



*Consiglio Nazionale delle Ricerche  
Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni*

## **Sviluppo di un Sistema di Allarmistica Intelligente in Ambiente Ospedaliero**

Ivana Marra – Giovanna Sannino

**RT-ICAR-NA-08-05**

**dicembre 2008**



Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni (ICAR)  
– Sede di Napoli, Via P. Castellino 111, 80131 Napoli, URL: [www.na.icar.cnr.it](http://www.na.icar.cnr.it)



*Consiglio Nazionale delle Ricerche  
Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni*

## **Sviluppo di un Sistema di Allarmistica Intelligente in Ambiente Ospedaliero**

Ivana Marra<sup>1</sup> – Giovanna Sannino<sup>1</sup>

***Rapporto Tecnico N.:***  
**RT-ICAR-NA-08-05**

***Data:***  
**dicembre 2008**

---

<sup>1</sup> Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni, ICAR-CNR, Sede di Napoli, Via P. Castellino 111, 80131 Napoli

*I rapporti tecnici dell'ICAR-CNR sono pubblicati dall'Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Tali rapporti, approntati sotto l'esclusiva responsabilità scientifica degli autori, descrivono attività di ricerca del personale e dei collaboratori dell'ICAR, in alcuni casi in un formato preliminare prima della pubblicazione definitiva in altra sede.*

# **Sviluppo di un Sistema di Allarmistica Intelligente in Ambiente Ospedaliero**

Ivana Marra<sup>1</sup>, Giovanna Sannino<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ICAR-CNR, Via P. Castellino 111, 80131 Napoli, Italia  
{ivana.marra, giovanna.sannino}@na.icar.cnr.it

## **Abstract**

In questo lavoro è descritto un sistema di allarmistica che utilizza un approccio per il rilevamento di una caduta basato su soglie, da utilizzare per interventi tempestivi in caso di gravi patologie.

È stato inoltre affrontato lo studio dei sistemi, algoritmi e sensori, per il controllo automatico e l'individuazione precoce di una caduta, al fine di individuare ed utilizzare l'hardware e l'algoritmo più adatto per l'implementazione dell'intero sistema.

In particolare, il sistema realizzato si basa sull'utilizzo di sensori dotati di accelerometro posizionati sul corpo dei pazienti; tali dispositivi sono in grado di trasmettere le informazioni inerenti agli spostamenti del paziente in modalità wireless attraverso tecnologia bluetooth.

Il sistema centrale classifica i dati acquisiti e determina il verificarsi di una caduta attraverso l'algoritmo di fall detection e in caso di caduta viene avviato un sistema di monitoraggio composto da telecamere in modo da visualizzare l'esatta posizione del paziente caduto.

## 1. Introduzione

Il monitoraggio sia dei dati fisiologici umani che di quelli inerenti alla deambulazione in situazioni di normale attività o in situazioni anomale, è interessante ai fini del rilevamento in caso di emergenza o a lungo termine di archiviazione dei dati per una successiva diagnosi o ai fini di un'indagine medica.

Sensori e tecnologie dell'informazione e della comunicazione offrono la possibilità di migliorare la sicurezza e la protezione dei pazienti permettendo loro di ricevere assistenza rapidamente anche nel caso in cui essi siano immobilizzati da una caduta e incapaci di chiedere l'assistenza autonomamente.

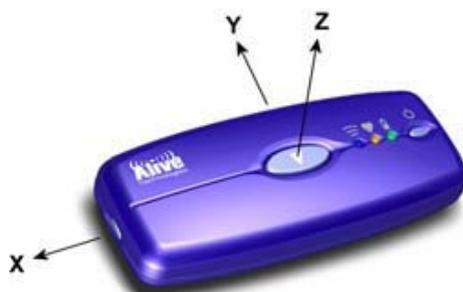
L'interesse crescente nell'ambito della fall detection, da parte di professionisti e ricercatori, si spiega con la possibilità, attraverso ad esempio la video-sorveglianza, del rilevamento di incidenti gravi.

Infatti, l'individuazione precoce di un incidente, quale ad esempio una caduta, è un passo importante per mettere in guardia e proteggere il soggetto, in modo da evitare l'aggravarsi dell'accaduto.

Gli accelerometri sono stati proposti come un pratico, poco costoso ed affidabile metodo per il monitoraggio del movimento deambulatorio nei pazienti.

## 2. L'Accelerometro

Il dispositivo che abbiamo utilizzato è stato un device elettromedicale che ingloba in sé più funzioni, sia da elettrocardiografo che da accelerometro.



**Figura 2.1: Alive Heart Monitor con Accelerometro triassiale.**

L'Alive Heart Monitor, questo è il nome del dispositivo prodotto dall'Alive Technologies che noi abbiamo scelto, è dotato di un'interfaccia Bluetooth, che fornisce una connessione wireless tra il paziente ed il sistema ricevente. Sia i dati relativi all'elettrocardiogramma (ECG) che i dati relativi all'accelerometro vengono trasmessi in tempo reale su una connessione Bluetooth SPP – Serial Port Profile.

I dati possono essere memorizzati anche a una Secure Digital (SD) card contenuta all'interno dello stesso dispositivo.

Sia il formato dei dati in tempo reale che il formato dei dati memorizzati sono descritti di seguito.

Il formato dello streaming dei dati viene utilizzato quando si effettua la trasmissione dell'ECG e dei dati dell'accelerometro in tempo reale su una connessione Bluetooth SPP. I dati sono trasmessi in pacchetti chiusi da 1 byte di checksum.

Di seguito riporteremo solo il formato dei dati di maggiore interesse, quindi quelli relativi alla trasmissione real time.

<b>Packet Structure</b>	<b>Packet</b>	<b>ECG Header</b>	<b>ECG Data</b>	<b>Acc Header</b>	<b>Acc Data</b>	<b>Checksum</b>
Header		Header		Header		
6 Bytes		5 Bytes	n Bytes	5 Bytes	n Bytes	1 Byte

**Figura 2.2: Struttura di un pacchetto dati.**

Il dispositivo riesce a catturare 75 campioni al secondo e li invia come dati del tipo 8bit unsigned rispettivamente nell'ordine  $X_1 Y_1 Z_1 X_2 Y_2 Z_2 X_3 Y_3 Z_3 \dots$

Tutte queste informazioni saranno poi utilizzate nell'algoritmo di fall detection.

### **3. Fall Detection**

Esperimenti indicano che 75Hz è una tra le ideali frequenze di campionamento per la lettura di un accelerometro. Data la velocità media, e l'accelerazione dei movimenti

umani, un tasso di 75 campioni al secondo fornisce informazioni dettagliate su un oggetto in movimento.

Una frequenza maggiore di campionamento tende a saturare la variazione d'accelerazione portando prossimo allo zero la differenza tra i valori dei campioni e richiede sicuramente anche più memoria per la memorizzazione dei dati.

Viceversa una frequenza di campionamento minore produce una saturazione della variazione media per campione che risulta essere molto elevata, indipendentemente dal soggetto effettivo in movimento.

L'algoritmo per il rilevamento di movimenti anormali richiede una serie di operazioni di trattamento dei dati per meglio interpretare le tensioni lette dal dispositivo (generate dal accelerometro) e poi convertirli in dati interpretabili.

L'obiettivo di queste operazioni è quello di generare un'unica curva che rappresenti l'attività motoria dell'oggetto in esame.

#### a. Aggregazione dei segnali

Indipendente dai tre g-valori ricavati dall'accelerometro, il primo passo nel trattamento del segnale è quello di combinare i valori in un unico valore che richiederà meno risorse sia in termini di calcolo che di memorizzazione.

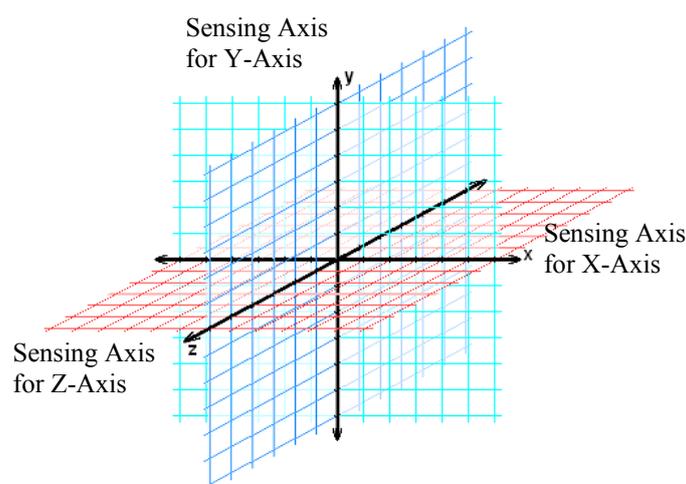


Figura 2.a.1: Configurazione degli assi dell'accelerometro.

Come illustrato in figura, ciascun asse dell'accelerometro è rappresentato da un vettore nello spazio, con la tensione d'uscita corrispondente alla sua grandezza.

La radice-quadrata è il metodo per calcolare un vettore che rappresenti la visione globale delle grandezze misurate dall'accelerometro.

$$g\_rms = \sqrt{g\_value_x^2 + g\_value_y^2 + g\_value_z^2}$$

**Figura 2.a.2: Combinazione dei valori dei tre assi.**

### **b. Aggregazione dei segnali**

L'attuale valore  $g\_rms$  fornisce una lettura istantanea della rete di accelerazione che l'accelerometro sta rilevando.

L'algoritmo di fall detection richiede, però, la rilevazione di un movimento anomalo, per cui richiede informazioni circa il cambiamento di accelerazione; pertanto, in questa fase di andrà a calcolare la differenza dei valori quadratici medi, ossia la differenza del valore  $g\_rms$  relativo al campione corrente e il valore  $g\_rms$  relativo al precedente campione.

$$\Delta g\_rms = |g\_rms_{current} - g\_rms_{last}|$$

**Figura 2.b.1: Calcolo della differenza dei valori quadratici medi.**

### **c. Calcolo della media**

La fase finale di elaborazione del segnale è quello di calcolare una media di  $\Delta g\_rms$  nel corso di un periodo lungo 1 secondo.

$$Avg\_ \Delta g\_rms = \left( \sum_{i=1}^{sps} \Delta g\_rms_i \right) / sps$$

**Figura 2.c.1: Calcolo della media.**

#### **4. Alcuni dettagli dell'algoritmo per la fall detection**

L'algoritmo consiste di due importanti condizioni che sono necessarie al fine di scattare falsi positivi. Se una condizione non è soddisfatta per un determinato campione dell'accelerometro, non viene generato nessun allarme.

La prima condizione è che il movimento deve essere di grandezza sufficiente, ossia l'accelerazione non deve risultare banale, di basso valore.

Questo per evitare movimenti lunghi, oscillatori o sussultori, che non sono cadute.

Al fine di attuare questa condizione l'algoritmo richiede che venga superata una soglia per un breve periodo.

La seconda condizione è che per far scattare un allarme è necessario un elevato livello di attività per un periodo prolungato di tempo.

Questa seconda condizione si rivela necessaria al fine di eliminare i falsi allarmi causati da movimenti violenti ma breve, come ad esempio un salto.

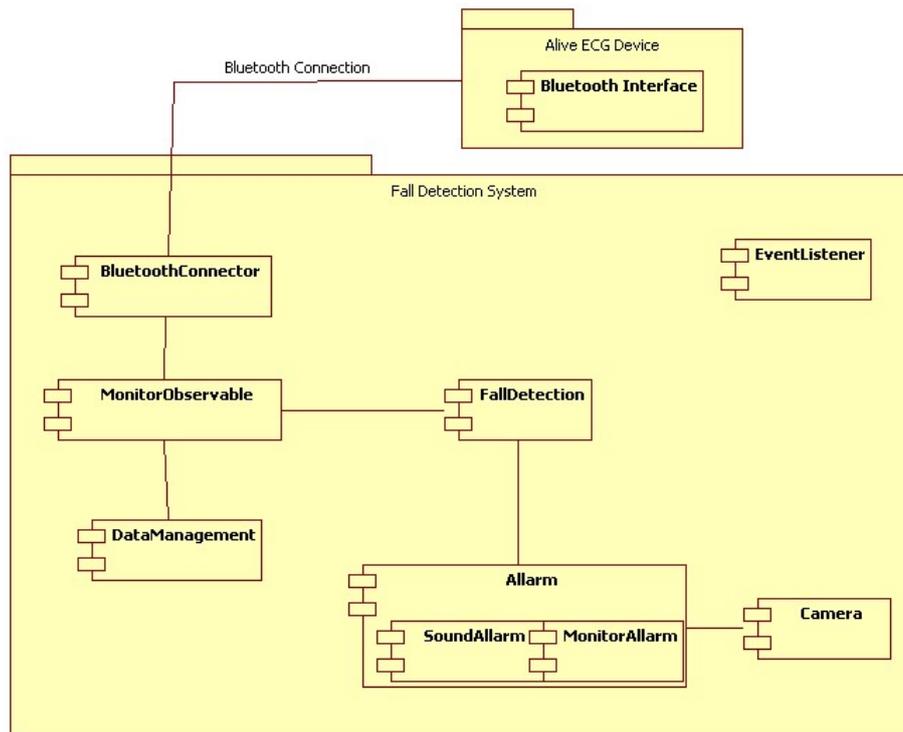
Questa condizione è realizzata fissando una soglia inferiore a quella della prima condizione, ma per un tempo limite superiore della prima condizione.

#### **5. Architettura del Sistema**

Il sistema proposto, è composto da un device mobile wireless, l'accelerometro in grado di trasmettere i valori relativi ai movimenti del paziente monitorato, e da una postazione centrale all'interno di un reparto ospedaliero.

La postazione centrale è in grado di ricevere i dati, memorizzarli, interpretarli, organizzarli e visualizzarli in forma grafica in tempo reale.

Di seguito viene riportato un component diagram in UML che illustra i vari componenti del sistema software realizzato.



**Figura 5.1: Component Diagram.**

- **BluetoothConnector** E' il componente che dispone la connessione, quindi la comunicazione, tra i dispositivi.
- **MonitorObservable** E' il componente che si occupa dell'interpretazione e dell'organizzazione delle informazioni catturate dal dispositivo aliveecgmonitor.
- **DataManagement** E' il componente che mantiene le informazioni relative ai Dispositivi Mobili e le associazioni agli Utenti Mobili.
- **FallDetection** E' il componente che consente di individuare la caduta di un paziente. Il servizio è realizzato calcolando la variazione media della differenza dei valori quadratici medi dell'accelerazione combinando tutti e tre gli assi.
- **Allarm** E' il componente che si occupa di visualizzare le finestre d'allarme e di gestire gli allarmi sonori.
- **Camera** E' il componente che si occupa di collegarsi alla telecamera presente nella stanza ove è localizzato il paziente.

- **EventListener** E' il componente in ascolto di eventuali eventi registrate dalle *Graphical User Interface*

## 6. Tecnologie Software Utilizzate

Per la realizzazione del sistema software si è scelta come tecnologia e linguaggio di programmazione Java.

La scelta non è stata casuale, ma dettata da numerosi vantaggi che tale tecnologia ci offre: essere orientato agli oggetti, ma soprattutto essere indipendente dalla piattaforma, ossia *portabile*. Se si vuole, infatti, che lo stesso applicativo giri su più tipologie di macchine e sistemi operativi, Java diviene una scelta obbligatoria.

Inoltre, rispetto alla tradizione dei linguaggi a oggetti da cui deriva, ed in particolare rispetto al suo diretto progenitore C++, Java ha introdotto una serie di notevoli novità rispetto all'estensione della sua semantica. Fra le più significative si possono citare probabilmente la possibilità di costruire *GUI*, ossia delle interfacce grafiche, con strumenti standard e non proprietari (per il C++ e altri linguaggi analoghi solitamente le GUI non fanno parte del linguaggio, ma sono delegate a librerie esterne), la possibilità di creare applicazioni *multi-thread*, ovvero che svolgono in modo concorrente molteplici attività, e il supporto per la *riflessione*, ovvero la capacità di un programma di agire sulla propria struttura e di utilizzare classi caricate dinamicamente dall'esterno.

Di seguito sono riportate alcune classi java particolarmente utilizzate nella realizzazione del nostro sistema.

- JRS82 definisce lo standard Java per l'accesso alla tecnologia Bluetooth
  - *Javax.microedition.io*: per la gestione di connessioni Bluetooth (L2CAP e RFCOMM)
  - *javax.bluetooth*: rappresenta il Core delle API Java Bluetooth, mette a disposizione delle applicazioni funzionalità dei profili Bluetooth Generic Access Profile e Service Discovery.
- Java.awt per la gestione dell'I/O orientato alla grafica.

- *java.awt.Graphics*: fornisce metodi per disegnare figure geometriche.
- *java.awt.event*: fornisce l'ascoltatore di eventi relativi ai componenti grafici.
- Java Media Framework API per permettere di incorporare tipi di dati Multimediali come visualizzazione di uno stream video e allarmi sonori.
  - *javax.media*: contiene le principali classi di JMF.
  - *javax.media.control*: permette di leggere e modificare parametri quali: bit rate, frame rate, lunghezza del buffer di ricezione, e altri parametri del processo di encoding.
  - *javax.media.format*: per la descrizione dei formati supportati.
- Java.io che include classi, interfacce ed eccezioni per la gestione dell'I/O. Offre funzionalità per accedere ad informazioni relative ai file ed alle directory e funzionalità per leggere e scrivere dati.
  - *java.io.File*: per interfacciarsi con il filesystem; mette a disposizione numerosi metodi per vari utilizzi come interrogazione di proprietà del file: canRead, canWrite, exists, getName, isDirectory, length, etc... o manipolazione del file: delete, deleteOnExit, mkdir, renameTo, setLastModified, etc...
  - *java.io.FileOutputStream*: per la scrittura di file sequenziali di byte
  - *java.io.InputStream*: per l'accesso sequenziale a file di byte

## 7. Dettagli sulle tecnologie hardware utilizzate

Per la realizzazione del sistema sono state utilizzate tipologie telecamere diverse.

### a. Camera Axis

È stata sviluppata una classe `AxisCamera.java` per l'utilizzo di telecamere prodotte da Axis Communications. Più in dettaglio abbiamo utilizzato una **AXIS 211A Network Camera**, una telecamera di rete professionale che permette agli utenti di visualizzare, ascoltare e perfino impartire istruzioni vocali tramite la rete IP.

Il microfono incorporato e i connettori per gli altoparlanti esterni permettono agli utenti non solo di vedere ma anche di ascoltare ciò che accade in un'area, nonché di trasmettere ordini o istruzioni ai pazienti monitorati.

Inoltre la AXIS 211A riduce il numero di cavi richiesti e i costi di installazione grazie al supporto per audio incorporato e per il Power over Ethernet, che consente di alimentare la telecamera e di trasmettere l'audio bidirezionale tramite un unico cavo di rete.



Figura 7.a.1: Axis 211A.

### b. Camera Linksys

Parallelamente è stata sviluppata un'altra classe per l'utilizzo di telecamere prodotte dalla Linksys by Cisco.

Più in dettaglio abbiamo utilizzato una **Linksys Wireless PTZ WVC200** con audio incorporato. Propone sia il formato MPEG-4 che produce una compressione di alta qualità, ad alto frame rate (fino a 640x480), che MJPEG fornendo una buona qualità video ad alta larghezza di banda. Inoltre è possibile effettuare delle *screenshot* (in formato JPEG) che possono essere anche salvate.

Le funzioni pan/tilt e zoom digitale permettono di controllare in remoto sia i movimenti della telecamera che la messa a fuoco, offrendo così la massima flessibilità da remoto.



**Figura 7.b.1: Linksys Wireless PTZ WVC200.**

### **c. WebCam**

Infine è stata sviluppata un'altra classe per l'utilizzo di una qualsiasi webcam.

Più in dettaglio noi abbiamo utilizzato una **Logitech QuickCam Ultra Vision**, una webcam dotata di obiettivo in vetro a 5 elementi appositamente realizzato per garantire una precisione straordinaria.

QuickCam Ultra Vision utilizza la tecnologia Logitech RightLight2, in tal modo fornisce immagini di qualità ottimale indipendentemente dalle condizioni di illuminazione, mentre la tecnologia RightSound è in grado di fornire un audio chiaro privo di eco.



**Figura 7.c.1: Logitech QuickCam Ultra Vision.**

## 8. Principio di Funzionamento del Sistema di Allarmistica

Il sistema è semplice da utilizzare. Avviata la piattaforma software, vengono inseriti i dati relativi al o ai pazienti monitorati e ad ogni paziente viene associato un dispositivo elettromedicale dotato di accelerometro identificato univocamente.

A questo punto il componente BluetoothConnector provvede ad effettuare un'inquiring per verificare la presenza del o dei dispositivi AliveECGMonitor.

Trovato il dispositivo il BluetoothConnector prova a stabilire una connessione con lo stesso e apre un InputStream per lo scambio dei dati.

Il componente MonitorObservable inizia quindi l'interpretazione dei dati contenuti nell'InputStream e attraverso il DataManagement li cataloga. Viene richiamato di volta in volta dallo stesso MonitorObservable il componente FallDetection che si occupa di interpretare i dati relativi all'accelerometro ed, in caso di rilevazione di una caduta, di generare un allarme sonoro attraverso il componente Allarm e visualizzare lo stream video della telecamera posizionata ove è localizzato il paziente attraverso il componente Camera.

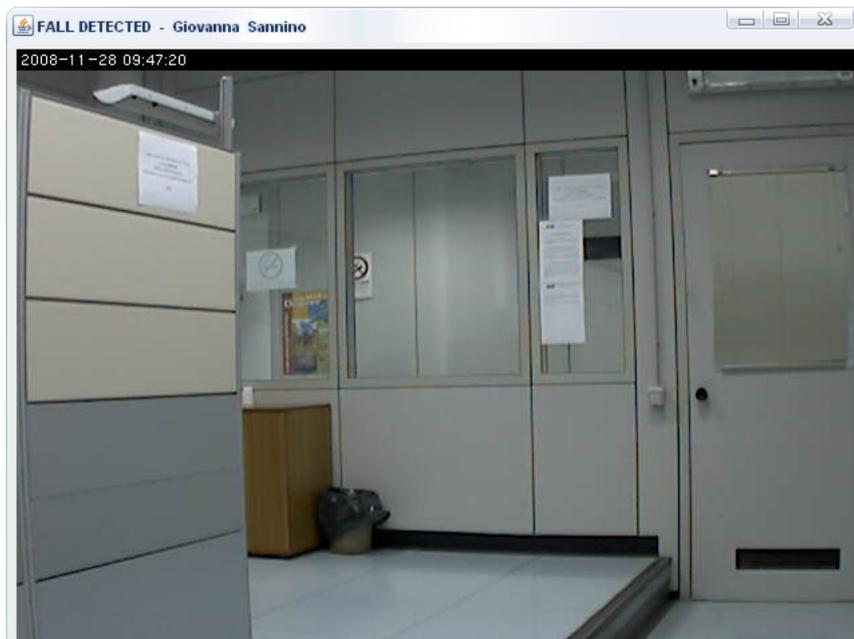
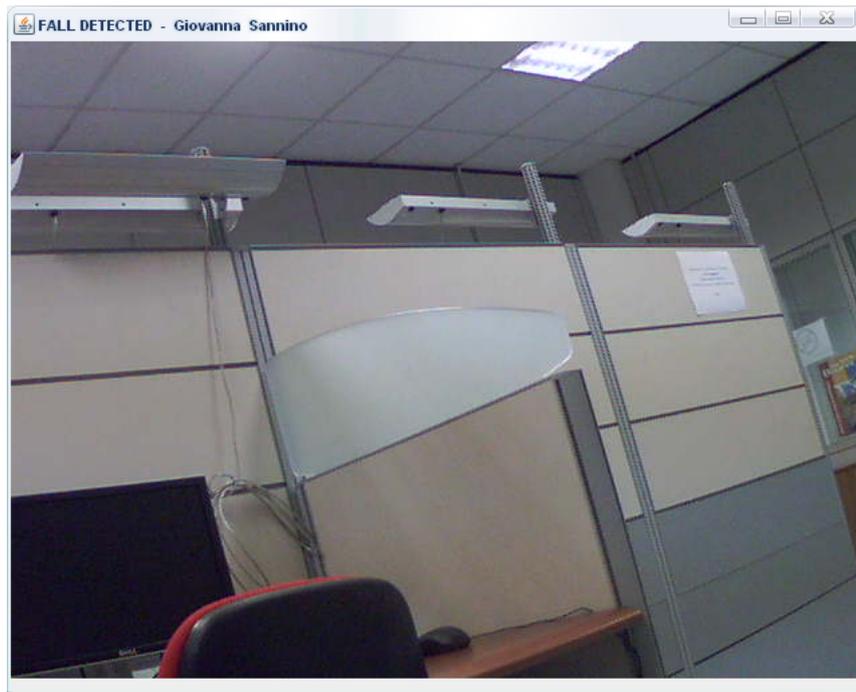


Figura 6.1: Camera Axis.



**Figura 6.2: Camera Linksys.**



**Figura 6.3: WebCam Logitech.**

In background è poi sempre presente il servizio di EventListener in ascolto di eventuali eventi per quanto riguarda le GUI - *Graphical User Interface*, ad esempio pressione di un tasto o altro.

Il medico può effettuare varie modifiche, personalizzando il monitoraggio a seconda del paziente. Può, infatti, scegliere di variare le soglie minime e massime per quanto riguarda la media indicata secondo la sigla **Avg\_Δg\_rms**, tutto sempre in real time.

## 9. Conclusioni

Nel presente lavoro è stato proposto un nuovo sistema di allarmistica che utilizza un approccio per il rilevamento di una caduta basato su soglie.

Il sistema combina l'utilizzo di un accelerometro contenuto all'interno di un dispositivo elettromedicale all'utilizzo di una rete di video-sorveglianza su IP attraverso telecamere installate nel reparto ospedaliero.

Ai pazienti e ai professionisti della sanità viene quindi offerto un nuovo strumento in grado di migliorare la qualità delle degenze ospedaliere in termini di sicurezza ed efficacia del servizio sanitario stesso.

Il sistema sviluppato è basato su un'architettura a componenti in modo da renderlo scalabile e quindi facilitarne l'integrazione in sistemi più grandi, in grado di gestire ulteriori servizi, come ad esempio la localizzazione del paziente stesso.

## Bibliografia

1. Henry J. Montoye, Han C. G. Kemper, Wim H. M. Saris, Richard A. Washburn, "Measuring physical activity and energy expenditure", Human Kinetics, pp.72-96, 1996.
2. Kim L. Coleman, Douglas G. Smith, David A. Boone, Aaron W. Joseph, Michael A. del Aguila, "Step activity monitor: long-term, continuous recording of ambulatory function", Journal of Rehabilitation Research and Development, Vol.36, NO.1, 1999.
3. F. Foerster, M. Smeja, J. Fahrenberg, "Detection of ambulatory monitoring", Computers in Human Behavior, Vol.15, pp.571-583, 1999.
4. H. G. van Steenis, J. H. M. Tulen, "The effects of physical activities on cardiovascular variability in ambulatory situations", Proceedings-19<sup>th</sup> International Conference-IEEE/EMBS, pp.105-108, 1997.
5. Carlijn V.C. Bouten, Karel T. M. Koekkoek, Maarten Verduin, Rens Kodde, Jan D. Janssen, "A triaxial accelerometer and portable data processing unit for the assessment of daily physical activity", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol.44, pp.136-147, 1997.
6. [www.alivetec.com](http://www.alivetec.com)
7. AXIS 210/211 Telecamere di rete -  
[http://www.axis.com/files/datasheet/ds\\_210\\_211\\_28552\\_it\\_0703\\_lo.pdf](http://www.axis.com/files/datasheet/ds_210_211_28552_it_0703_lo.pdf)
8. Linksys PTZ Wireless WVC200 -  
[http://www.linksys.com/servlet/Satellite?c=L\\_Product\\_C2&childpagename=US%2FLayout&pagename=Linksys%2FCommon%2FVisitorWrapper&cid=1143837459487](http://www.linksys.com/servlet/Satellite?c=L_Product_C2&childpagename=US%2FLayout&pagename=Linksys%2FCommon%2FVisitorWrapper&cid=1143837459487)