

**Massimo Magrini¹, Marco Righi¹, Davide Moroni¹,
Cristina Dolciotti².**

1 – ISTI, Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione del CNR, Pisa

2 – IFC, Istituto di Fisiologia Clinica del CNR, Pisa

Un sistema per la riabilitazione neuromotoria basato su di un ausilio robotico passivo.

Sommario

Il laboratorio Segnali ed Immagini dell'Istituto ISTI del CNR di Pisa, in collaborazione con Wearable Robotics ha sviluppato un sistema HW/SW orientato alla riabilitazione di soggetti con problemi neuromotori, in particolare derivanti da situazioni post-ictus. Gli esercizi riabilitativi consentiti dal sistema, compiuti sotto la guida di un operatore, si basano sulla manipolazione di un dispositivo HW (Track-Hold di Wearable Robotics) che permette l'esecuzione di movimenti scaricando il peso dell'arto superiore, in modo da rendere l'esercizio puramente neurologico e non faticoso per l'apparato muscolare. Il controllo dell'esecuzione degli esercizi viene fornito da un apposito software realizzato da ISTI, in grado di analizzare i movimenti compiuti e di fornire una valutazione delle capacità neuromotorie del soggetto.

1 La riabilitazione neurologica

Il decadimento della capacità motoria è una condizione piuttosto comune nella popolazione anziana (1). Quando questa ridotta capacità funzionale interessa gli arti superiori, possono essere compromesse le abilità necessarie allo svolgimento delle attività della vita quotidiana. L'invecchiamento non è la sola causa di questo declino funzionale e conseguente perdita di competenze (2). L'Organizzazione Mondiale della Sanità riferisce che nel mondo oltre 15 milioni di persone sono affette da patologie cardiovascolari e tra queste una percentuale non trascurabile, il 10-20% dei casi, ha avuto esperienza di malattia cerebrovascolare o ictus cerebrale. L'ictus cerebrale è nell'85% dei casi di tipo ischemico e nel 15% di tipo emorragico, colpendo in questo caso soggetti più giovani (di solito ipertesi o portatori di malformazioni vascolari) (5). L'ictus rimane la seconda causa di mortalità e la prima di disabilità (3, 4, 5). Nel 2019 il Servizio Sanitario Nazionale ha reso noto che in Italia si sono verificati 20.000 casi di ictus, dei quali l'80% era costituito da primi episodi, mentre per il 20% si trattava di recidive (6). La previsione è che nei prossimi anni vi sarà un bisogno crescente di competenze mediche specifiche, di attività fisioterapica e di supporto da parte di caregivers, per assistere al meglio i pazienti (6).

Le conseguenze dell'ictus, in termini di outcome per i soggetti sopravvissuti (circa l'85%) sono molto variabili. Gli esiti dell'ictus possono essere rappresentati da un disturbo dell'eloquio e del linguaggio (disartria e afasia) oppure da *deficit motori, temporanei o permanenti* (plegia e paresi), più o meno gravi ed estesi (5). L'outcome clinico dipende da vari fattori: dalla tempestività degli interventi terapeutici, dalla estensione delle aree cerebrali interessate dal danno ischemico e emorragico, e dalla insorgenza di complicanze in fase acuta e subacuta. Dopo la stabilizzazione del quadro clinico, si impone la necessità di valutare, in una fase ancora precoce, la strategia più opportuna per la prevenzione delle possibili

recidive e impostare il programma di il recupero (7). Sul versante della prevenzione delle ricadute ha un ruolo centrale la profilassi secondaria, mentre per quanto riguarda il recupero funzionale, questo dipende da un adeguato programma neuroriabilitativo (7). Il presupposto fisiologico della neuroriabilitazione, sia motoria che cognitiva, è rappresentato dal fenomeno di *neuroplasticità* e dai conseguenti processi di apprendimento e controllo motorio (8,9). Per *neuroplasticità* si intende la capacità dell'encefalo di modificare la propria struttura e le proprie funzionalità a seconda delle attività dei propri neuroni, correlata ad esempio a stimoli somato-sensoriali (8).

1.1 Panoramica di sistemi esistenti

Partendo dai presupposti appena descritti, per la neuroriabilitazione post-ictus dell'arto superiore sono state individuate due modalità terapeutiche: la *task-oriented therapy* e la realtà virtuale (10). Il primo metodo si basa sulla somministrazione di un feedback intrinseco ed estrinseco durante un protocollo definito di esercizi, mentre il secondo riguarda l'utilizzo di un ambiente virtuale, in cui è possibile impostare la frequenza e la modalità di somministrazione del feedback durante la terapia. (10, 11). Il feedback può essere di origine intrinseca o estrinseca: il primo rappresenta l'informazione che proviene da recettori specializzati all'interno di muscoli, articolazioni, tendini e cute, così come quelli provenienti da recettori visivi, uditivi e vestibolari, durante e dopo la produzione del movimento richiesto (11). Al contrario, il feedback estrinseco è quell'informazione sul movimento che viene fornita al soggetto da una sorgente esterna (11). Come per gli altri distretti corporei, anche per l'arto superiore, il danno motorio più rilevante, dopo un ictus, è la paresi. Questa condizione viene definita come "la ridotta capacità di attivazione volontaria dei movimenti". Al contrario, la plegia è definita come la incapacità di effettuare in modo completo movimenti volontari e quindi di reclutare l'apparato muscolare (12). Studi epidemiologici condotti negli Stati Uniti riportano che circa il 65% dei pazienti, che ha subito un incidente vascolare a livello cerebrale, ha delle limitazioni funzionali all'arto superiore e un peggioramento della qualità di vita. L'iniziale recupero della funzione dell'arto, nella fase post acuta, è dovuto più a una riorganizzazione spontanea del Sistema Nervoso Centrale che non agli effetti della riabilitazione tradizionale (13).

In particolare, il recupero funzionale post-ictus pur nella grande differenza delle situazioni cliniche, presenta alcune costanti:

1. A tre mesi dallo ictus la gran parte dei pazienti non raggiunge una condizione di funzionalità normale: nello specifico il 93% delle alterazioni riguardano l'arto superiore, il 79% uno schema e un timing del passo adeguato e per il 40% le Activity Daily Living (ADL).
2. Il 56% dei sopravvissuti presenta una grave paresi dell'arto superiore, il 37% mostra un recupero parziale, mentre solo nel 7% dei pazienti si ha una risoluzione completa.
3. La gran parte del recupero funzionale dell'arto superiore avviene nei primi 30 giorni.
4. Una funzionalità ridotta dell'arto superiore è strettamente associata ad un'ospedalizzazione più lunga e ad una peggiore prognosi (13).

La ricerca clinica in questi ultimi anni ha permesso lo sviluppo di metodiche riabilitative che offrono innovative possibilità terapeutiche ai pazienti colpiti da ictus.

Le metodiche possono essere suddivise essenzialmente in 2 filoni principali: uno *sherringtoniano* (Metodi Bobath, Kabat ecc.) in cui l'attività motoria è il risultato di comandi motori operati da vie riflesse, e uno *corticalista* (Metodo Perfetti) che sostiene il ruolo essenziale della riprogrammazione del movimento elaborata a livello corticale (14). Secondo il metodo sherringtoniano, c'è un rapporto temporale di immediatezza tra stimolo e risposta motoria, diversamente, secondo la scuola di pensiero corticalista, l'esercizio proposto al paziente dovrà raggiungere uno stato di coscienza. Il metodo Bobath, in particolare, si basa sull'inibizione dell'attività riflessa abnorme e sulla facilitazione dell'attività posturale e motoria normale (14, 15).

Il metodo Perfetti, invece, propone l'esercizio terapeutico come problema di tipo conoscitivo. Viene

quindi richiamato l'uso di processi cognitivi, in particolare *dell'attenzione e della memoria*. Inoltre il corpo viene considerato come una superficie recettoriale. Con questo metodo il soggetto non impara di nuovo il movimento bensì le sensazioni che derivano da questo (tattili, pressorie o cinestesiche) (16). Oltre queste tecniche, diventate ormai tradizionali, si stanno sviluppando negli ultimi anni approcci riabilitativi innovativi, che spesso assumono un significato molto pratico-operativo.

Nessuna di queste tecniche è alternativa alle altre. Una metodica fisioterapica efficace è la constraint-induced movement therapy (CIMT) la quale limita l'utilizzo del lato sano e sottopone l'arto superiore paretico a un esercizio intensivo, ripetitivo e orientato al gesto funzionale (17). Il razionale su cui si basa questa tecnica è il tentativo di ristabilire l'equilibrio interemisferico, diminuendo gli input somatosensoriali provenienti dall'arto superiore sano, aumentando contemporaneamente gli input all'emisfero colpito. Tuttavia solo pochi centri sono in grado di erogare questo tipo di terapia poiché i protocolli prevedono un trattamento riabilitativo giornaliero per due settimane consecutive e una restrizione complessiva dell'arto sano per almeno il 90 % della giornata (17). Un nuovo approccio riabilitativo per il recupero della motricità dell'arto superiore è stato strutturato dalla scoperta dei "neuroni specchio" nell'area corticale della scimmia, che vengono attivati sia nell'osservare che nell'eseguire un movimento (18). La mirror therapy è una metodica riabilitativa che prevede il movimento di entrambi gli arti superiori in modo simmetrico al paziente viene indicato di osservare il movimento dell'arto sano allo specchio.

Il paziente ha l'impressione che simultaneamente anche l'arto paretico si stia muovendo. In questo modo le afferenze vengono attribuite alla mano paretica e riattivano i circuiti ad essa preposti (18). Più recentemente, la riabilitazione robotica permetterebbe la somministrazione intensiva di input somatosensoriali all'emisoma paretico, attraverso la ripetizione dei gesti motori. Per quanto riguarda gli arti superiori, la riabilitazione motoria attuata mediante ausilio di robot indossabili, si è dimostrata particolarmente efficace se condotta in una fase molto precoce, del post-ictus (19, 20).

Solitamente la terapia svolta con i dispositivi robotici, come gli esoscheletri, prevede protocolli diversi (movimenti passivi, attivi o attivi-assistiti) da applicare alle diverse fasi della riabilitazione a seconda della gravità del quadro clinico (20, 21). Non è ancora stato verificato quanto un miglioramento di prestazione, richiesto nel contesto robotico, sia trasferibile, sul medio-lungo periodo, ad attività di vita quotidiana. Sarebbe utile, a tal proposito, continuare a produrre nel setting riabilitativo scenari sempre più verosimili a quelli della vita quotidiana, in modo tale che il movimento richiesto possa essere ricondotto ad una azione finalizzata e nuovamente appreso dal paziente. Il software Track-Task, qui descritto, è stato sviluppato cercando di seguire questo approccio.

2 Il dispositivo Track-Hold

Track-Hold è un dispositivo di riabilitazione per l'allenamento passivo dell'arto superiore con supporto della gravità nei movimenti spaziali. Il rilevamento del movimento dell'intero braccio è garantito da nuove tecnologie di rilevamento della posizione. Il sollievo del peso mediante compensazione della gravità facilita l'esecuzione del movimento nei pazienti con emiparesi e può essere efficacemente utilizzato nella riabilitazione dell'arto superiore (<http://www.wearable-robotics.com/kinetek/products/track-hold/>). La regolazione della quantità di supporto si basa sulla rimozione / aggiunta di pesi fisici che possono essere facilmente regolati dal terapeuta, sfruttando un meccanismo brevettato di controbilanciamento.



Fig.1 Il dispositivo Track-Hold

Track-Hold consente di registrare i dati cinematici durante le sessioni di terapia e, tra le molte applicazioni, stimare i miglioramenti quotidiani e i progressi nel programma terapeutico. Il monitoraggio dei movimenti viene effettuato tramite 7 sensori di rotazione posti nei giunti mobili del dispositivo, aventi una precisione di circa un decimo di grado. Il manipolatore del dispositivo, costituito da una maniglia, è munito di un sensore di pressione che permette di rilevare quando viene strinto con la mano (a esempio, rilevando il gesto di stringere oggetti). La frequenza di campionamento delle posizioni è di 100 Hz, ampiamente sufficiente per una corretta rilevazione del movimento. Il dispositivo viene connesso ad un calcolatore mediante USB.

2.1 Il modulo SW di controllo

Un apposito modulo SW, concepito per essere eseguito in background, rende disponibili i dati del dispositivo alle applicazioni utente (quali ad esempio Trajectory) tramite un meccanismo di *Shared Memory*. Il pacchetto dati scambiato con il dispositivo è composto da 12 valori in virgola mobile (4 byte per valore), per una lunghezza totale di 48 byte. Il pacchetto ha il seguente formato:

Byte 0: Timestamp, in secondi e frazioni decimali

Byte 1-7: Angoli delle 7 articolazioni del dispositivo, in radianti

Byte 8-10: Posizione spaziale dell'handle, riferita alla base del manipolatore, in metri

Byte 11: stato del sensore di pressione, binario (0.0 a riposo, 1.0 quando si stringe il manipolatore)

A corredo del dispositivo Wearable Robotics ha sviluppato un *exergame* per Track-Hold, utilizzando il motore grafico *Unreal Engine*. Il game permette di simulare, tramite un ambientazione 3D, l'azione di disegnare con un gesso su di una lavagna, nonché quella di cancellare quanto disegnato. Il gioco prevede due modalità di utilizzo:

- a) *Draw & Clear:* l'utente disegna un percorso seguendo una traccia sulla lavagna, cancellando successivamente quanto disegnato;
- b) *Follow & Clear:* un gesso disegna automaticamente una traccia e l'utente deve seguire il gesso con un cancellino entro una distanza limite, cancellando quanto disegnato.

Le modalità del gioco (tipo di tracciato, velocità etc.) sono completamente configurabili tramite messaggi UDP verso *localhost*.

2.2 Pannello di controllo e modulo di interfacciamento in MATLAB

ISTI ha sviluppato in ambiente MATLAB un'applicazione di controllo per Trajectory. L'applicazione include una GUI con la quale è possibile configurare e controllare il gioco. Al termine di ogni sessione il

tracciato del movimento, memorizzato dal game, viene recuperato e visualizzato in una finestra. Il tracciato può essere così analizzato tramite l'insieme di funzioni disponibili nei toolbox di Matlab. L'utilizzo di Trajectory congiuntamente con l'ambiente MATLAB ha permesso di sperimentare e di mettere a punto i meccanismi di base di Track-Task (3).

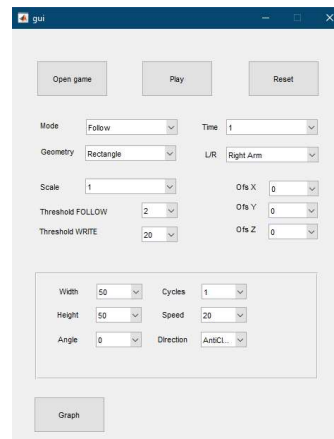


Fig.2 La GUI di controllo per l'ambiente MATLAB

3 Il SW Track-Task

L'applicazione per l'esecuzione di esercizi neuromotori Track-Task, sviluppata da ISTI, utilizza i dati forniti dal modulo SW di controllo (2.1) tramite una connessione UDP su *localhost*. A tale scopo è stato sviluppato un modulo bridge, da attivare in background, che inoltra i dati letti sulla Shared Memory su di una porta UDP.

A differenza di Trajectory gli esercizi eseguibili con Track-Task sono dettati da una base funzionale. Svolgendo l'esercizio si tenta infatti di far compiere al soggetto movimenti utili per la vita quotidiana. I movimenti funzionali, compiuti manipolando il dispositivo, sono scomposti in sotto-movimenti, che consistono nel far raggiungere ad un cursore sullo schermo dei keypoint, caratterizzati da una angolazione e da una posizione ben precisi. Il movimento del manipolatore sul piano X,Y trova una corrispondenza immediata con la posizione sullo schermo. Per quanto riguarda il movimento sull'asse Z si è scelto di rappresentarlo con una variazione delle dimensioni del cursore: spingendo il manipolatore in avanti (incremento coordinata Z) si diminuisce la sua dimensione. Questa metafora risulta assai intuitiva e permette, diversificando la dimensione dei keypoint target e di conseguenza la loro posizione sull'asse Z, di guidare il soggetto a compiere i movimenti in tutto lo spazio tridimensionale (fig.3).

L'applicazione è predisposta per funzionare in configurazione doppio monitor: il monitor di servizio rivolto verso l'operatore mentre il monitor di grande formato, destinato alla visualizzazione dell'exergame, viene posto in fronte al soggetto.

L'applicazione consta di 3 moduli distinti:

- *Track-Task Control Panel*: è gestito dall'operatore sul monitor di servizio, con il quale è possibile scegliere il protocollo della seduta e controllare l'esecuzione;
- *Track-Task Visualizer*: è il visualizzatore dell'exergame, destinato alla visualizzazione full-screen sul monitor in fronte al soggetto;
- *Track-Task Editor*: è un editor di Task, con il quale è possibile creare nuovi esercizi aggiungendoli a quelli esistenti.

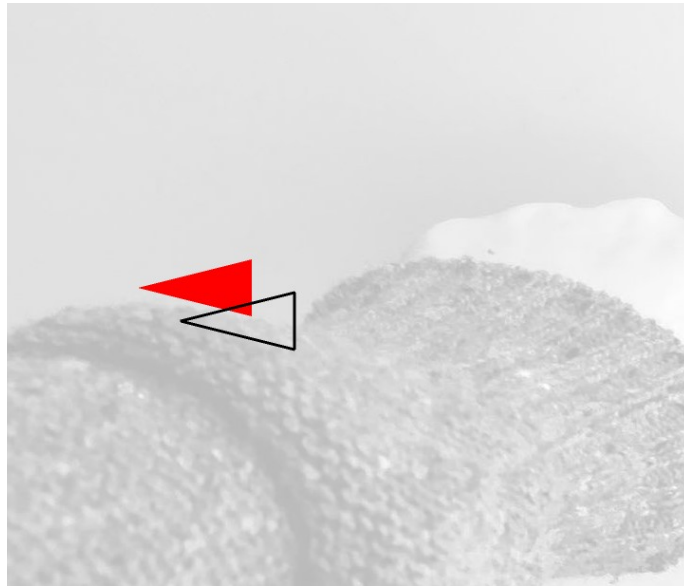


Fig.3 KeyPoint (in rosso) e cursore (nero).

Le sessioni di utilizzo di Track-Task saranno compiute scegliendo un opportuno protocollo, differenziato a seconda delle categorie di soggetti. Ciascun protocollo consiste in una lista di task da compiere, eventualmente ripetuti.

3.1 Comandi del Track-Task Control Panel

Il pannello di controllo di Track-Task è destinato ad un utilizzo da parte specialisti medici, e pertanto la sua interfaccia è stata resa minimale, in modo da contenere i comandi strettamente necessari per l'utilizzo del sistema.

Tramite interfaccia è possibile compiere le seguenti azioni:

- *Scelta Soggetto*: un menu a tendina permette la scelta del soggetto che deve compiere la seduta. La lista dei soggetti è contenuta in un file di testo, editabile con qualunque editor.
- *Scelta Protocollo*: un menu a tendina permette di scegliere il tipo di protocollo della seduta. I protocolli possibili sono memorizzati in file di testo editabili. Ognuno dei protocolli consiste in una lista di singoli esercizi (Task). I singoli task sono memorizzati in un'opportuna cartella dell'applicazione, e possono essere creati ed editati mediante l'uso di Track-Task editor.
- *Start/Stop ROM*: alcuni pulsanti permettono di iniziare o terminare la registrazione ROM (Range of Movements). Questa modalità prevede che il soggetto compia i movimenti (i più ampi che riesce a eseguire) sotto la guida dell'operatore. Al termine dell'operazione (comandata dal pulsante Stop ROM) il range attuale dei movimenti del soggetto viene memorizzato nella cartella dati.
- *Start/Stop*: i pulsanti (che regolano tutte le attività) permettono di iniziare (o interrompere) la sessione di cui si è selezionato soggetto e protocollo.



Fig.4 Track-Task Control Panel

3.2 Dati acquisiti e loro analisi

3.2.1 Acquisizione dei dati

Durante le sessioni di esercizi vengono acquisiti i tracciati relativi ai movimenti compiuti dal soggetto per l'esecuzione dell'esercizio richiesto. Questi tracciati sono analizzati al termine di ogni task/modello e i risultati dell'analisi sono mostrati immediatamente sul Control Panel e sul monitor principale. I risultati mostrati sono:

- *Tempo totale*: tempo totale impiegato, in secondi
- *Overhead distanza*: percentuale che indica l'effettiva distanza percorsa dal cursore nello spazio, rapportata alla distanza minima possibile fra i keypoint da raggiungere.
- *LF index, HF index*: questi dati sono prodotti da un'analisi frequenziale dei tracciati. L'analisi in frequenza risulta molto importante in quanto permette di rilevare alcune indicazioni sui tremori associati ai disturbi neuromotori in funzione dalla loro frequenza. La frequenza ne caratterizza la tipologia. Senza entrare qui nel dettaglio si può semplicemente dire che quelli a frequenza relativamente bassa (5-8 Hz) sono sintomi di problemi neuro-motori, sia quelli relativi a danni neurologici post-ictus sia quelli relativi a disturbi di tipo parkinsoniano. Quelli a frequenza più alta (8-15 Hz) possono essere classificati come tremori sistemici o fisiologici, la cui entità può essere funzione dell'età del soggetto. L'applicazione Track-Task compie quindi un'analisi in frequenza dei tracciati del movimento in modo da distinguere queste due bande. L'algoritmo di analisi è di seguito descritto.

3.2.2 Algoritmo per l'analisi dei dati

I seguenti passi descrivono l'architettura dell'algoritmo utilizzato nell'analisi descritta:

1. Trasformazione dell'array di coordinate $\langle x, y, z \rangle$ in array di angoli $\langle a \rangle$: in pratica il tracciato viene scandito, scegliendo 3 punti p_i, p_{i+n}, p_{i+2n} (con n dell'ordine di alcune unità), quindi viene calcolato l'angolo compreso fra il segmento p_i, p_{i+n} e il segmento p_{i+n}, p_{i+2n} . Se il tracciato è perfettamente rettilineo l'array di angoli sarà quindi composto solo di valori uguali a π , mentre in caso di tremore i valori risultanti saranno invece caratterizzati da oscillazioni insistenti su certe frequenze. Si noti che i task prevedono movimenti composti da vari segmenti rettilinei: in corrispondenza delle connessioni fra gli stessi saranno quindi presenti angoli. Tuttavia queste variazioni angolari, non essendo periodiche, non saranno particolarmente presenti nell'analisi in frequenza.

2. Trasformata di Fourier: l'array di angoli è trasformato tramite DFT (Discrete Fourier Transform). Si è scelto di usare l'implementazione canonica invece della FFT in quanto non richiede che la lunghezza del vettore sia una potenza di 2. Nel nostro caso la lunghezza del tracciato infatti può essere di lunghezza arbitraria e quindi sarebbe stato necessario ricorrere a tecniche come lo *zero padding* oppure *windowing*. Inoltre, nel nostro caso, le frequenze da estrarre sono in numero limitato (non ci interessa l'intero spettro ottenibile, da 0 a 50 Hz) e quindi è possibile, limitando l'algoritmo della DFT solo a questa parte dello spettro, ridurre di molto il tempo di calcolo, in modo da poter fornire i risultati dell'analisi immediatamente al termine di ogni task.
3. Filtraggio in bande e calcolo degli indici: l'intervallo di frequenze estratto varia da 2 a 20 Hz. All'interno di questo intervallo si considerano due sottointervalli, LF (Low frequency), compreso tra 3 e 8 Hz, e HF (High Frequency) da 8 a 15 Hz. Si estraggono quindi due indici:
 - *LF Index*: il rapporto fra le somme delle potenze dell'intervallo LF e quello dell'intero intervallo.
 - *HF Index*: il rapporto fra le somme delle potenze dell'intervallo HF e quello dell'intero intervallo.

I valori dei due indici sono ovviamente dipendenti dal tipo di task, e pertanto la loro valutazione acquista significatività solo in base al confronto un database normativo costruito con soggetti di controllo.

3.3 I Task implementati ed il Track-Task editor

Il software permette l'esecuzione di un certo numero di task (organizzabili in Protocolli), in cui si richiede al soggetto di compiere un movimento che per le sue caratteristiche ha un valore funzionale, in quanto richiama una gestualità precisa corrispondente ad un'azione quotidiana.

Ognuno dei task è composto di sotto-movimenti a segmenti, in cui il soggetto deve raggiungere dei keypoint orientati e posti nello spazio 3D, muovendo il manipolatore osservando il cursore sullo schermo.

Al momento i task inseriti sono i seguenti:

1. *Spingere una porta*: gesto di spingere una porta. 2 keypoint (da ripetere in più posizioni).
2. *Spegnerne un interruttore*: 2 keypoint (da ripetere in più posizioni)
3. *Aprire una porta DX*: gesto di aprire una porta con apertura verso destra. 3 keypoint.
4. *Aprire una porta SX*: gesto di aprire una porta con apertura verso sinistra. 3 keypoint.
5. *Aprire un armadio con porta scorrevole*: 3 keypoint.
6. *Portare una bottiglia/cibo alla bocca*: 3 keypoint.
7. *Mescolare*: gesto di mescolare una pietanza con un mestolo, 4 keypoint.
8. *Pulire un vetro*: 7 keypoint.

Tramite Track-Task Editor è possibile aggiungere facilmente nuovi task. L'editor ha interfaccia molto semplice basata su mouse e tastiera, tramite la quale è possibile controllare l'inserimento di nuovi keypoint nel tracciato. Al fine di creare un nuovo task è necessario compiere i seguenti passi:

1. Impostare l'immagine di sfondo iniziale, scegliendola dal file-system.
2. Impostare con la tastiera la grandezza corrente (e quindi la posizione sull'asse Z) del keypoint, nonché la sua angolazione.
3. Cliccare con il mouse sulla posizione del nuovo keypoint.

4. Ripetere i due punti precedenti fino al completamento del tracciato
5. Impostare l'immagine di sfondo finale (che sarà visualizzata al completamento del Task)
6. Salvare il modello del Task nel file-system.

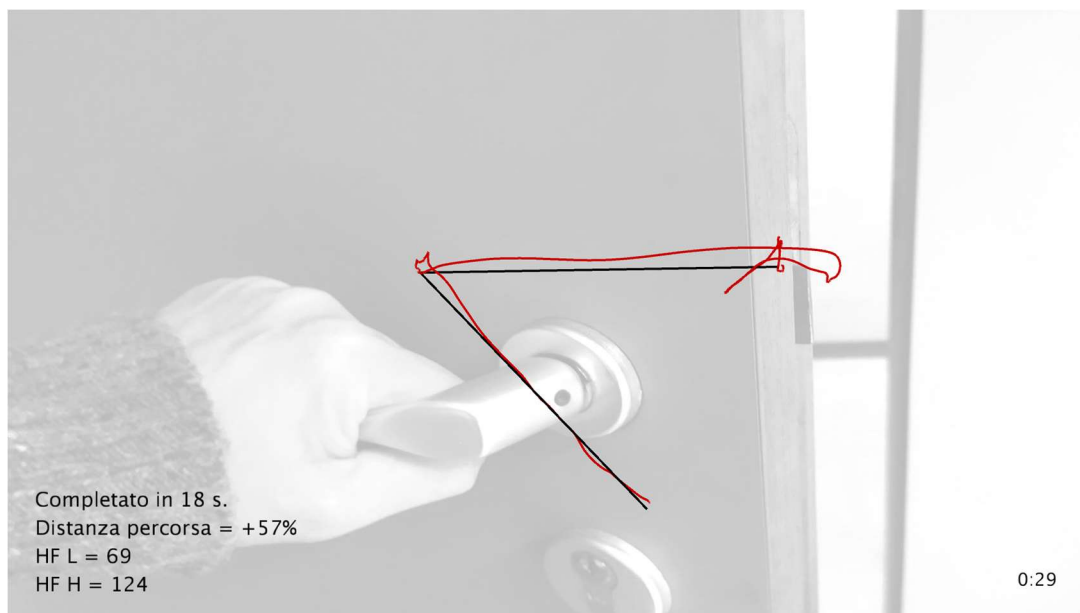


Fig.5 Schermata visualizzata al termine di uno dei Task.

3.4 Misura del ROM complessivo

Il software prevede una modalità di utilizzo denominata ROM (Range of Movement), con la quale è possibile misurare le capacità massime di movimento del soggetto. Si noti che, per come è costruito il dispositivo, non è possibile misurare le effettive ROM delle articolazioni del soggetto: questo richiederebbe infatti le applicazioni di sensori direttamente sugli arti del soggetto stesso, operazione non compatibile con il tipico scenario di utilizzo del sistema. In pratica quindi si misura la massima escursione 7 angoli dei giunti del dispositivo stesso, azionati dal movimento del soggetto. Questa misurazione assume rilevanza una volta che si è creato un database normativo costruito su controlli (soggetti sani), contro il quale fare un confronto.



Fig.6 Sessione di utilizzo del sistema, con monitor operatore e monitor di visualizzazione per il soggetto.

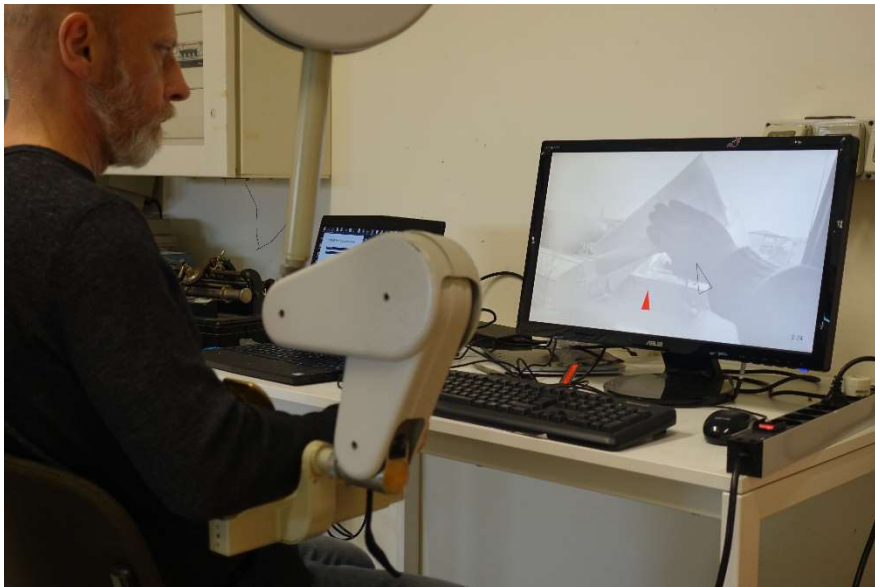


Fig.7 Sessione di utilizzo del sistema, con keypoint (rosso) e cursore 3D.

4 Conclusioni e sviluppi futuri

Il sistema Track-Hold, unitamente al software Track-Task qui descritto, sarà oggetto di una sperimentazione su un insieme di soggetti affetti da deficit neuro-motori post-ictus, presso la RSA (Residenza Sociale Assistita) Tabaracci di Viareggio. Scopo della sperimentazione sarà quello di verificare, con dati sperimentali, l'efficacia dell'approccio proposto. Prima di tale sperimentazione si prevede inoltre di effettuare una serie di sedute su un set di soggetti di controllo, presso i laboratori dell'ISTI. Lo scopo di questa sperimentazione preliminare, oltre ovviamente a quello di mettere a punto il sistema con test pseudo-reali, è quello di costruire un database normativo di controllo con il quale confrontare i dati rilevati durante la sperimentazione vera e propria. I risultati auspicabili al termine della sperimentazione in RSA sono *aumento delle capacità ROM, aumento della precisione e velocità dei movimenti, diminuzione dei tremori patologici*.

Tra gli sviluppi futuri previsti si indicano alcune modifiche HW, che facilitino lo switch fra manipolazione con arto destro e sinistro nonché l'ergonomia generale, e alcuni perfezionamenti del SW, che possano ad esempio includere un sistema di Review dei dati registrati senza dover ricorrere a tool esterni. Si prevede inoltre di includere un modulo Database vero e proprio, che possa in particolare facilitare la gestione dell'archivio dei soggetti.

Ringraziamenti

I ricercatori ringraziano la società *Wearable Robotics* (<http://www.wearable-robotics.com/>) per aver messo a disposizione della ricerca il braccio robotico Track-Hold (<http://www.wearable-robotics.com/kinetek/products/track-hold/>).

Bibliografia

- [1] Udina C, Avtzi S, Durduran T, Holtzer R, Rosso AL, Castellano-Tejedor C, Perez LM, Soto-Bagaria L, Inzitari M. *unctional Near-Infrared Spectroscopy to Study Cerebral Hemodynamics in Older Adults During Cognitive and Motor Tasks: A Review*. *Front Aging Neurosci*. 2020 Jan 21;11:367.
- [2] Yilmazer C, Boccuni L, Thijs L, Verheyden G. *Effectiveness of somatosensory interventions on somatosensory, motor and functional outcomes in the upper limb post-stroke: A systematic review and meta-analysis*. *euroRehabilitation*. 2019;44(4):459-477.
- [3] Takahashi JC, Funaki T, Houkin K, Kuroda S, Fujimura M, Tomata Y, Miyamoto S. *Impact of cortical hemodynamic failure on both subsequent hemorrhagic stroke and effect of bypass surgery in hemorrhagic moyamoya disease: a supplementary analysis of the Japan Adult Moyamoya Trial*. *J Neurosurg*. 2020 Mar 13:1-6.
- [4] Yasaka M, Uchiyama S, Atarashi H, Okumura K, Koretsune Y, Yamashita T, Taniguchi A, Fukaya T, Inoue H; J-Dabigatran Surveillance Investigators. *Dabigatran for Japanese Patients with Atrial Fibrillation and Prior Stroke: A Subgroup Analysis of the J-Dabigatran Surveillance Program*. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2020 Feb 26:104717.
- [5] Jiang Y, Lu H, Man Q, Liu Z, Wang L, Wang Y, Suo C, Zhang T5, Jin L, Dong Q, Cui M, Chen X. *Stroke burden and mortality attributable to ambient fine particulate matter pollution in 195 countries and territories and trend analysis from 1990 to 2017*. *Environ Res*. 2020 Feb 29;184:109327.
- [6] www.salute.gov.it
- [7] Gunnes M1, Indredavik B2, Langhammer B3, Lydersen S4, Ihle-Hansen H5, Dahl AE6, Askim T7. *Associations Between Adherence to the Physical Activity and Exercise Program Applied in the LAST Study and Functional Recovery After Stroke*. *Arch Phys Med Rehabil*. 2019

Dec;100(12):2251-2259.

- [8] Altshuler EL., Wisdom SB., Stone L., Foster C., Galasko D., Llewellyn DM., Ramachandran VS. (1999) "Rehabilitation of hemiparesis after stroke in a mirror" Vol. 353 pp.2035-2036.
- [9] Woodbury ML., Duncan PW., (2013)"Promoting neuroplasticity and recovery after stroke: future directions for rehabilitation clinical trials" Vol.1 pp. 37-4.
- [10] MAUREEN K. HOLDEN, Virtual Environments for Motor Rehabilitation: Review. CYBERPSYCHOLOGY & BEHAVIOR, Volume 8, Number 3, 2005.
- [11] Chanubol R1., Wongphaet P., Chavanich N., Werner C., Hesse S., Bardeleben A., Merholz J., (2012) "A randomized controlled trial of Cognitive Sensory Motor Training Therapy on the recovery of arm function in acute stroke. Vol.12 pp. 1096-1104.
- [12] Fasoli E., Hermani I., Walter R., Neville H. (2003)"Effects of Robotic Therapy on Motor Impairment and Recovery in Chronic Stroke" Vol.84 pp. 477-48.
- [13] 13. Gui Bon Song (2015)"The effects of task-oriented versus repetitive bilateral arm training on upper limb function and activities of daily living in stroke patients" Vol 5 pp.13531355.
- [14] Dewijn J Kollen 1, Sheila Lennon, Bernadette Lyons, Laura Wheatley-Smith, Mark Scheper, Jaap H Buurke, Jos Halfens, Alexander C H Geurts, GerKwakkel. he Effectiveness of the Bobath Concept in Stroke Rehabilitation: What Is the Evidence? Stroke 40(4) e89-97, 200.
- [15] LEVINE M, KABAT H. Spasticity; Its Nature and Treatment. Calif med 80(4), 306-100, 1954.
- [16] Chanubol R, Wongphaet P, Chavanich N, Werner C, Hesse S, Bardeleben A, Merholz J. A Randomized Controlled Trial of Cognitive Sensory Motor Training Therapy on the Recovery of Arm Function in Acute Stroke Patients. Ckin Rehab 26(12), 1096-104, 2012.
- [17] Villepinte C, Verma A, Dimeglio C, Boissezon X, Gasq D. Responsiveness of kinematic and clinical measures of upper-limb motor function after stroke: a systematic review and meta-analysis. mn Phys Rehabil Med. 2020 Mar 7. pii: S1877-0657(20)30059-2.
- [18] Thieme H1, Morkisch N, Mehrholz J, Pohl M, Behrens J, Borgetto B, Dohle C. Mirror therapy for improving motor function after stroke. Cochrane Database Syst Rev. 2018 Jul 11;7:CD008449.
- [19] Aisen FL, Krebs HI, Hogan N, et al: The effect of robot-assisted therapy and rehabilitative training on motor recovery following stroke. Arch Neurol 1997;54: 443–6.
- [20] Fasoli SE, Krebs HI, Stein J, et al: Effects of robotic therapy on motor impairment and recovery in chronic stroke. Arch Phys Med Rehabil 2003;84:477–8.
- [21] Stein J, Krebs HI, Frontera WR, Fasoli SE, Hughes R, Hogan N. Comparison of Two Techniques of Robot-Aided Upper Limb Exercise Training After Stroke. Am. J. Phys. Med. Rehabil. Vol. 83, No.9.