

SISTEMI PORTATILI DI LOCALIZZAZIONE E MONITORAGGIO DELLE ATTIVITÀ DI PAZIENTI DISABILI

Claudio FASOLI(**), Alberto GIUSSANI(*), Ivano SAVOGIN(*), Marco SCAIONI(*)

(*) Politecnico di Milano – Polo Regionale di Lecco, via M. d'Oggiono 18/a, 23900 Lecco
e-mail: [alberto.giussani, ivano.savogin, marco.scaioni]@polimi.it

(**) KFT S.p.A. – Via Brianza 3, 22046 Merone (CO), e-mail: kft@kft.it, URL: www.kft.it

Riassunto:

La ricerca qui illustrata è finalizzata ad individuare un'efficace combinazione di differenti tecnologie per la localizzazione di pazienti disabili e il monitoraggio della loro attività fisica durante il periodo di riabilitazione, siano essi in ambienti chiusi attrezzati o all'aperto. La potenziale soluzione ideale, costituita dall'integrazione di sistemi INS/GPS con una unità di archiviazione e con radio o GSM per la trasmissione dati, è attualmente irrealizzabile dal punto di vista tecnico. A questa conclusione si è giunti partendo dallo studio di sistemi integrati INS/GPS di ridotte dimensioni utilizzati in altri ambiti applicativi. Si è cercato allora di adattare o sostituire questo tipo di sensori con soluzioni tecnologiche alternative che potessero garantire la localizzazione dei pazienti rispettando i requisiti fondamentali: la trasportabilità, la possibilità di immagazzinare dati inerenti il livello di attività fisica e la generazione di messaggi di allarme nel caso il paziente cerchi di abbandonare le zone consentite.

Abstract:

This paper focuses on the research of an effective combination of different techniques that could allow the localisation and the physical activity monitoring of disabled patients, would they be in either indoor or outdoor environments. The ideal solution to this kind of problem could be the integration of a INS/GPS unit for the localisation together with a data storage unit and a radio or a GSM for data broadcasting. Unfortunately, such a solution is nowadays infeasible due to strong limitations involved with current technology. This findings has been derived from the analysis of integrated INS/GPS systems of small size adopted in other application fields. Then we have tried to adapt or to replace this kind of sensors with other technological solutions that would guarantee the patients' localisation and contemporarily would match all the basic requirements: trasportability, data storage feature concerning their physical activity and alert-message generation in case that monitored subjects would leave allowed areas.

1. Introduzione

La localizzazione e il monitoraggio delle attività di pazienti disabili da postazione remota sono argomenti che rivestono notevole interesse in ambito medico-scientifico, in quanto da una parte permettono l'ottimizzazione delle risorse umane, centralizzando l'attività di monitoraggio, dall'altra rendono possibile la valutazione trasparente delle attività riabilitative e dell'efficacia delle terapie, evitando modifiche comportamentali connesse alla diretta supervisione del fisioterapista e prolungando l'attività di osservazione anche al di fuori della struttura ospedaliera. Le applicazioni collegate possono essere molteplici, dalla raccolta di dati per studi sull'efficacia di protesi, di ausili e di terapie riabilitative, al monitoraggio di pazienti affetti da Alzheimer o da altre patologie che possono portare il soggetto ad allontanarsi dall'ospedale o da casa.

Il lavoro presentato in questo articolo ha tenuto conto di differenti esigenze di istituzioni medico-ospedaliere e di istituti di riabilitazione e ha avuto come oggetto la valutazione e lo sviluppo di diverse soluzioni tecnologiche volte alla realizzazione di un dispositivo portatile per la

localizzazione e il monitoraggio di pazienti che possa rispondere al più ampio spettro di richieste. Il progetto è partito cercando di accoppiare ricevitori GPS e inerziali (IMU), assieme a un'unità dotata di memoria di massa e di un modulo di trasmissione dati GSM. Sebbene un dispositivo così configurato potesse teoricamente soddisfare tutte le richieste del progetto, le capacità computazionali richieste vanno oltre le attuali potenzialità hardware. Le difficoltà intrinseche nella realizzazione di un'apparecchiatura INS/GPS portatile hanno spinto verso la ricerca di soluzioni tecnologiche alternative, che potessero soddisfare la localizzazione indoor, laddove il segnale GPS non fosse disponibile. La prima soluzione presa in considerazione è la consolidata tecnologia radio, ma negli sviluppi futuri non è esclusa l'adozione di scelte differenti come Wi-Fi, RFID, UWB, etc.. La precisione nella localizzazione non è un requisito fondamentale del progetto, in quanto è sufficiente per il riscontro visivo un'accuratezza dell'ordine di alcuni metri e quindi l'uso di un'unità IMU per la localizzazione può essere demandato a sviluppi futuri.

La prima versione del dispositivo di localizzazione è stata sviluppata, prototipata ed è attualmente in fase di test. Essa combina un ricevitore/trasmittitore (*transceiver*) radio 433, una unità GSM/GPRS e un GPS, microcontrollori e memorie flash. Inoltre, la possibile compresenza di una unità inerziale miniaturizzata può consentire di generare allarmi in caso di caduta o di persistente immobilizzazione del paziente.

Il paragrafo seguente è dedicato proprio alla descrizione del progetto, all'analisi dei requisiti e dell'attuale stato dell'arte delle tecniche di localizzazione, nonché alla motivazione di alcune scelte tecnologiche effettuate. Il par. 3 descrive la soluzione effettivamente adottata e successivamente sviluppata. Seguono quindi alcuni risultati riscontrati nei test preliminari che hanno portato ad un ulteriore raffinamento dei requisiti. La conclusione è dedicata alla descrizione dei problemi tuttora irrisolti e ai potenziali sviluppi futuri, qualora le difficoltà riscontrate a livello tecnologico nell'integrazione di una unità IMU miniaturizzata possano venire superate.

2. Tecniche di localizzazione e di posizionamento

Il dispositivo da realizzare dovrebbe, in prima istanza, soddisfare un eterogeneo set di richieste:

- a. la localizzazione del paziente senza limiti geografici sia all'interno che all'esterno di edifici e di ambienti dove non fossero disponibili i segnali radio e GPS (ad esempio nella metropolitana);
- b. la generazione di allarmi nel caso in cui il soggetto controllato abbandoni l'area circoscritta o qualora si verificassero condizioni particolari (ad esempio in caso di inattività persistente);
- c. il monitoraggio dell'attività fisica con aggregazione dei dati a differenti livelli (ore, giorni, mesi);
- d. l'utilizzo opzionale di strumenti di telefonia mobile, chiamate in/out, vivavoce e utilizzo di un pulsante panico con chiamata automatica di un numero d'emergenza.

Il problema del posizionamento di persone è stato trattato da diversi autori con molteplici finalità. In Retscher e Thienelt (2004), Gartner *et al.* (2005) e Retscher (2005) è possibile reperire lo stato dell'arte del settore assieme a un'ampia bibliografia sull'argomento.

Il gruppo di ricerca ha stipulato un accordo di collaborazione con un'azienda locale (KFT, Merone-CO) specializzata nella realizzazione di hardware e software per sistemi satellitari antifurto veicolari basati su sistemi GPS/GSM e che sta attualmente sviluppando l'uso di sistemi inerziali integrati per la ricostruzione della dinamica degli incidenti stradali. Il dispositivo ideale dovrebbe integrare sistemi inerziali e GPS fortemente interconnessi e strumenti per la comunicazione di telefonia GSM/GPRS o radio (433 o altre frequenze che non interferiscano con dispositivi medicali) o altre soluzioni tecnologiche (WLAN, UWB, UMTS) per consentire la trasmissione dei dati acquisiti ad una centrale operativa di monitoraggio, di aggregazione dati e di generazione della reportistica. Le unità inerziali attualmente disponibili non soddisfano i requisiti del sistema, alcune per vincoli di peso e dimensione, altre (quelle compatte) perché non prevedono la computazione a

bordo per mezzo di microcontrollori. È strettamente necessario che l'elaborazione venga effettuata dal sistema e non è possibile pensare di trasferire su di una stazione centralizzata tutti i dati prodotti dall'IMU perché vengano elaborati, se l'intenzione è quella di sviluppare un dispositivo portatile ed autonomo, nel caso in cui si vuole permettere lo spostamento del paziente anche lontano dal raggio di azione dell'eventuale PC di controllo. D'altra parte, le unità INS/GPS attualmente disponibili predisposte per funzionare in modo continuo hanno specifiche di alimentazione ed elaborazione fuori dalla portata di un dispositivo portatile. Lo svantaggio principale connesso alla mancata utilizzazione di sistemi inerziali per la localizzazione *indoor*, laddove il segnale GPS non fosse disponibile, è legato al fatto che la navigazione inerziale è l'unica forma di navigazione che non ha bisogno di strumenti di supporto e riferimento esterni. Ciò significa che la localizzazione *outdoor* sarà un compito specifico del modulo GPS, mentre all'interno di edifici la soluzione andrà, di volta in volta, adattata alle specifiche esigenze del committente e alla geometria dell'ambiente. Sebbene l'analisi abbia portato alla generazione di diverse opportunità che soddisfacessero solo parzialmente i requisiti del progetto (da comuni barriere elettroniche per evitare l'abbandono di zone monitorate a dispositivi più complessi che coprissero anche altri aspetti del problema), sono state perseguite tre soluzioni principali che potessero combinare adeguatamente prestazioni e utilizzo delle risorse. Particolare attenzione è stata prestata allo sviluppo di soluzioni utilizzabili anche in ambito domestico. L'adozione di altre tecnologie (ad esempio UWB o RFID – si veda in proposito Alippi *et al.*, 2005) per un posizionamento di maggior precisione è stata rimandata a sviluppi futuri in quanto non fondamentale per lo scopo del presente progetto; i benefici ottenibili non giustificerebbero attualmente l'aumento dei costi connessi all'adozione di tali soluzioni. Uno sviluppo interessante potrebbe essere legato alla disponibilità futura di moduli WLAN per microcontrollori. Questa soluzione, presumibilmente di prossima attuazione, consentirebbe in zone raggiunte da segnale Wi-Fi (come l'ospedale dove la nostra sperimentazione ha avuto luogo) di evitare l'uso di radio o GSM per la trasmissione dati e, grazie all'implementazione di opportuni algoritmi di triangolazione, consentirebbero teoricamente anche una localizzazione accurata. Le soluzioni attualmente disponibili prevedono la combinazione dei seguenti elementi:

- una centrale operativa dove anche un solo operatore possa monitorare più pazienti;
- trasmettitori/ricevitori 433 cablati o wireless;
- telefoni cellulari o PDA dove il personale ospedaliero o i parenti possano ricevere dati relativi alle attività del paziente monitorato;
- il dispositivo portatile da affidare al soggetto osservato, adeguatamente assicurato agli indumenti o alla sedia a rotelle, nel caso in cui non possa deambulare autonomamente.

Sono quindi ipotizzabili 3 diversi scenari, dai quali è stata sviluppata e sperimentata una soluzione ibrida che coprisse la maggior parte dei requisiti.

La prima soluzione, definita “cablata”, prevede l'installazione di ricevitori radio tra loro collegati all'interno della struttura in cui i pazienti sono ospitati. Ciascuno di questi indossa un trasmettitore radio che lo identifica univocamente, permettendone la localizzazione, il monitoraggio e la raccolta dati praticamente in tempo reale, con costi hardware che risultano assai contenuti e costi di comunicazione nulli; inoltre la tecnologia impiegata è ampiamente affidabile e sperimentata. I principali svantaggi sono connessi alla necessità di cablare i ricevitori e al fatto che il sistema funziona solo nelle zone raggiunte dal cablaggio. La seconda soluzione, duale rispetto alla precedente, prevede l'utilizzo di trasmettitori radio wireless nelle zone da monitorare che inviano periodicamente la propria posizione georeferenziata. Il paziente è dotato di un dispositivo più complesso che utilizza un ricevitore radio per ricevere il segnale e un'unità GSM/GPRS per trasmettere i dati alla centrale operativa. Con questa soluzione diminuiscono i costi di installazione ma aumentano quelli di comunicazione. L'utilizzo del GSM tuttavia consente la trasmissione di altri parametri relativi al paziente monitorato, oltre a permettere, con l'aggiunta del GPS, la comunicazione alla centrale operativa delle coordinate. Un ulteriore interessante sviluppo, già

attualmente disponibile, è dato dalla localizzazione del paziente monitorato tramite internet, ottenuto collegando opportunamente ad un server la centrale operativa.

3. Sviluppo e realizzazione del prototipo

Il progetto è stato sviluppato in collaborazione con “Villa Beretta”, un’importante azienda ospedaliera fisioterapica lombarda. Dopo un’attenta valutazione dei requisiti del committente, l’attenzione è stata focalizzata su due punti:

1. evitare che i pazienti abbandonino le zone monitorate, rappresentate dall’ospedale e dal parco circostante;
2. raccogliere dati relativi all’attività del paziente durante la giornata.

I dispositivi realizzati sono stati installati in un’area dell’ospedale particolarmente critica, ospitante pazienti con severe patologie mentali, unite a necessità riabilitative. Il compito più importante è quindi quello di una tempestiva informazione del personale nel caso in cui un paziente abbandoni l’area monitorata, costituita da un corridoio di circa 110 m di lunghezza, con uscite di sicurezza alle estremità e un accesso centrale. Il personale è in servizio H24 e sempre in movimento, il luogo ideale per installare la centrale operativa è stato una stanza ad essi riservata, contenente medicinali e altri sistemi di controllo a circuito chiuso per il monitoraggio dei casi più gravi.

L’installazione preliminare si compone di un laptop nella stanza di controllo con funzioni di centrale operativa (KFT-Centrale), un ILG (modem GSM seriale per le comunicazioni tra le periferiche GSM e la centrale), 6 *transceivers* radio 433 cablati alla centrale (KFT-CDFull), comunicanti tra loro con un protocollo seriale proprietario (KFT-KTCode), diversi trasmettitori radio di ridotte dimensioni (KFT-BestIdea) testati in prima istanza dal personale e successivamente da fornire ai pazienti quando il progetto diventerà operativo. Le periferiche complete, che garantiscano il posizionamento e il monitoraggio anche in ambiente *outdoor* (KFT-KT200LinkMe) ed una eventuale comunicazione bidirezionale vivavoce integrano: modulo GPS Fastrax ITRAX02, modulo GSM Wavecom Q2406B, batterie, antenna, microfono, altoparlante, pulsante panico,



Figura 1: KT200LinkMe
(a), radio trasmettitore
KFT-BestIdea (b).

transceiver 433 e microcontrollore Motorola MC9608GB60. Il circuito integrato di questo dispositivo prevede e permette inoltre il montaggio di un accelerometro triassiale che consenta di svolgere i compiti di identificazione di caduta o di permanente inattività. I primi test sono stati condotti solo con l’utilizzo dei piccoli trasmettitori in comunicazione con i ricevitori cablati. La figura 1 mostra i trasmettitori portatili e la periferica completa KT200LinkMe, particolare importanza è stata data alla trasportabilità ed al basso consumo di entrambi i dispositivi.

Il problema principale di questa configurazione è stato quello di determinare il miglior compromesso tra le distanze tra i singoli ricevitori, la potenza dei trasmettitori e la frequenza di trasmissione. Ad ogni emissione del segnale non deve infatti passare troppo tempo perché il soggetto si sposti tra più di un ricevitore e quindi ogni trasmettitore venga visto possibilmente da un solo ricevitore (situazione fortemente dipendente dalla geometria dell’ambiente da monitorare). Inoltre è stato necessario

massimizzare la durata della batteria del trasmettitore (attualmente calcolata attorno all’anno di vita), mentre l’ammontare di dati generati deve essere congruo con le necessità legate alle statistiche. L’attuale configurazione prevede 5 ricevitori distribuiti a circa 20 m l’uno dall’altro lungo il corridoio da 110 m, con l’aggiunta di uno a circa 20 m dall’ingresso principale. I trasmettitori inviano il proprio codice ogni 7-8 s.

Durante i test si sono verificati diversi problemi, alcuni ancora parzialmente irrisolti, la maggior parte dei quali riguardanti la taratura necessaria e lo sviluppo di algoritmi connessi alle abitudini dei

pazienti, al fine di generare opportunamente gli allarmi nel caso qualcuno di questi tenti di abbandonare la zona monitorata. Questo perché il segnale radio può essere perso o non ricevuto per diversi motivi, non solo per il fatto che il paziente non sia più a portata di segnale. Le possibili soluzioni identificate per risolvere il problema possono essere:

- installare una barriera elettronica in corrispondenza degli accessi al corridoio, che genera un allarme nel caso un paziente tenti di valicarla;
- installare ulteriori ricevitori nel parco o a una distanza opportuna dalla zona monitorata, che generano un allarme nel caso ricevano il segnale proveniente da un trasmettitore;
- realizzare opportuni algoritmi che identifichino il fatto che il paziente ha seguito un percorso diretto verso le uscite e che successivamente il segnale proveniente dal suo trasmettitore non venga ricevuto come atteso.

Il posizionamento del paziente sullo schermo della centrale operativa, dove il programma di monitoraggio è installato, è realizzato disegnando un'icona corredata dal suo nome in corrispondenza della posizione sulla mappa dell'ultimo ricevitore che ha decodificato il segnale relativo al trasmettitore da lui indossato. Il sistema interroga secondo *polling* i diversi ricevitori; nel caso due di essi abbiano decodificato lo stesso segnale durante la medesima interrogazione, il paziente verrà posizionato in una zona intermedia.

3.1 Test del dispositivo KFT *KT200LinkMe*

Il dispositivo completo KFT *KT200LinkMe* è stato implementato e provato per funzionare nelle tre seguenti configurazioni operative.

3.1.1 Configurazione 1: come per l'utilizzo dei piccoli trasmettitori, il dispositivo verifica la presenza dei transceivers 433 cablati. Se riconosce di essere in una zona radio monitorata, utilizza il canale radio per spedire i pacchetti contenenti le informazioni necessarie al suo posizionamento, il più recente frame contenente le posizioni GPS archiviate e i parametri vitali monitorati da altri sensori opportunamente codificati (ad esempio il battito cardiaco e la temperatura corporea). Questo sistema permette il monitoraggio costante del paziente senza necessità di comunicazione GSM.

3.1.2 Configurazione 2: se la situazione 1 non fosse disponibile, la comunicazione avviene tramite il canale GSM, su richiesta del personale monitorante. Questo caso si potrebbe verificare nel caso il dispositivo riconoscesse segnali provenienti da trasmettitori radio non cablati (soluzione duale) o se non ricevesse alcun segnale radio quando il segnale GPS è disponibile (il che significa che il paziente è all'aperto o in prossimità di cielo visibile in zone non monitorate). La comunicazione viene effettuata mediante chiamata dati GSM permanente (ogni aggiornamento della posizione GPS viene visualizzato in tempo reale).

3.1.3 Configurazione 3: il paziente viene periodicamente monitorato mediante SMS: una richiesta parte ogni intervallo di tempo prestabilito dalla centrale operativa ed il dispositivo risponde con un SMS contenente dati di posizione e parametri monitorati opportunamente codificati.

3.2 Area di sperimentazione

La figura 2 mostra un'immagine proveniente dal software di centrale dove sono monitorate le attività di un paziente mentre il dispositivo affidato ad un altro soggetto genera un allarme perché la zona consentita è stata abbandonata. Il dispositivo *KT200LinkMe* è stato configurato con un bersaglio georeferenziato sull'area monitorata, se il valore delle coordinate GPS (opportunamente ampliato con le relative tolleranze) è distante dai valori ammessi, un SMS di allarme viene generato assieme alle coordinate del soggetto. Se invece il paziente rimane nelle zone ammesse, i dati relativi alla sua posizione vengono salvati ad intervalli prestabiliti. Quando al termine di una giornata il dispositivo viene messo in carica, i dati relativi all'attività del paziente vengono scaricati nel database della centrale. Alcune migliorie sono state introdotte al fine di sfruttare il più possibile il

canale radio laddove fosse disponibile, per risparmiare i costi di comunicazione GSM e per migliorare la precisione interpolando i valori di GPS e radio.

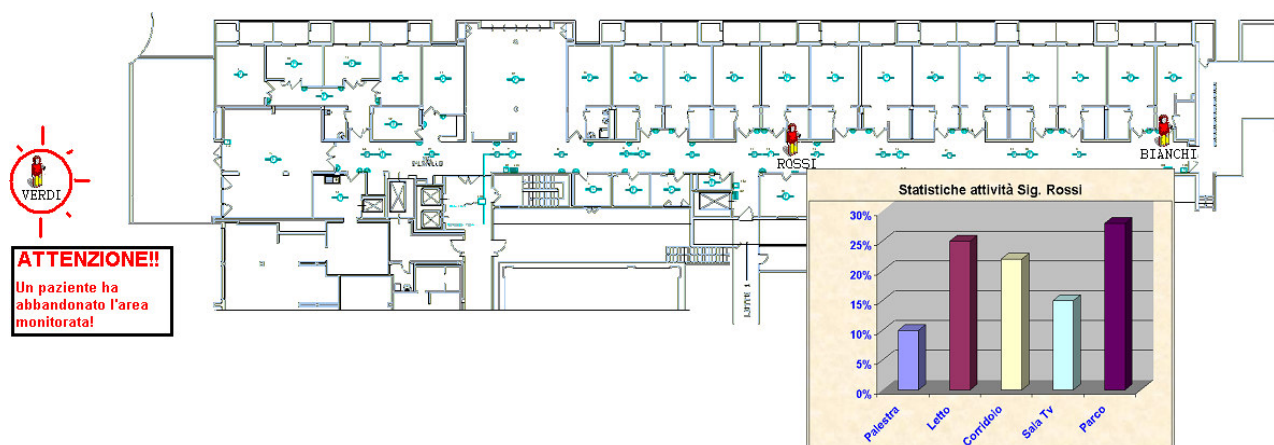


Figura 2: l'area monitorata sulla quale sono posizionati tre pazienti: per il Sig. Rossi viene visualizzato un report delle attività, mentre il Sig. Verdi ha abbandonato il padiglione generando un allarme.

4. Considerazioni finali e sviluppi futuri

Lo sviluppo del progetto è partito nel luglio 2005, come parte di una collaborazione nel campo del sostegno alla disabilità (progetto HINT@Lecco) tra il Politecnico di Milano, le istituzioni ospedaliere e alcune imprese del territorio delle province di Como e Lecco. L'obiettivo è di sicuro interesse e il respiro della ricerca molto ampio. L'idea di partenza basata sullo sviluppo di un'unità integrata e portatile basata su un sensore INS/GPS non va abbandonata, ma è necessario attendere l'abbattimento degli attuali limiti tecnologici connesso ai consumi e alle capacità computazionali necessarie per un dispositivo di questo genere. La realizzazione della soluzione ideale deve inoltre prevedere il coinvolgimento di più attori e il raffinamento dei requisiti al fine di mettere a punto un dispositivo di effettiva utilità e sicura applicazione. I dati generabili infatti sono tanti, ed è necessario estrarre da questi una reale informazione che possa venire utilizzata efficacemente. La soluzione di compromesso qui presentata ci è sembrata un utile punto di partenza per l'identificazione dei futuri percorsi da seguire, mentre le sperimentazioni applicative sono tuttora in corso.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato parzialmente finanziato nell'ambito del progetto di ricerca "HINT@Lecco" da parte della Fondazione CARIPLO. Ringraziamenti vanno al personale dell'ospedale "Villa Beretta" di Costa Masnaga (CO) che ha promosso e supportato il progetto, in particolare al Dott. Molteni e al Sig. Ortelli. Si ringrazia la Prof.ssa C. Masella del Politecnico di Milano (Polo Regionale di Lecco) e l'azienda KFT S.p.a. di Merone (CO) per il supporto tecnologico e per l'hardware e i software proprietari messi a disposizione.

Bibliografia

- Gartner, G., Radoczky, V., Retscher, G. (2005) – *Location technologies for pedestrian Navigation* – GIS Development, n. 9(4): 22-25.
- Retscher, G., Thienelt, M. (2004) – *NAVIO - A Navigation and Guidance Service for Pedestrians* – Journal of Global Positioning Systems, n. 3 (1-2): 208-217.
- Alippi, C., Mottarella, A., Vanini, G. (2005) – *A RF mapbased localization algorithm for indoor environments* – In: Proc. of "IEEE ISCAS 2005", Kobe, Japan, 23-26 Mag: unpaginated CDROM.
- Retscher, G. (2005) – *Indoor Positioning Technologies for Personal Navigation Systems* - In: Proc. of "Optical 3-D Measurement Techniques VII", Vol. 2, Vienna, Austria, 3-5 Ott: 383-388.