

# Nuove frontiere robotica assistiva e riabilitativa

*Il Centro Protesi INAIL di Vigorso di Budrio (BO), in partnership con l'Istituto Italiano di Tecnologia ha sviluppato due avveniristici dispositivi robotici, due esoscheletri, uno assistivo l'altro riabilitativo, che aprono nuove prospettive nella gestione della disabilità temporanea e permanente*

camminare. Una piattaforma che in futuro permetterà di svolgere attività riabilitativa, sia presso i centri specializzati sia a domicilio, dedicata a pazienti con esiti di traumatismi o con patologie neurologiche. Float è un esoscheletro riabilitativo per il recupero motorio e funzionale del complesso delle articolazioni della spalla in fase postoperatoria o a seguito di lesioni post-traumatiche, che in futuro potrà essere usato su pazienti con disfunzioni motorie dovute a ictus o a malattie neurodegenerative.

## **Cuore pulsante della ricerca robotica**

INAIL e IIT uniscono le forze in attività e prospettive all'avanguardia in un ambito di ricerca di confine come la robotica. Una collaborazione in essere da anni che sfrutta le specificità dei due istituti: da un lato, l'alta capacità di ricerca dell'IIT, dall'altro l'esperienza nel campo della ricerca applicata maturata in tanti anni dall'INAIL, soprattutto con le attività svolte presso il Centro Protesi. Nel Rehab Technologies Lab, fulcro operativo della collaborazione tra IIT e INAIL, si sviluppano dispositivi



**Emanuele Gruppioni,**  
direttore  
tecnico  
dell'Area  
Ricerca del  
Centro Protesi  
INAIL



**Elisa Taglione,**  
direttore  
sanitario del  
Centro di  
Riabilitazione  
Motoria INAIL  
di Volterra

**L**a robotica riabilitativa è un filone di ricerca che vede impegnato da oltre dieci anni il Centro Protesi INAIL, epicentro nazionale e internazionale in sperimentazione e sviluppo di soluzioni e processi innovativi per la riabilitazione. Da questo impegno nascono, in collaborazione con l'Istituto Italiano di Tecnologia, Twin e Float, due esoscheletri disponibili come prototipi avanzati con i quali è stata avviata una sperimentazione clinica che aprirà la strada a un trasferimento delle tecnologie all'industria. Twin è un esoscheletro assistivo indossabile che consente di alzarsi, sedersi, mantenere la posizione eretta,



Con Float l'esoscheletro motorizzato "fluttua", perché è montato su un braccio mobile consentendo al paziente di stare in piedi e muoversi, effettuare attività e gesti comuni della vita quotidiana, sperimentando in modo assistito gesti funzionali che integrino precocemente, armonizzandolo, il movimento della spalla in quello della catena cinetica complessiva del corpo

medici protesici, ortesici e riabilitativi ad alta tecnologia, qui è nata l'avveniristica mano protesica di derivazione robotica Hannes, mano poliarticolata capace di restituire circa il 90% delle funzionalità di un arto naturale. Il Laboratorio persegue l'innovazione attraverso la ricerca, con l'ambizioso obiettivo di coniugare robotica e neuroscienze sviluppando progetti che uniscano alti livelli di tecnologia all'alto impatto sociale. Twin e Float rispondono a questa esigenza. «La linea di ricerca che INAIL e IIT portano avanti è volta allo sviluppo sia di dispositivi indossabili che consentano di svolgere attività quotidiane (robot assistivi come Twin) sia di dispositivi per la riabilitazione capaci di migliorare gli outcome riducendo i tempi di recupero in chi ha un'invalidità temporanea assoluta al lavoro. Una dicotomia

che probabilmente sarà risolta quando queste piattaforme convergeranno in palestre robotiche multifunzionali».

### **Esoscheletri per riconquistare il cammino**

Twin è un esoscheletro per arti inferiori per pazienti con mielolesione traumatica completa, privi di abilità motoria residua che supporti nelle fasi del cammino, e oggi estende le sue indicazioni a soggetti con diversi tipi di disabilità motoria, anche parziale. «La prima generazione di esoscheletri arrivò sul mercato circa 15 anni fa, destando interesse e stupore», spiega l'ing. Emanuele Gruppioni, direttore tecnico dell'Area Ricerca. «Il Centro Protesi INAIL s'interessò fin dagli esordi a questa tecnologia per comprenderne tecnicamente l'affidabilità e verificarne la sicurezza. Ne scaturì un progetto di ricerca che da un lato evidenziò gli importanti benefici clinici sul paziente, confermati dalla letteratura (benefici a livello circolatorio, gastrointestinale, urinaria, del ROM articolare), dall'altro rilevò, però, problemi di sicurezza. Se quindi in parte s'infransero le aspettative di consentire al mieloleso di riconquistare nella quotidianità la funzione del cammino surrogando con questa tecnologia l'uso della carrozzina, è pur vero che questa prima generazione di esoscheletri passivi apriva interessanti risvolti riabilitativi, ma anche a tangibili benefici psicologici per il paziente che riconquistava, seppur per brevi tratti, il cammino e la posizione eretta. Il progetto che ha portato alla nascita di Twin ha dato

seguito a questo sogno, facendo leva sulle successive innovazioni e su un'expertise tutta italiana, con l'obiettivo non solo di risolvere le criticità emerse ma anche di sviluppare soluzioni migliorative che portassero a un esoscheletro innovativo a supporto dei trattamenti riabilitativi erogati da Inail, migliorando aspetti quali usabilità e comfort».

### **L'esoscheletro Twin**

Presentato a Bologna alla recente edizione 2024 della fiera Exposanità, Twin è un esoscheletro attivo che consente a soggetti con lesione midollare, completa o incompleta, con esiti di paraplegia agli arti inferiori di camminare per qualche ora al giorno. Il primo prototipo di Twin era dotato di quattro attuazioni per l'azionamento delle articolazioni di anca e ginocchio, che permettevano di portarsi da seduti a eretti, camminare (con l'ausilio delle stampelle), salire e scendere le scale e sedersi. Nel secondo prototipo, oggi a un livello avanzato di sviluppo, la potenza erogata dalle attuazioni può essere modulata in funzione del livello di deficit muscolare che presenta il paziente, fornendo quindi un supporto anche solo parziale alle attività. Questa strategia di controllo si basa sulla collaborazione tra esoscheletro e paziente, lasciando quest'ultimo libero di stabilire il comportamento del dispositivo. Il sistema robotico è alimentato da batterie poste a livello lombare assieme all'unità centrale di controllo, responsabile della sicurezza del dispositivo e del coordinamento di tutte

le attuazioni nell'esecuzione delle attività. L'architettura del sistema è di tipo distribuito con cinque unità (una per ogni attuazione e quella centrale) connesse mediante bus di campo CAN. L'unità centrale può connettersi wireless a una piattaforma tablet, consentendo al terapeuta di impostare i parametri dell'esoscheletro per ciascun paziente trattato in funzione dei progressi ottenuti e gestire la sessione di addestramento.

«Molte sono le implementazioni di questo secondo prototipo di Twin, disponibile in due versioni: TwinMed, per i centri riabilitativi, e Twin2, per uso personale. In TwinMed l'interfaccia del tablet presenta, oltre i parametri principali della macchina, anche quelli del paziente, offrendo parametri oggettivi per monitorare, da un lato, l'andamento del percorso riabilitativo con l'esoscheletro sessione dopo sessione, dall'altro lo stato di salute del paziente (frequenza respiratoria, battito cardiaco, attività elettromiografica degli arti superiori), allertando così su eventuali profili di rischio. Ciò è realizzato mediante una tuta sensorizzata indossata dal paziente. TwinMed si caratterizza, altresì, per due ulteriori innovazioni: le stampelle sensorizzate, che forniscono dati più precisi sulla condizione di equilibrio del paziente durante l'uso dell'esoscheletro (un minore carico sulle stesse indica migliore equilibrio e migliore capacità di uso del dispositivo) e un'articolazione di caviglia attiva che favorisce l'apprendimento all'uso, in



particolare nelle fasi iniziali di utilizzo, rendendo più fisiologico il pattern di cammino. Tutto questo esita in un'indicazione importante nell'ottica di far adottare la tecnologia al paziente nel contesto domiciliare. Twin2 è una versione semplificata di TwinMed che può essere utilizzata dal paziente nella quotidianità. «In quest'ottica abbiamo lavorato per rendere l'esoscheletro modulare, semplificando le operazioni di smontaggio e montaggio del dispositivo e il suo riposizionamento all'interno di una case dedicata», spiega Gruppioni. «Un dispositivo quindi user friendly anche per quanto riguarda la semplicità di indossaggio, che avviene in pochi minuti, e di regolazione».

### Un inedito dispositivo di riabilitazione robotica

La collaborazione tra il Centro di riabilitazione motoria INAIL di Volterra e IIT ha dato vita a Float, l'esoscheletro motorizzato per arti superiori dedicato alla riabilitazione dei problemi ortopedici di spalla. «La robotica in ambito

ortopedico è un campo tutt'oggi sostanzialmente inesplorato; la robotica riabilitativa nasce in ambito neurologico quindi i dispositivi e i protocolli terapeutici sono prevalentemente dedicati a pazienti con esiti di ictus, sclerosi multipla, lesioni midollari, quindi non direttamente applicabili nell'ambito della spalla ortopedica», ricorda la dottoressa Elisa Taglione, direttore sanitario del Centro di Riabilitazione Motoria Inail di Volterra. «L'idea di sviluppare un sistema di riabilitazione robotica innovativo che potesse precocemente agevolare il paziente al recupero degli schemi motori fisiologici di questa articolazione nasce nel 2016. Il paziente ortopedico di spalla ha un decorso d'inabilità importante in fase post acuta, ma a differenza di quello neurologico dove la perdita di funzionalità dell'arto superiore è una delle principali criticità e con un recupero lento e spesso parziale, la prospettiva di ripristino di tali funzionalità è reale, anche se si tratta di un percorso riabilitativo lungo è complicato dal dolore che caratterizza queste patologie».

Presentato all'edizione 2024 della fiera Exposanità, Twin è un esoscheletro attivo che consente a soggetti con lesione midollare, completa o incompleta, con esiti di paraplegia agli arti inferiori, di tornare a camminare per qualche ora al giorno



Grazie a Twin, il paziente può portarsi da seduto alla stazione eretta, camminare (con le stampelle), salire e scendere le scale e tornare seduto

### Le sfide di Float

Nello sviluppare Float, i ricercatori hanno puntato su caratteristiche innovative: replicare perfettamente la biomeccanica articolare della spalla, fornire un'assistenza antigravitaria alla stessa, capacità di offrire al paziente con il dispositivo una terapia di tipo occupazionale, dove quest'ultimo si cimenti fattivamente interagendo in maniera attiva con l'ambiente esterno. «La sfida era creare un robot che – diversamente da quelli sviluppati in ambito neurologico – facilitasse l'uso della spalla e, al contempo, lasciasse la mano libera d'interagire con l'ambiente; inoltre, che il paziente non fosse vincolato in posizione seduta», spiega la dott.ssa Taglione. «Con Float l'esoscheletro motorizzato letteralmente “fluttua” perché è montato su un braccio mobile, ispirato al braccio della Steadicam cinematografica, senza gravare con il suo peso sul paziente, consentendogli di stare in piedi e di muoversi, di effettuare attività, gesti comuni della vita quotidiana, sperimentando in maniera assistita gesti funzionali

che integrino precocemente, armonizzandolo, il movimento della spalla in quello della catena cinetica complessiva del corpo». Float è una macchina multifunzione che replica tutti gli esercizi anche quelli di base della riabilitazione della spalla. Nella modalità “cinematica” il movimento del paziente è passivo e può essere effettuato sia in piedi che da seduto guidato dal terapeuta che può così proporre esercizi classici di mobilizzazione utili nelle prime fasi post acute della riabilitazione. Nella modalità “ripeti traiettoria” invece, oltre ai piani classici anatomici di movimento della spalla – flessione-estensione, ab-adduzione, rotazione – è possibile impostare movimenti complessi secondo traiettorie scelte in maniera personalizzata per il paziente; in questo caso il terapeuta, collaborando con il paziente, mobilizza l'arto consentendo a Float di memorizzare il movimento e riprodurlo per il numero di volte, la velocità e le pause richiesti. Nella modalità “in trasparenza”, infine, il robot accompagna il movimento del

paziente senza opporre nessuna resistenza consentendogli di compiere attività occupazionali di vita quotidiana o può aggiungere uno sgravio progressivo del carico individuando quel grado di assistenza necessario per non evocare dolore al paziente e, al contempo, esplorare il maggior arco di movimento possibile. Assistenza che progressivamente si può ridurre con il recupero da parte del paziente della motricità autonoma.

### Float Evo, il prototipo avanzato

La seconda versione di Float, Float Evo, nasce con il progetto RoboGym sulle indicazioni emerse da uno studio sperimentale nel quale l'esoscheletro è stato valutato su una coorte di pazienti con varie patologie di spalla. Float si è dimostrato un esoscheletro affidabile ben tollerato dai pazienti, ma sicuramente perfezionabile. «Abbiamo ricevuto parecchi suggerimenti sia da parte dei pazienti sia da parte dei fisioterapisti che ci hanno permesso di sviluppare questa nuova versione evoluta di Float», sottolinea la dott.ssa Taglione. «Float Evo è stato riprogettato dal punto di vista cinematico consentendo di raggiungere un ROM equiparabile a quello fisiologico della spalla. È stato motorizzato il gomito, inoltre tutti i giunti motorizzati dell'esoscheletro sono ora sensorizzati al fine di consentire una mobilizzazione assistita più fine. Float Evo è più semplice da indossare: grazie agli attacchi rapidi facilitati da magneti, il corsetto e i supporti



**Float Evo è un esoscheletro dedicato al recupero motorio e funzionale del complesso delle articolazioni della spalla nella fase post operatoria o a seguito di lesioni post traumatiche, che in futuro potrà essere impiegato su pazienti con disfunzioni motorie dovute a ictus o a malattie neurodegenerative**

preventivamente indossati su braccio e avambraccio si agganciano rapidamente all'esoscheletro. Un particolare, quello della vestibilità, importante nella riabilitazione delle patologie di spalla caratterizzate, come già sottolineato, dalla presenza di dolore. Un'ulteriore implementazione è stata di consentire a Float di lavorare in maniera integrata anche con un sistema di realtà aumentata. Questo ci ha consentito di ampliare in maniera significativa la gamma degli esercizi; grazie a un visore di realtà aumentata il paziente viene guidato nello svolgimento di esercizi mono manuali o bimanuali che riproducono la vita quotidiana con il coinvolgimento di oggetti reali. Ci aspettiamo che Float Evo acceleri il recupero qualitativo del movimento, recupero che risulta fondamentale per evitare che si instaurino meccanismi di compenso, i quali determinano una riduzione della funzionalità

della spalla ed espongono l'articolazione, a causa di un movimento non fisiologico, allo sviluppo di sovraccarichi e di dolore. Le nuove funzionalità di Float Evo verranno esplorate e testate nel corso di un nuovo studio pilota che coinvolgerà una decina di pazienti. In seguito, la macchina sarà testata in nuovi studi anche al fine di estendere il suo utilizzo in ambito neurologico modificando i protocolli di intervento e allestendo modalità di utilizzo consone a questa tipologia di pazienti».

### **Nuovi sviluppi**

Un'evoluzione quindi in divenire sia per l'esoscheletro Twin sia per Float. «L'efficacia clinica dei nuovi prototipi di entrambi gli esoscheletri verrà verificata in futuro nel corso di ulteriori studi pilota anche a carattere multicentrico con l'obiettivo di un trasferimento della tecnologia all'industria – compito che toccherà a IIT – e

un impiego degli esoscheletri su più vasta scala», riprende Gruppioni. «Tra gli ulteriori sviluppi evolutivi dell'esoscheletro Twin, un interessante filone riguarderà l'abbinamento con la FES – stimolazione elettrica funzionale – a questo dispositivo. Gli studi preliminari, già condotti in sinergia con il Politecnico di Milano, evidenziano come quest'ultima, attivando la muscolatura, consenta una riduzione della propulsione apportata dai motori. Un'importante evidenza che consentirà in futuro di alleggerire gli esoscheletri assistivi con motori più piccoli rendendoli più portatili e facilmente indossabili. L'augurio è comunque di individuare soluzioni che consentano ai pazienti mielolesi di riprendere a camminare in maniera più fisiologica ripristinando l'attività muscolare compromessa a seguito della interruzione del segnale nervoso. La FES è in tal senso un promettente campo di indagine e di sviluppo». Per quanto riguarda, invece, gli esoscheletri riabilitativi conclude la dott.ssa Taglione: «Macchine come Float consentiranno di allestire innovative palestre robotiche per una riabilitazione sempre più mirata, efficace e compliant per il paziente. Tali macchine, sotto la costante supervisione del terapeuta e in interazione con esso, faciliteranno il suo lavoro rendendo al contempo la seduta riabilitativa più divertente, integrata, motivante e sfidante per il paziente, il quale diverrà sempre più "protagonista" nella gestione del trattamento».