di casi con quello equivalente delle differenti lettere.

Tecnicamente, ai nodi di input viene assegnato un valore binario (0 o 1) che rappresenta l'attivazione o meno del perceptrone. Questo valore è trasmesso ai nodi nel layer seguente. Ognuno di questi nodi effettua una somma pesata dei valori entranti e se questa somma è superiore ad un valore di soglia allora il nodo propaga con valore 1. I valori dei nodi di uscita determinano la lettera.

Quindi a prescindere dall'architettura della rete, i pesi e le soglie determinano il comportamento della rete. Pesi e soglie sono impostati per far sì che la rete si comporti nel modo migliore possibile e questo è raggiunto attraverso

l'addestramento: si danno in ingresso un ampio numero di esempi con associati i valori di uscita che consentono di addestrare la rete per impostare automaticamente pesi e soglie in modo che la distanza tra l'uscita della rete e l'uscita desiderata sia più piccola possibile.

Teoricamente non c'è nulla che previene l'utilizzo delle reti neurali in domini che richiedono di maneggiare l'incertezza. Se le relazioni sono incerte una rete neurale ben addestrata riconosce correttamente i pattern. Comunque non si ha la possibilità di leggere l'incertezza delle conclusioni della rete, non si ha la possibilità di capire il secondo pattern più probabile e infine (probabilmente il difetto più importante) non si saprà mai sotto quali assunzioni sul dominio è stato riconosciuto il pattern ovvero è impossibile effettuare analisi e diagnosi sulla rete.

3. Reti Bayesiane (Bayesian Networks)

Una BN si compone di un insieme di nodi e un insieme di archi diretti tra nodi. Gli archi riflettono le relazioni causa effetto nel dominio. Questi effetti sono normalmente non completamente deterministici.

La forza di un effetto è modellato in termini di probabilità.

1. Se tonsillite allora $P(\text{temp} > 37.9) = 0.75$
2. Se pertosse allora $P(\text{temp} > 37.9) = 0.65$

Tali affermazioni potrebbero essere lette come regole ma non si dovrebbe. Per tale motivo è preferibile utilizzare la notazione di probabilità condizionata:

1. $P(\text{temp} > 37.9 \mid \text{tonsillite}) = 0.75$

Se 1) e 2) sono lette come "se ... altrimenti e ... allora ...", c'è anche la necessità di capire come le due cause si combinano. In altre parole, abbiamo bisogno di conoscere la probabilità di avere la febbre se entrambi i sintomi sono presenti e se il paziente è completamente sano. Nel complesso va specificata la probabilità condizionata $P(\text{temp} > 37.9 \mid \text{tonsillite}, \text{pertosse})$ in cui sia tonsillite che pertosse

possono assumere gli stati “si” e “no”. Quindi vanno specificate la forza di tutte le combinazioni di stati per le possibili cause.

Fondamentalmente le BN sono usate per aggiornare le probabilità quando l’informazione diventa disponibile. La base matematica per il calcolo è il teorema di Bayes:

$$P(A | B) * P(B) = P(B | A) * P(A)$$

Contrariamente ai metodi dei sistemi basati su regole, il metodo di aggiornamento delle BN usa una prospettiva globale e, se il modello e le informazioni sono corrette, si può dimostrare che il metodo calcola correttamente le probabilità aggiornate.

Ogni nodo nella rete può ricevere informazione poiché il metodo non distingue tra inferenza in un verso o nell’altro rispetto al verso degli archi. Inoltre l’informazione simultanea in nodi diversi non influirà nell’algoritmo di aggiornamento.

Una differenza essenziale tra sistemi a regole e sistemi basati su BN è quella che nei sistemi a regole si tenta di modellare il modo di ragionare degli esperti mentre con le reti Bayesiane si tenta di modellare le dipendenze nel dominio. Sistemi di questo tipo sono spesso chiamati sistemi a supporto delle decisioni e sistemi esperti normativi.

Comparazione tra reti neurali e reti Bayesiane

La differenza fondamentale tra i due tipi di reti è che un perceptrone negli stati nascosti non ha un’interpretazione nel dominio del sistema mentre tutti i nodi di una BN rappresentano concetti che sono ben definiti rispetto al dominio. Il significato di un nodo e la sua tabella di probabilità possono essere soggetti a discussione riguardo alla loro funzione nella rete. Al contrario non ha alcun senso discutere circa il significato di nodi e pesi in una rete neurale. Perceptron negli stati nascosti hanno solo significato nel contesto della funzionalità della rete.

Questo significa che la costruzione di una rete Bayesiana richiede conoscenza dettagliata sul dominio in questione. Se tale conoscenza può essere solo ottenuta da una serie di esempi allora le reti neurali sembrano essere l'approccio più semplice. Questo può essere vero nei casi in cui è richiesta un'attività di riconoscimento basata solo sulle abilità derivanti dall'esperienza.

E' spesso criticato che al fine di costruire una rete Bayesiana si debba conoscere troppe probabilità. Comunque questo non è molto dissimile rispetto al numero di pesi e soglie che è necessario conoscere al fine di costruire una rete neurale e queste possono essere imparate solo tramite l'addestramento. E' una enorme debolezza delle reti neurali il fatto che non si possa utilizzare la conoscenza che si ha in anticipo.

Le probabilità invece possono essere stimate usando una combinazione di ipotesi teoriche, studi empirici indipendenti dal sistema costruito, addestramento e stime soggettive.

Infine va sottolineato che nella costruzione di una rete neurale il verso dell'inferenza è fissato. E' deciso a priori quali informazioni vanno raccolte e quali relazioni il sistema debba calcolare. Le reti Bayesiane sono molto più flessibili in questo senso.

3.4 Modellazione con reti bayesiane

Le reti bayesiane sono un formidabile strumento computazionale per la costruzione di modelli probabilistici. I modelli costruiti mediante le reti bayesiane permettono di condurre analisi di scenario, valutazioni di tipo diagnostico e analisi di sensibilità su domini anche molto complessi. Le reti bayesiane possono essere create anche a partire da insiemi di dati storici e sono riconosciute come uno degli strumenti più efficienti attualmente disponibili per il data mining. [De Grassi M., Naticchia B. et al]. In generale le reti bayesiane risultano essere lo strumento ideale quando si ha a che fare con domini che contengono incertezza in qualche modo. Questa incertezza può essere dovuta ad una conoscenza imperfetta del

dominio, conoscenza incompleta dello stato del dominio nel momento in cui un compito deve essere realizzato, variabilità nel meccanismo che governa il comportamento del dominio, o una combinazione di questi. Le reti Bayesiane sono anche chiamate reti di credenze o reti di credenza Bayesiana o reti causali probabilistiche.

Chiaramente la base di tali reti è il teorema di Bayes che descrive un metodo computazionale per il calcolo della probabilità condizionata ovvero definisce quale è la probabilità che si verifichi un evento A come conseguenza del fatto che si sia verificato un evento B.

$P(A)$: *prob. dell'evento A*

$P(A \cap B)$ o $P(A \wedge B)$: *prob. congiunta (probabilità che si verifichi sia A che B)*

$P(A | B)$: *prob. condizionata (prob. che si verifichi A dato il fatto che si sia verificato B)*

$$P(A | B) = P(A \wedge B) / P(B)$$

$$P(B | A) = P(B \wedge A) / P(A)$$

$$P(A \wedge B) = P(B \wedge A)$$

Teorema di Bayes

$$P(A | B) * P(B) = P(B | A) * P(A)$$

Da un altro punto di vista le reti Bayesiane possono essere viste come rappresentazioni grafiche di modelli probabilistici. Una BN è una rete di nodi connessi da archi diretti con una funzione di probabilità associata ad ogni nodo. La rete (o grafo) di una BN è un grafo diretto aciclico (DAG, Direct Acyclic Graph), ovvero un grafo per cui non esistono cammini diretti che iniziano e finiscono nello stesso nodo.

Un nodo rappresenta o una variabile casuale discreta con un numero finito di stati o una variabile casuale continua con distribuzione di probabilità Gaussiana. I

collegamenti tra i nodi rappresentano le relazioni causali (causa -> effetto) tra i nodi.

Se un nodo non ha genitori (non ci sono archi entranti su di esso), il nodo conterrà una tabella di probabilità marginale. Se un nodo è discreto, contiene una distribuzione di probabilità sullo stato della variabile che rappresenta. Se il nodo è continuo, esso contiene una funzione di densità Gaussiana (data attraverso i parametri di media e varianza) per la variabile casuale che rappresenta.

Se il nodo ha genitori (esistono archi entranti su di esso), il nodo contiene una tabella di probabilità condizionata (CPT). Se il nodo è discreto, ogni cella nella CPT (o più in generale la funzione di probabilità condizionata CPF) di un nodo contiene la probabilità condizionata di essere in uno stato specifico data una configurazione specifica degli stati dei suoi genitori. Quindi il numero di celle in una CPT per un nodo discreto è uguale al numero dei possibili stati di tale nodo moltiplicato per il numero dei possibili stati dei suoi genitori. Se il nodo è continuo, la CPT contiene parametri di media e varianza per ogni configurazione degli stati dei suoi genitori discreti (quindi uno se non ci sono genitori discreti) e un coefficiente di regressione per ogni genitore continuo per ogni configurazione degli stati dei genitori discreti

Inferenza

L'inferenza nelle BN è una particolare forma di inferenza probabilistica che permette la stima della distribuzione di probabilità a posteriori di un sottoinsieme di nodi dato la conoscenza della distribuzione di probabilità di un secondo sottoinsieme di nodi disgiunto dal precedente.

In generale viene calcolato il valori delle distribuzioni di probabilità dei nodi individuali a partire dalla distribuzione di probabilità a priori dei nodi radice e la probabilità condizionata relativa agli altri nodi. L'aspetto più interessante è che l'inferenza attraverso la rete avviene ogni volta che viene cambiato la distribuzione di probabilità di un qualunque nodo. Da un punto di vista computazionale la rete mantiene la coerenza delle distribuzioni di probabilità tra

i vari nodi secondo quanto espresso nelle tabelle di probabilità condizionata. Quindi se per qualche ragione un valore di probabilità cambia allora la rete propaga gli effetti a tutti gli altri nodi in funzione della relazione che li collega e aggiornerà tutti i nodi che sono condizionalmente dipendenti da esso.

Una peculiarità molto importante è quella che le reti consentono vari tipi di ragionamento:

- ragionamento predittivo o inferenza causale: anche chiamato inferenza in avanti, consiste nella valutazione causa effetto valutando l'impatto dei cambiamenti degli stati della rete a partire dall'imposizione degli stati sui nodi radice in avanti;
- ragionamento diagnostico o inferenza diagnostica: anche chiamato inferenza all'indietro (è una forma di induzione) e consiste nella valutazione delle possibili cause di un effetto analizzando la catena dai nodi foglia a ritroso fino ai nodi radice
- ragionamento inter-causale: tra le cause di un effetto comune
- inferenza mista (combinazione delle inferenze precedenti)

3.5 Caso di studio: riconoscimento attività e risultati

Il caso di studio è rappresentato dal riconoscimento di un insieme di attività che una persona può svolgere all'interno di un ambiente domestico. Da quanto descritto in precedenza la modellazione con reti bayesiane risulta essere quella che meglio si adatta ai requisiti richiesti.

Nel caso di modellazione di attività umane gli elementi che compongono il modello sono quindi i seguenti:

- Il soggetto che svolge l'attività;
- Lo stato (fisico e mentale) del soggetto;
- L'attività svolta dal soggetto;
- La sequenza di azioni che compone un'attività;
- La singola azione svolta dal soggetto;

- L'evento, che rappresenta la reazione del sistema di sensori ad un'azione svolta;
- L'oggetto (cibo, elettrodomestico, arredamento, utensile) con cui il soggetto interagisce;
- La quantità, intesa come tempo speso per una attività e distanza da un oggetto;
- La relazione spaziale tra il soggetto e gli oggetti e temporale tra eventi, azioni o attività

Il caso d'uso riporta la successione (parzialmente ordinata) delle azioni che il soggetto svolge per raggiungere un determinato obiettivo (portare a termine un'attività). Lo scopo è quello di riuscire a riconoscere l'attività compiuta dal soggetto conoscendo esclusivamente gli eventi provocati nel suo svolgimento.

Sequenze di eventi

Una attività può essere modellata come una sequenza di eventi. Un evento non è altro che un dato proveniente da uno dei sensori presenti nell'ambiente.

COD	Evento sensore	Classe sensore
AA	Acqua aperta	flussimetro
AC	Cassetto/sportello aperto	Contatto magnetico
AF	Frigorifero aperto	Contatto magnetico
AG	Accensione gas	Thermal infrared
AS	Spazzatura aperta	Contatto magnetico
AL	Lavastoviglie accesa	CurrentMeter
L	Uso lavandino	flussimetro
LL	Stato apertura lavastoviglie	Contatto magnetico
P	Presenza	PIR
PF	Prossimità fuochi	PIR
PI	Utilizzo piano cucina	accelerometro
S	Sedia	pressione piezelettrico

T	Utilizzo tavolo	accelerometro
TV	TV accesa	amperometro

A partire da tali eventi è possibile codificare le attività come ad es:

- preparare un pasto: {P, PF, AG, PI, T}
- guardare la tv: {P, S, TV}
- pulisce il piano cucina: {AC, AA, PF, PI, L, AA, PF, PI, L, AA, AC}
- ...

I sensori previsti nell'ambiente sono sensori binari, per cui i dati provenienti da essi possono essere soltanto due: acceso o spento.

Per fare degli esempi l'accensione di un sensore di contatto magnetico corrisponde all'apertura di un cassetto, l'accensione dell'accelerometro presente sul tavolo può significare che vi è stato appoggiato qualcosa, l'accensione dell'amperometro rivela l'uso della lavastoviglie e così via.

Alcuni dei segnali provenienti dai sensori sono inequivocabili, come l'apertura del rubinetto, mentre altri possono essere provocati da azioni molteplici, anche diverse tra loro. In particolare l'accelerometro disposto sul piano di lavoro della cucina è in grado di rilevare il movimento al di sopra di esso, ma non di distinguere tra due azioni quali "appoggiare un oggetto" e "tagliare del cibo".

Il set di sensori risulta, in questo senso, piuttosto cieco e incapace di discernere tra azioni simili che interessano lo stesso dispositivo. Per ottenere una maggiore sensibilità si dovrà tenere in conto la durata delle singole azioni, nel tentativo di discriminare le attività caratterizzate dalla stessa sequenza di azioni.

Il primo passo è la definizione delle sequenze di eventi corrispondenti agli scenari d'uso che si tenta di riconoscere. Si tratta di un lavoro sistematico nel quale, ripercorrendo la sequenza delle azioni compiute dal soggetto, si vanno a ricercare gli effetti che tali azioni generano sui sensori presenti nell'ambiente.

Chiaramente non tutte le azioni descritte vengono rilevate dai sensori, si genera quindi un deficit di informazione.

Modellazione

Le sequenze di eventi possono essere rappresentate attraverso un processo markoviano nascosto (Hidden Markov Model – HMM). Un HMM è un processo markoviano in cui gli stati non sono osservabili direttamente.

Più precisamente:

- La catena ha un certo numero di stati;
- Gli stati evolvono secondo una catena di markov;
- Ogni stato genera un evento con una certa distribuzione di probabilità che dipende dallo stato;
- L'evento è osservabile, ma lo stato no.

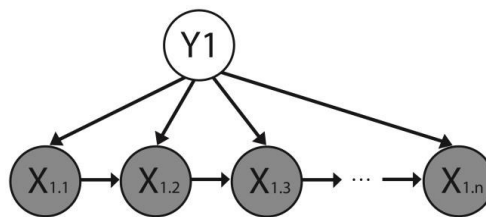


Figura 8 ogni nodo osservabile X è costituito a sua volta da una sequenza di stati.

Il modello ottenuto può essere migliorato mediante la modellazione della durata dei singoli eventi.

Da un HMM si è passa dunque ad un Hidden Semi-Markov Model (HSMM) che permette di modellare la durata in modo esplicito. In questo modello sono stati aggiunti i nodi D che rappresentano la durata di ciascun evento X.

La modellazione della durata è molto utile quando si hanno attività che presentano la medesima sequenza di eventi, ma differiscono per la durata degli stessi.

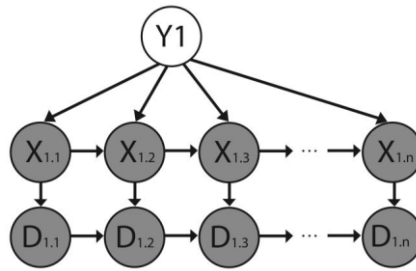


Figura 9 rappresentazione di un HSMM in cui la durata viene modellata esplicitamente.

Due sono le principali problematiche che si riscontrano in questo modello:

1. Ordine delle sequenze: le sequenze ipotizzate hanno un ordine preciso e una stessa attività può essere compiuta in vari modi diversi e invertendo l'ordine delle azioni. Questa condizione risulta quindi piuttosto limitante. Questo problema può essere risolto considerando tutte le possibili sequenze di azioni, ossia tutti i possibili ordinamenti degli eventi che corrispondono ad una certa attività.
2. Lunghezza delle sequenze: aumentando il numero dei nodi della rete aumenta l'accuratezza, ma aumenta anche il tempo necessario per l'elaborazione. Per risolvere questo problema si può ricorrere alla traslazione della finestra temporale tramite la quale iterativamente si interroga la rete imponendo i risultati della sequenza precedente fino all'esaurimento della catena degli eventi

La modellazione scelta ha come conseguenza la definizione di una rete bayesiana con la seguente struttura:

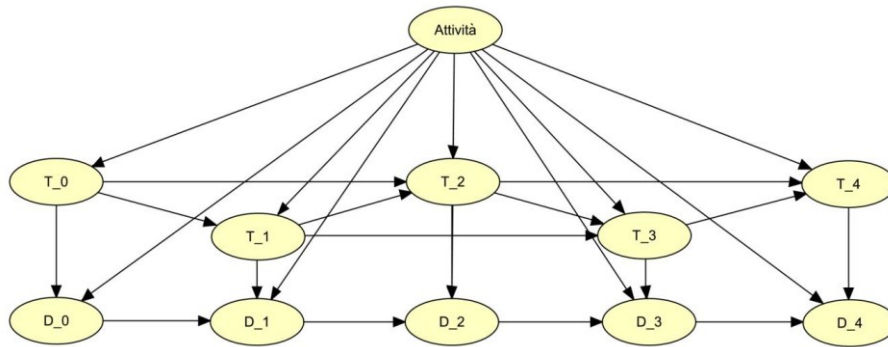


Figura 10: rete bayesiana per il riconoscimento attività

La rete bayesiana è basata su una rete Markoviana di ordine 2 (probabilità dello stato attuale dipendente dalla probabilità dei due nodi immediatamente precedenti) con modellazione delle durate.

Tale rete è stata testata su un ambiente opportunamente sensorizzato per verificare la bontà della modellazione.

I test effettuati mostrano una buona capacità di riconoscimento attività da parte della rete soprattutto all'aumentare della lunghezza della catena considerata.

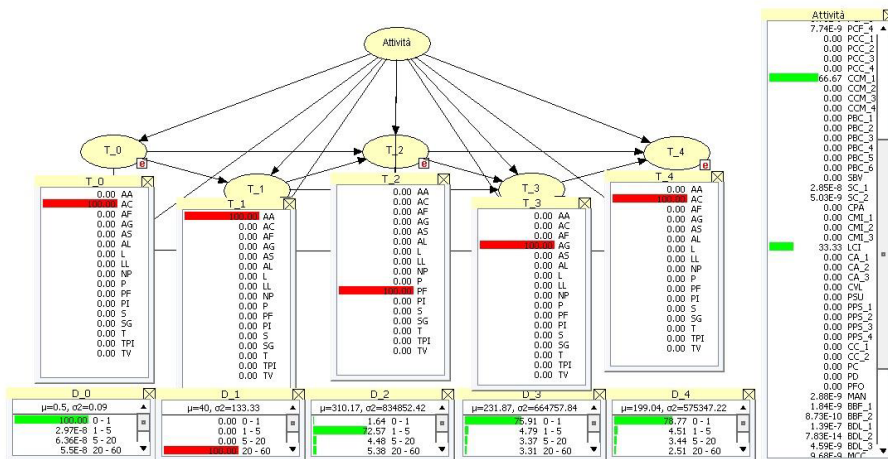


Figura 11 esempio di attività correttamente riconosciuta

In particolare si riscontra che con la modellazione imposta sul dataset raccolto (17 eventi e 78 attività) con una rete bayesiana di complessità contenuta, utilizzando la tecnica della traslazione temporale, sono state identificate l'83.33% delle attività.

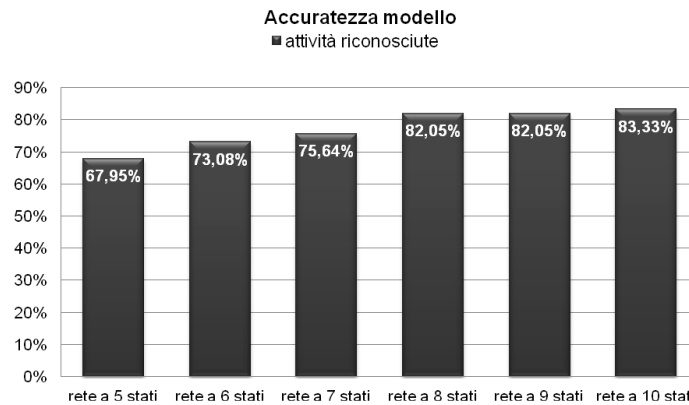


Figura 12 risultati identificazione attività in funzione del numero di nodi della rete

I risultati sono soddisfacenti in quanto mostrano che il metodo di modellazione scelto consente di identificare l'attività corrente con una buona affidabilità e soprattutto in "near real time" ovvero durante lo svolgimento delle azioni stesse.

Tale caratteristica risulta fondamentale in quanto consente ad un eventuale sistema di controllo anche a ciclo aperto di prendere decisioni sullo scenario identificato e quindi proattivamente o reattivamente effettuare automazioni a supporto dell'utenza.

3.6 Caso di studio: composizione scenari

Un ulteriore punto di forza delle reti è la possibilità di essere combinate per poter essere utilizzate come input di altre reti seguendo la filosofia ad oggetti (Object Oriented Bayesian Network): per ogni rete è possibile definire nodi di input e di output che possono essere utilizzati per comporre reti più complesse.

Ad esempio la rete per il riconoscimento attività può essere utilizzata come elemento chiave per la modellazione di altre reti.

In particolare in questo paragrafo viene presentato un esempio semplificato in cui tale rete è usata in una rete più complessa per modellare sia lo stato di salute della persona ma anche per la definizione dei livelli di comfort di un ambiente.

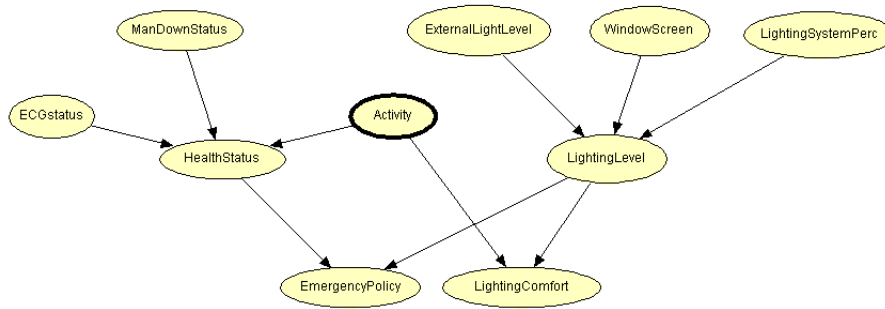


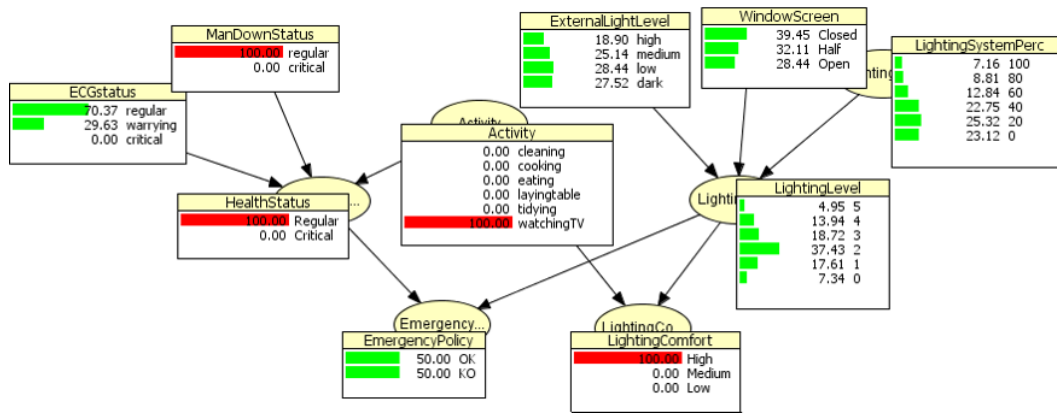
Figura 13: esempio di rete come composizione di reti

Dalla struttura della rete si possono facilmente individuare le relazioni causa-effetto identificate. Ad es. lo stato di salute ("HealthStatus") è determinato sicuramente dallo stato delle misurazioni degli apparati elettromedicali ("ECGstatus") ma assume significato solamente se opportunamente integrato con altre condizioni come ad es. l'attività correntemente svolta ("Activity") e le condizioni riguardanti la postura ("ManDownStatus").

Allo stesso modo i livelli di comfort ambientale ("LightingComFort") devono essere determinati non solo in funzione dei livelli di luce ("LightingLevel") ma dipendono anche dall'attività identificata (ad. es. è preferibile avere una luce soffusa quando si sta guardando la tv, mentre è desiderabile avere una luce chiara quando si stanno svolgendo attività come ad esempio la preparazione di un pasto)

Tale rete mette in evidenza come sia possibile integrare a livello logico domini differenti che partecipano allo stato globale del sistema. La rete infatti integra condizioni nel dominio "salute della persona" orientate all'individuazione di stati di emergenza ("Emergency") con condizioni orientate all'identificazione dei livelli di comfort degli ambienti ("LightingComFort").

I vari stati della rete vengono calcolati a runtime ogni volta che viene modificato un qualunque stato di un qualunque nodo.



Va messo in evidenza come la stessa rete può essere utilizzata in maniera inferenziale: una volta identificata una condizione di emergenza (“EmergencyPolicy”) è possibile fissare tale nodo e il nodo attività per poter ricavare ad. es. i livelli di luce più adeguati alla situazione emergenziale identificata.

I casi di studio mostrati evidenziano come le reti bayesiane possono essere convenientemente utilizzate per il riconoscimento scenari in near real time. Tale studio preliminare risulta propedeutico al fine di capire quali sono i requisiti per l’integrazione di funzionalità di riconoscimento scenari all’interno di un sistema di gestione di edifici.

4 Sistema Operativo per edifici

4.1 Motivazioni

Ad oggi esistono centinaia di framework, piattaforme e sistemi che sfruttano la grande mole di dati prodotta dai dispositivi integrati negli edifici per erogare una moltitudine di servizi all'utenza. Esistono commercialmente un set vastissimo ed eterogeneo di sensori in grado di misurare ogni tipo di grandezza e di codificare in formato digitale informazioni sugli ambienti; tali sensori possono essere collegati facilmente con attuatori per fornire interessanti nuove capacità per lo sviluppo di applicazioni.

Tipicamente le soluzioni vengono progettate e sviluppate per risolvere specifiche esigenze e quindi implementate come applicazioni verticali indipendenti: il deploy e la configurazione della soluzione vengono "cablate" sull'ambiente di riferimento del progetto. I sottosistemi implementati sono spesso proprietari, chiusi, non integrabili con altri sistemi e senza astrazioni uniformi necessarie per scrivere applicazioni che li riutilizzino: in altre parole tali sistemi non risultano essere programmabili in modo significativo.

Oltre al problema dell'integrabilità e della portabilità delle soluzioni vi è anche quello del riutilizzo non solo delle logiche dei sistemi di controllo ma anche degli stessi dispositivi che di fatto vengono installati per svolgere compiti predefiniti dall'applicazione di controllo: tipicamente l'hardware integrato negli ambienti non è riutilizzabile per scopi non previsti a priori.

Per superare questi limiti risulta necessario cambiare paradigma: è necessario introdurre uno strato intermedio in grado di rendere operativo l'hardware in senso più ampio consentendo la programmabilità delle componenti. Per assicurare il corretto funzionamento dell'edificio tale strato deve essere dotato di una serie di funzionalità che sono tipiche di un sistema operativo: gestire in maniera controllata le risorse disponibili e condivise regolandone l'accesso

concorrente, astrarre i dispositivi presentando alle applicazioni solamente interfacce coerenti e riusabili, gestire le temporanee indisponibilità hardware permettendo alle applicazioni di essere tolleranti rispetto ai fallimenti, etc...

Un sistema operativo consente la programmabilità dell'edificio, la riusabilità delle componenti, l'integrazione tra pezzi di infrastruttura esistente e nuove applicazioni, l'aggiornabilità e l'estensibilità dei sistemi.

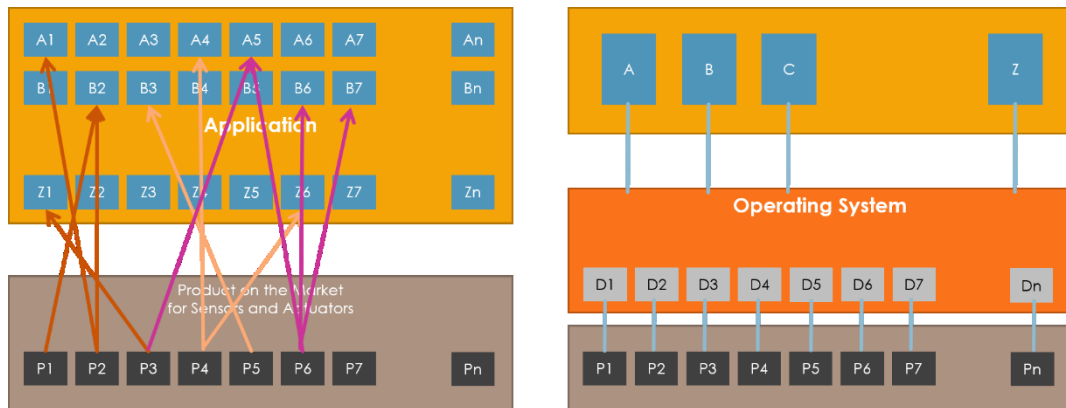
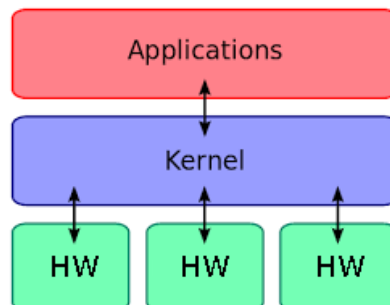


Figura 14: da applicazioni verticali a sistema operativo

4.2 Sistemi Operativi: concetti, funzioni e servizi

Un sistema operativo può essere visto in estrema sintesi come un layer di astrazione che permette di disaccoppiare gli elementi fisici hardware (ognuno con le proprie specificità e caratteristiche) dalle applicazioni e fornisce servizi alle applicazioni per agevolare i loro compiti.



Il kernel o nucleo del sistema fornisce alle applicazioni tutte le astrazioni e i servizi essenziali per garantirne il corretto funzionamento: in particolare è compito del kernel gestire e controllare l'accesso alle risorse disponibili. L'insieme delle

funzionalità che tale sistema deve integrare dipendono dagli scopi del sistema operativo.

Dal punto di vista delle applicazioni l'OS è quella componente che definisce l'ambiente tramite il quale dialogare per utilizzare le altri componenti del sistema e in estrema sintesi esso è un assegnatore di risorse. Esso è a tutti gli effetti un servizio per il controllo che deve gestire l'esecuzione delle applicazioni in modo da impedire che si verifichino errori o che i dispositivi siano usati in modo scorretto.

4.3 Software Defined Buildings

Le funzionalità e i servizi offerti da un OS possono differire da un sistema all'altro ma è necessario identificare classi comuni di tali servizi.

Gli edifici sono intrinsecamente molto complessi, sia strutturalmente che funzionalmente. Serve un ambiente dove poter integrare dati statici derivanti dalla modellazione dell'edificio con dati dinamici derivanti dalle misurazione effettive dei parametri di funzionamento dello stesso (configurazione e runtime). Il sistema deve poter trattare gli elementi in maniera uniforme e ospitare logiche di controllo astratte e multidominio, processi concorrenti, applicazioni pensate e implementate secondo il paradigma "write once run everywhere".

Nel contesto building, è possibile identificare le seguenti funzioni base:

- Metadata Service: servizio di rappresentazione e dichiarazione su base ontologica delle entità, delle relazioni tra entità e delle proprietà associate alle entità e alle relazioni. I metadati sono fondamentali per l'interpretazione dei dati e per sviluppare applicazioni portabili
- Reasoner & QueryService: servizio ricerca risorse basato su motore di reasoning capace di interpretare query complesse
- HPL: Hardware Presentation Layer (driver compatibilità HW-OS): astrazione hardware e astrazione all'accesso

- HAL: Hardware Abstraction Layer (modellazione del dominio e relazioni nel dominio + servizi): definizione degli oggetti e delle interfacce con cui tali oggetti dialogano con il mondo esterno (tramite modellazione semantica)
- Data Service: servizio per la storicizzazione, recupero e processamento dati.
- Processi di sistema: insieme di processi che si occupano di trattare i dati secondo i modelli che vengono inseriti all'interno del sistema:
 - Virtualizzatore risorse
 - Riconoscitore scenari
- Resource Management: gestione dell'accesso concorrente a risorse condivise
 - Transaction Manager: gestore delle transazioni ovvero della coerenza del risultato di sequenze di operazioni che possono concludersi con un successo o un insuccesso; in caso di successo, il risultato delle operazioni deve essere permanente o persistente, mentre in caso di insuccesso si deve tornare allo stato precedente all'inizio della transazione.
- Process/Task Management: servizi per la gestione del ciclo di vita delle applicazioni
 - Scheduler: processo che definisce secondo criteri opportuni quando una applicazione può essere eseguita e quando deve essere congelata o interrotta
- System call API: esposizione funzionalità alle applicazioni

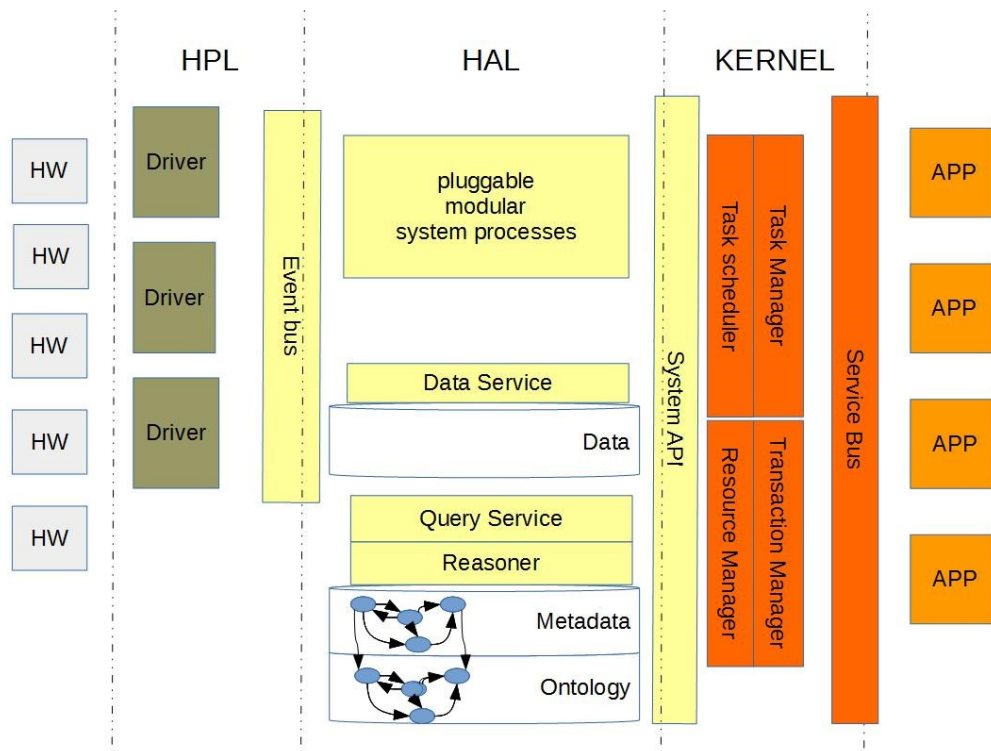


Figura 15: componenti essenziali del sistema operativo

Molte altre funzionalità possono essere identificate come ad es. servizi per l'autenticazione e la gestione della multi-tenancy o multi-utenza ma che possono essere tralasciate in questo lavoro di tesi.

Ontologia e metadati

Un'ontologia è una rappresentazione formale, condivisa ed esplicita di una concettualizzazione di un dominio di interesse. Il termine ontologia è entrato in uso nel campo dell'intelligenza artificiale e della rappresentazione della conoscenza, per descrivere il modo in cui diversi schemi vengono combinati in una struttura contenente tutte le entità rilevanti e le loro relazioni in un dominio. Un'ontologia è una specificazione esplicita di una concettualizzazione (intendendo con "concettualizzazione" un'astratta e semplificata visione del mondo che si vuole rappresentare per qualche scopo, cioè una parziale visione del mondo che consiste solo di quegli oggetti e di quei concetti che si assume esistano in una certa area di interesse). Un'ontologia sarebbe, dunque, una parziale concettualizzazione

del mondo, creata da una comunità di utenti per uno scopo esplicito, e definita in un linguaggio formale e comprensibile dalle macchine.

Metadata & Query Service

Il servizio per la catalogazione delle entità e dei metadati relativi ad esse risulta essenziale per tutte le esigenze che riguardano sia la dichiarazione delle componenti del sistema che le fasi di ricerca. Il servizio deve essere sufficientemente generale per poter inglobare informazione di altre basi dati e/o poter essere collegato a sistemi preesistenti come ad es. sistemi per il BIM.

I servizi di ricerca devono esporre chiamate per ricerche complesse anche di tipo semantico: è quindi necessario disporre di un sistema di reasoning capace di interpretare correttamente richieste articolate. Tramite tale sistema le applicazioni possono identificare le componenti dell'edificio e interagire con esse in base alle relazioni che quest'ultime hanno rispetto alle altre componenti del sistema piuttosto che specificare puntualmente la risorsa hardware (ad es. le applicazioni devono poter accedere al controllo dell' "impianto di illuminazione della cucina" piuttosto che identificare "attuatore con indirizzo x").

HPL: Hardware Presentation Layer

Lo strato di presentazione dell'hardware è uno strato di astrazione che consente l'integrazione di qualunque tipo di hardware. Gli edifici sono costituiti da un ampio numero di sensori, attuatori e architetture di controllo, ognuna con le proprie tecnologie di comunicazione, protocolli e caratteristiche. Una sfida importante è quella di riuscire a superare questa eterogeneità fornendo un accesso uniforme a queste risorse mappandole nella loro rappresentazione virtuale dell'hardware sottostante. Tipicamente tale funzionalità viene risolta definendo un framework per i driver che definisca l'insieme dei protocolli, dei formati e delle interfacce che devono essere implementate per esporre le funzionalità hardware all'interno del sistema operativo in maniera coerente e

uniforme. Questo strato nasconde la complessità e la diversità dei sottostanti protocolli di comunicazione e delle diverse interfacce per l'interazione con i singoli dispositivi presentando le capacità hardware utilizzando un protocollo auto-descrittivo.

HAL: Hardware Abstraction Layer

Lo strato di astrazione hardware è uno strato che consente da un lato la virtualizzazione delle risorse di sistema e dall'altro la definizione di componenti come risultato della composizione (su base modello) di altre componenti.

Tale strato fornisce servizi per il trattamento dei dati grezzi affinché siano disponibili alle applicazioni in modo conveniente: dati possono essere combinati tramite modelli opportuni per ottenere nuovi dati; errori di misura possono essere filtrati; le misurazioni possono essere aggiornate e rese sempre disponibili ad es. associando un indicatore di bontà del dato attraverso modelli di decadimento temporale.

Kernel

Il kernel è quella parte del sistema operativo che ha il compito di fornire ai processi in esecuzione un accesso sicuro e controllato all'hardware; il kernel ha anche la responsabilità di schedulare l'accesso alle risorse di sistema a ciascun task (multitasking). Tra i servizi fondamentali vi sono la definizione di protocolli e meccanismi per la comunicazione tra processi e la definizione delle chiamate esposte dal sistema (System API).

4.4 Definizione e sviluppo prototipo

Lo sviluppo completo ed esaustivo di tutte le componenti del sistema operativo fa parte di un processo lungo e laborioso che va oltre lo scopo di questo lavoro di ricerca. Il S.O. è stato idealizzato e progettato nel suo complesso ma sono state

implementate e prototipate solo le funzionalità core necessarie allo studio di fattibilità e applicabilità a casi reali.

In questo paragrafo verranno descritte alcune scelte implementative effettuate per lo sviluppo di un prototipo del Sistema Operativo per edifici.

Tutte le componenti sono sviluppate in ottica IoT secondo un approccio modulare a microservizi.

Microservizi

I microservizi sono servizi autonomi che interagiscono tra di loro e che hanno come finalità quella di risolvere un problema specifico ben definito; sono a tutti gli effetti dei sistemi distribuiti. Ogni microservizio è un'entità separata che viene generalmente pubblicata su una piattaforma PaaS oppure eseguita da un processo di sistema ad hoc. La comunicazione tra i servizi avviene attraverso la rete al fine di garantire l'indipendenza tra i servizi ed evitare ogni forma di accoppiamento.

Ogni microservizio si propone all'esterno come una black-box, infatti espone solo un Application Programming Interface (API), astruendo rispetto al dettaglio di come le funzionalità sono implementate e dallo specifico linguaggio o tecnologia utilizzati. Ciò mira a far sì che il cambiamento di ciascun microservizio non abbia impatto sugli altri.

L'utilizzo dell'architettura a microservizi ha indubbiamente i seguenti vantaggi:

- Velocizzare i tempi di rilascio del software: in generale, nell'architettura a microservizi, ogni singolo servizio è autonomo rispetto agli altri, di conseguenza può raggiungere l'ambiente di produzione in modo indipendente dagli altri, senza che tale attività abbia effetti drammatici sul resto del sistema. Disporre di un processo di deployment snello e veloce consente di poter aggiungere o modificare funzionalità di un sistema software in modo efficace ed efficiente, rispondendo alle necessità di mercato e utenti sempre più esigenti.
- Sperimentare più facilmente nuove tecnologie: molto spesso, la principale barriera per adottare una nuova tecnologia risiede nel rischio associato

all'utilizzo di qualcosa di nuovo e con il quale si ha poca esperienza. Confinando questo rischio ad una piccola porzione di un sistema software, che è possibile riscrivere in poco tempo, il rischio risulta molto contenuto e quindi è una sfida da accettare.

- Migliori performance grazie all'utilizzo di tecnologie ad hoc: l'utilizzo di linguaggi e tecnologie eterogenee consente di poter utilizzare gli stack più performanti per implementare specifiche funzionalità: ad esempio è possibile introdurre una particolare tipologia di base dati che risulta naturale per mappare un determinato dato, oppure eseguire un calcolo in un modo particolarmente efficiente.
- Resilienza: in un'architettura a microservizi, quando una componente non funziona non è automatico che tutto il sistema software smetta di funzionare. In molti casi è possibile isolare il problema ed intervenire mentre il resto del sistema continua a funzionare, cosa non possibile in un'architettura monolitica. Va però sottolineato che l'architettura a microservizi, essendo un insieme di sistemi distribuiti, espone ad una nuova fonte di problemi legati ai disservizi di rete.
- Scalabilità: in generale risulta molto più semplice ed economico scalare un microservizio rispetto ad un sistema software monolitico di grandi dimensioni. Il modello a microservizi consente di poter effettuare provisioning delle parti del sistema software in modo dinamico ed intelligente.
- Facilità di deployment: modificare poche righe di codice su un sistema software monolitico di grandi dimensioni ed effettuare il deploy è generalmente un'attività non banale, che espone a rischi significativi considerando anche l'impatto che tali modifiche possono avere. Questa paura generalmente porta a raccogliere un certo numero di modifiche prima di avviare un'attività così onerosa e rischiosa. Con l'approccio a microservizi ogni singolo servizio può raggiungere l'ambiente di produzione in modo indipendente, sicché se si verifica un problema esso è

facilmente isolato e possono essere intraprese azioni di rollback più velocemente.

- **Componibilità:** tra le opportunità più interessanti dell'architettura a microservizi vi è la possibilità di riusare le funzionalità. Infatti è possibile che uno stesso servizio venga utilizzato in modi differenti e per scopi diversi. Si pensi ad esempio ad un sistema software che deve poter dialogare non solo col mondo web ma anche con applicazioni mobile, dispositivi wearable, etc.
- **Sostituibilità:** quando un sistema software è organizzato a microservizi, il costo di sostituire un servizio con un altro più efficiente e migliore è limitato a tempi di sviluppo contenuti, così come banale è il costo di rimuovere un servizio inutile.

L'interazione tra le varie componenti del sistema avviene sempre secondo un modello client-server. Per le interazioni tra i vari microservizi sono stati utilizzati protocolli standard aperti quali ad es. HTTP per l'interazione di tipo richiesta-risposta in modalità RPC e MQTT per le interazioni di tipo publish-subscribe distribuito.

4.4.1 Metadata & QueryService

Lo strato di definizione metadati basata su ontologia è alla base del sistema operativo in quanto fornisce il servizio di definizione delle entità e della loro catalogazione semantica, delle relazioni di componenti con altri oggetti del sistema e delle proprietà degli elementi del sistema. In altri termini tramite tale strato è possibile definire tutti quei metadati che risultano essenziali al fine di arricchire la definizione degli oggetti utili in particolar modo al servizio di ricerca e identificazione degli stessi.

Tale componente è basata sull'utilizzo di un database a grafo (property graph model) per consentire la definizione delle entità e delle loro relazioni in modo del tutto naturale. La scelta di un database a grafo porta i seguenti vantaggi:

- i dati tipicamente si adattano su una struttura a grafo
- modo intuitivo di pensare ad un problema
- la complessità dei dati è sempre modellabile in un grafo
- relazioni profonde e estese tra insiemi di entità
- visualizzazione dei dati in un'unica maniera
- algoritmi di attraversamento efficaci
- schema estendibile e capacità intrinseca di integrare domini differenti e combinare molteplici dimensioni

La scelta di un modello dati a grafo è fondamentale per consentire efficacia ed efficienza nelle ricerche:

- efficacia: risulta intuitivo per chi conosce il dominio risalire la catena delle relazioni ed estrarre informazione utile; la flessibilità del grafo consente di relazionare liberamente oggetti di domini differenti consentendo di aggiungere informazione che risulti utile a chi deve usufruirne
- efficienza: una base di dati a grafo tramite linguaggi e algoritmi specifici di attraversamento permette di navigare solo le relazioni desiderate per risolvere una query specifica; con i tradizionali database relazionali si dovrebbero effettuare molti join tra tabelle differenti ogni volta che risulti necessario correlare entità differenti (una tabella di fatto determina lo schema di una entità del dominio) e questa porta ad una esplosione computazionale intrattabile in tempo reale

Ogni entità del sistema (sia essa fisica e virtuale) viene rappresentata con un nodo specifico a cui viene associato un id logico univoco e un tipo. E' possibile aggiungere qualunque proprietà nella forma chiave-valore per arricchire l'insieme di metadati che descrivono tale entità. In particolare la possibilità di aggiungere etichette (tag) risulta essere una caratteristica importante nelle fasi di ricerca. Le relazioni esistenti tra le entità sono modellate con archi definiti da una label che sottintende il tipo di relazione che intercorre tra tali nodi.

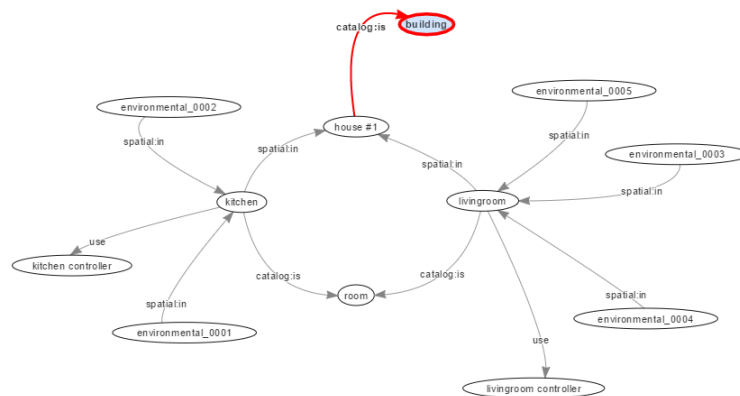


Figura 16: database a grafo per gestione configurazioni e metadati

In tale database viene inserito anche lo schema che descrive le entità e le relazioni tra di esse. Questo consente di produrre algoritmi per il reasoning che siano basati su regole di attraversamento del grafo.

Partendo da questa knowledge-base è possibile definire un linguaggio di ricerca con query logiche di alto livello che permettono di identificare un'entità o un gruppo di entità a partire non solo dall'id univoco assegnato ad una risorsa ma anche attraverso le sue proprietà (e/o tag) o alle relazioni che tali risorse hanno con il resto del sistema: tale funzionalità è alla base della possibilità del riutilizzo delle applicazioni poiché consente di scrivere logiche basate su entità astratte piuttosto che riferite ad entità specifiche. La navigazione delle informazioni presenti in tali database è possibile ad es. grazie ad un linguaggio denominato "Gremlin". "Gremlin" è sia un linguaggio di attraversamento grafi generico che un motore di query che supporta interrogazioni sia di tipo procedurale imperativo che dichiarativo. "Gremlin" sta ai database a grafo come l'accoppiata JDBC + SQL sta ai database relazionali. Essendo del tutto generale tale linguaggio risulta anche di difficile utilizzo. Per tale motivo è stato definito un linguaggio specifico di dominio (DSL: domain specific language) basato su "Gremlin" ma che ne restringe e semplifica le semantiche. A tale scopo è stata definita una grammatica formale per la definizione del linguaggio e un parser che traducesse le query del linguaggio definito in query "gremlin"

```
$[ device('type'=='window') > spatial:in > room('type'=='kitchen') ];
```

```
g.V().hasLabel('device').has('type', 'window').outE('spatial').has('link',  
'in').V().hasLabel('room').has('type', 'kitchen')
```

Tali query logiche risultano essere autoesplicative e sono possibili sulla base di un motore di reasoning capace di interpretare le richieste delle applicazioni o dei processi di sistema per rispondere all'esigenza di recupero delle informazioni basato sulla conoscenza del dominio piuttosto che sulla conoscenza dell'implementazione fisica.

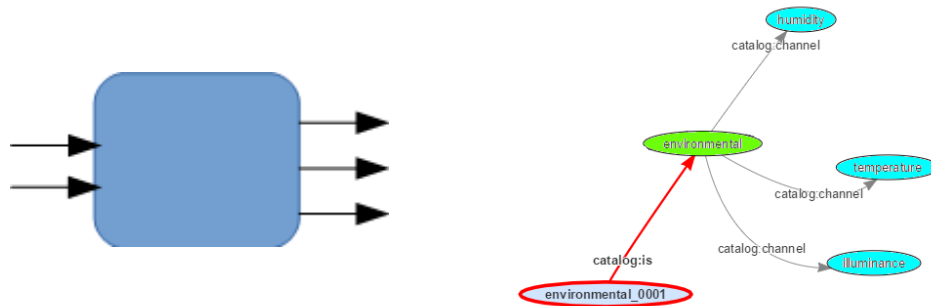
```
$( room('type'=='livingroom') );  
$( room('location'=='nord') );  
$( device('type'=='window') > spatial:in > room('type'=='kitchen') );  
$( roomController < use < room ]
```

4.4.2 HPL

Il sistema deve prevedere l'utilizzo di un ampio numero di sensori, attuatori, link di comunicazione e architetture di controllo. Lo strato di HPL serve per superare il problema dell'eterogeneità dei dispositivi fornendo una modalità d'accesso uniforme a tali risorse e mappandoli attraverso una rappresentazione virtuale del dispositivo fisico sottostante. Lo strato di HPL nasconde la complessità e la diversità delle interfacce dei dispositivi e dei protocolli di comunicazione sottostante presentando le capacità hardware attraverso un protocollo uniforme e auto-descrittivo. Tale strato astrae tutti i dispositivi consentendo di mappare ognuno di essi con una sua rappresentazione virtuale tramite un nodo del sistema e associando ad ognuno di essi altri nodi rappresentanti i canali (o punti) di misura/attuazione.

Tale strato definisce un protocollo per descrivere l'hardware che viene integrato all'interno del sistema e il formato di input/output con cui tutte le periferiche devono comunicare con il sistema operativo. Il descrittore sfruttando le funzionalità del grafo visto come registro di sistema consente di dichiarare l'entità all'interno dello stesso consentendone il discovery. Il dispositivo scambia con il sistema l'id univoco assegnato e il topic su cui effettuare le operazioni di I/O. Nella fase di setup il dispositivo dichiarerà quali sono i canali di input/output supportati, ognuno identificati da una chiave.

Il driver astrae ogni dispositivo (sia esso sensore o attuatore) mappando le capacità di input/output attraverso la dichiarazione di appartenenza ad una certa classe di oggetti. A ogni classe di oggetti sono associati canali di input/output. Un canale è identificato univocamente da una chiave (stringa univoca nel namespace dei canali) e contiene le informazioni necessarie per interpretare i valori espressi su tale canale come ad es. l'unità di misura associata.



Ad es. un sensore della classe “environmental” presenta come canali di output le rilevazioni di “humidity” (in [%]), “temperature” (in [°C]) e “illuminance” (in [lux]), un attuatore della classe “dimmer” presenta canali di input e di output di “percentage” (in [%]) e di “on”.

Ad un canale di output viene associata la funzionalità di lettura dello stato del canale (valori rilevati), mentre ad un canale di input viene associata la possibilità di scrittura su tale canale (tipicamente valori di set point desiderati).

Il driver inoltre assegna un id univoco globale ai dispositivi controllati indispensabile per identificare l'oggetto che genera messaggi e per indirizzare correttamente i comandi (ad es. “sp://environmetal/0001”).

A runtime il driver espone la valorizzazione di tali canali in funzione delle rilevazioni effettuate secondo lo schema dichiarato e tramite un formato standard.

Eventi e Data Model

Il formato degli eventi è standardizzato: include l'id del dispositivo, le informazioni sulle rilevazioni effettuate e anche:

- campo "uuid" (universal unique identifier) che permette di tracciare l'evento in maniera universale
- campo "cuid" (chained unique identifier) che consente di definire la catena eventi referenziando un uuid di un altro evento
- campo "tz" che rappresenta l'istante di generazione dell'evento in formato ISO8601 (con timezone associata)
- campo "cat" utile per associare una categoria al tipo di evento pubblicato

```
{
  "ref": "sp://environmental/0001",
  "tz": "2016-10-22T10:54:59.730+02:00",
  "uuid": "4d1ef45c-1dfe-4206-a1a4-5cb579fc4254",
  "cuid": "5de30805-07a5-403e-981d-c5817cc43d67",
  "cat": "reading",
  "m": [
    {
      "s": "sp://environmental/0001",
      "tz": "2016-10-22T10:54:58.000+02:00",
      "k": "illuminance",
      "v": 800,
      "u": "lx"
    },
    {
      "s": "sp://environmental/0001",
      "tz": "2016-10-22T10:54:58.500+02:00",
      "k": "temperature",
      "v": 25,
      "u": "°C"
    },
    {
      "s": "sp://environmental/0001",
      "tz": "2016-10-22T10:54:56.500+02:00",
      "k": "humidity",
      "v": 80,
      "u": "%"
    }
  ],
  "r": [
    {
      "s": "sp://environmental/0001",
      "d": "sp://router/0001",
      "tz": "2016-10-22T10:54:59.730+02:00",
      "k": "rssi",
      "v": -20,
      "u": "dB"
    }
  ]
}
```

Ad ogni rilevazione sono associata alcune proprietà fondamentali: una chiave (campo "k") che la distingue dalle altre, l'istante della misurazione (campo "tz", in

formato standard ISO8601, contenente quindi anche la timezone di riferimento), il valore (campo “v”) e l’unità di misura (campo “u”)

Sulla base delle entità coinvolte nelle misurazioni, le rilevazioni possono essere di due tipi: locali (elencate nel campo “m”) o relazionali (elencate nel campo “r”):

- locale: coinvolgono esclusivamente un’entità specifica che rappresenta la sorgente di misura (identificata dal campo “s”); ad es. quando si definisce una temperatura è necessario specificare l’entità logica associata che ne definisce il contesto ovvero permette di determinare il punto spaziale in cui il dato è stato rilevato
- relazionali: coinvolgono due entità logiche che rappresentano sorgente e destinazione necessarie per determinare la misura (identificate rispettivamente dal campo “s” e dal campo “d”); ad es. quando si definisce una distanza o una potenza di segnale sono richieste sempre due entità per specificare correttamente il contesto

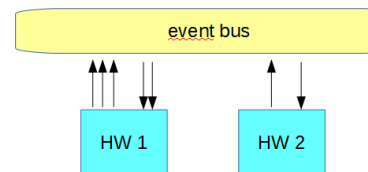
Bus Eventi

Per lo scambio dati con il S.O. è stato scelto di realizzare un bus eventi tramite protocollo MQTT, pensato per la comunicazione M2M (Machine to Machine) e progettato per essere un protocollo di trasporto messaggi estremamente leggero implementabile anche su dispositivi con risorse hardware limitate. MQTT è un protocollo di tipo publish/subscribe che prevede la presenza di una componente centrale (broker) per lo smistamento dei messaggi verso i destinatari. Tale protocollo permette la separazione dei canali comunicativi tramite il concetto di topic e permette ai publishers di scegliere tra livelli di qualità di servizio crescenti al fine di contrattare l’affidabilità della consegna del dato verso i subscribers. Il concetto di topic consente di discriminare e filtrare i flussi dati. In tale maniera è possibile quindi separare e isolare i vari flussi dati secondo le semantiche desiderate.

Sulla base delle possibili esigenze di comunicazione, la struttura generale dei topic è composta da un campo <namespace> per la separazione dati sulla base di esigenze di dominio di primo livello, un campo <flow> per distinguere flussi di input/output, campo <scope> per specificare il tipo di flusso dati da cui dipende il formato dati atteso. Il tipo di flusso dati supportato dipende dalle capacità dell'hardware e/o del driver implementato.

La struttura è quindi la seguente:

```
/<namespace>/<flow>/<scope>/<id>  
/sp/message/snapshot/environmental/0001  
/sp/command/snapshot/environmental/0001
```



Sarà quindi compito del driver associare un'id univoco alla risorsa controllata e descriverlo all'interno del sistema: ogni tecnologia infatti ha il proprio schema di indirizzamento e le proprie peculiarità che vengono nascoste alle altre componenti del sistema rendendo uniformi le modalità di dialogo con i dispositivi.

4.4.3 HAL

Lo strato di astrazione hardware ha il compito cruciale di esporre quei servizi che consentano la portabilità delle applicazioni mascherando l'eterogeneità dei sistemi sottostanti attraverso astrazioni uniformi di alto livello.

HAL: sensori virtuali

Grazie alla descrizione semantica e strutturale e con il supporto del servizio di query e del servizio di recupero dati, un processo virtualizzatore è in grado di erogare le seguenti funzionalità:

- filtraggio dei dati basato su modelli che integrino condizioni sul dominio: dato fuori del dominio di appartenenza (es. la pressione non può essere

negativa), dato variato troppo velocemente (rappresenta un errore di misurazione)

- mantenimento dello stato: lo stato viene bufferizzato e reso costantemente disponibile al processo richiedente
- continuità temporale del dato: la misurazione sorgente (accettata come deterministica) viene correlata con valori di varianza e probabilità dipendenti da funzioni che modellano il decadimento temporale del dato e il processo stocastico sottostante; il dato viene trasformato a tutti gli effetti in una variabile stocastica.
- integrazione dati: basato sulla configurazione del dominio e tramite opportuni funzioni di libreria consente la definizione di nuovi canali tramite meccanismi di composizione.

I dati prodotti dai processi di virtualizzazione sono quindi intrinsecamente stocastici e sono resi disponibili alle applicazioni tramite canali apposti su un bus di sistema.

Ogni blocco computazionale sviluppato viene visto come una black-box che definisce i propri canali di ingresso e di uscita. Tale definizione consente al sistema di selezionare automaticamente i dati con cui interrogare i sensori virtuali sulla base della configurazione di runtime.

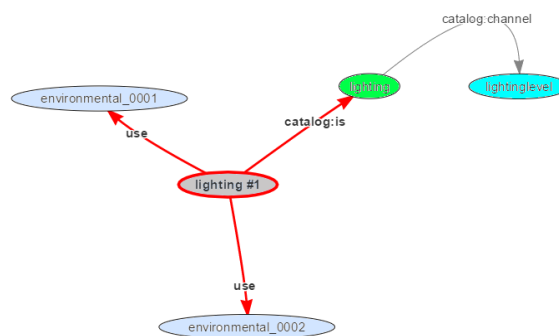


Figura 17: definizione istanze

Tali blocchi vengono eseguiti all'interno di un server web che espone le funzionalità attraverso chiamate REST e con un formato dati uniforme e

standardizzato all'interno del sistema operativo. In questa maniera i blocchi operativi possono essere dislocati liberamente e interrogabili in modalità RPC da qualunque altra componente di sistema.

Processi recognizer (o sensori funzionali)

Seguendo lo stesso approccio delle altre componenti, il motore computazionale deve essere integrato all'interno di un server web secondo il paradigma REST. Ogni rete sviluppata viene vista come un blocco funzionale (black-box) dotato di canali di ingresso e di uscita. Il framework si occupa di dichiarare le interfacce di I/O all'interno del sistema rendendo trasparente l'utilizzo di tale funzionalità alle altre componenti.

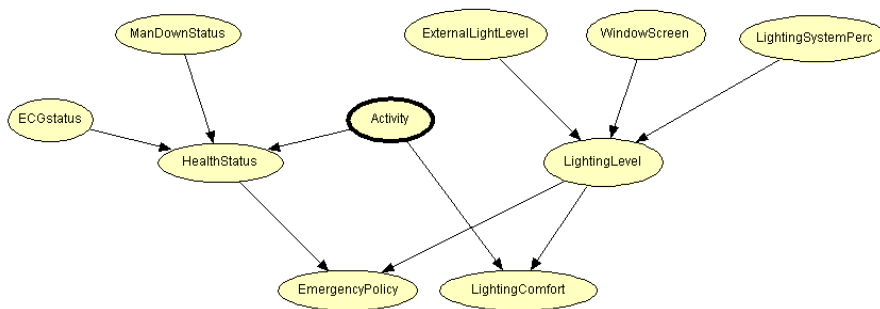


Figura 18: rete bayesiana casi d'uso

Ogni nodo di input/output della rete bayesiana viene dichiarato all'interno del sistema come qualunque altro canale di misura/attuazione.

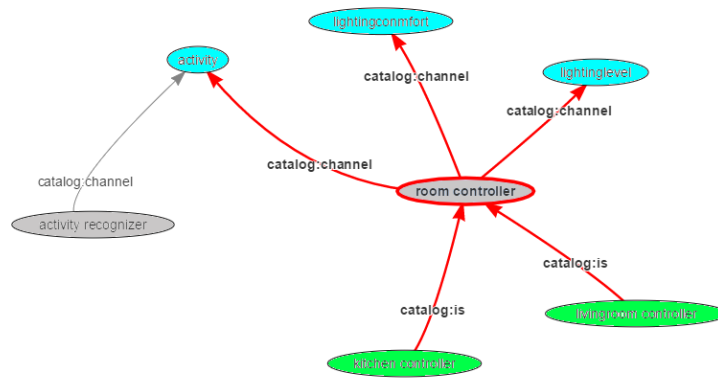


Figura 19: definizione schema rete

Agli strati applicativi viene quindi mascherata la tecnologia utilizzata e le complessità interna delle reti.

4.4.4 DataService

Molti sensori e dispositivi embedded non hanno la capacità di immagazzinare grandi quantità di dati storici e in casi estremi sono addirittura stateless ovvero non hanno la capacità di memorizzare l'ultimo stato disponibile. I processi di sistema e le applicazioni tipicamente necessitano di accedere ai dati realizzando query su range temporale molto vasto (ad. es. per determinare trend) o per recuperare lo stato attuale di un determinato flusso dati.

Sono state implementate soluzioni di storage e recupero dati che fanno uso di tecnologie BigData basati su database NoSQL per la storicizzazione di grandi quantità di dati. In particolare è stato utilizzato Apache HBase, database distribuito, non relazionale e open source che consente la storicizzazione e il recupero di grandi moli di dati in real-time. HBase è basato su un paradigma di storage di tipo column oriented che risulta vantaggioso nei casi in cui risulti necessario storicizzare record simili tra loro.

La modellazione degli eventi vista in precedenza come raccolta di misurazioni locali e relazionali consente di memorizzare le informazioni in maniera uniforme.

4.4.5 Kernel

Il kernel è il nucleo del sistema operativo e si interpone tra le applicazioni e i servizi offerti. Il ruolo principale del kernel è quello di gestire le richieste derivanti dalle applicazioni per schedularne l'esecuzione e controllare l'accesso alle risorse sulla base della disponibilità delle stesse.

In questo primo prototipo sono state implementate solo le funzionalità basilari di scheduling e task management su base prioritaria dei task delle varie applicazioni. Sono stati integrati meccanismi per l'IPC (Inter Process Communication) attraverso un service bus composto da un message broker con gestione delle code di messaggi. Infine è stato previsto un gestore delle transazioni per permettere il ripristino di situazioni precedenti (rollback) in caso di fallimenti.

4.4.6 System API & Service Bus

Le funzionalità disponibili sono esposte alle applicazioni attraverso chiamate uniformi con protocolli standard (es. HTTP) e la comunicazione tra i vari processi è possibile grazie a un service bus. Lo stream eventi è accessibile tramite protocollo WebSocket mentre tutte le chiamate di tipo RPC sono implementate seguendo il paradigma RESTful, ad es:

```
GET /data/last/<measure>/<thing>/<id>?t0=<t0>
GET /data/range/<measure>/<thing>/<id>/<t0>/<t1>
POST /data/last/<measure>/<thing>/<id>
GET /status/last/<measure>/<thing>/<id>?t0=<t0>
POST /status/last/<measure>/<thing>/<id>
```


5 Caso di studio: progetto PASS

5.1 Visione d'insieme

In questo capitolo viene presentato il progetto PASS nel quale è stato sperimentato il primo prototipo del sistema operativo precedentemente descritto e valutate le funzionalità di riconoscimento scenari attraverso l'utilizzo di reti bayesiane su casi d'uso reali.

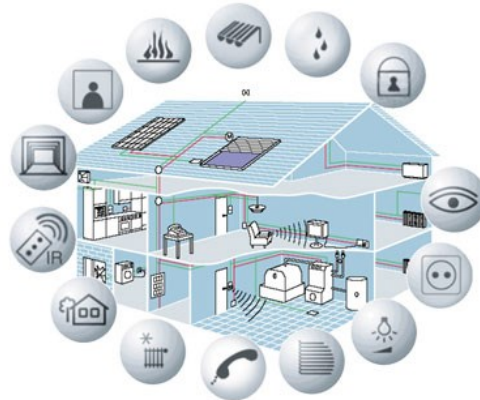
Il progetto PASS (Private Assisted House) (<http://www.projectpass.eu/>) nasce dall'esigenza di creare nuove tecnologie in grado di permettere alle persone anziane e/o affette da disabilità di continuare a vivere all'interno delle proprie abitazioni, in maniera da garantire ai diversi soggetti la possibilità di svolgere le proprie abituali attività, fruendo di servizi innovativi. L'obiettivo principale del progetto PASS è lo studio, la realizzazione, e la validazione sperimentale di tecnologie e servizi residenziali per migliorare la qualità della vita di disabili in età evolutiva, adulti e anziani e dei loro familiari.

Tale progetto, coordinato dall'istituto di riabilitazione S. Stefano di Porto Potenza Picena, è stato finanziato in parte dalla Regione Marche e ha coinvolto diversi partner del territorio marchigiano nello studio e nella realizzazione degli oggetti e delle funzionalità innovative utili alla creazione di ambienti intelligenti.



Il progetto mira alla realizzazione di soluzioni tecnologiche avanzate che ridisegnino e reinventino l'ambiente domestico creando una casa attiva in cui il

paziente viene stimolato, supportato, facilitato, reso maggiormente autonomo, sicuro ed incluso grazie a tecnologie attive, integrate tra loro ed immerse nell'ambiente. La tecnologia deve essere in grado di garantire un certo livello di personalizzazione poiché i profili possono essere diversi da persona a persona e possono cambiare nel tempo.



Le richieste di personalizzazione, adattabilità e estensibilità hanno spinto alla realizzazione di una piattaforma di integrazione software attraverso la quale fornire un' infrastruttura virtuale in cui integrare funzionalità avanzate di monitoraggio e strumenti di analisi. Tale piattaforma è definita attorno ad una serie di dispositivi denominati smart-objects gestiti da una centralina locale che comunica con un sistema remoto che fornisce intelligenza alla casa necessaria per realizzare specifici compiti.

I casi di studio presentati in questa tesi sono stati sperimentati su tale progetto per il quale sono state effettuate le seguenti attività:

- Individuazione e sviluppo della soluzione sensoristica atta a soddisfare le esigenze di progetto
- Implementazione e configurazione del prototipo del sistema operativo precedentemente descritto
- verifica del corretto riconoscimento delle attività attraverso la modellazione presentata e utilizzo dell'informazione prodotta in applicazioni di test

- sviluppo di applicazioni portabili per il monitoraggio delle attività e gestione automatica degli ambienti secondo specifiche definite dai vari casi d'uso

Il modello concettuale della casa intelligente proposta nel progetto Pass è caratterizzato da una struttura multilivello con un forte disaccoppiamento nel processamento dati, sia nell'implementazione delle funzionalità di base direttamente disponibili all'interno della casa che nell'implementazione delle caratteristiche avanzate attraverso metodologie e tecnologie che sono dislocate in Internet Data Center secondo l'approccio Cloud Computing [Corradini F. et al.].

Il diagramma di dislocazione delle componenti della piattaforma realizzata è riportato in figura.

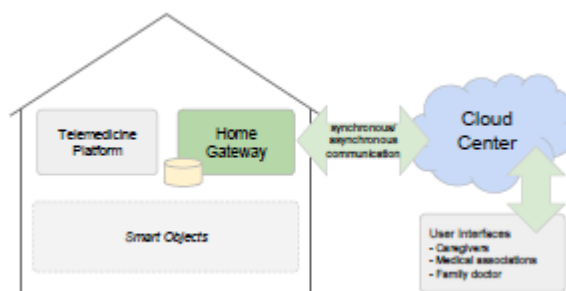


Figura 20: diagramma dislocazione componenti casa PASS

L'architettura software è composta dalle seguenti componenti funzionali:

- Smart Objects: dispositivi integrati all'interno degli ambienti della casa in grado di descrivere la propria interazione con il mondo fisico circostante.
- Home Gateway: implementa le logiche di business per la gestione locale della casa. Utilizza i dati provenienti dagli smart objects e da altre entità come ad es. la piattaforma di telemedicina e il cloud center
- Cloud Center: implementa un più alto livello di processamento che coinvolge i dati provenienti dalla casa. Il modello prevede l'esistenza di canali di comunicazione tra il gateway e il CC con caratteristiche di sicurezza, alta affidabilità e confidenzialità dei dati scambiati.

5.2 Sviluppo della soluzione sensoristica

La prima attività necessaria è orientata all'identificazione, studio, sviluppo e implementazione di smart-object (oggetti capaci di comunicare fra loro e con l'ambiente circostante coordinando l'esecuzione di attività complesse) in grado di soddisfare le esigenze di prevenzione e ausilio degli utenti con:

- bisogno di assistenza socio-sanitaria per le attività della vita quotidiana, in collegamento con i servizi sociali e le associazioni territoriali;
- bisogno di cure riabilitative di mantenimento delle condizioni attuali, di contenimento del decadimento funzionale e di stimolazione alla partecipazione attiva;
- bisogno di assistenza medica, di routine (periodica / saltuaria) che potrebbe aumentare in considerazione dell'invecchiamento e delle condizioni di disabilità.

Smart-objects inseriti nella casa

Sulla base delle esigenze di monitoraggio e controllo di un ambiente rivolto all'AAL sono stati sviluppati e ottimizzati una serie di smart-objects che sono stati messi a punto e proposti dai partner del progetto.

Tra le varie soluzioni introdotte, nei paragrafi seguenti viene focalizzata l'attenzione soltanto su alcune di esse:

1. Sistema innovativo di porte per interni
2. Finestra a schermo liquido
3. Sensori e attuatori SmartNetwork
 - Sensori di presenza e di movimento
 - Sistema per regolazione della luce
 - Sensori di luminosità
 - Sistema per la regolazione della temperatura
 - Sensori per il monitoraggio ambientale
4. Sensore indossabile per monitoraggio dei parametri vitali

5. Poltrona con sensori per monitoraggio dei parametri vitali

Le funzionalità, le applicazioni, l'architettura, i vantaggi/benefici vengono riportati di seguito.

1. Sistema innovativo di porte per interni

Il primo smart object considerato è un sistema innovativo di porte per interni. Tale sistema permette di avere una porta per interni in grado di aprirsi in entrambi i versi. I sensori di presenza sono installati su entrambi i lati della porta e consentono di rilevare l'eventuale presenza di ostacoli all'interno dell'area di movimentazione dell'anta. Grazie a questa tecnologia la porta potrà essere aperta nel verso più consono ai singoli contesti. Supponiamo, ad esempio, che una persona venga improvvisamente colpita da malore e che quest'ultima cada di fronte alla porta: grazie alla sensoristica installata i soccorritori sarebbero in grado di aprire l'anta e di raggiungere il malato senza particolari difficoltà.

La porta, uguale in tutto e per tutto alle tradizionali porte per interni, si apre sempre nella direzione del passaggio della persona, favorendo la massima accessibilità dell'abitazione. La struttura e le caratteristiche architettoniche sono identiche a quelle delle più comuni porte che esistono attualmente in commercio in modo tale da rendere omogeneo l'ambiente anche in caso di installazione di porte sostitutive in ambienti già esistenti. La porta per interni può essere utilizzata sia in abitazioni private sia in locali ad uso sanitario e locali pubblici.

Per questo oggetto sono state previste due differenti versioni che si differenziano l'una dall'altra in base alla tipologia di azionamento: automatico o manuale. Per quanto riguarda la versione con azionamento automatico il motore, grazie al quale avviene l'apertura dell'anta, può essere posizionato in tre differenti posizioni:

- All'interno dell'anta (prevedendo un ringrosso in corrispondenza dei cardini);
- Sopra all'anta;

- Lateralmente all'anta.

La versione automatizzata dell'oggetto permette di conoscere precisamente la direzione in cui la porta è stata aperta e dopo aver fatto passare la persona consente di individuare anche dove si trova il soggetto.

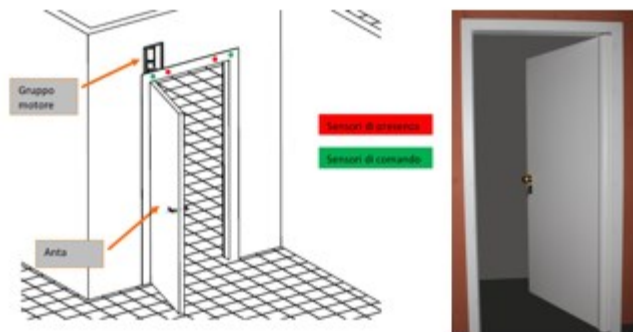


Figura 21: sistema innovativo di porta per interni

Tramite il sistema innovativo di porte per interni si hanno i seguenti vantaggi:

- accessibilità: la porta può essere aperta manualmente o mediante comando automatico e consente la libera percorrenza del passaggio anche a persone con ridotta mobilità;
- costi di installazione contenuti: il vantaggio principale di questo sistema innovativo è il fatto di consentire l'installazione della nuova porta esattamente nel vano esistente, senza necessità di opere murarie consistenti;
- estetica: nel caso di sostituzione di porte esistenti, la nuova porta risulterà in tutto e per tutto identica a quella esistente, sia nella modalità di azionamento, sia nell'estetica.

2. Finestra a schermo liquido

Si tratta di un sistema comprendente una vetrata attiva che consente la regolazione delle prestazioni energetiche delle partizioni vetrate attraverso l'impiego di un liquido schermante. La vetrata presenta un sistema di schermatura

attiva per stratificazione vetrata tramite l'utilizzo di un liquido schermante con caratteristiche tali da garantire la completa reversibilità e la preservazione della trasparenza di detta stratificazione vetrata sia nello stato ad elevata trasmittanza solare (schermatura non attiva) che in quello a bassa trasmittanza (con schermatura attiva).

Il suddetto sistema tecnologico è in grado di gestire la schermatura liquida in modo che essa non venga percepita come un fluido inserito nell'intercapedine (che perciò ne comprometterebbe la qualità della trasparenza), ma come una semplice colorazione uniformemente conferita alla detta stratificazione. Anche il passaggio dallo stato di schermatura attiva deve essere percepito come una cortina colorata che avanza con un fronte compatto dal basso verso l'alto e poi dall'alto verso il basso, quando riassume la configurazione disattivata.

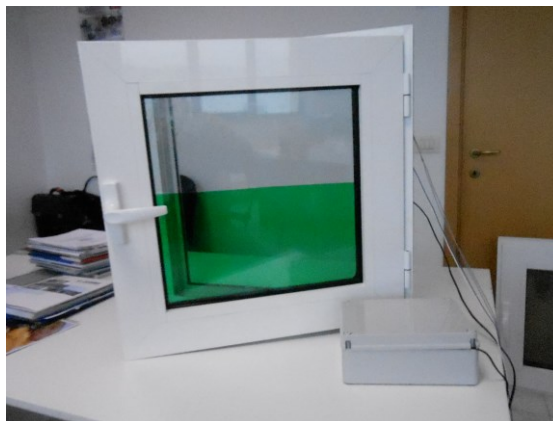


Figura 22: finestra a schermo liquido

Lo scopo principale di questo sistema è quello di abbattere drasticamente l'apporto energetico della radiazione solare nello stato attivo ed apportare quindi elevati benefici termici. Il sistema di schermatura liquida attiva può essere azionato o meno in funzione delle condizioni ambientali: in generale il sistema rimarrà prevalentemente inattivo durante l'inverno in modo da consentire il massimo apporto di radiazione solare, mentre verrà frequentemente azionato in estate al fine di limitare il surriscaldamento dell'ambiente interno.

Nel settore edilizio la finestra trova la sua naturale applicazione ma può essere impiegata anche in altri settori: essa è infatti annoverabile tra quei prodotti e

componenti per facciate vetrate, sia fissi che apribili, aventi come fine quello di ottimizzare il comportamento energetico globale degli edifici.

L'alimentazione del circuito chiuso può essere fornita sia da piccole celle fotovoltaiche poste sull'infisso, ad alimentare una batteria ricaricabile, sia da un collegamento alla rete elettrica dell'edificio. Il dispositivo è dotato di due dispositivi di livello (rispettivamente alto e basso livello). Per tali dispositivi di controllo sono state sfruttate due tecnologie. In particolare si è utilizzato:

- Un sensore di livello resistivo: ossia un sensore che avverte il raggiungimento di un determinato livello quando si verifica un cambio di conducibilità del mezzo che lo attraversa (ad esempio nel passaggio fluido-aria e viceversa)
- un sensore di livello foto-sensibile: ossia un sensore che avverte il livello a causa del diverso colore del fluido che lo attraversa (ad esempio nel passaggio fluido-aria e viceversa).

Una scheda di automazione controlla il movimento del fluido della finestra. Attraverso l'iterazione con i sensori ambientale e di presenza posti nell'ambiente in cui viene installata la finestra e dei sensori di livello posti sulla finestra è possibile controllare lo stato di schermatura della finestra stessa al variare delle condizioni presenti.

La finestra a schermo liquido presenta molteplici vantaggi e tra questi troviamo:

- **Trasparenza:** Il vantaggio principale che scaturisce dalla stratificazione vetrata e dal sistema di schermatura ad esso connesso è quello di ottenere un'azione schermante che non porta interferenze con la funzionalità principale della vetrata, ossia garantire la visibilità attraverso il vetro. La funzionalità principale è garantita dalla trasparenza del vetro stesso che mantiene questa sua caratteristica sia durante lo stato attivo che disattivo della schermatura, essendo il liquido di per sé trasparente e potendo sceglierne la colorazione.

- **Integrabilità:** I componenti scelti per la costituzione del sistema, facilmente inseribili anche in spazi angusti, favoriscono l'integrabilità con gli infissi. Questi ultimi sono disponibili sul mercato. E' utile sottolineare che i componenti scelti non richiedono particolari infissi, ma ciò che risulta importante è la messa in atto di accorgimenti durante la fase produttiva. I componenti dimostrano piena compatibilità con le attuali tecnologie serramentistiche.
- **Risparmio energetico:** altri benefici si possono rilevare grazie al risparmio energetico. Quest'ultimo è misurabile in funzione della trasmittanza termica del vetro, ossia quella grandezza fisica che misura la quantità di calore scambiato da un materiale o un corpo per unità di superficie e unità di temperatura e definisce la capacità isolante di un elemento. Grazie ad un confronto tra i valori della trasmittanza della vetrata con triplo vetro e schermatura liquida con quelli ottenuti da altre tipologie di vetratura (vetro float, doppio vetro, triplo vetro senza liquido) si nota che la vetrata a schermatura liquida ottiene valori più bassi in assoluto. In altre parole il flusso di calore medio che passa, per metro quadrato di superficie, attraverso una vetrata a schermatura liquida da due ambienti a temperatura diversa (ad esempio un ambiente non riscaldato o riscaldato all'esterno) è molto più basso. Il principale obiettivo del risparmio energetico è quello di diminuire la dispersione del calore e con l'inserimento di una finestra a schermatura liquida tale obiettivo è raggiunto pienamente poiché attraverso l'uso di questa vetrata si riduce enormemente la dispersione di calore da parte dell'involucro edilizio.

3. Sensori e attuatori SmartNetwork

Un sistema di monitoraggio domestico e della persona richiede la misurazione di una serie di parametri che devono essere rilevati in maniera capillare nell'ambiente. Tra i requisiti principali è doveroso tenere in considerazione i seguenti:

- low cost: le soluzioni devono essere a basso costo e non devono richiedere un'infrastruttura troppo complessa per poter funzionare. Il basso costo è determinato sia dalla scelta di sensori minimali (tipicamente in grado di generare solamente informazione binaria) sia dalla scelta della disposizione dei sensori nello spazio abitativo in modo da garantire una raccolta dati significativa per il riconoscimento delle attività
- non intrusività: il sistema non deve essere percepito come qualcosa di estraneo e non deve modificare l'ambiente abitativo in cui viene installato
- invisibilità: il sistema dovrebbe essere perfettamente integrato con l'ambiente in modo da non essere percepito: la sensoristica da adottare deve essere miniaturizzata e mimetizzata negli oggetti di uso comune
- flessibilità: il sistema deve poter essere utilizzato senza sostanziali modifiche in qualsiasi tipo di ambiente e dovrebbe potersi adattare e apprendere dal soggetto

I requisiti precedenti hanno portato allo sviluppo di una rete mesh di sensori wireless denominata SmartNetwork. Tale rete si compone di sensori miniaturizzati, a bassissimo consumo (autoalimentati a batteria, con tempo di funzionamento previsto di alcuni anni) e wireless. Grazie alle loro caratteristiche tali sensori non necessitano nè di un collegamento alla rete elettrica nè di cablaggio e possono essere integrati facilmente negli oggetti di uso comune, consentendo un monitoraggio indiretto senza telecamere o sensori indossabili.



Figura 23: sesnsori SmartNetwork

L'utilizzo di tale tecnologia presenta quindi i seguenti vantaggi:

- Non intrusività: I sensori miniaturizzati garantiscono al sistema di essere praticamente invisibile e questa caratteristica permette al soggetto di accettare l'installazione dei sensori nella propria abitazione.
- Costi d'installazione contenuti: sensori wireless consentono di evitare i cablaggi e questo determina una diminuzione cospicua dei costi d'installazione che può essere garantita anche per edifici esistenti e senza limiti spaziali.
- Autonomia: la ricerca e il successivo sviluppo della tecnologia esclusiva sviluppata permette di ridurre i consumi degli apparati radio (più di 1000 volte rispetto ai dispositivi esistenti, a parità di prestazioni in termini di banda dati e portata) e la tecnologia permette di utilizzare dispositivi alimentati a pile con autonomie fino a 15 anni.

La rete viene realizzata attraverso il posizionamento di router per garantire la copertura radio per la comunicazione con i sensori e il gateway.



Figura 24: dispositivi di rete SmartNetwork

I dispositivi che compongono la SmartNetwork sono molteplici: sensore presenza, prossimità, contatto, pressione, movimento, temperatura e umidità, luminosità, termometro a infrarossi, accelerometri e amperometri; attuatori per accensione/spegnimento di apparati, per la regolazione di temperatura e dimmeraggio luce nei vari locali.

4. Sensore indossabile per monitoraggio dei parametri vitali

Il BioHarness (BH3) è un sensore indossabile multi-parametrico capace di misurare contemporaneamente: frequenza cardiaca, ECG, frequenza respiratoria,

temperatura corporea, accelerazione e postura. Il dispositivo può essere posizionato sulla persona per l'acquisizione delle misurazioni in diverse modalità a seconda delle esigenze e della tipologia di utente cui ci stiamo rivolgendo.

La figura sottostante rappresenta il device unito al BioPatch. Il BioPatch altro non è che un supporto in plastica con un alloggiamento per il dispositivo e gli attacchi per due elettrodi ECG standard.



Figura 25: sensore indossabile per misurazione parametri vitali

La caratteristica principale del device è quella di mettere a disposizione, contemporaneamente ed in modo non invasivo, un set di parametri che consentono di monitorare, quotidianamente o in base alle necessità, lo stato di salute e la qualità della vita di una persona. Tale potenzialità è molto importante quando si prendono in considerazione soggetti che possono avere delle patologie cliniche (cardiache e non) degenerative e necessitano di essere sostenuti nelle loro attività quotidiane e soprattutto necessitano di una precoce diagnosi qualora le funzionalità fisiche e motorie venissero gradualmente a mancare.

È progettato per il monitoraggio continuo pur essendo leggero e wireless in modo da garantire libertà di movimento. Ha un ampio range di trasmissione per garantire possibilità di spostarsi all'interno di un ambiente come la propria abitazione ed ha una batteria di lunga durata. BHM1 ha al suo interno un modulo bluetooth per la trasmissione dati.

Il vantaggio principale dell'uso del sistema è la possibilità di avere a disposizione molti parametri vitali contemporaneamente e costantemente.

5. Poltrona con sensori per monitoraggio dei parametri vitali

Il settore dell'arredo si sta progressivamente evolvendo attraverso l'introduzione di materiali innovativi e di componenti progettati in funzione di studi avanzati di ergonomia e in funzione di una connessione e sofisticata informatizzazione di potenziali ausili. Allo scopo è stata sviluppata una poltrona in cui sono integrati i seguenti dispositivi:

- Misuratore di peso corporeo (bilancia sotto la seduta);
- Misuratore di pressione arteriosa
- BioHarness (misurazione frequenza cardiaca e respiratoria, ECG, temperatura corporea e postura)
- Saturimetro
- Misuratore di glicemia

Nella poltrona viene inserito un dispositivo elettronico che rileva il peso e la pressione arteriosa, con invio dei dati tramite interfaccia Bluetooth. La cella di carico che rileva il peso viene posta sotto la poltrona, in modo da poter rilevare il peso della persona tramite sottrazione della tara consistente nella poltrona stessa.

La pressione viene misurata tramite una fascia speciale che avvolge il braccio come una ganascia, per evitare di doverlo infilare in una fascia circolare, come si farebbe normalmente. La chiusura, l'insufflazione d'aria e la misurazione non richiedono l'intervento di personale specifico.



Figura 26: poltrona per misurazione parametri vitali

Tra i vantaggi dell'utilizzo della poltrona è utile ricordare i seguenti:

- Usabilità. Questo smart object ha il principale vantaggio di consentire il monitoraggio di parametri fisiologici utili per tenere sotto controllo lo stato di salute della persona, senza necessità di intervento di personale specifico e stando comodamente seduti a casa propria.
- Accessibilità: è il prerequisito richiesto per l'uso "basico del prodotto" da parte di persone anziane o con disabilità

5.3 Implementazione e integrazione nel S.O.

Metadata

Tutte le componenti specifiche degli ambienti e le relazioni tra di esse sono state catalogate all'interno del sistema al fine di configurare correttamente il sistema. Seguendo gli stessi approcci dettati dal BIM, ad ogni tipologia di dispositivi è stata associata una classe di appartenenza, ricollegabile facilmente alle tipologie previste dagli standard BIM. Oltre alla catalogazione semantica risulta utile definire le relazioni funzionali e spaziali tra gli oggetti del sistema.

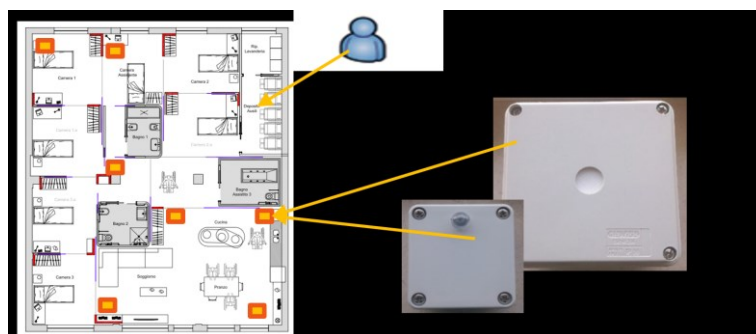


Figura 27: configurazione spaziale

Tale configurazione è possibile anche grazie ad una interfaccia grafica sviluppata appositamente per permettere di modificare e verificare visualmente le entità e le loro interrelazioni.

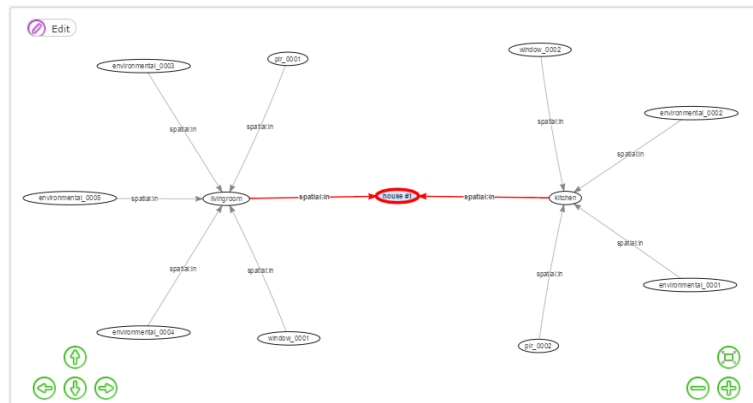


Figura 28: gestione configurazione casa PAss

HPL e HAL (virtualizzazione delle componenti)

Come visto in precedenza, per consentire la separazione e il disaccoppiamento tra hardware, sistema operativo e applicazioni è necessario astrarre i dispositivi virtualizzandoli. Sono stati quindi implementate le componenti utili alla realizzazione del caso d'uso.

Driver (HPL)

Per ogni dispositivo o impianto coinvolto nel progetto sono stati implementati i driver per l'interfacciamento con il sistema. Per l'integrazione di ogni tecnologia di terze parti utilizzata è stato necessario sviluppare un driver specifico. Il driver oltre a rendere uniforme l'accesso ai dispositivi fornisce anche quei servizi necessari al corretto funzionamento del sistema. L'utilizzo di driver consente inoltre di superare una serie di limiti hw introducendo la possibilità di effettuare ad es. il discovery delle componenti, il mantenimento e recupero dell'ultimo stato e l'arricchimento della descrizione delle entità coinvolte con l'aggiunta di metadati.

L'utilizzo di driver consente di avere una uniformità di rappresentazione del concetto di dispositivo e uniformità nelle operazioni di input/output.

Ad es. le reti SmartNetwork utilizzate nel progetto veicolano le informazioni attraverso trasmissione a radiofrequenza (banda 868 MHz ISM Lo.Ra.) con protocollo binario proprietario ottimizzato per trasmissioni a pacchetto in modalità asincrona. Vi sono almeno tre classi di dispositivi all'interno della rete:

- Coordinatori: dispositivi accentratori sempre alimentati che hanno il compito di coordinare la rete
- Router: dispositivi per l'instradamento del traffico di rete
- EndDevice: dispositivi (sensori o attuatori) che effettivamente raccolgono informazioni e/o ricevono comandi per applicare azioni di controllo
- SlaveDevice: dispositivi che comunicano con gli EndDevice (attraverso tecnologie di trasmissione dati a corto raggio) per estenderne le funzionalità

Ogni classe di dispositivi ha specifiche funzionalità e ha un proprio schema di indirizzamento. Ad ogni dispositivo è associato un indirizzo di rete univoco all'interno del proprio schema di indirizzamento.

Il driver ha il compito di trattare i dati in arrivo dai sensori (trasmessi dalla rete mesh e impacchettati dal coordinatore) e tradurli nel formato uniforme stabilito dall'HPL. Inoltre ogni dispositivo viene catalogato automaticamente all'interno del sistema grazie alle informazioni che consentono di associare ad ogni oggetto la rispettiva classe di appartenenza. Grazie a questa operazione il driver mappa le funzionalità specifiche del dispositivo in funzionalità astratte.

```
535353010000000000000000100050100140000000100000000000100FFFF100600030000000005

{
  "t": 1485615482613,
  "tz": "2017-01-28T15:58:02.613+01:00",
  "uuid": "b374eddd-8f95-4c75-947c-ccd1cc2ad239",
  "address": "jz://edv#0001-0000000000000001",
  "ref": "jzp://edv#0001.0000",
  "type": "pir"
  "m": [
    {
      "k": "presence",
      "t": 1485615482613,
      "tz": "2017-01-28T15:58:02.613+01:00",
      "v": 1,
      "u": ""
    }
  ]
}
```



```

    ],
    "r": [
      {
        "k": "coordinator",
        "d": "jzp://coo#0000000000000001.0000",
        "c": "coordinator",
        "t": 1485615482613,
        "tz": "2017-01-28T15:58:02.613+01:00"
      },
      {
        "k": "rssi",
        "d": "jzp://rtr#0001.0000",
        "c": "nexthop",
        "t": 1485615482613,
        "tz": "2017-01-28T15:58:02.613+01:00",
        "v": -120,
        "u": "dB"
      }
    ]
  }
}

```

Processi virtualizzatori (o sensori virtuali)

Per il caso d'uso previsto sono stati sviluppati una serie di sensori virtuali. Ogni misurazione proveniente dalla sensoristica deve essere trattata secondo modelli matematici specifici che dipendono dalla grandezza misurata (modello dipendente dal processo fisico associato) per filtrare tutti quei dati che risultano ad es. fuori dominio o incoerenti rispetto ad un trend individuato. Dal punto di vista del sistema ogni sensore virtuale viene visto come una black-box di trasformazione dati che riceve in input (tipicamente) dati grezzi (misure dal campo) e produce in output dati computati (nuove misure) con associati degli indicatori sulla "bontà" dello stato misurato: ad ogni misura viene associato una varianza e una probabilità che esprime una misura di confidenza sul dato ricevuto.

Dal punto di vista dell'architettura ogni sensore virtuale può essere visto come un plugin che viene agganciato al sistema in modalità standard tramite una semplice dichiarazione sul catalogo delle istanze e dialoga con il sistema attraverso chiamate HTTP. Il formato di interscambio è uniforme e predefinito: questo consente di modificare in maniera trasparente il comportamento e i parametri del modello senza avere impatto sulle interazioni con le altre componenti.

Request	Response
<pre> { "request": { "t": 1485360775978, "m": [{ "t": 1485360775978, "s": "jzp://presence/0001", "k": "presence", "v": 1, }, { "t": 1485360775978, "s": "jzp://presence/0002", "k": "presence", "v": 0, }] }, "type": "presence", "k": "presence", "ref": "jzv://presence/0001" } </pre>	<pre> { "response": { "t": 1485360775978, "m": [{ "t": 1485360775978, "s": "jzv://presence/0001", "k": "presence", "v": 1, "p": 0.8 }], "type": "presence", "k": "presence", "ref": "jzv://presence/0001" } } </pre>

I sensori virtuali sono stati realizzati mediante l'utilizzo del software di modellazione visuale LabVIEW. LabVIEW (abbreviazione di Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) è l'ambiente di sviluppo integrato per il linguaggio di programmazione visuale di National Instruments.

La definizione di strutture dati ed algoritmi infatti avviene con icone e altri oggetti grafici, ognuno dei quali incapsula funzioni diverse, uniti da linee di collegamento (wire), in modo da formare di fatto diagramma di flusso. Tale linguaggio viene definito dataflow (flusso di dati) in quanto la sequenza di esecuzione è definita e rappresentata dal flusso dei dati stessi attraverso i fili monodirezionali che collegano i blocchi funzionali. Poiché i dati possono anche scorrere in parallelo attraverso blocchi e fili non consecutivi, il linguaggio realizza spontaneamente il multithreading senza bisogno di esplicita gestione da parte del programmatore.

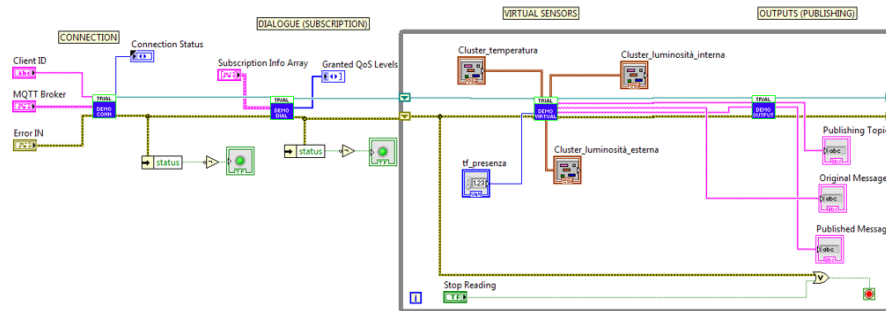


Figura 29: schema a blocchi LabView

I vantaggi di questo programma sono la semplicità di programmazione, la semplicità di utilizzo e la velocità di realizzazione del software.

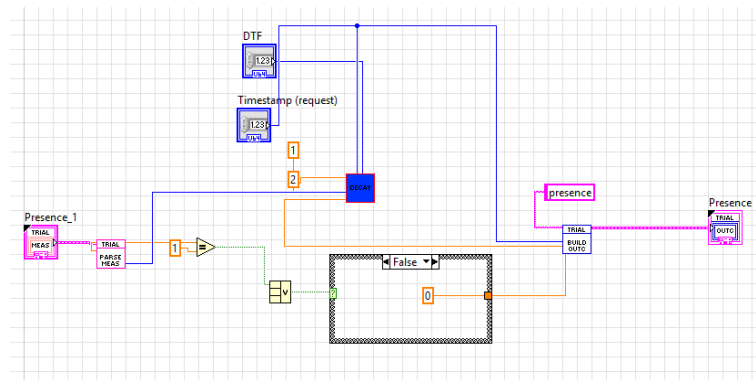


Figura 30: es. modello per il trattamento dato di presenza

Nella figura precedente viene mostrato un caso di filtraggio e integrazione dati effettuato dal sensore virtuale “presence” che determina il valore di presenza in una stanza in funzione dei dati di input. In base alla configurazione il sistema automaticamente seleziona i dati di input con cui interrogare il sensore virtuale. Per ogni punto di misura, i dati contengono oltre al valore e all’istante della rilevazione anche il riferimento all’oggetto che ha effettuato tale misurazione. Grazie a queste informazioni il sensore virtuale è in grado di recuperare le informazioni spaziali ed applicare il modello di computazione della presenza in tale ambiente: il valore di presenza (“v”: 1) viene calcolato semplicemente in logica booleana AND tra i valori di input. La probabilità di presenza viene fatta decadere temporalmente sulla base dei parametri di refresh dell’informazione dei singoli sensori. Il decadimento della probabilità verso valori che di incertezza (“p” : 0.5) in questo caso è basato su un modello funzione lineare del tempo ma può essere

sostituita con modelli più complessi e raffinati senza interferire con le altre parti del sistema.

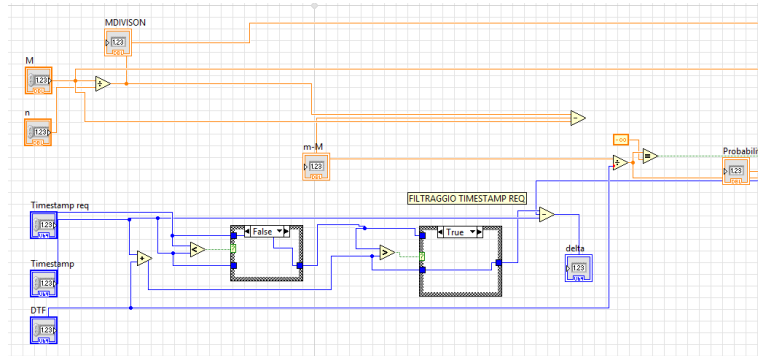
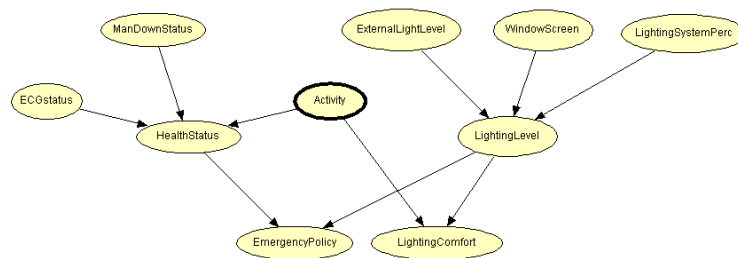


Figura 31: es. modello di decadimento temporale verso l'incertezza

Processi recognizer (o sensori funzionali)

Le reti viste in precedenza sono state integrate all'interno del sistema operativo e utilizzate per il riconoscimento scenari.



I modelli per il riconoscimento scenari sono stati sviluppati attraverso il software di modellazione HuginExpert. Il motore di computazione è stato integrato in un server web per consentire l'interoperabilità trasparente con il resto del sistema attraverso chiamate HTTP.

Request	Response
<pre>{ "request": { "t": 1485365989983, "k": "pass01", "ref": "jzF://pass/0001", "m": [{ "k": "Activity", "b": [{ "k": "cleaning", "b": 0 }] }] } }</pre>	<pre>{ "response": { "t": 1485365989983, "k": "pass01", "ref": "jzF://pass/0001", "m": [{ "k": "EmergencyPolicy", "b": [{ "k": "OK", "b": 0.8458333333333332 }] }] } }</pre>

<pre> }, { "k": "cooking", "b": 0 }, { "k": "eating", "b": 0 }, { "k": "layingtable", "b": 0 }, { "k": "tidying", "b": 0 }, { "k": "watchingTV", "b": 1 }] }, { "k": "LightingLevel", "b": [{ "k": "5", "b": 1 }, { "k": "4", "b": 0 }, { "k": "3", "b": 0 }, { "k": "2", "b": 0 }, { "k": "1", "b": 0 }, { "k": "0", "b": 0 }] } ...] } } </pre>	<pre> }, { "k": "KO", "b": 0.15416666666666667 }] }, { "k": "LightingComfort", "s": [{ "k": "High", "b": 0.15 }, { "k": "Medium", "b": 0.35 }, { "k": "Low", "b": 0.5 }] } ...] } } </pre>
---	--

Va notato che una volta configurato, sarà il sistema a selezionare opportunamente i corretti parametri di input della rete, consentendo al progettista della rete di concentrarsi sulla risoluzione del problema in forma generale rispetto al caso d'uso identificato, potendo tralasciare i dettagli relativi alle specifiche configurazioni degli ambienti.

5.4 Applicazioni

Ai fini della discussione di seguito vengono descritte solo due applicazioni esemplificative utilizzate nel progetto Pass per mettere in evidenza i vantaggi dell'introduzione del Sistema Operativo; tali applicazioni sono state semplificate e presentate in pseudocodice per facilitarne la lettura.

La prima applicazione orientata al comfort viene applicata a tutti gli ambienti e ha come obiettivo il mantenimento di livelli di comfort sulla base delle attività svolte nel determinato ambiente.

```
/* comfort application */
#define app.name roomComfort
#define app.priority 3

var room = $[ room(*) ];
for(room in rooms) {
  on ( room . 'lightingcomfort' == 'low' ) {
    /* ask controller */
    var roomController = $[ roomController < use < room ]
    roomController.ask('lightingComfort', 'high');

    /* actuation on window */
    var windowValue = roomController.get('windowScreen');
    var window = $[ device('type'=='window') > spatial:in > room ];
    window.set('lightingComfort', 'high');

    /* actuation on lighting */
    var lightingPercentage = roomController.get('lightingPercentage');
    var lightingDimmer = $[ device('type'=='lightingDimmer') > spatial:in > room ];
    lightingDimmer.set('lightingSystemPercentage', lightingSystemPercentage);
  }
}
```

In particolare l'applicazione di controllo è pensata per fare in modo che se il sistema rileva livelli di comfort bassi su una determinata stanza (`on (room . 'lightingcomfort' == 'low')`) (che in maniera trasparente all'applicazione sono determinati sulla base dell'attività svolta su quel determinato ambiente) allora la stanza deve reagire attraverso i suoi attuatori (impianto illuminotecnico formato da finestra e luci) settando i corretti livelli di funzionamento (set point) che sono richiesti al sistema e calcolati in maniera inferenziale sulla base dell'attività svolta in quel determinato momento (`roomController.ask('lightingComfort', 'high')`).

La seconda applicazione di esempio è invece orientata alla safety: in questo caso la policy di controllo è determinata dallo stato di salute dei residenti su un

determinato ambiente (on (room . 'healthStatus' == 'critical')) e predisporre l'impianto illuminotecnico in base alle policy di emergenza previste.

```
/* safety application */
#define app.name safety
#define app.priority 100

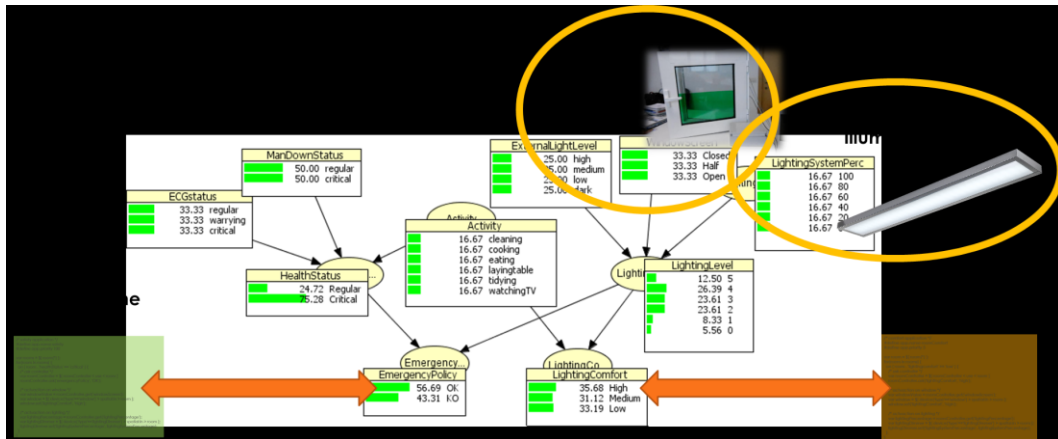
var rooms = $[ room(*) ];
for(room in rooms) {
  on ( room . 'healthStatus' == 'critical' ) {
    /* ask controller */
    var roomController = $[ roomController < use < room ]
    roomController.ask('emergencyPolicy', 'OK');

    /* actuation on window */
    var windowValue = roomController.get('windowScreen');
    var window = $[ device('type'=='window') > spatial:in > room ];
    window.set('lightingComfort', 'high');

    /* actuation on lighting */
    var lightingPercentage = roomController.get('lightingPercentage');
    var lightingDimmer = $[ device('type'=='lightingDimmer') > spatial:in > room ];
    lightingDimmer.set('lightingSystemPercentage', lightingSystemPercentage);
  }
}
```

Va sottolineato come gli strati di astrazione introdotti consentono di svincolare completamente la scrittura delle applicazioni dalla configurazione fisica sottostante: tutte le istruzioni sono definite a partire da concetti logici come stanza, finestra, controllore di una stanza, livelli di comfort, ecc...

Va notato che le applicazioni devono essere identificate da un nome per poter essere distinte all'interno del sistema e devono dichiarare una priorità per definire i livelli di criticità e consentire al sistema di schedulare correttamente decidendo quale applicazione mandare in esecuzione e a quali consentire l'accesso alle risorse richieste: le due applicazioni sono conflittuali per quanto riguarda l'utilizzo dell'impianto illuminotecnico nel momento in cui vi sia una situazione critica che contrasti con i livelli di comfort previsti per l'attività corrente (ad. es. mentre si guarda la TV l'applicazione "comfort" richiederebbe luce soffusa ma in caso di stato di salute critico l'applicazione "safety" richiede l'accensione delle luci per facilitare l'intervento di soccorritori)



Runtime

Di seguito vengono descritte due situazioni di runtime del sistema configurato e messo in esercizio. Viene riportato e descritto il comportamento del sistema in due situazioni distinte:

1. cambiamento dell' attività individuata
2. modifica dello scenario di rilevazione delle condizioni di salute

Di giorno, sulla base dei dati provenienti dai sensori il sistema riconosce correttamente l'attività di pulizia ('Activity:cleaning[85%]') sull'ambiente cucina. In caso di ambiente ben illuminato ('LightingLevel:4[100%]') dettato dagli elevati livelli di luminosità esterna ('ExternalLightLevel:high[100%]') rilevata dal sensore di illuminamento e con finestra aperta ('WindowScreen:Open[100%]'), i livelli di comfort risultano più che sufficienti ('LightingComfort:High[62%]'). Nessuna delle applicazioni di controllo vengono scatenate poiché non vi sono condizioni indesiderate ovvero non vengono rilevate nessuna delle condizioni che avviano i blocchi di controllo ('healthStatus==critical' O 'LightingComfort==low').

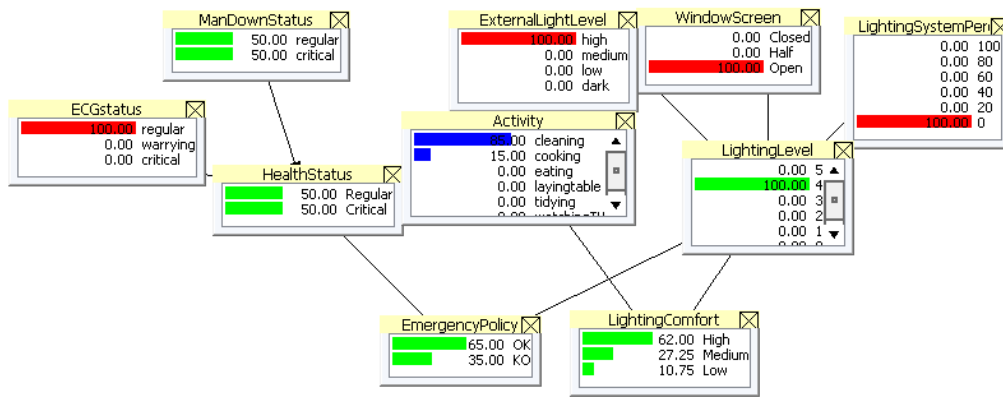


Figura 32: comfort: verifica su base attività rilevata

Conclusa l'attività di pulizia l'anziano accende la TV e si siede sulla poltrona: il sistema rileva correttamente l'attività svolta ('Activity:watchingTV[100%]'). Il cambiamento di stato dell'attività rilevata sulla base delle condizioni ambientali e delle logiche previste determina una situazione di basso comfort dovuta alla presenza di troppa luce nella stanza.

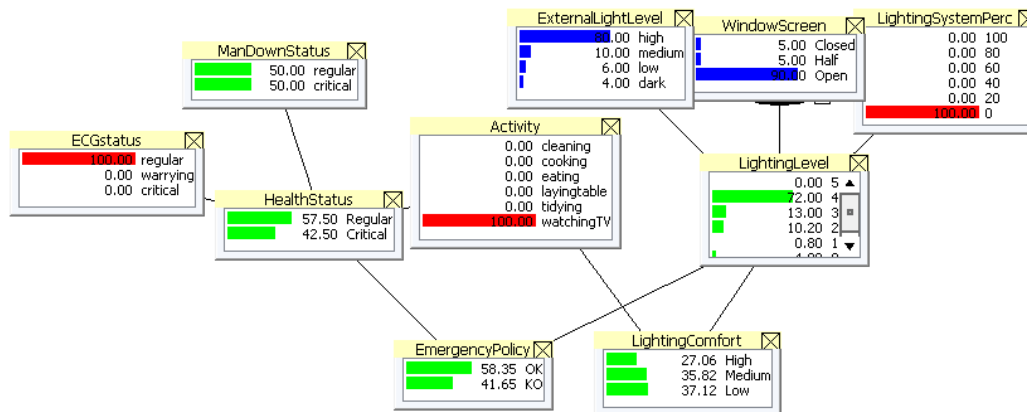


Figura 33: comfort: rilevazione dello stato al tempo t1

Questa condizione dà il via alla applicazione di gestione del comfort (`on (room . 'lightingcomfort' == 'low')`) che reagisce chiedendo alla rete quali siano le condizioni attraverso le quali poter raggiungere livelli elevati di comfort (`roomController.ask('lightingComfort', 'high')`) tenendo fissi i parametri non modificabili.

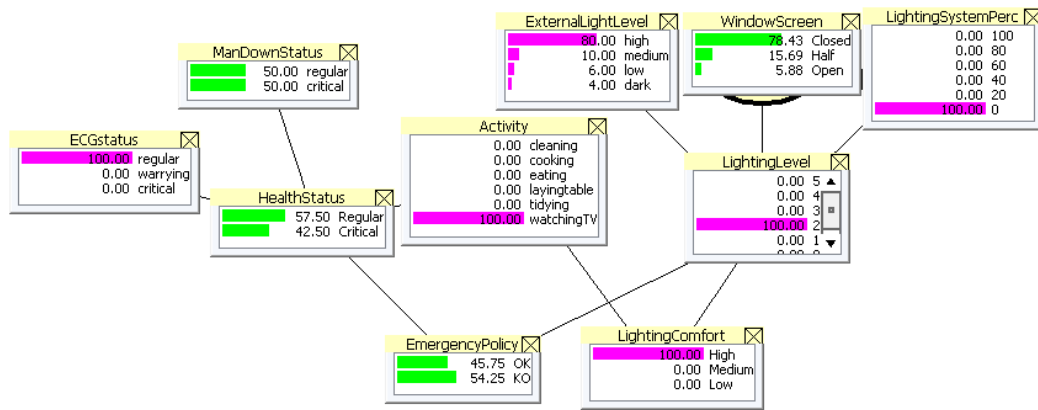


Figura 34: comfort: induzione per inferenza dei parametri che determinano lo stato desiderato

La rete mostra che risulta necessario abbassare i livelli di luminosità e di conseguenza è necessario andare a modificare lo stato della finestra, oscurandola. L'attuazione di questa azione di controllo riporta automaticamente ad ottenere livelli di comfort elevati come viene rilevato dalla stessa rete al passo t1.

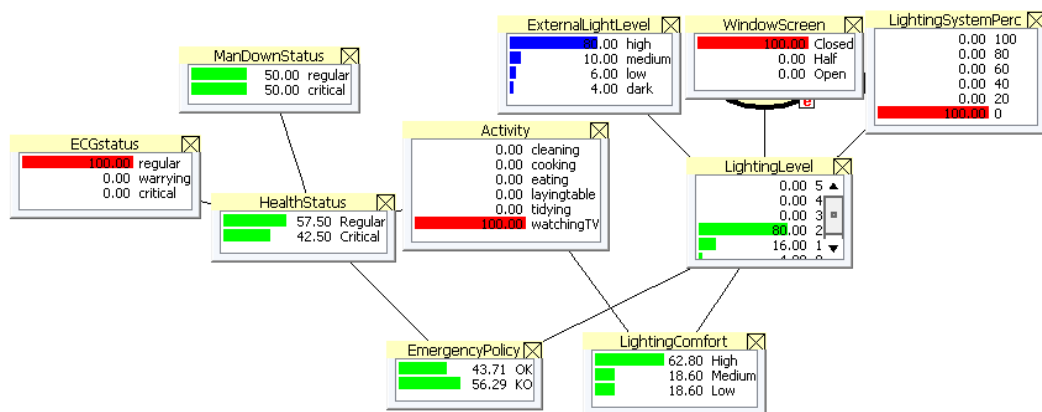


Figura 35: comfort: rilevazione dello stato al tempo t1

A partire da questa situazione stabile, nel tardo pomeriggio il sensore ECG indossabile rileva una condizione critica.

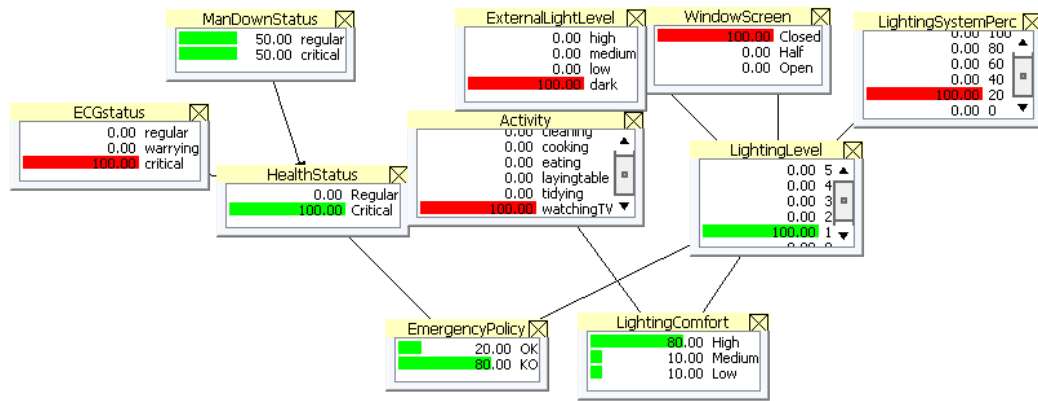


Figura 36: safety vs comfort: situazione conflittuale

Tale condizione critica dà il via all' applicazione di controllo safety (on (room . 'healthStatus' == 'critical')) che rilevando una condizione non ottimale rispetto alle policy di emergenza, seguendo lo stesso approccio visto in precedenza, impone lo stato desiderato al fine di inferire le condizioni per ottenerlo.

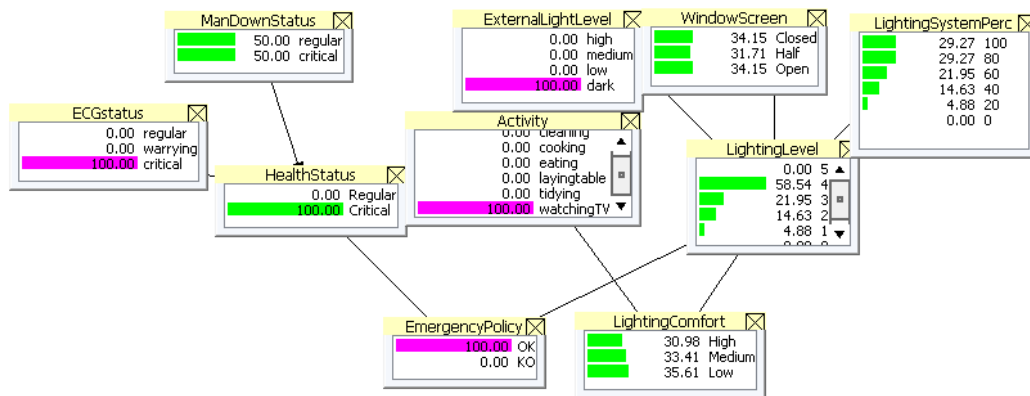


Figura 37: safety vs comfort: risoluzione del conflitto su base prioritaria

Tale condizione richiede un innalzamento dei livelli di luminosità che viene raggiunto regolando i livelli dell'impianto illuminotecnico fino all'80%.

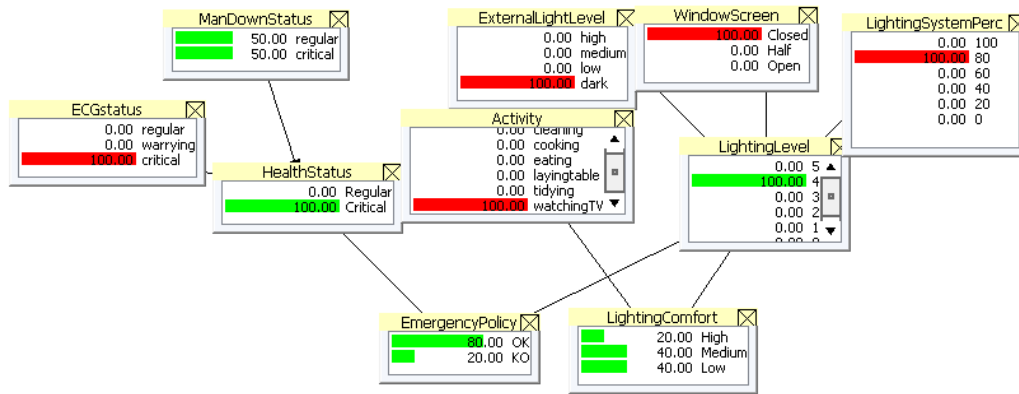


Figura 38: safety vs comfort: situazione desiderata ristabilita

Va notato che questa condizione imposta dalla safety risulta conflittuale rispetto ai livelli di comfort previsti per l'attività correntemente individuata. Tuttavia l'applicazione comfort, pur andando in esecuzione, fintanto che persistono le condizioni critiche, non può modificare lo stato dei dispositivi perché prelazionati dall'applicazione safety con priorità maggiore.

5.5 Analisi e diagnosi della soluzione

Il sistema proposto mostra i suoi punti di forza nella scrittura delle applicazioni, nella separazione dei contesti (e delle responsabilità) e nell'integrazione modulare dei plugin di sistema. In particolar modo va notato come grazie ai servizi esposti dal sistema operativo, i casi d'uso presentati siano stati risolti programmando le applicazioni basandosi solamente sugli aspetti logici (concetti di stanza e comfort associato, controllore di stanza, etc...) piuttosto che sui dettagli fisici dell'ambiente sul quale viene fatto girare il sistema (non viene referenziato esplicitamente nessun oggetto fisico)

Le astrazioni proposte consentono di referenziare gli oggetti secondo le relazioni che essi hanno con l'ambiente permettendo di disaccoppiare le logiche applicative dalla configurazione specifica di deployment sugli ambienti: ad es. per accedere alla finestra di una determinata stanza non risulta necessario conoscere l'identificativo della finestra ma è possibile referenziarla sulla base della relazione (spaziale) che essa ha con la stanza (`$(device('type=window') > spatial:in > room)`

). Tale “regola” risulterà valida per qualunque dispositivo (di qualunque ambiente e di qualunque edificio) che supporti le funzionalità degli oggetti di tipo finestra (`device('type=window')`) che venga configurata con una relazione spaziale (`spatial:in`) con una determinata stanza (`room`).

L'introduzione degli strati di astrazione virtuale e funzionale consentono di esprimere condizioni su valori logici, come ad es. condizioni sul comfort basso (`'lighting_comfort' == 'low'`), con il vantaggio di poter mettere a punto il sistema agendo solo sui modelli che trasformano un insieme di rilevazioni nello stato di comfort basso. Sarà così possibile fare il tuning a runtime dei livelli di comfort senza dover modificare le logiche che utilizzano tale dato.

Va evidenziato inoltre che ogni singolo caso d'uso è stato sviluppato in maniera completamente indipendente dagli altri. Vi è quindi una netta separazione dei contesti che consente la soluzione dei problemi in maniera isolata. Il caso d'uso “comfort” non si deve preoccupare delle logiche necessarie al caso d'uso “safety” o dei conflitti nella gestione dei dispositivi fisici presenti all'interno degli ambienti. I conflitti generati dall'accesso concorrente sulle risorse condivise (controllo della finestra e del sistema di illuminazione) sono risolti dal sistema operativo sulla base delle priorità impostate. La gestione “safety” con priorità maggiore della gestione “comfort” prelaiona le risorse richieste e le controlla fino a quando lo stato di salute risulta critico.

Da notare che le logiche vengono eseguite sulla base degli scenari rilevati dal sistema a runtime in tempo reale (`on(room.'health_status' == 'critical')` o `on(room.'lighting_comfort' == 'low')`). Le applicazioni girano simultaneamente e reagiscono automaticamente in maniera contestuale rispetto agli scenari rilevati.

L'utilizzo delle reti bayesiane come strumento di computazione per la rilevazione di attività e scenari ha inoltre il notevole vantaggio di includere intrinsecamente tutti gli scenari possibili e quindi possono essere usate da sistemi di controllo per inferire le condizioni grazie alle quali si passa allo stato desiderato.

6 Conclusioni e sviluppi futuri

Il principale scopo della ricerca era quello di sviluppare sistemi integrati a supporto dell'autonomia abitativa nel contesto dell'Ambient Assisted Living.

Lo studio dello stato dell'arte ha messo in evidenza che esistono una pleora di framework, middleware e piattaforme software in grado di risolvere egregiamente vari aspetti del dominio ma mancano strumenti per l'integrazione e la riusabilità su larga scala di tali sistemi.

Per risolvere i problemi che affliggono le soluzioni odierne si rende necessario un cambio di paradigma: si ritiene che solo l'introduzione del concetto di sistema operativo possa consentire una gestione operativa integrata, replicabile e modulare dei componenti degli edifici. Questo cambio di paradigma porta a concepire l'edificio non più come un organismo dove vengono innestati componenti ICT ma come una "macchina" che ha al suo interno un sistema operativo che gestisce in maniera avanzata e ottimizzata l'accesso concorrente alle risorse condivise, siano esse componenti, ambienti, impianti o altro. Tale approccio consente in maniera naturale di rendere programmabili l'edificio e il suo comportamento, in funzione degli scenari rilevati al suo interno, e consente ai progettisti di concentrarsi esclusivamente sulla soluzione dei problemi relativi al proprio dominio.

Gestire edifici in maniera intelligente significa prendere decisioni e agire in tempo reale in funzione delle situazioni che si stanno verificando: saper identificare e riconoscere gli scenari diventa centrale sia per lo sviluppo di applicazioni che per poter evolvere le performance dell'edificio stesso in funzione dei modelli d'uso degli ambienti.

La prima fase di questo lavoro di tesi è stata quindi quella di investigare i possibili modelli per il riconoscimento scenari all'interno di ambienti domestici concentrandosi in particolare sull'utilizzo delle reti bayesiane. Le reti bayesiane

infatti, essendo basate su una modellazione probabilistica del dominio, trattano in maniera “nativa” l’incertezza intrinseca derivante dal processo di acquisizione dati: la rilevazione o misurazione dello stato delle variabili è tipicamente effettuata in maniera puntuale e istantanea da sensoristica eterogenea, distribuita e non sincronizzata e in aggiunta i processi monitorati sono influenzati dall’imprevedibilità del comportamento dell’utenza. L’utilizzo delle reti bayesiane ha in sé tra i principali punti di forza quelli derivanti dalla possibilità di integrare la conoscenza esperta del dominio con l’informazione raccolta. Inoltre, determinando le relazioni causali tra le variabili del dominio, le reti consentono di ragionare sul dominio sia in maniera deduttiva che diagnostica.

Il primo caso di studio ha avuto come obiettivo quello di modellare un sistema per il riconoscimento delle attività umane. Le attività sono state modellate come effetto di una sequenza temporale ordinata di azioni, ognuna caratterizzata da una certa durata rilevata statisticamente. I risultati mostrano la bontà della soluzione proposta in considerazione della necessità di computazione in tempo reale che vincola la complessità delle modellazioni sperimentate: dato un set di attività predeterminate (78), ne vengono riconosciute correttamente un sottoinsieme che dipende dal numero di nodi considerati (83% sul totale con una rete a 10 nodi).

Sono state quindi sviluppate una serie di reti componibili gerarchicamente per dedurre o inferire scenari complessi derivandoli da quelli precedenti.

La seconda fase del lavoro è stato incentrato sullo studio dei sistemi operativi per edifici al fine di identificare le funzionalità basilari volte a soddisfare le principali esigenze di astrazione (per la riusabilità e portabilità delle applicazioni), di gestione automatica dei conflitti tra componenti fisici e di gestione delle policy applicative: sono stati quindi delineati i layer, le componenti e le relazioni funzionali tra di essi.

Le astrazioni consentono, tramite query opportune interpretate da un motore di reasoning su base ontologica, di esporre le funzionalità dell’hardware in maniera logica. Tale accesso logico è alla base della portabilità delle applicazioni perché bypassano il problema delle differenti configurazioni hardware degli

edifici. La gestione controllata delle risorse è necessaria per poter sviluppare applicazioni che non debbano risolvere esplicitamente le interferenze con gli altri sistemi.

Gli strati operativi e le API introdotte cambiano il modo di pensare alle soluzioni di dominio: non più soluzioni verticali ma applicazioni immerse in un contesto comune e condiviso ma separato logicamente e gestito in maniera automatica dal sistema.

Un primo prototipo di sistema operativo per edifici è stato sperimentato nel progetto regionale PASS. La sperimentazione ha mostrato l'applicabilità di tale approccio e i vantaggi attesi. Le astrazioni individuate e la separazione dei contesti hanno permesso alle professionalità coinvolte nello sviluppo delle applicazioni di concentrarsi solamente sulla soluzione dei problemi riguardanti il proprio dominio di competenza, di fatto semplificando e accelerando la soluzione dei problemi.

Il sistema, seppur in stadio prototipale, ha permesso di verificare sia la capacità di agire in maniera proattiva in funzione delle attività rilevate in tempo reale basandosi sui dati provenienti dall'ambiente opportunamente sensorizzato sia la capacità di gestire correttamente le risorse condivise in situazioni conflittuali.

L'introduzione del concetto di sistema operativo porta i seguenti vantaggi:

- programmabilità: piena possibilità di riutilizzo di tutti i componenti esistenti sia hardware che software
- estendibilità: integrazione di nuovi componenti e moduli a runtime e a costo ridotto
- separazione dei contesti: conflitti tra risorse e applicazioni gestite automaticamente dal sistema

Volgendo lo sguardo al futuro i passi previsti riguardano lo sviluppo completo di tutte le componenti del sistema e il consolidamento di quelle esistenti. Saranno necessari strumenti migliori per integrare rapidamente modelli esterni come il BIM e arricchire le librerie di sistema con driver e plugin per i comuni scenari d'uso.

E' inoltre auspicabile dotare il sistema di tutta una serie di interfacce di gestione e amministrazione che siano in grado di semplificarne l'utilizzo.

7 Bibliografía

Abril-Jiménez P. (2009). *Design Framework for Ambient Assisted Living Platforms*. *Univers. Access ...*, pp. 139–142, 2009.

Abril-Jiménez, P.; Vera-Muñoz, C.; Cabrera-Umpierrez, M.F.; Arredondo, M.T.; Naranjo, J.C. *Design Framework for ambient assisted living Platforms*. In *Universal Access in Human-Computer Interaction. Intelligent and Ubiquitous Interaction Environments*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2009; Volume 5615, pp. 3–12

Adaptation B., T. Sato, T. Harada, T. Mori (2004). *Environment-type robot system “RoboticRoom” featured by behavior media, behavior contents, and behavior adaptation*, *IEEE/ASME Trans. Mechatronics* 9 (3) (2004) 529–534.

Ahonen P. , Alahuhta P. , B. Daskala, S. Delaitre, P.D. Hert, R. Lindner, I. Maghiros, A. Moscibroda, W. Schreurs, M. Verlinden, (2010). *Safeguards in a World of Ambient Intelligence*. *The International Library of Ethics, Law and Technology*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2010.

Al Khatib I., Davide Bertozzi, Francesco Poletti, Luca Benini, Axel Jantsch, Mohamed Bechara, Rustam Nabiev, and Sven Jonsson, "MPSoC ECG Biochip: A MULTiprocessor System-on-Chip for RealTime Human Heart Monitoring and Analysis," in *Proceedings of the 3rd conference on Computing frontiers, Ischia, 2006*, pp. 21-28.

Alemdar H., and Ersoy C., "Wireless sensor networks for healthcare: A survey," *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, vol. 54, no. 15, pp. 2688-2710, October 2010.

Alzheimer's Association, 2013 Alzheimer's Disease Facts and Figures. http://www.alz.org/downloads/facts_figures_2013.pdf, 2013

Anderson D., James M. Keller, Marjorie Skubic, Xi Chen, and Zhihai He, (2006). *Recognizing falls from silhouettes*. In: *Proceedings of the 28th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, New York, August 2006, pp. 63886391.

Anderson D., Robert H. Luke, Marjorie Skubic, James M. Keller, Marilyn Rantz, and Myra Aud (2008). *Evaluation of a Video-Based Fall Recognition System for Elders*. *International journal on the fundamental aspects of technology to serve the ageing society*, vol. 7, no. 2, p. 68, May 2008.

Annemarie K., Huosheng H., Matthew P. (2012). *Sysiass—an intelligent powered wheelchair*, in: *Proceedings of the First International Conference on Systems and Computer Science*, 2012.

Ansuini R., Larghetti R., Vaccarini M., Carbonari A., Giretti A., Ruffini S., Guo H., Lau S.L. (2012). Hybrid Modeling for Energy Saving in Subway Stations. In: Jonathan Wright and Malcolm Cook, (Editors); 2012, Proceedings of BSO12, the 2012 Building Simulation and Optimization Conference; 10-11 September 2012, Loughborough, Leicestershire, UK. ISBN 978-1-897911-42-6

Antonino P.O., Schneider D., Hofmann C., Nakagawa E. Y. (2011). Evaluation of AAL Platforms According to Architecture-Based Quality Attributes. Ambient Intelligence Volume 7040 of the series Lecture Notes in Computer Science pp 264-274

ASHRAE. Sequences of Operation for Common HVAC Systems. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2006.

Atzori, Iera, & Morabito. (2010). Internet of Things: A survey. Computer Networks .

Aztiria A. , Farhadi G. , Aghajan H. (2012). User behavior shift detection in intelligent environments, in: Ambient Assisted Living and Home Care, 2012, pp. 1–8.

Barger T.S., Donald E. Brown, and Majd Alwan (2005). Health-status monitoring through analysis of behavioral patterns. In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, vol. 35, no. 1, pp. 22-27, January 2005.

Bazanac V. and Tobias Maile. (2004). IFC HVAC interface to EnergyPlus – a case of expanded interoperability for energy simulation. IBPSA-USA., 2004.

Brdiczka O., Langet M., Maisonnasse J., and Crowley J.L. (2009). "Detecting Human Behavior Models From Multimodal Observation in a Smart Home," IEEE Transactions on Automated Science and Engineering, vol. 6, no. 4, pp. 588-597, October 2009.

Brumitt B., B. Meyers, J. Krumm (2000). EasyLiving: technologies for intelligent environments, in: Handheld and Ubiquitous Com-puting, Lecture Notes in Computer Science, vol. 1927, Springer, Berlin, Heidelberg, 2000.

Busch B.-H., Welge R. (2014). Unobtrusive respiratory rate detection within homecare scenarios, in: Ambient Assisted Living, Advanced Technologies and Societal Change, Springer, Berlin, Heidelberg, 2014, pp. 61–78.

Cerovsek T. (2011). A review and outlook for a 'Building Information Model' (BIM): A multi-standpoint framework for technological development. Advanced Engineering Informatics, Volume 25, Issue 2, April 2011, Pages 224–244 , Information mining and retrieval in design

Cesta A., G. Cortellessa, M.V. Giuliani, et al. (2006). The RoboCare Assistive Home Robot: Environment, Features and Evaluation. The RoboCare Technical Reports, Technical Report, National Research Council of Italy, 2006.

Cesta A., Iocchi L., Leone G.R., Nardi D. (2009). *Robotic, sensory and problem-solving ingredients for the future home*, in: *Intelligent Environments*, Springer, London, 2009, pp. 69–89. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-84800-346-0>.

Chan M., D. Estève, J.-Y. Fourniols, C. Escriba, E. Campo (2012). *Smart wearable systems: current status and future challenges*, *Artif. Intell. Med.* 56 (3) (2012) 137–156.

Chang, K.M.S. Shih, T.H. Lan, and L.W. Hang, "Bluetooth Based Wireless Sleep Remote Monitoring System, .M. " in *6th International Special Topic Conference on Information Technology Applications in Biomedicine*, Tokyo, 2007, pp. 309-312.

CIBSE. *Building Control Systems, CIBSE Guide H*. Butterworth-Heinemann. ISBN 07506 504 78., 2000.

Commission of the European Communities (CEC, 2009). "Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions." *Internet of Things - An action plan for Europe*. Brussels, s.n., 18 June 2009.

Cook D.J., L.B. Holder (2012). *Sensor selection to support practical use of health-monitoring smart environments*, in: *Handbook of Ambient Assisted Living, Ambient Intelligence and Smart Environments*, vol. 11, IOS Press, Amsterdam, 2012, pp. 434–450.

Cook D. (2009). *Collecting and disseminating smart home sensor data in the CASAS project*, in: *Proceedings of the CHI Workshop on Developing Shared Home Behavior Datasets to Advance HCI and Ubiquitous Computing Research*, 2009.

Cook D., A. Crandall, B. Thomas, N. Krishnan (2013). *CASAS: a smart home in a box*, *Computer*, 46 (07) (2013) 62–69.

Cook D., M. Youngblood, E. Heierman, K. Gopalratnam, S. Rao, A. Litvin, F. Khawaja (2003). *MavHome: an agent-based smart home*, in: *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003 (PerCom 2003)*, IEEE Computer Society, Texas, 2003, pp. 521–524.

Corradini F., De Angelis F., Re B., Anceschi E., De Donato M. C., Iddas P., "An Integration Platform for Private Assisted Houses"

David Ley, B. (2007). *Ubiquitous Computing. Emerging Technologies for Learning, Volume 2*, 2007: pp. 64-79.

Department of Economic and Social Affairs Population Division (DESAPD, 2013), *United Nations, World Population Ageing: 1950–2050*. URL (<http://www.un.org/esa/population/publications/worldageing19502050>), 2013 (accessed on April 5, 2015).

De Grassi M., Naticchia B., Giretti A., Carbonari A., "Reti bayesiane con applicazioni all'edilizia e alla gestione del territorio"

Dimitrov, T. (2005). *Design and Implementation of a Home Automation Service Gateway based on OSGi*. Master's thesis, University of Duisburg-Essen, Dusseldorf, Germany (December 2005)

Doctor F., Hagrais H., Callaghan V. (2005). A fuzzy embedded agent-based approach for realizing ambient intelligence in intelligent inhabited environments, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part A: Syst. Hum.* 35 (1) (2005) 55–65.

Dohr A., Modre-Osprian R., Drobits M., Hayn D., Schreier G. (2010). *The Internet of Things for Ambient Assisted Living*. January 2010 <https://www.researchgate.net/publication/220840654>

Fides-Valero A., Freddi M., Furfari F., Tazari M. (2008). The PERSONA framework for supporting context-awareness in open distributed systems, in: *Ambient Intelligence, 2008*, pp. 91–108.

Fleish, E. (2010). *What is the Internet of Things - An economic perspective*. Auto-ID Labs White Paper .

Gartner. (2011). *The Internet of Things is coming*. <https://www.gartner.com/doc/1799626/internet-things-coming>

Fuxreiter T., Mayer C., Hanke S., Gira M., Sili M., and Kropf J. (2010). A modular platform for event recognition in smart homes. *12th IEEE Int. Conf. e-Health Networking, Appl. Serv. Heal.* 2010.

Georgieff, P. (2008). *Ambient Assisted Living Marktpotenziale ITunterstützter Pflege für ein selbstbestimmtes Altern*. s.1.: FazitSchriftenreihe Marktanalyse / Band 17, 2008.

Giretti A., Lemma M., Vaccarini M., Ansuini R., Larghetti R., Ruffini S. (2012). *Environmental Modelling for the Optimal Energy Control of Subway Stations*. *Gerontechnology* 11(2):168 ISSN: 1569-1101 (paper) , 1569-111X (electronic)

Grossi F., V. Bianchi, A. Losardo, G. Matrella, A. Ricci, I. De Munari, and P. Ciampolini, "An integrated approach for ageing at home: deploying AAL services in rural areas," in *AAL Forum, Odense, 2010*.

Grossi F., V. Bianchi, A. Losardo, G. Matrella, I. De Munari, and P. Ciampolini, "A Flexible Framework for Ambient Assisted Living Applications ," in *International Symposium on Assistive Technology (IASTED)*, Innsbruck, 2012.

Gubbi, Buyya, Marusic, & palaniswami. (2013). *Internet of Things: a vision, architectural elements and future directions*. *Future Generation Computer Systems* .

Hagras H., V. Callaghan, M. Colley, G. Clarke, A. Pounds- Cornish, H. Duman (2004). *Creating an ambient-intelligence environment using embedded agents*, *IEEE Intell. Syst.* 19 (06) (2004) 12–20.

Haller S., Karnouskos S., and Schroth C. (2008). *The Internet of Things in an Enterprise Context*. Vienna: Springer (Berlin-Heidelberg), 2008. pp. 14-28.

Hanke S., C. Mayer, O. Hoeflberger, H. Boos, R. Wichert, M.-R. Tazari, P. Wolf, and F. Furfari (2011). *universAAL - An Open and Consolidated AAL Platform*. *Ambient Assisted Living 4 Dtsch. AALKongress*, pp. 127–140, 2011.

Hensen L. M., Trcka M. and Wijsman A. J. Th. M. (2006). *Distributed building performance simulation - a novel approach to overcome legacy code limitations*. *ashrae hvacer*, 12(3a):621-640, 2006.

Herlofson K., Svein Olav Daatland (2001). *Ageing, intergenerational relations, care systems and quality of life - an introduction to the OASIS project*, NOVA Rapport 14/01

Ho J., Intille S.S. (2005). *Using context-aware computing to reduce the perceived burden of interruptions from mobile devices*, In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems—CHI '05*, 2005, p. 909.

HOMER Project: HOME Event Recognition System. <http://homer.aaloo.org/>

Hori T., Y. Nishida, H. Aizawa, S. Murakami, H. Mizoguchi (2004). *Sensor network for supporting elderly care home*, In: *Proceedings of IEEE Sensors 2004*, vol. 3, 2004, pp. 575–578.

Hydra Project: Hydra open source middleware, <http://www.hydramiddleware.eu/> , <https://linksmart.eu/redmine>

Information Society Technologies Advisory Group (ISTAG). "Revising Europe's ICT Strategy." Report from the Information Society Technologies Advisory Group (ISTAG), February 2009.

International Telecommunication Union. "ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things." Geneva, s.n., 2005. <http://www.itu.int/internetofthings/>

Intille S. (2006). *The goal: smart people, not smart homes*, in: *The Fourth International Conference on Smart Homes and Health Telematics*, 2006.

Jensen V. Finn, *A Brief Overview of the Three Main Paradigms of Expert Systems*

Kidd C., Orr R., Abowd G. (1999). *The aware home: a living laboratory for ubiquitous computing research*, in: *Cooperative Buildings. Integrating Information, Organizations, and Architecture*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 1670, Springer, Berlin, Heidelberg, 1999, pp. 1–9.

Kinshuk S., Takada Y., Graf K., Zarypola S., Tsuruta A.S. (2009). *Providing Adaptive Support in Comp. Sup. Collaboration Environments*, SMC 2009: 1304-1309.

Kühner, Daniel (2007). *Internet der Dinge Telekommunikationsinfrastruktur*. Edited by Seminarband: *Mobile und Verteilte Systeme - Ubiquitous Computing Teil IV*. Seminarband: *Mobile und Verteilte Systeme - Ubiquitous Computing Teil IV*. Universität Karlsruhe - Fakultät für Informatik, 2007. pp. 115.

Kunze C., Carsten Holtmann, Andreas Schmidt, and Wilhelm Stork (2007). "Kontextsensitive Technologien und Intelligente Sensorik für Ambient-Assiste- Living-Anwendungen." 2007.

Lee E. A. (2006). *Cyber-physical systems - are computing foundations adequate?*. Position Paper for NSF Workshop On Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap, Berkeley, CA

Lee Y-C., Charles M. Eastman, Wawan Solihin (2016). *An ontology-based approach for developing data exchange requirements and model views of building information modeling*. *Advanced Engineering Informatics*, Volume 30, Issue 3, August 2016, Pages 354-367

Leone A., G. Diraco, C. Distante, P. Siciliano, M. Malfatti, L. Gonzo, M. Grassi, A. Lombardi, G. Rescio, P. Malcovati, V. Libal, J. Huang, and G. Potamianos, "A multi-sensor approach for People Fall Detection in home environment," in *Workshop on Multi-camera and Multi-modal Sensor Fusion Algorithms and Applications*, Marseille, 2008.

Li R., Lu B., McDonald-Maier K.D. (2015). *Cognitive assisted living ambient system: a survey*. *Digital Communications and Networks* (2015) 1, 229–252

Litz L. and M. Gross, "Covering Assisted Living Key Areas based on Home Automation Sensors," in *Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, London, April 2007, pp. 639-643.

Liu, X. and Akinci, B. (2009) *Requirements and Evaluation of Standards for Integration of Sensor Data with Building Information Models*. *Computing in Civil Engineering* (2009): pp. 95-104.

Luo S. and Hu Q. (2004). *A dynamic motion pattern analysis approach to fall detection*. In *Proceedings of: 2004 IEEE International Workshop on Biomedical Circuits and Systems*, Singapore, 2004, pp. 1-5 - 1-8.

Lymberopoulos D., Teixeira T., and Savvides A. (2008). *Macroscopic human behavior interpretation using distributed imager and other sensors*. *Proceedings of the IEEE*, vol. 96, no. 10, pp. 1657-1677, October 2008

Mahdavi, A. (2006). *The technology of sentient buildings*, *A|Z ITU Journal of the Faculty of Architecture* VOL: 3, NO: 1/2, 24-36, 2006-1/2

Maier E., Kempter G. (2010). ALADIN—a magic lamp for the elderly? in: *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2010, pp. 1201–1227.

Malkawi M. (2004). *Immersive building simulation.*, in A. M. Malkawi and G. Augenbroe (eds.), *Advanced Building Simulation*, 1st ed, Spon Press, New York, NY.

Mayer C., M. Morandell, S. Hanke, J. Bobeth, T. Bosch, S. Fagel, M. Groot, K. Hackbarth, W. Marschitz, C. Schüler, and K. Tuinenbreijer (2011). *Ambient Assisted Living User Interface. Everyday Technology for Independence and Care*, AAATE 2011, pp. 456–463.

Mayer, Främling, & Holmström. (2009). *Intelligent Products: a survey. Computers in Industry* .

Memon M., Wagner S. R., Pedersen C. F., Beevi F. H. A, and Hansen F. O. (2014). *Ambient assisted living healthcare frameworks, platforms, standards, and quality attributes. Sensors (Basel)*, vol. 14, no. 3, pp. 4312–41, Jan. 2014.

Miorandi, Sicari, Pellegrini, D., & Chlamtac. (2012). *Internet of things: Vision, applications and research challenges. Ad Hoc Networks* .

Mirkin B., Weinberger M.B., *The Demography of Population Ageing*, 2010.

Müller F., Hoffmann P., Frenken M., Hein A., Herzog O. (2014). *Lsw: Networked home automation in living environments*, in: *Ambient Assisted Living, Advanced Technologies and Societal Change*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2014, pp. 19–34.

Nedelchev. (2014). *The Internet of things is the new economy. Cisco - Trends in IT* .

Nyvt V. (2014) . *Metadata and their impact on processes in Building Information Modeling. Journal of Systems Integration*, Vol 5, No 2 (2014)

Obach M., Barralon P., León E. (2012). *R&D projects related to all in tecnia's health technologies unit*, in: *Handbook of Ambient Assisted Living*, IOS Press, Amsterdam, 2012, pp. 693–723.

Oduyemi O., Okoroh M. (2016). *Building performance modelling for sustainable building design. International Journal of Sustainable Built Environment*, Volume 5, Issue 2, December 2016, Pages 461–469

Ogawa M., Suzuki R., Otake S., Izutsu T., Iwaya T., and Togawa T. (2002). *Long-term remote behavioral monitoring of the elderly using sensors installed in domestic houses. In Engineering in Medicine and Biology, 2002. 24th Annual Conference and the Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering Society EMBS/BMES Conference, 2002. Proceedings of the Second Joint*, vol. 3, 2002, pp. 1853–1854.

OpenAAL: OpenAAL: The open source middleware for ambient-assisted living, <http://openaal.org/>

Palumbo F., P. Barsocchi, F. Furfari, and E. Ferro (2013). AAL Middleware Infrastructure for Green Bed Activity Monitoring," *J. Sensors*, vol. 2013, pp. 1–15, 2013.

Parera J., and Cecilio Angulo, "Accelerometer signals analysis using svm and decision tree in daily activity identification," *International journal on the fundamental aspects of technology to serve ageing society*, vol. 7, no. 2, p. 184, May 2008.

Pearl J., "Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems", Morgan-Kaufmann, 1988

PERSONA Project: PERceptive Spaces prOmoting iNdependent Aging, <http://ehealthresearch.no/en/projects/persona-perceptive-spaces-promoting-independent-aging>, http://cordis.europa.eu/project/rcn/80532_it.html

Population Reference Bureau (PRB, 2009), *Communication from the Commission to the European Parliament and the Council on a European initiative on Alzheimer's Disease and Other Dementias*. URL (http://ec.europa.eu/health/ph_information/dissemination/documents/com2009_380_en.pdf), 2009

Population Reference Bureau (PRB, 2011), *America's Aging Population*. (<http://www.prb.org/pdf11/aging-in-america.pdf>), 2011

Phull R., Liscano R., Mihailidis A.-(2016). *Comparative Analysis of Prominent Middleware Platforms in the Domain of Ambient Assisted Living (AAL) for an Older Adults with Dementia (OAWD) Scenario*. *Procedia Computer Science*, Volume 83, 2016, Pages 537–544.

Qin J., N Hernández (2004) *Ontological representation of learning objects: building interoperable vocabulary and structures*. - *Proceedings of the 13th international World Wide ...*, 2004 - dl.acm.org

Russell S., Norvig, P. (2009). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 3rd Edition, Prentice Hall.

Sakamura K. (2012). *Smart living environment: ubiquitous computing approach based on TRON architecture*, in: *Handbook of Ambient Assisted Living*, IOS Press, Amsterdam, 2012, p. 469.

Sangiovanni-Vincentelli, (2007). 'Quo vadis, SLD? Reasoning about the trends and challenges of system level design', *Proc. of the IEEE*, 95 (3), 467-506.

Schaar A., Ziefle M. (2011). *Smart clothing: perceived benefits vs. perceived fears*, in: 2011 5th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (Pervasive- Health), 2011, pp. 601–608.

Sekoia Platform: An Open Platform for Applications on Welfare Issues. Available online: <http://www.sekoia.dk/>

Steg H., Hartmut Strese, Claudia Loroff, Jérôme Hull, and Sophie Schmidt (2006). *Europe Is Facing a Demographic Change Ambient Assisted Living Offers Solutions*. VDI|VDE|IT, Berlin, März 2006.

Suermann PC (2009). *Evaluating the impact of building information modeling (BIM) on construction*. - 2009 - etd.fcla.edu

Takács B., and Hanák D. (2007). *A Mobile System for Assisted Living with Ambient Facial Interfaces*. *International Journal on Computer Science and Informations Systems*, October 2007, 2 ed.: 33-50.

Tazari M.-R. , Furfari F. , Lázaro Ramos J.-P. , Ferro E. (2010) *The PERSONA Service Platform for AAL Spaces*. In: *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*, pp 1171-1199

Tazari M.-R, Furfari F, Fides Valero Á, Hanke S., Hoftberger O., Kehagias D., Mosmondor M, Wichert R., Wolf P. (2012). *The universal Reference Model for AAL*. In book: *Handbook of Ambient Assisted Living - Technology for Healthcare, Rehabilitation, and Well-being*, Publisher: IOS Press, pp.610 – 625

Torrent M., Angulo C., and Raya C. (2008). *Autonomous system for movement monitoring*. In: *International journal on the fundamental aspects of technology to serve ageing society*, vol. 7, no. 2, p. 224, May 2008.

Tron Project, URL (<http://www.t-engine.org/tron-project>); 2014 (accessed on April 5, 2015).

UniversAAL Project: *The UniversAAL Reference Architecture*, <http://www.universaal.org/>

Virone G., Majd Alwan, Siddhart Dadal, Steven W. Kell, Beverly Turner, Jhon A. Stankovic, and Robin Felder, "Behavioral Patterns of Older Adults in Assisted Living," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 12, no. 3, pp. 387-398, May 2008.

Wagner S. and Nielsen C. (2009). *OpenCare project: An open, flexible and easily extendible infrastructure for pervasive healthcare assisted living solutions*. 3rd Int. Conf. Pervasive Comput. Technol. Healthc., 2009.

Wang S., and Marjorie Skubic, "Density Map Visualization form motion sensors for monitoring activity level," in 4th International Conference on Intelligent Environments, Seattle, July 2008, pp. 1-8.

Wang.S., Marjorie Skubic, and Yingnan Zhu, "Activity Density Map Visualization and Dissimilarity Comparison for Eldercare Monitoring.," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 16, no. 4, pp. 607-614, July 2012.

Wetter M. (2009). *A Modelica-Based Model Library for Building Energy and Control System.*, 2009.

Wetter M. (2011). *A View on Future Building System Modeling and Simulation. Published in Building Performance Simulation for Design and Operation. Jan L. M. Hensen and Roberto Lamberts, 2011.*

Wetter and Polak (2004). *A convergent optimization method using pattern search algorithms with adaptive precision simulation. building services engineering research and technology, 25(4):327-338, 2004.*

Wetter and Wright (2004). *A comparison of deterministic and probabilistic optimization algorithms for nonsmooth simulation-based optimization. building and environment, 39(8):989-999, 2004.*

Wetter M., Haugstetter C. (2006). *Modelica versus TRNSYS - A Comparison Between an Equation-Based and a Procedural Modeling Language for Building Energy Simulation. In Proc. of the 2nd SimBuild Conference, Cambridge, MA, USA.*

WHO (2011), *Global Health and Aging, Technical Report, National Institute on Aging, National Institutes of Health, 2011.*

Xu, L. D., He, W., & Li, S. (2014). *Internet of Things in Industries: A Survey. IEEE Transactions on Industrial Informatics .*

Yamaguchi A., Mitsuhiro Ogawa, and Tatsuo Togawa (1998). *Monitoring behavior in the home using positioning sensors. In Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, vol. 4, 1998, pp. 1977-1979.*

Yamazaki T. (2007). *The ubiquitous home, Int. J. Smart Home 1 (1) (2007) 17–22.*

Žiga Turk (2016). *Ten questions concerning building information modelling. Building and Environment, Volume 107, October 2016, Pages 274-284*

Zhu C., Qi Cheng, and Weihua Sheng, "Human Activity Recognition Via Motion and Vision Data Fusion," in *Forty Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, November 2010, pp. 332-336.*