

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

Dottorato di Ricerca in Tecnologie dell'Informazione

XXV Ciclo

**STRUMENTI PER L'ANALISI
COMPORTAMENTALE IN CONTESTI
DI AMBIENT ASSISTED LIVING**

Coordinatore:

Chiar.mo Prof. Marco Locatelli

Tutor:

Chiar.mo Prof. Paolo Ciampolini

Dottorando: Agostino Losardo

Gennaio 2014

*A mia madre, a mio padre e a mio fratello,
le persone più importanti della mia vita.*

*A mio Nonno,
il ricordo più vivo e più bello che ho.*

*Tutti sanno che una cosa è impossibile
da realizzare, finché arriva uno
sprovveduto che non lo sa
e la inventa.*

– Albert Einstein

Sommario

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Introduzione | 1 |
| 1 Ambient Assisted Living | 7 |
| 1.1 L’ambiente intelligente come strumento di supporto all’assistenza | 7 |
| 1.2 Motivazioni economiche, politiche e sociali..... | 9 |
| 2 Analisi comportamentale in contesti AAL | 17 |
| 2.1 Il contesto | 17 |
| 2.2 L’analisi comportamentale | 19 |
| 2.3 Una panoramica sugli strumenti e sulle metodologie..... | 22 |
| 2.3.1 Sensori..... | 23 |
| 2.3.2 Metodologie | 27 |
| 2.3.3 Metodologie dirette e indirette | 31 |
| 2.3.4 Analisi comportamentale indiretta: applicazioni ed algoritmi..... | 34 |
| 3 CARDEA: un sistema di Ambient Assisted Living | 39 |
| 3.1 I sistemi di automazione domestica tradizionali | 39 |
| 3.2 CARDEA: un innovativo sistema di domotica assistiva | 41 |
| 3.3 CARDEAweb: il modulo integrativo di estensione ad Internet | 43 |
| 3.4 Servizi innovativi abilitati | 50 |
| 3.5 CARDEA: base di dati “eterogenea” | 52 |

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.5.1 | Analisi comportamentale indiretta..... | 53 |
| 4 | Analisi dei dati reali | 55 |
| 4.1 | La sperimentazione a Neviano degli Arduini..... | 55 |
| 4.2 | L’elaborazione dei dati reali per l’individuazione dei “trend” | 57 |
| 4.2.1 | Analisi "retrospettiva” ed analisi “automatica” predittiva | 63 |
| 5 | Strumenti per l’individuazione di trend e variazioni..... | 83 |
| 5.1 | Semplici strumenti di analisi statistica..... | 83 |
| 5.2 | Un algoritmo per rendere automatico il procedimento | 87 |
| | Conclusioni e sviluppi futuri della ricerca | 93 |
| | Bibliografia..... | 99 |
| | Ringraziamenti..... | 111 |

Elenco delle figure

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1: Logo Ambient Assisted Living | 8 |
| Figura 1.2: Piramide della popolazione europea, 27 nazioni, dal 1990 al 2010 | 10 |
| Figura 1.3: Previsione della piramide della popolazione europea, 27 nazioni, dal 2010 al 2060 | 11 |
| Figura 1.4: Distribuzione in percentuale della popolazione italiana dal 1900 al 2050 | 11 |
| | |
| Figura 2.1: Sensori indossabili..... | 25 |
| Figura 2.2: Architettura generale data-mining (“unsupervised”) | 29 |
| Figura 2.3: Architetture generale data-mining (“supervised”) | 29 |
| Figura 2.4: Architettura sistema AAL | 31 |
| | |
| Figura 3.1: Architettura del sistema CARDEA | 42 |
| Figura 3.2: Architettura sistema CARDEA e modulo integrativo | 46 |
| Figura 3.3: Schema interazione client-server | 48 |
| Figura 3.4: Esempio di rilevazione di una caduta | 49 |
| Figura 3.5: Modello di servizio orientato al controllo parentale | 51 |
| Figura 3.6: Modello orientato alla creazione di un centro servizi | 51 |
| Figura 3.7: Interfaccia di controllo del sistema di monitoraggio di parametri fisiologici installato a "Casa Scarzara" | 53 |
| | |
| Figura 4.1: Mappa delle installazioni del sistema CARDEA | 55 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.2: Ca' Bonaparte a Neviano degli Arduini (PR)..... | 56 |
| Figura 4.3: Sensore di movimento installato nel bagno | 58 |
| Figura 4.4: Profilo medio attività quotidiana (3 anni)..... | 59 |
| Figura 4.5: Confronto col giorno 15 | 60 |
| Figura 4.6: Confronto col giorno 48 | 60 |
| Figura 4.7: Confronto col giorno 277..... | 61 |
| Figura 4.8: Confronto col giorno 512..... | 61 |
| Figura 4.9: Mappa di densità a due dimensioni che mostra la distribuzione temporale degli eventi rilevati dal PIR | 63 |
| Figura 4.10: Individuazione caratteristiche periodiche | 64 |
| Figura 4.11: Variazioni dell'attività notturna nel breve periodo | 65 |
| Figura 4.12: Variazioni comportamentali di "breve periodo" | 66 |
| Figura 4.13: Due profili comportamentali ("firme") completamente differenti | 67 |
| Figura 4.14: Variazioni comportamentali "lente" | 68 |
| Figura 4.15: Attività complessiva e parziale (giorno e notte) filtrate | 69 |
| Figura 4.16: Variazioni comportamentali di lungo periodo | 70 |
| Figura 4.17: Attività complessiva e parziale (giorno e notte) non filtrate .. | 71 |
| Figura 4.18: Conteggio accessi al bagno tramite il controllo della luce temporizzata..... | 74 |
| Figura 4.19: Distribuzione di frequenza accessi al bagno | 76 |
| Figura 4.20: Individuazione dei trend | 77 |
| Figura 4.21: Grafici dell'attività e della relativa informazione di tendenza | 78 |
| Figura 4.22: Attività rilevata dal sensore da letto (eventi relativi all'abbandono del letto, "alzate")..... | 80 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.23: Distribuzione temporale degli eventi rilevati dal sensore da poltrona (eventi relativi all'occupazione della poltrona, "sedute") | 81 |
| Figura 5.1: Occupazione poltrona | 84 |
| Figura 5.2: Occupazione poltrona | 84 |
| Figura 5.3: Informazioni riassuntive storiche e di stato | 86 |
| Figura 5.4: Variazione rapida e variazione lenta del trend | 88 |
| Figura 5.5: Tre "flag di attenzione" | 90 |
| Figura 5.6: Tre flag di "attenzione" con soglia sulla durata pari a 4 mesi (flag 3) | 91 |
| Figura 5.7: Tre flag di "attenzione" con soglia sulla durata pari a 2 mesi (flag 3) | 92 |

Introduzione

Lo sviluppo tecnologico è alla base dei significativi risultati ottenuti dalla ricerca in campo scientifico: le persone possono godere, oggi, di aspettative e qualità di vita notevolmente migliori ed una volta impensabili senza la disponibilità di strumenti e tecnologie avanzati e computazionalmente sempre più potenti come quelli messi a disposizione della società dal progresso tecnologico.

Sono particolarmente significativi i risultati raggiunti, ad esempio, in ambito medico e scientifico che hanno permesso alle persone un netto miglioramento delle condizioni di sicurezza e di salute mettendo a disposizione dell'uomo strumenti e metodologie sempre più efficaci nel risolvere problemi, anche specifici e complessi.

Uno scenario interessante è quello delle tecnologie assistive, particolarmente volte a favorire l'”autonomia” delle persone intesa nella sua accezione più ampia, ovvero, la possibilità di poter avere, anche a fronte di limitazioni fisiche o cognitive, il pieno controllo dei propri mezzi e della propria vita al fine di poter interagire con l'ambiente e con gli altri nella maniera più agevole possibile.

Questo concetto di autonomia, sancito anche dall'articolo 27 della “Dichiarazione universale dei diritti dell'uomo” in base al quale ogni individuo ha il diritto di prendere parte liberamente alla vita culturale della comunità, di godere delle arti e di partecipare al progresso scientifico ed ai suoi benefici, coinvolge diversi aspetti legati all'accessibilità dell'ambiente, alla disponibilità di ausili e strumenti volti all'assistenza.

Il concetto di “ausilio” o, più in generale, di strumento di “assistenza”, è un concetto molto vecchio: pensiamo a tutti quegli oggetti ideati per facilitare la vita delle persone, ad esempio, dagli occhiali o dalle stampelle fino alle moderne carrozzine ed ai moderni strumenti informatici che permettono alle persone di ottenere miglioramenti delle proprie condizioni di vita e di

autonomia consentendo o facilitando l'interazione con l'ambiente e con le altre persone.

Seppure, sino ad oggi, siano stati significativi i risultati ottenuti nella direzione di favorire l'autonomia delle persone, esistono ancora molti problemi che sono, spesso, causa di lotte politiche e sociali significative dell'importanza di certi temi.

Le problematiche dell'abbattimento delle barriere architettoniche, della qualità e dell'accessibilità degli spazi di vita delle persone, dell'adattamento dell'ambiente alla persona e di tutti gli ausili utili per favorire la piena inclusione sociale delle persone a ridotta autosufficienza, costituiscono temi molto caldi e coinvolgono differenti campi e contesti applicativi.

Il concetto di "progettazione universale" ("Design for All or Universal design") [1] non è nuovo, ma è nato, decenni fa, in campo architettonico dove si riferiva allo sforzo di progettare edifici e spazi pubblici accessibili a tutti, tenendo ben presente le persone che non dispongono di alcune abilità motorie (ad esempio, le persone che si muovono in carrozzina). Col passaggio alla società dell'informazione, caratterizzata dall'enorme sviluppo delle tecnologie informatiche ed elettroniche, l'applicazione dei concetti di progettazione universale non ha più riguardato unicamente la progettazione di ambienti e spazi accessibili ma è stata estesa anche a tutti i prodotti e servizi messi a disposizione della società dallo sviluppo tecnologico, per cui il nuovo concetto di progettazione universale prevede di realizzare non solo ambienti ma anche prodotti e servizi che siano, in generale, "sfruttabili" dal più ampio numero di utenti possibile.

Tuttavia, mentre le conoscenze ed i mezzi disponibili possono essere considerati sufficienti al fine di affrontare e risolvere i problemi di accessibilità degli spazi fisici, ciò non vale per i prodotti della società dell'informazione in cui l'approccio di una progettazione universale deve fare i conti con notevoli barriere tecniche da superare: i problemi principali, infatti, riguardano la fattibilità tecnica e non la volontà politica. Mentre, ad esempio, la realizzazione di una "rampa" risolve alcuni problemi di accessibilità degli spazi e degli ambienti fisici, potendo essere una soluzione ampiamente applicabile e utilizzabile da tutti (persone in carrozzina comprese), pensando alle interazioni con i sistemi informatici non è

possibile, ad esempio, che una stessa interfaccia possa essere utilizzata in ogni applicazione e/o da tutti.

Nonostante ci siano certe analogie e concetti di fondo comuni tra accessibilità architettonica ed accessibilità informatica, nel primo caso ci si riferisce all'ambiente fisico, nel secondo all'ambiente "virtuale" che, sotto la spinta del progresso tecnologico che ha determinato il proliferare di sistemi informatici, sta diventando sempre più ricco di informazioni e complesso.

L'evoluzione della società dell'informazione verso "ambienti intelligenti" in cui, l'intelligenza attualmente associata ai calcolatori viene distribuita negli oggetti che ci circondano, comporta che le persone non siano più solo circondate da calcolatori, ma da "oggetti intelligenti" con i quali interagire per i motivi più svariati. Per fare un esempio, gli elettrodomestici diventeranno oggetti intelligenti, il frigorifero sarà capace di controllare la disponibilità di alimenti e ordinare quelli mancanti, così come il forno potrà suggerire ricette e la lavatrice scegliere autonomamente il programma di lavaggio a seconda del tipo di tessuti...

Mentre nella tradizionale situazione, l'accessibilità "informatica" è percepita essenzialmente come un problema di persone con disabilità sensoriali o motorie di fronte all'uso di un computer, nella nuova concezione in cui è previsto che la tecnologia informatica sia distribuita in maniera pervasiva negli oggetti, molte le persone, e non solo quelle fragili, potrebbero avere problemi dovuti, ad esempio, alla mancanza di alfabetizzazione e familiarità informatica e tecnologica.

Il passaggio dalla società industriale alla società dell'informazione, da un lato ha reso necessari sforzi volti allo sviluppo di strumenti e ausili che permettessero a tutti, per esempio, di poter utilizzare il computer, dall'altro ha contribuito allo sviluppo di sistemi informatici ed elettronici sempre più potenti ed intelligenti che hanno rivoluzionato anche il concetto di "tecnologia assistiva" che può, ora, usufruire del supporto di tutti i nuovi strumenti tecnologici per ottenere risultati migliori da differenti punti di vista. Tale concetto che oggi "sostituisce" o, meglio, include il concetto di ausilio, più discriminante, ha subito evoluzioni nel tempo ed il ruolo delle tecnologie assistive diventa sempre più centrale a causa del loro

significativo contributo per migliorare la vita delle persone, facendole sentire parte viva della società e del mondo produttivo.

La disponibilità di innovativi strumenti tecnologici di supporto ha determinato, infatti, il proliferare di metodologie e approcci, volti all'assistenza e a favorire l'autonomia e il benessere delle persone.

Si sente parlare sempre più spesso di telemedicina, teleassistenza, domotica, "ambient assisted living": si tratta di "strumenti" molto utili che, in generale, hanno lo scopo di favorire il superamento di barriere e ostacoli fornendo supporto nelle attività quotidiane ma, soprattutto, "feedback" sullo stato di salute delle persone.

L'abbattimento delle distanze e la diffusione di sensori a ridotta dimensione, personali o ambientali, dovuti allo sviluppo delle tecnologie di telecomunicazione, delle nano e microtecnologie, rende oggi possibile scenari una volta impensabili per cui un persona può essere continuamente monitorata, in maniera più o meno invasiva, sia nei parametri fisiologici, sia nelle attività quotidiane.

Il tema della necessità di nuovi strumenti assistivi è sempre più caldo ed attuale, da un lato, perché la spinta del progresso tecnologico apre sempre più nuove possibilità e scenari, dall'altro perché la possibilità per l'intero sistema assistenziale di disporre e sfruttare innovativi modelli e strumenti di supporto, rappresenta l'unico modo che permette di affrontare problematiche spesso dovute alla combinazione di fattori diversi, a volte "non controllabili", a volte anche positivi, come, ad esempio, le dinamiche demografiche di bassa natalità e l'aumento della vita media, che rendono, già ora, inapplicabili i tradizionali modelli assistenziali.

Per tutti questi motivi, negli ultimi anni gli ausili tecnologici e, più in generale, i sistemi tecnologici rivolti all'assistenza, si sono specializzati e diversificati sempre più favorendo lo sviluppo di metodologie "nuove" che sfruttano appieno le potenzialità dei moderni sistemi elettronico-informatici.

Un esempio significativo in tale contesto è rappresentato dalla diffusione di sistemi di gestione e controllo ambientale innovativi, basati sulla comunicazione in rete fra i vari oggetti coinvolti nelle attività quotidiane. La possibilità di interagire e comunicare con "oggetti intelligenti" abilita aspettative e scenari che, non solo soddisfano gli obiettivi di accessibilità,

abbattimento barriere e controllo dell'ambiente, ma permettono di favorire approcci orientati soprattutto alla sicurezza e al monitoraggio delle persone, favorendo l'adattamento di sistemi ed ambiente alle più specifiche necessità e facendo in modo che l'ambiente stesso diventi uno strumento "attivo" di assistenza.

Poiché vivere "assistiti" dall'ambiente che ci circonda comporterebbe vantaggi direttamente percepibili non solo dalla persona assistita, ma anche dai familiari, caregiver e, in generale, dall'intero sistema assistenziale, stanno diffondendosi, sempre più, approcci che, considerando la casa un pilastro fondamentale per l'autonomia e la vita indipendente delle persone, cercano di sviluppare soluzioni tecnologiche intelligenti che rendano l'ambiente di vita un utile strumento che, insieme ad altri, favorisca scenari di domiciliarità come elemento di "compensazione" dei problemi che sta affrontando il sistema assistenziale al fine di:

- estendere il periodo in cui le persone possono vivere nel loro ambiente preferito, aumentando la loro autonomia, autosufficienza e mobilità;
- aiutare a mantenere la salute e le capacità funzionali delle persone anziane;
- promuovere stili di vita migliori e più salutari per le persone a rischio;
- aumentare la sicurezza, prevenire l'esclusione sociale e mantenere la rete relazionale delle persone;
- supportare gli operatori, i familiari e le organizzazioni dell'assistenza;
- migliorare l'efficienza e la produttività delle risorse nella società che invecchia.

Quelli appena elencati rappresentano i principali obiettivi dichiarati dall'Associazione Europea Ambient Assisted Living (AAL) volta a supportare e promuovere iniziative e progetti mirati al miglioramento della qualità della vita delle persone fragili (soprattutto anziani e persone a ridotte abilità) sfruttando soluzioni tecnologiche ed innovative basate sull'ICT (Information and Communication Technology) con l'obiettivo di favorire ed

affrontare soprattutto le tematiche del “buon invecchiamento” che, a valle dell’ “Anno Europeo dell’invecchiamento attivo e della solidarietà fra le generazioni” (2012) rappresentano argomenti di particolare interesse, non solo politico, economico e sociale, ma anche scientifico essendo al centro di numerosi programmi di ricerca come, per esempio, la nuova prospettiva europea Horizon 2020.

La struttura di questa tesi è pensata per fornire inizialmente una panoramica sull’AAL (capitolo 1) mettendo in evidenza i vantaggi di una casa “intelligente” ed i potenziali servizi che essa abilita (capitolo 2). Successivamente, vengono descritte tutte le attività svolte durante il dottorato, partendo dalla presentazione del sistema domotico CARDEA e di tutte le integrazioni apportate al sistema stesso per abilitare lo studio di analisi comportamentale (capitolo 3), tema centrale affrontato in questo lavoro. L’attività di tesi ha, infatti, l’obiettivo di integrare capacità di analisi comportamentale in CARDEA sfruttando l’insieme dei dati registrati e resi disponibili dal sistema stesso per tracciare profili comportamentali che potranno, a loro volta, essere utilizzati per sviluppare capacità diagnostiche, preventive e di predizione che ne aumenterebbero l’intelligenza. Sono descritti una serie di esperimenti eseguiti sui dati reali che dimostrano la validità dell’approccio e viene proposto, come esempio, un algoritmo utile per predire e prevenire un problema (capitoli 4, 5). Vengono, infine, tratte le conclusioni e descritti gli sviluppi futuri previsti dalla ricerca.

Capitolo 1

Ambient Assisted Living

1.1 L'ambiente intelligente come strumento di supporto all'assistenza

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 istituito attraverso l’articolo 169 del Trattato 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.



Figura 1.1: Logo Ambient Assisted Living

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.

1.2 Motivazioni economiche, politiche e sociali

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.

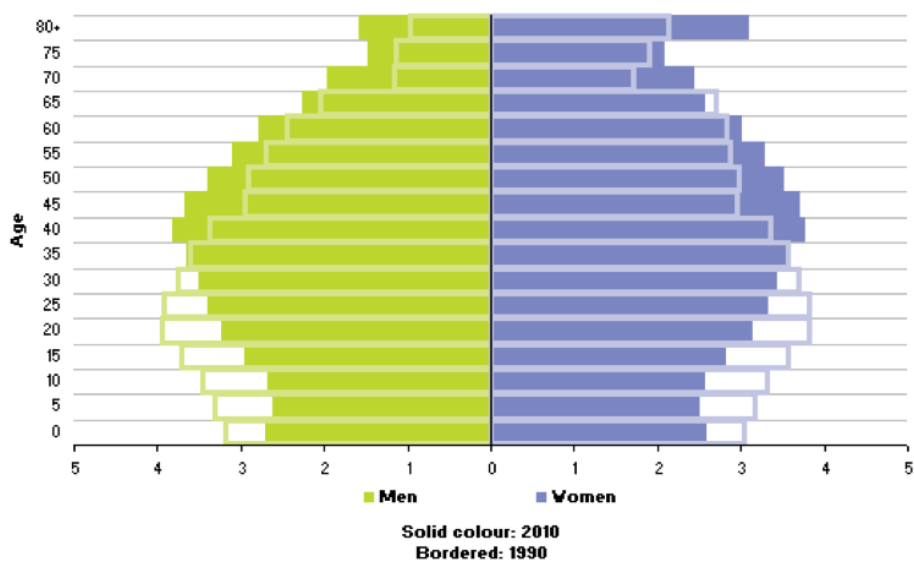


Figura 1.2: Piramide della popolazione europea, 27 nazioni, dal 1990 al 2010

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.

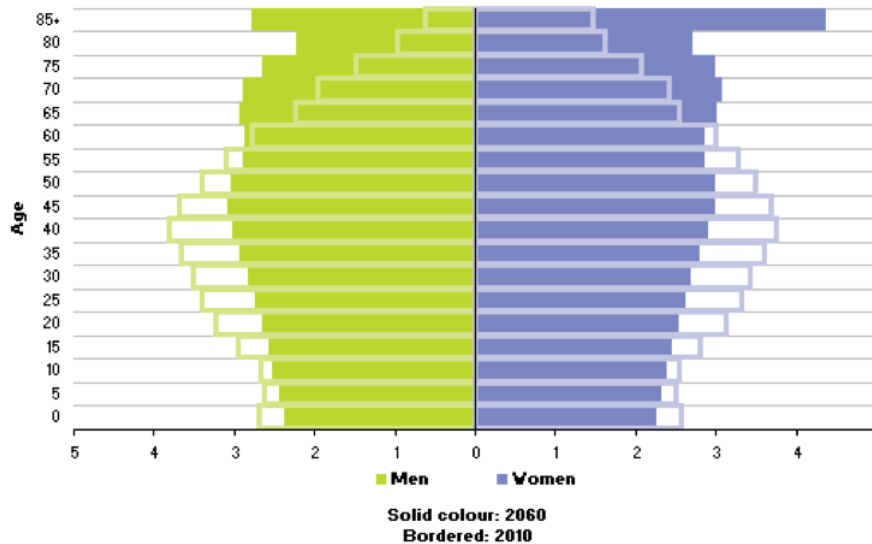


Figura 1.3: Previsione della piramide della popolazione europea, 27 nazioni, dal 2010 al 2060

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.

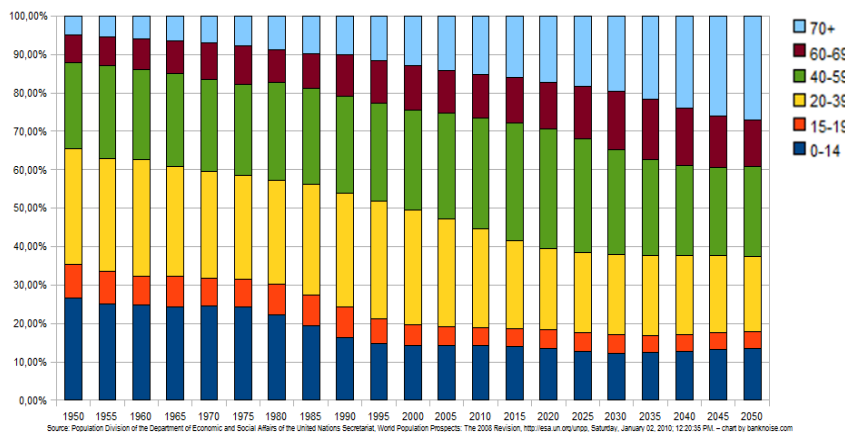


Figura 1.4: Distribuzione in percentuale della popolazione italiana dal 1900 al 2050

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.

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 proviamo a fare un ragionamento analogo, considerando stavolta il sistema assistenziale, capiamo 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 ambiente 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, sostanzialmente, 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.

Capitolo 2

Analisi comportamentale in contesti

AAL

2.1 Il contesto

La tecnologia è ormai matura e l'attenzione si sposta sempre più sulla persona ("user-centered") cercando di fornire supporto durante lo svolgimento delle attività quotidiane, facilitando i compiti o segnalando e intervenendo opportunamente nei casi di emergenza e pericolo. Tutto ciò è reso possibile dalla diffusione di sensori di ridottissime dimensioni e basso costo che permettono di fare cose che una volta erano impensabili: è possibile, ad esempio, rilevare in qualsiasi momento se si verifica un'emergenza ambientale, piuttosto che una caduta o una qualsiasi anomalia fisiologica. E tutto grazie allo sviluppo tecnologico che rende disponibili sistemi di capacità sempre più elevate in grado di rilevare e gestire (monitorare, registrare, elaborare, comunicare, ...) tutto quello che avviene all'interno di un ambiente controllato.

Grazie ai moderni sistemi di comunicazione esiste, oggi, la possibilità di pensare ad un altro modello di assistenza concepito in maniera diversa da quello tradizionale: la "tele-assistenza" resa possibile dalla disponibilità di strumenti di "autodiagnosi" (pressione, temperatura, glicemia e altri parametri fisiologici) che, connettendosi facilmente ad un PC (anche a casa propria), permettono di realizzare dei sistemi di "tele-medicina" [2] [3] [4] in cui il medico (o caregiver) riceve periodicamente o in tempo reale informazioni cliniche del paziente al fine di intervenire in casi di anomalie o, più semplicemente, a causa di normali evoluzioni fisiologiche. Sistemi del genere permettono di fare diagnosi a distanza più rapidamente, con

evidenti vantaggi in termini di riduzione di tempo e spostamenti, sia per il medico che per il paziente.

Oggi esistono, dunque, tecnologie anche molto sofisticate di monitoraggio diretto che si basano sull'impiego di sensori medicali che forniscono informazioni direttamente interpretabili relative alla salute di una persona. Tuttavia, a causa dei costi ma soprattutto per l'invasività introdotta (vengono utilizzati sensori indossabili) tali approcci sono impiegati solo in contesti in cui le necessità non permettono l'impiego di altre soluzioni o in contesti specifici (sportivi).

Nonostante l'efficacia di certi strumenti di monitoraggio capaci di rilevare informazioni direttamente correlabili alla salute delle persone, tali approcci non sono 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.

Tutta la tecnologia oggi disponibile, più o meno invasiva e costosa, può essere, dunque, sfruttata al fine di monitorare sia i parametri fisiologici (continuativamente ed intensivamente), sia il comportamento (e relative

variazioni) delle persone. A seconda dell'obiettivo, gli strumenti ed i sensori utilizzati saranno più o meno costosi ed invasivi: in generale, occorre impiegare un approccio ibrido che sfrutti i dati provenienti da sensori ambientali per inferire anomalie comportamentali e, in questo caso, verrà eventualmente suggerita (dal sistema) la misurazione di qualche parametro fisiologico, tramite l'impiego di adeguati strumenti medicali o la supervisione di personale specializzato.

2.2 L'analisi comportamentale

L'intelligenza di cui un ambiente può essere dotato tramite le tecnologie moderne ha portato miglioramenti delle condizioni e dei livelli di vita indipendente delle persone fragili (soprattutto anziani e soggetti con disabilità) che necessitano di particolare supporto sia fisico che cognitivo [5].

Tuttavia, le esigenze evolvono e, soprattutto nel caso di persone anziane, le condizioni di salute possono peggiorare, anche rapidamente, e ciò comporta ogni volta (fin dove è possibile) adattamenti dei sistemi e degli strumenti alle nuove necessità subentrate, in modo da cercare di continuare a garantire l'autonomia della persona quanto più a lungo possibile.

Alcuni eventi negativi, specialmente quelli imprevisi, possono avere conseguenze tali da rendere nulle le capacità residue di una persona e ciò comporta, purtroppo, la perdita d'autonomia e d'indipendenza (ricoveri ed ospedalizzazioni).

Può, dunque, essere utile "prevedere" un problema incipiente in quanto ciò permetterebbe, se non di evitarlo, sicuramente di minimizzare le conseguenze negative ed evitare che possano essere compromesse altre funzioni non direttamente coinvolte nell'evento. Prevedere il verificarsi di un problema potrebbe, dunque, permettere di intraprendere una serie di azioni volte a minimizzare i suoi effetti negativi e, quando possibile, alla prevenzione.

Come predire?

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 [6] [7].

Sono venuti fuori alcuni dei principali motivi per cui può effettivamente essere utile studiare il comportamento degli occupanti, in generale, di un edificio: 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 [8] [9] [10].

Motivi adattativi e di comfort. La possibilità di “apprendere” le abitudini di una persona potrebbe permettere di intervenire per ridurre la necessità di compiere azioni ripetitive e periodiche. Se, ad esempio, una persona che si sveglia regolarmente alle 08:00, appena si alza tira su la tapparella e accende la macchinetta del caffè, un sistema di automazione domestica intelligente potrebbe “sviluppare dinamicamente” una regola per cui alcune o tutte queste cose possano essere automaticamente svolte all'occorrenza. E,

nel caso di persone anziane o con disabilità, tutto ciò sarebbe molto utile per ridurre le possibilità di errori ed evitare affaticamenti inutili. Ciò rappresenta solo un semplice esempio che ha lo scopo di rendere l'idea delle potenzialità dell'approccio che, in generale, prevede adattamenti dell'ambiente e dei sistemi in funzione delle necessità, delle abitudini e delle evoluzioni comportamentali delle persone al fine di sviluppare funzioni e fornire servizi sempre più personalizzati e più utili.

Motivi di sicurezza, predizione e clinici. La possibilità di disporre di una miriade di informazioni provenienti dall'ambiente e dalle persone che lo vivono permette di estrarre ed elaborare indicatori di attività globali o specifici che riguardano il comportamento di una persona all'interno del proprio ambiente domestico [11]. La creazione di profili comportamentali è un'attività complessa ma può condurre allo sviluppo di algoritmi di elaborazione delle informazioni ambientali e personali fornite dai diversi sensori (elementari e più complessi) distribuiti in un ambiente e/o indossabili, con l'obiettivo di estrapolare informazioni specifiche o, più in generale, indici di attività, andamenti comportamentali e variazioni relative significative. Scostamenti imprevisti ed eccessivi dagli "abitudinari" schemi comportamentali possono essere interpretati come condizioni di "attenzione" che, in quanto tali, possono essere indirizzate al familiare, al caregiver o al medico che si occupa della salute e del benessere della persona, prima che possa insorgere un potenziale problema.

Molti sono gli studi che si pongono come obiettivo quello di monitorare ed elaborare i dati forniti da un sistema capace di rilevare e registrare informazioni ambientali e personali, per cercare di gestire al meglio situazioni critiche allertando opportunamente il soggetto monitorato e/o il caregiver.

La possibilità di fare monitoraggio continuo, registrare e avere traccia di tutti gli eventi che si verificano all'interno di un ambiente domestico ha il vantaggio di favorire valutazioni meno soggettive: in molti casi, infatti, i cambiamenti comportamentali sono gradualmente e lenti, non facilmente percepibili dall'occhio umano. A volte possono verificarsi durante la notte e anche in questo caso sfuggirebbero agli operatori o caregiver addetti alla

“sorveglianza” del paziente [12]. E’ per questo motivo che stanno, sempre più, riscuotendo successo, in strutture ospedaliere specializzate [13] ma soprattutto in strutture domiciliari [14], metodologie che, tramite il monitoraggio continuo dell’ambiente e della persona, forniscono utili informazioni che possono permettere di effettuare valutazioni comportamentali più oggettive e complete.

Gli approcci sono svariati e multidisciplinari, tuttavia, ognuno ha un preciso obiettivo e sfrutta gli strumenti adeguati per favorirne il raggiungimento.

E’, anche in questo caso, una questione di “trade-off” dove fattori come costo, invasività e privacy entrano in gioco e vanno pesati nella maniera più opportuna a seconda dell’obiettivo da perseguire e delle necessità.

Le metodologie che si pongono l’obiettivo di studiare il comportamento della persona sono differenti, alcune più dirette, che prevedono l’utilizzo di strumenti magari più invasivi e costosi (sensori indossabili specializzati, sistemi di visione sofisticati, ...) e altri indiretti, meno invasivi e meno costosi, basati sull’analisi “in background” dei dati che i sensori ambientali tradizionali, magari già esistenti in quanto installati in una casa per altri motivi, rilevano e registrano quotidianamente. Le tipologie di approcci appena descritte hanno evidentemente obiettivi diversi, impiegano risorse diverse e richiedono oneri diversi per l’utente ma sono accomunati, tuttavia, dal fatto che entrambi cercano di monitorare il comportamento (in termini di indicatori di attività complessiva o specifica) delle persone all’interno di un ambiente opportunamente attrezzato, ottenendo informazioni (più o meno quantitative) che potrebbero essere utili ai fini diagnostici, predittivi e preventivi [8] [9] [10].

2.3 Una panoramica sugli strumenti e sulle metodologie

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 [15] (sia medicali che non), altri, invece, sfruttano sensori audio-video [16] [17] 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 [18] [19] [20].

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.

2.3.1 Sensori

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 [21] [22].

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 [23] 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 [24] [25], 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 [26] [27] ma anche per ottenere indici riguardanti la qualità dell'attività svolta (analisi qualità del sonno [25],

equilibrio e prevenzione dalle cadute [28]). 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 [15], diffuse grazie ai risultati raggiunti nel campo delle telecomunicazioni che, oggi, rendono disponibili tecnologie di comunicazione, anche wireless, molto affidabili ed efficienti.

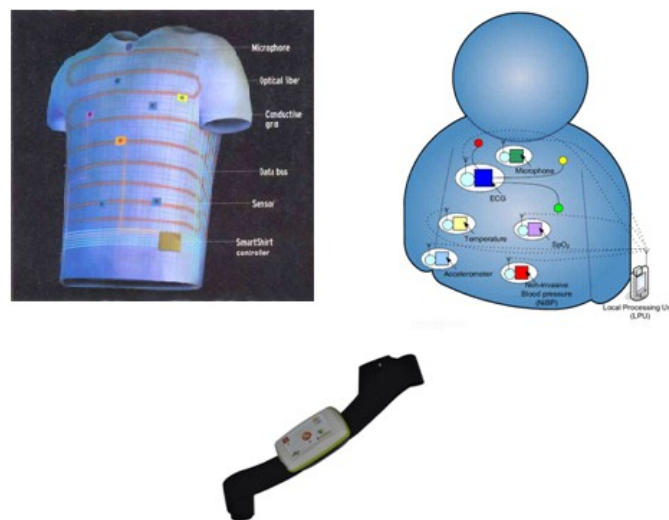


Figura 2.1: Sensori indossabili

Come mostra la figura precedente 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 [15] [29].

Analogamente, esistono oggi sistemi di visione che sfruttano sensori video [30] capaci di riconoscere l'attività che una persona sta svolgendo per monitorare il comportamento e identificare situazioni di pericolo (ad esempio, le cadute [31]).

Approcci "ibridi", inoltre, utilizzano sia sensori indossabili che sensori video per fare valutazioni più complete e specifiche [17].

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 [32], 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 [33] [34].

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 [35]. 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.

2.3.2 Metodologie

Quali tipologie di strumenti e metodologie sono più adatte ad un utente? O, più in generale, quali sono le necessità dell'utente e gli obiettivi da perseguire?

La risposta a queste domande seleziona approcci, metodologie e strumenti volti all'acquisizione di informazioni quantitative e qualitative relative alle attività di un soggetto ed alle sue abitudini, utili per effettuare valutazioni specifiche, magari cliniche, o per individuare regolarità e variazioni di andamenti comportamentali più "complessive".

A seconda degli obiettivi prefissati, gli approcci possono essere più o meno invasivi e costosi dipendentemente dagli strumenti impiegati (“weareble, video and environmental sensors”) e dalla richiesta o meno di supervisione e collaborazione da parte degli utenti (“supervised, unsupervised approach”). In ogni caso, hanno tutti in comune il fatto di voler studiare i dati che sensori, opportunamente impiegati, forniscono riguardo alla persona e all’ambiente. E’ questa, infatti, la nuova sfida scientifica: cercare di sfruttare al meglio la grossa quantità di informazioni disponibili che, seppure in forma grezza ed eterogenea, contiene segni che evidenziano l’intrinseca natura periodica di attività e comportamenti delle persone durante la loro vita quotidiana [30].

La capacità di poter “apprendere” le abitudini e i comportamenti di un soggetto può avere vantaggi predittivi e adattativi che permetterebbero, rispettivamente, di intervenire preventivamente in casi di problemi incipienti e di adattare sistemi e ambiente (automaticamente) alle nuove necessità.

Tuttavia, necessitano sforzi di interpretazione che prevedono l’applicazione di filtri e algoritmi di elaborazione al fine di ridurre il rumore presente nelle informazioni rilevate dai sensori ed evidenziarne le caratteristiche più significative. Questo aspetto rappresenta un altro fattore che distingue le tecniche di data-cleaning [36], data-fusion [37] e, più in generale, di data-mining [9] [38] utilizzate per estrapolare, dai dati collezionati tramite i sensori impiegati in un ambiente intelligente, caratteristiche significative e, in generale, conoscenza da sfruttare per istruire device e sistemi e dotarli di funzioni di predizione e apprendimento che li renderebbero adattabili alle dinamiche esigenze delle persone e capaci di fornire utili indicazioni riguardanti eventuali cautele da impiegare.

I sistemi che si occupano di fare riconoscimento di eventi e attività con l’obiettivo di monitorare parametri fisiologici e comportamentali delle persone, hanno tre componenti principali [39] come mostra la figura riportata di seguito.

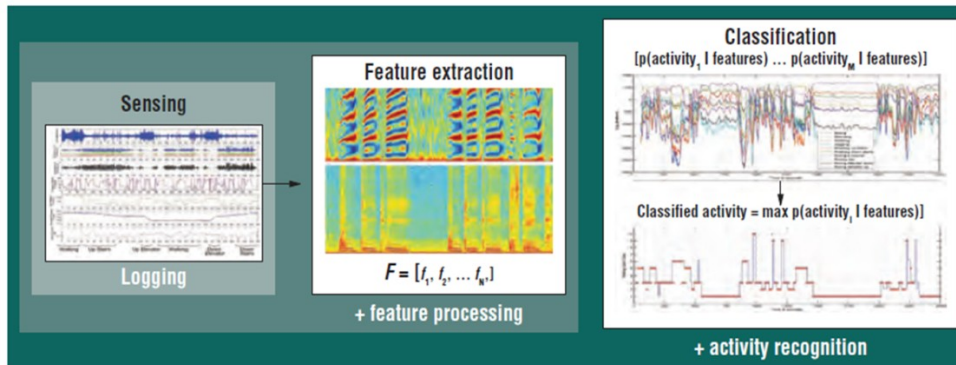


Figura 2.2: Architettura generale data-mining (“unsupervised”)

Un componente permette di accumulare e memorizzare permanentemente le informazioni continuamente rilevate dai differenti sensori (ambientali, video, audio, indossabili, ...) utilizzati.

Un altro componente ha il compito di elaborare i dati grezzi per estrarre caratteristiche e fornire informazioni di più alto livello, più interpretabili e utili in quanto più direttamente connesse alle attività e al comportamento della persona.

Infine, un componente che, sfruttando le caratteristiche elaborate e selezionate dal componente precedente, permette di riconoscere un'attività o un comportamento al fine di controllarne regolarità e anomalie.

Di seguito è riportata un'altra rappresentazione, analoga a quella mostrata nella figura precedente, in cui compare, in più, una fase che prevede di “annotare” gli eventi manualmente (da parte dell'utente e/o del caregiver).

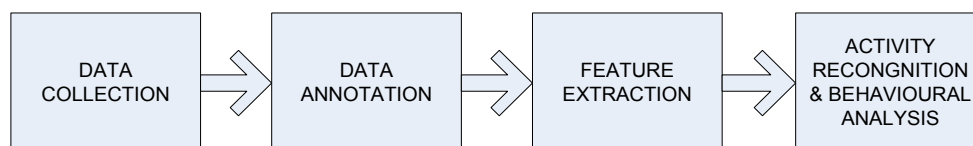


Figura 2.3: Architetture generale data-mining (“supervised”)

Il processo di “labeling” delle attività e degli eventi occorsi, molto utile soprattutto per “addestrare” gli algoritmi di apprendimento (“training”) per scopi di machine learning, è tipico di certi approcci classificati come “supervised learning” [40] proprio perché prevedono la “supervisione” dell’utente nella fase di “data annotation”. Tuttavia, nella vita reale, si verificano un certo numero di attività non usuali che, spesso, risultano difficili da osservare ed etichettare; essendo, inoltre, il processo di labeling lungo e laborioso e necessitando della collaborazione dell’utente che, spesso, non gradisce la cosa, stanno riscuotendo sempre maggiore interesse approcci definiti come “unsupervised learning” che cercano di eliminare la necessità di dover interagire con l’utente non pretendendo di fargli svolgere l’attività di labeling [41] ma delegando questo compito a sistemi automatici che utilizzano, ad esempio, sensori ambientali, video, audio, ecc... Esistono anche approcci ibridi che prevedono che l’attività di labeling sia effettuata solo su un ridottissimo campione di attività scelte, di volta in volta, in maniera random o secondo algoritmi opportuni [42] al fine di rendere l’approccio meno invasivo e, quindi, più pratico.

La figura riportata di seguito mostra un’architettura generale di un sistema di AAL volto all’activity recognition e all’analisi comportamentale dove sono messi in evidenza alcuni componenti fondamentali:

- a. Rete di sensori video, indossabili (fisiologici), ambientali (sensori di sicurezza, di movimento, da poltrona, letto, ...)
- b. Gestore delle emergenze e delle richieste di soccorso
- c. Database che consente la memorizzazione delle informazioni provenienti dai sensori e le rende disponibili per analisi real time e successive
- d. Motore di elaborazione e ragionamento che, sfruttando i dati rilevati provenienti dai diversi sensori e raccolti nel database, permette di fare vari tipi di elaborazioni e analisi riguardanti attività e comportamenti.

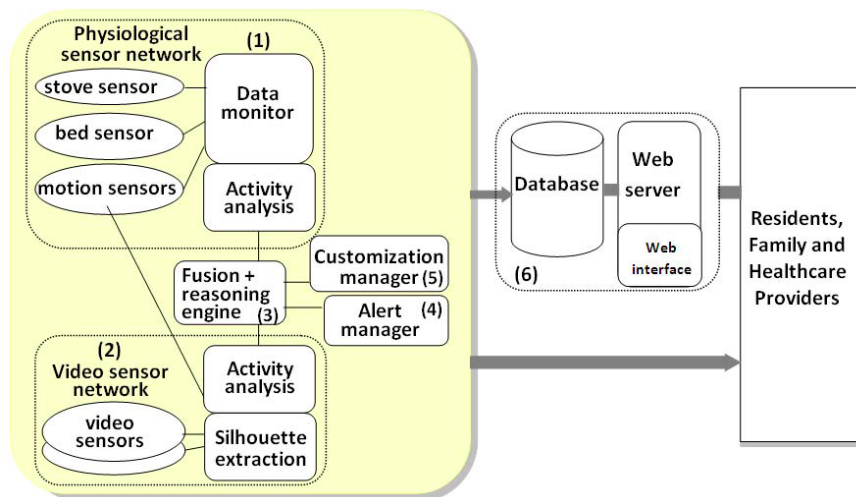


Figura 2.4: Architettura sistema AAL

Il punto a) ha influenza diretta sul punto d): a seconda, infatti, della tipologia di sensoristica utilizzata, gli approcci e le metodologie di monitoraggio e analisi comportamentale possono essere molto diversi. L'utilizzo di strumenti più o meno specifici può abilitare, ad esempio, analisi dirette [14] (quantitative) piuttosto che valutazioni indirette [19], spesso meno invasive e meno costose, che permettono, in ogni caso, di ottenere utili informazioni (qualitative) riguardanti lo stato di benessere delle persone.

2.3.3 Metodologie dirette e indirette

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 [9] [15] 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 [43]. 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 [28] o i cicli di veglia-sonno [25].

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 [2] [44] [45] [46].

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.

Tuttavia, per motivi di invasività e costi, approcci di questo tipo risultano poco pratici e sono per questo, come già detto, impiegati soprattutto in contesti specifici.

Risultano, invece, sempre di maggiore diffusione ed interesse scientifico metodologie completamente non invasive e "indirette" che si pongono l'obiettivo di fare analisi e valutazioni che, seppure differenti da quelle effettuate tramite approcci più diretti, possono essere significative ed altrettanto utili.

Lo sviluppo e la diffusione dei sistemi di controllo ambientale [22] [47] [48] 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 [49] 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 [50].

La possibilità di poter fare valutazioni analoghe a quelle dell'esempio precedente, sfruttando le informazioni provenienti da differenti sensori ambientali crea aspettative interessanti per quanti lavorano nel campo del riconoscimento delle attività e dell'analisi comportamentale.

Tuttavia, le informazioni grezze disponibili, provenienti dall'interazione delle persone con l'ambiente, sono spesso "rumorose", ridondanti e contraddittorie, per cui necessitano tecniche di filtraggio e di fusione dei dati utili per l'individuazione di caratteristiche comportamentali e per

rendere le informazioni interpretabili e soprattutto affidabili per evitare falsi allarmi.

Nonostante i molti problemi pratici di gestione, dovuti alla molteplicità e alla eterogeneità delle informazioni che le diverse tipologie di sensori ambientali possono rilevare, applicazioni e studi di questo genere sono molto ricorrenti nella letteratura scientifica recente a causa delle interessanti potenzialità sia in termini di pervasività che di utilità: in maniera completamente non invasiva e “gratuita”, infatti, lo studio dei dati ambientali provenienti da sensori installati principalmente per scopi di automazione e controllo, considerati nel loro complesso e nel tempo, permette di estrapolare i chiari segni di natura periodica intrinseci di certe attività della vita quotidiana. La possibilità di monitoraggio della regolarità e delle variazioni di queste attività può permettere l’individuazione precoce di anomalie che potrebbero costituire un’utile indicazione per evitare un problema prossimo.

Le tecniche di analisi comportamentale indirette, sebbene non permettano di fare valutazioni istantanee in quanto i sensori utilizzati non forniscono informazioni direttamente correlabili alla salute (per evitare, volutamente, di utilizzare sensori ad hoc, costosi e/o invasivi), stanno rivelandosi promettenti strumenti di supporto per fare valutazioni comportamentali di breve e lungo periodo da essere sempre più al centro di sperimentazioni scientifiche volte a dimostrarne la praticità, la validità e l’utilità per riconoscere precocemente malattie e declini.

2.3.4 Analisi comportamentale indiretta: applicazioni ed algoritmi

Le potenzialità degli approcci orientati all’analisi comportamentale attraverso lo studio delle informazioni prodotte dall’interazione delle persone con l’ambiente hanno portato alla diffusione di molti studi volti al riconoscimento precoce di declini funzionali e/o cognitivi.

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” [19]. 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 [35] [44] [51] [52] [53] [54] [55].

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”, ...) [35] [54] [56], il cui monitoraggio continuo può condurre all’individuazione di indici di attività utili per fare valutazioni di breve [18] ma soprattutto di lungo periodo [55] [57] [58].

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) [59] [60], 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 [10] [61] [62].

La possibilità di ottenere, in maniera completamente non invasiva, informazioni continue e oggettive rende questi approcci utili anche per il monitoraggio di pazienti convalescenti [61] al fine di tenere sotto controllo eventuali ricadute o conseguenze.

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.

Poiché la grossa mole di dati disponibili presenta, spesso, informazioni ridondanti, contraddittorie, variabili ed eterogenee sono solitamente impiegate tecniche di data cleaning e data fusion volte a rendere le informazioni grezze più interpretabili e ad estrapolare caratteristiche significative di alto livello più correlabili al comportamento ed alla salute delle persone [37] [63].

Tutti i sensori impiegati principalmente per scopi di controllo e automazione possono fornire, se opportunamente considerati, indicazioni di attività più o meno qualitative. Ogni sensore, infatti, ha uno scopo principale e per questo è rivolto all'acquisizione di informazioni di un certo tipo, a volte molto differenti da quelle che può fornire un altro sensore.

E' evidente che meccanismi basati su semplici somme e medie di dati di questo tipo risultano poco utili in quanto, ad esempio, gli eventi dovuti all'apertura/chiusura di porte e finestre sono trascurabili se considerati rispetto a quelli rilevati da un sensore di movimento.

La forte variabilità delle informazioni disponibili dovuta sia alla eterogeneità di sensori, sia alla soggettività dei comportamenti (nel tempo variano anche i comportamenti di una stessa persona) necessita sia di metodi che di strumenti "ad hoc" che permettano di gestire la complessità introdotta da tutti i fattori citati.

La difficoltà di ricondurre le informazioni grezze provenienti dai sensori ad indicatori di comportamento e attività, passa per tecniche di fusione e data-mining dei dati capaci di gestire la molteplicità e l'eterogeneità, caratteristiche delle informazioni prodotte dall'interazione della persona con l'ambiente [37] [64] [65] [66].

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 [37] [41] [64], all'uso di tecniche più orientate all'intelligenza artificiale utili soprattutto per scopi di apprendimento e predizione [38] [67]. 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 [41] [68].

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 [20]) di supporto per fare valutazioni ed analisi a posteriori e retrospettive volte all'individuazione di irregolarità e anomalie [69] 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.

Capitolo 3

CARDEA: un sistema di Ambient Assisted Living

3.1 I sistemi di automazione domestica tradizionali

Con riferimento alle tematiche di assistenza ambientale alla vita domestica delle persone ed alle problematiche dovute alla crescente necessità di assistenza, monitoraggio e controllo di persone a ridotta autosufficienza, un contributo essenziale è rappresentato dalla disponibilità di sistemi di gestione ambientale che, sfruttando meccanismi innovativi di comunicazione ed interazione fra i vari oggetti domestici (ma anche fra ambiente e persone), possono risultare utili strumenti per migliorare i livelli di autonomia ed indipendenza di persone fragili durante la loro vita domestica, favorendo la domiciliarità come supporto al sistema assistenziale.

Reti domotiche sono presenti da tempo sul mercato, con diffusione sempre crescente: tuttavia, i sistemi di domotica convenzionali soffrono di limitazioni che li rendono poco adatti all'implementazione di funzionalità assistive. La domotica tradizionale, infatti, è concepita principalmente per essere dedicata a contesti residenziali di fascia alta e, per questo, mira all'implementazione di funzioni dedicate al comfort ed alla gestione integrata ed efficiente degli impianti. Tali caratteristiche non sono, tuttavia, sufficienti per lo sviluppo di funzioni (anche semplici) dedicate all'assistenza di persone anziane o con limitata autosufficienza a causa di molteplici problemi legati, ad esempio, ai costi, alla chiusura ed alla ridotta flessibilità ed adattabilità dei sistemi all'evolversi ed al mutare delle esigenze. La maggior parte dei sistemi domotici è, infatti, basata su standard

di comunicazione (bus e protocolli) dedicati e proprietari, con conseguenti ricadute negative in termini di aumento dei costi e delle difficoltà di aggiornamento ed espansione della rete domestica oltre certi limiti previsti, solitamente, dallo specifico produttore. La scarsa flessibilità, apertura e possibilità di “adattamento” è particolarmente limitativa nel contesto assistivo, soprattutto nel caso di persone anziane, le cui necessità sono fortemente variabili nel tempo a causa dei naturali declini fisiologici (motori e cognitivi) legati all’avanzare dell’età.

Molti prodotti specificamente rivolti alla teleassistenza, al telesoccorso e alla telemedicina, inoltre, sono ancora concepiti come dispositivi autonomi, basati su tecnologie chiuse e stand alone e, quindi, non facilmente integrabili in un unico ed ampio ambiente di gestione, supervisione e controllo, specialmente se questo non è stato progettato con particolare attenzione a quelle caratteristiche di apertura che consentono una “personalizzazione” nel tempo delle funzioni e dei servizi forniti in base all’evolversi delle esigenze dell’utente.

Apertura, scalabilità ed abbattimento dei costi rappresentano, infatti, requisiti importanti da rispettare per soddisfare le numerose e variabili necessità del settore assistivo.

Una strategia che, negli ultimi tempi, si sta rivelando utile, soprattutto in termini di riduzione dei costi, consiste nel far convergere diversi servizi verso un’unica, comune, infrastruttura tecnologica come, ad esempio, Internet verso cui attualmente convergono molteplici servizi resi più pervasivi e meno costosi: si pensi al traffico telefonico che avviene in modalità VoIP ed ai numerosi canali televisivi erogati tramite i-TV, ma anche agli impianti industriali che sfruttano gli stessi canali e protocolli utilizzati per la trasmissione di dati informatici (reti Ethernet basate su IP). Tuttavia, le possibilità di una “condivisione” dell’infrastruttura e di una simile convergenza non si riscontrano ancora per gli impianti di automazione e assistenza domestica: per esempio, alcuni sistemi forniscono funzionalità via Internet per il controllo remoto tramite opportuni dispositivi di interfaccia che si traducono, immediatamente, in un incremento dei costi. Potrebbe risultare più efficiente sfruttare la rete internet, oltre che per la

comunicazione verso il mondo esterno, anche per la comunicazione locale della rete domestica in quanto l'impiego di tecnologie di larghissima diffusione consentirebbe una riduzione significativa dei costi e, allo stesso tempo, garantirebbe interoperabilità con una ampia varietà di dispositivi IP-compatibili.

In generale, i sistemi domotici tradizionali sono tipicamente pensati per fornire servizi di comfort o di integrazione del controllo degli impianti domestici nell'edilizia di fascia alta; tali sistemi non si adattano bene a contesti assistivi in cui non si deve rispondere a problemi "standard" ma dove è necessaria un'ampia flessibilità ed apertura per poter adattare le funzioni alle esigenze, diversificate e variabili nel tempo, di persone con limitata autosufficienza.

3.2 CARDEA: un innovativo sistema di domotica assistiva

Tutte le osservazioni fatte nel paragrafo precedente rappresentano le motivazioni che hanno spinto il centro TAU (Centro delle Tecnologie Assistive dell'Università di Parma) verso lo sviluppo di CARDEA¹, un sistema di "domotica assistiva" cosiddetto perché particolarmente pensato per supportare le persone anziane e fragili a vivere autonomamente e più a lungo possibile all'interno della propria casa e, per questi motivi, fortemente affidabile, aperto e predisposto ad adattamenti e personalizzazioni in funzione delle dinamiche necessità tipiche dell'utenza a cui si rivolge.

Il sistema è, infatti, basato su tecnologie che fanno riferimento a standard aperti e di elevatissima diffusione: in particolare, CARDEA non richiede di sviluppare una rete autonoma per la gestione dei servizi domestici, ma

¹ CARDEA (Computer-Aided, Rule-based Domestic Environment Assistant), nella mitologia romana dea dell'ambiente domestico, a protezione delle porte di casa, citata da Ovidio (Fasti, libro VI): "*numine clausa aperit, claudit aperta suo*" [grazie ai suoi poteri divini, apre ciò che è chiuso, chiude ciò che è aperto].

“condivide” le funzionalità della rete LAN, eventualmente presente per altri motivi, senza peggiorare o incidere in maniera significativa sulle prestazioni. Più precisamente, il sistema sfrutta “ethernet” sia per la comunicazione verso il mondo esterno che per la comunicazione locale (ovvero, fra i vari componenti intelligenti del sistema). Il sistema CARDEA implementa, quindi, una visione di convergenza delle tecnologie di gestione ambientale analoga a quella che si sta verificando, per esempio nel settore della telefonia (VoIP) e dell'intrattenimento (internet-TV).

La figura successiva mostra l'architettura del sistema CARDEA che può, tuttavia, essere “dimensionato” a seconda delle necessità ed adattarsi a reti minime (nel caso di piccole unità abitative) e a reti più ampie (nel caso di complessi abitativi come strutture e residenze) in cui la gerarchia della rete si estende ai livelli superiori.

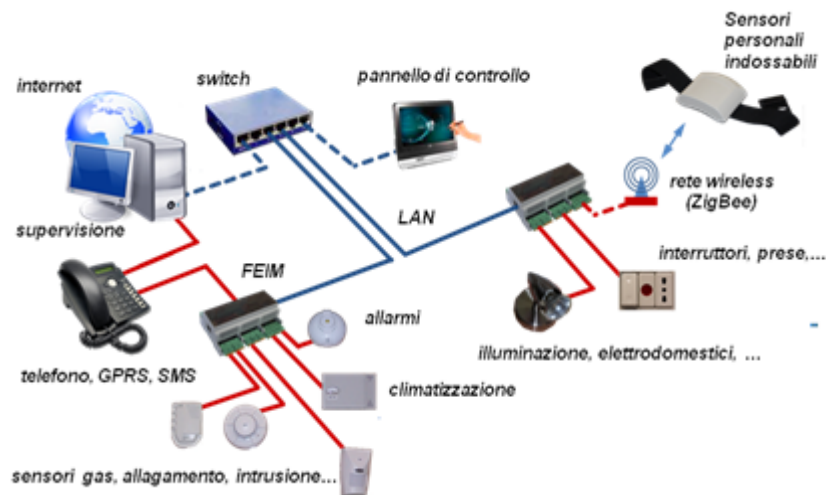


Figura 3.1: Architettura del sistema CARDEA

L'utilizzo di protocolli di comunicazione Internet (IP, Internet Protocol) per la distribuzione dei servizi domestici favorisce la riduzione dei costi e, allo stesso tempo, garantisce apertura verso una vasta gamma di dispositivi che, potendo essere facilmente integrati nel sistema, permettono di adattare ed ampliare le funzionalità disponibili per soddisfare l'evolvere delle esigenze.

CARDEA prevede di utilizzare per l'interazione con l'ambiente, dispositivi convenzionali, non dedicati ad applicazioni domotiche o dotati di intelligenza e connettività propria (se non dove necessario come, ad esempio, per le installazioni wireless in cui i moduli comunicano basandosi su tecnologia ZigBee). Vengono utilizzati tutti i dispositivi (interruttori, pulsanti, sensori, utilizzatori) di uso comune negli ambienti domestici, con evidenti benefici in termini di costi e maggiore familiarità per gli utenti. La gestione della comunicazione è delegata ad una interfaccia intelligente (FEIM, Field Ethernet Interface Module), capace di fornire un canale di comunicazione bidirezionale fra gli oggetti periferici di campo ed i componenti di supervisione di più alto livello, permettendo lo scambio di informazioni di stato e di controllo per mezzo della rete ethernet.

Il sistema CARDEA è definito come un sistema di domotica assistiva perché, oltre ad essere capace di realizzare tutte le funzionalità di controllo ambientale e domestico fornite da un sistema di domotica tradizionale (controllo dell'impianto di illuminazione, gestione delle automazioni e degli impianti di climatizzazione, controllo degli utilizzatori elettrici, ...), è particolarmente attento alle tematiche di sicurezza, affidabilità e monitoraggio continuo dell'ambiente e delle persone impiegando sensori ambientali ma anche indossabili. Sensori indossabili possono, infatti, integrare le informazioni "ambientali" rilevate dal sistema CARDEA con informazioni "personali", convergendo in un unico contesto informativo decisamente più ricco ed articolato.

3.3 CARDEAweb: il modulo integrativo di estensione ad Internet

Il sistema CARDEA gestisce in maniera innovativa la comunicazione e la supervisione locale dei dispositivi domestici, ed è intrinsecamente aperto e predisposto a forme innovative di comunicazione e controllo remoto.

Tuttavia, la comunicazione remota veniva inizialmente implementata in CARDEA attraverso connessioni VPN (Rete Privata Virtuale) tramite cui era possibile accedere da remoto alle funzioni di gestione e monitoraggio locali. Tale approccio, per quanto pienamente funzionale, presentava alcuni limiti di espandibilità ed applicabilità a servizi futuri richiedendo all'utilizzatore l'impiego di software dedicato (VPN client), limitando quindi la varietà dei terminali dai quali accedere al servizio. Sostanzialmente, la comunicazione remota implementata risultava di difficile utilizzo da parte di operatori con scarse competenze informatiche, come potrebbero essere gli operatori socio-sanitari incaricati del monitoraggio di una struttura residenziale per anziani, oppure un parente che voglia verificare da remoto le condizioni di benessere di un proprio familiare.

La prima necessità è stata, dunque, quella di sviluppare un modulo di controllo web del sistema CARDEA indispensabile per fornire al sistema un canale di comunicazione web-based, bidirezionale (capace cioè di acquisire informazioni dall'ambiente, ma anche di intervenire attivamente sulle funzioni domestiche), sicuro ed affidabile, in grado di estendere le funzionalità di controllo e di monitoraggio ambientale specifiche di CARDEA all'ambiente Internet, abilitando funzioni di gestione remota tramite terminali fissi (PC) e mobili (telefoni cellulari, smart-phone, ...).

La possibilità di un controllo remoto basato su un semplice pannello di controllo utilizzabile dal web mediante un qualsiasi web-browser abilita immediatamente il sistema ad essere impiegato in contesti assistivi nei quali il monitoraggio è svolto da persone che non necessariamente hanno competenze tecniche/informatiche specifiche. L'estensione di CARDEA al web, basata su tecnologie di maggiore diffusione e flessibilità, oltre ad ampliare le possibilità di impiego a residenze private ed autonome, la cui gestione non richiederebbe né personale dedicato né strumentazione specifica, ha previsto l'introduzione di un database web di "sincronizzazione" client-server, contenente tutte le informazioni (sia di stato che storiche) inerenti gli eventi rilevati dal sistema che rappresentano i

dati reali e concreti sui quali si basa lo studio di analisi comportamentale condotto durante il dottorato.

Lo studio del comportamento delle persone durante la vita domestica può avere, infatti, diversi vantaggi, oltre che in termini di comfort complessivo, soprattutto in termini predittivi: tutti i dati prodotti dai sensori che sono presenti in una casa, se opportunamente sfruttati, potrebbero permettere al sistema di rilevare dei profili di abitudini ed indicatori di attività globali o specifici, relativi al modo di vivere la casa tipico di ogni individuo. Ciò potrebbe condurre allo sviluppo di algoritmi di elaborazione delle informazioni che provengono dalla miriade di sensori elementari normalmente installati nell'abitazione, al fine di estrapolare indici e relativi intervalli di variabilità la cui deviazione imprevista può essere considerata come una condizione di attenzione da far valutare a personale specializzato. Questa specifica attività volta all'analisi comportamentale, seppure particolarmente complessa, sembra molto promettente ed innovativa da essere al centro di molti studi e sperimentazioni scientifiche in quanto permetterebbe l'implementazione (aperta ed espandibile) di classi di servizi innovativi in grado, da un lato, di favorire e sostenere la vita indipendente di persone anziane e con disabilità, dall'altro, di supportare gli operatori socio-sanitari durante le attività di assistenza.

La figura riportata di seguito mostra l'architettura del sistema CARDEA in cui è evidenziato il modulo integrativo di estensione al web e, in particolare, il database web di raccolta dati per l'abilitazione dello studio di analisi comportamentale previsto durante l'attività di ricerca.

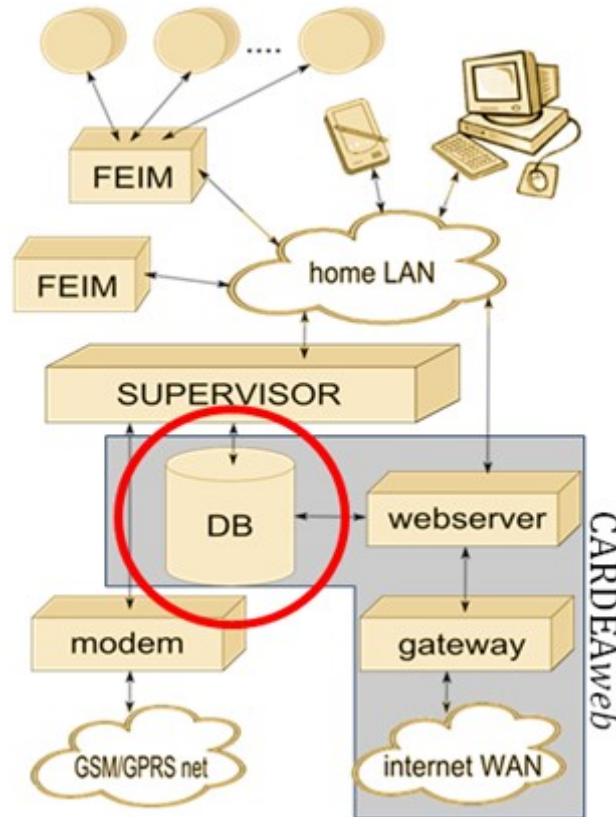


Figura 3.2: Architettura sistema CARDEA e modulo integrativo

Lo sviluppo del modulo integrativo ha previsto le seguenti fasi di lavoro:

1. Progettazione del database tramite il quale il web server attinge tutte le informazioni riguardanti l'ambiente domestico monitorato per presentarle correttamente al web browser. Tutte le informazioni (di stato e storiche) memorizzate nel database saranno utilizzate per fare elaborazioni di analisi comportamentale.
2. Progettazione dell'applicativo web lato server e realizzazione di un meccanismo di comunicazione in ingresso (verso CARDEA) basato su socket che permette all'utente remoto di inviare comandi e richieste di attivazione di funzionalità domestiche.

3. Sviluppo interfaccia grafica con particolare riguardo alle problematiche di accessibilità (specifiche W3C) e portabilità (interfacce grafiche personalizzate a seconda del dispositivo client: PC, cellulare, ...).
4. Collaudo e test dell'applicativo web tramite sperimentazione in laboratorio presso il dipartimento dell' Università di Parma.
5. Installazione dell'applicativo presso la struttura sperimentale Ca' Bonaparte di Neviano degli Arduini.

Durante la prima fase di lavoro è stato necessario sviluppare una classificazione ontologica degli eventi e delle informazioni di interesse, sulla base della quale è stata costruita la struttura del database. Allo scopo di garantire l'indipendenza dalla specifica struttura hardware, sono state impiegate opportune tecniche di astrazione dal dettaglio fisico, implementate nello stesso database di raccolta delle informazioni provenienti dall'ambiente domestico. Le tecniche di astrazione e classificazione utilizzate per la costruzione del database web permettono una più semplice gestione dei servizi lato client. In particolare, la configurazione e la manutenzione dei clienti web richiede informazioni puramente topologiche e funzionali sull'ambiente domestico, prescindendo dalle caratteristiche fisiche ed elettriche dei dispositivi impiegati.

E' stato, inoltre, necessario implementare nel software di gestione del sistema CARDEA le primitive di accesso al database e definire le relative politiche di lettura e scrittura.

La successiva fase di sviluppo ha riguardato la comunicazione in ingresso che, invece, segue un meccanismo differente: anche se tecnicamente praticabile, l'impiego dello stesso database di interfaccia per la gestione di alcuni comandi di attivazione avrebbe introdotto tempi di latenza poco pratici. Il modulo integrativo gestisce quindi un canale di comunicazione basato su socket TCP/IP dedicato attraverso il quale i comandi impartiti dall'applicazione client sono trasferiti in maniera asincrona direttamente al software di gestione CARDEA. Anche in questo caso è stato necessario progettare la comunicazione secondo paradigmi di astrazione e

generalizzazione tali da garantirne l'indipendenza dalle specifiche configurazioni hardware.

La figura successiva mostra lo schema completo di interazione client-server implementato nel modulo sviluppato.

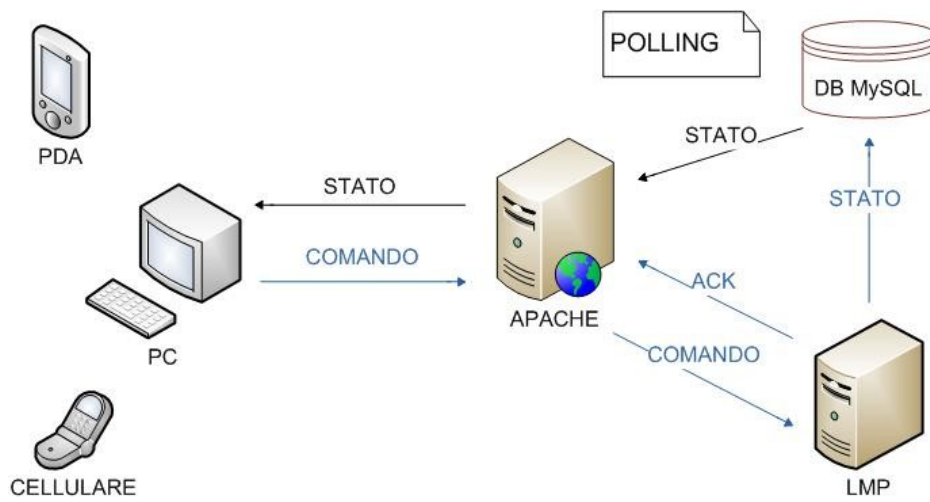


Figura 3.3: Schema interazione client-server

Il modulo integrativo fornisce così al sistema CARDEA un canale di comunicazione bidirezionale (capace cioè di acquisire informazioni dall'ambiente, ma anche di intervenire attivamente sulle funzioni domestiche), sicuro ed affidabile, in grado di estendere le funzionalità di controllo e di monitoraggio ambientale specifiche di CARDEA all'ambiente Internet, abilitando funzioni e servizi di gestione remota tramite terminali fissi e mobili.

Grazie all'impiego di tecniche allo stato dell'arte nello sviluppo web, le interfacce utente di controllo e monitoraggio sono dinamiche e ricche di informazioni, consentendo anche la rappresentazione di informazioni non convenzionali, di diretto interesse assistivo. Per esempio, CARDEA prevede la gestione di reti di sensori mobili indossabili, adatti a rilevare automaticamente condizioni di rischio (cadute, ...) ed a localizzare in il portatore ambienti chiusi. Tali informazioni convergono nel database (che

3.3 CARDEAweb: il modulo integrativo di estensione ad Internet 49

grazie alle politiche di astrazione implementate, non risulta limitato alla raccolta dei soli dati ambientali) e sono opportunamente utilizzate dalle interfacce web (un esempio è mostrato in Fig. 3.4) che forniscono il pieno controllo dell'ambiente monitorato.



Figura 3.4: Esempio di rilevazione di una caduta

Sono state applicate tecniche di programmazione web dinamica, basate anche su tecnologie AJAX che hanno portato alla realizzazione di un pannello di controllo che aggiorna autonomamente, in modo asincrono, solo i contenuti opportuni. Particolare attenzione è stata, inoltre, dedicata alla riservatezza ed alla sicurezza della comunicazione, sfruttando protocolli *https* e implementando le procedure di autenticazione e di gestione dei privilegi di accesso differenziati che permettono, a seconda del profilo dell'utilizzatore (utente locale, assistente remoto, centro servizi, telesoccorso, ...), di selezionare sottoinsiemi di oggetti e funzioni accessibili.

L'applicativo web sviluppato è stato sottoposto ad una prima fase di collaudo e test tramite sperimentazione in laboratorio presso il dipartimento dell'Università di Parma. Successivamente è stato integrato nell'installazione di CARDEA già esistente presso la struttura sperimentale Ca' Bonaparte di Neviano degli Arduini, in provincia di Parma ed è iniziata una seconda fase di collaudo e sperimentazione sul campo che ha permesso, da un lato, di perfezionare lo strumento di controllo e monitoraggio remoto, dall'altro di attivare la fase di "memorizzazione ed accumulo" nel database web delle informazioni reali rilevate dal sistema che costituiscono la vera risorsa che questa ricerca si è posta di sfruttare. In particolare, l'obiettivo del dottorato di ricerca è stato quello di dimostrare come l'elaborazione dei dati ambientali resi disponibili dal sistema di automazione possa permettere di individuare "profili comportamentali" le cui variazioni, possono opportunamente essere individuate e segnalate al personale adeguato ai fini di predire e prevenire un evento negativo.

3.4 Servizi innovativi abilitati

Il modulo integrativo di estensione al web ha costituito la chiave per estendere gli intrinseci vantaggi delle soluzioni tecnologiche adottate in CARDEA all'ambiente del telemonitoraggio e della teleassistenza: CARDEA sfrutta i protocolli di comunicazione IP anche a livello di campo, a differenza della maggioranza dei sistemi di controllo ambientale, basati su bus di comunicazione dedicati (LonTalk, KNX, ...), in qualche caso proprietari (b-Ticino, ...). Questa scelta comporta vantaggi intrinseci di apertura e interoperabilità, oltre a significativi abbattimenti di alcuni costi. Numerosi sistemi in commercio prevedono la possibilità di controllo remoto attraverso interfacce web. Questo, in generale, richiede l'adozione di componenti hardware aggiuntivi (web-server) connessi alla rete domotica: tale approccio comporta costi più elevati e spesso una interoperabilità limitata a componenti della stessa "famiglia" tecnologica. Il sistema

CARDEA, viceversa, utilizza in origine la comunicazione IP ed è quindi nativamente predisposto alla connessione Internet. Il modulo integrativo sviluppato sfrutta questa caratteristica, fornendo servizi innovativi ad alto valore aggiunto: la semplicità con cui CARDEA può essere controllato mediante un'interfaccia web abilita, infatti, molteplici servizi remoti. Per esempio, si pensi ad un impianto installato a casa di un anziano che vive da solo: il sistema di controllo web permette ai parenti di controllare in ogni momento lo stato dell'ambiente e dell'assistito.

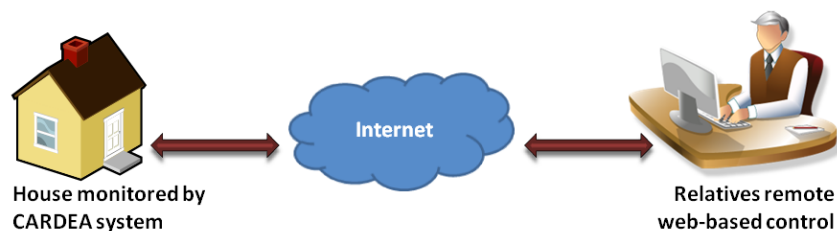


Figura 3.5: Modello di servizio orientato al controllo parentale

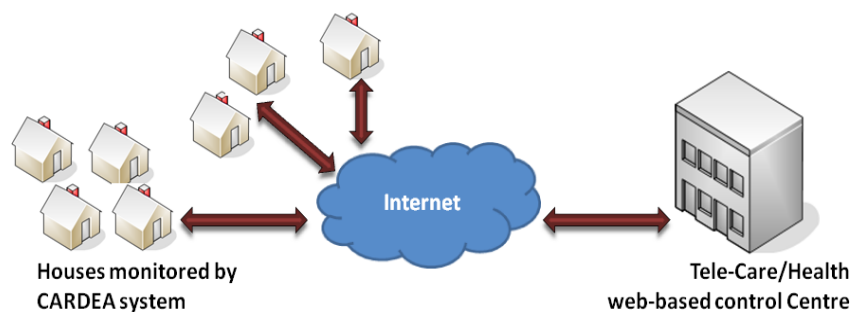


Figura 3.6: Modello orientato alla creazione di un centro servizi

Ancora più interessante è il caso in cui un gran numero di installazioni siano gestite dallo stesso soggetto pubblico (un comune, una provincia, il sistema sanitario nazionale, ...) o privato (cooperative di assistenza, agenzie di servizi alla persona, ...). In questo caso, con un semplice pannello di

controllo web, è possibile controllare ogni installazione mediante la stessa interfaccia.

L'accesso a basi di dati, dove tutti gli eventi di sistema sono registrati, consente, inoltre, un gran numero di analisi ed elaborazioni statistiche e comportamentali. In questo contesto, il sistema CARDEA (integrato col modulo di estensione web) risulta adatto ad essere usato come piattaforma tecnologica per lo sviluppo di servizi avanzati orientati all'analisi ed all'elaborazione dei dati raccolti per fini predittivi e preventivi.

3.5 CARDEA: base di dati “eterogenea”

Il sistema CARDEA è capace di tenere traccia di ogni evento che si verifica all'interno dell'ambiente monitorato: le caratteristiche di astrazione dal livello fisico, implementate nel database introdotto, permettono al sistema di memorizzare le informazioni provenienti da qualsiasi tipo di sensore installato, sia esso ambientale o indossabile, cablato o wireless. Un'altra attività legata allo sviluppo di CARDEA consiste, infatti, nella progettazione e realizzazione di sensori (indossabili) capaci di rilevare informazioni di movimento, di localizzazione e fisiologiche (frequenza cardiaca e respiratoria, temperatura corporea, ...) [70]. Informazioni di questo genere, a scapito di costi ed invasività, sono certamente più direttamente correlabili allo stato di salute di una persona e possono essere integrate con quelle ambientali arricchendo sempre più il contenuto del database.

In questo contesto, è stato sviluppato un sistema di monitoraggio di parametri fisiologici, costituito da un sensore wireless indossabile che comunica via bluetooth col software sviluppato: il sistema è in fase di collaudo presso la sede di Parma (“Casa Scarzara”) dell'Associazione Italiana Sclerosi Multipla ed è impiegato come supporto per il monitoraggio di pazienti costretti a letto, impossibilitati perfino ad effettuare una chiamata di assistenza [43].

Di seguito è mostrata l'interfaccia di gestione e controllo del sistema installato.



Figura 3.7: Interfaccia di controllo del sistema di monitoraggio di parametri fisiologici installato a "Casa Scarzara"

3.5.1 Analisi comportamentale indiretta

Una volta affrontati e risolti i problemi riguardanti l'acquisizione e la memorizzazione delle informazioni, l'attenzione si è spostata su come sfruttare i dati disponibili per fini comportamentali. Tutti i dati memorizzati all'interno del database rappresentano, infatti, una risorsa significativa per gli studi rivolti all'analisi comportamentale in quanto contengono, in maniera più o meno evidente a seconda del tipo di sensore considerato, i segni tipici dell'attività (la “firma”) di una persona di cui si possono monitorare le variazioni relative per cercare di prevenire potenziali problemi. Come spiegato già in precedenza, a seconda dei sensori utilizzati le informazioni saranno più o meno direttamente correlabili allo stato di

benessere della persona: i dati provenienti, ad esempio, da sensori indossabili che rilevano parametri fisiologici sono direttamente interpretabili e possono facilmente essere valutati dal sistema per individuare situazioni di emergenza. I sensori ambientali, invece, forniscono informazioni che se considerate singolarmente non sono correlabili ad uno stato di benessere mentre se considerate nel tempo possono contenere i segni tipici delle attività della vita quotidiana che, solitamente, tendono a ripetersi nel tempo. Ciò può portare all'individuazione di "pattern" di comportamento dei quali si possono monitorare le variazioni per sviluppare meccanismi di alert che permettano agli operatori specializzati ed ai medici di intervenire preventivamente [71] [72].

L'analisi comportamentale indiretta è cosiddetta proprio perché si pone l'obiettivo di fare valutazioni comportamentali senza l'utilizzo di sensori specifici e dedicati ma a partire da sensori ambientali che sono, solitamente, installati per altri motivi. Seppure le valutazioni a cui questo tipo di metodologia può condurre sono di carattere "globale" (nel senso che si possono individuare degli indicatori "qualitativi" di attività magari meno specifici di quelli che si possono ottenere tramite l'impiego di sensori indossabili progettati ad hoc), questo approccio risulta negli ultimi tempi sempre più al centro dell'attenzione di studi e sperimentazioni scientifiche in quanto risulta promettente in termini di efficacia, utilità ma soprattutto in termini di praticità. Il fatto di poter effettuare valutazioni "in background" senza aumentare costi ed invasività rappresenta, infatti, un fattore molto importante ai fini di applicazioni reali.

Il capitolo successivo descrive dettagliatamente le elaborazioni effettuate sui dati reali acquisiti dal sistema CARDEA installato in una struttura protetta per anziani, con lo scopo di evidenziare la validità, l'utilità e la fattibilità pratica di un tale approccio.

Capitolo 4

Analisi dei dati reali

4.1 La sperimentazione a Neviano degli Arduini

CARDEA è stato installato in diversi siti pilota situati nel territorio parmense, nel contesto del progetto A Nostra Ca' realizzato con il supporto della Provincia di Parma, la Fondazione Cassa di Risparmi di Parma, la Regione Emilia-Romagna, nonché con il patrocinio di diversi Comuni dell'Appennino parmense (Fig. 4.1).

Il sistema CARDEA è, dunque, da anni in funzione presso diversi siti in provincia di Parma dove, differenti sensori rilevano, quotidianamente, una notevole quantità di eventi.



Figura 4.1: Mappa delle installazioni del sistema CARDEA

La prima installazione del sistema CARDEA, risale al 2007 ed è avvenuta nella residenza per anziani sita a Ca' Bonaparte, frazione di Neviano degli Arduini (Fig. 4.2) in provincia di Parma dove, ancora oggi, oltre 600 sensori registrano quotidianamente una notevole quantità di eventi (oltre 120 mila eventi al giorno).



Figura 4.2: Ca' Bonaparte a Neviano degli Arduini (PR)

Le prime attività di sviluppo del modulo integrativo di CARDEA precedentemente descritto, orientate soprattutto alla predisposizione degli strumenti utili all'acquisizione ed alla memorizzazione permanente dei dati, sono iniziate prima del dottorato in quanto previste dal trend di sviluppo del gruppo di ricerca in cui, il dottorato si è inserito come continuazione del percorso previsto.

All'inizio del 2009 l'installazione di CARDEA a Ca' Bonaparte è stata estesa con il modulo integrativo (applicativo e database web) sviluppato, permettendo oggi di disporre di tutti i dati rilevati dal 2009 in poi, opportunamente memorizzati su database MySQL.

E' proprio sui dati reali registrati dal sistema che sono stati effettuati tutti gli esperimenti, eseguiti in ambiente MATLAB, che hanno permesso di individuare la correlazione tra i dati "grezzi" rilevati dai sensori e le abitudini delle persone.

Tutti gli esperimenti condotti sui dati reali, per verificare se effettivamente fosse possibile cogliere tale correlazione, sono descritti nel paragrafo successivo.

4.2 L'elaborazione dei dati reali per l'individuazione dei "trend"

La struttura di Ca' Bonaparte è composta da più monocali e bilocali abitati da persone anziane.

I primi esperimenti hanno riguardato un appartamento abitato da una signora ultra-novantenne che vive sola. Una volta individuato l'appartamento, è stato prefissato l'obiettivo target da osservare selezionando un singolo sensore di movimento (PIR). Più precisamente, ci si è concentrati sui tre anni (dal 2009 al 2011) di dati rilevati dal sensore di movimento presente nel bagno (Fig. 4.3), già installato e previsto per accendere automaticamente la luce all'entrata della signora nel bagno.

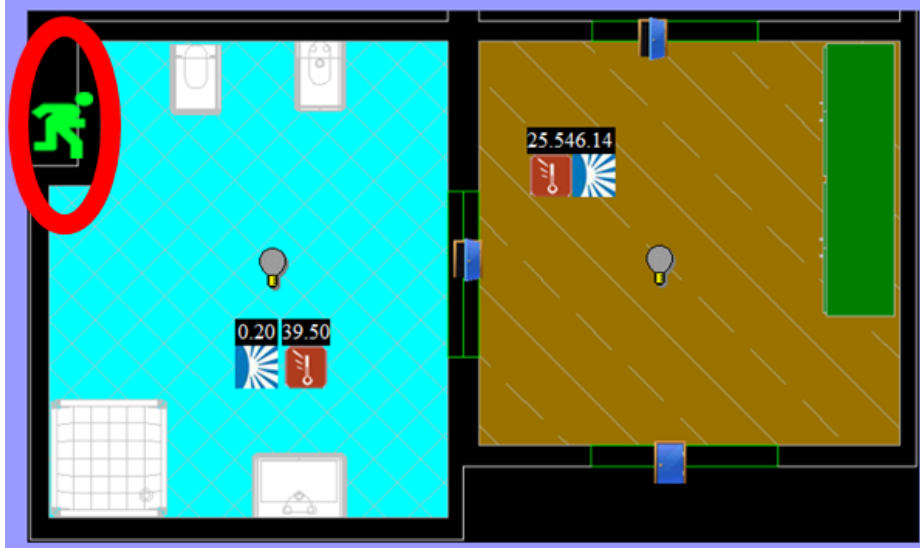


Figura 4.3: Sensore di movimento installato nel bagno

A causa della grossa quantità di dati ma soprattutto a causa della natura estremamente eterogenea e variabile degli stessi, qualsiasi ragionamento statistico basato su soglie assolute non risulterebbe utile in quanto i comportamenti delle persone sono “intrinsecamente” variabili: essi sono differenti tra soggetti diversi ma anche i comportamenti di una stessa persona variano e si evolvono nel tempo.

Il più semplice degli esperimenti eseguiti è stato quello di sfruttare la media aritmetica dell’attività (numero eventi rilevati dal PIR) per confrontarla con quella dei singoli giorni:

$$A_M(\Delta t) = \frac{\sum_{g=1}^{g=n} N_{\Delta t}(g)}{n}, \quad (4.1)$$

dove $A_M(\Delta t)$ rappresenta l’attività media nell’intervallo temporale Δt (mediata su n giorni), Δt rappresenta l’intervallo temporale considerato per il conteggio delle attivazioni del PIR (sono stati considerati *288 intervalli* da *5 minuti* che compongono le 24 ore e quindi risulta $\Delta t = 5 \text{ minuti}$), $N_{\Delta t}(g)$ rappresenta la somma degli eventi rilevati nei cinque minuti individuati da Δt nel giorno g e, per ogni giorno g , $N_{\Delta t}$ risulta così calcolato:

$$N_{\Delta t}(g) = \sum_{t=t_i}^{t=t_i+\Delta t} E(t), \quad (4.2)$$

dove $E(t)$, che rappresenta l'evento al tempo t , vale 0 o 1 a seconda che nell'istante $t \in [t_i, t_i+\Delta t]$ il sensore PIR abbia o meno rilevato un movimento.

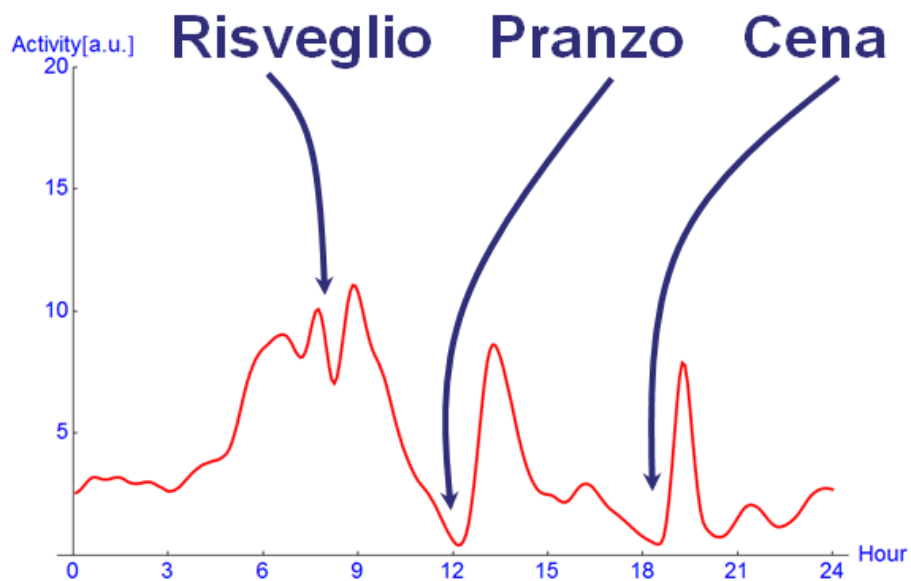


Figura 4.4: Profilo medio attività quotidiana (3 anni)

Il grafico riportato nella figura precedente mostra il profilo medio dell'attività rilevata dal PIR durante l'intera giornata (24 ore), calcolato sui tre anni di dati disponibili (precisamente i "cinque minuti medi").

L'ordinata rappresenta l'attività (l'unità di misura è arbitraria, [a.u.]) e l'ascissa i "cinque minuti" del giorno.

A causa della forte variabilità dei dati, il profilo medio usato come "target" risulta molto differente da quello dei quattro giorni scelti come campione (mostrati nelle figure successive) così come sono differenti tra loro i profili giornalieri dei campioni stessi.

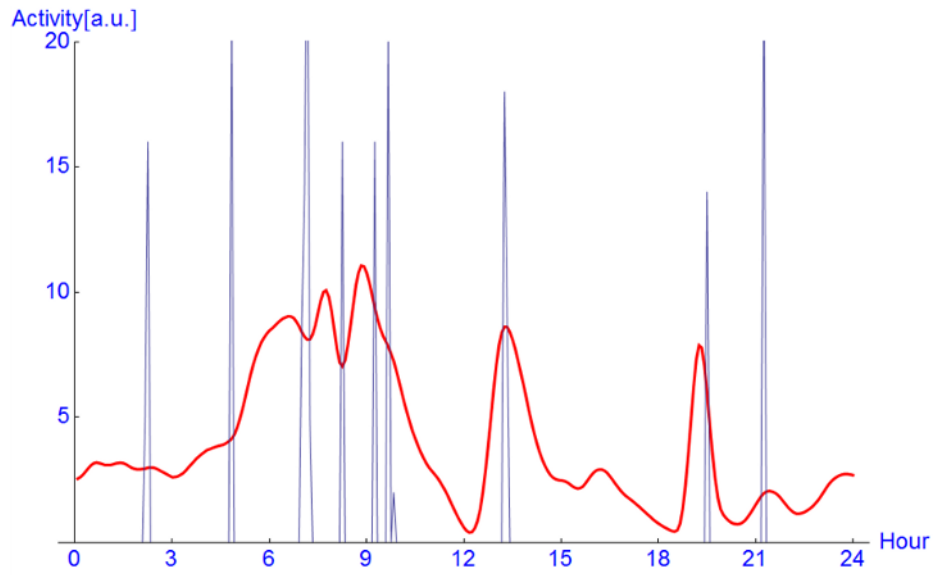


Figura 4.5: Confronto col giorno 15

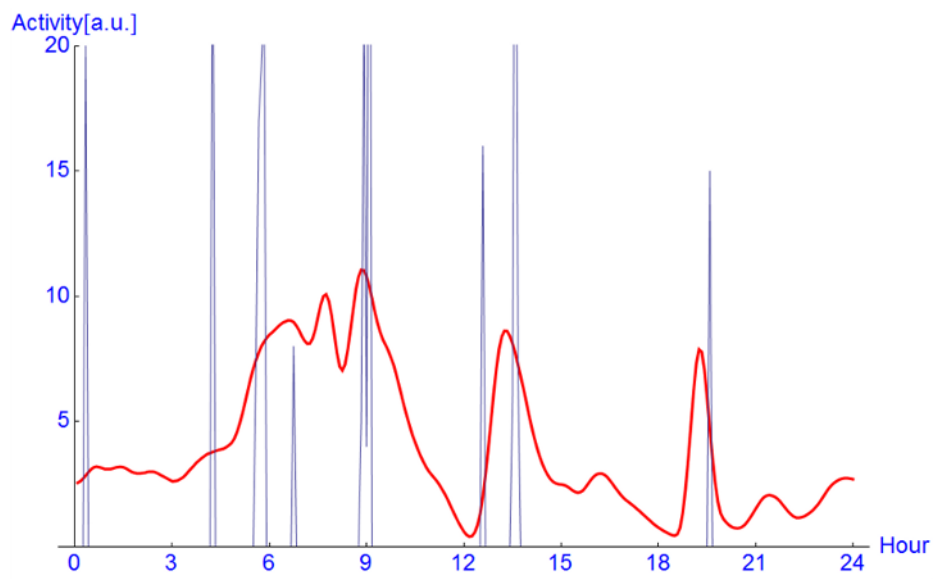


Figura 4.6: Confronto col giorno 48

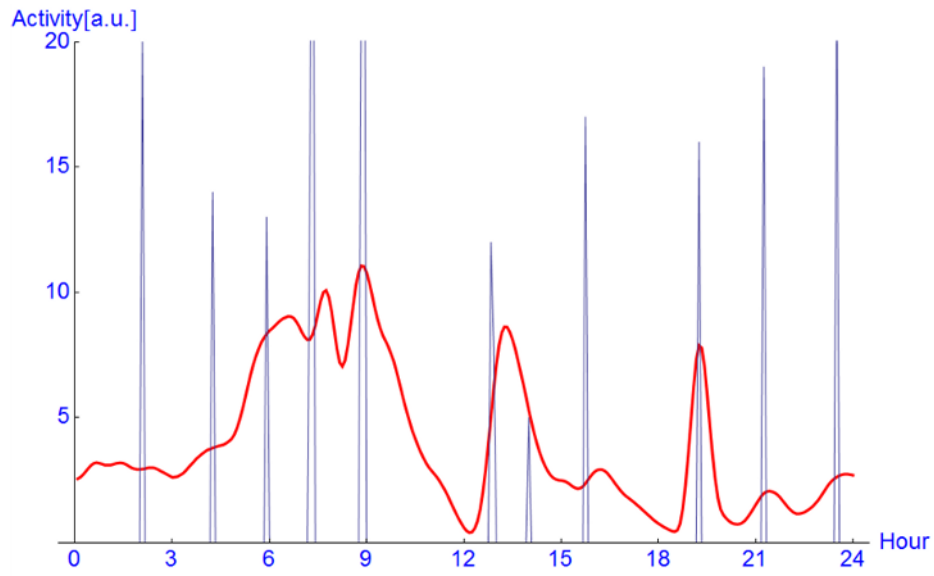


Figura 4.7: Confronto col giorno 277

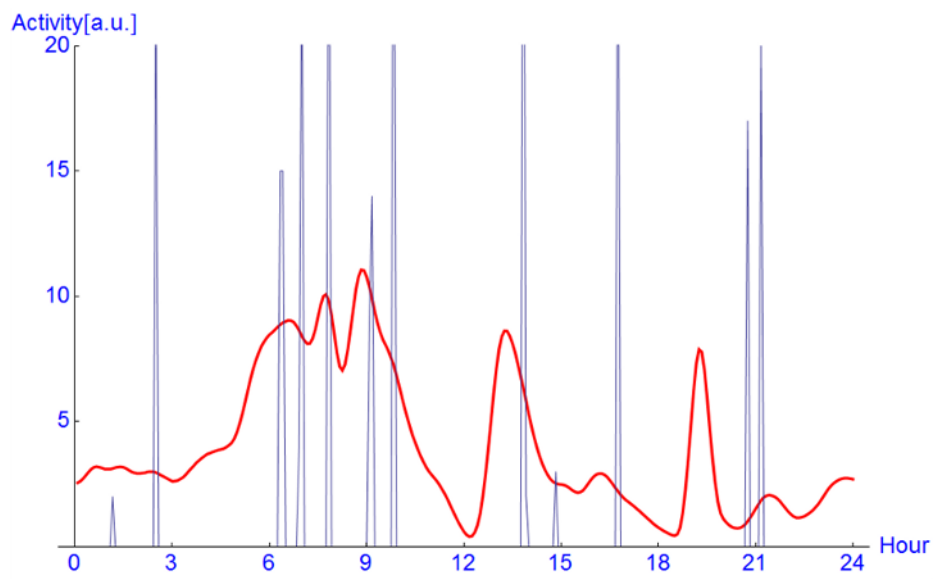


Figura 4.8: Confronto col giorno 512

Quello appena mostrato rappresenta un esempio utile per evidenziare come non sia possibile ragionare sulla base di semplici medie e soglie a causa della forte variabilità dei dati che si coglie anche “ad occhio” guardando le quattro immagini precedenti riferite a quattro giorni diversi. E’ stato, dunque, necessario individuare meccanismi di elaborazione diversi più orientati all’individuazione delle variazioni nel tempo che al confronto puntuale con un potenziale “target” (difficilmente individuabile in maniera assoluta). E’ stata dunque sfruttata un’altra rappresentazione più adatta ad evidenziare (più espressiva) la variazione dei dati nel tempo. Si tratta di una rappresentazione in due dimensioni (mappa bidimensionale) che ha lo scopo di evidenziare le caratteristiche periodiche “nascoste” nei dati raccolti per dimostrare che effettivamente esiste una correlazione, seppure non esplicita, tra i dati “grezzi” rilevati dal sistema ed il comportamento del soggetto monitorato [73] [74] [75].

Di seguito è riportata una mappa di densità a due dimensioni (Fig. 4.9) che mostra la distribuzione temporale degli eventi (opportunamente filtrati per ridurre il rumore) rilevati dal PIR preso in considerazione: in ascissa è riportato il tempo che scorre (circa tre anni tra 2009 e 2011), mentre in ordinata ci sono le ore della giornata. Il colore della mappa fornisce, invece, l’intensità dell’attività rilevata: i colori caldi indicano maggiore attività, quelli freddi minore attività. Più precisamente il colore blu indica assenza di attività e quello rosso indica che l’attività è molto intensa.

Per questioni di efficienza elaborativa sono stati sviluppati dei moduli software in ambiente matlab che permettono di leggere dal database MySQL le informazioni e popolano opportunamente dei file di testo usati nelle diverse elaborazioni dei dati le quali risultano più efficienti non dovendo accedere continuamente al database.

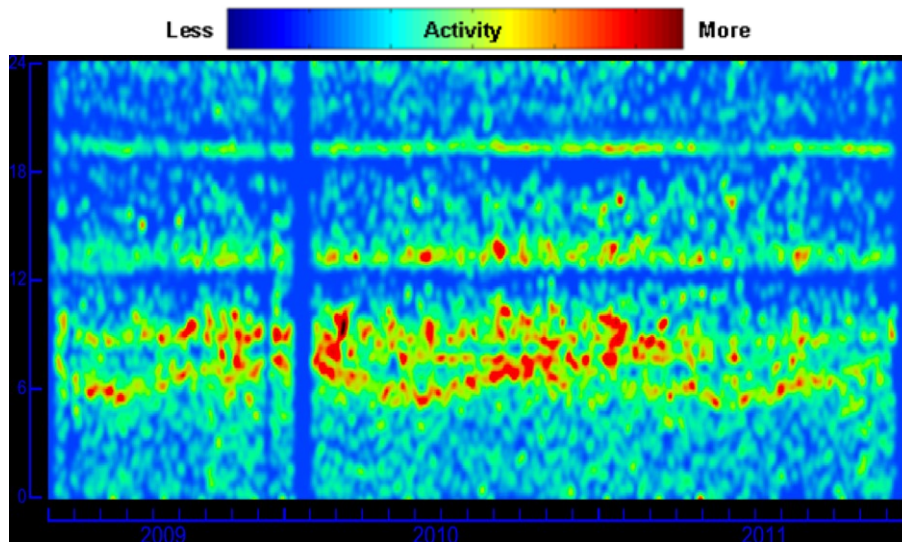


Figura 4.9: Mappa di densità a due dimensioni che mostra la distribuzione temporale degli eventi rilevati dal PIR

La mappa appena mostrata è descritta dettagliatamente nel paragrafo successivo dove vengono evidenziate tutte le caratteristiche riconducibili al comportamento che hanno permesso di validare l'approccio orientandolo e spingendo sempre più verso lo sviluppo di strumenti di predizione automatici per favorire interventi volti alla prevenzione.

4.2.1 Analisi "retrospettiva" ed analisi "automatica" predittiva

Nella struttura di Ca' Bonaparte gli ospiti consumano i pasti in una zona pranzo comune. Questo fatto si evince chiaramente dalla figura successiva dove si vede che, nelle fasce corrispondenti alle ore dei pasti, l'attività rilevata dal sensore di movimento considerato è nulla (due linee tratteggiate nere orizzontali), mentre ci sono dei picchi di attività immediatamente dopo i pasti e al risveglio.

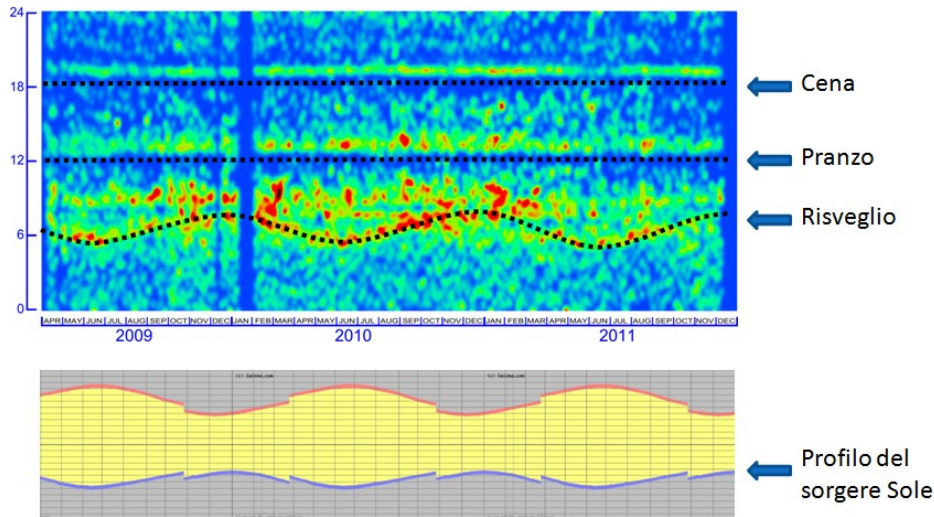


Figura 4.10: Individuazione caratteristiche periodiche

Un'altra osservazione la si può fare guardando la fascia della mappa a cavallo dell'orario del risveglio nella quale l'attività è, apparentemente, meno regolare. Tuttavia, un'accurata osservazione permette di notare che essa presenta una certa ciclicità: se si confronta, infatti, la curva che passa per i picchi (i massimi) di attività con quella del profilo del sorgere del sole nelle zone di Parma (la curva blu in basso in Fig. 4.10) si nota che la prima segue "fedelmente" la seconda, a dimostrazione del fatto che la signora si sveglia ad orari che dipendono, giustamente, dalle stagioni.

Si evincono inoltre alcuni "buchi", ovvero le strisce verticali blu, che rappresentano le assenze dovute, probabilmente, a ricoveri o feste.

Dopo una prima validazione dell'approccio mirata all'individuazione retrospettiva (aposteriori) di evidenti segni del comportamento della persona confermati dalla conoscenza del contesto ("labeling": il fatto che la signora consumi i pasti nella zona comune della struttura è cosa nota e lo si riscontra, come precedentemente evidenziato, nella mappa così come, ad esempio, la striscia blu verticale corrisponde ad un noto periodo di assenza dall'appartamento), il passo successivo è stato quello di cercare di inferire dalla mappa, seppure ancora retrospettivamente, informazioni più utili ad individuare variazioni dei profili di comportamento.

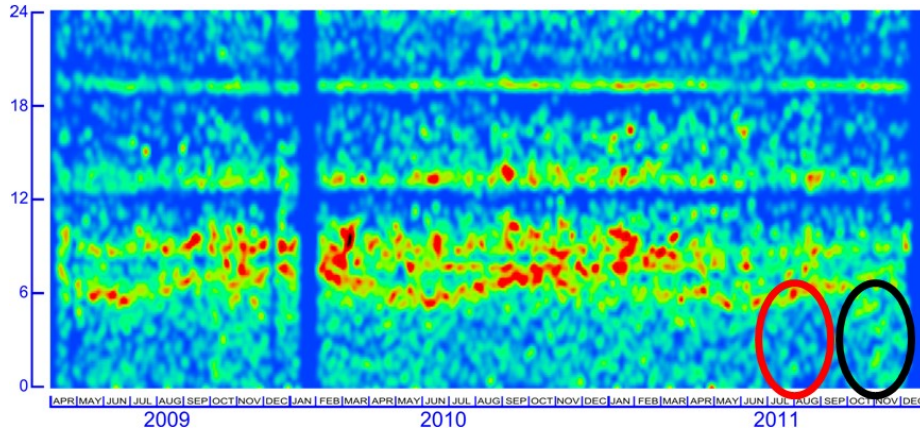


Figura 4.11: Variazioni dell'attività notturna nel breve periodo

La Fig. 4.11 mette in evidenza come l'intensità di attività rilevata dal sistema sia significativamente differente in periodi di tempo "brevi". Se si guarda nella fascia notturna (quella compresa tra 0 e 6 di ordinata) si notano regioni anche adiacenti, come quelle evidenziate in rosso e nero) che presentano attività più o meno intense: è evidente come la densità di colore nelle due zone cerchiata sia differente. In particolare la prima regione evidenziata in rosso presenta "più blu" e "meno giallo" rispetto alla regione evidenziata in nero, a testimonianza del fatto che in un periodo di tempo relativamente breve si è verificata una variazione significativa dell'attività notturna in bagno. Questa osservazione fattibile già "ad occhio" è stata, ovviamente, riscontrata anche in termini analitici: la figura successiva mostra che l'attività complessiva notturna in bagno, nel periodo osservato (da Agosto a Novembre 2011), ha subito un continuo e regolare incremento che corrisponde ad un aumento dell'utilizzo del bagno durante la notte da parte della signora.

Nella formula successiva, $A_g(\Delta t)$ rappresenta l'attività notturna del giorno g che è uguale ad $N_{\Delta t}(g)$ (con $\Delta t = 6$ ore) ovvero al numero di eventi rilevati durante la notte del giorno g , quando $t \in [t_i, t_i + \Delta t] = [00:00:00, 06:00:00]$:

$$A_g(\Delta t) = N_{\Delta t}(g) = \sum_{t=t_i}^{t=t_i+\Delta t} E(t) . \quad (4.3)$$

Come nel caso della (4.2), $E(t)$ rappresenta l'evento al tempo t e vale 0 o 1 a seconda che nell'istante $t \in [t_i, t_i + \Delta t]$ il sensore PIR abbia o meno rilevato un movimento.

Quello che emerge di interessante è che, nei mesi considerati, l'attività notturna in bagno aumenta regolarmente. In particolare, si riscontra, come mostrato in Fig. 4.12, che in 45 giorni l'attività è quasi raddoppiata.

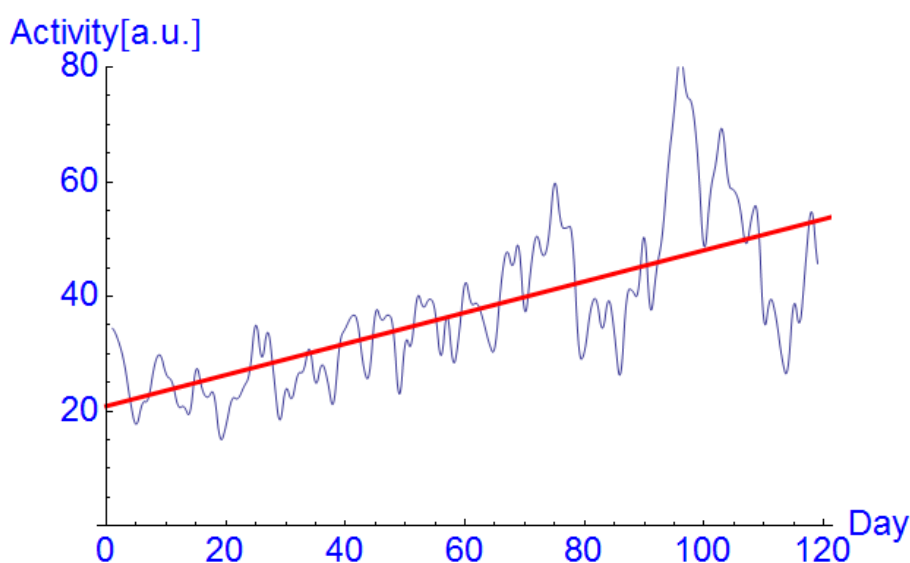


Figura 4.12: Variazioni comportamentali di "breve periodo"

Informazioni di questo tipo risultano molto utili ai caregiver perché permettono di individuare variazioni comportamentali di breve periodo che, altrimenti, non emergerebbero in quanto si verificano di notte e, comunque, sono gradualmente e non percepibili dall'occhio di un familiare o di un assistente. Tutte le valutazioni fatte finora sono il risultato di un'analisi retrospettiva effettuata sui dati registrati dal sistema ed hanno permesso di ottenere i primi feedback sulla validità e sull'utilità dell'approccio sperimentato ulteriormente validato dai risultati, altrettanto incoraggianti, ottenuti estendendo le elaborazioni ai dati riguardanti altri appartamenti (non solo

della struttura di Ca' Bonaparte), come mostrano gli altri "esperimenti" descritti successivamente.

La figura riportata di seguito mostra la mappa di densità relativa alla distribuzione degli eventi rilevati dal PIR installato in un altro monolocale in cui si è verificato un "cambio ospite": fino ad un certo momento l'appartamento era abitato dalla "Persona A" che, ad un certo punto, è stata sostituita dalla "Persona B".

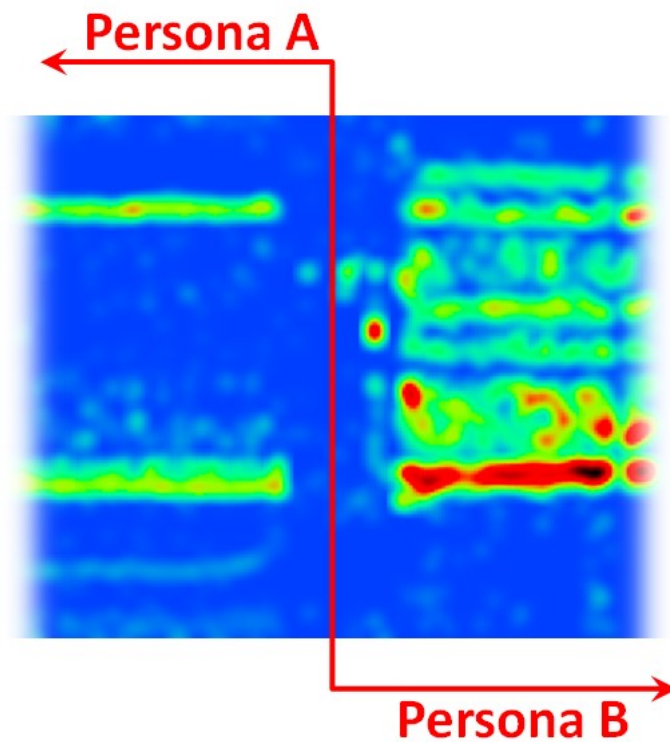


Figura 4.13: Due profili comportamentali ("firme") completamente differenti

Emergono subito evidenti differenze di abitudini tra i due diversi occupanti ancora una volta a conferma del fatto che le informazioni registrate dal sistema permettono, in qualche modo, di "ricostruire" il modo di vivere un ambiente tipico di ogni persona. La Fig. 4.13 mostra due "firme" completamente differenti che ci permettono di individuare esattamente fino

a quando l'appartamento è stato abitato dalla "Persona A" e quando è subentrata la "Persona B".

Tuttavia, se questo da un lato rappresenta un'ulteriore convalida dell'approccio, dall'altro evidenzia ancora una volta l'impossibilità di ragionare in termini di soglie assolute e la conseguente necessità di introdurre meccanismi di autoapprendimento che permettano al sistema di riconfigurarsi ed adattarsi a seconda delle esigenze.

Un altro esperimento condotto su circa un anno e mezzo di dati (2010-2011) relativi ad un altro appartamento, quindi ad un'altra persona anziana, ha evidenziato un declino regolare dell'attività diurna apprezzabile, già ad occhio, guardando la mappa di densità mostrata in Fig.4.14.

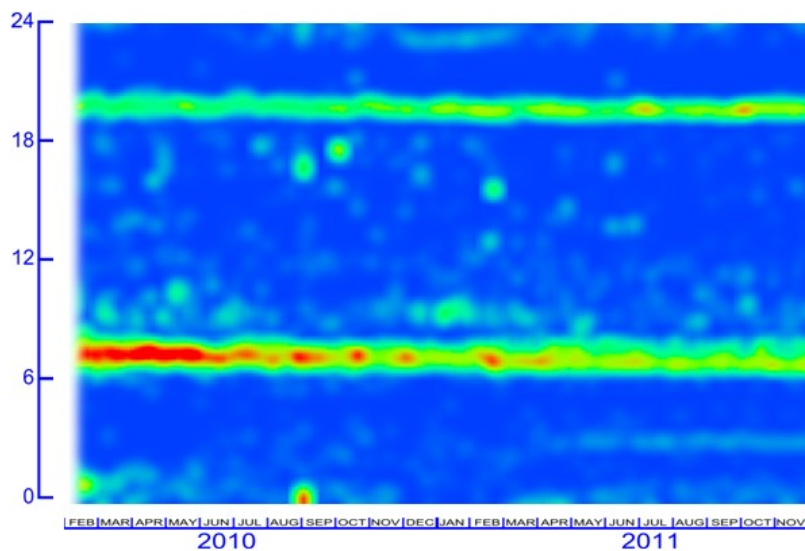


Figura 4.14: Variazioni comportamentali "lente"

Dalla figura sopra riportata emergono chiaramente alcune caratteristiche comportamentali significative come, ad esempio, il fatto che i movimenti rilevati col passare del tempo siano sempre in numero inferiore (il colore passa gradualmente dal rosso al giallo ad indicare un decremento di attività): oltre a costituire un'altra validazione dell'approccio mirato all'ottenimento di informazioni relative alle abitudini delle persone a partire da dati

ambientali apparentemente non correlati al comportamento, ciò rappresenta un esempio di effettiva utilità del meccanismo sperimentato. Le stesse caratteristiche individuate retrospettivamente guardando la mappa di Fig. 4.14, sono chiaramente confermate dal trend riportato nella figura seguente dove è graficata l'attività complessiva ottenuta come somma degli eventi rilevati dal PIR durante tutto il giorno. La Fig. 4.14 riporta, dunque, la distribuzione di tutti gli eventi rilevati dal PIR durante l'intera giornata (somma totale, curva di colore blu) insieme a rappresentazioni relative a parti della giornata (somme parziali: la curva rossa corrisponde all'intervallo [08:00, 20:00], la curva verde agli intervalli [00:00, 08:00] e [20:00, 00:00]) per permettere di individuare eventuali componenti comportamentali più significative.

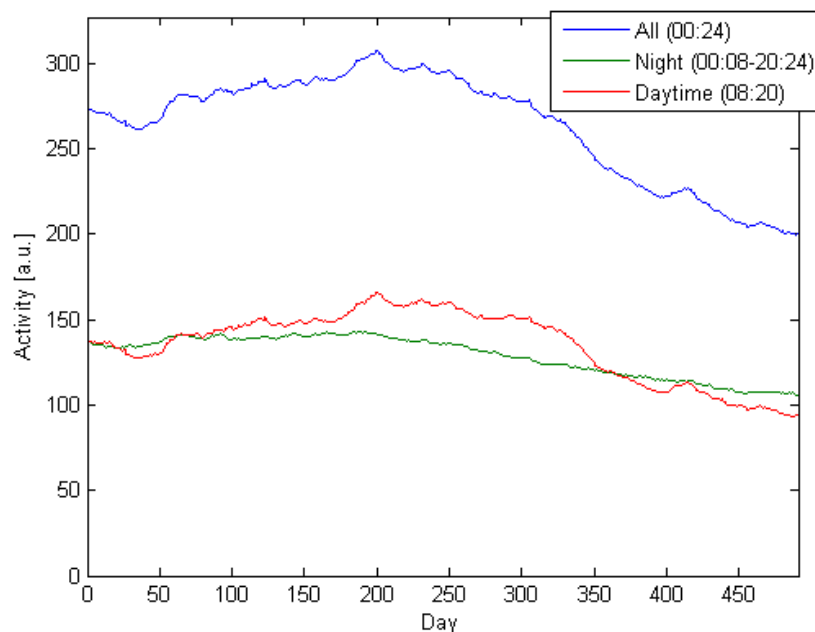


Figura 4.15: Attività complessiva e parziale (giorno e notte) filtrate

Guardando il grafico riportato nella figura precedente emerge chiaramente che, nell'ultimo anno, l'attività complessiva diminuisce regolarmente. Ciò è

particolarmente evidenziato in Fig. 4.16 dove, rispetto alla Fig. 4.15, è stata riportata la finestra riguardante solo la curva blu (corrispondente all'intera giornata, [00:00-24:00]), precisamente gli ultimi 250 giorni di dati, che mostra chiaramente un declino regolare percentualmente rilevante e quantificabile in una riduzione del 30% dell'attività rilevata (si passa da circa 300 a circa 200 eventi rilevati al giorno).

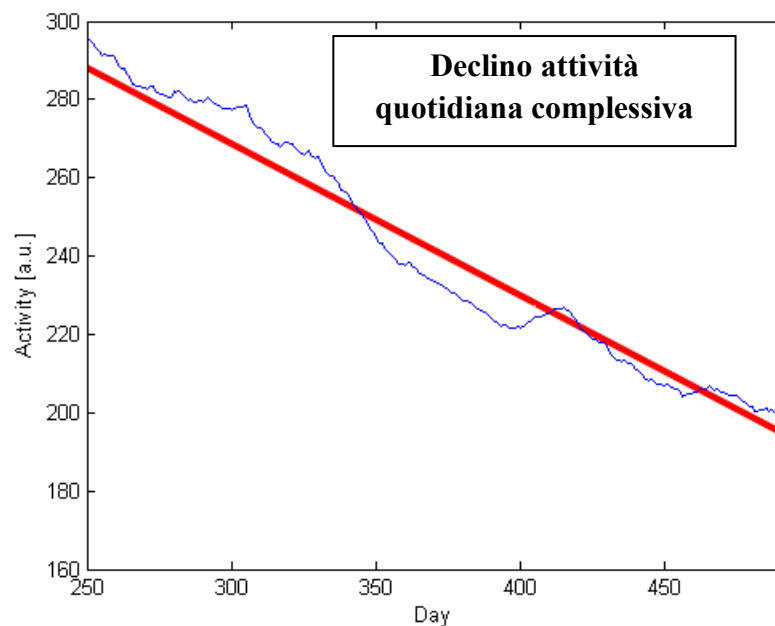


Figura 4.16: Variazioni comportamentali di lungo periodo

Le figure sopra riportate sono state ottenute considerando le informazioni relative all'intera giornata (curva blu) o a parti della giornata (curve verde e rossa):

$$A(g) = N(g) = \sum_{t=t_i}^{t=t_i+\Delta t} E(t), \quad (4.4)$$

dove, nel caso della curva blu di Fig. 4.15, $A(g)$ rappresenta l'attività complessiva del giorno g che corrisponde a $N(g)$ ovvero al numero di eventi

rilevati durante l'intero giorno g ($\Delta t = 24$ ore), quando $t \in [t_i, t_i + \Delta t] = [00:00:00, 23:59:59]$.

Nel caso della curva di colore verde di Fig. 4.15, corrispondente al periodo notturno, si ha $t \in [t_i, t_i + \Delta t] = [00:00:00, 08:00:00]$ e $[t_i, t_i + \Delta t] = [20:00:00, 23:59:59]$ mentre nel caso della curva di colore rosso, corrispondente al giorno, si ha $[t_i, t_i + \Delta t] = [08:00:00, 20:00:00]$. $E(t)$ rappresenta l'evento al tempo t e vale 0 o 1 a seconda che nell'istante $t \in [t_i, t_i + \Delta t]$ il sensore PIR abbia o meno rilevato un movimento.

Tuttavia, per "estrapolare" le caratteristiche evidenti mostrate nelle figure sopra riportate (Fig. 4.15 e Fig. 4.16), l'enorme quantità di dati ma soprattutto la forte variabilità degli stessi ha reso necessaria l'applicazione di meccanismi di filtraggio utili per ottenere risultati, dal punto di vista interpretativo, apprezzabili (anche ad occhio) che sarebbero stati certamente poco significativi con un uso "diretto" (non filtrato) dei dati disponibili, come mostrato nella figura successiva.

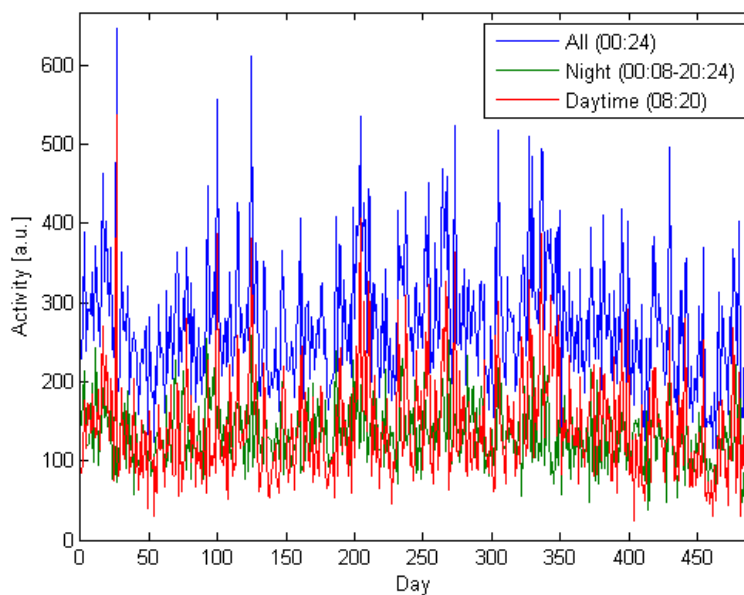


Figura 4.17: Attività complessiva e parziale (giorno e notte) non filtrate

La Fig. 4.17 riporta, infatti, gli stessi grafici mostrati in Fig. 4.15, stavolta senza l'applicazione di alcun tipo di filtro: è evidente come, a causa della grossa quantità di informazioni fortemente variabili, il risultato sia difficilmente interpretabile e poco significativo.

Per questi motivi sono stati applicati dei filtri con l'obiettivo di "smussare" le curve originali: per arrivare ai risultati di Fig. 4.15 e Fig. 4.16 è stato utilizzato un meccanismo di media a finestra mobile ("smooth") tale per cui, preso un intervallo di smoothing pari a n giorni (ampiezza finestra), il numero di eventi corrispondenti al giorno g è sostituito dalla media ottenuta sommando al numero di eventi del giorno g , il numero di eventi dei $\frac{n}{2}$ giorni precedenti a g ed il numero di eventi dei $\frac{n}{2}$ giorni successivi a g , dividendo poi tutto per n . Più precisamente, detto V il vettore contenente il numero di eventi verificatisi in ogni giorno g si ha che:

$$V_F(g) = \frac{\sum_{k=g-\frac{n-1}{2}}^{k=g+\frac{n-1}{2}} V(k)}{n}, \quad n \text{ dispari e } \frac{n+1}{2} \leq g \leq G - \frac{n-1}{2}, \quad (4.5)$$

dove $V_F(g)$ rappresenta il vettore filtrato e ripulito del rumore intrinseco nei dati, n rappresenta l'ampiezza della finestra mobile, G il numero totale di giorni considerati. Nel caso di $n = 11$, ad esempio, per i valori di g diversi da quelli indicati nella (4.5), si ha:

$$V_F(1) = V(1) \quad (4.6)$$

$$V_F(2) = \frac{V(1) + V(2) + V(3)}{3} \quad (4.7)$$

⋮

$$V_F\left(\frac{n-1}{2}\right) = V(5) = \frac{V(1)+V(2)+V(3)+V(4)+V(5)+V(6)+V(7)+V(8)+V(9)}{9} \quad (4.8)$$

$$V_F(g) = \frac{\sum_{k=g-\frac{n-1}{2}}^{k=g+\frac{n-1}{2}} V(k)}{n}, \quad \text{caso generico come in (4.5)} \quad (4.9)$$

$$V_F\left(\left(G - \frac{n-1}{2}\right) + 1\right) = \frac{V\left(\left(G - \frac{n-1}{2}\right) - 3\right) + V\left(\left(G - \frac{n-1}{2}\right) - 2\right) + V\left(\left(G - \frac{n-1}{2}\right) - 1\right) + V\left(G - \frac{n-1}{2}\right) + V\left(\left(G - \frac{n-1}{2}\right) + 1\right) + V(G-3) + V(G-2) + V(G-1) + V(G)}{9} \quad (4.10)$$

⋮

$$V_F(G - 1) = \frac{V(G-2) + V(G-1) + V(G)}{3} \quad (4.11)$$

$$V_F(G) = V(G) . \quad (4.12)$$

Il vettore colonna di smoothing generico associato al giorno g (S_g), utile per l'ottenimento del valore filtrato $V_F(g)$, è definito come segue:

$$S_g = \begin{bmatrix} V\left(g - \frac{n-1}{2}\right) \\ \vdots \\ V(g-1) \\ V(g) \\ V(g+1) \\ \vdots \\ V\left(g + \frac{n-1}{2}\right) \end{bmatrix} . \quad (4.13)$$

Facendo la media degli elementi del vettore S_g si ottiene il valore filtrato di V nel giorno g ($V_F(g)$), come mostrato nella (4.5).

Quanto maggiore è n tanto maggiore sarà l'effetto di "smoothing" tendente ad "appiattare" la curva e, per questo motivo, occorre utilizzare valori di n per cui l'approssimazione introdotta (e la conseguente perdita di informazioni) risulti trascurabile o, almeno, accettabile.

Una cosa molto interessante riguarda il fatto che tutte le elaborazioni effettuate finora hanno fatto emergere situazioni "anomale", non note agli assistenti, perché si tratta spesso di cambiamenti gradualmente che, magari, si verificano di notte: alla fine del declino mostrato in Fig. 4.16, ad esempio, si è verificata una caduta che, probabilmente, si sarebbe potuta evitare semplicemente con l'impiego tempestivo di un deambulatore; oppure, il

caso mostrato in Fig. 4.12, potrebbe permettere di essere allertati sulla necessità di una (diversa) terapia diuretica.

La Fig. 4.18 riporta, invece, un altro tipo di informazione, ovvero il numero giornaliero di accessi al bagno (estrapolato attraverso il monitoraggio della luce temporizzata ad accensione automatica) che conferma il trend individuato in Fig. 4.15. Nella stessa figura è visualizzata la barra d'errore, ovvero l'intervallo di confidenza (deviazione lungo la curva), con lo scopo di evidenziare come, nonostante la necessità di dover applicare filtri ed approssimazioni (4.5) per ridurre il rumore intrinseco nei dati, i risultati ottenuti presentino dei margini di errore percentualmente accettabili per gli scopi prefissati [76] [77].

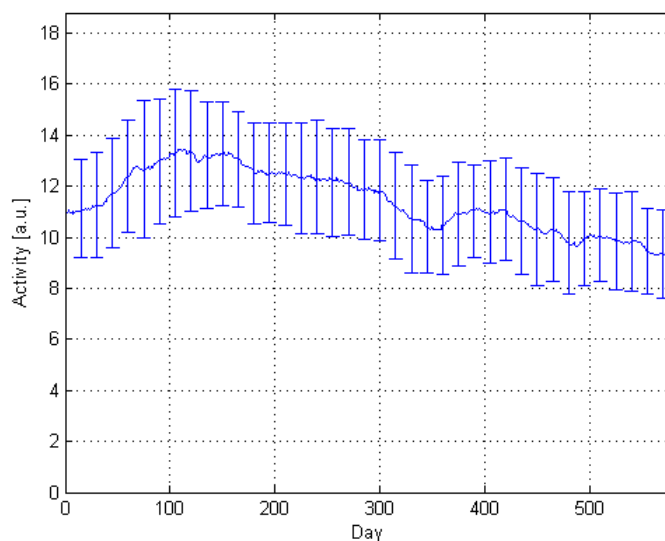


Figura 4.18: Conteggio accessi al bagno tramite il controllo della luce temporizzata

Più precisamente, la funzione di errore che si è ritenuto opportuno utilizzare è la *deviazione standard*:

$$E = std(M) . \quad (4.14)$$

La funzione di deviazione standard è applicata alla matrice M di cui ogni colonna rappresenta il vettore di "smoothing" (S_j) calcolato secondo la (4.13):

$$M = \begin{bmatrix} [S_1] & \dots & [S_j] \\ S_{11} & \dots & S_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & \dots & S_{nj} \end{bmatrix}, \quad (4.15)$$

con j che va da 1 fino al numero di giorni G (numero totale di giorni considerati) ed n che rappresenta l'ampiezza della finestra mobile (numero di giorni).

In particolare, E rappresenta il vettore contenente la deviazione standard degli elementi di ogni colonna della matrice M e, per ogni vettore S_j , l'elemento corrispondente di E risulta calcolato come segue:

$$E(j) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_{ij} - \bar{s})^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ con } 1 \leq i \leq n, \quad (4.16)$$

dove

$$\bar{s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i \quad (4.17)$$

Ogni barra d'errore rappresenta la distanza $E(j)$ sopra e sotto il punto identificato e permette di verificare che l'errore introdotto con l'approssimazione sia contenuto nei limiti di accettabilità.

Nel caso delle elaborazioni effettuate, come ad esempio per il caso di Fig. 4.18, sono stati ottenuti valori di E vicini al 15%, considerati accettabili per gli scopi previsti.

Altre elaborazioni effettuate hanno permesso di estrarre la distribuzione di frequenza degli eventi utile ad individuare, ad esempio, il "range di normalità" di un comportamento (Fig. 4.19).

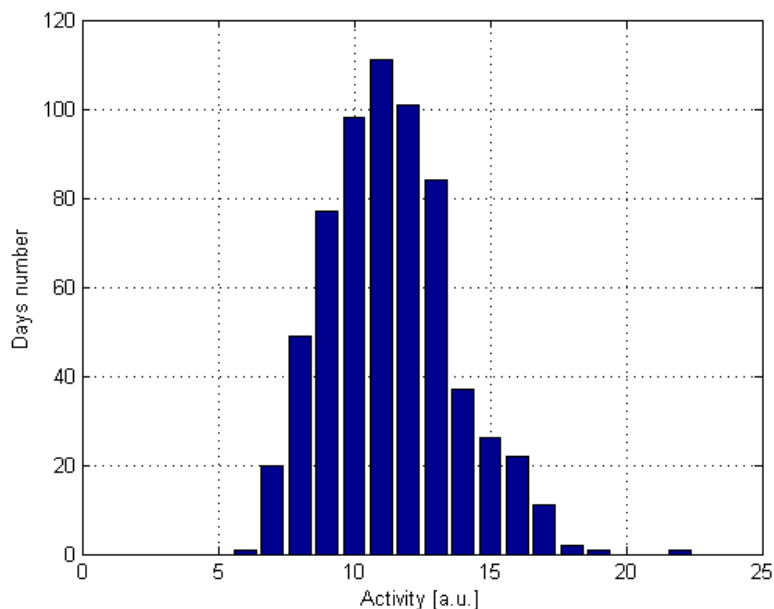


Figura 4.19: Distribuzione di frequenza accessi al bagno

Tutte le valutazioni e le osservazioni fatte finora hanno conferito validità all'approccio sperimentato ed il confronto con gli operatori (esempi mostrati in Fig. 4.12 e Fig. 4.15) ha evidenziato l'utilità di meccanismi che permettano di venire a conoscenza di informazioni di "tendenza" (altrimenti non note) che, se individuate precocemente, potrebbero permettere di prevenire un problema incipiente.

Dietro la spinta verso lo sviluppo di indicatori automatici, altre elaborazioni hanno portato all'individuazione di trend di lungo periodo: la figura successiva è stata ottenuta come elaborazione ulteriore dei dati mostrati in Fig. 4.15.

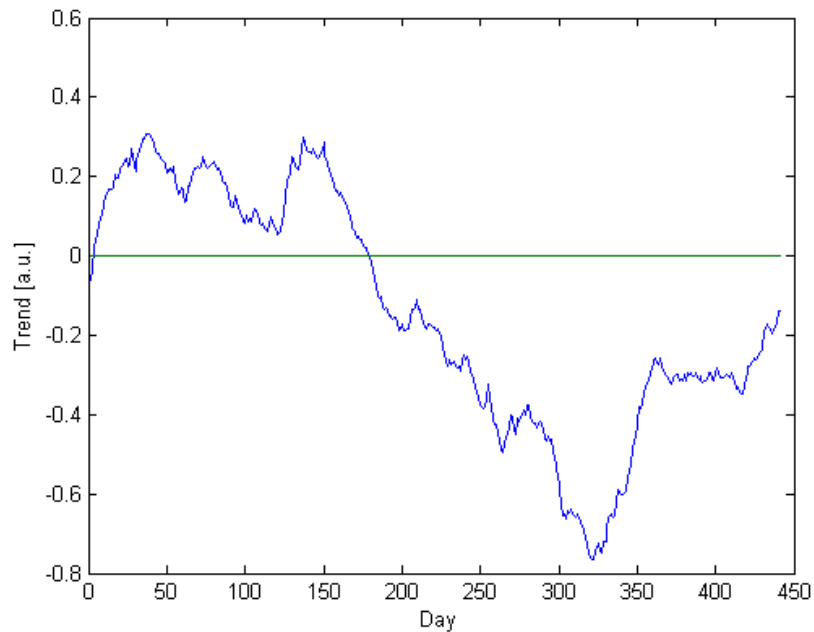


Figura 4.20: Individuazione dei trend

Più precisamente, è stato applicato il concetto di regressione lineare a finestre mobili di dati per estrarre informazioni relative al “verso” degli andamenti (“pendenze”) individuati dai coefficienti dei polinomi (funzione “polyfit” con grado 1) che “approssimano” meglio il tratto di curva compreso all’interno della finestra considerata: valori positivi della curva riportata in Fig. 4.20 indicano “incrementi” di attività mentre valori negativi indicano “decrementi” (declini). Questo è facilmente visibile dalla figura successiva in cui, sotto al grafico dell’attività, è riportato quello della pendenza al fine di evidenziare la correlazione suddetta.

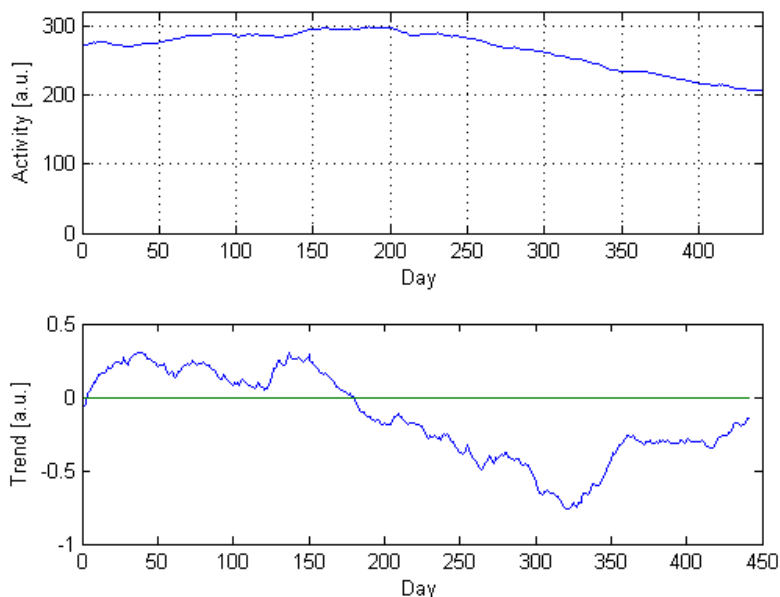


Figura 4.21: Grafici dell'attività e della relativa informazione di tendenza

Sulla base di queste osservazioni si possono pensare di individuare meccanismi che permettano di identificare e segnalare automaticamente situazioni di “attenzione” come, ad esempio, nel caso di un trend che si prolunghi per più di un certo periodo. Da qui la necessità di sviluppare strumenti capaci di trasformare il meccanismo di analisi retrospettiva finora descritto in un meccanismo automatico di individuazione delle tendenze ma soprattutto delle eventuali variazioni di tendenza, con lo scopo di favorire interventi preventivi. Per questi motivi, nel capitolo successivo (paragrafo 5.2), viene proposto un algoritmo per l'individuazione e la segnalazione automatica di alcune situazioni ritenute potenzialmente anomale e, per questo motivo, da verificare ulteriormente tramite l'uso di strumenti adatti e la supervisione di esperti (medici, assistenti, ...).

Le elaborazioni mostrate e descritte finora, sono state eseguite su alcuni appartamenti della struttura protetta di Ca' Bonaparte dove, comunque, c'è sempre la presenza di personale addetto e pronto ad intervenire in caso di necessità. In tali situazioni, gli strumenti sviluppati saranno, dunque, a

disposizione ed a supporto del personale, in ogni caso sempre presente per gestire eventuali richieste di assistenza da parte degli ospiti.

E' importante sottolineare come l'utilità di tali strumenti aumenti notevolmente nei casi in cui non sia prevista la presenza di personale addetto all'assistenza (strutture non presidiate, appartamenti privati abitati da anziani che vivono da soli, ...). In questi casi, in condizioni di potenziali anomalie, si potrebbe essere tempestivamente allertati (a distanza) per andare a verificare l'eventuale reale necessità di assistenza.

Sulla base di queste osservazioni è stata sviluppata (ed è tuttora in corso) una collaborazione con una società che fornisce assistenza privata (in Lombardia) la quale ha chiesto la possibilità di sperimentare gli strumenti sviluppati nell'abitazione di una signora ultranovantenne che vive sola in casa propria a Milano.

La sperimentazione è iniziata intorno ad Ottobre 2013 (molto recente) ed ha lo scopo di convalidare ulteriormente e collaudare, anche dal punto di vista funzionale, gli strumenti sviluppati.

La signora vive sola ma il suo stato di salute e le sue attività sono continuamente monitorate dalle figlie attraverso l'uso del sistema assistivo CARDEA e, più precisamente, tramite l'interfaccia descritta successivamente nel paragrafo 5.1 e mostrata in Fig. 5.3.

L'installazione di CARDEA a casa della signora ha due vantaggi: da un lato permette la segnalazione tempestiva di situazioni anomale (abbandono notturno del letto per troppo tempo, ...); dall'altro lato, la disponibilità delle informazioni registrate permanentemente su database abilita ancora una volta analisi comportamentali volte all'individuazione di variazioni relative significative.

In questo caso, oltre ai sensori di movimento, sono stati installati sensori da letto e da poltrona i cui dati rilevati, elaborati opportunamente, hanno permesso di fare analisi comportamentali più significative (conteggio alzate, sedute,) di quelle che si possono fare analizzando i dati forniti dai soli sensori di movimento. In ogni caso, i risultati di seguito mostrati, ottenuti tramite l'elaborazione delle informazioni fornite dai sensori da letto e da

poltrona, sono stati confermati (i trend) da quelli ottenuti analizzando i dati forniti dai sensori di movimento.

La figura successiva mostra l'attività rilevata dal sensore da letto (in particolare le "alzate", ovvero l'abbandono del letto): la curva blu riporta la somma di tutti gli eventi rilevati dal sensore da letto durante l'intera giornata (somma totale, curva di colore blu); la curva rossa corrisponde agli eventi rilevati durante il giorno (ovvero nell'intervallo [08:00, 20:00]); infine, la curva verde riporta gli eventi rilevati durante la notte (precisamente negli intervalli [00:00, 08:00] e [20:00, 00:00]).

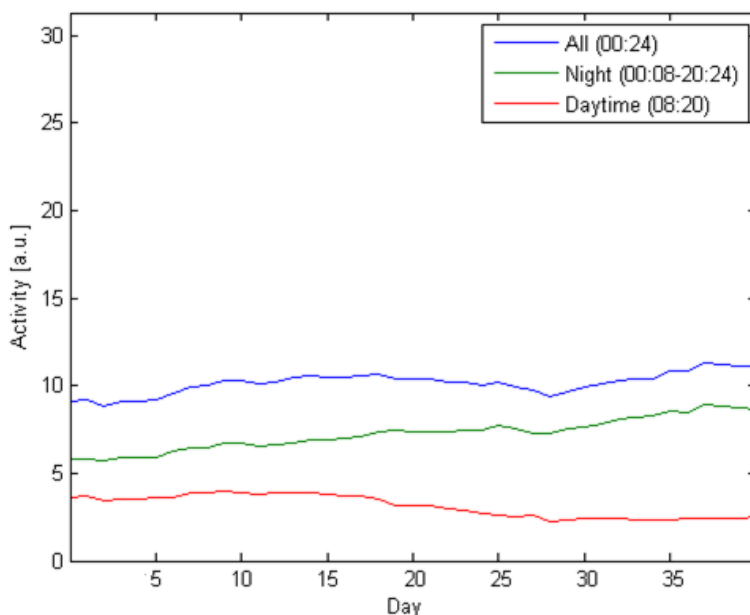


Figura 4.22: Attività rilevata dal sensore da letto (eventi relativi all'abbandono del letto, "alzate")

Quello che emerge è un incremento dell'attività notturna (curva verde) soprattutto negli ultimi venti giorni considerati: la signora abbandona di notte il letto sempre più frequentemente. Seppure, sin dal primo giorno, l'attività notturna rilevata dal sensore da letto non sia stata nulla (in generale capita, non solo agli anziani, di alzarsi di notte per andare in bagno o per bere dell'acqua e tutto è normale finché poi si ritorna a letto), quello che è

emerso di anomalo dall'analisi dei dati è il fatto che in corrispondenza delle alzate notturne si iniziava verificare un "intenso" uso notturno della poltrona che in precedenza non si verificava (Fig. 4.22).

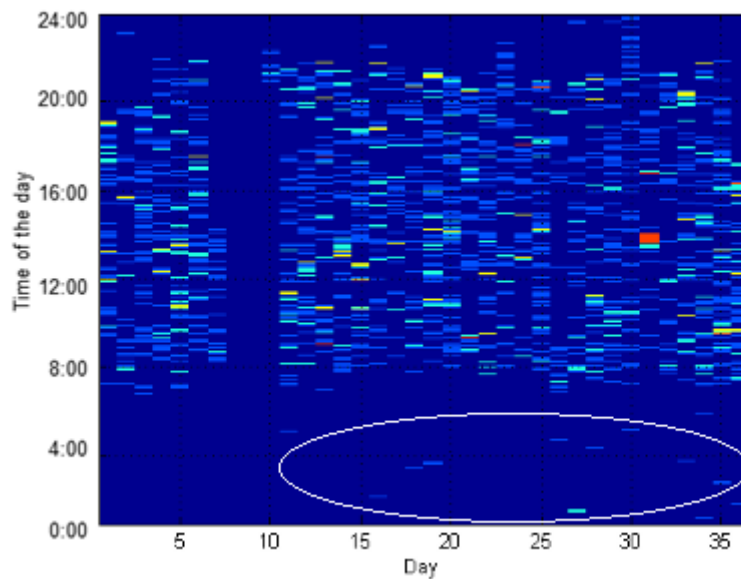


Figura 4.23: Distribuzione temporale degli eventi rilevati dal sensore da poltrona (eventi relativi all'occupazione della poltrona, "sedute")

L'individuazione di tale variazione nel comportamento (l'uso notturno della poltrona che prima non avveniva) ha evidenziato un potenziale stato di disagio della signora che è sfociato, purtroppo, in un successivo ricovero in una struttura più adatta ed assistita, come confermato dagli operatori della società di assistenza con i quali è stata sviluppata la sperimentazione. Quello appena mostrato rappresenta un ulteriore esempio di utilità ed efficacia dello strumento che valida ulteriormente l'approccio impiegato basato sull'analisi comportamentale indiretta.

Capitolo 5

Strumenti per l'individuazione di trend e variazioni

5.1 Semplici strumenti di analisi statistica

Un primo e semplice esempio di analisi ed elaborazione dei dati è rappresentato da uno strumento sviluppato, utile a visualizzare statistiche riguardanti i diversi eventi che forniscono informazioni utili (seppure semplici) su attività e comportamenti all'interno dell'ambiente domestico.

Ad esempio, tramite l'analisi dei dati forniti da sensori da letto e poltrona si possono ottenere informazioni statistiche sull'utilizzo del letto; se tali informazioni fossero ulteriormente elaborate e integrate con altre, magari si potrebbe facilmente arrivare ad avere una stima dei cicli di veglia-sonno e delle attività di un soggetto. Nelle figure seguenti è mostrato un esempio relativo all'uso di una poltrona, osservato tramite l'impiego di un sensore di pressione controllato dal sistema CARDEA.

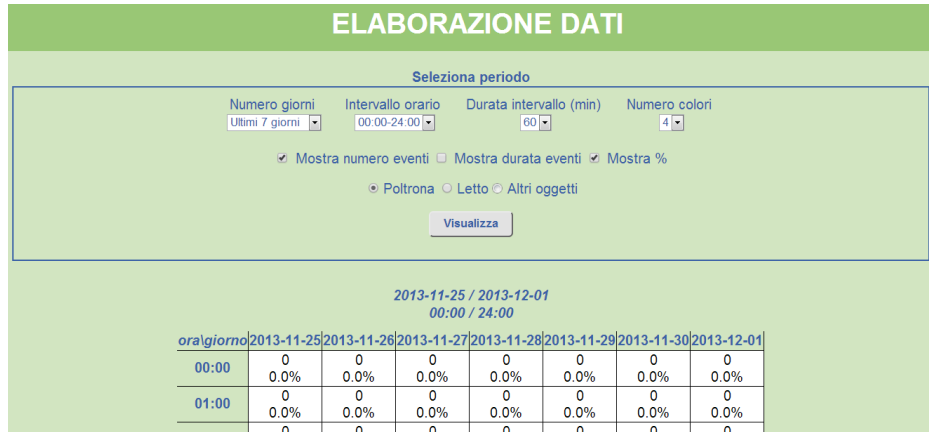


Figura 5.1: Occupazione poltrona

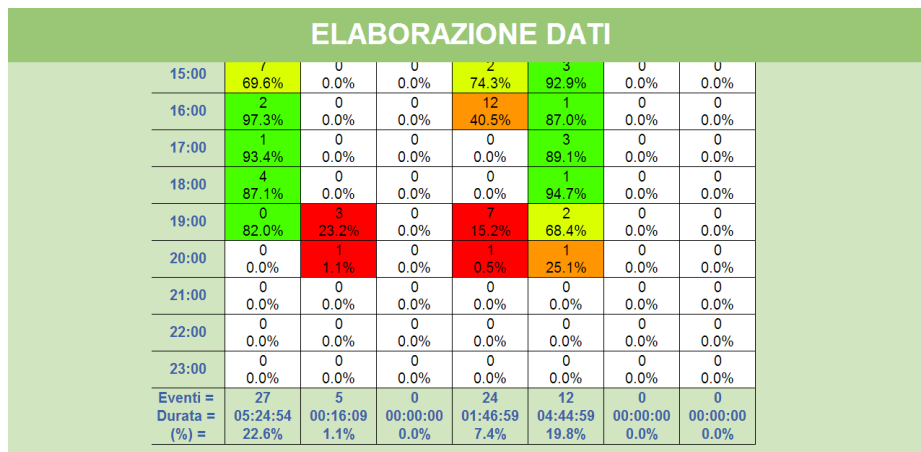


Figura 5.2: Occupazione poltrona

L'informazione fornita dal singolo sensore è stata utilizzata per la realizzazione di semplici strumenti statistici capaci di permettere un monitoraggio dettagliato degli eventi che il sensore osservato rileva.

Le figure sopra riportate mostrano degli esempi in cui per ogni giorno e per ogni ora del giorno è tenuto traccia del numero di eventi rilevati e del tempo di occupazione della poltrona. Lo strumento permette di scegliere sia il periodo (ultimi 7 giorni, ultimo mese, ...) sia l'intervallo della giornata

(00-24, 09-18, ...) da monitorare oltre che quali informazioni visualizzare (percentuale di occupazione, tempo di occupazione, numero di eventi).

Un altro strumento che dà informazioni riassuntive riguardati stavolta più sensori, è stato sviluppato con lo scopo di favorire il monitoraggio evidenziando eventuali situazioni anomale come, ad esempio, il fatto che non si verificano eventi per molto tempo oppure che non si ritorni a letto entro un certo tempo in seguito ad un precedente abbandono notturno. Tali condizioni possono facilmente essere comunicate al personale addetto all'assistenza, ovvero ai caregiver formali (un servizio di assistenza domiciliare, un infermiere, ...) o informali (un parente, ...) che potrà verificarne la criticità ed eventualmente intervenire.



Figura 5.3: Informazioni riassuntive storiche e di stato

L'interfaccia sopra mostrata riporta per ogni sensore l'informazione di stato (corrente) oltre che l'informazione sul tempo trascorso da quando quel sensore è "entrato" in quel particolare stato corrente (durata).

Si tratta di strumenti utili agli operatori in quanto evidenziano informazioni dirette (di stato) affiancate ad informazioni storiche che, seppure sintetiche e limitate, permettono di individuare regolarità ed anomalie immediate e di breve periodo. Tali strumenti, integrati con altri che permettono un monitoraggio di più lungo periodo (come quelli mostrati nel capitolo precedente) permettono di avere un quadro completo e ricco di informazioni

che può fornire indicazioni utili alla predizione e prevenzione di un problema.

Occorre, tuttavia, “adattare” le informazioni a seconda dell’utente finale che, come detto più volte, può essere rappresentato non solo da personale addetto alla ricezione delle informazioni (dettagliate a seconda delle competenze) ma anche, ad esempio, da un familiare che, senza competenze specifiche, potrà monitorare ed essere avvisato quando potrebbe (non si ha la pretesa di dare alcuna diagnosi clinica) essere opportuno chiedere assistenza. Ad esempio, un dottore potrà avere accesso a dati e grafici (come quelli mostrati nel capitolo 4) utili a lui per comprendere l’andamento di una particolare situazione clinica, mentre, all’assistente o agli stessi familiari, possono essere fornite segnalazioni più elementari o dati sintetici (Fig. 5.3) che, possono semplicemente fungere da “campanello d’allarme” per segnalare la presenza di condizioni di potenziale pericolo o anomalia.

5.2 Un algoritmo per rendere automatico il procedimento

Tutte le considerazioni e le valutazioni emerse nel capitolo riguardante l’elaborazione dei dati reali (capitolo 4), seppure scaturiscano da un’analisi retrospettiva delle informazioni rilevate, hanno evidenziato le potenzialità dell’analisi comportamentale in ottica predittiva, sia come utile strumento di supporto ai caregiver (formali ed informali), sia per la possibilità di conferire ad un sistema di AAL capacità adattative indispensabili e “decisive” in ambito assistivo. E’, tuttavia, importante sottolineare come lo sforzo sia quello di sviluppare strumenti automatici di individuazione di variazioni comportamentali da impiegare real-time e non solo retrospettivamente, in modo da poter fornire uno strumento “completo” che

possa essere realmente utile per l'individuazione anticipata (predizione) e per la prevenzione di un problema.

Sulla base di queste osservazioni si è pensato di sviluppare un meccanismo che prevede di individuare e segnalare automaticamente comportamenti caratterizzati da variazioni (anomalie) di tendenza, a prescindere dal fatto che esse siano rapide o lente. Il grafico mostrato in Fig. 5.4, mette in evidenza due generici casi di variazione improvvisa ("Too fast") e variazione lenta ("Too long") del trend comportamentale corrispondenti rispettivamente a variazioni improvvisi o più lente dell'attività rilevata.

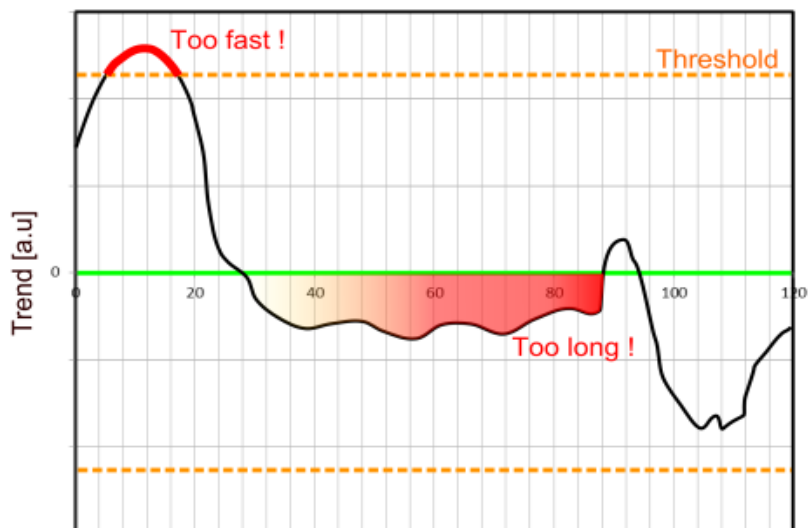


Figura 5.4: Variazione rapida e variazione lenta del trend

Con l'obiettivo di sviluppare funzioni di predizione da integrare nel sistema di monitoraggio, è stato implementato e, di seguito, proposto un algoritmo che ha lo scopo di individuare alcune tipologie di variazioni comportamentali ad ognuna delle quali è associato un "flag" da considerare come un indicatore di "warning".

In Fig. 5.5 sono mostrati tre casi diversi (associati ai tre flag) in cui l'attività (o il trend dell'attività) subisce variazioni ritenute "anomale" e, per questo,

da notificare come situazioni di “attenzione” da verificare o far verificare a personale più competente. L’approccio, infatti, non pretende di dare alcuna interpretazione clinica dei dati elaborati così come la scelta delle soglie (sia come intensità che durata) è giusto che avvenga sotto la guida di personale esperto/medico in quanto occorre che siano accuratamente impostate ed adattate al soggetto considerato. I tre esempi (corrispondenti al Flag 1, al Flag 2 ed al Flag 3) della figura riportata di seguito, sono il risultato dell’applicazione dell’algoritmo, di seguito descritto, che prevede l’attivazione di un “flag”, come indicatore di attenzione, nei casi di:

- 1) **Fuori soglia:** quando si verificano, cioè, significative variazioni dell’attività (individuate come mostrato in Fig. 5.5-Flag 1) che eccedano soglie di intensità prefissate ma personalizzabili ed accuratamente definite in accordo con gli operatori che conoscono la situazione di “normalità” del soggetto monitorato (familiari, medico curante, ...).
- 2) **Rapido incremento/decremento:** quando si verificano significative variazioni (negative o positive) del trend (“Too fast” di Fig. 5.4, individuato come mostrato in Fig. 5.5-Flag 2) che eccedano soglie sull’intensità prefissate ma personalizzabili ed accuratamente definite in accordo con gli operatori che conoscono la situazione di “normalità” del soggetto monitorato (familiari, medico curante, ...), anche quando l’attività risulta entro i limiti stabiliti.
- 3) **Lento incremento/decremento:** quando si verifica una prolungata durata del trend, anche se (la pendenza) il trend risulta all’interno delle soglie prefissate (“Too long” di Fig. 5.4, individuato come mostrato in Fig. 5.5-Flag 3). Più precisamente, nel caso mostrato in Fig. 5.5-Flag 3, il flag 3 si attiva quando l’area sottesa dalla curva del trend e dalla retta zero supera un certo valore.
Tuttavia, per questioni di interpretazione, questa informazione verrà trattata (“tradotta”, senza perdita di informazioni) in termini di durata del trend e, quindi, in termini di numero di giorni (come successivamente mostrato in Fig. 5.6) in modo da dover definire

un'unica soglia (seppure simmetrica) sul numero di giorni (durata) "tollerabile", prima di notificare una segnalazione di warning. Ovviamente, anche in questo caso occorre che la soglia sia personalizzabile ed accuratamente definita in accordo con gli operatori che conoscono la situazione di "normalità" del soggetto monitorato (familiari, medico curante, ...).

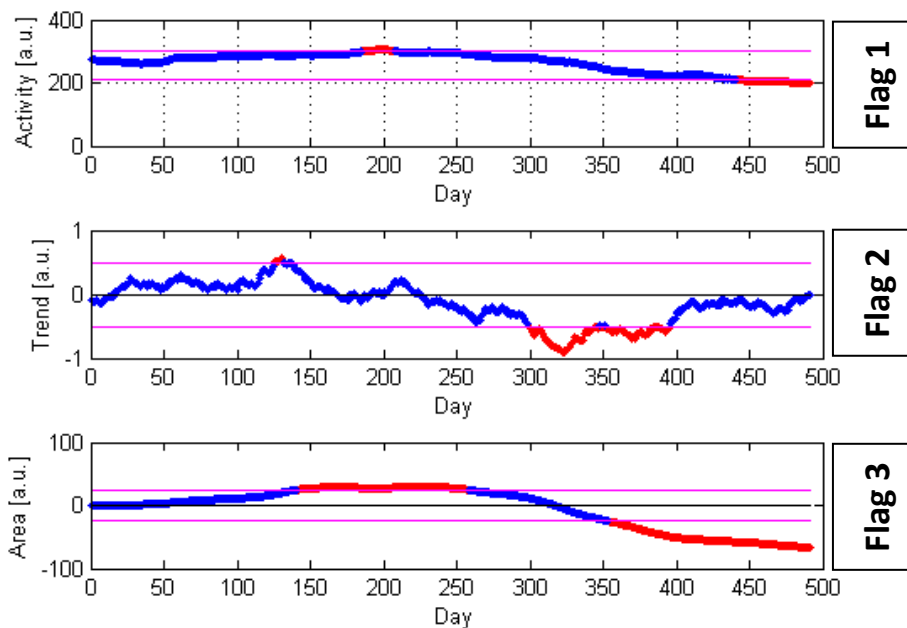


Figura 5.5: Tre "flag di attenzione"

La Fig. 5.5 (Flag 1) riporta lo stesso grafico dell'attività complessiva mostrato in Fig. 4.15, intercettato dalle rette rappresentanti le soglie sull'intensità di attività, opportunamente settate; il secondo caso mostrato in Fig. 5.5 (Flag 2) riporta il grafico, intercettato dalle rette rappresentanti le soglie sull'intensità del trend (rapide variazioni), di Fig. 4.20, opportunamente settate; il terzo caso (Flag 3), infine, riporta il valore (con segno) dell'area sottesa tra il trend e la retta zero (lente variazioni), intercettato dalle rette rappresentanti le soglie sulla durata del trend. Questa

informazione (di “area”) è stata tradotta col numero di giorni per cui si protrae il trend (Fig. 5.6-Flag 3) per rendere maggiormente significativo il concetto di “durata” del trend. In Fig. 5.6 e Fig. 5.7, il Flag 3 si attiva, infatti, quando il trend (incremento o decremento che sia) si prolunga per un numero di giorni superiore alla soglia stabilita (è un contatore che si azzerava con l’inversione di tendenza). Tutti e tre i flag potrebbero sembrare ridondanti ma, in realtà, il loro uso combinato permette di coprire una casistica più ampia rispetto all’uso di un numero di flag inferiore. In particolare, agendo sulla soglia del flag 3 si possono attivare segnalazioni di warning a più livelli (periodo più o meno lungo) in maniera relativamente indipendente dall’intensità. Tutto ciò è significativo di quanto sia importante fare una scelta accurata delle soglie, che tenga conto dell’indicatore di attività monitorato ma, soprattutto, delle condizioni del soggetto, per questo personalizzata ed individuata da operatori competenti e specializzati.

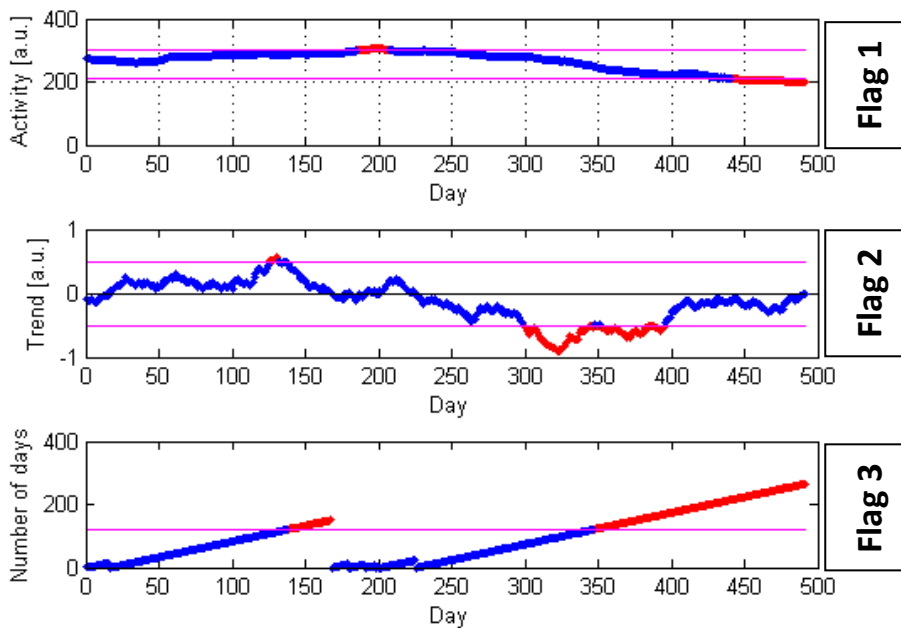


Figura 5.6: Tre flag di “attenzione” con soglia sulla durata pari a 4 mesi (flag 3)

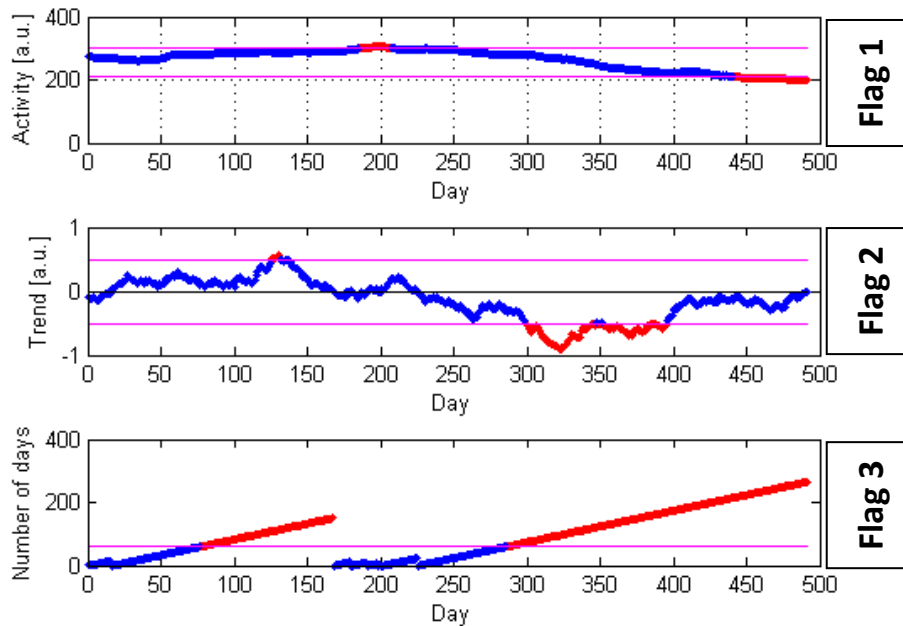


Figura 5.7: Tre flag di “attenzione” con soglia sulla durata pari a 2 mesi (flag 3)

In Fig. 5.6 e Fig. 5.7 il flag 3 si attiva, rispettivamente, dopo quattro mesi e dopo due mesi e si nota come, nel caso di Fig. 5.6 scatti prima il flag 2 del flag 3 a differenza della Fig. 5.7 in cui scatta prima il flag 3 del flag 2.

Poichè quella delle soglie è una scelta “critica” e fortemente dipendente dal singolo soggetto considerato, sono necessarie (ed in corso) collaborazioni in cui siano coinvolti anche medici ed operatori del settore assistenziale, al fine di sviluppare e configurare uno strumento di supporto che sia quanto più utile ed affidabile possibile.

Conclusioni e sviluppi futuri della ricerca

In questo lavoro di ricerca sono stati studiati meccanismi di analisi comportamentale indiretti e non invasivi che, a partire dai dati che i sensori ambientali rilevano nel tempo, sono capaci di estrapolare “pattern” ed indicatori di attività che permettono di distinguere se, ad esempio, un certo comportamento è regolare o sta subendo variazioni significative.

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 (seppure differenti) di quelle fornite da sensori medicali. Rilevare una frequenza cardiaca troppo alta, ad esempio, potrebbe destare preoccupazioni e far scattare una segnalazione immediata se la persona monitorata fosse a letto ma potrebbe, al contrario, essere un’informazione trascurabile qualora stesse eseguendo attività fisica (cyclette, ...). La possibilità di disporre di strumenti che permettano l’individuazione di trend e variazioni comportamentali permetterebbe di fare valutazioni molto utili ai fini della prevenzione soprattutto nel caso degli anziani, nei quali, i primi declini si manifestano spesso con variazioni del comportamento nonostante la regolarità di molti parametri fisiologici.

L’analisi del comportamento è, dunque, “complementare” al monitoraggio diretto: per sapere se una persona fa cyclette o è a letto è necessaria l’analisi comportamentale mentre per conoscere la frequenza cardiaca occorrono strumenti medicali più complessi ed invasivi.

L’approccio sperimentato risulta particolarmente innovativo e promettente in quanto, sfruttando informazioni semplici e principalmente mirate ad altri scopi, senza l’introduzione di costi aggiuntivi (hardware), fornisce funzioni ad alto valore aggiunto integrabili nei sistemi di AAL per aumentarne

l'intelligenza e renderli adatti ad essere strumenti di supporto al monitoraggio del benessere delle persone e non solo strumenti di monitoraggio e gestione ambientale. Per questi motivi, negli ultimi tempi, si stanno moltiplicando le iniziative orientate a promuovere e finanziare progetti (europei e regionali, rispettivamente, "HELICOPTER" e "AALISABETH") in cui è centrale lo studio delle abitudini delle persone attraverso strumenti di AAL ed, in particolare, attraverso metodologie di analisi comportamentale indirette perché risultano non invasive e poco costose (quindi praticabili) ma, soprattutto, realmente utili in quanto permettono di individuare variazioni, spesso graduali e/o notturne, non percepibili dall'occhio umano dell'assistente/familiare. Il tema dell'analisi comportamentale indiretta è oggi al centro dell'attenzione di molti studi scientifici perché spinge verso lo sviluppo di interessanti funzioni di predizione che sarebbero certamente di supporto nei contesti assistivi per prevenire un problema.

Nel paragrafo 5.2 è stato proposto un algoritmo che rappresenta un primo passo verso l'implementazione di meccanismi automatici di individuazione di trend comportamentali e di segnalazione di variazioni anomale da integrare nel sistema CARDEA. Occorre, tuttavia, la collaborazione degli operatori e dei medici che conoscono le condizioni dei soggetti da monitorare, da un lato per configurare e personalizzare opportunamente le soglie e, dall'altro, per sviluppare e collaudare strumenti il più possibile utili ed affidabili.

Nonostante la semplicità degli esperimenti eseguiti sui dati reali registrati, descritti nel capitolo 4, sono emerse chiaramente le potenzialità del metodo sperimentato.

Gli stessi esperimenti hanno, tuttavia, evidenziato anche la difficoltà di lavorare con grosse quantità di dati (ambientali) fortemente variabili la cui elaborazione richiede inevitabilmente l'applicazione di algoritmi di filtraggio e di approssimazione che, senza introdurre un'eccessiva perdita di informazioni, selezionino caratteristiche comportamentali (pattern) quanto più possibile affidabili. La forte variabilità dei comportamenti rende, inoltre, difficile l'individuazione delle soglie per l'attivazione di alcuni meccanismi

di segnalazione, le quali, sono fortemente dipendenti dal contesto (ambiente e sensore/i considerato/i) e dal soggetto considerato e richiedono il coinvolgimento degli operatori e dei medici, sin dal momento della scelta del sensore o dei sensori utili ai fini del monitoraggio desiderato. Gli operatori sanitari ed i medici che conoscono bene le esigenze del settore ma soprattutto dei soggetti, sono, infatti, i più adatti per l'individuazione delle soglie ma, più in generale, a fornire "suggerimenti" per lo sviluppo di strumenti e tool che possano essere a loro (ed alle persone assistite) realmente utili: in particolare, i caregiver assumono un ruolo rilevante nelle fasi iniziali di validazione in cui i pattern comportamentali e le relative variazioni rilevate dal sistema devono essere verificate e convalidate con l'aiuto di assistenti/familiari (in generale chi segue e conosce l'assistito) e/o la consultazione di eventuali registri contenente gli eventi verificatisi.

Un altro tema rilevante in questo tipo di applicazioni riguarda la privacy: nonostante la non invasività dell'approccio e delle elaborazioni è giusto ed opportuno che le persone assistite siano debitamente informate. Il monitoraggio indiretto proposto rende, tuttavia, meno critici questi aspetti puntando all'analisi di semplici dati ambientali, poco significativi soprattutto se considerati singolarmente. Inoltre, anche i pattern comportamentali rilevati potrebbero essere resi disponibili agli assistenti solo nel caso in cui si verificano significative variazioni comportamentali che rendessero ragionevole un intervento o, quantomeno, una verifica da parte di personale specializzato.

Il lavoro svolto durante il dottorato ha avuto, come fine ultimo, la sperimentazione e la validazione di un innovativo approccio rivolto allo studio delle abitudini e dei trend comportamentali basato sull'elaborazione dei dati reali registrati da sensori ambientali (indiretto). Il percorso seguito ha, tuttavia, previsto tappe "propedeutiche": è stata necessaria, infatti, una fase preparatoria di predisposizione degli strumenti che è passata per lo sviluppo e l'implementazione del modulo di estensione di CARDEA al web (con l'introduzione del database di accumulo dei dati descritto nel capitolo 3) e l'installazione dell'integrazione sviluppata presso la struttura di Neviano degli Arduini che ha abilitato la possibilità di condurre esperimenti

sui dati reali e dove, tuttora, è in corso la fase di memorizzazione delle informazioni rilevate dal sistema nel database web introdotto.

Partendo da ciò, l'obiettivo è quello di fare ulteriori elaborazioni sui nuovi dati registrati dal sistema ma, soprattutto, estendere le elaborazioni a più sensori al fine di utilizzare in maniera combinata tutti i dati disponibili per inferire e per tracciare profili di comportamento in maniera più affidabile. Inoltre, la possibilità di estendere le stesse analisi ad una molteplicità di dati provenienti non solo dall'installazione di Neviano degli Arduini, ma anche dalle altre installazioni di CARDEA presso altre strutture (Fig. 4.1), consentirà una campagna di test più ampia che potrà essere utile per la gestione e la configurazione delle soglie oltre che per migliorare, sviluppare e collaudare strumenti di supporto sempre più capaci ed utili.

A seconda delle necessità, con un accettabile compromesso con costi ed invasività, si potrebbe pensare di estendere l'analisi, oltre che alle informazioni rilevate da altri sensori ambientali, a quelle provenienti da sensori indossabili, magari introdotti appositamente, che potrebbero fornire informazioni certamente più direttamente interpretabili e correlabili al comportamento, permettendo valutazioni non solo qualitative ma anche quantitative sul benessere delle persone.

La speranza è quella che tramite una "fusione" delle singole informazioni provenienti dai differenti sensori si possa arrivare ad estrapolarne altre che diano indicazioni non direttamente correlate all'uso di un particolare sensore, ma di più alto livello, con lo scopo di realizzare dei sensori "virtuali" che aiutino a capire dinamiche comportamentali non descrivibili da nessun particolare singolo sensore ma solo dall'uso integrato di tutti quelli disponibili. Ciò permetterebbe di fare valutazioni sull'andamento di certi parametri ambientali e fisiologici utilizzabili per diagnosticare precocemente e prevenire eventuali situazioni pericolose incipienti. Si potrebbe avere, per esempio, un quadro sulla situazione dei cicli di veglia-sonno di un soggetto, oppure si potrebbe controllare la frequenza e la periodicità di certe attività ("percorsi e spostamenti", ma anche sapere "se, quando e cosa" una persona mangia o beve al fine di controllare e verificare

che certi compiti necessari vengano regolarmente svolti) o segnalare eventuali anomalie fisiologiche e/o comportamentali.

Occorre in generale utilizzare un approccio ibrido che sfrutti le moderne tecniche di data cleaning e data mining che potrebbero aiutare ad estrapolare informazioni che conferirebbero un significativo valore aggiunto al sistema di monitoraggio ed assistenza. L'obiettivo ultimo è, infatti, quello di integrare (possibilmente senza aumentarne invasività e costi), nel sistema CARDEA, funzioni adattative e di predizione capaci di rivelare informazioni, che altrimenti resterebbero non note ai caregiver, quanto più utili ed affidabili.

Gli strumenti finora sviluppati sono sufficientemente efficaci e pronti ad affrontare il passaggio dall'avvenuta fase di test e collaudo in laboratorio a quella di collaudo sul campo. Nell'ambito dei sopracitati progetti scientifici già finanziati, HELICOPTER ("AAL Joint Programme", europeo) e AALISABETH ("active aging-AAL", regionale), in cui è centrale il tema dell'analisi comportamentale è prevista, infatti, anche la collaborazione con i medici che permetterà di migliorare e collaudare gli strumenti sviluppati anche dal punto di vista scientifico-funzionale.

Esiste oggi la possibilità di monitorare sia i parametri fisiologici (continuativamente ed intensivamente), sia il comportamento (e relative variazioni) delle persone: a seconda degli obiettivi cambiano sia le metodologie che i costi e l'invasività ad esse correlati. In generale, occorre utilizzare un approccio ibrido che sfrutti i vantaggi forniti dai differenti metodi inferendo, ad esempio, variazioni ed anomalie comportamentali tramite l'impiego delle metodologie indirette (non invasive, pratiche e poco costose) approfondite in questa tesi, eventualmente suggerendo, quando ritenuto necessario, il supporto di personale specializzato e l'impiego di adeguati strumenti. Gli strumenti ed i tool (sviluppati) volti all'analisi comportamentale non devono assolutamente essere visti come sostitutivi di strumenti medicali complessi e costosi ma, piuttosto, come strumenti ad essi complementari: l'obiettivo non è, infatti, quello di fare valutazioni cliniche ma quello di fornire supporto al personale competente (assistenti e medici)

che potranno così disporre di ulteriori strumenti utili soprattutto per la prevenzione da potenziali problemi.

Bibliografia

- [1] C. Stephanidis, G. Salvendy, D. Akoumianakis, A. Arnold, N. Bevan, D. Dardailler, P. L. Emiliani, I. Iakovidis, P. J.Jenkins, A. Karshmer, P. Korn, A. Marcus, H. Murphy, C. Oppermann, C. Stary, H. Tamura, M. Tscheligi, H. Ueda, G. Weber, and J. Ziegler, "Toward an information society for all: HCI challenges and R&D recommendations," *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 11, no. 1, pp. 1-28, 1999.
- [2] Christopher Lau, R. Sean Churchill, Janice Kim, Frederick A. Matsen III, and Yongmin Kim, "Asynchronous Web-Based Patient-Centered Home Telemedicine System," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 49, no. 12, pp. 1452-1462, December 2002.
- [3] Nada Hashmi, Dan Myung, Mark Gaynor, and Steve Moulton, "A Sensor-based, Web Service-enabled, Emergency Medical Response System," in *Workshop on End-to-End, Sense-and-Response Systems, Application, and Services*, Seattle, 2005, pp. 25-29.
- [4] Gilles Virone, Norbert Noury, and Jacques Demongeot, "A system for Automatic Measurement of Circadian Activity Deviations in Telemedicine," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 49, no. 12, pp. 1463-1469, December 2002.
- [5] Marie Chan, Cyril Hariton, Patrick Ringiard, and Eric Campo, "Smart house automation system for the elderly and the disabled," in *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Intelligent Systems for the 21st Century*, vol. 2, Vancouver, 1995, pp. 1586-1589.
- [6] Siddharth Dalal, Majd Alwan, Reza Seifrafi, Steve Kell, and Donald Brown, "A Rule-Based Approach to the Analysis of Elders' Activity

Data: Detection of Health and Possible Emergency Conditions,".

- [7] Niels Landwehr, Bernd Gutmann, Ingo Thon, Matthai Philipose, and Luc De Raedt, "Relational Transformation-based Tagging for Activity Recognition," , vol. 89, Warsaw, 2007, pp. 83-94.
- [8] Jurgen Nehmer, Martin Becker, Arthur Karshmer, and Rosemarie Lamm, "Living Assistance System - An Ambient Intelligence Approach," in *Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering*, Shanghai, May 20-28, 2006, pp. 43-50.
- [9] Jakkula Vikramaditya, "Predictive Data Mining to Learn Health Vitals of a Resident in a Smart Home," in *Seventh IEEE International Conference on Data Mining*, Omaha, 2007, pp. 163-168.
- [10] G. Virone, and A. Sixsmith, "Activity Prediction for In-Home Activity Monitoring," in *4th International Conference on Intelligent Environments*, Seattle, 2008, pp. 1-4.
- [11] D. Dietrich, W. Kastner, T. Maly, C. Roesener, G. Russ, and H. Schweinzer, "Situation modeling," in *IEEE International Workshop on Factory Communication Systems*, Dresden, 2008, pp. Proceedings 2004, vol. 193–102.
- [12] A. M. Cole, and B.Q.Tran, "Home automation to promote independent living in elderly populations," in *Proceedings of the Second Joint EMBS/BMES Conference*, 2002, pp. volume 3, 2422–2423.
- [13] Gael LeBellego, Norbert Noury, Gilles Virone, Mireille Mousseau, and Jacques Demongeot, "A Model for the Measurement of Patient Activity in a Hospital Suite," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 10, no. 1, pp. 92-99, JANUARY 2006.
- [14] Vince Stanford, "Biosignals Offer Potential for Direct Interfaces and Health Monitoring," *Pervasive Computing, IEEE*, vol. 3, no. 1, pp. 99-

103, Jan-March 2004.

- [15] Hande Alemdar, and Cem Ersoy, "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.
- [16] Oliver Brdiczka, Matthieu Langet, Jérôme Maisonnasse, and James L. Crowley, "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.
- [17] Chun Zhu, 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.
- [18] Gilles Virone, 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.
- [19] Shuang Wang, 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.
- [20] Shuang Wang, 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.
- [21] F. Grossi, 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.

- [22] F. Grossi, 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.
- [23] L. Litz 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.
- [24] Iyad Al Khatib, Davide Bertozzi, Francesco Poletti, Luca Benini, Axel Jantsch, Mohamed Bechara, Rustam Nabiev, and Sven Jonsson, "MPSoC ECG Biochip: A MULTiprocessor System-on-Chip for Real-Time Human Heart Monitoring and Analysis," in *Proceedings of the 3rd conference on Computing frontiers*, Ischia, 2006, pp. 21-28.
- [25] K.M. Chang, M.S. Shih, T.H. Lan, and L.W. Hang, "Bluetooth Based Wireless Sleep Remote Monitoring System," in *6th International Special Topic Conference on Information Technology Applications in Biomedicine*, Tokyo, 2007, pp. 309-312.
- [26] A. Leone, 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.
- [27] Jordi Parera, 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.
- [28] Marc Torrent, Cecilio Angulo, and Cristolbal Raya, "Autonomous system for movement monitoring," *International journal on the*

- fundamental aspects of technology to serve ageing society*, vol. 7, no. 2, p. 224, May 2008.
- [29] Suhuai Luo, and Qingmao Hu, "A dynamic motion pattern analysis approach to fall detection," in *2004 IEEE International Workshop on Biomedical Circuits and Systems*, Singapore, 2004, pp. 1-5 - 1-8.
- [30] Dimitrios Lymberopoulos, Thiago Teixeira, and Andreas Savvides, "Macroscopic human behavior interpretation using distributed imager and other sensors," *Proceedings of the IEEE*, vol. 96, no. 10, pp. 1657-1677, October 2008.
- [31] Derek Anderson, Robert H. Luke, Marjorie Skubic, James M. Keller, Marilyn Rantz, and Myra Aud, "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.
- [32] Derek Anderson, James M. Keller, Marjorie Skubic, Xi Chen, and Zhihai He, "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. 6388-6391.
- [33] Tracy S. Barger, Donald E. Brown, and Majd Alwan, "Health-status monitoring through analysis of behavioral patterns," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, vol. 35, no. 1, pp. 22-27, January 2005.
- [34] Akifumi Yamaguchi, Mitsuhiro Ogawa, and Tatsuo Togawa, "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.

- [35] Mitsushiro Ogawa, Ryoji Suzuki, Sakuko Otake, Takeshi Izutsu, Tsutomu Iwaya, and Tatsuo Togawa, "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.
- [36] Kyungseo Park, Eric Becker, Jyothi K. Vinjumur, Zhengyi Le, and Fillia Makedon, "Human Behavioral Detection and Data Cleaning in Assisted Living Environment using Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, Corfu, 2009.
- [37] C.-C. Hsia, K. J. Liou, A. P. W. Aung, S. F. Foo, W. Huang, and J. Biswas, "An Approach for Incorporating End User Knowledge into Applications of Information Extraction Classification and Fusion in Institutional Eldercare," in *10th International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms, and Networks*, Kaohsiung, 2009, pp. 415-420.
- [38] Chao Chen, Barnan Das, and Diane J. Cook, "A Data Mining Framework for Activity Recognition In Smart Environments," in *Sixth International Conference on Intelligent Environments*, Kuala Lumpur, 2010, pp. 80-83.
- [39] S. Consolvo, B. Harrison, J. Hightower, A. LaMarca, L. LeGrand, A. Rahimi, A. Rea, G. Bordello, B. Hemingway, P. Klasnja, K. Koscher, J. A. Landay, J. Lester, D. Wyatt, and D. Haehnel, "The Mobile Sensing Platform: An Embedded Activity Recognition System," *Pervasive Computing, IEEE*, vol. 7, no. 2, pp. 32-41, April-June 2008.
- [40] Jingling Zhao, Xia Wang, and Yue Zhou, "Study and implementation of user behaviour analysis," in *The 12th International Conference on Advanced Communication Technology*, Gangwon-Do, February 2010,

pp. 692-695.

- [41] Louis Atallah, and Guang-Zhong Yang, "The use of pervasive sensing for behaviour profiling - a survey," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 5, no. 5, pp. 447-464, October 2009.
- [42] Rong Liu, Ting Chen, and Lu Huang, "Research on human activity recognition based on active learning," in *Proceedings of the Ninth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Qingdao, 2010, pp. 285-290.
- [43] G. Matrella, F. Grossi, and A. Losardo, "Embedding Monitoring of Physiological parameters in an AAL system," in *AAATE 2011*, Maastricht, 2011.
- [44] Mitsuhiro Ogawa, Toshiyo Taniura, and Tatsuo Togawa, "Fully Automated Biosignal Acquisition in Daily Routine Through 1 Month," in *Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, vol. 4, 1998, pp. 1947-1950.
- [45] A. Kawarada, T. Takagi, A. Tsukada, K. Sasaki, M. Ishijima, T. Tamura, T. Togawa, AND K. Yamakoshi, "Evaluation of automated health monitoring system at the "Welfare Techno House"," in *Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, vol. 4, Hong Kong, 1998, pp. 1984-1987.
- [46] S. Devot, A. M. Bianchi, E. Naujokat, M. O. Mendez, A. Brauers, and S. Cerutti, "Sleep Monitoring Through a Textile Recording System," in *29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Lyon, 2007, pp. 2560-2563.
- [47] F. Grossi, G. Matrella, I. De Munari, and P. Ciampolini, "A Flexible

- Home Automation System Applied to Elderly Care," in *International Conference on Consumer Electronics. Digest of Technical Papers*, 2007.
- [48] A. Losardo, F. Grossi, G. Matrella, V. Bianchi, A. Ricci, I. De Munari, and P. Ciampolini, "Remote control and monitoring of the environment," *GERONTECHNOLOGY - International Journal on the fundamental aspects of technology to serve aging society*, 2010.
- [49] M. Philipose, K. P. Fishkin, M. Perkowski, D. J. Patterson, D. Fox, H. Kautz, and D. Hahnel, "Inferring Activities from Interactions with Objects," *Pervasive Computing, IEEE*, vol. 3, no. 4, pp. 50-57, Oct-Dec 2004.
- [50] Gilles Virone, Nohert Noury, and Thierry Creuzet, "The health integrated smart home information system (HIS2): rules based system for the localization of a human," in *2nd Annual International IEEE-EMB Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine & Biology*, Madison, 2002, pp. 318-321.
- [51] Andreas Schrempf, Gerold Schoßleitner, Armin Blaha, and Stefan Leipold, "Measuring nightly activity, body weight and body weight change rate with a sensor equipped bed," in *32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS*, Buenos Aires, 2010, pp. 2151-2154.
- [52] J. Poujaud, and N. Noury, "Identification of inactivity behavior in Smart Home," in *30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, British Columbia, 2008, pp. 2075-2078.
- [53] Xuan Hoa Binh Le, Maria Di Mascolo, Alexia Gouin, and Norbert Noury, "Health Smart Home for elders – A tool for automatic recognition of activities of daily living," in *30th Annual International IEEE EMBS Conference*, British Columbia, 2008, pp. 3316-3319.

- [54] Mitsushiro Ogawa, Ryoji Suzuki, Sakuko Otake, Takeshi Izutsu, Tsutomu Iwaya, and Tatsuo Togawa, "Long term remote behavioral monitoring of elderly by using sensors installed in ordinary houses," in *2th Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine & Biology*, Wisconsin, 2002, pp. 322-325.
- [55] Hiroshi Noguchi, Taketoshi Mori, and Tomomasa Sato, "Human daily behavior accumulation in real home environment via distributed sensors in a long term," in *IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, Kyoto, 2011, pp. 368-374.
- [56] D. Lymberopoulos, T. Teixeira, and A. Savvides, "Detecting Patterns for Assisted Living Using Sensor Networks: A Case Study," in *International Conference on Sensor Technologies and Applications*, Valencia, 2007, pp. 590-596.
- [57] Mitsushiro Ogawa and Tatsuo Togawa, "Attempts at monitoring health status in the home," in *1st Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference On Microtechnologies in Medicine and Biology*, Lyon, 2000, pp. 552-556.
- [58] Paul Cuddihy, Jenny Weisenberg, Catherine Graichen, and Meena Ganesh, "Algorithm to Automatically Detect Abnormally Long Periods of Inactivity in a Home," in *Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE international workshop on Systems and networking support for healthcare and assisted living environments*, Puerto Rico, 2007, pp. 89-94.
- [59] Adriana M. Adami, André G. Adami, Gilmar Schwarz, Zachary T. Beattie, and Tamara L. Hayes, "A Subject State Detection Approach to Determine Rest-Activity," in *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*,

- Buenos Aires, 2010, pp. 204-207.
- [60] M. Pavel, T.L. Hayes, A. Adami, H. Jimison, and J. Kaye, "Unobtrusive Assessment of Mobility," in *28th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, New York, 2006, pp. 6277-6280.
- [61] Harry W. Tyrer, Myra A. Aud, Gregory Alexander, Marjorie Skubic and Marilyn Rantz, "Early Detection of Health Changes In Older Adults," in *Proceedings of the 29th Annual International of the IEEE EMBS*, Lyon, 2007, pp. 4045-4048.
- [62] Marilyn J. Rantz, Marjorie Skubic, Richelle J. Koopman, Lorraine Phillips, Gregory L. Alexander, Steven J. Miller, and Rainer Dane Guevara, "Using Sensor Networks to Detect Urinary Tract," in *IEEE 13th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services*, Columbia, 2011, pp. 142-149.
- [63] Jiang Xianhai, and Xie Cunxi, "Home Health Telemonitoring System Based on Data Mining," in *International Forum on Information Technology and Applications*, Chengdu, 2009, pp. 431-434.
- [64] Taketoshi Mori, A. Fujii, M. Shimosaka, H. Noguchi, and T. Sato, "Typical Behavior Patterns Extraction and Anomaly Detection Algorithm Based on Accumulated Home Sensor Data," in *Future Generation Communication and Networking (FGCN)*, vol. 2, Jeju, 2007, pp. 12-18.
- [65] J. Demongeot, N. Noury, and N. Vuillerme, "Data Fusion for Analysis of Persistence in Pervasive Actimetry of Elderly People at Home, and the Notion of Biological Age," in *International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems*, Barcelona, 2008, pp. 589-594.

- [66] Xin Hong, Chris Nugent, Maurice Mulvenna, Sally McClean, Bryan Scotney, and Steven Devlin, "Evidential fusion of sensor data for activity recognition in smart homes," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 5, no. 3, pp. 236-252, June 2009.
- [67] Fook Wai Kong, Gee Wah Ng, Yuan Sin Tan, and Chung Huat Tan, "Evolving fuzzy neural networks in adaptive knowledge bases to support task-oriented decision making for sensor management," in *10th International Conference on Information Fusion*, Québec, 2007, pp. 1-8.
- [68] Nicholas Carter, David Young, and James Ferryman, "Supplementing Markov Chains with Additional Features for Behavioural Analysis," in *IEEE International Conference on Video and Signal Based Surveillance*, Sydney, 2006, p. 65.
- [69] Marilyn J. Rantz, Marjorie Skubic, and Steven J. Miller, "Using Sensor Technology to Augment Traditional Healthcare," in *31st Annual International Conference of the IEEE EMBS*, Minneapolis, 2009, pp. 6159-6162.
- [70] Valentina Bianchi, Ferdinando Grossi, Ilaria De Munari and Paolo Ciampolini, "Multi-modal interaction in AAL systems," in *AAATE 2011*, Maastricht, 2011.
- [71] C. Galambos, T. Hayes, W.D.Kearns and S. Sundarrao, "The sensitive residence: Predicting health changes using sensor network," *Gerontechnology*, vol. 11, no. 2, p. 272, 2012.
- [72] C. Galambos, M. Skubic, S. Wang and M. Rantz, "Using density map visualization for early detection and management of dementia and depression," *Gerontechnology*, vol. 11, no. 2, pp. 273-274, 2012.
- [73] A. Losardo, F. Grossi, G. Matrella, I. De Munari and P. Ciampolini,

"Indirect wellness monitoring through AAL environments,"
Gerontechnology, vol. 11, no. 2, p. 330, 2012.

- [74] A. Losardo, F. Grossi, G. Matrella, I. De Munari and P. Ciampolini,
"Monitoraggio indiretto dell'attività e del benessere di persone che
vivono in ambienti intelligenti," in *AAL in Italia - Primo libro bianco*,
Parma, 2012, pp. 149-152.
- [75] A. Losardo, F. Grossi, G. Matrella, I. De Munari and P. Ciampolini,
"Behavioral analysis based on environmental, low-cost sensors," in
AAL European Forum, Eindhoven, 2012.
- [76] A. Losardo, F. Grossi, G. Matrella, I. De Munari and P. Ciampolini,
"Exploiting AAL environment for behavioral analysis," in *AAATE 2013*,
Vilamoura, 2013.
- [77] A. Losardo, F. Grossi, G. Matrella, I. De Munari and P. Ciampolini,
"Monitoring and identification of trends and behavioral abnormalities
using an AAL systems," in *Forum Italiano AAL*, Ancona, 2013.

Ringraziamenti

Prima di tutto sento di dover ringraziare il Professor Paolo Ciampolini che mi ha dato la possibilità di condurre questa ricerca supportandomi sia moralmente che dal punto di vista scientifico grazie alla sua indispensabile supervisione che mi ha permesso di affrontare le attività svolte con la tranquillità e la sicurezza necessarie (compatibilmente con il mio carattere “apprensivo”).

Ringrazio la Professoressa Ilaria De Munari, sempre presente, disponibile e capace di darmi preziosi consigli (non soltanto tecnici) e Valentina, anche lei sempre pronta nel fornirmi utili suggerimenti. Ad entrambe un ringraziamento particolare perché rendono più piacevole e dolce un ambiente fatto in prevalenza di uomini: grazie, dunque, anche per quel “tocco” di femminilità necessario, a parer mio, in tutti i contesti. In questo senso, un grazie va anche a Giovanna, sempre molto allegra e simpatica.

Un ringraziamento particolare va a Guido, oltre che per la sua disponibilità, perché riesce sempre a rendere simpatica ogni conversazione e perché mi ha saputo “polarizzare” (per quanto possibile) con il suo ottimismo ed il suo modo di affrontare i problemi, anche quelli più complicati della vita privata...

Ringrazio tutti gli altri ragazzi che fanno parte del gruppo di lavoro, dai più “vecchi” ai più giovani: Andrea, “vecchio” rispetto a me solo per anagrafica visto che, per il resto, riesce sempre a fare battute (da cui si evince il suo “giovane” animo) tali da farmi sorridere anche quando non avrei mai pensato di riuscirci; Niccolò e Francesco, i più giovani (stavolta anche per età), sempre simpatici e soprattutto disponibili ogni volta che ho avuto “bisogno” di loro.

Questa sezione non poteva prescindere da un riferimento particolare a Ferdinando: in questi anni ho, da lui, imparato “cose” che nei precedenti trent’anni di vita ignoravo. Rende interessante ogni argomento di attualità, curiosità e cultura generale, compreso quelli che non ritenevo degni di

approfondimento perché, secondo me, futili e banali: la sua capacità di spiegare la causa che c'è dietro ad ogni effetto (e/o viceversa) lo rende, a parer mio, una persona ammirevole nonché "rara". Devo ringraziarlo soprattutto per tutte le volte in cui mi sono trovato davanti ad un problema (tecnico) di difficile soluzione: la sua capacità di fare diagnosi e di trovare soluzioni mi ha permesso di evitare di trascorrere notti al computer ma, soprattutto, mi ha insegnato ad acquisire il modo giusto di lavorare, indispensabile in certi contesti di lavoro.

Un ringraziamento va anche a tutti quelli che lavorano nella Palazzina 4, per la compagnia e le battute che rallegrano gli incontri nei corridoi.

Ringrazio tutti gli amici, quelli che negli anni mi hanno dovuto sopportare anche come coinquilino e quelli che, adesso, vengono spesso a trovarmi (fermandosi anche più giorni a casa con me) per evitare che possa fare "danni" restando troppo tempo "da solo".

Ringrazio soprattutto le "amiche" di questi ultimi anni, delle quali non faccio i nomi per evitare che scoppi una "guerra civile": è grazie a loro che la solitudine, che spesso colpisce chi vive da solo, è stata finora lontana da casa mia...

Infine, ma non per minore importanza (vedi dedica iniziale) devo ringraziare la mia famiglia, in tutti i suoi componenti, che ha sempre creduto in me e ne è (ebbene sì, ancora oggi!) orgogliosa. In particolare, ringrazio MAMMA, oltre che per il suo amore infinito, per la sua dolcezza e la sua bontà; Papà per la sua capacità di "sminuire" ogni cosa utile che ho fatto: so che è il suo modo di stimolarmi e volermi bene; ringrazio Paolo perché, ormai, non potrei più fare a meno di lui soprattutto perché, altrimenti, non avrei nessuno a cui dare e da cui ricevere i consigli ed i suggerimenti che solo un fratello può fornire.

Bologna, Gennaio 2014