**What is the difference between prosthetics and prosthesis?**

* **Prosthetics**refers to the field of research and expertise in designing and building artificial limbs. Prosthetic can also be used as an adjective as well (example: prosthetic limbs).
* **Prosthesis**is the most accurate term for an artificial device that is built to replace a missing body part. The plural of prosthesis is **prostheses**. Prostheses are worn both by those who lost limbs due to disease or trauma, and also those who were born with [congenital limb difference](https://www.amputee-coalition.org/limb-difference-types-children/). A person who is an expert in prostheses and their use is called a

**Slide 1: Title**

Our topic is HANNES, a hand prosthesis developed by INAIL and the Italian Institute of Technology (IIT) in the field of Rehabilitation Technologies.

**Slide 2: What is Hannes?**

It is a poly-articulated and under-actuated prosthesis represents a significant advancement in the field, with an innovative design influenced by the pioneer of prosthetic research, Professor Johannes Schmidl.

In the two images, you can see the complete device, consisting of the hand, the socket interface, and silicone gloves to be used as a covering.

**Slide 3: Concepts and Goals**

The idea behind HANNES is to create a hand that is as close as possible to a real one in all its defining aspects. The three fundamental aspects are Anthropomorphism, Biomimetic Performance, and Human-Like Grasping Behavior, as illustrated in the graphical diagram.

The idea behind HANNES is to create a hand that is as close as possible to a real one in all its defining aspects. The three fundamental aspects are Anthropomorphism, Biomimetic Performance, and Human-Like Grasping Behavior, as illustrated in the diagram.

The diagram illustrates the characteristics of each fundamental aspect, such as:

- Shape, dimensions, weight, and kinematics for Anthropomorphism

- Speed and force for Biomimetic Performance

- Synergistic behavior, configuration adaptability, and grasp robustness for Human-Like Grasping

**Slide 4: Concepts and Goals (Anthropomorphism)**

In the context of prosthesis, anthropomorphism refers to the artificial hand's ability to authentically replicate the shape, dimensions, weight, and kinematics of the human hand. As we will see later, the high fidelity in the reproduction of biomimetic anthropomorphism in Hannes is demonstrated by directly comparing the size, shape, and kinematic model of Hannes with anthropometric data and the kinematics of a typical human hand. In other words, the goal is to make the prosthesis as similar as possible in appearance and behavior to a real hand.

**Slide 5: Concepts and Goals (Biomimetic performance)**

In terms of biomimicry, the mechatronics of the hand have been developed and designed in such a way that its performance closely resembles that of a human hand in carrying out Activities of Daily Living (ADLs). The results, obtained through various experiments, demonstrate that the device surpasses the required velocity and grasping forces levels to perform tasks more efficiently and powerfully. This specific characteristic allows a wide range of movements, very similar to natural biological capabilities.

Moreover, this hand have a precise control over speed and force to facilitates engagement in delicate movements or strength movement.

**Slide 6: Concepts and Goals (Human like grasping behavior)**

All the features I just mentioned involve executing coordinated movements that resemble natural human gestures. This capability provides users with a broad spectrum of intricate and realistic movements, enabling them to effortlessly grasp objects of various shapes and sizes. Experimental results serve as crucial evidence of Hannes' exceptional biomimicry in replicating humanlike grasping postures synergistically.

Moreover, all these aspects ensure stability and safety in the daily interaction with objects, thereby substantially enhancing the overall user experience with the prosthetic device. By prioritizing naturalness and comfort in daily use, HANNES significantly enhances the quality of life for its users.

**Overview of the System:**

Let's now talk about a more detailed discussion regarding the prosthesis structure. This is composed of three main interacting physical components:

1 - A poly-articulated myoelectric prosthetic hand that utilizes a sub-actuated differential mechanism.

2 - A passive wrist flexion-extension (F/E) module.

3 - A myoelectric interface/controller that includes two surface sensors (EMG), a battery pack, and control electronics.

Let's start by describing the last point. As mentioned earlier, this is composed, as seen in the figure, of a battery and a management system. The prosthetic hand is powered by internal batteries designed to last up to a day and rechargeable via a magnetic connector located at the end of the prosthesis. For control, direct EMG control was chosen for its reliability and practicality. Two EMG sensors detect forearm muscle activity and communicate with a customized EMG processing board, sending control signals to the motor board. The EMG board aims to manage the prosthetic device, allowing for opening and closing. Furthermore, through a proportional controller, it is possible to adjust the speed based on muscle activity, individually calibrated to ensure precise control of movement and force for each patient.

The palm of Hannes hosts the main components of the hand: a motor control board (comprising an electric actuator, a control board, sensors, and the transmission mechanism) and a compact high-power density DC motor. As detailed in the figure, the main cable responsible for the prosthesis movement starts from the motor and reaches the thumb, passing through two different elements mounted on linear guides. Each guide consists of a special bearing and two rails on which the bearing moves. Each bearing contains two fixed pulleys: one supports the main cable, while the second pulley is used by the secondary cable to actuate two adjacent fingers. These are operated by two cables: the first moves the index and middle fingers, while the second is used to operate the ring and little fingers.

Let's now observe in more detail how the fingers are composed:

Two cables are involved: one for flexing and one for extending the fingers. A connected spring assists in extension, and a mechanism regulates tension. When the motor acts, the cables either tense or relax, generating movement in the finger joints. Applied levers help regulate forces on the joints, aiming to mimic the natural movement of human fingers.

The functioning of the thumb, however, is different:

Using special springs, it can rotate, remain stable, or lock in three different positions to allow for various grips. Additionally, it coordinates with the fingers using a screw to adjust the return force of the movement. This synchronization is important for precise grips, especially when high precision is required.

Lastly, let's analyze the intermediate part of the prosthesis. As described in the figure, Hannes' wrist F/E module adapts to the natural flexion and extension of the wrist using a spring controlled by cables. During flexion, the spring compresses, creating slack in the extension cables, and vice versa during extension. The cables, as in the previous part, are guided by pins and pulleys for stability. The spring's precariousness prevents unwanted movements, and a lock allows the wrist to stop in five positions, performing movements within an angle ranging from -70 to +70 degrees.

This module aims to replicate the strength and rigidity of the human hand through a linear relationship between wrist rotation and spring compression, ensuring good torsional stiffness.

**Kinematic structure**

It's important to note that Hannes, unlike the human hand, has fewer joints. In analyzing the correlations between the joint angles of Hannes and the human hand during grasping, significant correlations were found, particularly between the flexion of Metacarpophalangeal (MCP) joints of adjacent fingers and the adduction of neighboring fingers, aligning with literature data.

Principal Component Analysis (PCA) - Hannes:

PCA was conducted to assess the dimensionality of Hannes' postures.

Synergy refers to the coordinated collaboration of parts or elements that produces a combined effect greater than what each element could achieve individually. In the analysis of Hannes' synergies, this involves identifying coordinated patterns of joint movement during object grasping.

**Description of Hannes's Synergies:**

- PC1 corresponds to the opening/closure of the hand through MCP flexion of the fingers, involving the thumb as well.

- PC2 is responsible for the flexion/extension of Proximal Interphalangeal (PIP) joints of the fingers and thumb adduction.

- PC3 corresponds to thumb rotation and adduction.

**3 Standard control strategies:**

* Dual-site muscle exploitation, identifying two loci on the stump to recognize opposing movements. Control using specific forearm muscles, limits users to handling one degree of freedom at a time through sequential control or co-contraction with a button.
* Targeted Muscle Reinnervation (TMR) is an innovative control strategy involving a surgical nerve transfer procedure. Following amputation, nerves originally transmitting signals to the natural arm are surgically linked to other muscles. In TMR, innervated muscles act as biological amplifiers for amputated nerve motor signals, enabling intuitive, simultaneous control of multiple joints in advanced prostheses.

**Pattern Recognition:**

Hand control relies on pattern recognition. Typically, EMG signals from two sensors, one for the flexor muscle and one for the extensor muscle, are utilized. Noteworthy advancements have been made, optimizing signal detection via experiments, with the NLR algorithm showing optimal performance using minimal electrodes. This optimization not only enhances physical device structure but also reduces costs while improving overall performance. [testo slides + Chat]

Implementing a pattern recognition algorithm for control typically requires between 5 to 10 EMG electrodes. Researchers developed and optimized a pattern recognition control specifically for simultaneous control of multiple degrees of freedom (DoFs). Various pattern recognition algorithms were tested using information solely from embedded EMG electrodes in the prosthesis. The best-performing algorithm was then implemented for real-time, simultaneous control of the Hannes system joints. Testing involved 10 healthy subjects and 3 trans-radial amputees, employing classifiers such as Non-Linear Logistic Regression (NLR) and Linear Discriminant Analysis (LDA). Notably, NLR demonstrated superior performance compared to other classifiers.

we tested Linear Discriminant Analysis (LDA) classifier, gold standard, in comparison with Non-Linear Logistic Regression (NLR) to decode opening/closure of the hand and flexion/extension of the wrist from EMG recordings of arm muscles, collected from healthy subjects and amputees. We aimed at minimizing the number of EMG electrodes (6 maximum) by optimizing both classifiers in terms of the F1Score. We then compared the performances of the classifiers. We found that the NLR algorithm achieved the best results with 5 EMG electrodes

•Control through pattern recognition is an advanced approach that leverages artificial intelligence techniques to interpret electromyographic (EMG) signals generated by the residual muscles of the user. This technology enables users to control the movements of the prosthesis in a more intuitive and precise manner. Here is a general overview of how it typically works:

•1. EMG Signal Detection:

• - The prosthesis is equipped with from 6 to 10 EMG electrodes.

electrodes placed on the surface of the skin above the user's residual muscles.

• - The electrodes capture electrical signals generated during muscle contraction (EMG).

•2. Recording and Preprocessing:

• - EMG signals are recorded and preprocessed to eliminate any noise and artifacts.

•3. \*\*Feature Extraction:\*\*

• - Specific features are identified and extracted from the EMG signal, such as amplitude, frequency, or temporal patterns.

•4. \*\*Pattern Recognition:\*\*

• - Pattern recognition algorithms Employing classifiers such as Non-Linear Logistic Regression (NLR) and Linear Discriminant Analysis (LDA).

• - The system learns to recognize patterns associated with specific movements or muscle contractions.

•5. \*\*Association with Prosthetic Commands:\*\*

• - Recognized patterns are associated with specific commands for the prosthesis, such as opening or closing the hand, wrist movements.

•6. Prosthetic Control:

• - Based on the recognized patterns, the prosthesis executes the associated commands. Simultaneous control of multiple degrees of freedom (DoFs).

**Final considerations:**

Through studies and experiments, it has been agreed that attempting to replicate the weight of a prosthesis identical to that of a human hand can be perceived as excessively heavy for users. In fact, a challenge that researchers are facing is in maintaining the same performance while trying to reduce the weight (established in reference to correspond to that of a human hand). However, due to limitations in current electromechanical systems and material technologies, this challenge has not been achieved thus far.

**TRADUCIONE ITALIANO:**

Introduzione alla Mano Protetica Hannes:

La mano protetica HANNES, una creazione collaborativa dell'INAIL e dell'Istituto Italiano di Tecnologia (IIT) nel campo delle Tecnologie Riabilitative, si presenta come un notevole dispositivo poli-articolato e sotto-attuato. Il suo design innovativo, influenzato dal Professor Hannes Schmidl, pioniere nella ricerca protesica presso il Centro Protesi di Vigorso di Budrio, rende omaggio al suo lavoro innovativo, compreso lo sviluppo della prima protesi mioelettrica nel 1965.

Concetti e Obiettivi:

Numerosi studi hanno mirato a delineare i fattori chiave che caratterizzano il comportamento della mano umana, concentrandosi su caratteristiche antropomorfiche, metriche di prestazione e dinamiche di presa sinergica. Per sfruttare questi insights, abbiamo concepito HANNES, una mano protesica attentamente progettata per fondere biomimetismo e funzionalità attraverso un processo di co-design che coinvolge ricercatori, pazienti, ortopedici e designer industriali. Il nostro obiettivo ruota attorno al raggiungimento di una performance superiore in termini di antropomorfismo, abilità biomimetiche e comportamento di presa simile a quello umano, superando i dispositivi protesici esistenti.

Slide 1:

La protesi HANNES mira a imitare autenticamente le dimensioni, il peso e i movimenti della mano umana, mostrando una notevole somiglianza al modello di riferimento. Mentre alcune articolazioni sono fisse per semplificare l'implementazione, l'intero range di movimento è simile a quello della mano umana, rendendo HANNES più biomimetico rispetto ad altre protesi e quindi con una cinematica il più realistica possibile.

Slide 2:

La protesi HANNES si distingue per la sua presa straordinariamente simile a quella umana, ottenuta attraverso comportamenti sinergici e configurazioni adattabili. Questa caratteristica eccezionale coinvolge l'esecuzione di movimenti coordinati simili a gesti naturali umani, fornendo agli utenti una vasta gamma di movimenti complessi e realistici. La sua configurazione adattabile consente prese personalizzate per soddisfare le esigenze individuali, migliorando sia l'ergonomia che la capacità di afferrare oggetti di diverse forme e dimensioni. Inoltre, la robustezza della presa garantisce stabilità e sicurezza durante le interazioni quotidiane con gli oggetti, migliorando significativamente l'esperienza complessiva dell'utente con la protesi HANNES. Concentrandosi sulla naturalità e sul comfort durante l'uso quotidiano, HANNES migliora significativamente la qualità di vita dei suoi utenti.

Slide 3:

La protesi Hannes eccelle nelle prestazioni biometriche, dimostrando notevoli capacità di velocità e forza. Progettato per offrire velocità e forza impressionanti, questo dispositivo protesico consente agli utenti di eseguire compiti in modo più efficiente e potente. La sua adattabilità nel raggiungere velocità variabili ed esercitare una forza adeguata consente una vasta gamma di movimenti, simili alle capacità biologiche naturali. Il controllo preciso sulla velocità e sulla forza facilita il coinvolgimento in movimenti delicati e sfumati, così come attività che richiedono una forza significativa. La protesi Hannes migliora significativamente l'adattabilità funzionale e migliora la qualità di vita degli utenti.

Panoramica del Sistema:

Hannes è una mano protesica poli-articolata e sotto-attuata caratterizzata da una configurazione di fili leader-seguaci utilizzata per controllare i movimenti delle dita. Comprende tre principali componenti fisici interagenti:

1 - Una mano protesica poli-articolata mioelettrica che utilizza un meccanismo differenziale sotto-attuato.

2 - Un modulo passivo di flessione/estensione del polso (F/E).

3 - Un'interfaccia/controllore mioelettrico che include due sensori di elettromiografia di superficie (EMG), un pacco batteria e elettronica di controllo.

1 - Mano Protetica Poli-Articolata Meccatronica di Hannes:

Il palmo di Hannes ospita i componenti principali della mano: una scheda di controllo motore (comprendente un attuatore elettrico, una scheda di controllo, sensori e il meccanismo di trasmissione) e un motore CC compatto ad alta densità di potenza, mentre la flessione/estensione flessibile del polso (F/E) è situata alla base del dispositivo. Il filo principale parte dal motore e raggiunge il pollice, passando attraverso due elementi diversi montati su guide lineari. Ogni guida è composta da un cuscinetto speciale e due rotaie su cui si muove il cuscinetto. Ogni cuscinetto contiene due pulegge fisse: una supporta il filo principale, mentre la seconda puleggia è utilizzata dal filo secondario per azionare due dita adiacenti. Ci sono due fili secondari: il primo muove l'indice e il medio, mentre il secondo serve ad azionare l'anulare e il mignolo.

Dita:

Questo dispositivo utilizza perni per guidare i fili nelle due dita, consentendo il movimento. Coinvolge due fili: uno per la flessione e uno per l'estensione delle dita. Una molla collegata aiuta nell'estensione e un meccanismo regola la tensione. Quando il motore agisce, i fili si tendono o si rilassano, generando movimento nelle articolazioni delle dita. Le leve applicate aiutano a regolare le forze sulle articolazioni, mirando a imitare il movimento naturale delle dita umane.

Pollice:

Il pollice della mano robotica ha un'articolazione che si muove lateralmente e si blocca in tre diverse posizioni per diverse prese. Questo pollice utilizza molle speciali per ruotare e rimanere stabile. Si coordina con le dita utilizzando una vite per regolare la forza di ritorno del movimento. Questa sincronizzazione è importante per prese precise, specialmente quando è richiesta un'elevata precisione.

2 - Modulo Passivo di Flessione/Estensione del Polso:

Il modulo F/E del polso di Hannes si adatta alla flessione e all'estensione naturale del polso utilizzando una molla controllata da cavi. Durante la flessione, la molla si comprime, creando spazio nei cavi di estensione, e viceversa durante l'estensione. I cavi sono guidati da perni e pulegge per la stabilità. La precarietà della molla impedisce movimenti indesiderati, e un blocco consente al polso di fermarsi in cinque posizioni. Questo modulo mira a replicare la forza e la rigidità del polso umano attraverso una relazione lineare tra rotazione del polso e compressione della molla, garantendo una buona rigidità torsionale.

3 - Interfaccia Intuitiva e Strategie Dirette per una Presa Fluida:

Abbiamo optato per il controllo EMG diretto per la sua affidabilità e praticità. Due sensori EMG rilevano l'attività muscolare dell'avambraccio per gestire un dispositivo protesico, consentendo l'apertura e la chiusura. Questi sensori, nella presa, comunicano con una scheda di elaborazione EMG personalizzata, inviando segnali di controllo alla scheda motore. La mano protesica Hannes è alimentata da batterie interne progettate per durare fino a un giorno e ricaricabili tramite un connettore magnetico. Il controllore proporzionale regola la velocità in base all'attività muscolare, calibrata individualmente per garantire un controllo preciso del movimento e della forza per ciascun paziente.

Riconoscimento dei Pattern:

Il controllo della mano si basa sul riconoscimento dei pattern. Tipicamente, segnali EMG provenienti da due sensori, uno per il muscolo flessore e uno per il muscolo estensore, vengono utilizzati. Sono stati compiuti notevoli progressi ottimizzando la rilevazione del segnale tramite esperimenti, con l'algoritmo NLR che mostra prestazioni ottimali utilizzando un numero minimo di elettrodi. Questa ottimizzazione non solo migliora la struttura fisica del dispositivo, ma riduce anche i costi migliorando le prestazioni complessive.

Vantaggi e Limitazioni:

Attraverso studi ed esperimenti, si è convenuto che cercare di replicare il peso di una protesi identico a quello di una mano umana può essere percepito come eccessivamente pesante per gli utenti. Infatti, una sfida che i ricercatori stanno affrontando è nel mantenere le stesse prestazioni cercando contemporaneamente di ridurre il peso (stabilito in riferimento a quello di una mano umana). Tuttavia, a causa delle limitazioni nei sistemi elettromeccanici attuali e nelle tecnologie dei materiali, questa sfida non è stata ancora raggiunta.

Per quanto riguarda i maggiori vantaggi offerti da questo dispositivo, riguardano la naturalezza delle forme, dei movimenti, dell'orientamento degli assi di rotazione e della postura della mano. Infatti, come accennato in precedenza, il design della protesi è stato sviluppato concentrandosi sull'antropometria della mano umana reale, sia esteticamente che biomeccanicamente, consentendo all'utente di percepire il dispositivo come parte integrante del corpo piuttosto che solo uno strumento esterno.