

## EMBODIMENT

**nel futuro  
della protesica**

**I**l Centro Protesi Inail di Vigorso di Budrio è un punto di riferimento a carattere nazionale e internazionale per la ricerca protesica. Il Centro collabora da anni con prestigiosi istituti di ricerca e università di alto profilo scientifico e tecnologico nell'ambito della riabilitazione

robotica, della protesica di arto inferiore e superiore, della chirurgia e riabilitazione, dei sistemi di valutazione. Con l'ing. Emanuele Gruppioni, Direttore tecnico dell'Area Ricerca del Centro Protesi Inail, abbiamo fatto il punto sui traguardi raggiunti e sugli sviluppi futuri in ambito protesico.

*Le protesi del futuro saranno sempre più in grado di trasmettere a chi le indossa feedback sensoriali, di natura non solo tattile ma anche propriocettiva, per un utilizzo sempre più funzionale e naturale del dispositivo*

Il Progetto Sensibilia ++ nasce nel 2017 con l'obiettivo di applicare le nuove soluzioni protesiche sviluppate a pazienti trattati con una nuova tecnica chirurgica denominata Targeted Muscle Reinnervation (TMR)

### Robotica di arto superiore

Le principali attività di ricerca condotte dal Centro Protesi di Budrio in collaborazione con istituti di ricerca e università hanno puntato allo sviluppo di innovative soluzioni robotiche da fornire ai pazienti. «Ci siamo focalizzati sull'arto superiore, di maggiore complessità. Da questo impegno è nata la mano Hannes, una protesi robotica poliarticolata made in Italy, sviluppata assieme a Rehab Technologies dell'Istituto Italiano di Tecnologia, che permette di restituire al paziente circa il 90% delle funzionalità di una mano naturale; abbiamo inoltre avviato nel 2017 il progetto Sensibilia ++ assieme al Campus BioMedico di Roma, i cui risultati hanno consentito poi la nascita di un nuovo progetto, iHannes. Grazie alla collaborazione con l'Istituto di Biorobotica della Scuola Sant'Anna di Pisa, abbiamo poi sviluppato il progetto CECA 2020», ricorda l'ing. Gruppioni. Sensibilia ++ nasce nel 2017 con l'obiettivo di applicare le nuove soluzioni protesiche sviluppate a pazienti trattati con una nuova tecnica chirurgica denominata Targeted Muscle Reinnervation (TMR), che consiste nel ripristino delle funzionalità dei nervi amputati attraverso strutture muscolari ancora presenti, ma non più utili per la loro funzione originaria, proprio a causa dell'amputazione.

Scopo dell'intervento è permettere al paziente il controllo di un arto superiore robotico dotato di mano, polso, gomito e spalla. Questa tecnica e la protesi sono una soluzione per il trattamento delle amputazioni di arto superiore a livello prossimale e conferiscono ai pazienti un significativo aumento delle funzionalità e dell'autonomia nelle attività quotidiane. I risultati ottenuti e l'esperienza maturata con Hannes hanno consentito di avviare, nel 2021, il progetto iHannes, nato per realizzare sistemi affidabili di controllo e feedback sensoriale, che consentano ai pazienti un uso della protesi più naturale e meno impegnativo. CECA 2020 è una protesi funzionale di arto superiore con mano multiarticolata sensorizzata a controllo biomimetico non invasivo che mira a sviluppare e sperimentare una nuova generazione di protesi di arto superiore ad alto contenuto tecnologico, capace di ripristinare le funzionalità motorie e sensoriali dell'arto perduto.

### Obiettivo embodiment

La robotica, grazie ai molti progetti condotti dal Centro Protesi Inail in collaborazione con i propri partner, è una tecnologia matura. «La sperimentazione clinica delle innovazioni protesiche che abbiamo sviluppato sarà tra le nostre priorità, anche alla luce del nuovo Regolamento Europeo sui Dispositivi Medici (MDR) che la prevede per la loro certificazione. A questo proposito, il nostro Centro ha attivi vari studi clinici. Sul fronte delle tecnologie invece l'obiettivo è

quello di sviluppare protesi che diventino sempre più parte del corpo del paziente, il cosiddetto embodiment. Tutto questo attraverso delle interfacce in grado di restituire al paziente dei feedback sensoriali. Le protesi che stiamo sviluppando sono dotate di intelligenza artificiale, alla quale chiediamo oggi di interagire con l'intelligenza del paziente. Da ciò scaturirà probabilmente un uso più smart e avanzato di questi dispositivi tecnologicamente avanzati che sapranno raccogliere informazioni dall'ambiente circostante e trasmetterle al paziente. Sono già disponibili, a tale proposito, delle soluzioni di sensorizzazione piuttosto realistiche, che potranno essere montate a bordo della protesi. Tutto questo migliorerà la compliance del paziente e ridurrà il rischio di abbandono della protesi con tutte le gravi problematiche a esso connesse».

### Feedback sensoriali, la propriocezione

Le protesi del futuro saranno in grado di trasmettere feedback sensoriali di diversa natura. «Quando ci si riferisce alla sensibilità, si pensa al tatto, ma il concetto di percezione in ambito protesico è molto più esteso perché le linee afferenti del sistema nervoso portano un insieme di informazioni di cui il tatto è la più importante ma non l'unica. Stiamo lavorando, in particolare, sulla propriocezione: sapere a occhi chiusi, per esempio, che il gomito è flesso a 90° o è disteso lungo il corpo. Si tratta di un



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

nuovo progetto in collaborazione con il Campus BioMedico di Roma, per la parte clinica, mentre la parte tecnologica sarà sviluppata con l'Istituto di Biorobotica della Scuola Sant'Anna di Pisa. L'idea è usare l'approccio AMI (Agonist-antagonist Myoneural Interface) per replicare il naturale

meccanismo propriocettivo, coinvolgendo coppie di muscoli agonisti-antagonisti dell'arto amputato collegandoli chirurgicamente tra loro».

### **La protesi osteointegrata**

Un'ulteriore frontiera nel campo dei feedback sensoriali riguarda

## ATTIVITÀ DI RICERCA IN AMBITO PROTESICO DEL CENTRO PROTESI INAIL

### **Progetti in collaborazione con IIT – Fondazione Istituto Italiano di Tecnologia**

#### • PR19-PAS-P1 iHannes.

Tecniche e tecnologie innovative per il controllo di sistemi protesici avanzati di arto superiore. Il progetto parte dai risultati raggiunti da Inail e IIT con la mano protesica Hannes, con l'obiettivo di realizzare sistemi affidabili di controllo e di feedback sensoriale, che consentano ai pazienti un utilizzo della protesi più naturale e meno impegnativo.

#### • PR19-PAI-P1 HyperLEG.

Tecniche e tecnologie innovative per il controllo di sistemi protesici avanzati di arto inferiore. Il progetto si propone di sviluppare una protesi di arto inferiore che, grazie a innovativi sistemi di controllo e sensorizzazione, alleggerisca il carico cognitivo del paziente e consenta un utilizzo più fisiologico del dispositivo. Tra gli obiettivi dello studio la realizzazione di componentistica protesica made in Italy, nell'ottica del transfer tecnologico.

### **Progetti in collaborazione con l'Istituto di Biorobotica della Scuola Superiore di Studi Universitari e Perfezionamento Sant'Anna**

#### • PR19-PAI-P2 MOTU++.

Protesi robotica di arto inferiore con smart socket e interfaccia bidirezionale per amputati di arto inferiore: personalizzazione mediante human-in-the-loop optimization. Progetto finalizzato allo sviluppo di una protesi di arto inferiore in grado di adattarsi al meglio alle specifiche esigenze motorie di ogni amputato. Grazie a un processo di ingegnerizzazione, sperimentazione e integrazione delle principali tecnologie sviluppate nell'ambito dell'attività di ricerca già avviata tra Inail e SSSA, MOTU++ intende realizzare una protesi di arto inferiore in grado di interpretare l'intenzione motoria dell'utente e di minimizzare il rischio di caduta.

#### • PR19-CR-P1 MioPRO.

Muscoli ingegnerizzati paziente-specifici per il ripristino di canali MIOelettrici e il controllo

di PROtesi. MioPRO ha l'obiettivo di arricchire e portare evoluzioni significative nel campo delle interfacce uomo-macchina destinate al controllo delle protesi. Lo studio esplora la possibilità di creare in vitro un tessuto muscolare, a partire da cellule staminali del paziente, in grado di migliorare il segnale elettromiografico necessario al controllo della protesi. Il progetto vuole contribuire allo sviluppo e all'integrazione di nuovi paradigmi per esercitare un controllo intuitivo e diretto su molteplici gradi di libertà delle protesi.

### **Progetti in collaborazione con l'Università Campus BioMedico di Roma**

#### • PR19-PAS-P2 WiFi-MyoHand.

Sistema impiantabile ottimizzato per l'interfacciamento con il sistema nervoso periferico e il controllo della protesi di arto superiore. Il progetto si propone di individuare, a partire dal segnale muscolare, l'attività dei nervi che genera i comandi motori, allo scopo di

migliorare il controllo della protesi e gestire in modo più naturale un elevato numero di gradi di libertà. L'obiettivo è realizzare un sistema protesico completamente impiantabile per uso continuativo, capace di fornire un ritorno sensoriale efficace a pazienti con amputazione di arto superiore.

#### • PR19-PAS-P3 3Daid.

Protesi di mano e ausili robotici esoscheletrici a basso costo. Il progetto studia soluzioni protesiche e ortesiche da utilizzare durante lo svolgimento delle attività della vita quotidiana. Grazie alla diffusione delle tecnologie di digital manufacturing (stampa e scansione 3D), che rendono la robotica personalizzata economicamente sostenibile, sarà possibile creare dispositivi di costo contenuto, che replicano fedelmente le caratteristiche anatomiche del paziente, permettono il monitoraggio delle proprietà meccaniche dei singoli particolari e consentono di migliorare l'indossabilità del dispositivo.



**Le protesi osteointegrate sono interfacce tecnologiche bioniche meccaniche ed elettriche che si connettono in modo molto rapido direttamente allo scheletro. Le sperimentazioni finora condotte hanno fornito risultati interessanti e ottimi feedback da parte dei pazienti**

• **PR19-CR-P3 ReGiveMeFive.**

Esplorazione di nuove frontiere in chirurgia protesica. Le soluzioni protesiche per arto superiore più avanzate richiedono un moncone preparato con tecniche chirurgiche mirate. Per questa ragione, il progetto ReGiveMeFive si prefigge l'obiettivo di esplorare e migliorare le metodiche di preparazione del moncone all'utilizzo di protesi in grado di restituire il feedback sensoriale e propriocettivo. Progetti in collaborazione con CNR Consiglio Nazionale per le Ricerche

• **PR19-PAI-P3 proFIL.**

Filamenti multi-materiali per la realizzazione di protesi personalizzate ad alte prestazioni con focus su adaptive sport. Il progetto proFIL, in collaborazione con CNR-IPCB Istituto per i Polimeri, Compositi e Biomateriali, mira ad esplorare le potenzialità della stampa 3D nella produzione di componentistica protesica avanzata per

l'arto inferiore. L'obiettivo è realizzare protesi sportive con invasature completamente personalizzate ed esteticamente curate, e dispositivi in grado di immagazzinare/restituire energia, di monitorare le proprietà meccaniche e lo stato di usura.

**Progetto in collaborazione con l'Istituto Ortopedico Rizzoli**

• **PR19-CR-P5 OsteoCustom.** Processi personalizzati di trattamento dell'amputazione mediante osteointegrazione. L'obiettivo di una protesi osteointegrata è quello di garantire una connessione diretta, strutturale e funzionale, tra l'osso e l'impianto su cui verrà fissata la protesi. Il progetto OsteoCustom punta a migliorare l'affidabilità strutturale dell'impianto e a definire un processo interamente personalizzato, caratterizzato da un'alta sinergia tra le varie fasi del trattamento protesico

con osteointegrazione: valutazione delle condizioni preoperatorie, realizzazione di impianti e protesi su misura, elaborazione di un percorso riabilitativo in relazione allo stato psicofisico del paziente, monitoraggio post riabilitativo

**Progetto in collaborazione con l'Università di Padova**

• **PR19-PAI-P4 OLIMPIA.** Nuove tecnologie al servizio dell'atleta paralimpico. Il progetto ha l'obiettivo di sviluppare soluzioni tecnologiche innovative per migliorare la performance dell'atleta paralimpico e la sua sicurezza durante la pratica sportiva. La ricerca è focalizzata, in particolare, sulle protesi e le ortesi per la corsa e il salto e sulle protesi e sui monosci per lo sci alpino. Parallelamente lo studio si dedicherà allo sviluppo di un nuovo processo digitale per semplificare e ottimizzare i processi produttivi utilizzati nella costruzione di protesi e ortesi.

le protesi osteointegrate, interfacce tecnologiche bioniche meccaniche ed elettriche che si connettono in modo rapido direttamente allo scheletro. Il Progetto OsteoCustom, nato dalla collaborazione tra Centro Protesi e Istituto Ortopedico Rizzoli studia processi personalizzati di trattamento dell'amputazione mediante osteointegrazione, migliorando l'affidabilità strutturale dell'impianto e definendo un processo personalizzato di suo sviluppo, caratterizzato da un'alta sinergia tra le varie fasi del trattamento protesico con osteointegrazione. «Il primo progetto riguardante l'osteointegrazione, condotto in collaborazione con l'Istituto Ortopedico Rizzoli, è in fase conclusiva e ci ha permesso di trattare quattro pazienti con impianti osteointegrati presenti in commercio. I risultati sono stati rilevanti con ottimi feedback da parte dei pazienti. Su questo progetto si è innestato un nuovo studio per lo sviluppo di impianti customizzati, con l'obiettivo di sviluppare, direttamente al Centro Protesi, l'impianto osteointegrato che sarà fornito in sala operatoria. Dopo il trattamento chirurgico, il paziente tornerà al nostro Centro per il percorso riabilitativo. Si tratta di un'interfaccia, per il momento meccanica, alla quale se ne affiancherà in seguito una elettronica, impiantata e alimentata attraverso accoppiamento induttivo WPT (Wireless Power Transfer), che si occuperà di trasmettere le stimolazioni sensoriali direttamente sui nervi del sistema nervoso periferico».