

Intelligenza artificiale in medicina: progetto di una piattaforma mobile inserita in un ambiente intelligente per l'assistenza ai disabili e agli anziani

Ulises Cortés¹, Roberta Annicchiarico², Fabio Campana³, Javier Vázquez-Salceda⁴,
Cristina Urdiales⁵, Lola Canãmero⁶, Maite López⁷, Miquel Sànchez-Marrè¹,
Sarah Di Vincenzo², Carlo Caltagirone^{2,8}

Riassunto. Viene presentato un progetto basato sull'integrazione di nuove tecnologie e di Intelligenza artificiale per sviluppare uno strumento – e-tool – indirizzato alle persone disabili ed agli anziani. Una piattaforma mobile inserita all'interno di ambienti intelligenti (strutture di assistenza o abitazioni), controllata e gestita attraverso un'architettura multilivello, viene proposta come supporto sia per i pazienti che per i caregiver al fine di aumentare l'autonomia nella vita quotidiana.

Parole chiave. Ambiente intelligente, anziani, disabilità, intelligenza artificiale.

Summary. *Artificial intelligence in medicine: project of a mobile platform in an intelligent environment for the care of disabled and elderly people.*

A project based on the integration of new technologies and artificial intelligence to develop a device – e-tool – for disabled patients and elderly people is presented. A mobile platform in intelligent environments (skilled-care facilities and home-care), controlled and managed by a multi-level architecture, is proposed to support patients and caregivers to increase self-dependency in activities of daily living.

Key words. Artificial intelligence, disability, intelligent environment, elderly.

Introduzione

La transizione demografica che ha portato all'invecchiamento della popolazione, verificatasi prima in Europa e, più recentemente, nei Paesi in via di sviluppo¹, rappresenta un fenomeno, tuttora in espansione, che ha determinato radicali mutamenti delle strategie sanitarie, con una spinta verso la ricerca di nuovi modelli assistenziali. Il mutamento demografico e l'aumento del numero di persone che sopravvivono alle condizioni di acuzie delle malattie hanno determinato un aumento non solo del numero di anziani ma anche di soggetti disabili.

Nel corso degli ultimi anni la medicina ha sviluppato uno stretto rapporto di collaborazione con l'area ingegneristica nel campo specifico dell'Intelligenza Artificiale (IA) e dei Sistemi Basati sulla Conoscenza.

Alcune aree mediche si sono mostrate più direttamente coinvolte in questa collaborazione: ad esempio, l'integrazione con alcune aree specifiche dell'intelligenza artificiale (agent-based technology) si è rivelata molto utile nelle situazioni in cui sono coinvolti diversi specialisti in decisioni o in situazioni che richiedono un alto grado di coordinazione a livello sia programmatico che attuativo, come nel caso della gestione delle persone disabili e degli anziani².

Numerose sono le possibilità di applicazione delle nuove tecnologie nella ricerca di soluzioni appropriate e specificamente studiate per soddisfare i bisogni di individui anziani e disabili: partendo dall'impiego degli agenti intelligenti (software agents) e della robotica, fino alle reti informatiche integrate nell'ambiente, che rendono facile l'accesso ad una serie di servizi grazie a interfacce di facile impiego.

¹ Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona; ² Fondazione IRCCS Santa Lucia, Roma; ³ Centro Assistenza Domiciliare ASL RM E, Roma; ⁴ Institute of Information and Computing Sciences, Utrecht University; ⁵ D.pto. de Tecnologia Electronica, Campus de Teatinos, Malaga; ⁶ Department of Computer Science, University of Herfordshire; ⁷ Facultat de Matemàtiques, Universitat de Barcelona; ⁸ Clinica Neurologica, Università Tor Vergata, Roma.
Pervenuto il 29 gennaio 2004.

Risultano particolarmente interessanti le applicazioni che possono essere realizzate tramite l'inserimento di dispositivi ad alta tecnologia in ambienti circoscritti, ("quasi-structured domains"), ovvero luoghi con componenti predefiniti quali ad esempio un'abitazione o le corsie di un ospedale. I recenti progressi ottenuti nel campo dei sistemi di "embedded computing" e della comunicazione wireless hanno reso oggi possibile pensare alla realizzazione di un "ambiente intelligente"³ con l'inserimento della "intelligenza" all'interno di strutture ospedaliere o di abitazioni. In un prossimo futuro questa possibilità verrà estesa anche ad ambienti esterni⁴.

Il Rehabilitation Engineering Research Center on Technology Evaluation and Transfer (RERC-TET) è riuscito ad individuare le principali necessità e le preferenze degli utenti riguardo a numerose categorie di strumenti tecnologici per l'assistenza. In accordo con la classificazione di Batavia e Hammer⁵, sono stati individuati 11 criteri considerati importanti dai soggetti disabili fra i quali ricordiamo l'efficacia, l'affidabilità e soprattutto la facilità di utilizzo, intesa nel senso di adattabilità e flessibilità. Questo aspetto sembra rappresentare una fra le più importanti caratteristiche richieste ad un dispositivo.

Semplicità e immediatezza di uso dei dispositivi tecnologici trovano un momento critico nella progettazione dell'interfaccia; quest'ultima, infatti, deve adattarsi nel miglior modo possibile alle capacità di comunicazione e alle esigenze dell'utente. Particolare attenzione deve essere prestata non soltanto perché gli utenti finali possono essere affetti da un deficit mentale o motorio più o meno grave, il che può di per sé creare delle difficoltà di interazione, ma anche per la complicata relazione che si crea tra persone anziane e nuove tecnologie⁶. La difficoltà di interazione con il dispositivo si somma spesso alla difficoltà del suo impiego nella realtà quotidiana. Uno studio svolto da Fehr⁷ sulla difficoltà di manovrare una sedia a rotelle elettrica conclude affermando che quasi la metà dei pazienti, non in grado di controllare la sedia con i metodi tradizionali, avrebbe beneficiato di un sistema automatico di navigazione.

Presentiamo la creazione di una piattaforma mobile dotata di agenti intelligenti ed inserita all'interno di un ambiente "integrato" sulla quale può essere posizionata qualsiasi sedia a rotelle; questo e-tool è in grado di spostarsi autonomamente e di interagire con l'utente in maniera direttamente proporzionale alla disabilità presentata dall'utente stesso. Lo scopo di questo progetto non è quello di velocizzare e semplificare alcuni compiti grazie all'intervento di un e-tool, ma di fornire la possibilità alle persone disabili di svolgere alcuni compiti in completa autonomia e di eseguirne di nuovi, ottenendo un grado di maggiore indipendenza.

Tecnologie per l'assistenza

Attualmente si dispone di diversi tipi di tecnologie integrative per la creazione di dispositivi tecnologici intelligenti per l'assistenza; ne esponiamo

brevemente alcune fra le principali utilizzate nel nostro lavoro.

AGENTI AUTONOMI

Gli agenti intelligenti autonomi sono in grado di riconoscere l'ambiente circostante, possono prendere decisioni in maniera indipendente e ragionare su come utilizzare le proprie risorse in modo da ottenere lo scopo prefissato⁸; questo tipo di agenti può essere fisico (robot) o composto da software. Gli agenti intelligenti fisici sono robot autonomi che, a differenza dei robot classici, non hanno sequenze prefissate di azioni da svolgere o azioni pre-programmate, ma dispongono di un set di possibilità che vengono scelte a seconda dell'obiettivo da raggiungere e/o a seconda delle informazioni possedute sull'ambiente circostante.

Nel caso dei robot, l'autonomia è spesso correlata alla mobilità: il principale compito per un robot autonomo mobile è quello della navigazione. Diverse tecniche vengono utilizzate per assolvere questo compito e variano a seconda della natura e delle differenti caratteristiche dell'ambiente circostante (interno, esterno, ecc.), delle informazioni disponibili (mappa conosciuta o sconosciuta) e del livello di controllo sull'ambiente (stabile o dinamico). Il robot interagisce con l'ambiente attraverso i suoi effettori e sensori; pertanto le tecniche di navigazione dipendono anche dai sensori di cui il robot è fornito (laser, sensori a ultrasuoni e ad infrarossi per misurare la distanza; interruttori a pressione e paraurti per individuare le collisioni; Global Positioning System per la localizzazione computerizzata; sistemi visivi per il riconoscimento di obiettivi).

Gli agenti software intelligenti sono entità che interagiscono con un ambiente virtuale per ottenere informazioni e scambiarle con altri agenti. La loro capacità di ragionamento permette di eseguire compiti complessi come la ripartizione delle risorse, il coordinamento dell'azione di sistemi eterogenei o l'integrazione di informazioni da fonti differenti.

MACHINE LEARNING E ALTRE TECNICHE DI IA

Si tratta di tecniche di IA grazie alle quali le persone disabili hanno la possibilità di imparare a svolgere nuovi compiti o a migliorare le proprie prestazioni. Al momento attuale, il Case-Based Reasoning sembra la soluzione più interessante, in quanto in grado di aiutare nell'apprendimento di nuove esperienze, di prevedere alcuni problemi di adattare vecchi programmi a nuove situazioni e di recuperare o riparare un programma mancante.

AFFECTIVE COMPUTING

Questa tecnica – che tenta di riprodurre gli aspetti emotivi della cognitività umana⁹ – è in grado di costruire modelli che hanno una o più capacità: riconoscere, esprimere, rispondere, sollecitare, influenzare; in altri termini, "avere" emozioni.

La ricerca in questo campo è stata molto attiva negli ultimi anni, sviluppando numerose applicazioni^{2,10}. I potenziali benefici dell'integrazione di elementi di "affective computing" nella tecnologia per l'assistenza sono ad ampio raggio e possono essere suddivisi in due grandi gruppi: miglioramento delle condizioni emotive dell'utente e uso delle emozioni come aiuto per le funzioni cognitive. Nel primo caso, si tiene conto del fatto che gli utenti sono inclini a percepire esperienze negative come la solitudine, l'ansia, la frustrazione: le tecnologie per l'assistenza sono in grado di riconoscerne e controllarne lo stato emotivo, rispondendo in maniera appropriata e provando a sollecitare reazioni e sensazioni positive. Nel secondo caso, alcuni aspetti emozionali rilevati da bio-sensori possono essere utilizzati per influenzare e facilitare compiti cognitivi per mezzo di interfacce personalizzate. Ad esempio, le emozioni possono essere utilizzate come rinforzi di memoria e ridurre il sovraccarico cognitivo; i marker affettivi possono integrare il sistema di supporto mnemonico rendendolo più efficiente.

DISPOSITIVI WIRELESS

Le tecnologie wireless costituiscono una rivoluzione in termini non soltanto di sviluppo tecnologico ma anche di comportamenti sociali. L'evoluzione dei canali di comunicazione (per inviare e ricevere il massimo delle informazioni con la minima larghezza di banda) si è accompagnata all'evoluzione della capacità computazionale di piccoli dispositivi [PDA (computer palmari), computer portatili, ultima generazione di telefoni mobili]. Tali tecnologie sono utilizzate quotidianamente per il controllo remoto di apparecchiature, per una comunicazione diffusa e ubiquitaria (telefonia mobile, cerca-persone) o per fornire servizi a distanza (canali di connessione wireless).

Architettura di un e-tool

PIATTAFORMA

Il nostro progetto prevede l'installazione – nell'hardware rappresentato dal complesso delle strutture della piattaforma – di un agente intelligente autonomo, dotato di interfaccia flessibile che fornisca agli utenti, a seconda delle loro individuali capacità, maggiore o minore assistenza nella navigazione; tale "piattaforma intelligente", considerata insieme all'ambiente intelligente all'interno del quale è inserita, è parte integrante di una architettura multi-livello di controllo e gestione.

Si tratta di un sistema servo-assistito¹¹ in grado di essere di supporto ad un soggetto disabile e in grado di adattarsi al suo livello di disabilità fornendo esattamente il tipo e la quantità di aiuto necessaria per quello specifico individuo. Nel nostro progetto grande attenzione è posta al recupero di tutta l'autonomia personale possibile; in questo senso il tool in nessun caso si sovrappone ad una capacità dell'utente, intervenendo solo quando l'individuo non è in grado di svolgere quel determina-

to compito autonomamente. La tipologia di soggetti cui questo tool è indirizzato è molto eterogenea, nelle caratteristiche fisiche, cognitive ed emotivo-comportamentali; pertanto, mentre in alcuni casi il compito del tool potrà limitarsi ad un semplice ausilio per gli spostamenti, spesso esso dovrà supportare deficit ben più complessi, come nel caso di soggetti con deficit motori associati a disturbi dell'attenzione che impediscono di esplorare una parte di spazio (eminattenzione), o nel caso di soggetti affetti da deficit motori e mnesici. In casi come questi il tool dovrà intervenire gradualmente non soltanto riguardo agli spostamenti, ma soprattutto nella fase decisionale e di programmazione.

Questo e-tool è in grado di:

- adattarsi all'utente nel miglior modo possibile, assicurandogli il maggior grado di sicurezza;
- prendere autonomamente alcune decisioni in casi estremi (ad esempio sul dove e come spostarsi);
- percepire aspetti della localizzazione dell'utente nell'ambiente circostante, basandosi su un ampio numero di sensori quali badges attivi, rilevatori di movimento e altre infrastrutture computazionali localizzate;
- imparare ad interpretare autonomamente i pattern dei comportamenti quotidiani;
- riconoscere i segni di angoscia, disorientamento, confusione, attraverso l'uso di tecniche di "state estimation", "plan recognition" e "machine learning";
- offrire un aiuto proattivo all'utente attraverso diversi tipi di interventi fisici e verbali;
- allertare il caregiver in caso di pericolo.

INTERFACCIA

L'interfaccia del nostro tool è formata da più sistemi: un sistema di interfaccia vocale, uno con interfaccia touchpad ed un sistema di condivisione di memoria. Queste soluzioni sono in grado di adattarsi alle capacità dei diversi utenti, consentendo loro di controllare la piattaforma e di navigare nel modo più scorrevole e sicuro possibile. Compito principale è quello di interpretare i comandi dell'utente, anche quando siano disturbati, imprecisi e/o incompleti, e trasformarli in ordini e programmi plausibili. La maggior parte delle volte l'utente del nostro tool potrebbe essere solo in grado di dire cosa intende fare, o dove vuole andare. Attraverso un interprete vocale o un "touchpad" fornito di semplici disegni riferibili alle cose desiderate – ad esempio un bicchiere per indicare la richiesta di acqua, cui la sedia può rispondere portando il paziente nella sala da pranzo, o un televisore per spostare il paziente nella sala TV – si trasmette all'agente di controllo il compito di raggiungere l'obiettivo. Questi ordini devono essere integrati nell'ambiente attraverso la creazione di una memoria condivisa e seguire le preferenze dell'utente; ciò implica che l'agente che supporta l'interfaccia sia a conoscenza della realtà che lo circonda¹².

ARCHITETTURA MULTI-LIVELLO DI CONTROLLO ED ASSISTENZA

Per risolvere in maniera appropriata la gestione di uno scenario così complesso, proponiamo un sistema multi-livello che controlli l'ambiente circostante la sedia, controlli le condizioni di salute del paziente e interagisca con questo attraverso una interfaccia flessibile in grado di fornire assistenza variabile a seconda delle esigenze del paziente stesso. Uno dei nodi fondamentali per la realizzazione del progetto è rappresentato da un sistema di trasmissione dei dati che sia efficace ed affidabile in ogni momento. Sull'esatta localizzazione dell'utente in rapporto all'ambiente, sulla veloce ed esatta trasmissione delle informazioni personali dell'utente (condizioni motorie, emotive, cliniche) al sistema di rilevazione e di sorveglianza delle azioni, sulla veloce ed efficace trasmissione delle istruzioni da parte del sistema di controllo agli effettori, si basano la utilità e sicurezza di tutto il sistema. Stiamo sostanzialmente facendo riferimento ad un sistema che si affida ad un flusso continuativo e multilaterale di informazioni: l'efficienza del sistema di trasmissione è quindi fondamentale. La tecnologia scelta è quella dei sistemi wireless (le connessioni wireless sono normalmente basate sulla tecnologia ad infrarossi o a microonde; nel nostro caso utilizzeremo la tecnologia a microonde poiché i collegamenti basati sugli infrarossi richiedono una diretta visibilità tra trasmittente e ricevente e perché le trasmissioni veloci non sono molto potenti).

Nella figura 1 è mostrato in dettaglio il sistema su tre livelli che compone questa architettura.

Nel primo livello si trovano tutti i dispositivi connessi con l'ambiente: telecamere, sensori posti sui muri, sistemi di monitoraggio per i pazienti, computer palmare o altri strumenti portatili e la sedia inserita nella piattaforma "intelligente".

Il livello successivo è formato dall'hardware di controllo che consente il funzionamento dei diversi dispositivi ed invia le informazioni al livello seguente. Nel caso di dispositivi complessi come una piattaforma o telecamere, questo livello deve svolgere compiti che necessitano dell'immediata risposta dei dispositivi stessi (ad esempio, nel caso di una telecamera questa deve poter seguire gli spostamenti dell'utente; nel caso di una piattaforma questa deve essere in grado di individuare un ostacolo e di evitarlo; navigazione reattiva).

Il terzo livello è composto da un agente di controllo che riceve le informazioni dall'hardware di controllo ed è in grado di ragionare sul proprio livello di conoscenza riguardo allo stato del sistema, sulle informazioni necessarie per aumentare la sua conoscenza, su dove può trovarle e su come può reperirle. Questo agente, inoltre, è in grado di valutare la rilevanza delle informazioni che riceve e che distribuisce agli altri agenti o ai sistemi di controllo che possono averne bisogno.

In definitiva, tale tipo di architettura serve da supporto all'interazione ed alla coordinazione delle diverse entità per risolvere alcuni dei problemi quotidiani cui i pazienti debbono far fronte spesso

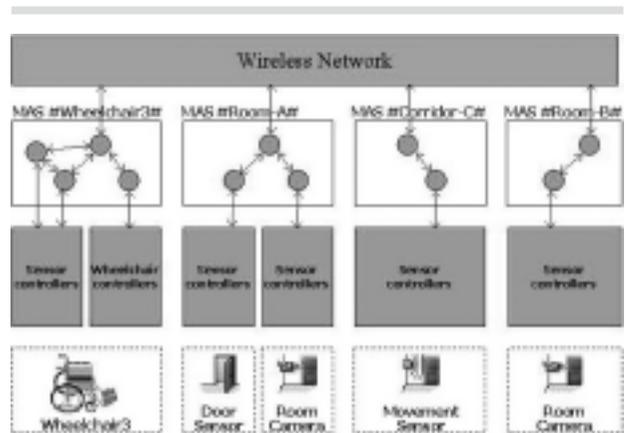


Figura 1. Architettura multi-livello di controllo e assistenza.

con l'aiuto dei caregiver. Ad esempio, questo sistema multi-livello sarebbe in grado di attivare un allarme qualora il paziente si trovasse in una situazione di pericolo; in tal caso il terzo livello sarebbe in grado di riconoscere il caregiver più vicino al paziente e di avvisarlo. Uno fra i più immediati servizi che questo sistema è capace di fornire è costituito dalla possibilità data ad un paziente non in grado di farlo autonomamente, di spostarsi e di riconoscere il percorso per raggiungere il caregiver. In una situazione di maggiore compromissione dell'utente, il tool potrebbe essere programmato per spostare il paziente dalla stanza di degenza all'interno dell'ospedale fino alla palestra, esattamente all'ora della sua seduta di riabilitazione.

NAVIGAZIONE

La navigazione autonoma consente alla piattaforma - dopo aver individuato l'obiettivo - di raggiungerlo senza supervisione. I due problemi fondamentali della navigazione sono rappresentati dalla localizzazione e dalla pianificazione del compito.

La localizzazione consiste nel determinare la posizione della sedia in un sistema globale di coordinate ed è risolto da misure, correlazioni e triangolazioni. La localizzazione può essere ottenuta utilizzando sensori attivi, localizzati sul paziente oppure all'esterno. Nel nostro caso è utilizzato un sistema di rilevatori attivi per calcolare la posizione dell'oggetto attraverso triangolazioni.

La pianificazione del compito nel mondo reale è di solito complessa a causa di situazioni inattese o di errori. Ci sono due tipi di schemi: reattivo¹³ e decisionale¹⁴. Noi proponiamo una architettura ibrida che combini i due schemi per ottenere una migliore performance. Questo approccio¹⁵ si svolge in due momenti successivi.

Il primo prevede il calcolo di una traiettoria efficiente che unisca le posizioni attuali della sedia e dell'obiettivo. Il tool controlla una mappa metrica facilmente aggiornabile combinando qualsiasi mappa a disposizione e i suoi punti di riferimento;

viene quindi estratta una mappa topologica da quella metrica (figura 2) per velocizzare l'azione dell'algoritmo della programmazione del percorso. In tal modo possiamo ricalcolare un percorso ogni volta che l'obiettivo cambi la sua posizione o sia impossibile percorrere ulteriormente il percorso precedente.

Il secondo momento riguarda la percorrenza in sicurezza della traiettoria calcolata. Un sistema in grado di produrre soluzioni specifiche finalizzate al movimento in sicurezza in piccoli spazi è già stato sviluppato e verificato¹⁶.

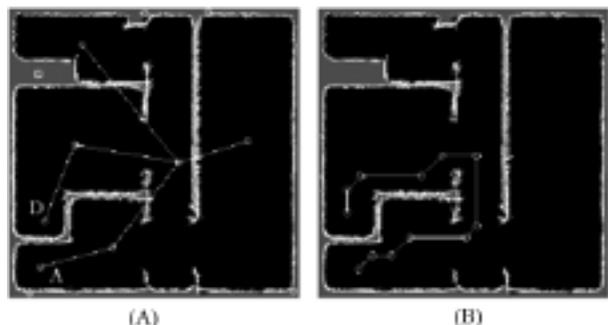


Figura 2. Elaborazione delle informazioni per il controllo della navigazione: A) mappa metrico-topologica; B) traiettoria risultante.

SICUREZZA

Un problema importante è quello della sicurezza che dovrebbe sempre essere una delle principali preoccupazioni quando si progetta un tool dedicato ai disabili. Questi strumenti tecnologici vanno collocati all'interno di ambienti che vengono definiti "strutturati" o "semi-strutturati", cioè in situazioni che normalmente non subiscono modifiche strutturali, dove possono essere attuabili piccoli cambiamenti ma dove i più importanti segni di riferimento rimangono stabili per lunghi periodi. Tuttavia, ciò non esclude che l'ambiente sia dinamico e, qualora sorgessero cambiamenti inaspettati, il sistema deve essere in grado di affrontare queste situazioni impreviste e di risolvere i problemi derivanti legati alla sicurezza dell'utente e dell'ambiente circostante. Il che implica che questi sistemi hanno bisogno di mostrare un comportamento intelligente finalizzato al raggiungimento di una mèta e tuttavia essere reattivi ai cambiamenti dell'ambiente.

Nel progetto da noi proposto, la sicurezza degli utenti impone restrizioni di grado elevato e i sistemi devono essere largamente sperimentati – anche con simulazioni off-line – per assicurare l'efficacia e la prestazione del tool.

Conclusioni

Possiamo affermare che, nonostante esistano già soluzioni in grado di aumentare l'autonomia nelle persone anziane e disabili, garantendo loro una migliore qualità della vita, attualmente sono

disponibili soprattutto soluzioni parcellizzate e che si rivolgono a singoli bisogni ed esigenze. Le soluzioni da noi proposte sono applicabili a un ampio spettro di situazioni e di bisogni e, soprattutto, propongono una integrazione utente-tool-ambiente idonea a rispondere al complesso delle esigenze di supporto funzionale.

Ampia è la tipologia dei possibili utenti: essa va dalle persone in discreto stato di salute a quelle con limitazioni cognitive lievi fino a quelle con disabilità motorie gravi; il raggio di azione si amplia fino a dare sostegno anche agli assistenti familiari degli anziani con moderata disabilità e deterioramento.

Tra gli ostacoli più importanti che le nuove tecnologie trovano nella loro applicazione in ambito medico, vi sono le aspettative da parte dell'utente e la sua disponibilità a farne un uso adeguato, l'aspetto economico, la mancanza di standard e infine l'integrazione dei nuovi dispositivi con i preesistenti sistemi di monitoraggio e gestione della salute.

Abbiamo già affrontato il problema dell'utilizzazione in rapporto alle aspettative del paziente, cercando di favorire al massimo l'uso dei dispositivi con l'aiuto di interfacce flessibili. Inoltre, è nostra opinione che l'uso di questi sistemi aumenterà nel futuro poiché gli anziani dei prossimi anni avranno maggiore dimestichezza nell'interazione con i dispositivi tecnologici.

Per quanto riguarda l'aspetto economico, alcuni studi¹⁷ iniziano a rivelare che l'uso di dispositivi tecnologici per la cura della salute, soprattutto se calcolato nel lungo periodo, non comporta una spesa superiore ai metodi tradizionali ed è accompagnato dalla riduzione dei costi dovuta alla minore istituzionalizzazione degli utenti.

Infine, l'integrazione dei diversi dispositivi e la formulazione di standard troveranno una soluzione probabilmente in tempi brevi, in considerazione del sempre crescente interesse da parte della comunità scientifica nei confronti di queste problematiche.

Ciò che riteniamo importante sottolineare è che l'uso di tecnologie basate sugli agenti intelligenti può facilmente risolvere problemi - all'apparenza semplici - ma che in realtà possono significativamente peggiorare la qualità della vita.

Bibliografia

1. Camarinha-Matos LM, Afasarmanesh H. Virtual communities and elderly support. WSES 2001; 279-84.
2. Fox J, Das S. Safe and sound: Artificial Intelligence in hazardous applications. Cambridge: AAAI Press/MIT Press 2000.
3. Ducatel K, Bogdanowicz M, Scapolo F, Leijten J, Burgelman JC (eds). Scenarios for ambient intelligence in 2010. Final Report. Sevilla, 2001. <http://www.cordis.lu/ist/istag.htm>.
4. Lee EA. What's ahead for embedded software? IEEE Computer Magazine 2000; 18-26.

5. Batavia AI, Hammer GS. Toward the development of consumer-based criteria for the evaluation of assistive devices. *Journal of Rehabilitation Research and Development* 1990; 27: 425-36.
6. Scherer MJ, Lane JP. Assessing consumer profiles of "ideal" assistive technologies in ten categories: an integration of quantitative and qualitative methods. *Disability and Rehabilitation* 1997; 19: 528-35.
7. Fehr L, Langbein WE, Skaar SB. Adequacy of power wheelchair control interfaces for persons with severe disabilities. A clinical survey. *Journal of Rehabilitation Research and Development* 2000; 37: 353-60.
8. Wooldridge M. Intelligent agents. In: Weiss G (ed). *Multiagent Systems*. Cambridge: MIT Press 1999: 27-77.
9. Picard RW. *Affective Computing*. Cambridge: MIT Press 1997.
10. Beer MD, Bench-Capon T, Sixsmith A. Using agents to deliver effective integrated community care. In: Shankararaman V (ed.). *Workshop on autonomous agents in health care*. Barcelona: ACM Press 2000: 35-45.
11. Cortés U, Annicchiarico R, Vázquez-Salceda J, Urdiales C, Cañamero L, López M, et al. Assistive technologies for the disabled and for the new generation of senior citizens: the e-tools architecture. *AI Comm* 2003; 16: 193-207.
12. Millan J del R. Brain-computer interfaces. In: *The handbook of brain theory and neural networks*. (Arbib MA ed). Cambridge: MIT Press 2002.
13. Arkin RC. *Behaviour based robotics*. Cambridge: MIT Press 1998.
14. Brooks RA. Intelligence without reason. In: *Proc of the 8th Intern Joint Conference on Artificial Intelligence*. Sydney, 1991: 569-95.
15. Urdiales C, Pérez EJ, Vázquez-Salceda J, Sandoval F. A hybrid architecture for autonomous navigation using a CBR reactive layer. In: *Proceedings of the 2003 IEEE/WIC International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT 2003)*. Halifax: IEEE Computer Society 2003: 225-32.
16. Urdiales C, Poncela A, Annicchiarico R, Rizzi F, Sandoval F, Caltagirone C. A topological map for scheduled navigation in a hospital environment. In: *Proc of the 2003 e-health: application of computing science in medicine and health care*. IPN, Mexico 2003: 228-43.
17. Gosman-Hedstrom G, Claesson L, Blomstrand C, Fagerberg B, Lundgren-Lindquist B. Use and cost of assistive technology the first year after stroke. A randomized controlled trial. *Int J Technol Assess Health Care* 2002; 18: 520-7.