



## **Sviluppo di un arto artificiale a cinque assi attivi per amputati e realizzazione di un ambiente virtuale per la selezione dei pazienti e l'addestramento all'uso della protesi**

### **Development of an active artificial arm for amputees with five active axes and set up of a virtual reality system to select and train the patients**

La ricerca concerne lo sviluppo del progetto di un arto artificiale con più di due articolazioni attive (cioè motorizzate) per amputati totali di braccio. Il sistema è modulare, perciò i suoi componenti possono essere utilizzati anche per protesi di amputati transomerale. La ricerca risponde a una precisa esigenza del settore, perché attualmente non è disponibile in commercio alcun sistema simile, dotato ad esempio di un'articolazione spalla attiva. Il prototipo attualmente in fase di costruzione

#### **Dipartimento di Elettrotecnica**

##### **Gruppo di ricerca**

##### **Research group**

Federico Casolo  
Paolo Righettini  
Giancarlo Cusimano  
Francesco Castelli Dezza  
Hermes Giberti  
Michele Camposaragna  
Matteo Cocetta

#### **Dipartimento di Elettronica e Informazione**

Franco Zappa

##### **Anno di avvio attività**

2000

##### **Beginning of activity**

#### **Cooperazioni nazionali e internazionali**

##### **National and international collaboration**

Università di Brescia  
Centro Protesi Inail, Vigoroso di Budrio (BO)  
Università di Bergamo  
Ospedale Buzzi, Istit. Clinici di Perfez., Milano  
Università di Parma  
TU Delft, Olanda  
I.S.B. Technical group on Computer Simulation in Biomechanics, Olanda

The research develops the project of an artificial arm with more than 2 active (motorized) joints, for amputees of whole arm. The system is modular, so that its components can be used also in prosthesis for partial amputations. At present, in fact, no comparable system, featuring an active shoulder, are commercially available. The arm prototype, presently under construction, is the result of several different projects developed in the past few years; projects that, in some cases, gave birth to partial prototypes of artificial shoulder or elbow,

rappresenta l'evoluzione di progetti sviluppati negli ultimi anni, che in qualche caso hanno dato luogo ad altri prototipi parziali di spalla e di gomito, l'ultimo dei quali ha superato brillantemente i test clinici sui pazienti amputati.

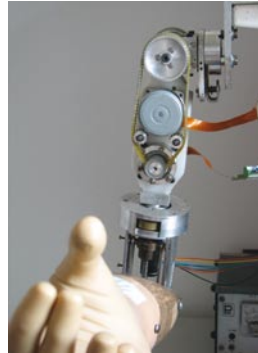
La parte meccanica si basa sull'uso di sistemi di trasmissione innovativi, che hanno richiesto la costruzione e l'analisi sperimentale delle prestazioni di varie soluzioni tecniche differenti prima della loro messa a punto. L'attuale soluzione prevede due assi attivi alla spalla, uno al gomito e uno al polso più le articolazioni della mano (la mano utilizzata è un prodotto commercialmente disponibile che risulta avere prestazioni adeguate).

I requisiti fondamentali perché un arto artificiale possa essere accettato dai pazienti sono: l'estetica adeguata, il peso contenuto, la silenziosità, la facilità d'uso, l'autonomia della carica delle batterie, l'affidabilità. È ormai dimostrato in generale che quando uno di tali requisiti non risulta soddisfatto, la protesi viene poco usata se non rifiutata dal paziente. Nonostante il progetto meccanico, con i vincoli posti dal problema, sia piuttosto impegnativo, la questione più critica per lo sviluppo dell'intero sistema d'arto artificiale riguarda la messa a punto di una adeguata strategia per il comando della protesi.

L'elevato numero di gradi di libertà del sistema non permette di utilizzare le tecniche di comando attualmente adottate per gli arti artificiali che raramente hanno più di due assi di rotazione attivi. Esse prevedono un selettore meccanico o elettromiografico per scegliere l'articolazione da avviare e attuatori a comando meccanico o elettromiografico per muovere l'articolazione, generando in tal modo il movimento sequenziale, molto innaturale, dei segmenti dell'arto.

Per rendere più intuitivo e meno stressante il compito del paziente, il nostro approccio innovativo richiede di comunicare al sistema solo le successive posizioni volute per la mano trascurando il moto degli altri segmenti che viene automaticamente calcolato dal software del sistema. Per le attuali prove preliminari la posizione della mano viene ottenuta dal paziente muovendo la testa, garantendo movimenti sufficientemente fluidi. Le fasi della ricerca finora svolte hanno permesso di costruire vari prototipi sia di spalla sia di gomito e la soluzione attuale vede

1.  
Struttura meccanica senza  
cosmesi di uno dei prototipi a  
cinque gradi di libertà attivi  
Mechanical structure without  
cosmesis of a five active d.o.f.  
prototype



the last of which has been employed, with brilliant performances in long term clinical tests, on amputees. The mechanical part is based on innovative transmission systems whose set-up followed the construction of different technical solutions and the experimental tests on their performances. The present solution features two active axes for the shoulder, one for the elbow, one for the wrist, besides the hand's joints (for the hand, a commercial prosthesis has been used, which proved to perform adequately).

Major requirements of an artificial arm, as to the patients' acceptance, are: aesthetic quality, moderate weight, silentness, usability, long battery charge duration, reliability. It is proved that, in general, when one of these requirements is not satisfied, the use of a prosthesis is very limited, or even refused. Even if the mechanical project for the artificial arm, with all these constraints, is very challenging, the critical matter for the entire system lies in the command strategy of the prosthesis. In fact, due to the numerous degrees of freedom featured by our system, the application of driving techniques currently

2.  
Ambiente virtuale per la  
valutazione della destrezza dei  
pazienti  
Virtual environment for  
patients' skill evaluation



un sistema complessivo che è già stato assemblato e potrebbe essere utilizzato per la sperimentazione clinica preliminare. Le fasi successive della ricerca prevedono di riprogettare per miniaturizzarlo l'hardware necessario per elaborare in real-time i dati necessari per rilevare il movimento della testa e controllare il movimento dei micro-motori (due per la spalla uno per il gomito uno per il polso e uno per la presa).

Per verificare la bontà del nuovo approccio al comando dell'arto è stato sviluppato un sistema di realtà virtuale mediante il quale è possibile muovere un braccio virtuale utilizzando gli stessi sensori che equipaggeranno la protesi reale.

Tale sistema permette alla struttura clinica che lo utilizza di verificare in via preliminare l'attitudine dei pazienti all'uso di una protesi motorizzata: il problema dell'abbandono dei sistemi protesici sofisticati da parte di alcuni pazienti non è raro, ed è probabilmente legato a un procedimento troppo superficiale per la valutazione delle potenzialità del paziente.

La postazione virtuale presenta al paziente nella proiezione naturale un arto virtuale (su un grande

used for an artificial limb –that rarely presents more than two active rotation axes - is impossible. Those techniques use mechanical or electro-miographic selectors to choose the joint to be activated, and mechanically or electro-miographically driven actuators to move the joint itself; in this way they generate the sequential movement – very unnatural - of the limb segments.

Our innovative approach tries to make more spontaneous and less stressful the patient's duty: it asks to report to the system only the subsequent positions of the hand, neglecting the other segments' motion. This will be automatically calculated by the system's software. In the preliminary tests, at present, the hand position is driven by the head movements, which grants a sufficiently fluid action.

Up to now, the research phases led to the construction of several prototypes, shoulder and elbow as well, and a complete system has already been assembled that could undergo a preliminary clinical testing. In the next phases we intend to re-design - in order to miniaturize - the hardware needed for the real-time elaboration of data (from the head motion) and for the control of micro-motors, positioned as follows: 2 shoulder, 1 elbow, 1 wrist, 1 for the grip.

In order to check this new approach to the command strategy, we developed also a virtual reality system where it is possible to move a virtual arm with the same sensors as those designed for the real prosthesis. In this way the medical structure desiring to use our system will be able, preliminarily, to verify the patients' attitude towards the use of a motorized prosthesis: it is not rare in fact that some patients reject sophisticated prosthetic systems, and this is probably due to a quite superficial evaluation of their potentials.

The virtual station shows a natural projection (on a maxi-screen in front of the patient) of an artificial arm and a room with several objects to be reached in a prearranged sequence. The time necessary to reach objects, as well as the trajectories followed by the virtual hand are analysed. This virtual exercises are also useful to train the patients, to avoid stress and dangers during the tests, to follow and certify their motor learning achievements.

As above mentioned, the virtual station was initially devised to help the experimentation of new commanding methods for total (shoulder

schermo di fronte al paziente) e una stanza con vari oggetti da raggiungere con la mano in una sequenza preordinata. Vengono analizzati oltre al tempo impiegato per raggiungere gli oggetti anche le traiettorie percorse dalla mano virtuale.

Gli esercizi in realtà virtuale, oltre a permettere di valutare la predisposizione dei pazienti all'uso dell'arto artificiale senza sottoporli allo stress e ai pericoli connessi alle prime prove di utilizzo della protesi, permettono anche di allenare i pazienti e di monitorare e certificare i progressi raggiunti dal punto di vista motorio.

La postazione virtuale, inizialmente sviluppata principalmente per agevolare la sperimentazione di nuove strategie di comando delle protesi totali di arto superiore (cioè che includono la spalla) che sono attualmente solo in fase di sperimentazione preliminare, è stata poi adattata e quindi utilizzata anche per sistemi di protesi ormai clinicamente diffusi come gli arti artificiali per amputazioni transomerale, che perciò sono solo dotati di gomito e mano artificiali. Per quest'ultima applicazione è necessario rilevare anche il movimento del moncone residuo del paziente a cui dovrà essere applicata la protesi. Anche in questo caso si possono valutare le abitudini dei pazienti all'uso della protesi e monitorare i loro progressi motori.

Si noti che l'arto artificiale rappresentato nella postazione virtuale ha un comportamento molto simile a quello della protesi reale in quanto il modello dinamico utilizzato per la simulazione tiene conto delle caratteristiche dei motori utilizzati, del rendimento delle trasmissioni e dei carichi dinamici applicati al sistema; il movimento della mano virtuale (come il movimento di quella protesica) risulta quindi sfasato rispetto al comando in relazione all'esercizio svolto. Il sistema virtuale sviluppato è in via di evoluzione e incontra il favore dei clinici di riferimento anche perché permette loro di monitorare e certificare l'evoluzione o il peggioramento delle capacità motorie dei pazienti amputati.

Per i pazienti con amputazioni totali di una o due braccia l'adozione di un arto artificiale come quello sviluppato dal Dipartimento di Elettrotecnica riveste una importanza fondamentale, sia per il recupero fisico sia per quello sociale, permettendo loro di recuperare funzionalità altrimenti precluse.

3.  
Soggetto durante  
l'addestramento all'uso delle  
protesi  
Subject during the training to  
use the prosthesis



included) upper limb prostheses, which are now under preliminary tests; later the station was adapted and utilized also for more common prosthetic systems, clinically diffused as those for trans-humeral amputations, composed only of artificial elbow and hand. For the latter application, data from the movement of the patient's stump also need to be recorded, allowing thus the evaluation of the patients' ease with the prosthesis and the monitoring of their progresses. It has to be noticed that the artificial arm represented in the virtual station, behaves similarly to the real prosthesis because the dynamic model used for the simulation includes: electric motors characteristics, transmissions efficiency and dynamic loads applied to the system. Therefore the virtual hand movements – such as the real prosthesis ones – are generally delayed with respect to the target. Physicians appreciate this virtual reality system because it allows to monitor and certify the improvement or the worsening of the patients motion capability. Nevertheless we believe that our artificial limb of new conception could make the difference for total amputees, for physical and social recovery as well.